

Onderzoek naar hoogwaardige toepassingen van cellenbetonafval

SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER



**Onderzoek naar
hoogwaardige
toepassingen van
cellenbetonafval**



Documentbeschrijving

1. *Titel publicatie*

Onderzoek naar hoogwaardige toepassingen van cellenbetonafval

2. *Verantwoordelijke Uitgever*

Danny Wille, OVAM, Stationsstraat 110, 2800 Mechelen

3. *Wettelijk Depot nummer*

D/2011/5024/18

4. *Aantal bladzijden*

113

5. *Aantal tabellen en figuren*

20 tabellen, 44 figuren

6. *Prijs**

/

7. *Datum Publicatie*

april 2011

8. *Trefwoorden*

cellenbeton, recyclage, bouw materiaal, milieuverantwoord materiaalgebruik in de bouw

9. *Samenvatting*

Voorliggende studie heeft als doel de keten van het product cellenbeton zo goed mogelijk te sluiten en antwoorden te bieden op de knelpunten en vragen die rond het hergebruik en de (hoogwaardige) recyclage van cellenbeton anno 2010 bestaan. Het valoriseren van afval als nuttige toepassing is een samengaan van drie factoren: (1) technische performantie, (2) impact op het milieu en (3) praktische haalbaarheid en marktvoorwaarden. Elk van deze drie factoren is aan bod gekomen in deze studie.

10. *Begeleidingsgroep en/of auteur*

Jeroen Vrijders (WTCB), Peter Nielsen (VITO) en Mieke Quaghebeur (VITO)

11. *Contactperso(ou)nen*

Roos Servaes (OVAM), Piet De Baere (OVAM)

12. *Andere titels over dit onderwerp*

/

Gegevens uit dit document mag u overnemen mits duidelijke bronvermelding.

De meeste OVAM-publicaties kunt u raadplegen en/of downloaden op de OVAM-website: <http://www.ovam.be>

Inhoudstafel

1	Inleiding	9
1.1	Probleemstelling	9
1.2	Aanpak	9
1.3	Opbouw rapport	10
2	Milieu-impact: uitloging van sulfaten	11
2.1	Doelstelling en aanpak	11
2.1.1	Onderzochte monsters	11
2.1.2	Uitloging, testen en regelgeving	11
2.2	Cellenbeton: karakteristieken	12
2.2.1	Productieproces en herkomst van sulfaat	12
2.2.2	De mineralogische samenstelling van cellenbeton	13
2.2.3	Veroudering van cellenbeton	16
2.3	Uitlooggedrag van cellenbeton en andere bouwmaterialen	18
2.3.1	Overzicht resultaten uitloging	18
2.3.2	Langetermijn uitlooggedrag van sulfaat uit bouwmaterialen	20
2.3.3	Praktische implementatie: uitloging en milieu-impact van sulfaat	34
2.3.4	Mogelijkheden voor het beperken van het uitlooggedrag van sulfaat	37
2.4	Conclusies	39
3	Cellenbetonrecyclage in de praktijk	41
3.1	Aanpak	41
3.2	Omgang met cellenbeton in Vlaanderen	41
3.2.1	Productie en gebruik van cellenbeton	41
3.2.2	Cellenbeton in de bouwfase	49
3.2.3	Cellenbeton in de sloopfase	51
3.2.4	Verwerking van cellenbetonafval	52
3.2.5	Recyclagemogelijkheden voor cellenbetonafval: specifieke initiatieven in Vlaanderen	54
3.2.6	Verkenning pistes recyclage in beton en cement	57
3.2.7	Experten binnen de keten van bouw- en sloopafval	57
3.3	Ervaringen in de omliggende landen	58
3.3.1	Nederland	58
3.3.2	Duitsland	60
3.3.3	Wallonië	61
3.4	Technische mogelijkheden voor recyclage	61
3.4.1	Het sluiten van de kringloop	61
3.4.2	Ongebonden toepassing	61
3.4.3	Gebonden of vormgegeven toepassing	66
3.4.4	Grondstof voor andere producten	67
3.5	Conclusies stakeholdersbevraging en workshop	67
3.5.1	Synthese stand van zaken in Vlaanderen	67
3.5.2	Synthese Workshop	69
4	Technisch: nieuwe toepassingsmogelijkheden	71
4.1	Inleiding	71
4.2	Cellenbeton naar cellenbeton	71
4.2.1	Technische randvoorwaarden voor hergebruik	71
4.2.2	Sorteer- en reinigingstechnieken	72
4.3	Cellenbeton voor betonproductie	72
4.3.1	Literatuuronderzoek	72
4.3.2	Verkendend onderzoek naar mogelijkheden voor toepassing cellenbetongranulaat in beton	75
4.4	Cellenbeton voor cementproductie	78
4.5	Andere toepassingsdomeinen	79

4.5.1	Hergebruik van cellenbeton	79
4.5.2	Grondstof voor andere producten	79
4.5.3	Alternatieve toepassingen buiten de bouw	79
4.5.4	Cradle to cradle: ingrepen in het productieproces	80
4.6	SWOT-analyse - logistiek en milieu-impact	80
4.6.1	SWOT analyse van verwerking van cellenbetonafval in nieuw cellenbeton	81
4.6.2	SWOT analyse voor gebruik van cellenbetonafval in kattenbakvulling	83
4.6.3	SWOT analyse voor gebruik van cellenbetonafval in/als meststof of bodemverbeterend middel	84
4.6.4	SWOT analyse voor gebruik van cellenbetonafval voor ontwatering/structuurverbeteraar van baggerspecie binnen het toepassingsgebied 'gebruik als bodem'	85
4.6.5	SWOT analyse voor gebruik van cellenbetonafval in zandcementmengsels	86
4.6.6	SWOT analyse voor gebruik van cellenbetonafval in (rijke) betonmengsels	87
4.6.7	SWOT analyse voor immobiliseren van cellenbetonafval in lichte ophoogmaterialen (oplossing in NL)	88
4.6.8	SWOT analyse voor business as usual (afvoer naar stortplaats & 'opmengen')	89
5	Vervoltraject: acties en aandachtspunten	91
5.1	Inleiding	91
5.2	Technische mogelijkheden voor hoogwaardige toepassing	91
5.2.1	Verder onderzoek naar het sluiten van de kringloop	91
5.2.2	Verdere technische ondersteuning / verkenning 'cementgebonden' producten	92
5.2.3	Zichtbaar maken van de monostroom 'cellenbetonafval'	92
5.2.4	Logistiek kader & marktwerking	92
5.2.5	Beleidsaanbevelingen	92
6	Besluit	95
7	Bijlagen	99
7.1	TEMP-analyse van verschillende alternatieven	99

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Anno 2010 vormt cellenbetonafval een probleemfractie. Het is ongewenst in de steenachtige fractie (betonpuin, mengpuin) omwille van de minder goede technische karakteristieken voor de traditionele toepassingen in funderingen en onderfunderingen van wegen. Daarnaast zorgt de chemische samenstelling (uitloging van sulfaten) mogelijk ook voor problemen in andere toepassingen (ophoging, aanvulling, beton) of op stortplaatsen.

Hierdoor is er voor de stroom cellenbetonafval geen directe of goede afzetmarkt. Ook inzet in het cellenbetonproductieproces zelf (sluiten van de kringloop) zou enkel mogelijk zijn wanneer het afvalproduct zuiver genoeg is, wat na sloopwerken niet eenvoudig te garanderen is. Er is nood aan een duidelijk en praktisch kader waarbinnen deze fractie van het bouw- en sloopafval zinvol kan worden verwerkt, en liefst zo hoogwaardig mogelijk kan worden ingezet.

1.2 Aanpak

Doel van de studie uitgevoerd door WTCB in samenwerking met VITO is om de kringloop van het product cellenbeton zo goed mogelijk te sluiten en antwoorden te bieden op de knelpunten en vragen die rond het hergebruik en de (hoogwaardige) recyclage van cellenbeton op dit moment nog bestaan.

Het valoriseren van afval als nuttige toepassing is een samengaan van drie aspecten: technische performantie in functie van de toepassing, impact op het milieu (zowel rechtstreeks via uitloging naar grond en grondwater als op macroschaal ten gevolge van transport, nodige opwerkingstappen, ...), en praktische haalbaarheid en marktvoorwaarden (logistiek, kostprijs, marktwerking, regelgeving, ...). Deze drie aspecten komen aan bod in voorliggend onderzoek.

Omdat men een aantal vragen stelt bij de mogelijke uitloging van sulfaten bij cellenbeton, wordt in de eerste fase van het onderzoek de milieu-impact van de recyclage van cellenbeton onderzocht. De langetermijn-uitloging van sulfaat uit cellenbeton wordt onderzocht en vergeleken met – enigszins vergelijkbare – bouwmaterialen om een vergelijking in aanpak toe te laten. Hierbij wordt gebruik gemaakt van experimenteel uitloogonderzoek aangevuld met een (beperkte) geochemische modellering. Dit onderzoek laat toe niet enkel de sulfaatuitloging te kwantificeren maar ook het uitlooggedrag en de uitloogkarakteristieken in kaart te brengen. Vervolgens zullen deze gegevens gebruikt worden voor een evaluatie van de milieu-impact bij hergebruik van cellenbeton in de praktijk alsook om mogelijke maatregelen te definiëren om de impact te beperken. Deze taak zal een antwoord geven op de vraag wat de milieu-impact is die gepaard gaat met de langetermijnuitloging van sulfaat uit gebroken cellenbeton en in hoeverre deze impact verschilt van die van andere materialen zoals beton en baksteen. Een logische laatste stap in deze taak is dan ook bepalen in hoeverre andere criteria en een ander verwerkingstraject moeten aangewend worden voor de nuttige aanwending van gebroken cellenbeton.

De tweede fase van voorliggende studie verkent de twee andere pijlers: de stand van zaken in de markt, de huidige omgang met cellenbetonafval in de Vlaamse praktijk en inventarisatie van technische pistes voor recyclage. Er wordt via een bevraging van experts en rechtstreeks betrokken actoren een overzicht gemaakt van de huidige afzetkanalen en de mogelijkheden voor nuttig hergebruik van cellenbetonafval en welke knelpunten hierbij nog bestaan (logistiek, marktwerking, technische uitdagingen, ...). Hierbij wordt 'de keten' gevolgd. Er wordt gestart bij het productieproces, en via de verwerking van afval wordt een stand van zaken opgemaakt over mogelijkheden en bestaande initiatieven (en onderzoek) rond hergebruik. Hierbij wordt ook over de grenzen heen gekeken (naar Nederland, Duitsland en Wallonië) om uit de werkwijze en ervaringen rondom Vlaanderen lessen te kunnen trekken.

In fase 3 van de studie worden een aantal pistes die vooraf als interessant werden geacht verder uitgediept. Om tot een effectief en succesvol hergebruik te komen, is immers een duidelijk zicht nodig op wat hiervoor de technische en praktische vereisten zijn. In samenspraak met actoren uit de verschillende sectoren (cellenbeton, beton, cement, ...) wordt in eerste instantie een toepassingskader opgesteld, aangevuld met een beperkt proefprogramma waar relevant, om de (technische) mogelijkheden van toepassing van cellenbetonafval te toetsen. Dit laat toe de haalbaarheid van een aantal pistes in te schatten, alsook om eventueel voor het cellenbeton zelf kwaliteitseisen op te leggen (afkomst, graad van zuiverheid, manier van aanleveren).

In fase drie komen daarnaast ook de twee andere aspecten aan bod: welke impact heeft gebruik van cellenbeton in beton of cement op het milieu (uitloging van sulfaten) en op lange termijn (duurzaamheid, recyclage van recyclageproduct) en op welke manier kan een keten met als eindresultaat 'nuttige toepassing' praktisch worden georganiseerd (inzamelsysteem, sorteren en/of opwerken, medewerking van actoren in de keten, ...). Van de opgelijste technische pistes wordt een SWOT-analyse gemaakt, waarbij aandacht is voor zowel milieu, logistiek, praktische aspecten en technische haalbaarheid.

Op basis van de verzamelde informatie in de eerste drie fasen, wordt in fase 4 tot slot een aantal acties en vervolgpistes aangereikt om de huidige praktijk te verbeteren, en het aanwezige recyclagepotentieel te realiseren.

1.3 Opbouw rapport

Voorliggend document is gestructureerd volgens de verschillende fasen in het onderzoek. In Hoofdstuk 2 komt het uitloogonderzoek aan bod, in Hoofdstuk 3 wordt de stand van zaken in Vlaanderen opgemaakt. Vervolgens wordt in Hoofdstuk 4 dieper ingegaan op een aantal technische pistes, en worden in Hoofdstuk 5 een aantal vervolgacties verder uitgewerkt. Tot slot worden in het besluit de belangrijkste conclusies uit het studiewerk hernomen.

2 Milieu-impact: uitloging van sulfaten

2.1 Doelstelling en aanpak

Op dit moment is het gebruik van cellenbetonafval in ophogingen en aanvullingen, of het storten ervan op inerte stortplaatsen een potentieel probleem omwille van de uitloging van sulfaat. Doelstelling van dit hoofdstuk is de impact op het milieu ten gevolge van uitloging van sulfaat uit cellenbetonafval duidelijk in kaart te brengen. De langetermijn-uitloging van sulfaat uit cellenbeton wordt onderzocht en vergeleken met – enigszins vergelijkbare – bouwmaterialen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van experimenteel uitloogonderzoek aangevuld met een beperkte geochemische modellering. Dit onderzoek laat toe niet enkel de sulfaatuitloging te kwantificeren maar ook het uitlooggedrag en de uitloogkarakteristieken in kaart te brengen. Vervolgens zullen deze gegevens gebruikt worden voor een evaluatie van de milieu-impact bij hergebruik van cellenbeton in de praktijk alsook om mogelijke maatregelen te definiëren om de impact te beperken. De resultaten van dit onderzoek moeten een antwoord geven op de vraag wat de milieu-impact is die gepaard gaat met de langetermijn-uitloging van sulfaat uit gebroken cellenbeton en in hoeverre deze impact verschilt van die van andere materialen en in hoeverre andere criteria en een ander verwerkingstraject moeten aangewend worden voor het toepassen van gebroken cellenbeton.

2.1.1 Onderzochte monsters

Om de bovenstaande doelstelling te realiseren werden verschillende cellenbeton-monsters onderzocht van verschillende ouderdom en herkomst. Hiervoor werden twee monsters van de producent Xella onderzocht: met name een vers monster uit de recente productie alsook een monster afkomstig uit een binnenmuur van de fabriekshal van Xella. Deze muur werd geplaatst in de jaren '70-'71 met cellenbeton, waarvan de samenstelling vermoedelijk vergelijkbaar is met die van de huidige productie. Daarnaast werd ook cellenbeton bemonsterd uit zuiver sloopafval bestemd voor recyclage in cellenbeton. Op basis van de kleur kon worden vastgesteld dat dit cellenbeton aangemaakt is met vliegash. Het monster dateert vermoedelijk van de tijd dat in Burcht cellenbeton geproduceerd werd op basis van vliegash (< 1976). Naast deze cellenbetonmonsters werden ook een recent geproduceerde baksteen (snelbouwsteen) en traditionele betonmetselsteen in het onderzoek opgenomen om een vergelijking van de sulfaatuitloging van cellenbeton met ander bouwmaterialen te kunnen uitvoeren.

2.1.2 Uitloging, testen en regelgeving

Uitloging is een proces waarbij ionen uit een materiaal worden onttrokken door middel van contact met een vloeistof. Uitloging wordt vaak gebruikt om de mogelijke milieu-impact van het gebruik van bepaalde materialen in te schatten, omdat via uitloging mogelijke gevaarlijke componenten uit het materiaal worden vrijgezet en in de onderliggende bodem en/of grondwater terecht komen waar deze componenten nadelige effecten kunnen hebben op de daar levende flora en fauna.

In de regelgeving worden daarom limieten gesteld aan de uitloging van diverse componenten uit afvalstoffen om het milieu te beschermen. Dit is zowel het geval voor het storten van afvalstoffen op stortplaatsen als voor het gebruik van afvalstoffen in of als bouwstof.

□

Voor het storten van afvalstoffen zijn de Europese richtlijnen omgezet in Vlaamse regelgeving. Voor het storten van afvalstoffen zijn uitlooggrenswaarden vastgesteld voor sulfaat. De uitloging wordt in het kader van de acceptatiecriteria van stortplaatsen doorgaans bepaald via de schudtest conform CMA/2/II/A.12 of de kolomtest voor stortplaatsen conform CMA/2/II/A.9.5. Voor de schudtest moet het te beproeven materiaal voor 90% kleiner zijn dan 10 mm. De uitloging wordt uitgevoerd bij een vloeistof tot vaste stof verhouding van 10 (L/S= 10) gedurende 24 uur. Voor de kolomtest dient het materiaal kleiner te zijn dan 4 mm. De uitloging wordt

eveneens uitgevoerd bij een L/S= 10. De duur van de test bedraagt ongeveer 3 weken. Voor het gebruik van afvalstoffen in of als bouwstof is in Vlaanderen anno 2010 het Vlaams reglement inzake afvalvoorkoming en –beheer (VLAREA) van toepassing. Ook het VLAREA voorziet grenswaarden voor de uitloging van 8 metalen. Op dit moment is er echter nog geen grenswaarde voor sulfaat voorzien. Wel kan op analoge manier als voor de metalen een grenswaarde voor sulfaat berekend worden. In de VLAREA-regelgeving maakt men ook een onderscheid tussen vormgegeven en niet-vormgegeven toepassingen, waarbij voor deze twee types toepassing verschillende uitloogtesten dienen uitgevoerd te worden, met name de kolomtest voor niet-vormgegeven bouwmaterialen, bijvoorbeeld voor toepassing in ophogingen, funderingen, etc. en de diffusietest voor vormgegeven toepassingen, bijvoorbeeld bij verwerking van afvalstoffen als granulaat in betonproducten.

De uitloging van een element uit een materiaal wordt grotendeels bepaald door de chemische speciatie van dat element en de mogelijke verdeling van het element over verschillende chemische vormen. Door de mineralogische samenstelling van het cellenbeton te bepalen kan men al heel wat te weten komen over de speciatie van de hoofdelementen. De uitloging van sulfaat kan voorspeld worden op basis van de oplosbaarheid van de in het cellenbeton aanwezige zwavelhoudende mineralen.

Doordat de mineralogische samenstelling van cellenbeton kan wijzigen door interactie met CO₂ uit de lucht is het belangrijk ook het effect van veroudering mee in rekening te brengen bij een evaluatie van de uitloging. Cellenbeton dat in het bouw- en sloopafval voorkomt is immers al vaak enkele decennia oud waardoor de samenstelling behoorlijk kan afwijken van vers en recent geproduceerd cellenbeton.

2.2 Cellenbeton: karakteristieken

2.2.1 Productieproces en herkomst van sulfaat

Cellenbeton is een materiaal met zeer veel kleine poriën en een dichtheid van 350 tot 800 kg/m³. Cellenbeton werd ontwikkeld in Zweden tussen 1920 en 1930. Ytong is de merknaam voor bouwstenen uit cellenbeton. De naam is afgeleid van het Zweeds 'Yxhults ånghärdade gasbetong', en betekent uitgehard gasbeton uit Yxhult. Ytong werd in 2001 door de Xella groep overgenomen.

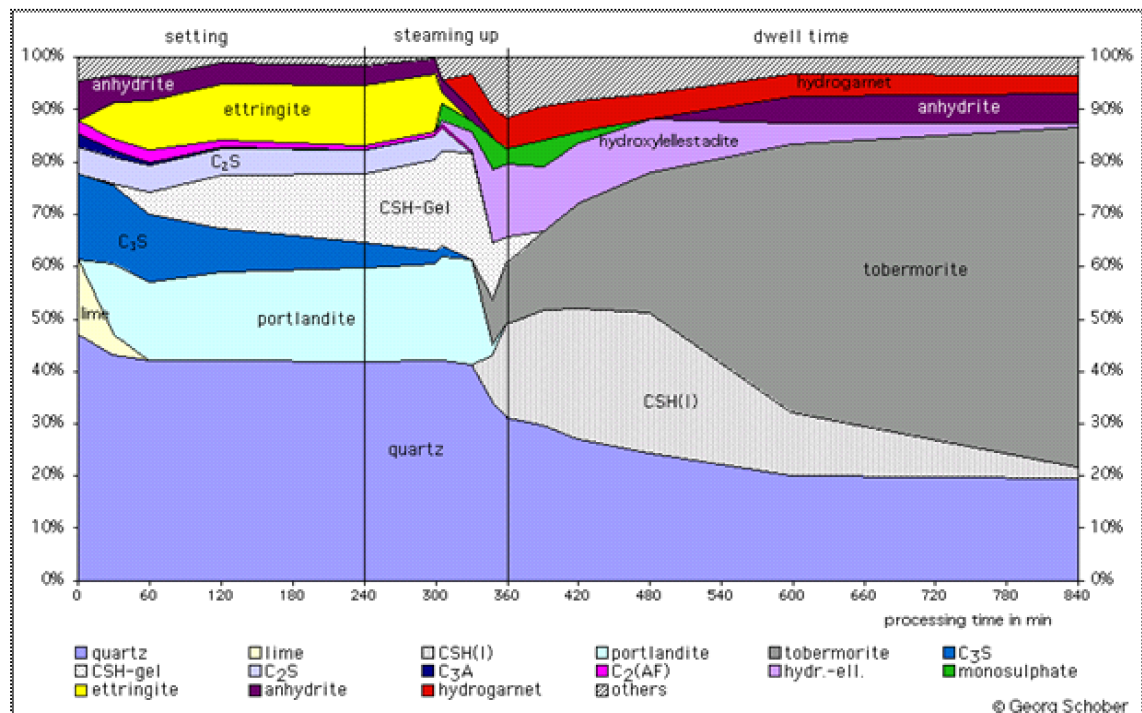
Cellenbeton wordt gemaakt van cement, kalk, zand of vliegas, aluminiumpoeder en water. Het zand wordt gemalen tot poeder, gemengd met water, cement en ongebluste kalk. Aan dit mengsel wordt aluminiumpoeder toegevoegd, waarna het mengsel in een mal wordt gegoten. De mal wordt tot 1/3 van de hoogte gevuld en men laat het mengsel gedurende 30 minuten tot 4 uur (in Burcht 2 uur) reageren. Het cement en de ongebluste kalk reageren met water waardoor het mengsel verstijft. Tegelijkertijd reageert het aluminiumpoeder met de hydroxides van de ongebluste kalk en het cement, waardoor waterstofgas wordt gevormd. De vorming van de waterstofbelletjes doet het materiaal rijzen zoals brooddeeg. Waterstof ontsnapt geleidelijk en wordt vervangen door lucht. Na enkele uren heeft het materiaal voldoende sterkte ('green strength') om op maat gezaagd te worden door middel van stalen draden. De sterkte is op dit moment echter nog beperkt. Nadien gaat het product in de autoclaaf bij een druk van 10-12 bar en een temperatuur van 180°C gedurende 8 tot 16 uur (16 uur in Burcht) om het hydratatieproces te bespoedigen en de vorming van kristallijne calcium-silicaat-hydraat (CSH) fases (vnl. tobermoriet) te bewerkstelligen. Het zijn deze kristallijne verbindingen en vooral de verhouding van kristallijne ten opzichte van amorfe CSH verbindingen die de sterkte van het geproduceerde cellenbeton bepalen.

In FIGUUR 1 is een voorbeeld gegeven van welke faseveranderingen kunnen optreden tijdens de productie van cellenbeton in functie van processtap en reactietijd (Schrober, 2007). Doordat de reactiemechanismen nog niet goed begrepen zijn kan deze figuur afwijken van de interpretaties/observaties gemaakt door andere auteurs. Recent zijn de reacties door in-situ X-stralendiffractie analyses in beeld gebracht door Kikuma et al. (2010).

Belangrijkste observatie voor deze studie is dat zwavel in het eindproduct aanwezig kan zijn in 2 verschillende mineralogische vormen, met name hydroxylelestadiet en anhydriet.

Hydroxylelestadiet wordt gevormd vanaf 150°C en reageert met opgelost kwarts waarbij

tobermoriet en anhydriet wordt gevormd (Sakiyama et al., 2000; Schrober, 2005). Als intermediaire producten kunnen ook ettringiet ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$) en/of monosulfaat ($\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{O}_6(\text{SO}_4)\cdot 14\text{H}_2\text{O}$) voorkomen.



Figuur 1: Faseveranderingen die kunnen optreden tijdens de productie van cellenbeton op basis van kwartzand, cement, kalk en anhydriet als voornaamste grondstoffen gaande van het mengen van de grondstoffen tot finaal product. (Schrober, 2007)

De samenstelling en structuur van cellenbeton is afhankelijk van de gebruikte grondstoffen en het toegepaste productieproces. Zo bevat cellenbeton aangemaakt met zand doorgaans meer kristallijne calciumsilicaten dan cellenbeton gemaakt met vliegglas (Narayanan en Ramamurthy, 2000). Weinig kristallijn cellenbeton bevat CSH (I), dat qua structuur tussen CSH-gel en kristallijn tobermoriet ($\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 0.83$) ligt. CSH (I) bevat variabele hoeveelheden calcium en silicium ($0.75 < \text{CaO}/\text{SiO}_2 < 1.5$) en water, waardoor het gemakkelijk wordt omgezet en bijvoorbeeld zeer gevoelig is voor carbonatatie aan de lucht. De CSH (I) fase is ook veel gevoeliger voor krimp dan tobermoriet, daarom moet de vorming van CSH (I) tijdens de productie van cellenbeton zoveel mogelijk vermeden worden. Dit wordt o.a. gerealiseerd door toevoeging van anhydriet en/of gips aan de grondstoffen. De toevoeging van calciumsulfaat geeft immers aanleiding tot de vorming van meer kristallijne CSH fasen (vooral tobermoriet), dat een hogere sterkte geeft en ervoor zorgt dat het gevormde cellenbeton minder krimpgevoelig is. De mechanismen die verantwoordelijk zijn voor de vorming van meer kristallijne CSH (tobermoriet) zijn nog niet goed begrepen (Straube et al., 2008). Calciumsulfaat wordt aan de grondstoffen voor de productie van cellenbeton toegevoegd sinds 1967 (Clementi, 1967; Straube et al., 2008).

Voor meer informatie over de mogelijke werking van de toegevoegde sulfaten bij de productie van cellenbeton verwijzen we naar de doctoraats thesis van Walk-Laufer (2002). Het percentage van goed kristallijne CSH-fasen (vnl. tobermoriet) in cellenbeton zou 30 tot 40% bedragen (Dietz en Bohnemann, 2000).

2.2.2 De mineralogische samenstelling van cellenbeton

De mineralogie van cellenbeton wordt zoals reeds vermeld bepaald door de gebruikte

grondstoffen en het toegepaste productieproces. De voornaamste minerale bestanddelen van cellenbeton zijn: Tobermoriet [$\text{Ca}_5(\text{OH})\text{Si}_6\text{O}_{16}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$] en Kwarts [SiO_2] die samen meer dan 80% uitmaken van de cellenbeton (Figuur 1).

De voornaamste sulfaatmineralen zijn anhydriet (CaSO_4), gips ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$), en hydroxyllestadiet ($\text{Ca}(\text{SiO}_4)_3(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_2$). Anhydriet is doorgaans het belangrijkste zwavelhoudend mineraal en is vaak ook het enige dat via de poederdiffractie (XRD) techniek wordt gedetecteerd. Hydroxyllestadiet wordt bij aanvang van het autoclaveren gevormd, nadien wordt het omgezet in anhydriet en tobermoriet (zie Figuur 1). Indien deze omzetting niet volledig is, kan ook hydroxyllestadiet in cellenbeton worden gedetecteerd via XRD. Andere mineralen die in cellenbeton gemaakt met zand kunnen voorkomen zijn: calciet [CaCO_3], dolomiet [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], albiet [$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$], kaoliniet [$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$], orthoklaas [KAlSi_3O_8], en biotiet [$\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$], (Alandjiyska, 2003).

In het kader van deze studie werden 3 stalen cellenbeton van verschillende ouderdom bemonsterd. De mineralogie van deze 3 monsters werd bepaald door middel van de poederdiffractie (XRD) methode.

X-stralen poederdiffractie (XRD) is een diffractie techniek waarbij een poeder, bestaande uit een zeer groot aantal, meestal volledig willekeurig georiënteerde, kristallieten wordt blootgesteld aan een bundel straling. De strooiing (diffractie) van de X-stralen wordt als functie van de strooiingshoek 2θ gemeten. Omdat de oriëntatie in het poeder willekeurig is, is er altijd een bepaalde fractie van het poeder dat in de juiste oriëntatie is ten opzichte van de invallende bundel om aan de wet van Bragg ($2d\sin\theta = \lambda$) te voldoen voor een bepaald kristalvlak (hkl).

Met d = de afstand tussen de vlakken in een kristalrooster;
 θ = de hoek tussen de invallende X-stralen en de kristalvlakken;
 λ = de golflengte van de straling;
 n = geheel getal en geeft orde van diffractie.

Her resultaat is dat de gestrooide intensiteit als functie van θ een aantal pieken vertoont, in principe voor ieder kristalvlak (hkl) een piek. Waarbij elk mineraal bestaat uit een andere combinatie van d waarden.

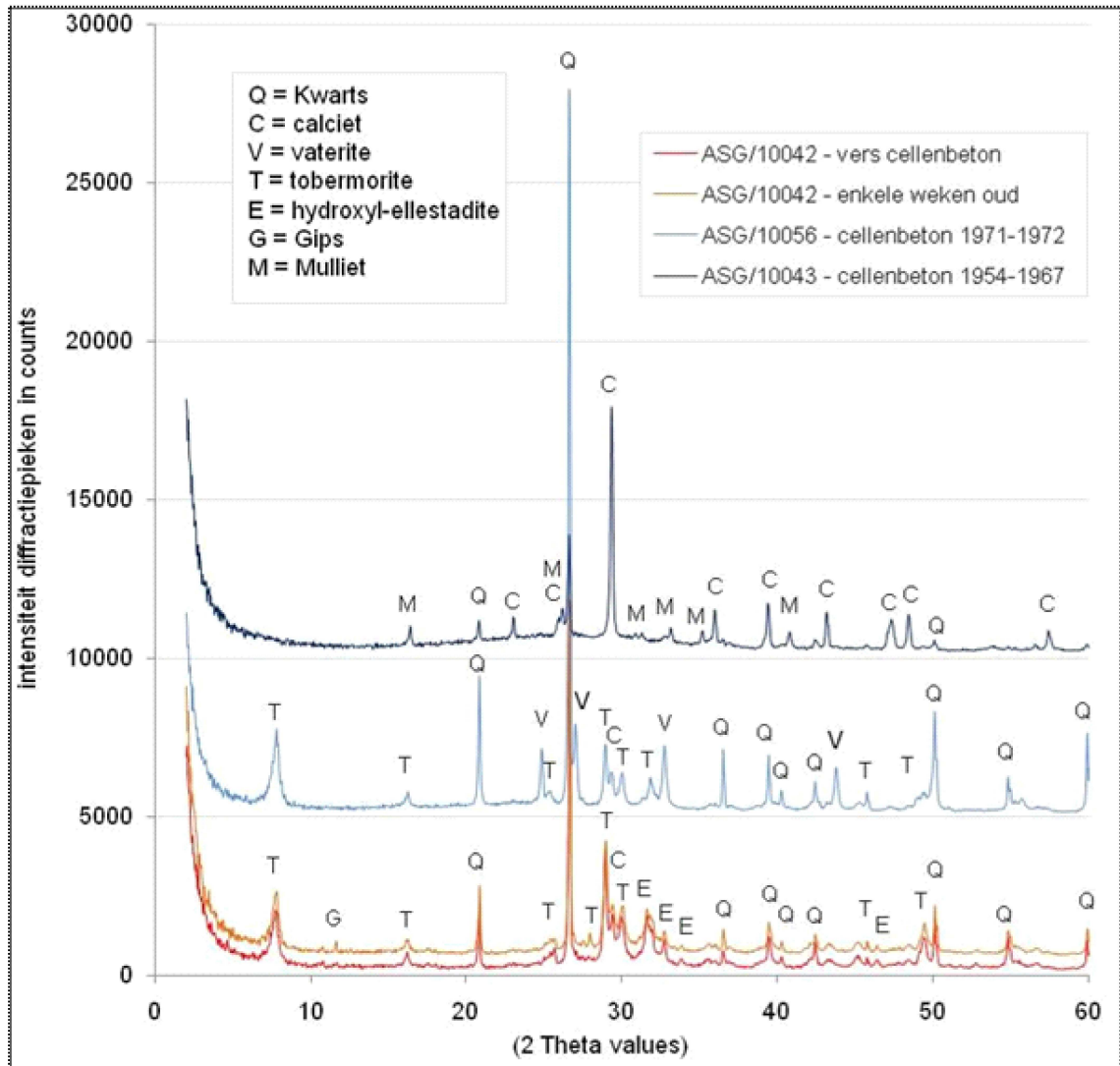
De diffractiepieken bestaan vaak uit meer dan een signaal. Door het samenvallen van de informatie is het soms moeilijke te identificeren welk(e) kristalvlak(ken) precies tot welke piek behoren. De intensiteit van de pieken laat toe de verschillende minerale bestanddelen in een materiaal te kwantificeren, bijvoorbeeld door middel van de Rietveld methode. Niet-kristallijne (amorphe) materialen zoals CSH zijn met deze methode moeilijk te kwantificeren. Deze materialen bevatten geen kristalvlakken waarop de X-stralen kunnen diffracteren. Dergelijke materialen zorgen doorgaans wel voor een lokale verhoging van de achtergrondwaarden. Mineralen die slechts in geringe hoeveelheid aanwezig zijn in het te analyseren poeder (< 3 à 5%) zijn vaak niet met de XRD-methode te detecteren.

In FIGUUR 2 worden de XRD-resultaten grafisch weergegeven.

In het vers cellenbeton (recent productieafval van Xella) werden de volgende mineralen aangetroffen: kwarts, tobermoriet, calciet, hydroxyllestadiet, gips (gering) en anhydriet (?). Gezien de relatief lange verblijftijd in de autoclaaf is de hoge concentratie hydroxyllestadiet verwonderlijk. Hydroxyllestadiet zet immers om in tobermoriet en anhydriet.

In cellenbeton van 1971-1972 (verouderd cellenbeton van Xella) werden de volgende mineralen aangetroffen: kwarts, tobermoriet, vateriet, calciet. Dit monster maakte deel uit van een muur van de productiehal van Xella, waardoor de ouderdom alsook de herkomst van het staal gekend zijn.

In cellenbeton van < 1967 en gemaakt op basis van vliegas in plaats van zand werden de volgende mineralen aangetroffen: calciet, kwarts, mulliet, en in vergelijking tot boventaande cellenbeton monsters een veel hoger gehalte amorf CSH en aluminosilicaten. De belangrijkste bestanddelen van vliegas zijn amorphe aluminosilicaten, kwarts, mulliet en ijzermineralen.



Figuur 2: XRD-analyses van cellenbeton van verschillende ouderdom. Het oudste staal bevat geen tobermoriet maar wel veel meer amorphe CSH verbindingen, zoals blijkt uit –de verhoogde achtergrondwaarden tussen 15 en 35 ° (2 Theta waarden).

Uit de analyse van de verschillende cellenbetonstalen blijkt dat de samenstelling varieert in functie van herkomst (receptuur) en ouderdom. In Tabel 1 is een overzicht gegeven van het zwavel gehalte en zwavel mineralogie van courant gebruikte bouwstoffen en cellenbeton.

Materiaal	Totaal S uitgedrukt als SO ₃ (%)	Mineralogie S vers materiaal	Mineralogie S verouderd materiaal	bronnen
Cellenbeton				
Cellenbeton	niet bepaald	gips	gips	Kus & Carlsson, 2003
	0.89 - 4.52	anhydriet, bassaniet,	anhydriet/ gips,	Matsushita et al., 2004; Straube et al. 2008
Vers cellenbeton (ASG/10042)	3.00	hydroxyl-ellestadiet Gips, (anhydriet ?)		deze studie
Cellenbeton 1971-72 (ASG/10056)	0.87		-	deze studie
Andere cement en beton producten				
Portland cement	1.25 - 3.75*	gips (2-10%)		wikipedia
Klassiek beton	0.2 – 0.4	Ettringiet/ monosulfaat	Ettringiet/gips	
Beton Grobbendonk (ASG/10054)	< 0.12	ettringiet		deze studie
Vezelcement	0.5 - 1.0	?	?	eigen onderzoek
Keramische materialen (gebakken klei)				
geëxpandeerde kleikorrels	1.0 - 4.6	vooral sulfides (troiliet (FeS) /pyrrhotiet (Fe _{1-x} S)		eigen onderzoek
Snelbouw baksteen	0,6 - 1,4	anhydriet/ sulfiden	anhydriet/gips sulfiden	o.a. Reinhold & Muller, 2002
Snelbouw baksteen (ASG 10041)	0.97	gips		deze studie
Gevelsteen	0.02 - 0,6	anhydriet/ sulfiden	anhydriet/gips/ sulfiden	
Andere bouwmaterialen				
kalkzandsteen		geen S-mineralen		
*Typisch 1.8-3.1%				

Tabel 1: Overzicht zwavel gehalte, en zwavel mineralogie in cellenbeton en courant gebruikte bouwmaterialen.

2.2.3 Veroudering van cellenbeton

Tijdens veroudering van cellenbeton treedt carbonatatie op. Carbonatatie is de reactie van portlandiet en Ca-houdende silicaten (CSH) met CO₂ uit de lucht waardoor calciet of vateriet wordt gevormd. Voor cellenbeton zijn de veranderingen die gepaard gaan met carbonatatie gegeven door onderstaande reacties:



en

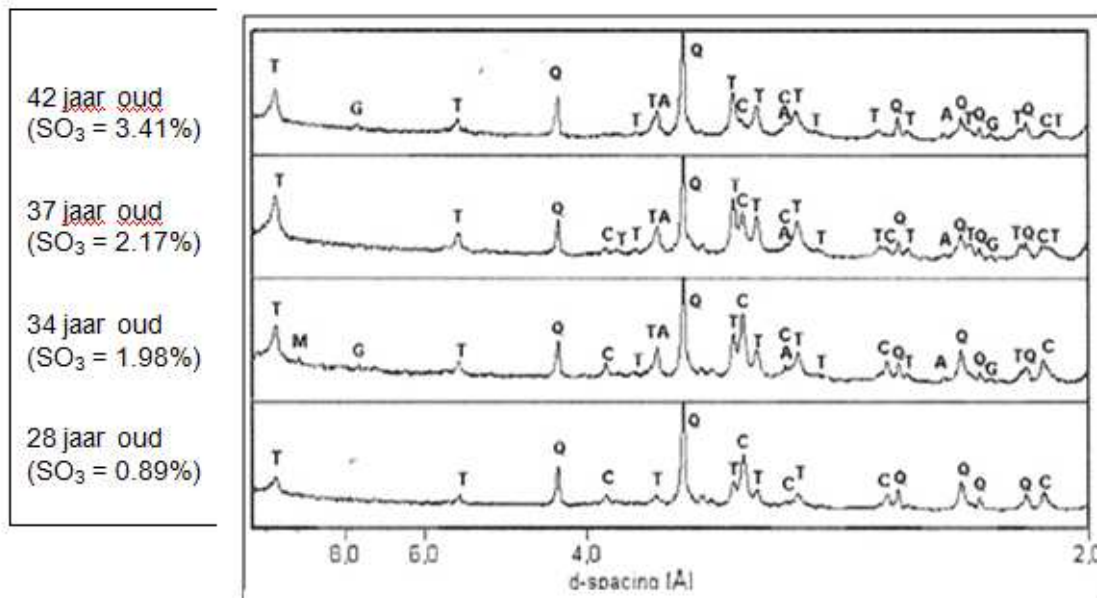


De carbonatatie zorgt voor een reductie van de pH van het cellenbeton. Vers cellenbeton wordt gekarakteriseerd door een pH van ongeveer 12, ten gevolge van de aanwezigheid Ca(OH)₂. Volledig gecarbonateerd cellenbeton heeft een pH van ongeveer 8 (evenwicht met calciet). De reductie in pH zorgt er voor dat bepaalde sulfaathoudende mineralen niet langer stabiel zijn en

worden omgezet. Dit is het geval voor ettringiet en mogelijk ook voor hydroxylellestadiet.

Literatuurgegevens

Straube et al (2008) hebben via XRD-analyse de samenstelling van cellenbeton van verschillende ouderdom getest. De monsters zijn echter afkomstig uit verschillende regio's in Duitsland en niet noodzakelijk aangemaakt volgens dezelfde receptuur. De resultaten van hun XRD-analyses zijn weergegeven in FIGUUR 3



Figuur 3: XRD- analyses van kernen uit 4 cellenbeton monsters van verschillende ouderdom: T = tobermoriet, Q = kwarts, C = calciet, A = anhydriet, G = gips, M = muscoviet (overgenomen uit Straube et al., 2008).

Ondanks de op het eerste zicht vergelijkbare samenstelling van de cellenbetonmonsters zien we dat de hoeveelheid calciet (op basis van de intensiteit van de diffractiepieken) niet toeneemt met de ouderdom van de monsters. Opmerkelijk is ook dat het zwavelgehalte toeneemt met de ouderdom van de stalen. Anhydriet en gips zijn de sulfaathoudende mineralen die werden gedetecteerd.

Kus & Carlsson (2003) die zowel niet verouderde als natuurlijk en artificieel verouderd cellenbeton bestudeerden, namen in de niet-verouderde stalen homogeen verdeelde gipskristallen waar. In de artificieel verouderde stalen was gips in nesten van naaldvormige kristallen geconcentreerd. De groei van gipskristallen werd ook vastgesteld op het oppervlak van natuurlijk verouderd cellenbeton. Vanuit de XRD-analyses blijkt vooral tobermoriet en anhydriet te verdwijnen terwijl calciet dominant wordt, de toename in gips bij veroudering is veel minder duidelijk.

Matsushita et al. (2000) hebben de natuurlijke en versnelde carbonatatie bestudeerd van cellenbeton in Japan. Zij rapporteren voor niet-gecarbonateerd onbehandeld cellenbeton de volgende mineralen: tobermoriet-1.1nm, □-kwarts, anhydriet (CaSO₄) en bassaniet (2CaSO₄.H₂O). In de XRD-analyses van natuurlijk verouderde stalen werd anhydriet en bassaniet vaak niet teruggevonden, maar is wel gips (CaSO₄.2H₂O) aanwezig. De auteurs gaan er vanuit dat anhydriet en bassaniet oplossen en herkristalliseren tot gips. In de versnelde verouderde monsters zijn anhydriet en bassaniet wel aanwezig en is geen gips zichtbaar. De auteurs stellen dat de tijd voor herkristallisatie tot gips mogelijk in deze experimenten te kort was (50 dagen bij 3 vol% CO₂, 90% relatieve vochtigheid en 20°C).

De intensiteit van de XRD-diffractiepieken van tobermoriet-1.1nm nam zowel af tijdens de natuurlijke als de versnelde carbonatatie terwijl de intensiteit van de calciet en vateriet diffractiepieken toenam. Vateriet werd slechts aangetroffen vanaf een carbonatatiegraad van ongeveer 30%. Vateriet is een polymorf van CaCO₃. Het is een metastabiele fase die bij

normale omgevingstemperatuur beter oplosbaar is dan calciëet en aragoniet. In contact met water wordt vateriet omgezet naar calciëet bij lage temperatuur en naar aragoniet bij hoge temperatuur.

Besluit literatuur gegevens

Op basis van de literatuurgegevens blijkt zwavel in cellenbeton vooral aanwezig te zijn als anhydriet, bassaniet en gips. Tijdens natuurlijke veroudering worden anhydriet en bassaniet opgelost en (deels) omgezet tot gips. Dit betekent dat de uitloging van cellenbeton vooral bepaald wordt door de oplossing van gips en eventueel nog aanwezig anhydriet.

Deze studie

In deze studie werden XRD opnames van vers cellenbeton (productieafval) vergeleken met cellenbeton geproduceerd in 1971-72 en met cellenbeton dat vermoedelijk voor 1967 is geproduceerd en waarin vliegash (afkomstig van steenkoolverbranding) is verwerkt. In het oudste monster is calciëet een belangrijke component, maar ook in de twee andere monsters van cellenbeton uit 1971-1972 en in vers aangemaakt cellenbeton is calciëet (CaCO_3) aanwezig. In het cellenbeton van 1971-1972 is bovendien vateriet (CaCO_3) een belangrijke component. Enkel in het verse monster zagen we in de XRD analyses sulfaathoudende mineralen met name hydroxylellestadiet ($\text{Ca}_{10}(\text{SiO}_4)_3(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_2$) en nauwelijks detecteerbaar gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Anhydriet is mogelijk niet detecteerbaar omdat de hoofddiffractiepiek van anhydriet samenvalt met een van de diffractiepieken van tobermoriet. In de twee oude cellenbeton monsters werden geen sulfaat houdende mineralen waargenomen. Vermoedelijk omdat de aanwezige concentraties te laag zijn om via XRD gedetecteerd te worden.

2.3 Uitlooggedrag van cellenbeton en andere bouwmaterialen

2.3.1 Overzicht resultaten uitloging

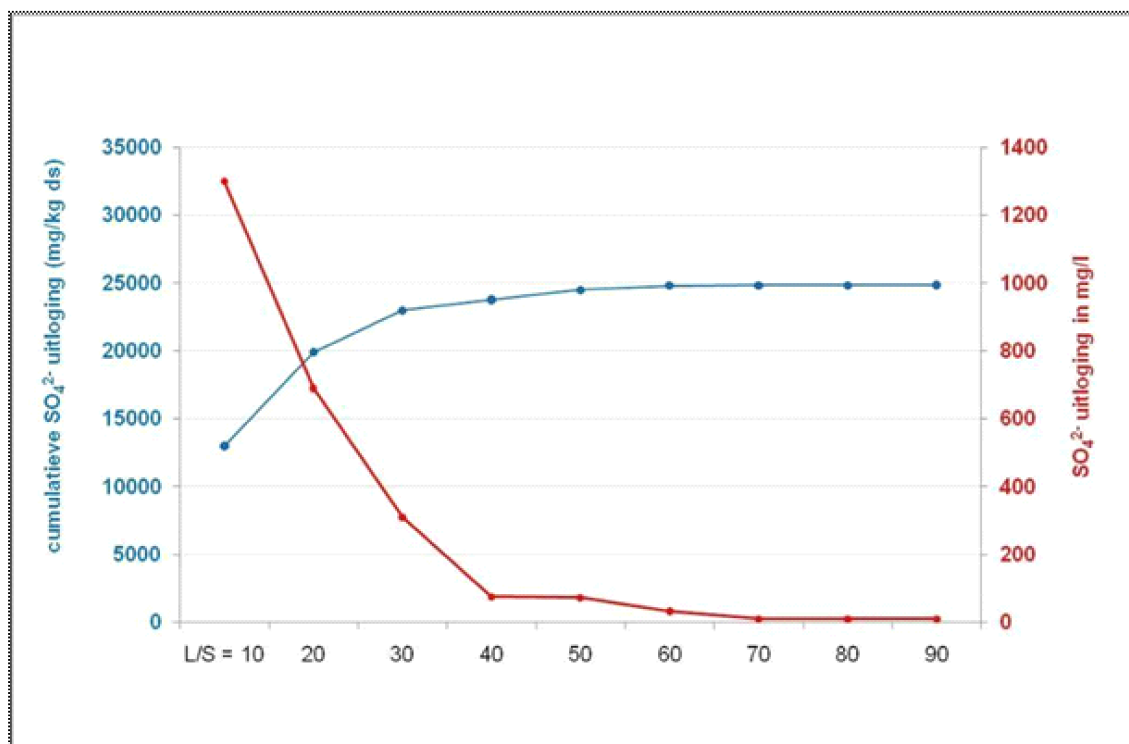
In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de uitloging van sulfaat uit cellenbeton en andere bouwmaterialen.

Materiaal	Uitloging SO ₄ (in mg/kg)		Bron
	kolomtest L/S = 10	schudtest L/S=10	
Cellenproducten			
Cellenbeton		12600* 460 - 16890	Lang-Beddoe & Schrober, 1999 Reinhold en Müller, 2002;
	~18.000 13000 11036		Oude data van INTRON (Gipsnet, 2010) Xella, 2003; Eerland, 2010 deze studie
Cellenbeton 1971-72	6048		deze studie
Betonproducten			
Gerecydeerd betongranulaat	32-300 ^x (111, n=263)		de Wijs en Cleven, 2007
	1.2 - 230 (70, n=17)		OVAM, 2006
Klassiek beton	< 30		deze studie
Grof keramische producten			
geëxpandeerde klei	380-3000 (1330, n=5)		de Wijs en Cleven, 2007
Menggranulaat	100-1600 ^y (580, n=3893)		de Wijs en Cleven, 2007
	120-3200 (1043, n=28)		OVAM, 2006
snelbouw	10917	8700	eigen onderzoek deze studie
Gevelsteen	73-759		
Andere bouwmaterialen			
kalkzandsteen	27-150 (70, n=3))		de Wijs en Cleven, 2007
Gips	14120 - 17650	14120 - 17650	Op basis van oplosbaarheid van gips van 2 tot 2,5 g/l
*gemiddelde voor 24 productie eenheden in Duitsland			
^x Hier is gewerkt met het 90 percentiel, echte range is 11 – 1800 mg/kg			
^y Hier is gewerkt met het 90 percentiel, echte range is 20 - 12000 mg/kg			

Tabel 2: Overzicht uitloging van sulfaat uit bouwmaterialen.

2.3.1.1 Uitloging van cellenbeton bepaald met de kolomtest

Door XELLA werden resultaten ter beschikking gesteld van één kolomproef (NEN 7343) uitgevoerd in 2003 op hetzelfde cellenbeton monster waarbij maandelijks een doorstroming werd gerealiseerd van L/S= 10 (in 1 fractie) en de sulfaatconcentratie van het eluaat werd bepaald. De resultaten van de test zijn in FIGUUR 4 weergegeven. In de eerste fractie is de sulfaatconcentratie in het eluaat ongeveer gelijk aan de concentratie van in evenwicht met gips en/of anhydriet. Na 9 metingen bleek dat het sulfaat in het testmateriaal was uitgeput en werd de uitloogproef stopgezet. Op dat moment was 25 g SO₄/kg cellenbeton uitgelogd. Vanaf de 7de fractie (cumulatieve L/S=70) was de sulfaatconcentratie niet meer bepaalbaar.



Figuur 4: Uitloging van sulfaat uit cellenbeton van XELLA bij uitvoering van de kolomuitloogtest (NEN7343) (data XELLA, 2003).

2.3.1.2 Uitloging van cellenbeton bepaald met de diffusieproef

In de INTRON-studie 'Monitoring kwaliteit Bouwstoffen 2006' zijn resultaten gegeven van de diffusieproef op cellenbeton. Voor diffusieproeven uitgevoerd in 2004 geeft het rapport 49.000 tot 72.000 mg/m² sulfaat uitloging met een gemiddelde van 59.000 mg/m² en voor diffusieproeven uitgevoerd in 2006 geeft het rapport 66.000 tot 83.000 mg/m² sulfaatuitloging met een gemiddelde van 74.000 mg/m². Volgens XELLA zouden proeven uitgevoerd in 2001 op cellenbeton aangemaakt zonder toevoeging van anhydriet aan het grondstofmengsel een uitloging gegeven hebben van 45.000 tot 55.000 mg/m², en met anhydriet toevoeging 70.000 mg/m². Deze waarden vallen binnen het bereik gerapporteerd in de INTRON studie.

2.3.2 Langetermijn uitlooggedrag van sulfaat uit bouwmaterialen

2.3.2.1 Methodiek

Om de lange termijn uitloging van de geselecteerde bouwmaterialen experimenteel te onderzoeken werd een aangepaste standaard kolomtest (CMA2/II/A.9.3) uitgevoerd. Voor het uitvoeren van de test werd het materiaal verkleind tot < 4 mm. Daar de korrelgrootte van het materiaal mogelijk een invloed heeft op de uitloging werd getracht voor alle materialen dezelfde korrelgrootte te bestuderen.

In het kader van dit onderzoek werden 10 eluaten onderzocht (L/S 0,1; 0,1; 0,3; 0,5; 1; 3; 5; 10; 10; 10). Na het bereiken van een cumulatieve L/S van 10 (dwz na de 7 fracties van de klassieke kolomtest) werd van gedemineraliseerd water als uitloogvloeistof overgeschakeld op water met pH 4. Bovendien werd na het opvangen van fractie 7, 8 en 9 het materiaal gedurende 1 week belucht. Concreet werden dus 3 beluchtingsweken ingebouwd. Door het invoeren van deze beluchtingsperiodes en het gebruiken van pH 4 water als uitloogvloeistof werd de veroudering van het materiaal versneld. Hierbij bedraagt de cumulatieve uitloging L/S 40. De totale uitvoeringstermijn van de test bedroeg 15 weken.

Een voordeel van deze aanpak is dat het eerste deel van deze test overeenstemt met de standaard kolomtest waardoor het aftoetsen aan VLAREA toetsingswaarden en nieuwe normvoorstellen mogelijk blijft. Op basis van de bekomen resultaten zal vervolgens de lange termijn uitloging van sulfaat en het uitloggedrag van sulfaat besproken worden. Vervolgens zal eveneens een vergelijking voor de verschillende bouwmaterialen uitgevoerd worden.

2.3.2.2 Resultaten van de kolomuitloogtest in 10 fracties

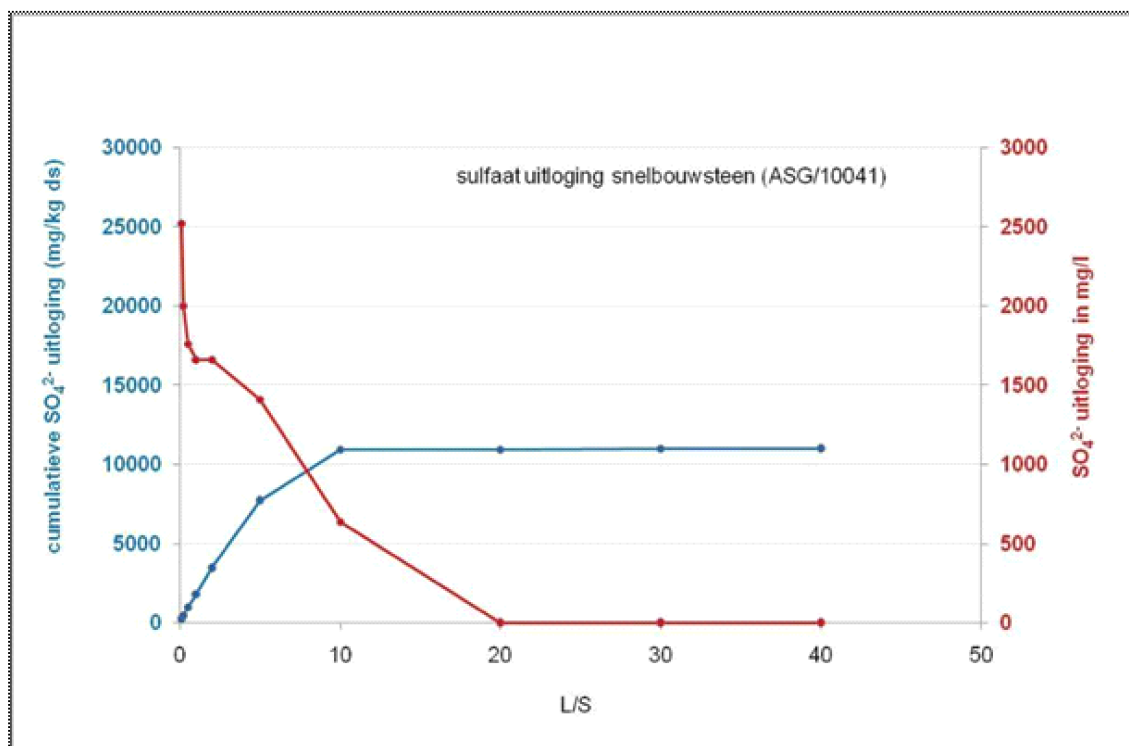
De resultaten van de kolomtesten zijn weergegeven in onderstaande tabellen en figuren.

ASG/10054 Grobbendonk beton							
L/S	L/S cum	SO ₄ mg/l	SO ₄ mg/kg cumulatief	Ca mg/l	Ca mg/kg cumulatief	pH	Geleidbaarheid mS/cm
(L/S=0.1)	0.1	<3.0	< 0.31	376	39	12.71	15.44
(L/S =0.1)	0.2	<3.0	< 0.62	475	87	12.68	13.09
(L/S =0.3)	0.5	<3.0	< 1.5	674	293	12.56	9.98
(L/S =0.5)	1.0	<3.0	< 3.0	63	325	12.53	8.58
(L/S =1.0)	2.0	<3.0	< 6.1	107	433	12.52	8.04
(L/S =3.0)	5.0	<3.0	< 15	42	558	12.55	7.83
(L/S =5.0)	10	<3.0	< 30	37	743	12.41	6.64
(L/S =10)	20	< 3.0	< 61	109	1870	12.15	3.71
(L/S =10)	30	24.3	237 - 298	191	3732	11.87	2.05
(L/S =10)	40	16.9	422 - 483	104	4874	11.56	1.13

Tabel 3: Uitloogresultaten van klassiek beton

ASG/10041 snelbouwsteen							
L/S	L/S cum	SO ₄ mg/l	SO ₄ mg/kg cumulatief	Ca mg/l	Ca mg/kg cumulatief	pH	Geleidbaarheid mS/cm
(L/S=0.1)	0.1	2520	268	560	60	8.16	3.37
(L/S =0.1)	0.2	2000	471	547	115	8.32	2.77
(L/S =0.3)	0.5	1760	989	588	288	8.08	2.41
(L/S =0.5)	1.0	1660	1818	584	580	8.50	2.33
(L/S =1.0)	2.0	1660	3485	576	1158	8.38	2.29
(L/S =3.0)	5.0	1410	7744	651	3125	8.63	2.24
(L/S =5.0)	10	639	10917	307	4649	8.97	1.20
(L/S =10)	20	< 3.0	10948	10.6	4756	8.12	0.66
(L/S =10)	30	< 3.0	10977	9.08	4846	9.08	0.056
(L/S =10)	40	< 3.0	11012	7.35	4932	8.33	0.069

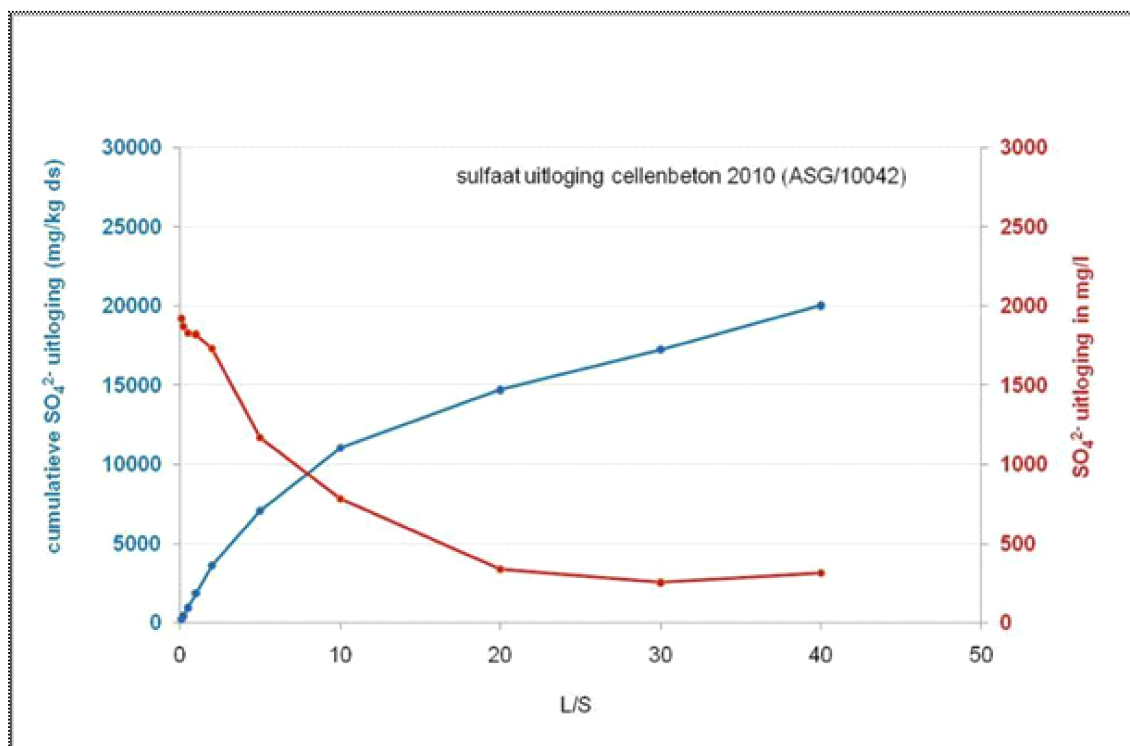
Tabel 4: Uitloogresultaten van de snelbouwsteen



Figuur 5: Sulfaatuitloging uit de snelbouwsteen

ASG/10042 Cellenbeton 2010							
L/S	L/S cum	SO ₄ mg/l	SO ₄ mg/kg cumulatief	Ca mg/l	Ca mg/kg cumulatief	pH	Geleidbaarheid mS/cm
(L/S=0.1)	0.1	1920	226	752	89	11.81	4.95
(L/S =0.1)	0.2	1870	438	751	173	11.84	5.05
(L/S =0.3)	0.5	1830	974	759	396	11.89	4.76
(L/S =0.5)	1.0	1820	1888	758	777	11.95	4.65
(L/S =1.0)	2.0	1730	3612	750	1524	11.98	4.64
(L/S =3.0)	5.0	1170	7093	574	3232	12.06	4.60
(L/S =5.0)	10	782	11036	351	5002	12.08	4.58
(L/S =10)	20	340	14706	297	8207	12.20	4.48
(L/S =10)	30	255	17258	425	12462	12.16	3.91
(L/S =10)	40	317	20027	224	16380	11.91	2.91

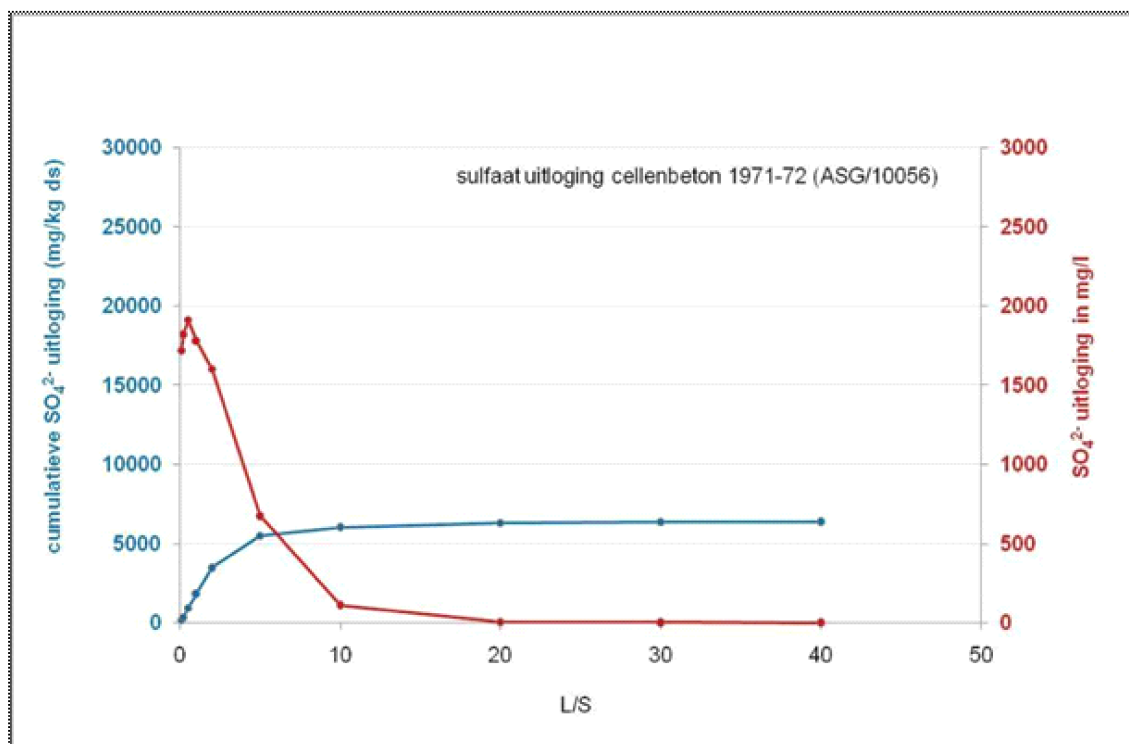
Tabel 5: Uitloogresultaten van het verse cellenbeton



Figuur 6: Sulfaatuitloging uit het verse cellenbeton

ASG/10056 Cellenbeton 1971-1972							
L/S	L/S cum	SO ₄ mg/l	SO ₄ mg/kg cumulatief	Ca mg/l	Ca mg/kg cumulatief	pH	Geleidbaarheid mS/cm
(L/S=0.1)	0.1	1720	174	1150	117	7.64	5.20
(L/S =0.1)	0.2	1820	360	925	211	7.67	4.26
(L/S =0.3)	0.5	1910	937	745	436	7.76	3.55
(L/S =0.5)	1.0	1780	1842	682	783	7.96	2.93
(L/S =1.0)	2.0	1600	3484	539	1336	8.40	2.35
(L/S =3.0)	5.0	676	5480	306	2239	8.41	1.28
(L/S =5.0)	10	114	6048	70	2588	8.60	0.34
(L/S =10)	20	6.0	6325	27	2650	8.99	0.138
(L/S =10)	30	4.1	6366	22	2870	8.72	0.136
(L/S =10)	40	< 3.0	6399	20	3086	8.72	0.127

Tabel 6: Uitloogresultaten van het cellenbeton van 1971-72



Figuur 7: Sulfaatuitloging uit het cellenbeton van 1971-72

2.3.2.3 Bespreking van het uitlooggedrag van de verschillende bouwstoffen

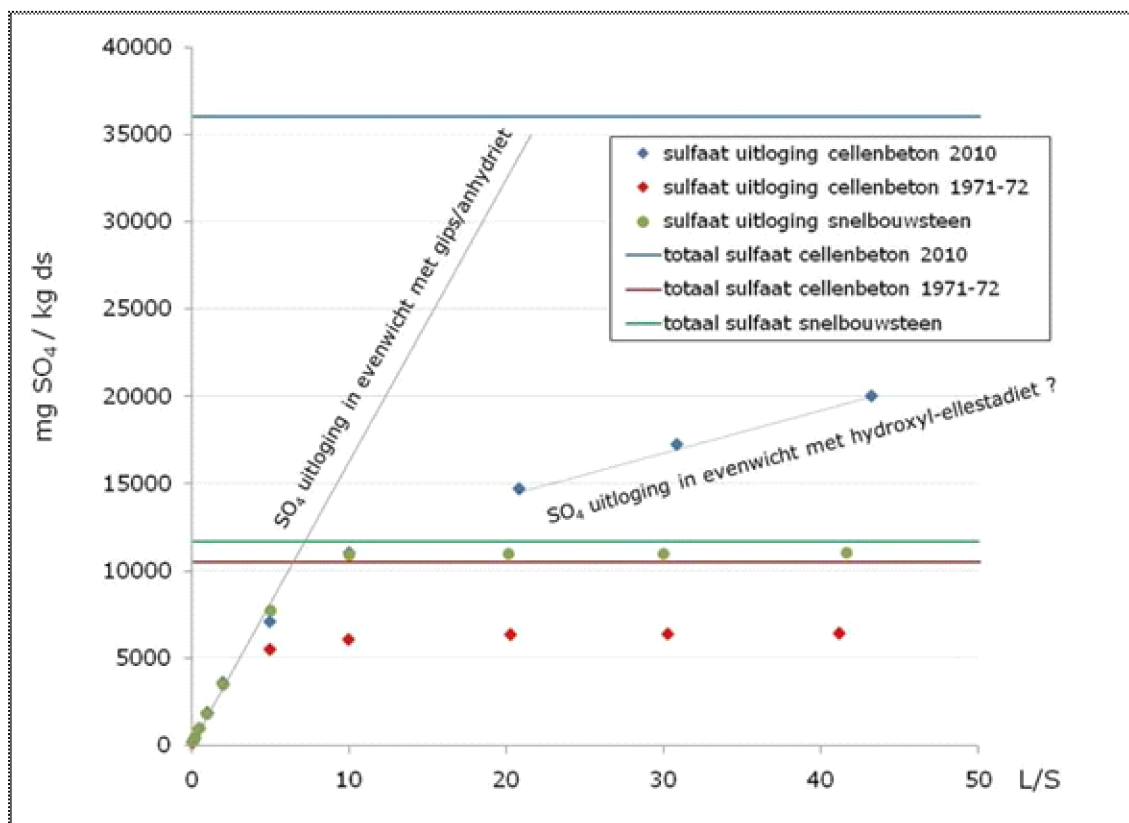
Om het uitlooggedrag te verklaren werd ook het totaal zwavelgehalte van de bouwstoffen bepaald. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 7.

Monstercode beschrijving	totaal S (%)		totaal SO ₄ (%)		mg SO ₄ /kg ds	
	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na*
ASG/10041 Snelbouwsteen	0,39	<0,2	1,17	<0,6	11700	690
ASG/10054 Beton	< 0,05	<0,05	< 0,15	<0,15	< 1500	< 1500
ASG/10042 cellenbeton 2010	1,2	0,41	3,6	1,2	36000	16000
ASG/10056 cellenbeton 1971-72	0,35	<0,2	1,05	<0,6	10500	4100

* Berekend op basis van de cumulatieve uitloging

Tabel 7: Totaal zwavelgehalte van de verschillende bouwstoffen (voor en na uitloging bij L/S=40)

In FIGUUR 8 is de cumulatieve uitloging voor de verschillende materialen weergegeven en vergeleken met de totaalconcentratie. Omdat de zwavel/sulfaat concentratie in het beton monster te laag was om meetbare resultaten te geven, werden de resultaten van dit monster niet mee opgenomen in FIGUUR 8.



Figuur 8: Cumulatieve uitloging in mg SO₄/kg ds voor de verschillende materialen vergeleken met de totaal SO₄ concentratie in de monsters.

De sulfaatuitloging van de snelbouwsteen en de twee cellenbetonmonsters is tot en met de 5de fractie vergelijkbaar. De sulfaatuitloging wordt in deze fracties bepaald door de aanwezigheid van gips en/of anhydriet. Wanneer deze mineralen zijn opgelost treedt uitputting op. Voor de snelbouwsteen zien we dat er uitputting optreedt bij een cumulatieve L/S van 10. Op dat moment is 94 % van het aanwezige zwavel uitgelooft. In de daaropvolgende uitloogstappen looft er geen meetbare zwavel of sulfaat meer uit. Voor de cellenbetonmonsters stellen we vast dat zelfs na uitloging bij een cumulatieve L/S = 40 er nog een aanzienlijke hoeveelheid zwavel/sulfaat in het cellenbeton aanwezig is. De uitloging van het cellenbeton van 1971-72 verloopt aanvankelijk gelijk met die van de snelbouwsteen. Voor het cellenbeton van 1971-72 treedt echter veel sneller uitputting op, ondanks het feit dat de totaalconcentratie vergelijkbaar is met die van de snelbouwsteen (zie FIGUUR 8). Ook voor de verse cellenbeton zien we aanvankelijk een gelijkaardig uitlooggedrag als voor de snelbouwsteen en het cellenbeton van 1971-72. Na het bereiken van een cumulatieve uitloging van L/S = 10 zien we dat de uitloging afneemt. Er is echter nog geen sprake van uitputting, vermoedelijk wordt het uitlooggedrag bepaald door de oplosbaarheid van hydroxylellestadiet (zie FIGUUR 8).

Cellenbeton

De concentratie van calcium en sulfaat is in de eerste 5 fracties van de kolomuitloogtest vergelijkbaar voor beide cellenbetonmonsters. De concentraties komen overeen met de concentraties van calcium en sulfaat in evenwicht met gips of anhydriet. De oplosbaarheid van gips in ultrapuur water is 2.07 g/l en voor anhydriet is dit 2.75 g/l (Bock, 1961). De oplosbaarheid van gips en anhydriet neemt toe bij een iets hogere ionische sterkte van de oplossing (Bock, 1961). In zeewater bijvoorbeeld bedraagt de oplosbaarheid van gips 3.6 g/l (Kopittke et al. 2004). Dit verklaart dus mogelijk de iets hogere sulfaat- en calcium- concentraties in de eerste fracties van de kolomuitloogtest.

De oplosbaarheid van gips van 2 g/l resulteert in een eluaat met 1412 mg/l SO₄²⁻-ionen en 588

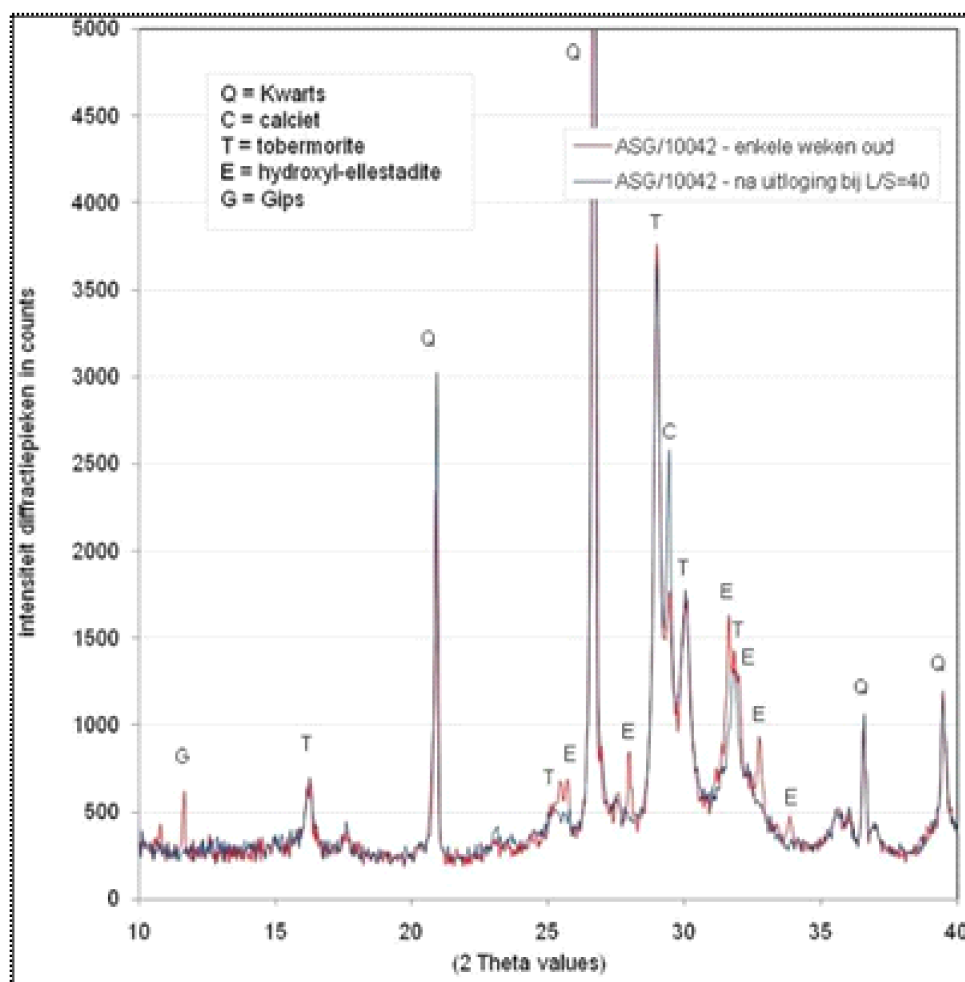
mg/l Ca²⁺-ionen. De oplosbaarheid van anhydriet van 2.75 g/l resulteert in een eluaat met 1941 mg/l SO₄²⁻-ionen en 809 mg/l Ca²⁺-ionen.

Na de 5de eluaatfractie wijken de sulfaatconcentraties in beide cellenbeton stalen sterk af van elkaar. Voor het cellenbeton van 1971-72 neemt de uitloging sterk af tot minder dan 10 mg/l voor de laatste 3 uitloofracties. Voor het verse cellenbeton is de uitloging in de laatste 3 uitloofracties nog ongeveer 300 mg/l.

Vers cellenbeton 2010

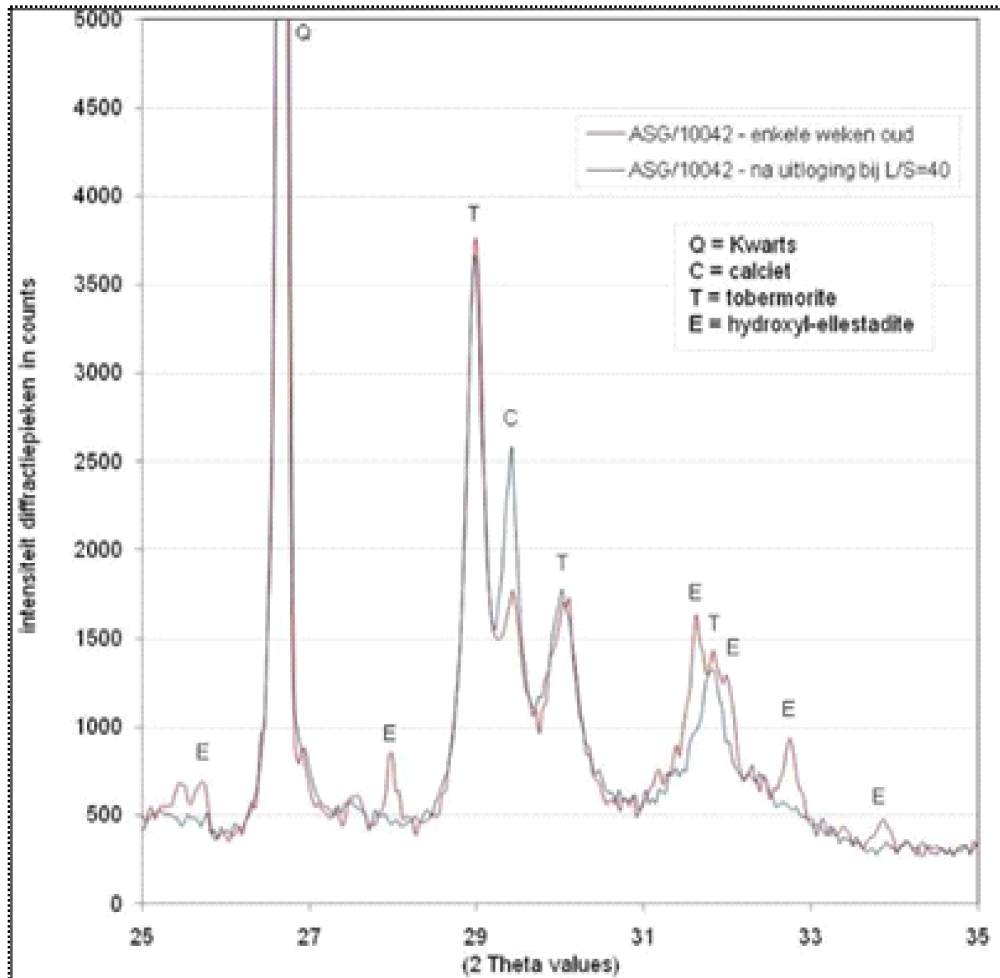
XRD analyse van de verse cellenbeton na uitloging geeft aan dat geen gips meer kan gedetecteerd worden en dat nog enkel de hoofddiffractiepieken van hydroxyl-ellestadiet gedetecteerd worden. Alle minder intense diffractiepieken van hydroxyl-ellestadiet zijn verdwenen. De intensiteit van de calciëthoofddiffractiepiek daarentegen is duidelijk toegenomen. Voor tobermoriet en kwarts zijn geen duidelijke verschillen waar te nemen tussen het verse cellenbeton voor en na uitloging (FIGUUR 9 en FIGUUR 10).

De uitloging wordt aanvankelijk bepaald door de oplossing van gips en/of anhydriet. Wanneer deze volledig zijn opgelost gaat vermoedelijk het minder goed oplosbare hydroxyl-ellestadiet in oplossing.



Figuur 9: XRD analyse van vers cellenbeton voor en na uitvoering van de kolomuitloofgtest.

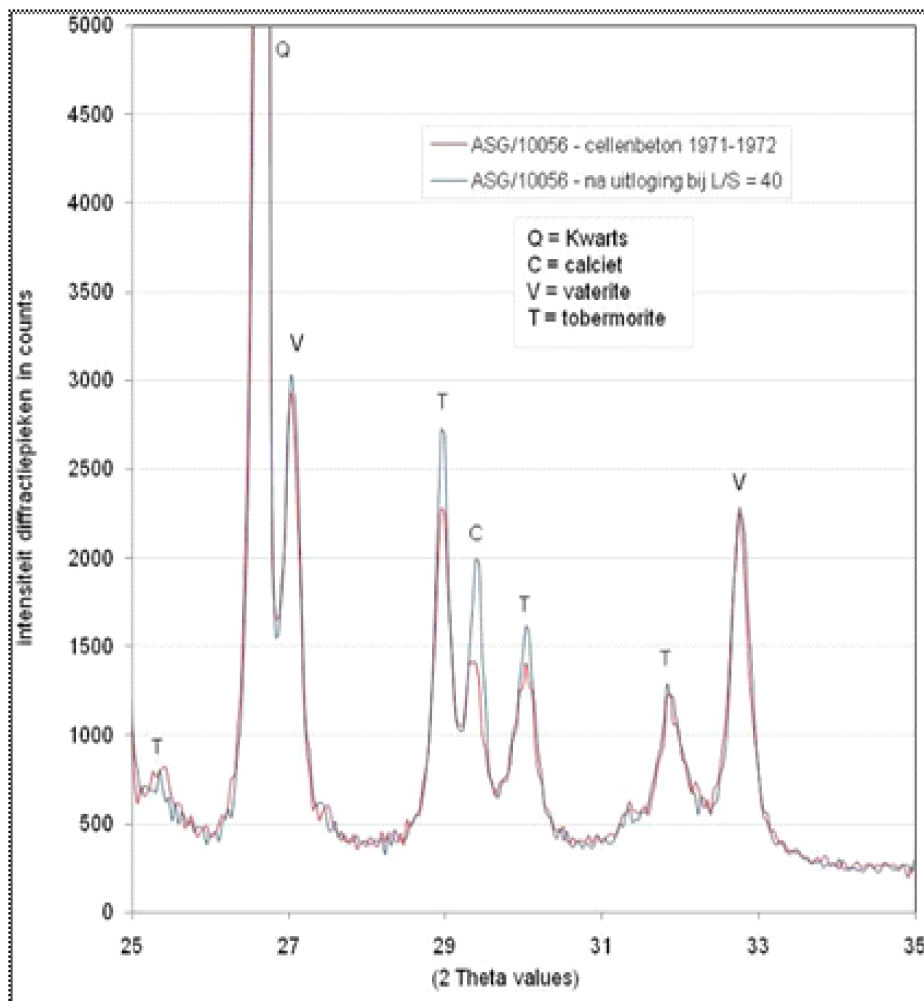
Merk op dat gips niet langer detecteerbaar is na uitvoering van de uitloofgtest.



Figuur 10: detail uit FIGUUR 9 waarin duidelijk de afname in intensiteit te zien is van hydroxyl-ellestadiet en de toename in intensiteit van de calciet diffractiepiek.

□ **Cellenbeton 1971-72**

In de oude cellenbeton is er ook een intensiteitstoename in de calciet diffractiepiek na uitloging te zien (FIGUUR 11). De intensiteiten van de vateriet diffractiepieken zijn voor en na uitloging vergelijkbaar (FIGUUR 11). De intensiteiten van de diffractiepieken van tobermoriet zijn iets hoger in het uitgeloopte monster, de diffractiepieken voor kwarts daarentegen iets lager (deze verschillen zijn waarschijnlijk het gevolg van kleine verschillen in de onderlinge verhouding van deze mineralen en hebben niets met het uitloogexperiment te maken). We merken op dat bij aanvang van de uitloogtest de uitloging vermoedelijk gecontroleerd werd door oplossing van gips (niet detecteerbaar in de XRD analyse), na de 7de fractie is er nog slechts een zeer geringe uitloging waarneembaar. Dit ondanks het feit dat slechts ongeveer 60% van het in het cellenbeton aanwezige zwavel is uitgeloogd. We hebben niet kunnen vaststellen in welke vorm het resterende zwavel/sulfaat aanwezig is in het cellenbeton.



Figuur 11: XRD analyse van cellenbeton van 1971-72 voor en na uitvoering van de kolomuitloogtest. Merk op dat na uitloging de intensiteit van de calciet diffractiepiek toeneemt terwijl deze voor vateriet gelijk blijft.

Klassiek beton

Het geanalyseerde beton monster bevatte te weinig zwavel (sulfaat) om meetbare concentraties op te leveren. Bijna alle metingen zowel voor de zwavel totaal concentraties als voor de sulfaat concentraties in de verschillende eluaatfracties van de uitloogtest lagen onder de bepalingsgrenzen. Enkel de twee laatste uitloogfracties gaven meetbare sulfaat concentraties. Dit zijn tevens de enige 2 eluaatfracties van de uitloogtest met een pH < 12.

Sulfaat is in beton meestal aanwezig als ettringiet. Ettringiet is bij hoge pH > 12 een zeer stabiel mineraal. Bijgevolg zal de sulfaatuitloging gering zijn (zie modelresultaten 2.3.2.4). Tijdens veroudering treedt carbonatatie op van de betonsteen. Carbonatatie van beton beperkt zich meestal tot het buitenoppervlak van de betonsteen, waar de pH zal dalen door interactie van het cement met CO₂ uit de lucht. Bij lage pH < 11 wordt ettringiet onstabiel.

Vermoedelijk is door aanzuring van het eluens de pH aan het oppervlak van de betonkorrels verlaagd waardoor ettringiet dat hier aanwezig was is opgelost. Een verlaging van de pH is immers zichtbaar in de eluaatfracties. In de eerste 8 fracties (waarin geen meetbare sulfaat uitloging werd vastgesteld) is de pH > 12. In de fracties 9 en 10 waar we uitloging van sulfaat vaststellen is de pH < 12.

Baksteen (snelbouwsteen)

De concentraties van sulfaat liggen in de eerste twee fracties van de kolomtest van de snelbouwsteen hoger dan voor cellenbeton. Dit kan mogelijk verklaard worden door

aanwezigheid van anhydriet dat meer oplosbaar is dan gips. In de 7de fractie van de kolomtest zien we dat er uitputting begint op te treden. Op dat moment is 94 % van het aanwezige zwavel als sulfaat uitgelooft. De uitloging wordt hier dus vermoedelijk volledig bepaald door oplossing van gips en anhydriet. Wanneer deze twee mineralen zijn opgelost is zo goed als alle zwavel uit de snelbouwsteen uitgelooft.

Tijdens de veroudering van snelbouwstenen zal anhydriet (CaSO_4) door contact met vocht geleidelijk omzetten tot gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Veroudering kan voor een lokale aanrijking van gips zorgen. Zolang het sulfaat echter niet uitlooft zal veroudering van de steen het uitloofgedrag niet of nauwelijks beïnvloeden. Uitloging treedt op in evenwicht met gips of anhydriet tot deze mineralen zijn opgelost. In het hier onderzochte monster was ongeveer 94% van het aanwezige zwavel na de 7de fractie uitgelooft, in de volgende fracties was de uitloging zeer gering. Na fractie 10 was nog steeds slechts 94 % van het totale zwavel gehalte uit de snelbouwsteen uitgelooft.

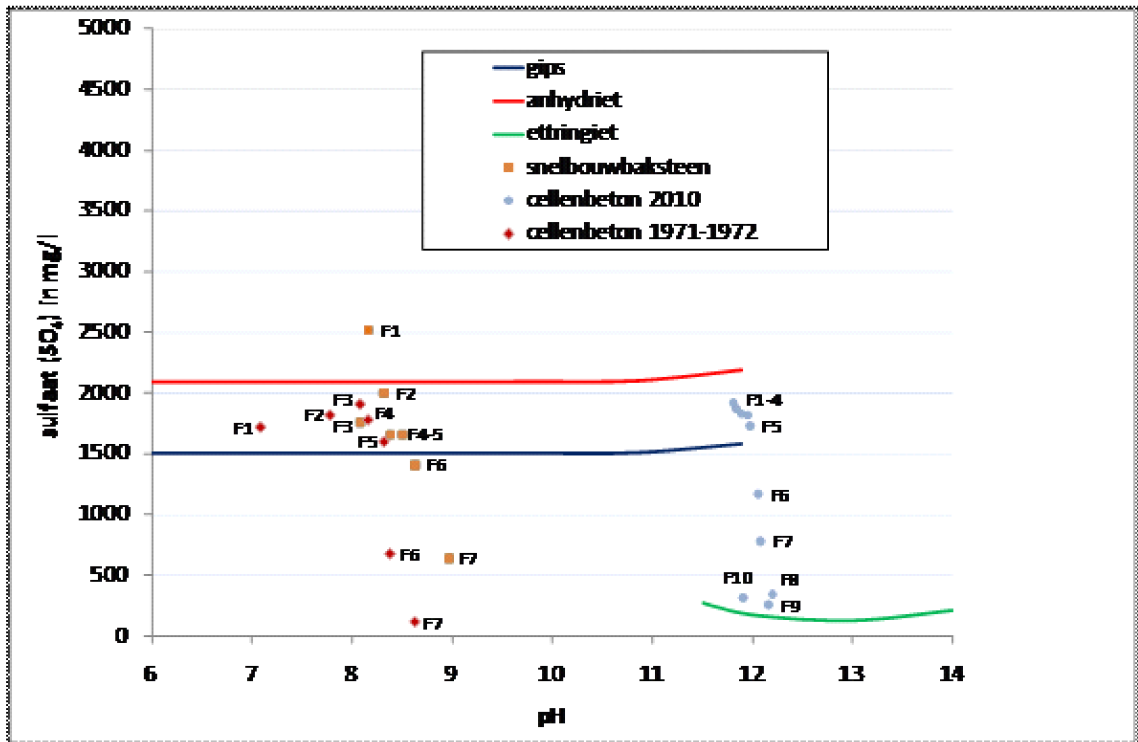
2.3.2.4 Modelleren

Door middel van PHREEQC¹ werden de sulfaat- en calciumconcentraties in water in evenwicht met verschillende sulfaatmineralen berekend. Deze modelresultaten laten toe te bepalen welke mineralen het uitloofgedrag van sulfaat in de verschillende bouwmaterialen controleren. De resultaten van deze modellering zijn gegeven in FIGUUR 12 en FIGUUR 13.

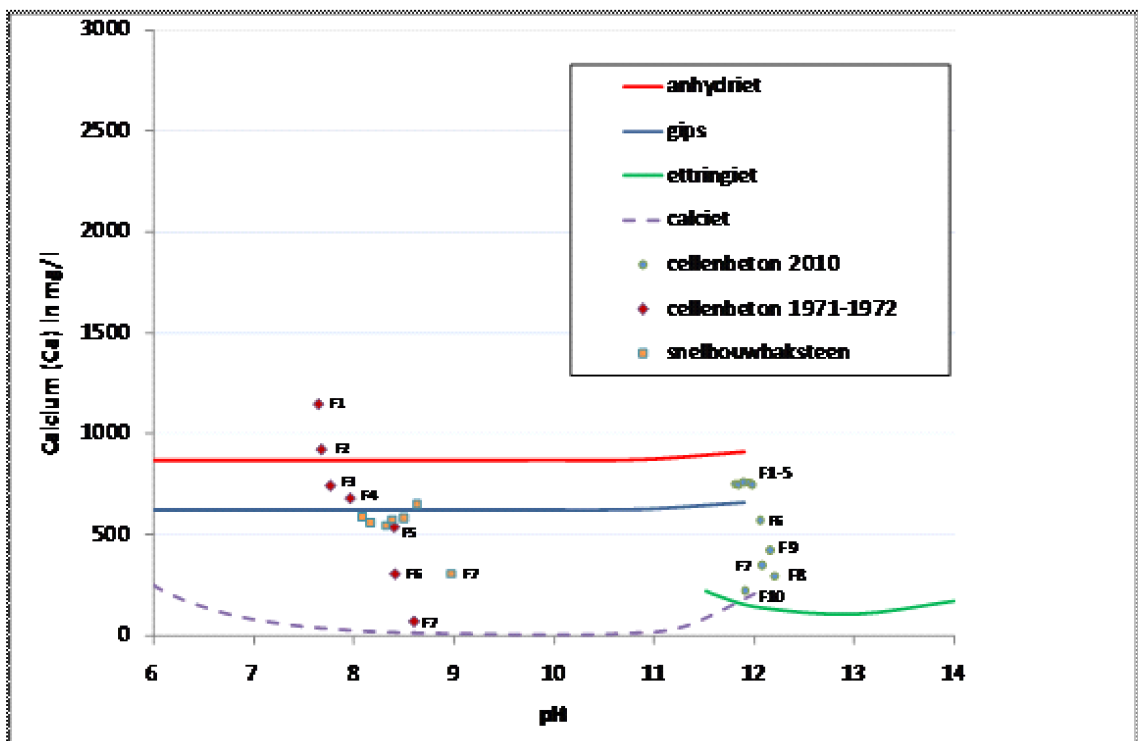
Uit de resultaten blijkt dat de uitloging van cellenbeton tot en met fractie 4 of 5 gecontroleerd wordt door oplossing van gips en/of anhydriet. Voor de snelbouwsteen geldt dat de uitloging zelfs volledig gecontroleerd wordt door de oplossing van gips en/of anhydriet. Wanneer deze mineralen opgelost zijn, stopt de uitloging en is ook zo goed als alle zwavel uit de snelbouwsteen uitgelooft.

Na oplossing van het gips en/of anhydriet vermindert de uitloging van sulfaat uit cellenbeton aanzienlijk. Voor het oude cellenbeton is de uitloging nadien niet meer bepaalbaar. In het verse cellenbeton wordt er een nieuw evenwicht ingesteld, vermoedelijk het gevolg van de oplossing van hydroxylelestadiet. Een sulfaat mineraal dat niet aanwezig is in het oude cellenbeton.

¹PHREEQC is een computer programma dat gebruikt wordt voor het modelleren van een verscheidenheid aan reacties en processen in water. Het kan speciatie en verzadigingsindices berekenen alsook batch reacties en eendimensionaal (1D) transport.



Figuur 12: PHREEQC model resultaten voor sulfaat concentraties in water in evenwicht met verschillende sulfaathoudende mineralen (ter vergelijking zijn de resultaten van de eerste 7 fracties van de kolomtest weergegeven).



Figuur 13: PHREEQC model resultaten voor calcium concentraties in water in evenwicht met verschillende mineralen (ter vergelijking zijn de resultaten van de eerste 7 fracties van de kolomtest weergegeven).

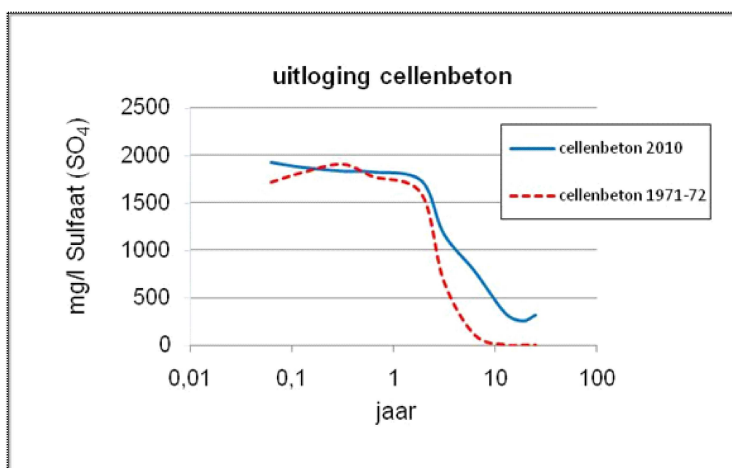
2.3.2.5 Voorspellen van de lange termijn uitloging van cellenbeton

De resultaten van de kolomproef kunnen worden omgerekend naar een tijdsafhankelijke uitloging naar de onderliggende bodem. Hiervoor wordt de L/S van de kolomtest vertaald naar uitloging in de tijd volgens de formule:

$$L/S = \frac{N}{\rho \cdot h} t$$

Met: N de infiltratie in de veldsituatie (in Vlaanderen wordt gerekend met 400 ml (neerslag = 800 mm/jaar waarvan 400 mm evaporatie en 400 mm infiltratie))
□ de dichtheid van het materiaal (kg/m³)
h de hoogte van het aangebrachte materiaal
t tijd

Door gebruik te maken van deze formule zijn de resultaten van de kolomtest vertaald naar immissies in de onderliggende bodem voor een laag cellenbeton van 0,5 meter met een dichtheid van 500 kg/m³. De resultaten zijn weergegeven in FIGUUR 14.



Figuur 14: langetermijn uitloging van sulfaat uit cellenbeton

De uitloging van cellenbeton wordt initieel bepaald door de aanwezigheid van gips en/of anhydriet. Dit zorgt er voor dat de uitloging de eerste 3 tot 5 jaar vrij hoog is met name tussen de 1500 en 2000 mg/l (uitloogplateau in FIGUUR 14). Zolang gips of anhydriet in cellenbeton aanwezig is wordt de uitloging bepaald door de oplossing van deze mineralen. Wanneer deze mineralen zijn opgelost valt de uitloging van sulfaat in het oude cellenbeton vrij snel terug tot onder het bepalingsniveau. Op dit moment is echter nog maar 60% van het aanwezige zwavel/sulfaat uitgelooft. Vermits het monster een pH heeft van ongeveer 8 kunnen we aannemen dat het cellenbeton volledig is gecarbonateerd. We verwachten daarom geen effecten van verdere veroudering. Het is echter niet duidelijk in welke vorm de resterende zwavel aanwezig is.

Voor het verse cellenbeton monster zien we een gelijkaardig uitloog verloop, alleen valt de uitloging veel minder snel terug tot onder het bepalingsniveau. Na 25 jaar uitloging (L/S=40) zien we nog geen uitputting, op dat moment is ongeveer 55% van het aanwezige zwavel uitgelooft. Vermoedelijk wordt de uitloging hier na het oplossen van gips en anhydriet bepaald door de aanwezigheid van hydroxyl-ellestadiet tot ook dit mineraal volledig is opgelost.

Monstercode	Beschrijving	totaal S voor uitloging	gemeten totaal S na uitloging (L/S=40)	Berekend totaal S na uitloging
ASG/10041	Snelbouwsteen	0.39 %	<0.2 %	0.02 %
ASG/10054	Beton	< 0.05 %	< 0.05 %	-
ASG/10042	Cellenbeton 2010	1.2 %	0.41 %	0.53 %
ASG/10056	Cellenbeton 1971-72	0.35 %	<0.2 %	0.14 %

Tabel 8: Gemeten totaal zwavelgehalte van de verschillende bouwstoffen (voor en na uitloging)

2.3.2.6 Vergelijking van de sulfaatuitloging met Vlaamse en Europese regelgeving

VLAREA regelgeving

In Vlaanderen wordt het gebruik van afvalstoffen geregeld door het Vlaams reglement inzake afvalvoorkoming en –beheer (VLAREA). In het VLAREA zijn voor het gebruik van afvalstoffen in of als bouwstof normwaarden opgenomen voor organische stoffen (grenswaarden voor totaalconcentraties) en voor metalen (richtwaarden voor totaalconcentraties en grenswaarden voor de uitloging). De grenswaarden zijn gebaseerd op het principe van marginale bodembelasting. Het gaat om een belasting van de bodem ten gevolge van uitloging uit de afvalstof, die rekenkundig leidt tot een toename in de vaste fase van de bodem (1 meter dik) van ten hoogste 1% van de gehalten van verontreinigende stoffen in 100 jaar ten opzichte van de achtergrondwaarden van de bodem.

Voor sulfaat zijn in het VLAREA geen grenswaarden opgenomen. Wel zijn naar analogie met de manier waarop de grenswaarden voor de VLAREA-metalen zijn afgeleid, toetsingswaarden voor sulfaat afgeleid. Voor chloride en sulfaat is bij het bepalen van de immissiegrenswaarden uitgegaan van de streefwaarden voor grondwater, aangezien geen streefwaarden voor grond zijn bepaald. De sulfaatimmissienorm (toestingswaarde) is overgenomen uit het Nederlandse Bouwstoffenbesluit en bedraagt 45000 mg/m².

Voor niet-vormgegeven bouwstoffen wordt de uitloging bepaald door de kolomtest uitgevoerd bij een vloeistof/vaste stof verhouding van 10 (L/S=10). De sulfaatimmissienorm (45 000 mg/m²) kan omgerekend worden naar een E(L/S=10) toetsingswaarde voor de kolomtest van 540 mg/kg droge stof (VLAREA bijlage 4.2.2.C). Voor vormgegeven bouwstoffen wordt de uitloging bepaald door de diffusietest, waarbij de cumulatieve emissie na 64 dagen (E_{cum}, 64d) wordt bepaald. Deze emissie wordt dan omgerekend naar een immissiewaarde (zie VLAREA bijlage 4.2.2.C). Omrekening van de immissiewaarde van 45 000 mg/m² naar E_{cum},64d waarden geeft als toetsingswaarde voor een opvulling (100% bevochtiging) een E_{cum}, 64d van 27.000 mg/m² en voor een ophoging (bevochtiging enkel door neerslag) een E_{cum}, 64d van 80.000 mg/m².

In het VLAREA worden ook de analysemethodes en specifieke uitloogproeven voorgeschreven, waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen toepassing van de afvalstof in of als niet-vormgegeven of vormgegeven bouwstof. Voor niet-vormgegeven bouwstoffen wordt de uitloging bepaald via de kolomtest voor vormgegeven materialen door middel van de diffusietest.

Nieuwe risicogebaseerde normwaarden voor gebruik van afvalstoffen

Recent werden door VITO risicogebaseerde normen berekend voor het gebruik van afvalstoffen (Tabel 9). Deze risicogebaseerde grenswaarden zijn respectievelijk gebaseerd op bescherming van de onderliggende milieucompartimenten. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen een opvulling- (grenswaarde 1) en ophogingsscenario (grenswaarde 2). In een opvullingsscenario

wordt het materiaal toegepast in direct contact met het grondwater. In het ophogingsscenario wordt het materiaal gescheiden van het grondwater door een bodem van 1 meter dikte. De grenswaarden geven aan dat bij een gegeven concentratie, toepassingsscenario en bijhorende evaluatiecriteria de veilige concentratie niet wordt bereikt. Aangezien bodem en grondwater als milieucompartimenten werden bekeken is voor het bepalen van de risicogebaseerde grenswaarden steeds uitgegaan van het gevoeligste compartiment.

Materiaal	Test	VLAREA toetsingswaarde SO ₄	Risicogebaseerde grenswaarden	
			Grensw. 1	Grensw. 2
Niet-vormgegeven	kolomtest	540 mg/kg	1125 mg/kg	2192 mg/kg
Vormgegeven	Diffusietest	45000 mg/m ²	273 mg/m ²	70469 mg/m ²

Tabel 9: VLAREA toetsingswaarden voor sulfaatuitloging en recent door VITO berekende risicogebaseerde grenswaarden.

De sulfaatuitloging werd in deze studie bepaald via de kolomtest zoals voorgeschreven door het VLAREA. Dit laat toe de sulfaatuitloging uit de verschillende bouwmaterialen te vergelijken met de VLAREA-toetsingswaarde voor sulfaat (gebaseerd op principe van marginale bodembelasting) en de recent door VITO berekende risicogebaseerde grenswaarden (zie Tabel 10).

Materiaal	SO ₄ uitloging in mg/kg	VLAREA toetsingswaarde SO ₄ (mg/kg)	Risicogebaseerde grenswaarden (mg/kg)	
			Grensw. 1	Grensw. 2
Cellenbeton 2010	11036	540	1125	2192
Cellenbeton 1971-72	6048			
Snelbouwsteen 2010	10917			
Beton 2010	< 30			

Tabel 10: Sulfaatuitloging (kolomtest) uit de verschillende bouwmaterialen vergeleken met de VLAREA-toetsingswaarde voor sulfaat en recent door VITO berekende risicogebaseerde grenswaarden.

Nederlandse regelgeving voor sulfaatuitloging uit bouwstoffen

In het Bouwstoffenbesluit dat van kracht was tot 31 juni 2008 was de sulfaat-uitloging genormeerd tot een immissie van 45.000 mg SO₄²⁻/m² per jaar. Deze norm was gebaseerd op een drinkwaternorm van 150 mg SO₄²⁻/l (Waterleidingbesluit, 2006). Deze drinkwaternorm is niet gebaseerd op toxicologische achtergronden, maar op bedrijfstechische en organoleptische achtergronden (corrosie van waterleidingen, smaak, etc.) (Brand et al., 2008). In Nederland is de uitloging van sulfaat momenteel genormeerd door het Besluit Bodemkwaliteit. Dit besluit is per 1 juli 2008 van kracht geworden en is de opvolger van het Nederlandse bouwstoffenbesluit. De doelstelling van het Besluit bodemkwaliteit is te voorkomen dat de bodem (grond en grondwater) en het oppervlaktewater verontreinigd worden door het gebruik van bouwstoffen (primair en secundair), grond of baggerspecie. Bij de totstandkoming van het Besluit bodemkwaliteit is veel aandacht besteed aan de normstelling van sulfaat. De norm bedraagt 1730 mg/kg ds (bepaald door middel van de kolomproef), maar is tijdelijk verhoogd tot 2430 mg/kg droge stof. In de toelichting bij de regeling bodemkwaliteit is het volgende opgenomen: "De emissie van sulfaat is voor meerdere bouwstoffen een knelpunt. Met name bij de productie van bouw- en sloopafval-granulaat kunnen forse problemen ontstaan als de maximale waarde voor de emissie wordt verminderd ten opzichte van de Tijdelijke

Vrijstellingsregeling 2004 (van het Bouwstoffenbesluit). Met de branche zijn afspraken gemaakt om binnen een periode van 1 jaar na inwerkingtreding van het Besluit te onderzoeken of verdere verlaging van de sulfaatnorm aanvaardbaar is. Alleen als uit dit onderzoek blijkt dat dit leidt tot problemen, bijvoorbeeld onaanvaardbaar hoge kosten, zal de verruiming blijven bestaan. Anders vervalt deze.”

De norm van 2430 mg/kg ds blijft alvast bestaan tot en met de evaluatie van het Besluit Bodemkwaliteit, die in het voorjaar van 2011 wordt afgerond.

Europese regelgeving rond het storten van inerte afvalstoffen

Zowel het gebruik van secundaire grondstoffen als het storten van inert afval mag geen probleem opleveren voor het milieu. Voor het opstellen van normen voor inerte afvalstoffen op stortplaatsen werd gebruik gemaakt van het principe grondwaterbescherming. Hier wordt er gekeken naar de maximale concentratie van polluenten in het eluaat dat uit een stortplaats komt, zodat men kan garanderen dat de concentratie van de beschouwde polluenten op geen enkel ogenblik de maximale toelaatbare concentratie van het drinkwater of grondwater overschrijdt.

Om te bepalen of een inerte afvalstof aan de acceptatiecriteria voldoet wordt in Vlaanderen doorgaans gebruik gemaakt van de enkelvoudige schudtest (conform CMA/2/II/A.12) waarbij het materiaal verkleind wordt tot <10 mm en uitgeloozd bij een vloeistof over vaste stof verhouding van 10 (L/S=10). Voor sulfaat is de maximale toegelaten concentratie in het eluaat van de schudtest 1000 mg/kg ds. Er is echter een uitzonderingsmaatregel die bepaalt dat als de afvalstoffen niet voldoen aan de grenswaarden van 1000 mg/kg ds sulfaat, ze toch kunnen aanvaard worden indien de uitloging de volgende waarden niet overschrijdt: 1500 mg/l uitgedrukt als C0 bij L/S = 0,1 l/kg en 6000 mg/kg bij L/S = 10 l/kg. Geen van beide cellenbeton stalen voldoet aan deze eisen. Voor het oude cellenbeton is de overschrijding vrij gering: de uitloging is 1720 mg/l voor C0 en 6048 mg/kg bij L/S = 10 l/kg.

Er is bovendien een lijst van afvalstoffen die zonder testen aanvaardbaar zijn op stortplaatsen voor inerte afvalstoffen. De afvalstoffen, die op deze lijst staan, worden geacht te voldoen aan de criteria van inerte afvalstoffen. De lijst bevat onder andere beton, bakstenen en mengsels van beton, bakstenen, tegels en keramiek. In sommige lidstaten is het dus mogelijk dat cellenbeton als beton wordt gestort zonder eerst te zijn getest. Baksteen staat eveneens op de lijst. Uit deze studie blijkt duidelijk dat baksteen niet steeds zal voldoen aan de uitlooggrenswaarden van sulfaat voor afvalstoffen die aanvaardbaar zijn op stortplaatsen voor inerte afvalstoffen. Hetzelfde is waarschijnlijk van toepassing op mengsels van beton, bakstenen, tegels en keramiek.

Europese regelgeving rond het storten van niet-inerte afvalstoffen

De stortplaatsen voor niet-inerte afvalstoffen zijn voorzien van de nodige beschermingsmaatregelen zoals een onderafdek van de stortplaats, opvang van percolaatwater, etc.. Hierdoor zijn de acceptatiecriteria voor afvalstoffen die op deze stortplaatsen kunnen aanvaard worden ruimer gedefinieerd. De sulfaat-grenswaarden voor stortplaatsen voor ongevaarlijke afvalstoffen bedraagt 20.000 mg/kg droge stof (bij L/S= 10). Cellenbetonafval kan dan ook zonder probleem gestort worden op stortplaatsen voor ongevaarlijk afval.

Conclusie

De toepassing van ongebonden cellenbeton in ophogingen of opvullingen vormt een mogelijk risico voor bodem en grondwater omwille van de uitloging van sulfaat. Het sulfaat-uitloogniveau ligt vele malen hoger dan de huidige VLAREA-toetsingswaarde en recent door VITO berekende risicogebaseerde grenswaarden.

Ook voor de metselsteen die in het onderzoek werd mee opgenomen is de uitloging van sulfaat problematisch. Gezien de focus van dit onderzoek lag op een analyse van stalen cellenbeton is het momenteel onduidelijk of de gekozen metselsteen kenmerkend is voor de gemiddelde snelbouwsteen op de Vlaamse markt. De representativiteit van de gemeten sulfaatuitloging van het staal, zal in overleg met de baksteenfederatie -buiten de scope van voorliggende studie - verder worden onderzocht.

2.3.3 Praktische implementatie: uitloging en milieu-impact van sulfaat

De resultaten van het uitloogonderzoek (uitlooggedrag, lange termijn uitloging van sulfaat)

werden gebruikt om de milieu-impact in het kader van hergebruik te evalueren. Voor de praktische implementatie werd de methodiek ontwikkeld in het kader van de nieuwe VLAREA normvoorstellen gebruikt (zie VITO studie "Normkader uitgegraven bodem en bouwstoffen: milieucompartimenten, milieucriteria, scenario's en modellen"). De modelberekeningen maken gebruik van een bronterm, die een beschrijving is van de emissie uit de afvalstof in de tijd. Deze bronterm is nodig voor het berekenen van concentraties in de bodem, grondwater en oppervlaktewater. Uit de kolomproef wordt een cumulatieve emissie E berekend die gerelateerd kan worden aan een exponentieel afnemende curve voor de concentratie (van bijvoorbeeld sulfaat dat door het cellenbeton wordt vrijgegeven) in de tijd. Hierbij is aangenomen dat alleen de hoogte van de uitloogcurve verandert en niet de vorm. De beginconcentratie C_0 (mg/l) kan bepaald worden uit de cumulatieve emissie E (mg/kg ds) horende bij een bepaalde L/S als:

$$C_0 = E \frac{\kappa}{1 - e^{-\kappa LS}} \quad (1)$$

met

- \square de kappa-waarde van het betreffende element (kg/l)
- LS de vloeistof-vast verhouding (L/S) voor de kolomproef (l/kg)

De resultaten van de kolomproef kunnen worden omgerekend naar een tijdsafhankelijke uitlooging naar de onderliggende bodem volgens de formule:

$$C = C_0 e^{-\kappa LS} = C_0 e^{-\frac{\kappa N}{\rho h} t} \quad (2)$$

- met
- C de concentratie die uitloogt naar de onderliggende bodem (mg/l)
 - C_0 de beginconcentratie van de kolomproef (mg/l)
 - \square de kappa-waarde van het betreffende element (kg/l)
 - LS de vloeistof-vast verhouding (L/S) voor de kolomproef
 - N de infiltratie in de veldsituatie (mm/j)
 - \square de dichtheid van het materiaal (kg/m³)
 - h de hoogte van de aangebrachte laag (m)
 - t tijd (j)

Voor het afleiden van de normwaarden werd voor sulfaat C_0 in een iteratief proces aangepast tot de veilige concentratie in grondwater of in bodem net bereikt werd. Hierbij is gebruik gemaakt van een transportmodel dat vervolgens de verspreiding en aanrijking van de bodem en onderliggend grondwater voorspelt in functie van de tijd en afstand van de toepassing. Deze C_0 -waarde (maximaal toelaatbare waarde) is vervolgens m.b.v. formule (1) omgerekend naar de cumulatieve emissie E die gemeten zou worden in de kolomproef (bij $L/S = 10$) op voorwaarde dat het uitlooggedrag de standaard uitloogcurve benadert. Merk op dat deze standaard uitloogcurve gedefinieerd wordt door een kappa waarde, die afhankelijk is van het materiaal en het element (hier sulfaat) waarvoor een grenswaarde wordt berekend. De kappa waarde geeft aan hoe snel de uitloogconcentratie in de tijd afneemt. Bij een lage kappa waarde neemt uitloogconcentratie minder snel af dan bij een hoge kappa waarde. In het standaard model is een kappa waarde van 0,33 gebruikt voor sulfaat. Deze kappa waarde is een gemiddelde waarde voor het uitlooggedrag van sulfaat uit verschillende materialen. De op basis van deze kappa waarde berekende maximale emissiewaarden werd als grenswaarden voor sulfaat gerapporteerd (zie Tabel 11).

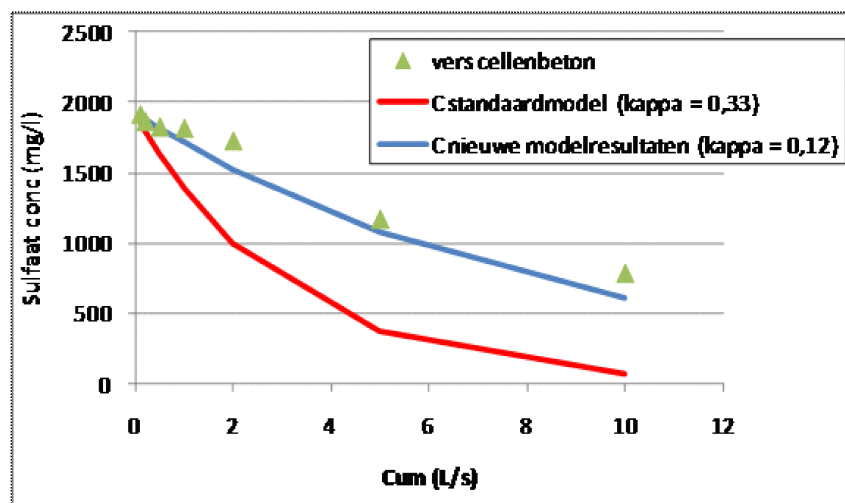
In deze studie kan voor de cellenbetonmonsters waarop een standaard kolomtest is uitgevoerd C_0 rechtstreeks gemeten worden (dit is de sulfaatconcentratie in het eluaat bij aanvang van de kolomtest) en kan ook de kappa-waarde (\square) bepaald worden voor de standaard uitloogcurve, die beschreven wordt door:

$$C = C_0 e^{-\kappa LS} \quad (3)$$

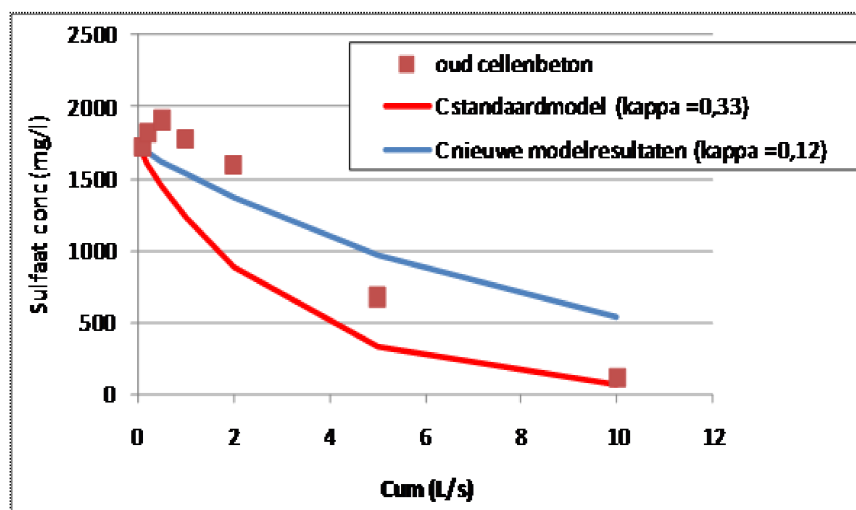
Op basis van het gemeten effectieve uitlooggedrag van sulfaat uit cellenbeton, kan de bronterm (uitlooggedrag volgens formule 3) verder verfijnd worden en kunnen de grenswaarden berekend worden gebaseerd op het effectieve uitlooggedrag van sulfaat uit de bestudeerde cellenbetonmonsters. Hierdoor wordt het mogelijk om op basis van de uitloogkarakteristieken van sulfaat uit cellenbeton en de specifieke gebruiktoepassingen het risico op verontreiniging met sulfaat van het onderliggend grondwater en de onderliggende bodem te evalueren. Er werden grenswaarden afgeleid voor zowel het uitlooggedrag van de verse als oude cellenbetonmonsters (zie Tabel 11). Hierbij werd een zo goed mogelijke overeenkomst beoogd tussen het model en het waargenomen uitlooggedrag van de cellenbetonmonsters. Er werd ook onderzocht wat het effect is van de uitloogcurve, met name van het initieel plateau van de curve met concentratie C0 op de modelresultaten. Bovendien werd nagegaan wat het effect zou zijn indien de monsters meer gips of anhydriet zouden bevatten, waardoor de lengte van het uitloogplateau in het begin van de uitloogcurve (zie FIGUUR 14) zou toenemen, waardoor het uitlooggedrag meer afwijkt van de modelcurve gebruikt voor het modelleren van de risico-gebaseerde grenswaarden.

	Risicogebaseerde E (mg/kg ds)		VLAREA 4.2.2.B Toetsingswaarde
	Grenswaarde 1 opvulling	Grenswaarde 2 ophoging	
Standaardmodel (VITO-rapport) Kappa = 0,33	1125	2192	540
kappa waarde gefit aan de uitloogresultaten van vers en oud cellenbeton kappa = 0,12	1517	2759	

Tabel 11: risicogebaseerde grenswaarden: standaard modelresultaten en specifiek voor cellenbeton berekende grenswaarden op basis van het waargenomen uitlooggedrag van vers en oud cellenbeton.



Figuur 15: Fit van de modelcurve aan de gemeten uitloogconcentraties voor het verse cellenbeton en vergelijking met de uitloogcurve uit het standaard model.



Figuur 16: Fit van de modelcurve aan de gemeten uitloogconcentraties voor het oude cellenbeton en vergelijking met de uitloogcurve uit het standaard model.

Conclusie

Door een betere benadering van het effectieve uitlooggedrag van cellenbeton op te nemen in het VITO-model worden de grenswaarden, die specifiek voor cellenbeton werden berekend iets minder streng. Voor een ophoging gaat de normwaarde van 2192 mg/kg ds voor het standaard model naar 2759 mg/kg ds voor het nieuwe model (zie tabel 11). Vermits de uitloging van het oude cellenbeton 6048 mg/kg ds bedraagt en die van vers cellenbeton zelfs 11 036 mg/kg ds worden de grenswaarden nog steeds met meer dan een factor 2 overschreden. Voor een opvulling zijn de normen nog strenger. De sulfaatuitloging van cellenbeton vormt bijgevolg een risico voor bodem en grondwater.

2.3.4 Mogelijkheden voor het beperken van het uitlooggedrag van sulfaat

Wanneer het sulfaat in cellenbeton aanwezig is als een goed oplosbaar zout (gips, anhydriet) zal de uitloging bepaald worden door de oplosbaarheid van deze zouten in contact met water. De uitloging kan echter teruggedrongen worden door het contact van deze zouten met water te verhinderen (fysische immobilisatie) of door het sulfaat chemisch te binden in weinig oplosbare mineralen (chemische immobilisatie). Dit betekent dat het cellenbeton gebonden moet worden, bijvoorbeeld door er cement en/of andere additieven aan toe te voegen waardoor een vormgegeven product ontstaat.

Chemisch

Door Brouwer et al. (2000) zijn methodes beschreven om zeefzanden, die 3 tot 6 % sulfaat bevatten te immobiliseren met cement en reactieve aluminium. Het sulfaat wordt in dit proces gebonden in ettringiet ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$). Deze vorm van immobilisatie kan gemakkelijk toegepast worden op cellenbeton. Dit proces is bijvoorbeeld toepasbaar op het gebruik van cellenbeton in dekvloeren (chape) of andere hydraulisch gebonden producten.

Naast cement en reactieve aluminium dat de vorming van ettringiet bevordert kunnen ook andere additieven worden toegevoegd zoals bijvoorbeeld Ba^{2+} , waardoor sulfaat chemisch gebonden wordt in de vorm van BaSO_4 .

Fysisch

In Nederland wordt een deel van het gerecycleerde cellenbeton door Gipsnet als toeslagstof gebruikt voor de productie van lego-betonblokken. Hierdoor wordt het sulfaat ook fysisch verankerd. Volgens de analysegegevens die door Gipsnet ter beschikking werden gesteld is de sulfaatuitloging uit deze lego-betonblokken in vergelijking tot cellenbeton zeer gering. Voor de vormgegeven lego-betonblokken zou de uitloging 1700 mg/m² bedragen (resultaten diffusietest

conform NEN 7375) en voor de gebroken (< 4 mm) lego betonblokken 22 mg/kg (kolomproef conform NEN 7383, vergelijkbaar met kolomproef conform CMA2/II/A.9.3). De maximale beschikbaarheidsproef waarbij de lego-betonblokken verkleind worden tot < 125 μ m, geeft aan dat 15 000 mg/kg ds sulfaat beschikbaar is in de lego-betonblokken. Het sulfaat is in deze lego-betonblokken dus goed fysisch geïmmobiliseerd.

Uit de analysegegevens blijkt ook dat de legoblokken een zeer groot bufferend vermogen hebben. De maximale beschikbaarheidstest wordt immers uitgevoerd in 2 stappen: (1) met eluans van pH=7 bij L/S= 50 en (2) met eluans van pH=4 bij L/S=50). Het eluaat werd na uitloging bij L/S=100 nog steeds gekarakteriseerd door een pH van 12.24.

Opmerking

Sulfaatconcentraties in de oude kleiwinningsput op het terrein van Xella

Op het bedrijventerrein van Xella in Burcht ligt een oude kleiwinningsput waar in het verleden cellenbetonafval is in gestort. Deze oude kleiwinningsput is gevuld met water dat door Xella gebruikt wordt als proceswater. De sulfaatconcentratie van dit water wordt regelmatig geanalyseerd en schommelt rond 220 mg/l (metingen van 1997-2008). Xella meent dat deze lage concentraties aantonen dat de uitloging van sulfaat uit grotere blokken niet te vergelijken is met de uitloging van sulfaat uit cellenbeton dat verkleind is tot < 4 mm, en dat daarom de kolomproef (waarbij het uit te logen cellenbeton verkleind wordt tot < 4 mm) niet representatief zou zijn voor de uitloging van sulfaat uit cellenbeton.



Figuur 17: Oude kleiwinningsput op het bedrijventerrein van Xella.

Het is inderdaad zo dat de fysische immobilisatie van sulfaat in het cellenbeton, deels te niet wordt gedaan door het verkleinen van het cellenbeton. Dit geldt echter ook voor alle andere afvalstoffen die dienen verkleind te worden om de kolomproef (conform CMA2/II/A.9.3) te kunnen uitvoeren.

Het is ook onmogelijk zonder bijkomende gegevens (hoeveelheden gestort cellenbeton,

waterhuishouding van de klei put, etc) de sulfaatconcentratie in de kleiwinningsput te duiden. De lage sulfaatconcentraties in deze klei put zijn ons inziens ook niet relevant voor deze studie.

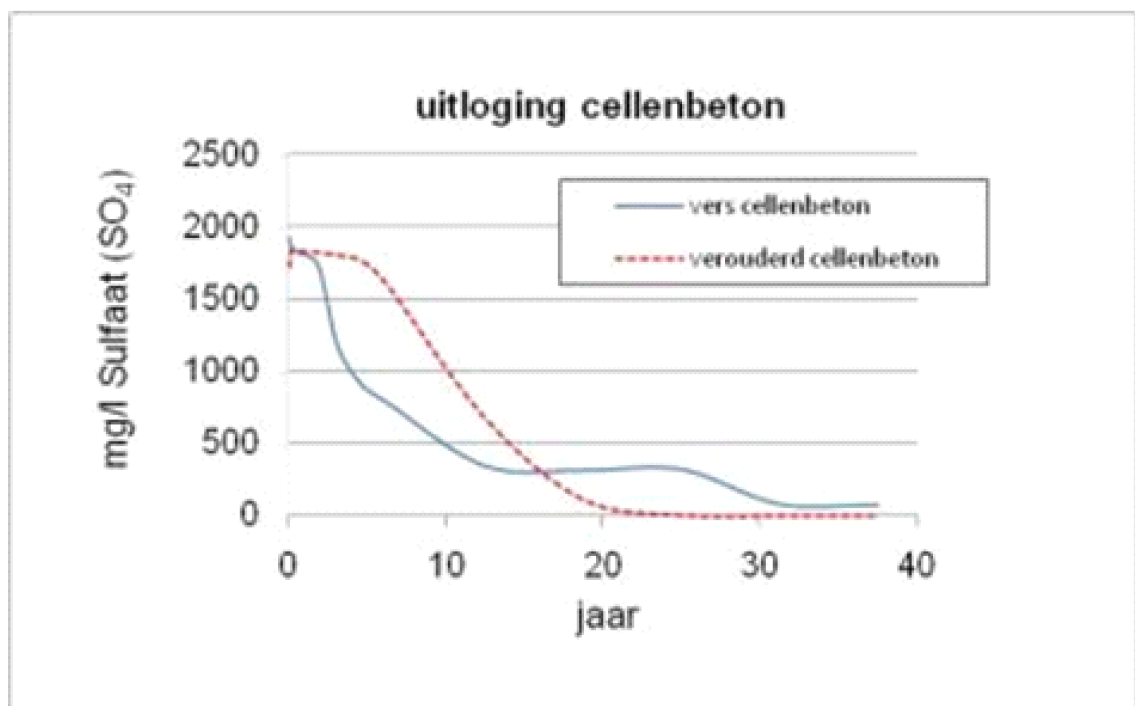
2.4 Conclusies

Cellenbeton wordt gekarakteriseerd door een hoge sulfaatuitloging. Deze sulfaatuitloging overschrijdt de huidige toetsingswaarde voor sulfaat van het VLAREA en ook de grenswaarden die berekend werden op basis van een risico-evaluatie (VITO, 2010). Uit lopend onderzoek en vanuit gegevens uit Nederland blijken er nog verschillende stromen zoals baggerspecie en bodemassen niet aan de bovenstaande VLAREA toetsingswaarden voor sulfaat en risicogebaseerde grenswaarden te voldoen.

Het hoge sulfaatgehalte van cellenbeton is vooral afkomstig van gips of anhydriet dat aan de grondstofmix wordt toegevoegd om een beter eindproduct te bekomen.

Vers cellenbeton wordt gekarakteriseerd door een hoge pH ($\text{pH} > 11$). Oud cellenbeton heeft doorgaans een lagere pH. Bij veroudering van het cellenbeton kan de pH tot ongeveer 8,3 worden gereduceerd door interactie met vocht en CO_2 uit de lucht. De veroudering kan een invloed hebben op de hoeveelheid sulfaat die zal uitlogen. Uit vers cellenbeton loogt vooral gips en anhydriet uit. Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) wordt niet beïnvloed door veroudering. Anhydriet (CaSO_4) zal geleidelijk omzetten naar gips. De veroudering heeft vooral invloed op de mineralen die een interactie kunnen ondergaan met CO_2 . Dit zijn o.a. C-S-H en hydroxylelestadiet.

Hydroxylelestadiet zorgt in het verse cellenbeton voor een geringe uitloging van sulfaat, die afhankelijk is van het oplosbaarheidsproduct van hydroxylelestadiet. Bij veroudering kan dit hydroxylelestadiet omzetten naar andere mineralen waaronder gips, dat veel oplosbaarder is en dus voor een snellere uitloging zal zorgen van sulfaat uit cellenbeton. Indien sulfaat aanwezig is in de C-S-H verbindingen kan dit eveneens bij carbonatatie aanleiding geven tot de vorming van gips. Dit betekent dat bij veroudering van cellenbeton de maximale sulfaat concentratie in het eluaat bij aanvang van de uitloogtest niet zal wijzigen maar dat de maximale sulfaat concentratie in het eluaat mogelijk langer zal blijven aanhouden. Dit is grafisch weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 18: Theoretische uitloogprofielen van vers en verouderd cellenbeton.

Bij het verouderd staal is er vanuit gegaan dat de uitloging pas begint op te treden na de

veroudering en niet tijdens de veroudering. Deze aanname is gebaseerd op feit dat cellenbeton doorgaans niet aan water wordt blootgesteld tijdens de levensduur.

3 Cellenbetonrecyclage in de praktijk

3.1 Aanpak

De hele keten, van productie van cellenbeton over bouwfase tot afbraak, afvalverwerking (slopen, sorteren, breken) en recyclage werd bevestigd via contacten met bevoorrechte getuigen (federaties, bedrijfsleiders, ...). Dit geeft een beeld van de huidige omgang met cellenbeton en cellenbetonafval, alsook de pistes die momenteel voorliggen inzake hergebruik en verwijdering. Voor elk van de "schakels" wordt een situatieschets gemaakt met relevante cijfers, beschrijving van de omgang met het cellenbetonafval, bestaande knelpunten, aangehaalde toepassingsmogelijkheden en visie op de toekomst.

Daarnaast werden ook een aantal buitenlandse contacten aangesproken om de stand van zaken in het buitenland en op gebied van wetenschappelijk onderzoek op te maken.

Na het verzamelen van informatie via individuele contacten met stakeholders, werden vervolgens de belangrijkste aandachtspunten besproken op een workshop waarop alle betrokkenen binnen de sector aanwezig waren, en vervolgacties werden gedefinieerd.

3.2 Omgang met cellenbeton in Vlaanderen

3.2.1 Productie en gebruik van cellenbeton

3.2.1.1 Productievolumes en tendensen

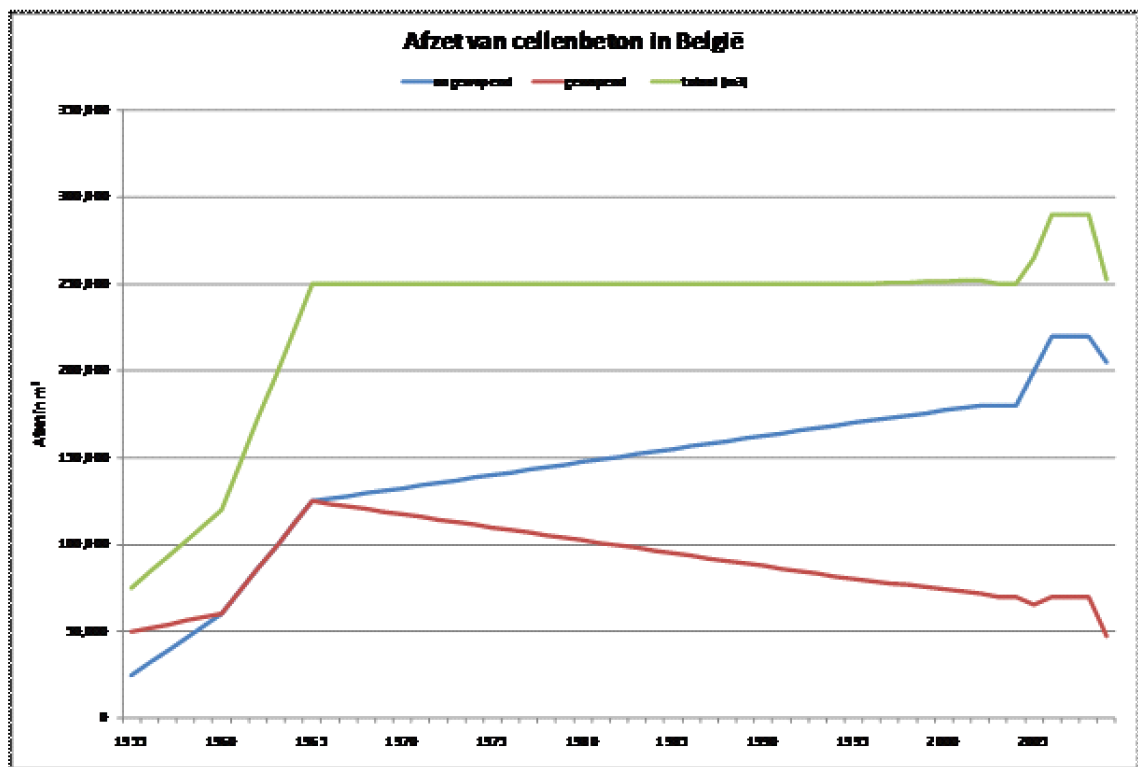
Uit de bevestiging van verschillende leveranciers van cellenbetonproducten bleek dat er één grote marktspeler is, namelijk Xella Belgium, die minstens 90% van het marktvolume vertegenwoordigt. Xella heeft ook als enige op dit moment een productie-eenheid in België. De overige bevestigde leveranciers importeren producten uit Duitsland en Frankrijk in kleinere volumes. In het verleden zijn er ook andere Belgische productie-eenheden geweest (bv. Siporex te Sint-Pieters-Leeuw).

Xella heeft een fabriek te Burcht, met een productiecapaciteit van 310 000 m³ cellenbeton per jaar (alsook 125 000 m³ kalkzandsteen per jaar). Dit is eveneens ongeveer de grootte van de Belgische markt inzake cellenbeton. Recente gegevens geven aan dat er jaarlijks 250 000 – 300 000 m³ cellenbetonproducten van Xella op de Belgische markt worden afgezet.

Naast het volume dat Xella op de markt zet, zijn er ook een aantal kleinere spelers. Zo worden vanuit Duitsland cellenbetonblokken met merknaam PORIT ingevoerd. Het zou over 10 000 m³ op jaarbasis gaan (mondelijke mededeling). In Frankrijk (Valenciennes) staat sinds kort een nieuwe productie-eenheid van Cellumat, die ook de Belgische markt bedient. Contactname met Cellumat leerde dat zij in 2009 19 000 m³ (enkel blokken) op de Belgische markt hebben afgezet.

De productie van cellenbeton wordt toegelicht in paragraaf 2.2.1Error! Reference source not found.. Met een gemiddelde volumieke massa van ongeveer 550 kg/m³, kunnen we dus spreken van een afzet van cellenbeton op de Belgische markt van 150 000 ton per jaar. Een opsplitsing in afzet tussen de verschillende gewesten Vlaanderen, Wallonië en Brussel, kan niet worden gemaakt.

Cellenbeton is reeds op de markt sinds de jaren vijftig. Met de medewerking van Xella werd via mondelinge mededeling en statistische gegevens van de EAACA (Europese federatie van producenten van cellenbeton) een historisch overzicht opgesteld dat de afzet van cellenbeton in België weergeeft. Bij deze figuur dient te worden opgemerkt dat de cijfers tot 2001 ramingen zijn. Vanaf 2002 werden er gegevens bijgehouden door de EAACA. Het valt op dat de totale productie doorheen de tijd min of meer constant gebleven is vanaf 1965. Dit is in overeenstemming met andere bronnen die dit mondeling hebben medegedeeld.



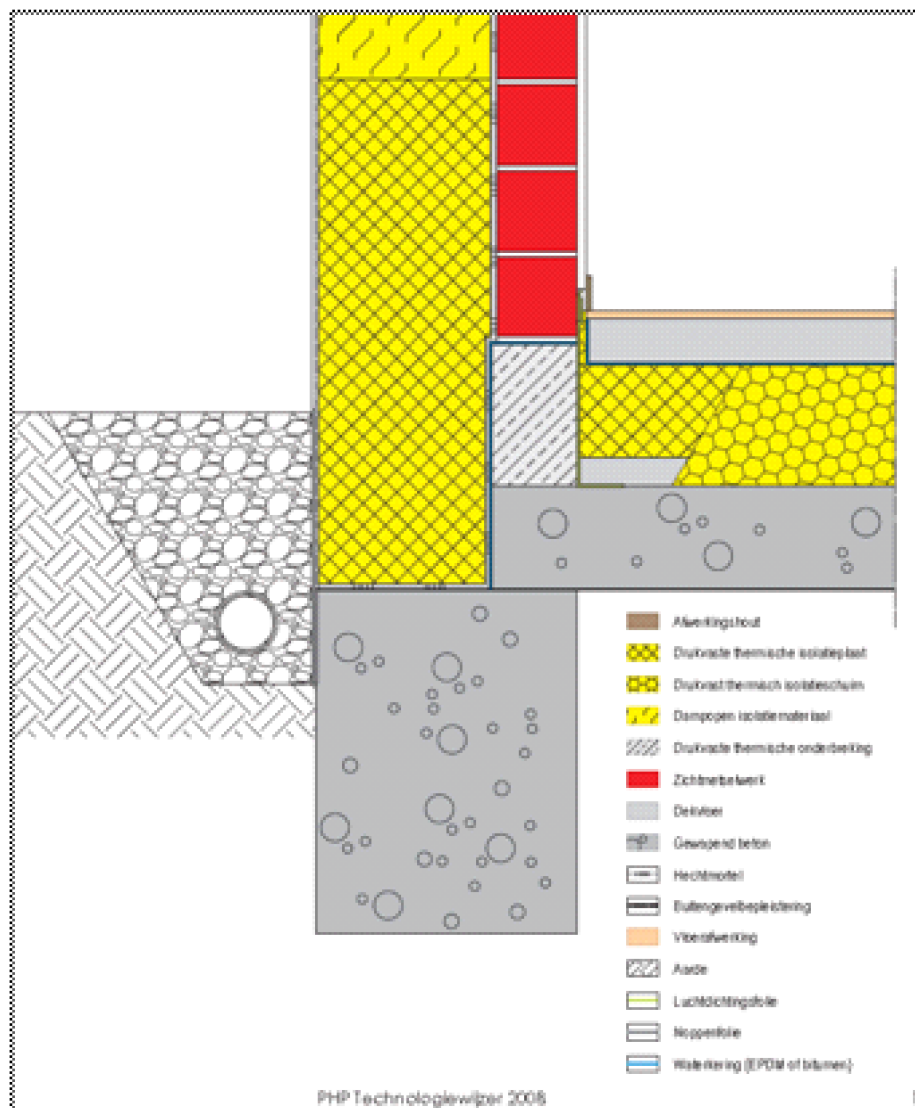
Figuur 19: Afzet van cellenbeton in België [gebaseerd op bronnen bij Xella en de EAACA]

Daarnaast is het duidelijk merkbaar dat de afzet van het assortiment 'gewapende elementen' (platen ed.) afneemt in de tijd ten gevolge van een sterkere concurrentie met andere producten zoals prefab-beton. Deze daling wordt gecompenseerd door de toegenomen afzet van blokken. Bij omrekenen van volume naar massa (waarbij de gemiddelde dichtheid op 575 kg/m³ wordt gekozen) ligt de afzet jaarlijks op 250 000 m³ of 143 000 ton. Cumulatief gezien kan men stellen dat er sinds 1955 naar schatting 12.7 miljoen m³ of 7.3 miljoen ton cellenbeton in België is gebruikt.

Naar de toekomst toe verwacht men dat cellenbeton zijn positie op de markt zal behouden. Gezien de trend richting energiezuiniger bouwen en wonen, wordt verwacht dat de isolerende blokken in afzet zullen groeien. Op de markt van de gewapende elementen merkt men echter al een tijd een sterke concurrentie van alternatieve oplossingen.

3.2.1.2 Toepassingsgebied

Het gamma aan cellenbetonproducten kan worden opgesplitst in een aantal groepen, met elk een welomlijnd toepassingsgebied. Dit werd toegelicht door de Technical manager van Xella Belgium. Het grootste volume wordt gevormd door de blokken. Het aandeel in de markt van 'blokken' (baksteen, beton, ...) bedraagt zowat 10-20% (ruwe schatting door producent). Ter vergelijking met de afzet van 200 000 m³ cellenbetonblokken in 2009 werden in 2009 in België 1.2 miljoen m³ snelbouwstenen geproduceerd (www.baksteen.be). Van de blokken wordt slechts een klein deel (5 à 10%) gebruikt als koudebrug-onderbreker, bv. in de aanzet van muren. Er wordt wel een toename verwacht voor deze toepassing. Er werd hier ook een specifiek product (met beperkte hoogte) voor ontwikkeld.



Figuur 20: Cellenbeton kan worden gebruikt als drukvraste thermische onderbreking bij de aanzet van muren [Bron: PHP vzw]

Het overgrote deel van de blokken wordt gebruikt als dragende of niet-dragende wand in de woningbouw, ook in renovatie. Meestal worden de blokken dus in een integraal bouwsysteem toegepast, waarbij de wanden meestal langs binnen en soms ook langs buiten worden afgewerkt.



Figuur 21: Foto van werf waarbij dragende wanden in cellenbetonblokken worden uitgevoerd.



Figuur 22: Gebruik van cellenbeton voor binnenwanden

Het volume 'isolatiemateriaal' (merknaam 'Multipor') is momenteel nog verwaarloosbaar (geschat op 1500 m³).

Tot slot kan men stellen dat bij toepassing in de industriebouw, de gewapende elementen, vooral wanden en brandwanden in cellenbetonplaten worden uitgevoerd. Het volume dakplaten is vrij beperkt. De toepassing voor vloerplaten is een heel beperkt volume, voornamelijk vanwege uitvoeringsmodaliteiten (toepassing op volle grond – oplegging op 2 punten). De vloerplaten die toch worden gebruikt worden voornamelijk in woningen en kleine kantoren gebruikt.

3.2.1.3 Recyclingmogelijkheden in productie

Bij een fabrieksbezoek te Burcht werd duidelijk dat in het lopende productieproces reeds een zekere afvalstroom wordt ingezet (zie FIGUUR 23). In eerste instantie betreft het de snijresten van het intermediair en afgewerkt product.

Daarnaast wordt er ook cellenbetonafval verwerkt. In hoofdzaak betreft het uitval van de fabriek, geschat op 1.5-2% (wat overeenkomt met $\pm 5000 \text{ m}^3$), maar er is ook een aanvoer van externe bedrijven. Dit betreft voornamelijk bouwafval (big bags) en containers (met ook sloopafval), afkomstig van een sorteerbeedrijf waarmee terugnameafspraken werden gemaakt. Ook een deel van het productieafval van een Nederlandse fabriek wordt in Burcht verwerkt.

Het afval wordt via een primaire en een secundaire breker vermalen tot zeer fijn poeder ($< 1 \text{ mm}$ – ‘bloemstructuur’) en terug ingezet als zandvervanger in de productie. In Nederland vervangt men anno 2009 ca. 1% tot 9% van de zandfractie door gebroken cellenbeton. In Burcht geven de cijfers aan dat reeds tot 20% van de droge zandfractie wordt vervangen door cellenbetonpoeder. Dit komt overeen met ongeveer 20 000 ton materiaal.

Een belangrijk aandachtspunt is de zuiverheid van het aangeleverde afval, en dit zowel naar afwerking (uitzicht) van het eindproduct, als naar problemen met het snijproces door aanhechtende hout- of plasticresten aan de snijdraden.

Navraag bij de overige leveranciers van cellenbeton op de Belgische markt leerde dat zij tot nader order geen cellenbetonrecycling in hun eigen productie toepassen. Op deze recyclagepiste wordt dieper ingegaan in Hoofdstuk 4.



Figuur 23: Cellenbetonafval dat wordt ingezet in de nieuwe productie (XELLA Burcht)

3.2.1.4 Ervaringen van Xella met cellenbetonafval-recyclage

Vanuit Xella wordt aangehaald dat er momenteel absoluut geen zicht is op de huidige

afzetmarkt, zowel in volume als in mogelijke kanalen, van het cellenbetonafval dat ontstaat. Er wordt wel een zekere aanvoer van afvalmateriaal toegestaan in de fabriek in Burcht, maar de omvang van de stroom is beperkt. Dit komt enerzijds omdat men dit bewust beperkt houdt, om geen aanzuigeffect voor te vervuilde fracties te creëren. Anderzijds veronderstelt men dat er een interessantere markt bestaat voor het cellenbetonafval, die mede wordt gevoed door de 'probleemsfeer' die rond dit materiaal hangt.

Deze problematiek heeft voornamelijk te maken met de vragen rond sulfaatuitloging. Zo heeft men vanuit Xella vragen bij de verschillende interpretaties van de Europese wetgeving omtrent storten, waardoor dit in een aantal landen wel en in een aantal landen niet meer is toegestaan. Men merkt echter wel dat steeds meer landen de richting ingeslagen door Vlaanderen, Nederland en Duitsland beginnen volgen. Hierbij geeft men ook aan dat er eenduidigheid noodzakelijk is in manier van beproeven en interpretatie van de resultaten. Voor de cellenbetonproducent is het in ieder geval nadelig dat de hele problematiek rond recyclage en uitloging zorgt voor een negatief imago.

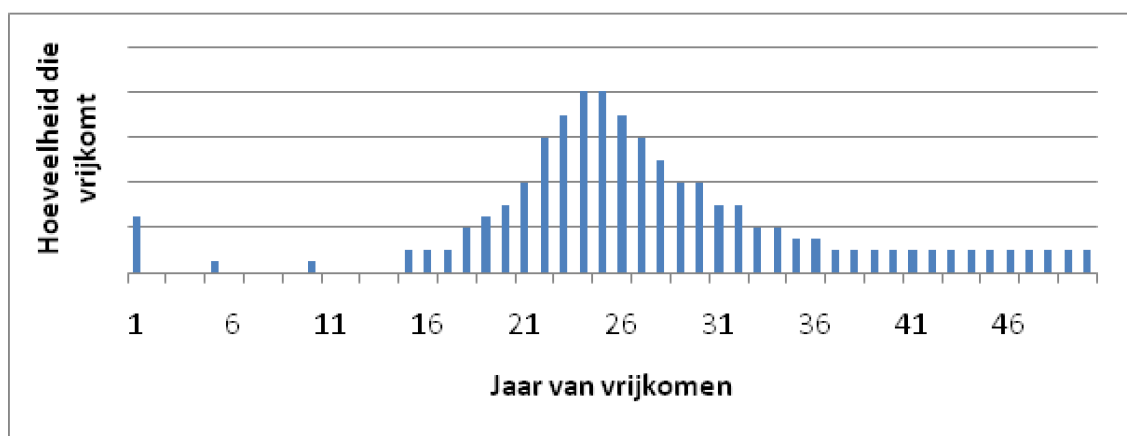
Xella is bereid om mee te werken aan het sluiten van de keten, en heeft hier in het verleden ook al stappen in gezet. Men stelt echter duidelijk dat Xella geen recyclingbedrijf is en de verschillende aspecten van de recyclingmarkt (logistiek, prijszetting, technische verwerking) buiten haar competenties liggen. Xella wil wel meewerken aan het opstellen van technische specificaties voor de 'intake' van gerecycleerd cellenbetonafval, voor inzet in nieuw cellenbeton (zie volgend hoofdstuk). Dit betekent niet dat Xella ook de zuiverheid van het inkomende materiaal wil bijkomend controleren of opwerken.

Daarnaast moeten andere waardevolle, bestaande en potentiële - en af te raden - afvoerkanalen beter in beeld worden gebracht. Het is immers niet waarschijnlijk dat alle cellenbetonafval terug kan worden ingezet in de productie van cellenbeton (wegens vereiste zuiverheid en beperkte capaciteit). Tot slot dient ook meer duidelijkheid te komen in de problematiek van de sulfaatuitloging.

3.2.1.5 Prognose van afvalhoeveelheden op basis van marktgegevens

Indien we uitgaan van de volumes cellenbeton die in het verleden op de markt kwamen (zie FIGUUR 19), kan via een schatting van de levensduur van het cellenbeton in een gebouw een prognose worden gemaakt van de hoeveelheid cellenbeton die terug zou moeten vrijkomen na verloop van tijd. Er werden drie scenario's gesimuleerd met telkens een verschillende verdeling in de levensduur van het cellenbeton. Er is voor elk scenario aangegeven hoe de levensduur verdeeld is over de beschouwde periode.

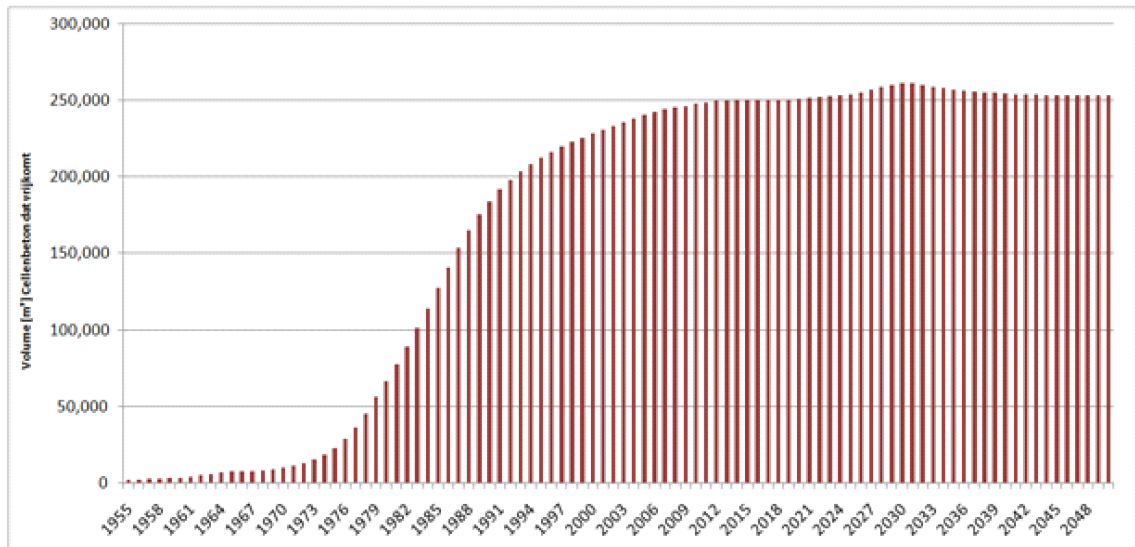
Scenario 1 – Gemiddelde levensduur 25 jaar



Figuur 24: Scenario 1 levensduur cellenbeton

Op jaar 1 komt er een hoeveelheid bouwafval vrij, in de jaren daarna sporadisch een partij die

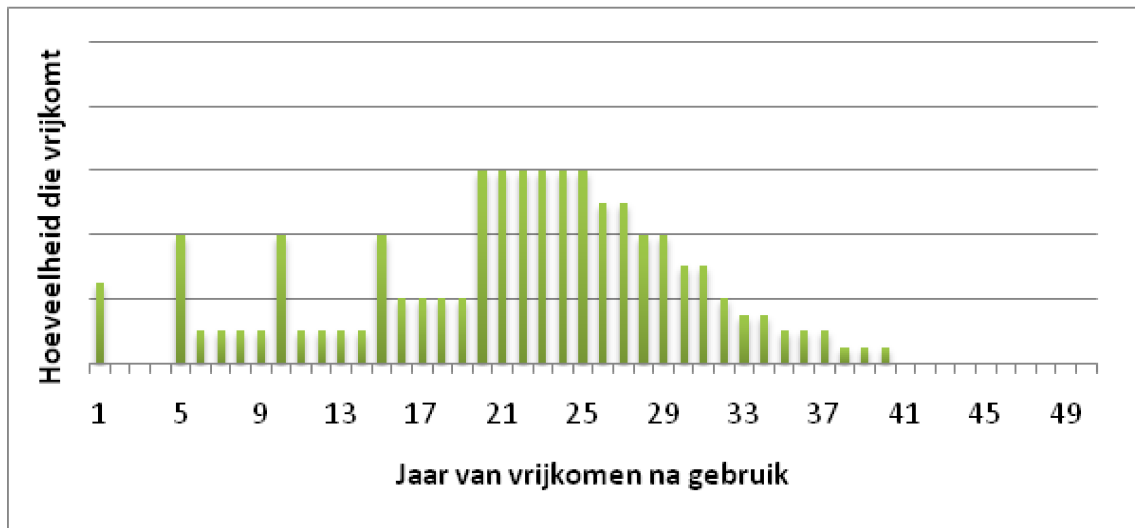
bv. in toepassingen met een kortere levensduur (winkelinrichting, ...) werd toegepast. De gemiddelde verwachte levensduur van cellenbeton situeert zich rond de 25 jaar. Na 50 jaar wordt verwacht dat alle cellenbeton die op jaar 0 werd toegepast, gesloopt is. Indien men veronderstelt dat de afzet op de markt constant blijft aan het niveau van 2009, bekomt men volgende grafiek voor de vrijkomende hoeveelheid cellenbetonafval doorheen de jaren.



Figuur 25: Volume cellenbetonafval dat vrijkomt bij levensduurscenario 1

Uit deze figuur kunnen we afleiden dat de productie die in de jaren '50 van start ging, vanaf de jaren '70 terug vrijkomt. Op termijn volgt de curve dezelfde lijn als de productiecurve, ze wordt namelijk constant rond het jaar 2010. Vanaf dat moment komt er jaarlijks in België zowat 250 000 m³ (125 000 ton) cellenbetonafval vrij.

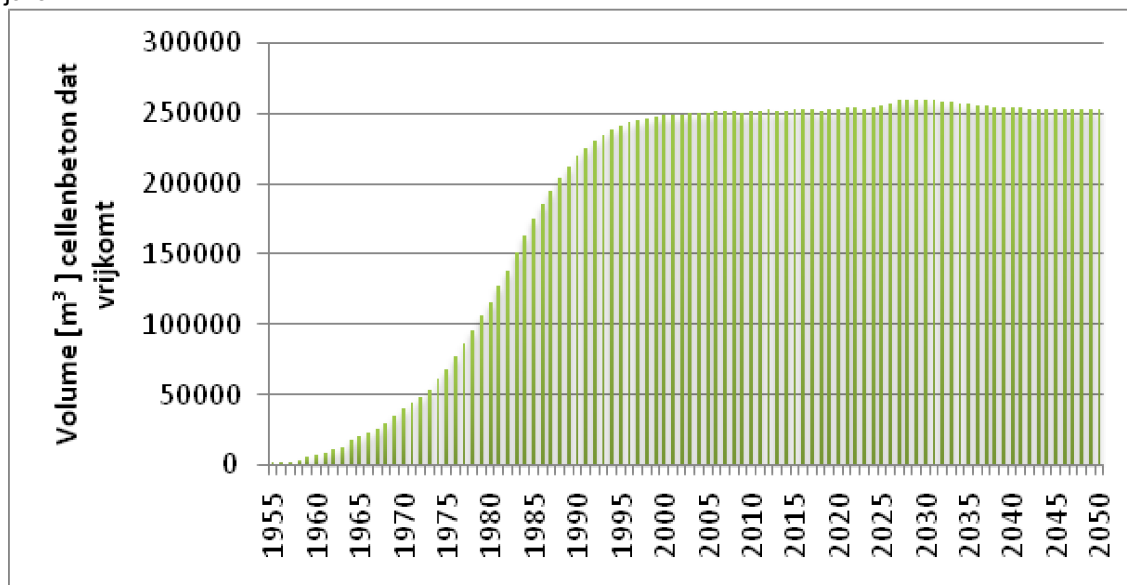
Scenario 2 – Kortere levensduur



Figuur 26: Scenario 2 levensduur cellenbeton

Op jaar 1 komt er een hoeveelheid bouwafval vrij. De levensduur van cellenbeton in dit scenario is korter dan in scenario 1. Er wordt verondersteld dat cellenbeton ook in de eerste 15 jaar geregeld wordt gesloopt in meer commerciële en industriële omgevingen. De levensduur van de blokken wordt op 20-25 jaar geschat. Na 40 jaar is alle cellenbeton gesloopt. Indien men veronderstelt dat de afzet op de markt constant blijft aan het niveau van 2009,

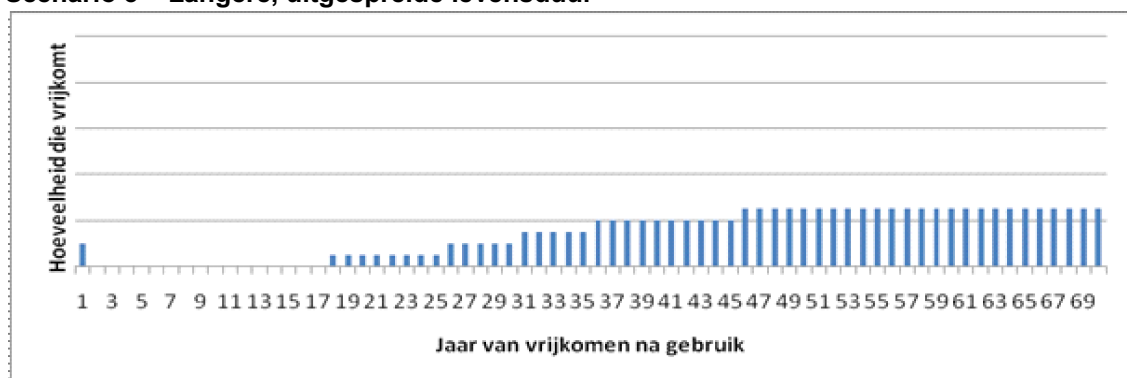
bekomt men volgende grafiek voor de vrijkomende hoeveelheid cellenbetonafval doorheen de jaren.



Figuur 27: Volume cellenbetonafval dat vrijkomt bij levensduurscenario 2

Uit deze figuur kunnen we afleiden dat de productie die in de jaren '50 van start ging, vanaf de jaren '70 terug vrijkomt en sneller tot een constant peil van 250 000 m³ komt, rond het jaar 2000. Vanaf dat moment komt er jaarlijks in België zowat 250 000 m³ (125 000 ton) cellenbetonafval vrij.

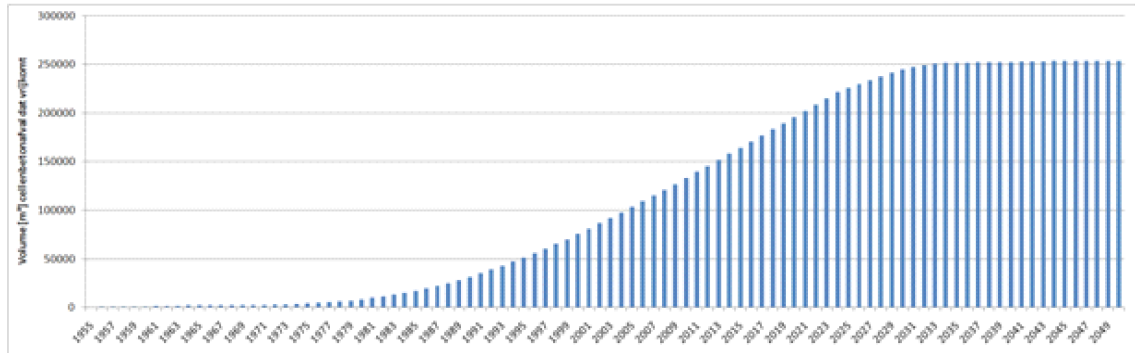
Scenario 3 – Langere, uitgespreide levensduur



Figuur 28: Scenario 3 levensduur cellenbeton

In het derde scenario gaat men van een zeer lange levensduur uit. Enkel op jaar 1 is er een hoeveelheid bouwafval, daarna komt het cellenbeton zeer geleidelijkaan vrij vanaf het 17e jaar. Er wordt verondersteld dat op jaar 70 alle cellenbeton van jaar 0 vrijgekomen is.

Indien men veronderstelt dat de afzet op de markt constant blijft aan het niveau van 2009, bekomt men volgende grafiek voor de vrijkomende hoeveelheid cellenbetonafval doorheen de jaren.



Figuur 29: Volume cellenbetonafval dat vrijkomt bij levensduurscenario 3

Uit de figuur leidt men af dat het vrijkomen van cellenbetonafval veel geleidelijker gebeurt. Met dit scenario van levensduur, is anno 2010 de vrijkomende hoeveelheid cellenbeton in België ongeveer 130 000 m³. Dit is slechts de helft van wat er op termijn jaarlijks zal vrijkomen. Tegen 2035 bereikt men eveneens de steady state, waarbij telkens 250 000 m³ cellenbeton per jaar in België vrijkomt.

Conclusie

Uit deze scenario-analyse kan men afleiden dat op termijn een redelijk constante afvalstroom van rond de 250 000 m³ cellenbeton in België kan worden verwacht, waarbij men rekening houdt met de basisveronderstellingen: het scenario voor de verdeling van de levensduur en de constantheid daarvan in de tijd (maw dat de gemiddelden niet van jaar tot jaar variëren), de continuïteit van productie van cellenbeton, In scenario's waarbij de levensduur van cellenbeton beperkt is, zit men nu al aan dit cijfer. Indien men een lange levensduur veronderstelt, zit men nog maar aan ongeveer 55% van dit cijfer.

250 000 m³ op jaarbasis in België komt overeen met 137 500 ton per jaar in België. Indien we veronderstellen dat 2/3 hiervan in Brussel en Vlaanderen vrijkomt, spreekt men dus van een stroom van ca. 92 000 ton/jaar.

3.2.2 Cellenbeton in de bouwfase

Er werden een aantal aannemers gecontacteerd die werken met cellenbeton (voornamelijk woningbouw). Uit een punctuele bevraging werd afgeleid:

- Cellenbeton veroorzaakt weinig bouwafval. De hoeveelheid kan mits goede uitvoering worden beperkt tot een minimum. Percentages die worden genoemd, variëren tussen 2 en 4% van het ingezette volume. Ter informatie kan men bv. in de ASPENindex (naslagwerk met richtprijzen voor de bouw) nagaan met welk materiaalverlies men rekent in de kostprijsberekening. Men hanteert hier een percentage van 4%, wat even hoog is dan voor andere types stenen. Een globaal percentage van 4% zou een afvalvolume van 8000 m³ betekenen op een totaal van 200 000 m³ blokken. Het verlies bij gebruik van gewapende platen is veel beperkter, gezien deze op maat worden toegepast.
- De verwerking van het afval gebeurt op verschillende manieren:
 - Er wordt in de eerste plaats zoveel mogelijk van het afval ter plaatse gerecycleerd, bv in niet-zichtbare of minder kritische toepassingen.
 - Meestal is het ontstane cellenbetonafval een te kleine hoeveelheid (bij woningbouw) zodat het via container 'gemengd bouwafval' naar een sorteerbeidrijf wordt afgevoerd.
 - Een aantal bedrijven voorziet wel een aparte afvoer:
 - De afvoer naar een afvalverwerker (sorteercentrum) is zeer duur, terwijl het cellenbetonafval vervolgens niet per se apart wordt verwerkt.
 - Het afval kan ook naar Xella in Burcht worden afgevoerd: de aannemer moet het afval op eigen kost afvoeren (indien voldoende materiaal verzameld) en mag het daar gratis afleveren indien het zuiver is.

- Vanuit de (kleinere) aannemers worden volgende knelpunten ervaren:
 - Te dure afzet als monostroom bij afvalverwerkers/sorteerders
 - Het afvoerkanaal via big bags of lokale inzameling:
 - Wordt niet of weinig gebruikt of gepromoot door Xella. Dit komt mogelijk omdat er teveel andere afvalstromen (en dus ongewenste verontreinigingen) werden meegestuurd richting Burcht.
 - Door de extra overslag van materiaal die moet gebeuren indien men het cellenbeton terug naar de bouwhandelaar brengt, is ook dit proces wellicht te duur.
 - Voor grote aannemers die voldoende afval hebben en voldoende 'purchasing power' is dit systeem wel interessant, indien men de bouwhandelaar hiervan kan overtuigen.



Figuur 30: Cellenbetonafval op een bouwwerf



Figuur 31: Transport van cellenbetonafval



Figuur 32: Gebruik van de puinzak voor cellenbeton-snijafval op een grote Brusselse werf

3.2.3 Cellenbeton in de sloopfase

In de sloopfase is het quasi onmogelijk om cellenbeton 100% zuiver apart te houden. Er is altijd vermenging met lijmresten, cementeringsresten, gips, bezetting, ... Hout ed. zijn daarentegen minder problematisch omdat deze fracties achteraf (manueel) uit te sorteren zijn.

Wellicht is er bij de sloop nog steeds een zekere opmenging van het cellenbetonafval met het steenachtig afval. Maximaal is dit uiteraard 5% (volgens PTV 406 dat de voorschriften voor kwaliteit van puingranulaat voorschrijft). Hierop wordt nu wel strenger gecontroleerd dan in het verleden.

	Afvoer	Naar	Hoeveelheid/jaar (3)		Opm.
C	Container Meng of Stenen	Sorteerbedrijf	(50 t)	100 m ³	(1)
D	Apart	Sorteerbedrijf	(500 t)	1000 m ³	
E	Apart	Stort / Sorteerbedrijf	250-500 t	(1000 m ³)	
G	Apart	Sorteerbedrijf / Recyclage	100 t	(200 m ³)	
N	Container Meng	Sorteerbedrijf	(25 t)	50 m ³	
V	Apart	Recyclage	1000 t	(2000 m ³)	(2)

Opm: (1): Enkel binnenaafbraak dus hoeveelheden relatief klein, (2): Nood aan alternatieve verwerkingsmethodes, huidige verwerkingsprijzen te duur en product dient te zuiver te zijn!
(3) cijfers tussen haakjes : omrekening van aangegeven hoeveelheid

Tabel 12: Overzicht antwoorden van sloopaannemers op mini-enquête omtrent omgang met cellenbetonafval

Daarnaast wordt er ook een hoeveelheid afgevoerd via het 'gemengd afval' naar de container-

en sorteerbeidrijven. Een deel wordt apart ingezameld en rechtstreeks gestort. Dit blijkt ook uit de mini-enquête die via CASO vzw, de vereniging voor sloop- en ontmantelingsbedrijven, werd georganiseerd onder bedrijven. Deze enquête is niet statistisch onderbouwd, maar geeft wel een overzicht van de verschillen die bestaan bij de omgang met cellenbeton.

Er is geen eenduidige omgang met het materiaal cellenbeton bij sloopwerken. In een aantal gevallen is er wel aparte afvoer, maar dit kan zowel naar de stortplaats, het sorteerbeidrijf of de recycling-instelling zijn, zonder dat deze verder gespecificeerd werden. In het algemeen gaat het op jaarbasis wel over kleine tonnages of volumes per sloopbedrijf.

Een schatting vanuit CASO vzw van de hoeveelheid cellenbetonafval die jaarlijks vrijkomt wordt gemaakt op basis van gemiddelde jaarlijkse (aparte) afvoer van 250-500 ton per beidrijf, vermenigvuldigd met 200 sloopbedrijven, wat resulteert in een hoeveelheid van 50 000 tot 100 000 ton cellenbetonafval op jaarbasis. Er wordt verwacht dat deze hoeveelheid de toekomst zeker nog zal toenemen.

3.2.4 Verwerking van cellenbetonafval

3.2.4.1 Sorteerbeidrijven en containerbedrijven

Instream

Net als bij de sloopbedrijven werd via de FEBEM (Federatie van Beidrijven voor Milieubeheer, die een groot deel van de sorteerbeidrijven vertegenwoordigt) een mini-enquête georganiseerd bij de leden. Hierop kwamen 4 reacties binnen, die in onderstaande tabel zijn samengevat.

De aanvoer van cellenbeton gebeurt via:	Aparte container/puinzak Container Meng of container Steenachtig Cellenbeton wordt geweigerd
Aanvoer komt van:	Vooramelijk afbraak
Wordt cellenbeton uitgesorteerd als aparte fractie?	Ja (altijd)
Hoeveel cellenbeton verwerkt u op jaarbasis?	0 ton - 100 ton - 1000 ton - 4000 ton
Wat doet u met cellenbetonafval?	Diverse antwoorden: Eigen verwerking / Afvoer naar stort / Afvoer naar recyclingbedrijf
Neemt de hoeveelheid cellenbetonafval toe?	'ja' (meestal) & 'variabel'

Tabel 13: Overzicht antwoorden sorteerbeidrijven op mini-enquête

Uit de ontvangen antwoorden kan men reeds afleiden dat de omgang met cellenbeton bij sorteerbeidrijven ook zeer divers is, zowel wat betreft aanvoermogelijkheden (van niet geaccepteerd tot aparte containers), hoeveelheden als afzet van het materiaal (zowel storten, afvoer naar recycling als eigen verwerking). Deze diversiteit in 'intake' heeft wellicht te maken met dezelfde diversiteit in 'afzet'. Niet iedereen gebruikt dezelfde afzetkanalen, waardoor ook de intake varieert.

Verwerking

Sorteerbeidrijven vinden almaar moeilijker afzet voor het cellenbeton, geeft FEBEM aan. Op bepaalde stortplaatsen van Categorie 3 mag het niet meer worden gestort. De afzet op Categorie 1 stortplaatsen is te duur. Er is 1 stortplaats Categorie 3 die wel nog cellenbeton

aanvaardt, dit is expliciet in de VLAREM-vergunningen opgenomen. Er is vanuit de sorteerbedrijven mogelijk een afvoer naar Nederland. Over dit kanaal bestaat er discussie in verband met het grensoverschrijdend transport, en of cellenbeton onder de noemer 'beton' of onder de categorie 'gipshoudend' mag/moet worden vervoerd.

Het standpunt van de OVAM hierin is dat schriftelijke kennisgeving en toestemming noodzakelijk is. Deze wordt niet per se geweigerd, op voorwaarde dat wordt aangetoond dat het over een nuttige toepassing gaat. Tot op heden blijft het echter onbewezen dat men bij de Nederlandse verwerker een nuttige toepassing aan het cellenbeton geeft.

Standpunt van FEBEM

FEBEM is voorstander van het sluit-de-kring-principe en dus maximale inzet van cellenbetonafval in de productie van nieuw cellenbeton. Goede recycling moet mogelijk zijn, eventueel met inzet van gespecialiseerde infrastructuur voor sorteren en breken.

Logistiek is hierbij uiteraard een belangrijk gegeven. Het uitsorteren van de stroom moet worden beloond in plaats van een probleem op te leveren. De kostprijs hiervoor wordt bepaald door de transportafstand en de randvoorwaarden, zoals de toegelaten 'zuiverheid van de aanvoer' (acceptatie). Een mogelijk knelpunt hierbij is het sorteren van de verschillende 'witte fracties' (gips, cellenbeton, ...) door de arbeiders in het sorteercentrum.

Voor de overige stroom vervuild cellenbeton (die niet naar cellenbetonproductie kan) is het aan te bevelen een hoogwaardige afzet te vinden.

Een aandachtspunt is het vergund zijn voor de verwerking/opslag van deze aparte afvalstroom.

3.2.4.2 Brekerbedrijven

Volgens Willy Goossens van de FPRG (Federatie van Producenten van RecyclingGranulaat) zullen brekers proberen dit materiaal zoveel mogelijk te weren. Waar mogelijk wordt het eruit gehaald en gestort. Het is niet duidelijk of er een groot 'meng-effect' - waarbij cellenbeton bewust of onbewust wordt vermalen onder het steenpuin - is of niet. Dit blijkt ook uit de antwoorden die via een korte enquête naar de leden van de FPRG werd uitgestuurd. 15 formulieren werden teruggestuurd. De resultaten tonen dat:

- 11 van de 15 bedrijven geen cellenbeton accepteert. Van deze 11 zijn er een vijftal die via handmatig sorteren en windziften het cellenbeton dat toch onder het puin zit er proberen uit te halen.
- Deze technieken ook worden toegepast door degenen die wel cellenbeton accepteren. Deze bedrijven vermelden expliciet dat ze het uitgesorteerde cellenbeton (voor of na breken) afvoeren naar de stortplaats (vanaf 100 ton tot 1000 ton). Daarnaast is er 1 bedrijf dat een waterbad gebruikt om oa. cellenbeton uit te sorteren.
- Een drietal bedrijven meldt dat men geen problemen heeft met cellenbeton, gezien zij hoofdzakelijk puin van wegeniswerken verwerken.

Net als bij de slopers en de leden van FEBEM is er onvoldoende cijfermateriaal beschikbaar om in te schatten over welke hoeveelheden cellenbetonafval het op jaarbasis gaat.

3.2.4.3 Stortplaatsen

Gezien de uitloging van cellenbetonafval de 1 000 mg/kg DS overschrijdt (zie Hoofdstuk 2), is het storten op stortplaatsen van Categorie 3 normaal gezien geen optie, tenzij het expliciet in de milieuvergunning staat, of de exploitant op zijn verantwoordelijkheid de correctheid van de aanpak kan aantonen. Op deze grenswaarde zijn ook een aantal uitzonderingen, hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 2.3 van deze studie.

Om een idee te krijgen van welke hoeveelheden cellenbeton momenteel in Vlaanderen worden gestort, werd via de OVAM nagekeken welke volumes er werden aangegeven in de jaarverslagen van de stortplaatsen.

Hierbij werd opgemerkt dat slechts enkele stortplaatsen cellenbeton als aparte afvalstof registreren. Bij de andere locaties is er sprake van categorieën als 'recyclageresidu bouw',

'recyclageresidu erkende brekers', 'inert bouw- en sloopafval', 'onbrandbaar bedrijfsafval', 'gemend bouw- en sloopafval (inert + niet-inert)' ... waardoor geen volledige inventaris kon worden opgemaakt.

Bij drie stortplaatsen van Categorie 3 (Inert) werden volgende hoeveelheden gestort cellenbeton geregistreerd.

Gestort cellenbeton [in ton]	2009	2008	2007
Stortplaats A	4084	1234	1652
Stortplaats B	47	47	51
Stortplaats C	322	15702	4130

Tabel 14: Overzicht beschikbare gegevens stortplaatsen ivm intake cellenbeton

De gegevens van de overige stortplaatsen (Cat 1, Cat 2 en Cat 3) lieten niet toe om bruikbare cijfers te genereren. Uit de tabel blijkt dat er jaarlijks toch enkele duizenden ton cellenbeton als monostroom worden aangeboden bij de stortplaatsen (Cat 3).

3.2.4.4 Containerparken

Uit contacten met de VVSG (Vereniging van Vlaamse Steden en Gemeenten) bleek dat er weinig bekend was over een specifieke behandeling voor de stroom cellenbeton. Het wordt wellicht wel apart gehouden van de steenachtige fractie, om deze niet te compromitteren, maar het is onduidelijk waar het cellenbeton dan wel terecht komt.

3.2.5 Recyclagemogelijkheden voor cellenbetonafval: specifieke initiatieven in Vlaanderen

3.2.5.1 Bouwmaterialen- en containerbedrijf André Celis

Dit bedrijf heeft een afspraak met de Xella omtrent de terugname van cellenbetonafval. In de nieuwe sorteerlijn wordt hier dan ook rekening mee gehouden: het cellenbeton wordt apart uitgesorteerd. De intake van het bedrijf betreft voornamelijk containers gemengd afval afkomstig van bouwerven of renovatieactiviteiten, samen met restafval dat bij collega-sorteerders en brekers wordt verzameld. Zuiver cellenbeton als monostroom wordt slechts zelden aangeleverd. Op jaarbasis gaat het om 50 à 60 vrachten richting de producent in Burcht. Ruw geschat betreft het 500-750 m³ cellenbeton dat werd afgezet in 2009. Hiervan zijn er al een aantal vrachten teruggekeerd. Er wordt immers complete zuiverheid verwacht bij Xella en zaken als hout worden niet getolereerd.

Het systeem met puinzakken specifiek voor cellenbeton bestaat. Dit wordt echter voornamelijk toegepast bij de bouwhandelaren die er de kapotte en slechte stenen in verzamelen om deze terug te sturen naar de fabrikant. Er wordt ingeschat dat het systeem op de werf zelf niet vaak wordt toegepast, wegens te duur, te omslachtig en een hoeveelheid cellenbetonafval die beperkt is en die dan nog eens zeer zuiver moet zijn. Momenteel gebeurt het sorteren voornamelijk om het steenpuin te zuiveren en vanuit een voorbeeldfunctie en via goede contacten met de cellenbetonfabrikant, zonder dat het proces rendabel is.

3.2.5.2 Recyclagebedrijf EKP Recycling – Jacobs Beton

Er worden een aantal categorieën cellenbetonafval geaccepteerd, elk aan een eigen tarief:

- Zuiver of onzuiver met inerte materialen
- Gewapend of maximaal 20% gips

- Vervuild met plastic, hout, ... (max. 5%)

De prijszetting is redelijk, zij het wel nog hoger dan bv. de afvoer naar Nederland. Deze stromen zijn afkomstig van grote afbraakwerken, waarin de monostroom cellenbeton voldoende groot is. Er wordt gemikt op een inkomende stroom van 50 000 ton per jaar. Momenteel heeft men een zeker percentage van die hoeveelheid ingezameld. De inzameling op een grotere schaal over heel Vlaanderen kan eventueel op termijn via een aantal regionale ontvangstcentra gebeuren. Het cellenbeton wordt via een eigen ontwikkeld proces gebroken tot een korrel 0/8. Een belangrijk aandachtspunt hierbij is de stofvorming. De capaciteit van het proces is 80 t/h. Het materiaal wordt vervolgens toegepast in een vormgegeven zandcementtoepassing (voldoende draagkracht vereist – 9 Mpa).

Kurt Jacobs geeft aan dat een aandachtspunt voor verdere ontwikkeling de benodigde hoeveelheid cement in functie van het uitloggedrag is. Hierbij geeft hij aan dat het Nederlandse normkader wat dat betreft minder streng is. Bedoeling is dat er ook een deel van het verwerkte cellenbeton terug naar de producent vloeit als het voldoende zuiver is.

Een belangrijke rol voor de overheid is volgens Jacobs weggelegd in het creëren van een duidelijk kader voor specifieke afvalstromen en dit systeem ook voldoende 'gesloten' te houden. Idealiter worden de grote stromen die er zijn ook voldoende groot gehouden in plaats van iedereen een klein stukje –ongecontroleerd- te laten verwerken. Daarnaast moet er meer aandacht komen voor illegale praktijken als ondermenging en afvoer buiten Vlaanderen. Voor een goede bedrijfsvoering is immers een zeker volume (gekoppeld aan een goede inname-prijs) noodzakelijk. Indien men op een goedkopere manier 'weg kan' met zijn cellenbetonafval, is de recyclingpiste niet aantrekkelijk.



Figuur 33: Opslag van cellenbetonafval voor breken en recycleren

3.2.5.3 Chap-YT

Dit project zit in de verkenningsfase. Anno 2010 wordt een onderzoekstraject binnen het MIP2-programma doorlopen. De bedoeling is om op basis van cellenbeton zand voor chape (dekvloeren) te produceren. Onder andere de productie van de grondstof voor de chape dient nog te worden verfijnd en er moet nog worden onderzocht of er een economisch rendabel

mengsel kan worden gemaakt. Er wordt gemikt op de verwerking van 30 000 ton cellenbeton. Voordeel van het chape-systeem is dat het een gesloten kringloop vormt. Door de chape een karakteristieke kleur toe te kennen (of een ander herkenbaar element) is het bij afbraak bekend welke materialen erin zitten en waar het afval opnieuw verwerkt kan worden. Daarnaast betreft het ook een binnentoepassing, waardoor het risico op sulfaatuitloging sterk wordt gereduceerd; uiteraard op voorwaarde dat de kringloop gesloten blijft.

De technische mogelijkheden en de haalbaarheid worden verkend in de periode 1 oktober 2010 tot 1 oktober 2011. Het project omvat 3 pistes:

- Verwerking van cellenbetonzand in traditionele chape
- Verwerkingsmogelijkheden in gietchapes
- Verwerking in lichte chapes ter vervanging van kleikorrels
-

Deze pistes worden afgetoetst door proefprojecten op werkelijke schaal.

Meer info vindt men op <http://www.mipvlaanderen.be/nl/webpage/102/chap-yt.aspx>.

3.2.5.4 Vroegere initiatieven

Recyclagebedrijf A had een gebruikscertificaat tot 2010. Het cellenbeton wordt apart aangeleverd, afkomstig uit afbraak en sorteerinstallaties. De prijs wordt vrij hoog gezet, het is niet de bedoeling een grote stroom aan te trekken, maar eerder een dienstverlening voor goede klanten. Indien het niet apart wordt binnengenomen, zit het toch in de rest van het puin, en het is moeilijk om goede klanten terug te sturen. In totaal gaat het om een beperkt volume. Het cellenbeton wordt op bepaalde tijdstippen gebroken (in binnenomgeving) en vervolgens verwerkt in gestabiliseerde zandmengsels. Tot op heden is dit een ongebonden toepassing, in de toekomst zal naar een gebonden toepassing moeten worden omgeschakeld. Chape wordt als een interessante piste genoemd, die meer studiewerk vereist. Beton wordt onmogelijk geacht, wegens de segregatie van het mengsel (vooral bij grotere korrels).

Bouwbedrijf E is in het bezit gekomen van een grote partij cellenbeton door de aankoop van een bedrijfsterrein. Daarom werd een gebruikscertificaat aangevraagd om deze stroom te kunnen verwerken.

Tot op heden werd 1 groot proefproject opgezet: de verwerking van 400 m³ cellenbeton via een breker en een betonproducent in panelen voor een loods. Deze panelen werden gemaakt met 100% cellenbeton, kaliber 0/5, en een cementgehalte van 400-450 kilogram. Deze panelen houden het midden tussen cellenbeton en beton. Na 2 jaar is er geen visuele schade vaststelbaar.

Deze toepassing is echter niet wetenschappelijk onderbouwd. Dit is wel nodig vooraleer het maken van deze panelen verder geoperationaliseerd kan worden.



Figuur 34: Betonnen elementen voor een loods, geproduceerd met cellenbetonzand

Voorlopig liggen de ontwikkelingsactiviteiten stil. Het gebruikscertificaat is intussen ook verlopen en zou eerst moeten vernieuwd worden vooraleer aan verdere technische stappen kan worden gedacht.

3.2.6 Verkenning pistes recyclage in beton en cement

Binnen de Belgische betonsector (zowel stortbeton als betonproducten) zijn momenteel geen specifieke toepassingen van cellenbetonafval gekend. Deze piste wordt verder verkend in het volgende hoofdstuk van deze studie.

De mogelijkheden voor valorisatie van cellenbetonafval in de productie van cement werd in eerste instantie afgetoetst bij een bedrijf dat hierrond al enig verkennend werk geleverd heeft. De voornaamste aandachtspunten zijn proces-technisch en logistiek van aard. Hierop wordt ook in het volgende hoofdstuk van deze studie dieper ingegaan.

3.2.7 Experten binnen de keten van bouw- en sloopafval

Volgens Luc De Bock van het OCW (Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw) is cellenbeton binnen de wegenbouw momenteel geen echt thema. Het enige aandachtspunt is het toegelaten percentage cellenbeton als 'ander steenachtig materiaal' in meng- of betongranulaat voor gebruik in funderingen en onderfunderingen. Andere knelpunten of bestaand onderzoek zijn niet bekend.

Luc Boehme van KHBO stelt vast dat er weinig of geen gegevens beschikbaar zijn over de grootte van het aanbod aan cellenbetonafval. Dit zou in eerste instantie moeten verduidelijkt worden, gezien het ook toelaat om gerichte acties naar onderzoek en ontwikkeling uit te voeren. Een aantal technische pistes zouden dan kunnen worden uitgewerkt.

Volgens Johan Put van Enviro-Challenge, tevens directeur van de BMR (Branchevereniging Mobiel Recycling) in Nederland, komt er wellicht nog een behoorlijk percentage cellenbetonafval terecht in de steenachtige fractie. Het afval wordt ondergemengd onder de steenachtige fractie aangeleverd, en is er ook niet altijd uit te halen of te weigeren (bv. omwille van klantvriendelijkheid). Een deel van het cellenbetonafval vindt dus samen met het beton- of mengpuingranulaat zijn weg naar de funderingen en onderfunderingen van wegen. Johan Put acht het mogelijk om een deel van het cellenbetonafval te verwerken en onder bepaalde voorwaarden terug naar de producent te brengen. Hiervoor zijn wel specificaties vereist waaraan het materiaal moet voldoen: korrelgrootte, korrelverdeling, verontreinigingsgraad, ... De sector van sorteerders en brekers kan er zich eventueel toe verbinden een bepaald tonnage aan te leveren, indien de producent zich ertoe verbindt deze stroom te accepteren (bv. via een soort convenant). Dit hangt uiteraard samen met een prijskaartje. De producent dient op dat moment de juiste prijs te betalen voor het materiaal. Dit impliceert ook dat het geproduceerde recyclingmateriaal niet duurder is dan het primaire materiaal en dat het effectief toepasbaar is in de productie. Indien deze piste vorm zou krijgen, zullen allicht slechts enkele gespecialiseerde brekers betrokken zijn als leverancier, gezien er wellicht toch in breektechniek en kwaliteit (zuiverheid) dient geïnvesteerd te worden op dat moment.

Daarnaast is er de vraag om een betere inventarisatie op te maken betreffende de hoeveelheid cellenbetonafval die wordt beheerd bij slopers, brekers, sorteerders, containerparken, ... om een beter beeld te krijgen van de aanwezige hoeveelheid op de markt. Dit kan ook helpen om de 'grote grijze zone' (de stroom die nu ook probleemloos afzet vindt, en dus geen echt 'probleem' vormt) beter in kaart te brengen om een meer gerichte aanpak toe te laten.

Twee aandachtspunten zijn:

- Kennis over de hoeveelheden die vrijkomen: geeft inzicht in de haalbaarheid van bepaalde acties.
- Opmengen van cellenbeton in steenpuin kan worden 'bestraft' door de invoer van een sulfaatnorm.

Alternatieve pistes die naar voren worden geschoven zijn:

- Het inpakken van cellenbeton om het uitlogen te vermijden en het toepassen als lichte funderingen (idee uit Nederland). Het is echter onduidelijk of een fractie 0/56 voldoende draagkracht levert. Hierover is geen onderzoek beschikbaar.
- Toepassing in vormgegeven toepassingen (immobiliseren). In Nederland lag een tijd geleden de piste op tafel om blokken en lichte platen uit cellenbetonafval te maken. Nederlandse bronnen betrokken bij dit onderzoek gaven aan dat deze piste geen groot succes was.

3.3 Ervaringen in de omliggende landen

3.3.1 Nederland

In Nederland recycleert het bedrijf GipsNet (onderdeel van Kok Lexmond Groep) gips- en cellenbetonafval. Beide stromen worden normaal gezien apart aangeleverd, en na beperkte reiniging vermalen tot een fractie 0/1. De capaciteit van het proces is 25 t/h. Het gips wordt opnieuw ingezet in aanmaak van gipsproducten. Het cellenbeton wordt in eigen producten verwerkt. Het zou voornamelijk gaan om 'lego-blokken'. Het is niet duidelijk hoe groot deze afzetmarkt is. Daarnaast is ook de cellenbetonfabrikant bezig met het onderzoek naar de mogelijkheden om deze stroom terug in de productie in te zetten. Het bedrijf heeft ook een 'redelijk grote' aanvoer vanuit België, mede dankzij de vrij lage prijszetting.

Vanuit de markt worden signalen opgevangen dat niet de volledige stroom wordt gerecycleerd, maar dat er een 'mengproduct' ontstaat (fijn gips + cellenbeton) dat vervolgens naar het buitenland wordt getransporteerd om daar te worden gestort. Daarnaast blijft er sowieso ook een deel cellenbeton achter in het steenpuin, hoe selectief er ook wordt gesloopt. Dit zorgt voor

problemen bij ongebonden toepassingen, zowel wegens de technische kwaliteit als wegens sulfaatuitloging (contactname P. Broere – BRBS).

Een ander initiatief is de ontwikkeling door Eerland Recycling van een recept voor toepassing van gebroken cellenbeton, gips en kalkzandsteen uit bouw- en sloopafval als lichtgewicht ophoogmateriaal. Dit materiaal, een 0/16 mm, wordt geïmmobiliseerd met een kalkachtig bindmiddel, wat leidt tot ettringietvorming. Monitoring van de sulfaatuitloging gedurende 3 jaar gaf aan dat het ontwikkelde product voldoet aan de Nederlandse grenswaarden voor sulfaatuitloging van het Besluit Bodemkwaliteit (contactname Dick Eerland – Eerland Recycling). De volgende fase in het project is de vermarkting.

Uit de 'Monitoringsrapportage bouw- en sloopafval 2006-2007' (Zwerus, 2009) kunnen indicatieve cijfers worden gehaald voor de hoeveelheid cellenbetonafval die in Nederland op de markt komt. Hierbij dient te worden opgemerkt dat deze hoeveelheden zowel gips als cellenbeton omvatten, en dat deze cijfers naar alle waarschijnlijkheid een onderschatting zijn van de huidige praktijk (aldus P. Broere van de BRBS).

	Mton 2006	% 2006	Mton 2007	% 2007
“Gips, gas-/cellenbeton: nuttig toegepast”	0.02	1.0	0.02	0.7
“Gips, gas-/cellenbeton: uitvoer voor nuttige toepassing”	0.01	0.6	0.01	0.6

Tabel 15: Overzicht Rapportering Afvalstoffen - Overgenomen uit 'Hoeveelheid & percentage eindproducten 2002-2007 Sorteerdors' (INTRON – SenterNovem)

Andere informatie wordt gehaald uit het Landelijk Afvalbeheerplan 2 (LAP2), sectorplan 32 Cellenbeton (VROM 2010). Zo wordt in Nederland het storten van cellenbeton op een daarvoor geschikte stortplaats als minimumstandaard beschouwd. In wezen is het uitvoeren van cellenbeton voor storten in beginsel niet toegestaan, op gronde van nationale zelfverzorging. Dit geldt ook voor voorlopige verwijdering indien daaropvolgend een deel van de overgebrachte afvalstof wordt gestort. De uitvoer voor (voorlopige) nuttige toepassing is in beginsel toegestaan, tenzij uiteindelijk zoveel van de overgebrachte afvalstof wordt gestort dat de mate van nuttige toepassing de overbrenging niet rechtvaardigt. Invoer voor storten is in beginsel niet toegestaan op grond van nationale zelfverzorging, de voorlopige verwijdering veroorzaakt immers een te storten restfractie en het storten van de restfractie is niet toegestaan. Invoer voor (voorlopige) nuttige toepassing is in beginsel toegestaan wanneer de verwerking in overeenstemming is met de Nederlandse minimumstandaard.

Omvang afvalstroom

De totale productie aan cellenbeton in de afvalfase in Nederland is niet goed bekend omdat in de monitoring het onderscheid tussen cellenbeton en afval dat valt onder sectorplan “steenachtig materiaal” slechts ten dele gemaakt kan worden. De geschatte productie van afval dat onder sectorplan “cellenbeton” kan vallen bedraagt ongeveer 91 kton (situatie 2005). In 2006 was er sprake van 100 kton. Dit is alvast een hoger cijfer dan wat er in 1999 werd ingeschat door prof. Hendriks. De schatting voor het decenium 1990-1999 lag op 34 kton (14 kton bouw, 8 kton renovatie, 12 kton sloop) en voor de periode 2000-2010 op 44 kton (toename van sloop tot 22 kton) (Hendriks, 1999).

Tot slot werd door de BRBS ook een conceptrapport aangaande Sulfaat in het Besluit bodemkwaliteit dd. 11.06.2009 (BRBS, 2009) ter beschikking gesteld. Hierin wordt gesteld dat de export naar Duitsland steeds meer wordt ingeperkt en voor de praktijk al nauwelijks meer te realiseren is. Anderzijds vindt de afzet van bepaalde stromen nog gemakkelijk haar weg in de opvulling van Duitse mijnen.

De tarieven voor verwijdering van puin zijn gunstiger dan de tarieven voor de afzet van gipshoudende stromen. Daardoor is de neiging om dit soort stromen in het slooppuin te laten zitten aanwezig en kost het de brekerbedrijven moeite dit materiaal buiten de poort te houden. Omdat sulfaathoudende materialen niet alleen vanuit milieuoogpunt ongewenst zijn, maar ook wegebouwtechnische nadelen hebben, willen de recyclingbedrijven deze stromen graag weren. We kunnen op basis van deze documenten en contacten met dhr. Broere van de BRBS vaststellen dat de situatie in Nederland vergelijkbaar is met die in België (qua volume en problematiek), al is er in Nederland wel een bedrijf dat zeer actief is op de cellenbetonrecyclingmarkt.

3.3.2 Duitsland

De actuele situatie in Duitsland wordt oa. beschreven door een paper van F. Hlawatsch en J. Kropp (IB AUSIL, Weimar, 2009). In 2000 werd er ongeveer 4.5 miljoen m³ cellenbeton (blokken en elementen) op de Duitse markt gezet. Actueel komt er naar schatting 700 000 ton cellenbetonafval per jaar vrij. Er kan slechts een beperkte hoeveelheid cellenbetonafval worden ingezet in de productie van nieuw cellenbeton. Wegens de geringe drukvastheid en stabiliteit bij wateropname, is het materiaal niet gewenst in wegenistoepassingen. Ook als ophoogmateriaal of in landschapstoepassingen kan cellenbeton niet worden toegepast wegens het hoge sulfaatgehalte. Bijgevolg wordt de grootste hoeveelheid van dit afval tot op heden gestort, waarbij dit ook niet meer overal mogelijk is. Voor de grove fractie zijn er beperkt toepassingen als absorptiemiddel of bij groendaken; de fijne fractie is problematisch, terwijl deze minstens 50% van het gebroken cellenbeton vertegenwoordigt.



Figuur 35: Kattenbakvulling gemaakt met cellenbetonafval

3.3.3 Wallonië

Contactname met TraDeCoWall leert dat in Wallonië cellenbeton wordt beschouwd als beton (17 01 01) en dat het mag worden gestort op stortplaatsen van Categorie 3, conform de uitlogingsresultaten volgens DIN 38414-S4 (L/S = 10) (ref: AGW du 14 juin 2001 Annexe III.1.A.). Bij de breker wordt cellenbeton niet aanvaard.

3.4 Technische mogelijkheden voor recyclage

Uit de verschillende gesprekken met actoren uit het veld en experts, alsook via literatuurstudie werden verschillende technische recyclingpistes naar voren geschoven. Deze worden in deze paragraaf gestructureerd voorgesteld, en waar relevant wordt enige toelichting gegeven, of de afkomst van de informatie vermeld, zodat de geïnteresseerde lezer hierover meer te weten kan komen.

3.4.1 Het sluiten van de kringloop

Xella recycleert op haar site in Burcht alle snijresten van de intermediare en afgewerkte cellenbetonblokken. In hoofdzaak betreft het uitval van de fabriek, zowat 1.5-2%, daarnaast is er ook een zekere aanvoer van bouwafval dat wordt teruggenomen via bigbags (& containers) en van sloopafval afkomstig van recyclage activiteiten van een bedrijf actief in de recyclage van bouw- en sloopafval. In Burcht wordt het cellenbetonafval (op voorwaarde dat het geen verontreinigingen bevat) via een primaire en een secundaire breker vermalen tot zeer fijn stof (< 1mm, 'bloemstructuur') en terug ingezet als zandvervanger in de productie. Het vervangingspercentage is zowat 15% (op droge massa) en uit testen in Burcht is reeds gebleken dat het percentage tot 20% kan worden opgetrokken. Het is niet duidelijk of dit het maximaal haalbare is. In Duitsland wordt echter een grenswaarde van 15% gehanteerd om de vereiste productkwaliteit van de nieuw aangemaakte cellenbeton te garanderen (Bundesverband Porenbeton, 2003). Een belangrijk aandachtspunt bij de recycling in cellenbeton zelf, is de zuiverheid van het aangeleverde afval. Aangehecht bitumen in het afval zorgt bv. voor grote zwarte vlekken in de eindproducten, wat ongewenst is vanuit esthetisch oogpunt. Vanuit technisch oogpunt is dit niet per se een probleem. Daarnaast zijn houtresten, plastic ed. nefast voor het snijproces (hecht aan de snijdraden). Fabrikanten van cellenbeton zijn in Duitsland (in het kader van 'DIN Plus') verplicht zuiver cellenbetonafval van bouw- en sloopactiviteiten te recyclen. Voor DIN plus gecertificeerd cellenbeton, geeft de producent de garantie dat hij zuiver cellenbetonafval terugneemt (Lang-Beddoe en Schrober, 1999).

Een mogelijke piste om een aantal knelpunten te verhelpen, is de creatie van de eco-cellenbetonblok, die naar analogie met bv. gerecycleerd papier, een grijzere of gespikkelde kleur zou hebben.

3.4.2 Ongebonden toepassing

3.4.2.1 Kattenbakvulling

In Duitsland is het gebruik van cellenbeton als kattenbakvulling reeds goed ingeburgerd. De grootte van de afzetmarkt voor gerecycleerd cellenbeton in deze toepassing kon niet worden ingeschat. Wel is geweten dat in Duitsland in 2008 ongeveer 8,2 miljoen katten werden gehouden en dat voor ongeveer 218 miljoen euro aan kattenbakvulling werd verkocht (Öko test, 2010). De prijzen voor kattenbakvulling lagen in 2009 tussen 2 en 12 euro per 10 kg/l. Voor producten met cellenbeton lag de prijs tussen 2,1 en 3,0 euro per 10 kg/l (Öko test, 2010). In België leven ongeveer 2 miljoen huiskatten (1.974.000 in 2008) (FOD Economie, 2010). Door extrapolatie van de Duitse cijfers zou dit betekenen dat voor ongeveer 50 miljoen euro aan kattenbakvulling wordt verkocht in België. Uit cijfers van de huishoudbudgetonderzoeken van de Directie Statistiek van de FOD Economie blijkt in 2008 door de Belgen 950 miljoen euro te zijn besteed aan huisdieren. Hiervan werd 550 miljoen euro (58 %) door Vlaamse gezinnen

uitgegeven. De grootste uitgavenpost blijkt kattenvoeding te zijn (227 miljoen euro). Hoeveel aan kattenbakvulling werd besteed werd niet gespecificeerd, dit valt onder de noemer artikelen voor huisdieren waaraan 108 miljoen euro werd besteed door de Belgen. De aangegeven 50 miljoen euro lijkt dus plausibel.

In 2009 werden verschillende in de handel verkrijgbare kattenbakvullingen getest (Öko test, 2010). Van de 20 geteste producten waren 4 producten met cellenbeton vervaardigd. De geteste kattenbakvullingen kregen de beoordeling zeer goed (4), goed (7), bevredigend (3), voldoende (4) of gebrekkig (2). De producten vervaardigd uit cellenbeton werden als gebrekkig (2) en als voldoende (2) beoordeeld. Daarmee scoren deze producten minder goed dan de andere geteste kattenbakvullingen. De minder goede scores werden vooral toegekend omwille van de geringe vochtopname (gemiddeld namen de geteste producten 180 gewichtsprocent water op, voor de producten op basis van cellenbeton was dit minder, voor sommige zelfs minder dan 100 gewichtsprocent), de geringe geur bindende kwaliteit (geur van kattenbakvulling met surrogaat kattenuurine werd beoordeeld (figuur 28) als ook de vorming van ammoniak) en de relatief sterke stofontwikkeling (figuur 28, er wordt bij stofvorming ook op gewezen dat het stof van cellenbeton kwartshoudend is en dat ingeademd kwartsstof tot silicose kan leiden). De kattenbakvulling op basis van cellenbeton scoorde wel goed voor wat de aanwezigheid van zware metalen betreft, in tegenstelling tot bijvoorbeeld een product op basis van bentoniet dat verhoogde nikkel, thallium en kobalt concentraties bevatte.



Figuur 36: De stofvorming werd beoordeeld door kattenbakvulling van op een hoogte van 50 centimeter in een bak te strooien, waarbij de stofvorming werd beoordeeld door 4 personen. De geur bindende kwaliteit van de kattenbakvulling werd beoordeeld door 4 personen te laten ruiken aan een dag oud mengsel van kattenbakvulling en surrogaat kattenuurine.

3.4.2.2 Olie-absorptiemiddel

Olie-absorbeers worden gebruikt om bijvoorbeeld olievlekken op wegen te verwijderen. Het aantal voor deze toepassing gebruikte materialen is zeer omvangrijk. In Duitsland worden deze materialen getest door het federale milieuoagentschap (Umweltbundesamt). De materialen die voldoen aan minimale kwaliteitseisen zijn in een publiek beschikbare lijst opgenomen. In deze lijst van ongeveer 140 olie absorbeers komen minstens 2 materialen voor op basis van cellenbeton (Helapor en Öl-Jaeger Y). Daarnaast zijn er nog verschillende in de handel verkrijgbare olieabsorptiemiddelen die blijkbaar volledig of deels uit cellenbeton bestaan. Enkele voorbeelden: Ölbond, IMSORB-Porenbeton, MAPO Ölbindemittel Basic. De hoeveelheid gerecycleerd cellenbeton dat op deze wijze wordt afgezet kon niet worden ingeschat.

3.4.2.3 Adsorptiemiddel voor zware metalen in de afvalwaterzuivering

Deze piste werd mondeling medegedeeld, doch hiervan werden geen verdere bronnen gevonden.

3.4.2.4 Gestabiliseerde zandmengsels en gerecycleerd granulaat

Een Vlaamse puinverwerker had een gebruikscertificaat voor toepassing van cellenbetonzand in zandcement (gemengd met andere fracties – lage druksterkte). Dit certificaat liep tot 2010 en zal daarna wellicht niet worden verlengd voor de huidige niet-vormgegeven toepassingen. Daarnaast komt een deel van het cellenbetonafval momenteel wellicht in het gerecycleerd beton- en vooral mengpuingranulaat terecht. Het is bij sloop niet altijd te vermijden om cellenbeton te vermengen met andere stromen, of het loont althans niet de moeite om dit materiaal zeer gedetailleerd uit te sorteren. Uiteraard worden aan het eindproduct wel eisen gesteld naar samenstelling. De hoeveelheid cellenbeton dient sowieso beperkt te zijn tot een kleine fractie.

3.4.2.5 Opvulling

Vanuit gesprekken kwam ook naar voren dat cellenbeton wordt/werd gebruikt om mijnschachten te vullen en om verzuurde bruinkoolmeren te ontzuren. Hierover werd geen verdere informatie bekomen.

3.4.2.6 Honingraatkorrels



Figuur 37: Honingraten en korrels om deze op te vullen (© Fermacell)

Vanuit Xella werd de piste geopperd om cellenbetongranulaat in te zetten als korrels (vulmateriaal) voor honingraat-vloerstructuren. Hierover kon echter geen bijkomende informatie worden verzameld binnen de studie.

3.4.2.7 Substraat voor groendaken

Er werd door MIRO (UK) een eerste verkennende studie uitgevoerd naar de mogelijkheden van het gebruik van cellenbetonkorrels in groendaken. Deze studie gaf aan dat nog een aantal zaken, waaronder uitloging, verder moeten worden bekeken (Cresswell, 2007).

3.4.2.8 Bodemverrijker

Het betreft een Duits onderzoek dat uit de combinatie van cellenbeton met toevoegstoffen een bodemverrijker voor landbouw en bosbouw wil ontwikkelen, waarbij de grondeigenschappen verbeteren, de waterbalans verbetert en minder conventionele meststoffen vereist zijn. (Bron: Xella NWE)



Figuur 38: Cellenbeton kan mogelijk worden ingezet als bodemverrijker

3.4.2.9 Afdeklagen voor stortplaatsen

Momenteel is het zo dat stortplaatsen methaan (CH₄) uitstoten, wat een broeikasgas is. Indien er voldoende methaan beschikbaar is kan het worden opgeslagen en gebruikt. Door cellenbeton als afdek materiaal te gebruiken in combinatie met een oxiderende bacterie wil men in Duitsland CH₄ omzetten naar CO₂. Hierdoor wordt de uitstoot van broeikasgassen verminderd. Daarnaast heeft deze toepassing het voordeel dat er veel cellenbeton voor nodig is, dat licht verontreinigd met mortel en andere stoffen mag zijn. Ook het zwavelgehalte van cellenbeton vormt geen probleem, volgens Dipl.-Ing. Martin Schäfers van het Duitse Bundesverband Porenbeton.



Figuur 39: Mogelijkheden voor inzet van cellenbeton op stortplaatsen als afdeklaag worden onderzocht

3.4.2.10 Verbeteren van baggerspecie

Opgebaggerde grond of slib bevat veel water en schadelijke bestanddelen en kan aldusdanig moeilijk worden gestort, opgeslagen of verder worden gebruikt.

Door cellenbetonkorrels toe te voegen aan deze specie krijgt deze meer structuur en kan het water deels worden gebonden, evenals de zware metalen. Hierdoor kan een deel van de grond van de specie worden herwonnen en hergebruikt.



Figuur 40: Cellenbeton kan mogelijk meer structuur (en waterabsorptiecapaciteit) toevoegen in baggerspecie

3.4.3 Gebonden of vormgegeven toepassing

3.4.3.1 Zandcement & chape

De pistes zandcement en chape werden in voorgaande tekst besproken bij de bestaande Vlaamse initiatieven voor cellenbetonrecyclage

3.4.3.2 Betonelementen & licht beton

In Vlaanderen is er 1 gebruikscertificaat uitgereikt voor het maken van betonelementen met cellenbeton. Deze elementen houden het midden tussen beton en cellenbeton. Tot op heden is hier een beperkt volume in toegepast. Daarnaast wordt er in Nederland cellenbetongranulaat toegepast in grote betonblokken, voor het maken van tussenschotten ed.

Duits onderzoek (F. Hlawatsch, J. Kropp, 2009) toont aan dat het mogelijk is om cellenbeton, in fractie 0/2 mm of fractie 0/8 mm, toe te passen in lichte betonstenen via voorbevochtiging en met gebruik van cement, vliegias, water en plastificeerder. Hierop wordt in het volgende hoofdstuk dieper ingegaan.



Figuur 41: Systeem van betonblokken en aangekoppelde isolatie, waarbij de wand wordt opgestort met beton (overgenomen van <http://www.betondelalomme.be>)

Een alternatieve piste die mogelijk het verkennen waard is, is het gebruik van cellenbetongranulaat in de specie die wordt toegepast om prefab-wandsystemen op te storten. Hierbij wordt vooral gekeken naar de combinatie van dragende betonblokken (binnenwand) en eraan gekoppelde isolatie, waarbij de blokken vervolgens worden volgestort.

Het beton dat wordt gebruikt voor het opstorten heeft als functie het aanbrengen van een goede luchtdichtheid en thermische massa. Dit beton moet in de eerste plaats zeer goed verwerkbaar en goed verpompbaar zijn. Dit betekent voor het beton een consistentieklasse S4 of F5 en een begrenzing van de maximale korreldiameter, teneinde het systeem goed en eenvoudig te kunnen opvullen. Gezien dit beton de facto in binnentoepassingen (binnenmuren) wordt gebruikt zijn de eisen naar duurzaamheid minder kritisch. De betonsamenstelling (verhouding water, cement, granulaat) wordt vooral bepaald door de verwerkbaarheidseisen, waardoor eventueel met een 'minder sterk' beton kan worden gewerkt, voor zover dit in de praktijk te verkrijgen is. Dit zou toelaten om bv. cellenbeton in dit beton te verwerken.

3.4.3.3 Andere bindmiddelen & immobilisatie

In Nederland is een concept ontwikkeld dat toelaat cellenbeton-, kalkzandsteen- en gipsblokkenpuin te immobiliseren en te gebruiken als licht ophogingsmateriaal. Dit project heeft de wetenschappelijke onderbouwing doorlopen en zit momenteel in de vermarktingsfase.

3.4.4 Grondstof voor andere producten

3.4.4.1 Cement

De mogelijkheid voor gebruik van cellenbeton als grondstof voor cementproductie is niet gedocumenteerd in de literatuur. Een verkennend onderzoek werd in voorliggende studie uitgevoerd, en wordt beschreven in het volgende hoofdstuk.

3.4.4.2 Lichtgewicht granulaat

In Duitsland bestaat onderzoek (A. Müller) waarin poedermengsels van baksteen (klei) en cellenbeton worden gesinterd, mits toevoeging van SiC, tot nieuwe lichtgewicht granulaten. Deze toepassing bevindt zich echter nog in onderzoeksfase.

3.4.4.3 CalciumSilicaat-isolatie

De productie van deze isolatiematerialen vereist een zeer precieze dosering van de grondstoffen. Hierdoor is de inzet van een variabel materiaal als cellenbetonafval wellicht niet aangewezen.

3.5 Conclusies stakeholdersbevraging en workshop

De synthese van de belangrijkste gegevens aangaande hoeveelheden, recyclagemogelijkheden en knelpunten, zoals hieronder voorgesteld, werd ook voorgesteld en besproken op een workshop waarop alle betrokken partijen aanwezig waren. De belangrijkste bevindingen van deze workshop worden ook toegelicht.

3.5.1 Synthese stand van zaken in Vlaanderen

3.5.1.1 Cijfergegevens

Er wordt jaarlijks 250 000 à 300 000 m³ cellenbeton op de Belgische markt afgezet. Dit volume wordt voornamelijk door de enige Belgische producent, Xella, geleverd. Daarnaast zijn er ook een aantal kleinere concurrenten die invoeren vanuit Duitsland (Porit) en Frankrijk (Cellumat). Het huidige volume bestaat hoofdzakelijk uit blokken, die worden gebruikt voor dragende en niet-dragende wanden. Een beperkt percentage (5-10%) van de blokken wordt als koudebrug-onderbreking gebruikt. Ook in het gamma van de gewapende elementen en platen (1/4 van het totale volume) worden vooral wandtoepassingen gebruikt.

Een raming leert dat het gebruik van cellenbeton sinds de jaren '60 redelijk stabiel gebleven is, en dat sinds 1955 in totaal zowat 12.7 miljoen m³ of 7.3 miljoen ton cellenbeton in België is gebruikt.

Aan de andere kant van de keten zijn er weinig of geen concrete gegevens beschikbaar over de hoeveelheid cellenbetonafval dat momenteel op de markt komt, in welke vorm dan ook. De bevraging bij slopers, sorteerders en brekers alsook nazicht van rapportering van afvalstortplaatsen gaf weinig of geen details over de hoeveelheden die worden verwerkt. Schattingen baseren zich op beperkte gegevens, en spreken van een grootteorde van 50 000 tot

100 000 ton cellenbeton dat vrijkomt per jaar. Dit ligt in dezelfde grootteorde als het cellenbeton dat op de markt wordt gebracht.

Deze schatting wordt ook gestaafd door de verkennende scenario-analyse die werd uitgevoerd, op basis van de gemiddelde verwachte levensduur van cellenbeton, gekoppeld aan de productiestatistieken.

Wat betreft het bouwafval, kan men aannemen dat dit in hoeveelheid de trend van de markt afzet zal volgen.

3.5.1.2 Knelpuntenanalyse

Uit de stakeholdersbevraging blijkt dat er in de meeste schakels van de keten nog een aantal vragen en knelpunten aanwezig zijn.

In eerste instantie kan men stellen dat er op dit moment een gebrek aan overzicht en inzicht is in de huidige afzetmarkt voor cellenbetonafval. Er is geen duidelijkheid over welke hoeveelheid cellenbetonafval het gaat. Cijfers zijn niet of nauwelijks beschikbaar en kunnen ook niet worden ingezameld bij de betrokken partijen. De afvalstroom is onvoldoende zichtbaar.

Zowel in de bouw-, de sloop- als de verwerkingsfase zijn er grote verschillen in hoe de bevroegde bedrijven omgaan met cellenbeton, naar selectiviteit en naar afzet. Er is dus een enorme diversiteit in aanpak, die de zichtbaarheid niet verbetert.

Deze onduidelijkheden worden in eerste instantie gevoed door de knelpunten die er worden waargenomen bij de afzetmogelijkheden.

1. Ontstaan van cellenbetonafval

Cellenbetonafval dat ontstaat in de bouwfase (of bij kleine renovaties) is meestal een klein volume, dat een aparte behandeling meestal economisch niet rechtvaardigt. Indien de aannemer wel de moeite doet deze stroom apart te verwerken, is het voor hem niet duidelijk of de stroom verderop in de keten apart verwerkt wordt, of moet hij opdraaien voor de kosten (bv. eigen transport terug naar de fabriek).

Dit afval is in wezen zuiver, maar kampt dus vooral met logistieke uitdagingen.

In de afbraakfase is cellenbeton niet altijd zuiver te recupereren. Dit verhindert de afvoer naar de producent, waardoor het moet afgevoerd worden naar een ander kanaal (sorteerder, breker, ...). Gezien het 'probleemimago' dat rond cellenbeton hangt (en het prijskaartje dat ermee gepaard gaat), probeert men dit afval te mengen onder andere stromen (steenpuin) om er op die manier goedkoper vanaf te raken. Ook is het zo dat een klein deel van het cellenbeton, wegens een beperkt volume, altijd in het metselwerk zal terecht komen (bv. bij gebruik als koudebrugonderbreking). Deze opmenging is ongewenst voor de technische kwaliteit van het gerecycleerd granulaat dat bij de breker wordt gemaakt. Hiermee zouden echter weinig problemen zijn en men probeert een actief acceptatiebeleid bij de ingang van de breker te voeren en cellenbeton uit het puin te halen waardoor het probleem beperkt is.

Het afval dat ontstaat in de sloopfase kampt enerzijds met technische uitdagingen (afzetkanalen voor (licht) verontreinigd cellenbeton niet of onvoldoende bekend en vaste afspraken met verwerkers) en anderzijds met het probleem van strikte handhaving, waardoor een deel van de stroom momenteel waarschijnlijk 'verdwijnt'

2. Verwerking van cellenbetonafval

Bij het sluiten van de kring en het opnieuw toepassen van cellenbetonafval in de productie van cellenbeton zijn volgende aspecten relevant. Men is bereid een zekere hoeveelheid cellenbeton binnen te nemen, maar dit moet voldoende zuiver zijn. Hierbij moet de afweging gemaakt worden of men dan enkel op bouwafval mikt, waarbij het volume vrij beperkt zal zijn, of dat men ook ander afval aanvaardt, waarbij de risico's op verontreiniging groter zijn (aanzuigefect). Vragen die hierbij nog onvoldoende ingevuld zijn, zijn de vereiste specificaties voor intake, mogelijke prijszetting (om een markt te creëren), gewenst en technisch mogelijk vervangingspercentage. Hierbij dient ook te worden opgemerkt dat het vervangingspercentage in de productie hoe dan ook beperkt is, en dat men bij de producent dus ook geen oneindige hoeveelheid cellenbetonafval,

hoe zuiver ook, kan verwerken.

De optie 'storten', die voorheen door verschillende slopers en sorteerdere werd uitgevoerd, is wegens de normering rond sulfaatuitloging een stuk duurder geworden. De alternatieve pistes (afvoer naar Wallonië, Nederland en Duitsland) kampen daarenboven met een gebrek aan duidelijkheid inzake nuttige toepassing en legale afvoer (betalen van heffingen). Er is nood aan een duidelijk, eenduidig wetgevend en milieuhygiënisch standpunt en voldoende handhaving op illegale praktijken. Het is immers te duur geworden (voor de sorteerder) om op een redelijke manier van het cellenbetonafval af te raken in concurrentie met illegale praktijken.

Tot slot zijn er intussen een aantal initiatieven lopende om cellenbeton nuttig toe te passen in bv. chape en zandcement. Hierbij zijn nog een aantal technische zaken verder uit te klaren of te optimaliseren. Daarnaast zal het voor de initiatiefnemers ook een logistieke uitdaging zijn om via prijszetting te concurreren met de huidige afzetkanalen en voldoende volume binnen te halen om de gemaakte (of te maken) investeringen terug te verdienen.

3.5.1.3 De toekomst

Verscheidene partijen zijn bereid om een oplossing te zoeken voor het cellenbetonafval. De meest hoogwaardige oplossing, de inzet in de productie van cellenbeton, vereist het verder uitwerken van productspecificaties (zuiverheid van de aanvoer) en het opzetten van een zekere marktwerking. Hiervoor is de medewerking van de producent vereist. Een aantal bedrijven is ook actief bezig met het verder uitwerken van een recyclingpiste, incl. uitloogonderzoek, gebruikscertificaat, ... zodat voor een deel van het cellenbeton in ieder geval een oplossing zal bestaan. Deze oplossingen dienen uiteraard bij voorkeur 'zo hoogwaardig mogelijk' te zijn, en op zijn minst rendabel te zijn. Hiervoor heeft men een voldoende groot volume nodig dat tegen een aanvaardbare prijs kan worden binnengehaald en verwerkt tot een bruikbaar product. Daarvoor is een zichtbare 'stroom' cellenbeton vereist die op legale manier zijn afzet vindt.

Om deze zichtbaarheid te vergroten is er voldoende aandacht nodig vanuit de overheid om het wetgevend kader hierrond duidelijk af te bakenen en te handhaven. Er dient ook duidelijk te worden bepaald welke eisen en bepalingen de overheid kan opleggen aangaande grensoverschrijdend transport (in functie van de nuttige toepassing in het land van bestemming).

3.5.2 Synthese Workshop

Op de workshop dd. 09/12/2010 in Brussel waren de belangrijkste actoren die met cellenbetonafval te maken hebben aanwezig:

- De overheid (OVAM)
- De producenten (Xella, Cellumat)
- De aannemer (Vlaamse Confederatie Bouw, CASO vzw, Emlyn NV)
- De actoren binnen de verwerking van bouw- en sloopafval (FEBEM, FPRG, CASO, EKP Recycling/Jacobs Beton, CHAP-YT, André Celis Containers)
- De kennisinstellingen (WTCB, VITO, KHBO)
- Vertegenwoordigers uit Nederland (GipsNet, Eerland Bouwstoffen Management)

Belangrijkste conclusies van deze workshop zijn:

Sulfaatuitloging

- De sulfaatsnormering waarvan sprake dient praktisch haalbaar te zijn. Dit wil zeggen dat ze de bestaande afzetmogelijkheden voor afvalstoffen niet al te zeer in het gedrang mogen brengen. De vraag is ook of deze sulfaatsnormen zullen gelden voor bouwproducten in hun algemeen ook.

- De harmonisatie en afstemming van testen aangaande sulfaten is nog niet voltooid. Hierbij dient de representativiteit en relevantie op Europees niveau verder worden ingevuld aangaande afvalstoffen (CEN TC 292) en bouwproducten (CEN TC 351).

Knelpunten en recyclingmogelijkheden

- Er is momenteel nog steeds een grote, onzichtbare stroom van cellenbetonafval. Het is niet duidelijk waar dit op dit moment naartoe gaat. De enige stroom die bekend is, is de intake bij Xella.
- Ook in Nederland ervaart men moeilijkheden om een zichtbare stroom cellenbetonafval te creëren.
- De overige stroom gaat wellicht de grenzen over, zonder dat hiervoor harde bewijzen zijn. Cellenbeton wordt in een aantal landen en regio's nog steeds als 'beton' beschouwd, en kan dus als inerte afvalstof worden gestort. Alternatieve toepassingsdomeinen die worden genoemd zijn kattenbakvulling en inzet in de cementproductie.
- De Ytong-fabriek in Burcht recycleert al heel wat productie- en zuiver extern afval. Men zit al dicht bij het maximale vervangingspercentage van 20%. Het is duidelijk dat niet alle cellenbetonafval dat ontstaat hier kan worden verwerkt.
- Er wordt de aandacht op gevestigd dat een aantal praktische problemen dient aangepakt te worden (bv; stofvorming, controle van het vochtgehalte) en dat niet iedereen zomaar cellenbeton kan beginnen verwerken. Ook wordt het belang onderstreept van kwaliteitsgaranties op het eindproduct, en het werken volgens de normen.
- Het voordeel van de door Eerland Bouwstoffen Management ontwikkelde oplossing, zijnde TopCrete© als immobilisaat, is dat men de zogenaamde 'witte fractie' (gipsblokken, cellenbeton & kalkzandsteen) niet meer verder moet uitsorteren (wat in praktijk niet evident is), maar als 1 geheel kan toepassen.
- Het zogenaamde 'opmengen', waarbij cellenbeton wordt vermengd in een grote steenachtige (beton + baksteen) stroom is slechts mogelijk voor zover er geen sulfaatnorm komt. Daarbovenop lijkt het quasi onmogelijk om het cellenbeton dat van grote werven vrijkomt nog op te mengen met de steenachtige fractie.

Nood aan vervolgcacties

- Er wordt vastgesteld dat er nu al een aantal technische oplossingen voorhanden zijn, maar dat het grootste probleem is dat de grote stromen (in volume) de verwerkers en recyclers niet bereiken.
- Het argument dat 'de witte stroom' niet meer te scheiden is bij de sorteerder moet worden ondervangen door reeds bij de sloop apart te scheiden. Dit geldt trouwens ook meer algemeen. Het cellenbeton kan apart worden verwerkt, als men het van bij het begin apart sloopt. Hierin kan de sloopinventaris, voor grote werken, een belangrijke rol spelen. Door aandacht voor de aparte stroom te hebben, kan er ook een prijs voor worden gevraagd.
- Handhaving is een belangrijk instrument om de stromen die nu verdwijnen beter te kunnen controleren. Niet alleen Duitsland en Nederland verdienen hierbij aandacht als afvoerkanaal, maar ook Wallonië.
- Indien men de afvoer naar Duitsland in Duitsland als 'nuttig' beschouwt, kan men vanuit overheidswege weinig beginnen.
- Uit de markt vangt men signalen op dat men bereid is om te betalen voor de afvoer en verwerking van cellenbeton, op voorwaarde dat iedereen dit doet.

4 Technisch: nieuwe toepassingsmogelijkheden

4.1 Inleiding

Om tot een effectief en succesvol hergebruik van cellenbetonafval te komen, is een duidelijk zicht nodig op wat hiervoor de technische en praktische vereisten zijn.

In samenspraak met actoren uit de verschillende betrokken sectoren worden de technische vereisten afgetoetst. Dit laat toe de haalbaarheid van een aantal pistes in te schatten, alsook om voor het cellenbeton zelf kwaliteitseisen op te leggen (afkomst, graad van zuiverheid, manier van aanleveren).

Daarnaast komen ook de twee andere aspecten aan bod: welke impact heeft gebruik van cellenbeton in deze toepassingen op het milieu (uitloging van sulfaten) en op lange termijn (duurzaamheid, recyclage van recyclageproduct) en op welke manier kan een keten met als eindresultaat 'nuttige toepassing' praktisch worden georganiseerd (inzamelsysteem, sorteren en/of opwerken, medewerking van actoren in de keten, ...).

4.2 Cellenbeton naar cellenbeton

4.2.1 Technische randvoorwaarden voor hergebruik

Cellenbetonafval voor recyclage in nieuw cellenbeton moet vrij zuiver zijn. Het mag resten van mortel bevatten maar geen bitumen, teer, hout, plastic, etc. Aangehecht bitumen in het cellenbetonafval zorgt voor zwarte vlekken in de eindproducten, wat ongewenst is vanuit esthetisch oogpunt. Vanuit technisch oogpunt is dit niet noodzakelijk een probleem. Daarnaast zijn houtresten, plastic en dergelijke nefast voor het snijproces (hecht aan de snijdraden). Door Xella T&F werd ook de aanwezigheid van teer als probleem gesignaleerd. Teer is een carcinogene stof die absoluut niet in cellenbeton aanwezig mag zijn. Xella heeft nog geen sluitende specificaties opgesteld waaraan het cellenbetonafval moet voldoen om als grondstof voor de aanmaak van nieuw cellenbeton in aanmerking te komen.

De vereiste zuiverheid zorgt ervoor dat vooral constructieafval gerecycleerd wordt bij de aanmaak van nieuw cellenbeton. Hiervan kan de zuiverheid immers beter gecontroleerd worden. Voor sloopafval moet selectieve sloop worden toegepast, en moeten alle mogelijke probleemstoffen op voorhand verwijderd worden. Om de vereiste zuiverheid te garanderen wordt een visuele inspectie van het materiaal uitgevoerd. Dit heeft als gevolg dat cellenbetonafval moet aangeleverd worden in afmetingen die een goede visuele inspectie van het materiaal mogelijk maken.

In Duitsland wordt een maximale vervangingsgraad van 15% cellenbetonafval gehanteerd in de cellenbetonreceptuur (op basis van droge stof) om de vereiste kwaliteit van de nieuw aangemaakte cellenbetonproducten te kunnen garanderen (Bundesverband Porenbeton, 2003). Het vervangingspercentage is beperkt omdat cellenbetonafval in het grondstofmengsel enkel kan ingezet worden ter vervanging van het kwartszand. Kwartszand maakt ongeveer 40 tot 50% uit van het totale grondstofmengsel. Xella vervangt in Burcht tot 20% van het kwartszand door cellenbetonafval, Hogere vervangingspercentages zijn volgens Xella nog niet aan de orde geweest omwille van de geringe hoeveelheden aangeboden cellenbetonafval.

Conclusie

Cellenbeton kan na gebruik terug als grondstof worden gebruikt voor aanmaak van nieuw cellenbeton. Zuiver cellenbetonafval kan tot 15% van de grondstoffen (waarvan zand 40% uitmaakt) vervangen bij aanmaak van nieuw cellenbeton. Deze maximale vervangingsgraad van

15 % (m/m droge stof) is gebaseerd op de kwaliteitseisen die gesteld worden aan de cellenbetonproducten (Bundesverband Porenbeton, 2003; Sørensen, 2008) Omwille van de vereiste zuiverheid wordt vooral productieafval gerecycleerd in cellenbeton.

4.2.2 Sorte- en reinigingstechnieken

Momenteel wordt vooral een handmatige scheiding toegepast. Dit maakt dat enkel vrij grote stukken cellenbeton kunnen worden uitgesorteerd (> 5 cm). In principe moet het mogelijk zijn om met hoogtechnologische scheidingsapparatuur cellenbeton op basis van kleur en densiteit te scheiden, voor zover de onzuiverheden zoals bitumen en teer niet hecht aan het cellenbeton gebonden zijn.

Eens het cellenbeton is uitgesorteerd en gereinigd dient het gebroken en vermalen te worden tot poeder. Door Xella in Burcht wordt het cellenbetonafval via een primaire kaakbreker en een secundaire pennenbreker vermalen tot zeer fijn poeder (< 1 mm). Het is dit poeder dat wordt ingezet als zandvervanger in de productie van nieuw cellenbeton.

4.3 Cellenbeton voor betonproductie

4.3.1 Literatuuronderzoek

Er is één studie bekend waarin men cellenbeton, in een fractie 0/2, heeft gebruikt in betonmortels, voor het maken van lichtgewicht (niet-dragende) blokken (F. Hlawatsch, J. Kropp, 2009). Mits voorbevochtigen, een voldoende cementgehalte en toevoeging van vliegas en plastificeerder bereikt men druksterktes boven de 10 N/mm² op 90 dagen.

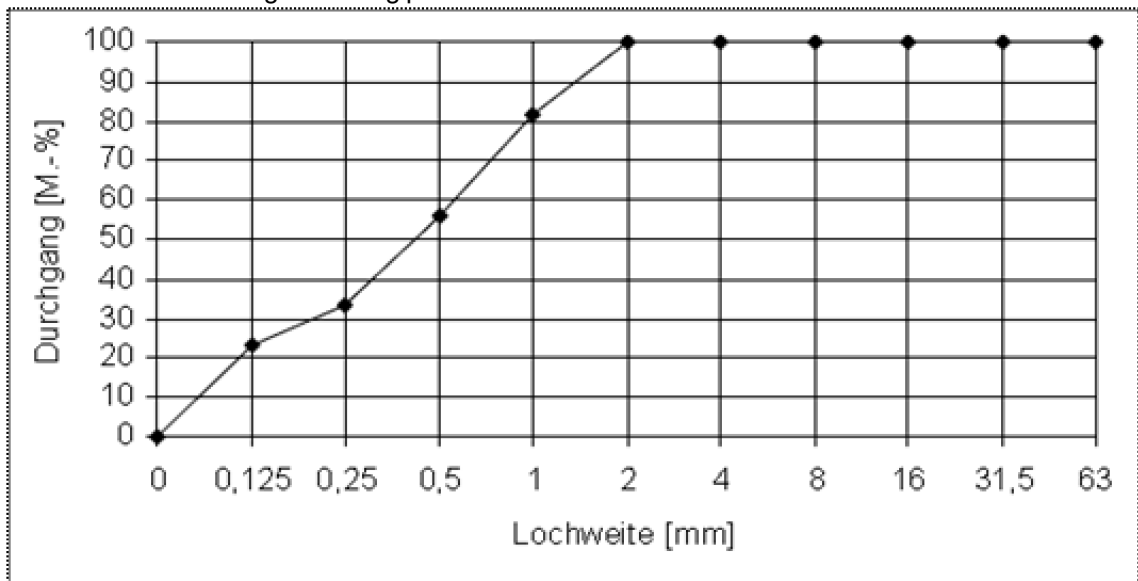
Het onderzoek spitst zich toe op de fijne fractie cellenbetonafval, gezien deze geen interessante toepassingen (in grote volumes) kent. Het basismateriaal is afkomstig van een recycling/breekinstallatie. De fractie 0/8 (zie figuur) werd afgezeefd op 2mm en gekarakteriseerd. Dit materiaal heet een gehalte van 17% fijne deeltjes (< 0.063mm), een gemiddelde deeltjesdichtheid van 1240 kg/m³ bij een maximaal vochtgehalte van 40%_m. Het materiaal is zeer proper, op enkele papierdeeltjes na.



Figuur 42: Gebruikt gebroken basismateriaal (F. Hlawatsch, J. Kropp, 2009)

De korrelverdeling is vrij gelijkmatig. Het oplosbaar sulfaatgehalte van het uitgangsmateriaal

werd bepaald op 4,8%_m en het totaal sulfaatgehalte op 10,2%_m. Men vermoedt dat dit deels komt door de aanwezigheid van gips.



Figuur 43: Zeefkromme van cellenbetonzand 0/2 mm (F. Hlawatsch, J. Kropp, 2009)



Figuur 44: Ontkist proefstuk

In een eerste fase van het onderzoek werd een basismengsel nagestreefd. Wegens de capillaire zuigkracht van het cellenbeton, worden de granulaten 10 minuten voorbevochtigd. Dit levert een vrij constante consistentie op gedurende 1 uur. Daarna wordt het mengsel verdicht (zonder trillen). Dit zorgde er blijkbaar voor dat een deel van het water werd uitgestoten, doordat de grovere korrels (0.5 tot 2 mm) braken bij verdichting en dus minder water konden vasthouden. Men bekomt na 28 dagen druksterktes tussen 14 en 19 N/mm². De samenstelling van het basisrecept wordt uit deze proeven vastgelegd op : 370 kg/m³ CEM I 32.5R, Water-Cementfactor 0.48. Voor de productie van de blokken zelf wordt een specifieke drukpers met trillingsenergie ingezet. Deze zorgt er onder andere voor dat de granulaten niet langer ingedrukt worden bij het verdichten en laat toe om de drukkracht en trilfrequentie te optimaliseren in functie van het eindproduct.

In de tweede fase van het onderzoek wordt het mengsel geoptimaliseerd door toevoeging van plastificeerder en vliegassen. Ook wordt verder gewerkt met een korrel 0/8 mm, om op die

manier een lichtere en beter isolerende steen te bekomen. Dit leidt tot de mengselsamenstellingen zoals opgegeven in onderstaande tabel.

Samenstelling	Recept R 0/2 [kg/m ³]	Recept R 0/82 [kg/m ³]
Cement CEM I 32,5R	340	340
Water	455.2	450
W/C (berekend)	0.46	0.27
Vliegias	68	68
Superplastificeerder	10.2	10.2
Cellenbeton 0/2 mm	941.2	515.0 (60 %m)
Cellenbeton 2/8 mm	-	347.8 (40 %m)

Tabel 16: Recepturen van basismengsels

Eigenschappen	Cellenbeton	Lichte steen uit gerecycleerd cellenbeton		Licht beton
		R 0/2	R 0/8	
Druksterkte (90d) [N/mm ²]	2 - 10	12.4	10.9	9 - 55
Elasticiteitsmodulus (90d) [N/mm ²]	1800 - 6000	2600	3000	8000 - 32000
Droge dichtheid [Mg/m ³]	0.35 - 1.0	1.36	1.34	0.7 - 2.0
Thermische geleidbaarheid [W/(m.K) ²]	0.11 - 0.31	0.33	0.26	0.39 - 1.6
Waterdamp Diffusieweerstand [-]	5 - 10	44	31	70 - 150
Wateropnamecoëfficiënt [kg/(m ² .h ^{0.5}) ²]	4 - 8	3	22	< 0.5

Tabel 17: Vergelijking resultaten lichtgewichtsteen met cellenbetonblok en licht beton

Uit de tabel blijkt dat de twee steentypes met cellenbetongranulaat behoorlijke resultaten halen en ergens tussen betonsteen en cellenbetonblok presteren. De vraag is uiteraard of er voor dit product, met intermediaire prestaties (niet echt isolerend, niet echt licht, niet echt sterk, gemiddeld gewicht) een markt bestaat.

Daarnaast heeft men ook een aantal lange-termijn-aspecten beproefd. De krimp van het mengsel met 0/8 is groter dan het mengsel met 0/2. Nadat de krimp plaatsvond, blijven de mengsels wel stabiel gedurende 700 dagen.

Ook de secundaire ettringietvorming (ten gevolge van aanwezigheid van sulfaten in het cellenbeton, eventuele gipsaanwezigheid, en toevoeging van cement) werd onderzocht. Hierbij werden nog geen problemen vastgesteld.

Het onderzoek heeft zich ook toegespitst op het tweede leven van het product. Een mengsel werd gemaakt op basis van het afval (gebroken tot 0/2) van het proefprogramma (kapotgedrukte mortelstukken en stenen). Hieruit bleek dat dit mengsel minstens dezelfde prestaties bereikt als

het eerste mengsel. Er is sprake van een 'aanrijkingseffect' van cementsteen. Dit kan op termijn worden gecompenseerd door een mengsel van gewoon cellenbetonafval en '2e-leven-cellenbeton-steen-afval' te combineren.

Tot slot heeft het onderzoek ook aandacht voor de mogelijkheden voor uitharding onder hogere temperatuur (snellere sterkteontwikkeling door autoclaving) en de inzet van alternatieve bindmiddelen dan cement, bv. anhydriet. Hierdoor wordt secundaire ettringietvorming vermeden, en bekomt men een vormstabiel mengsel.

4.3.2 Verkennend onderzoek naar mogelijkheden voor toepassing cellenbetongranulaat in beton

In de periode juni-oktober 2010 is door het Laboratorium Betontechnologie van het WTCB een eerste verkennend onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden om cellenbetonzand te verwerken in beton. Deze verkenning had voornamelijk als doel enige praktische ervaring met deze onbekende grondstof op te doen en enkele belangrijke aandachtspunten af te toetsen voor eventueel verder onderzoek.

4.3.2.1 Gebruikte grondstof

Er is gekozen om met een 'reëel' materiaal te werken, dat enige verontreiniging kan bevatten. Een monster werd opgehaald bij een Belgisch recyclingbedrijf. Het betrof een gebroken materiaal, omschreven als een korrel 0/8.

Dit monster werd in eerste instantie gekarakteriseerd door droge mechanische zieving volgens NBN EN 933-1. Deze resultaten zouden bij gebruik van PTV 411, Codificatie van granulaten (CRIC, 2007) worden geassocieerd als

Kaliber 0/4

Korrelverdeling GF85

Gehalte aan fijne deeltjes: f8

Fijnheidsmodulus: 2.8 : CF of MF

Wat betreft korrelverdeling van dit 'gebroken' cellenbeton, worden weinig problemen verwacht voor toepassing in beton. De waterabsorptie van het granulaat zelf werd niet vooraf bepaald. Ook andere aspecten (bv. chemische samenstelling) werden in de eerste fase niet beproefd, er werd meteen overgegaan tot het maken van een aantal proefstukken in betonmortel.

4.3.2.2 Proefprogramma op mortelstukken

Het proefprogramma wil in eerste instantie de bruikbaarheid van het cellenbeton als granulaat of zand in beton aftoetsen. Hiertoe werden een aantal mortelstukken aangemaakt met een bepaald percentage cellenbeton als vervanging van zand, waarvan de prestaties kunnen worden vergeleken met een referentiemortel.

Omwille van zijn lage volumieke massa en hoge porositeit rees de vraag of dit product in een cementgebonden samenstelling zoals mortel of beton al dan niet goed mengbaar is en/of zich ontmenging zou voordoen. Tevens dient men bij de verwerking van dit product rekening te houden met een grote en onbekende waterabsorptie.

Aanmaak van mortelmengsels

In totaal werden in het proefprogramma zeven verschillende mengsels aangemaakt. De samenstelling van deze mengsels zijn in onderstaande tabel voorgesteld.

Mengsel	kg/m ³						
	A	B	C	D	E	F	G
CEM I 42,5N HSR LA LH	475	468	461	339	385	475	473
Water	261	304	322	391	360	361	431
Recyclagezand (cellenbeton)	0	0	0	508	347	333	570
Kalksteenzand 0/4	1425	1403	1384	508	809	779	277
Superplast [M.% tot cement]	0,50	0	0	0.50	0.50	0.50	0.50
Verhoudingen [massa/massa]							
Water/Cement	0.55	0.65	0.70	(0.77)	(0.68)	(0.55)	(0.55)
Zand/Cement	3	3	3	3	3	2.3	1.8
Recyclagezand/ kalksteenzand	0	0	0	50/50	30/70	30/70	67/33
Vol.% recyclage zand tot totale zandfractie	0	0	0	(65)	(45)	(45)	(80)

Tabel 18: Samenstelling van referentieproefstukken (A, B, C) en mengsels met cellenbetonzand (D, E, F, G).

Superplast [%/cement]	0.50%	0%	0%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%
Luchtgehalte met SP	8.50%	—	—	5.50%	6%	6.10%	7%
Luchtgehalte zonder SP	—	3%	2%	5.80%	6%	6.50%	10%
Water / Cement	0.55	0.65	0.70	(0.77)	(0.68)	(0.55)	(0.55)
Vloeimaat met SP [mm]	250	—	—	225	220	220	290
vloeimaat zonder SP [mm]	200	265	270	210	220	180	215

Tabel 19: Eigenschappen van verse mortel (waarden tussen haakjes zijn schattingen van de effectieve W/C factoren, rekening houdend met de geschatte waterabsorptie van de gerecycleerde granulaten)

Alle mortelmengsels werden op dezelfde wijze aangemaakt. Als eerste werden het zand, het cement en het gerecycleerd cellenbetonzand (voor mengsels D, E, F en G) gedurende dertig seconden gemengd. Vervolgens werd het water toegevoegd en gedurende vier minuten verder gemengd. Hierna werd de verwerkbaarheid, het luchtgehalte en de volumieke massa van de verse mortel bepaald. Aan sommige mengsels (A, D, E, F en G) werd superplastificeerder toegevoegd en verder gemengd. Hierna werden van deze mengsels opnieuw de verwerkbaarheid, het luchtgehalte en de volumieke massa bepaald.

Uit de proeven kan worden besloten dat naar verwerkbaarheid toe geen noemenswaardige problemen werden opgemerkt: het product was goed mengbaar met de overige bestanddelen en ontmenging trad niet op in de beschouwde mengsels.

Wel kon opgemerkt worden dat bij gebruik van dit product een grotere dan normale hoeveelheid lucht in de verse mortel werd ingebracht. Dit is niet enkel zichtbaar in de meetresultaten van het luchtgehalte van de verse mengsels, maar ook in de verharde mortels. Bij gebruik van dit product dient men dus bijkomend zorg te besteden aan een voldoende verdichting.

Indien men aanneemt dat een gelijke verwerkbaarheid (zonder superplastificeerder) een quasi gelijke vrije waterinhoud impliceert, dan kan men, uitgaande van de resultaten van de vloeimaat,

luchtgehalte en volumieke massa van mengsels A, F en G, besluiten dat het recyclageproduct gedurende de aanmaak van de mortels ongeveer 30 m% water absorbeert. Zijn volumieke massa kan op ongeveer 1300 kg/m³ geschat worden.

Testen op verharde mortels

Van ieder mengsel werden 6 proefstukken met afmetingen 40 x 40 x 160 mm³ aangemaakt voor de bepaling van de druksterkte na 2 en 28 dagen. De geproduceerde proefstukken werden met behulp van een schoktafel verdicht conform de normen. Na één dag werden de proefstukken ontkist en onder water bewaard bij 20 °C tot de dag van de test.

Conform de norm NBN EN 196-1 werd de druksterkte van iedere mortelsamenstelling na zowel twee als achtentwintig dagen bepaald, telkens op 3 proefstukken. De resultaten hiervan zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Mengsel	2 dagen		28 dagen	
	R _c (N/mm ²)	St. afw. (N/mm ²)	R _c (N/mm ²)	St. afw. (N/mm ²)
A	21.1	0.74	50.7	3.50
B	11.9	0.57	40.8	1.83
C	11.1	0.31	35.5	1.79
D	5.7	0.10	14.8	0.84
E	8.9	0.08	22.1	0.52
F	12.3	0.32	28.1 ^(*)	1.18 ^(*)
G	8.0	0.22	18.9	1.10

(*): Druksterkte op 29 dagen i.p.v. 28 dagen

Tabel 20: Resultaten bepaling druksterkte mortelproefstukken na 2 en 28 dagen

Beton is een hoeveelheid granulaten die door de cementsteen bij elkaar wordt gehouden. De granulaten zijn ook meestal het sterkste element aangezien de weerstand tegen fragmentatie ervan groter is dan die van de cementsteen alleen. Gerecycleerde cellenbetonzand heeft duidelijk slechts een zeer kleine weerstand tegen fragmentatie. Vandaar dat de vervanging van de normale granulaten door gerecycleerde cellenbetongranulaten een vermindering in sterkte met zich meebrengt, afhankelijk van het vervangingspercentage. Dit effect wordt verwacht voor vele fysische en mechanische eigenschappen van mortel/beton (grotere krimp, kruip, vervorming).

De invloed van de vervanging van kalksteenzand door gerecycleerd cellenbeton-zand, op de druksterkte van mortel, is frappant. Bij een vervangingspercentage (volume) van ongeveer 50 % (mengsel F tov mengsel A) met gelijkaardige W/C-factor, verkrijgen we een reductie van de druksterkte van ongeveer 40 %. Bij een vervangingspercentage (volume) van ongeveer 80 % (mengsel G tov mengsel A) verkrijgen we een reductie van de druksterkte van ongeveer 60 %.

4.3.2.3 Lange-termijn-effecten

Duurzaamheidstesten werden niet uitgevoerd binnen deze studie, maar onderstaande bedenkingen kunnen weliswaar gemaakt worden.

Omwille van de poreuze structuur van het recyclagezand wordt verwacht dat de indringsnelheid van CO₂ groter zal zijn bij gebruik van dit product in beton. Het gewapende beton carbonateert bijgevolg sneller, wat sneller zal leiden tot wapeningscorrosie bij gewapend beton.

Eveneens wordt verwacht dat agressieve producten zoals chloriden, zuren of sulfaten ten gevolge van de poreuze structuur van het zand dieper en sneller in het beton kunnen dringen, bij

een normale vervaardiging van het beton.

Indien een grote hoeveelheid aan sulfaten aanwezig is in dit recyclageproduct bestaat de mogelijkheid dat deze uitlogen en de vorming van secundair ettringiet initiëren. Een uitgebreide chemische analyse en proeven voor interne sulfaataantasting kunnen hierover uitsluitsel geven.

4.4 Cellenbeton voor cementproductie

Cement bestaat in hoofdzaak uit Calcium en Silicium. Gezien deze componenten ook in cellenbeton aanwezig zijn (cellenbeton = zand, cement en kalk), is het gebruik van cellenbeton als grondstof voor cement een te verkennen optie. Voorwaarde is dat er geen bijkomende verontreinigingen in het cement terechtkomen. Zoals reeds aangegeven bevat cellenbeton sulfaat, daarnaast kunnen ook andere verontreinigingen worden verwacht ten gevolge van de afkomst (sloopwerven, sorteercentra).

In een verkennend gesprek met een Belgische cementproducent werden een aantal aandachtspunten opgelijst:

- Het is in de verwerking van 'afvalstromen' in de cementoven belangrijk dat er een zekere continuïteit van de stroom is. Gezien de cementproductie continu verloopt en volgens een zekere samenstelling van het grondstoffenmengsel om een homogeen eindproduct te verkrijgen, is het wenselijk dat deze grondstoffen ook op een continue manier worden aangeleverd. Het kan niet de bedoeling zijn om op onregelmatige tijdstippen een partij afval te verwerken. De invoerstroom moet dus voldoende homogeen en groot zijn.
- Qua samenstelling komt een product als cellenbeton in aanmerking. Een aandachtspunt hierbij is wel de aanwezigheid van sulfaat, en dit zowel naar kenmerken van het eindproduct als naar productieproces toe.

Het bedrijf heeft een eerste verkennend onderzoek uitgevoerd, enerzijds op basis van resultaten ter beschikking gesteld van de fabrikant, anderzijds op basis van analyses op een monster cellenbetonafval.

	C-S-Analyse : SO ₃ (%m)
Recyclingmateriaal - Locatie A.	7.39
Recyclingmateriaal - Locatie L.	2.35
Recyclingmateriaal - Locatie L.	1.70

Dit resulteert in een gemiddelde aan SO₃ van 3.81% (per monster) of 4.44% (per gehalte droge stof). Het monster dat door het cementbedrijf zelf werd geanalyseerd bevatte 16.05 %m SO₃. Vermoedelijk is dit een monster waarin ook een deel gips verwerkt zat. Dit is niet duidelijk.

Uit deze resultaten blijkt dat er voor cementproductie te veel SO₃ in de monsters zit om geschikt te zijn voor klinkerproductie. Normaal gezien wordt er maximaal 1% zwavel (S) toegelaten in de grondstoffen en dit omwille van procestechnische redenen. Het is immers zo dat deze component verdampt in de verbranding, en verderop bij de condensatie van de rookgassen zich terug afzet op de rookkanalen. Hierdoor ontstaan verstoppingen of 'clogging'. Daarnaast tonen de resultaten ook aan dat er te weinig zwavel in de afvalstof aanwezig is om als 'sulfaattoevoeging' (zoals bv. fosfogips) te kunnen dienen.

Kortom, om inzetbaar te zijn in de cementproductie, dient het zwavel- en sulfaatgehalte onder controle te zijn. Hierbij valt men dus terug op de gekende knelpunten waarvoor een oplossing wordt gezocht.

4.5 Andere toepassingsdomeinen

Ter aanvulling op deze drie sporen, werden kort ook andere pistes verkend.

4.5.1 Hergebruik van cellenbeton

Na preventie van afval, wordt hergebruik als product door de Europese regelgeving inzake afval vooropgesteld als te prefereren piste boven recyclage of downcycling en (energetische) valorisatie of storten.

Idealiter kan cellenbeton, als blokken of platen, eenvoudig worden gedemonteerd en opnieuw in zijn originele toepassingsgebied worden gebruikt. Hiervoor dienen wel een aantal voorwaarden vervuld te zijn:

- Eenvoud van scheiding:
 - Cellenbeton te scheiden van andere producten
 - Scheiden van blokken onderling
- Eenvoud van manipulatie:
 - De blokken of elementen moeten kunnen worden getransporteerd, verhandeld en opgeslagen en terug gemonteerd kunnen worden zonder schade. Ook dient het logistieke kader hiervoor beschikbaar te zijn (plaats voor opslag, opwerking, ...)
- Toepasbaarheid:
 - Het ontwerp van het nieuwe gebouw moet worden afgestemd op het materiaal dat via recuperatie beschikbaar wordt gesteld.
 - De technische prestaties van het gerecupereerde materiaal moeten voldoende en gegarandeerd zijn.
 - De organisatieketen voor hergebruik van componenten en elementen moet kostenefficiënt en concurrentieel zijn.

Gezien hierover geen praktische ervaringen bekend zijn, dient men zich bij verkenning van deze piste, volgende vragen te stellen:

- Kunnen blokken/platen integraal worden gerecupereerd uit een slooproject? Zijn deze producten goed hanteerbaar? Kunnen ze eventueel elders (in een andere toepassing) worden gebruikt?
- Is er zicht op de verhouding kosten/baten? Gezien bouwmaterialen meestal een relatief lage kostprijs hebben ten overstaan van de vereiste manuren, stelt zich steeds de vraag hoe rendabel de extra inspanning met het oog op hergebruik is?
- Zijn er mogelijkheden om van de grove gerecupereerde stukken kleinere bouwblokken te maken? Maw, hoe realistisch is het idee om uit bestaande structuren en elementen bouwblokken te zagen?

4.5.2 Grondstof voor andere producten

Xella geeft aan dat men in het verleden reeds experimenten heeft uitgevoerd met het gebruik van cellenbetonafval in kalkzandsteen. Dit werd echter geen succes. Hierbij werd ook aangegeven dat men het probleem van sulfaatuitloging dat zich niet voordoet bij kalkzandsteen, niet wenst te 'importeren' in een product waarbij momenteel geen problemen zijn.

Gezien de productie van gipsplaten, pleister en blokken specifieke grondstoffen vereist, is het wellicht geen goede optie om een ander materiaal, cellenbeton, te vermengen in deze stroom.

4.5.3 Alternatieve toepassingen buiten de bouw

De alternatieve toepassingen, zoals kattenbakvulling, absorptiemiddel, ... werden reeds toegelicht in een voorgaande paragraaf. Er wordt in volgende paragraaf ook enige aandacht besteed aan de wenselijkheid van deze oplossingen, zij het zonder dat er ingegaan wordt op de technische details.

4.5.4 Cradle to cradle: ingrepen in het productieproces

Het hoge sulfaatgehalte van cellenbeton is vooral afkomstig van gips of anhydriet dat aan de grondstofmix wordt toegevoegd om een beter eindproduct te bekomen. Tot op heden blijkt dit een noodzakelijk ingrediënt om de productkwaliteit van het cellenbeton te garanderen. De vraag is echter of het niet kan met minder gips of anhydriet en of het niet mogelijk is het productieproces aan te passen zodat gips/anhydriet als grondstof niet meer nodig is. In Nederland is naar aanleiding van het introduceren van een sulfaatnorm in het Bouwstoffenbesluit een reductie gerealiseerd in de uitloging van sulfaat uit cellenbeton (diffusietest op vormgegeven materiaal). Deze reductie werd gerealiseerd door aanpassing van het basismengsel voor aanmaak van cellenbeton (Hanekamp en Frapporti, 2002).

4.6 SWOT-analyse - logistiek en milieu-impact

In voorgaande hoofdstukken en paragrafen worden een aantal mogelijke toepassingen voor cellenbetonafval opgelijst. Naast een aantal technische randvoorwaarden, zijn er echter ook een aantal milieuhygiënische en praktische aandachtspunten.

In onderstaande tekst wordt voor een selectie van de geïdentificeerde oplossingen een kwalitatieve inschatting gemaakt van de voor- en nadelen van de verschillende oplossingen op gebied van milieu, logistiek, organisatie en economische impact. Dit gebeurt aan de hand van een SWOT-analyse.

Bij het opstellen van een SWOT-analyse is het van cruciaal belang dat het objectief duidelijk beschreven wordt met een goede identificatie van interne (sterktes en zwaktes) en externe (opportunities en bedreigingen) factoren die zowel positief als negatief kunnen inwerken op het behalen van het objectief.

De sterktes zijn alle interne factoren die nuttig zijn om het doel te bereiken zoals het vermijden van het storten van cellenbetonafval, hergebruik van cellenbetonafval, het sluiten van kringlopen, etc. Zwaktes daarentegen, zijn alle interne factoren die nadelig zijn om het doel te bereiken zoals bijvoorbeeld een variërende technische en milieuhygiënische kwaliteit, een verminderde sterkte bij gebruik in of als vul- of ophoogmateriaal, etc.

In tegenstelling tot de sterktes en zwaktes, die beide inherent zijn aan cellenbetonafval (interne factoren) zijn zowel de opportuniteiten als de bedreigingen factoren die niet direct verbonden zijn aan cellenbeton, maar eerder aan externe omstandigheden (externe factoren). Zo worden de opportuniteiten gedefinieerd als externe factoren die nuttig zijn om het doel te bereiken, zoals bijvoorbeeld de aanwezigheid van een kwaliteitsborgingsinstantie zoals COPRO of CERTIPRO voor gerecycleerde granulaten, etc. Bedreigingen zijn dan weer externe factoren die eerder een nadelige invloed uitoefenen zoals de zeer lage kosten voor verwerking (storten) in Duitsland. In onderstaande figuren is voor de verschillende toepassingen van cellenbetonafval telkens een confrontatiematrix weergegeven.

4.6.1 SWOT analyse van verwerking van cellenbetonafval in nieuw cellenbeton

STERKTES <ul style="list-style-type: none">• Uitsparing primaire grondstoffen• Bestaand inzamelsysteem voor productie-, handelaars- en werfafval (via bigbags)• Recyclage van productieafval en in mindere mate van sloopafval wordt reeds toegepast bij Xella in Burcht : technisch gevalideerd• Cyclus volledig gesloten (geen downcycling, geen sulfaatuitloging)	ZWAKTES <ul style="list-style-type: none">• Geen acceptatiecriteria voor cellenbetonafval (waardoor afval zeer zuiver dient te worden aangeleverd)• Slechts beperkt inzetbaar (maximaal 20 à 30% van het zandgehalte omwille van de beperkte reactiviteit), maximaal % onbekend• Hoge kost van verwerking• Beperkte beschikbaarheid van productieafval per werf: kleine hoeveelheden• 1 recyclagepunt vergroot logistieke uitdaging en beperkt toepasbaar volume
OPPORTUNITEITEN <ul style="list-style-type: none">• Link met 'groene economie'• 'Kringloop sluiten' in overeenstemming met doelstellingen OVAM• Imago - verkoop van 'gerecycleerd product'	BEDREIGINGEN <ul style="list-style-type: none">• Goedkoop zand met gekende en constante kwaliteit• Potentiële aanwezigheid van verontreinigingen in bigbags, die een negatief effect kunnen hebben op het proces (bvb snijdraden) of eindproduct (technische of esthetische aspecten)• Goedkope alternatieven voor verwerking/afzet van cellenbetonafval (bvb storten, verwerking in Duitsland)• Producent van materialen is geen afvalverwerker• Marktacceptatie 'gespikkeld product' (tgv verontreiniging)

Sterktes: Door gebruik van cellenbetonafval in de productie van nieuw cellenbeton worden primaire grondstoffen (kwartzand) uitgespaard.

Bij Xella in Burcht is reeds een inzamelsysteem opgezet voor productieafval en wordt ook een beperkte hoeveelheid zuiver sloopafval geaccepteerd voor de productie van nieuwe cellenbetonproducten. De enige bewerking die het afval ondergaat is daarom het verkleinen tot poeder dat in de productie kan ingezet worden ter vervanging van zand.

Zwaktes: Op dit moment is nog niet duidelijk aan welke acceptatiecriteria het cellenbetonafval juist moet voldoen. Bijgevolg is een zeer zuivere stroom nodig. Het aandeel cellenbetonafval dat tot nieuw cellenbeton kan verwerkt worden is ook beperkt tot ongeveer 20% van de zandfractie (testen met een hoger percentage zijn nog niet uitgevoerd bij Xella) omwille van de beperkte reactiviteit van het materiaal tov de primaire grondstoffen. Dit betekent dat niet alle cellenbetonafval hiervoor in aanmerking komt. Er zullen dus steeds andere afzetspistes nodig zijn. Hierbij geldt ook dat Xella Burcht de enige Belgische producent is, en dus niet alle afval kan verwerken, in verhouding met zijn eigen productie.

Het inzamelsysteem voor cellenbetonafval wordt nauwelijks gebruikt. De beperkte beschikbaarheid van cellenbetonafval per werf maakt dat zich een logistiek probleem voordoet en dat de kost voor het opzetten van een inzamelsysteem vrij hoog ligt.

Opportunities: De bedrijven kunnen door de recyclage van cellenbetonafval een groen imago bekomen (DIN plus certificatie in Duitsland). Bovendien werkt het bedrijf mee aan het sluiten van de kringlopen. Op deze manier helpt het de overheid (OVAM) zijn doelstellingen te bereiken met betrekking tot recyclage doelstellingen en het sluiten van materiaalkringlopen.

Bedreigingen: Het aanbod aan goedkope primaire grondstoffen met constante productkwaliteit vormt een economisch drempel voor het gebruik van recyclagemateriaal, waarvan de kwaliteit en homogeniteit veel minder is en waarvan ook de kwaliteit minder gemakkelijk te controleren is. De aanwezigheid van verontreinigingen (afval in bigbags) die een negatief effect kunnen hebben op proces of eindproduct maken dat er een groter risico is op product dat dient afgekeurd te worden.

Goedkope alternatieven voor verwerking en afzet van cellenbetonafval (bvb storten in Duitsland) maken dat er andere afzetspistes zijn die economisch interessanter zijn voor de houder van het cellenbetonafval.

Daarnaast kan een blok met licht verontreinigd cellenbetonafval worden geproduceerd. Deze is echter gespikkeld, en mogelijk minder eenvoudig te vermarkten.

4.6.2 SWOT analyse voor gebruik van cellenbetonafval in kattenbakvulling

STERKTES <ul style="list-style-type: none">• Bepaalde specifieke eigenschappen (adsorptiekracht) van cellenbeton wordt gevaloriseerd• Uitsparing primaire grondstoffen• Eenvoudig verwerkingsproces	ZWAKTES <ul style="list-style-type: none">• Cellenbeton scoort als kattenbakvulling minder goed dan andere producten die hiervoor worden gebruikt• Na gebruik dient de kattenbakvulling gestort te worden• Eisen aan zuiverheid zijn ook streng• Geen Belgische praktijk
OPPORTUNITEITEN <ul style="list-style-type: none">• Groot marktpotentieel• Link met 'groene economie'	BEDREIGINGEN <ul style="list-style-type: none">• Gezondheidsaspecten (stofvorming bij gebruik als kattenbakvulling)• Verplaatsing probleem naar afvalfase van de kattenbakvulling

Sterktes: Cellenbetonafval is een goedkope grondstof voor aanmaak van kattenbakvulling. Bovendien worden de materiaaleigenschappen van het cellenbeton (waterbindend vermogen) benut.

Zwaktes: Als kattenbakvulling scoort cellenbeton niet erg goed (wateradsorptie minder goed dan andere materialen, geurbindende kwaliteit is gering, mogelijke stofvorming), bovendien moet het cellenbetonafval ook voor deze toepassing zeer zuiver zijn.

Opportunities: Het marktpotentieel voor cellenbeton is in deze toepassing vrij groot. Doordat primaire grondstoffen worden uitgespaard is er ook een link met de groene economie.

Bedreigingen: Het probleem wordt verschoven naar de afvalfase van de kattenbakvulling. De stofvorming bij gebruik van cellenbeton in deze toepassing verdient de nodige aandacht daar er mogelijk negatieve gezondheidsaspecten aan verbonden zijn.

4.6.3 SWOT analyse voor gebruik van cellenbetonafval in/als meststof of bodemverbeterend middel

STERKTES <ul style="list-style-type: none">• De samenstelling van cellenbeton wordt in deze toepassing gevaloriseerd• Lage kostprijs	ZWAKTES <ul style="list-style-type: none">• Cellenbeton staat nog niet op de VLAREA lijst van afvalstoffen (bijlage 4.1 afdeling 1)• Mogelijke verontreinigingen (zware metalen, asbest, organische polluenten)• Indien verontreinigingen aanwezig zijn worden deze diffuus verspreid in de omgeving
OPPORTUNITeiten <ul style="list-style-type: none">• Uitsparing primair grondstoffen (bvb. gips, kalk en/of andere grondstoffen)	BEDREIGINGEN <ul style="list-style-type: none">• Marktpotentieel in Vlaanderen is waarschijnlijk eerder beperkt• Geen ervaring en kennis met gebruik van cellenbeton in deze toepassing• Beperkte leveringsmogelijkheden (constante aanvoer aan constante kwaliteit)

Sterktes: Het cellenbeton kan de bodemstructuur verbeteren en zorgen voor extra voedingsstoffen voor de planten. Het cellenbeton is een bron van calcium en calciumsulfaat dat als meststof of bodemverbeteraar geschikt is. Zo staat bijvoorbeeld ook calciumsulfaat verkregen bij de fosfor- en/of citroenzuurproductie en die gehydrateerde calciumsulfaat bevat op de VLAREA lijst (bijlage 4.1 afdeling 1) voor gebruik in of als meststof of bodemverbeterend middel.

Zwaktes: Cellenbeton staat nog niet op de VLAREA lijst van afvalstoffen geschikt voor gebruik in of als meststof of bodemverbeterend middel (bijlage 4.1 afdeling 1)

Opportunities: In bepaalde streken met een tekort aan zwavel (sulfaat) en calcium in de bodem wordt een uitsparing gerealiseerd van primaire grondstoffen (zoals gips).

Bedreigingen: Waarschijnlijk is het marktpotentieel beperkt tot bepaalde streken waar er onvoldoende zwavel en/of kalk in de bodem aanwezig is. Er is nog geen ervaring opgedaan met cellenbeton in dit soort toepassingen. Bovendien kan het cellenbeton allerlei verontreinigingen bevatten die dan diffuus verspreid worden op landbouwgebied.

4.6.4 SWOT analyse voor gebruik van cellenbetonafval voor ontwatering/structuurverbeteraar van baggerspecie binnen het toepassingsgebied 'gebruik als bodem'

STERKTES <ul style="list-style-type: none"> • Bepaalde eigenschappen van cellenbeton worden in deze toepassingen gevaloriseerd • Lage kostprijs • Technisch eenvoudig (?) 	ZWAKTES <ul style="list-style-type: none"> • Mogelijke verontreinigingen in het cellenbeton komen op deze manier in de bodem terecht
OPPORTUNITeiten <ul style="list-style-type: none"> • Uitsparing primair grondstoffen (bvb. gips en/of andere grondstoffen) 	BEDREIGINGEN <ul style="list-style-type: none"> • Baggerspecie bevat vaak al veel sulfaat. • Marktpotentieel in Vlaanderen is waarschijnlijk eerder beperkt.

Sterktes: Bij gebruik van cellenbetonkorrels ter verbetering van de structuur van specie en de binding van water worden de eigenschappen (watersorptie, chemische samenstelling) van het cellenbeton nuttig aangewend. De lage kostprijs in vergelijking tot andere stoffen waaronder primaire grondstoffen, die hiervoor kunnen aangewend worden is zeker ook een voordeel.

Zwaktes: mogelijke verontreinigingen aanwezig in het cellenbeton worden diffuus verspreid in het milieu.

Opportunities: Uitsparing van primaire grondstoffen waardoor er een link is met de groene economie.

Bedreigingen: Bij gebruik van cellenbeton in baggerspecie vrezen we dat de uitloging van sulfaat een probleem kan worden. Op dit moment is er voor bodemgebruik geen norm voor sulfaatuitloging. In Nederland wordt bij het gebruik van baggerspecie als grond al regelmatig een knelpunt vastgesteld met betrekking tot de sulfaatuitloging. Het toedienen van extra sulfaat (via cellenbeton) zal hier dus niet gewenst zijn.

4.6.5 SWOT analyse voor gebruik van cellenbetonafval in zandcementmengsels

STERKTES <ul style="list-style-type: none"> • Vervanging van primaire delfstoffen • Immobilisatie van sulfaat (geen of geringe milieu-impact) • Decentraal toepasbaar (transportafstanden beperkt) 	ZWAKTES <ul style="list-style-type: none"> • Kostprijs (hoog in vergelijking tot storten en afzet in Duitsland) en investering tov vereist volume • Mogelijke sulfaatuitloging op langere termijn (tweede leven) • Geringe sterkte van cellenbeton • Toepassing beperkt tot vormgegeven bouwstof of tot binnentoepassingen (dekvloeren)
OPPORTUNITETEN <ul style="list-style-type: none"> • Link met 'groene economie' • Realiseren van hogere recyclage hoeveelheden van bouw- en sloopafval (doelstelling van de Vlaamse overheid) • Herkenbaarheid kan C2C-gedachte vergroten 	BEDREIGINGEN <ul style="list-style-type: none"> • Bouw is een zeer traditionele markt (gebruik van traditionele materialen, beperkte kennis/ervaring met gebruik van cellenbeton als granulaat) • Afzetmarkt (toepassingsdomein) voldoende groot voor intake-volume? • Bestaand normatief kader

Sterktes: Cellenbeton kan een deel van de granulaten vervangen in zandcement en andere mengsels van cement en zand, bv dekvloeren, waardoor primaire grondstoffen worden uitgespaard. Het oordeelkundig gebruik van cellenbeton heeft in dit geval een minimaal milieu-effect. Het sulfaat wordt immers chemisch en fysisch geïmmobiliseerd waardoor de uitloging van sulfaat uit het eindproduct voldoet aan de grenswaarde voor sulfaatuitloging in een ophoging (dit wil zeggen een toepassing op de bodem zonder contact met grondwater) of in binnentoepassing. In principe kan de technologie op verschillende plaatsen worden toegepast, waardoor de transportafstanden van inzameling en afzet verkleinen.

Zwaktes: Kostprijs voor verwerking van cellenbeton in deze toepassing dient te concurreren met andere goedkopere verwerkings- of stortmogelijkheden in het buitenland. Momenteel wordt vrij weinig cellenbeton aangevoerd voor verwerking in dit type toepassingen. De geringe sterkte van cellenbeton maakt dat slechts een beperkt percentage cellenbeton kan gebruikt worden in deze toepassingen, of dat het cellenbeton de nodige voorbehandeling(en) moet ondergaan.

Opportunities: Het gebruik van cellenbeton leidt tot een hogere recyclagegraad van bouw en sloopafval (halen van recyclagedoelstellingen van de overheid). Door de uitsparing van primaire delfstoffen is er ook een link met de groene economie. Door het recyclageproduct herkenbaar te maken, en ervoor te zorgen dat het apart kan worden gesloopt en in dezelfde kring wordt gerecycleerd, wordt een deel van de Cradle-to-cradle-principes gerealiseerd.

Bedreigingen: De bouw is een zeer traditionele markt waar vooral gebruik wordt gemaakt van traditionele materialen waarvan de kwaliteit goed gekend is. De kennis en ervaring met het gebruik van cellenbetonafval in deze toepassingen is nog zeer beperkt. Daarnaast moet nog duidelijk worden of de toepassingen in dit domein voldoende capaciteit hebben om het grote volume aan cellenbeton te kunnen verwerken.

4.6.6 SWOT analyse voor gebruik van cellenbetonafval in (rijke) betonmengsels

STERKTES <ul style="list-style-type: none">• Vervanging primaire grondstoffen• Sulfaat (wellicht) volledig gebonden, ook bij 2^e leven• Toepasbaar op meerdere locaties	ZWAKTES <ul style="list-style-type: none">• Geringe sterkte van cellenbeton en beton ermee gemaakt• Onvoldoende kennis over duurzaamheid & toepassingsgebied• Geen of beperkte ervaring in Vlaanderen
OPPORTUNITETEN <ul style="list-style-type: none">• Link met groene economie• Realiseren van hogere recyclage hoeveelheden van bouw- en sloopafval (doelstelling van de Vlaamse overheid)• Recycleerbaarheid• Ervaring in Nederland (en Duitsland)	BEDREIGINGEN <ul style="list-style-type: none">• Bouw is een zeer traditionele markt (gebruik van traditionele materialen, beperkte kennis/ervaring met gebruik van cellenbeton als granulaat)• Mogelijkheid voor certificatie van producten• Noodzaak volume en homogeniteit van stroom voor rentabiliteit

Sterktes: Cellenbeton kan een deel van de granulaten vervangen in betonmengsels waardoor primaire grondstoffen worden uitgespaard. Het oordeelkundig gebruik van cellenbeton heeft in dit geval een minimaal milieu-effect. Het sulfaat wordt immers chemisch en fysisch geïmmobiliseerd waardoor de uitloging van sulfaat uit het eindproduct voldoet aan de grenswaarde voor sulfaatuitloging. Eens de technologie voldoende bekend is, kan ze op meerdere plaatsen worden toegepast.

Zwaktes: Kostprijs voor verwerking van cellenbeton in deze toepassing dient te concurreren met andere goedkopere verwerkings- of stortmogelijkheden in het buitenland. De geringe sterkte van cellenbeton maakt dat slechts een beperkt percentage cellenbeton kan gebruikt worden in deze toepassingen, of dat het cellenbeton de nodige voorbehandeling(en) moet ondergaan. Er is ook nog weinig ervaring aanwezig om goede betonproducten met cellenbetongranulaat of –zand te maken en de wetenschappelijke onderbouwing van duurzaamheid en gedrag in de tijd ontbreekt nog.

Opportunities: Het gebruik van cellenbeton leidt tot een hogere recyclagegraad van bouw en sloopafval (halen van recyclagedoelstellingen van de overheid). Door de uitsparing van primaire delfstoffen is er ook een link met de groene economie. In Nederland wordt een dergelijk proces al toegepast. Duits onderzoek geeft ook aan dat er in het 2e leven technische recyclage mogelijk is.

Bedreigingen: De bouw is een zeer traditionele markt waar vooral gebruik wordt gemaakt van traditionele materialen waarvan de kwaliteit goed gekend is. Ook de continuïteit van aanvoer is

doorgaans een vereiste. De kennis en ervaring met het gebruik van cellenbetonafval in deze toepassingen is nog zeer beperkt. Daarnaast worden op de Belgische markt ook vaak bepaalde kwaliteitskeurmerken en – certificaten gebruikt en gevraagd. De vraag is in welke mate beton met cellenbeton deze keurmerken en certificaten zal kunnen behalen.

4.6.7 SWOT analyse voor immobiliseren van cellenbetonafval in lichte ophoogmaterialen (oplossing in NL)

STERKTES	ZWAKTES
<ul style="list-style-type: none"> • Vervanging primaire grondstoffen (bims) • Sulfaat volledig gebonden • Relatief goedkoop • Mengsel van kalkzandsteen, gips en cellenbeton te verwerken • Toepasbaar op meerdere locaties 	<ul style="list-style-type: none"> • Nog niet op de markt • Weinig ervaring • Toepassingsgebied beperkt
OPPORTUNITeiten	BEDREIGINGEN
<ul style="list-style-type: none"> • Technisch onderbouwd en eenvoudig te implementeren/te importeren • Realiseren van hogere recydlage hoeveelheden van bouw- en sloopafval (doelstelling van de Vlaamse overheid) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mogelijkheid voor certificatie van producten • Nood in Vlaanderen aan dergelijk product wellicht beperkt

Sterktes: Cellenbeton kan samen met de andere witte stromen worden verwerkt tot een licht ophogingsmateriaal. Hierdoor is bijkomende, verdergaande scheiding niet noodzakelijk. Het proces is niet zeer duur en vrij eenvoudig.

Zwaktes: De toepassing werd ontwikkeld en technisch onderbouwd op laboschaal, maar is nog niet op de markt. Hierdoor is er weinig of geen ervaring met toepassing op de industriële schaal. Het toepassingsgebied van het product (lichte ophoogmaterialen) is ook relatief beperkt.

Opportunities: De technologie is ontwikkeld, en is klaar om, via licenties of andere weg, in gebruik genomen te worden.

Bedreigingen: De bouw is een zeer traditionele markt waar vooral gebruik wordt gemaakt van traditionele materialen waarvan de kwaliteit goed gekend is. De kennis en ervaring met het gebruik van cellenbetonafval in deze toepassingen is nog zeer beperkt. Op langere termijn kan ook het verkrijgen van de nodige kwaliteitscertificaten problematisch worden. Daarnaast kan men zich ook afvragen of er een markt is voor dergelijke lichte ophoogmaterialen, die traditioneel meer in Nederland worden gebruikt.

4.6.8 SWOT analyse voor business as usual (afvoer naar stortplaats & 'opmengen')

STERKTES <ul style="list-style-type: none">• Goedkoop• Eenvoudig• Overal toepasbaar	ZWAKTES <ul style="list-style-type: none">• Bouwtechnische beperkingen aan menggranulaat• Laagwaardige oplossing - niet sluiten van de kring• Verlies van grondstoffen
OPPORTUNITeiten <ul style="list-style-type: none">• Logistiek via bestaande kanalen	BEDREIGINGEN <ul style="list-style-type: none">• Kostprijs storten verhoogt• Invoer van sulfaatnorm zal gehalte aan sulfaathoudende materialen in bv. mengpuin beperken• Afvoer naar buitenland wordt minder geaccepteerd - illegale afvoer zal worden afgesloten• Ondermijnt alternatieve oplossingen

Sterktes: De gangbare oplossing voor cellenbeton, hetzij het afvoeren (al dan niet over de grenzen) om het te storten zijn goedkoop, eenvoudig, en overal (decentraal) toepasbaar.

Zwaktes: Het 'opmeng'-gehalte in het steenachtige puingranulaat is nu al beperkt, vanwege de slechte bouwkundige eigenschappen van het cellenbetonafval. Het betreft een zeer laagwaardige 'oplossing' van het probleem, waardoor grondstoffen verloren gaan.

Opportunities: Er dienen geen nieuwe of andere samenwerkingsverbanden of logistieke kaders of structuren opgezet worden.

Bedreigingen: De prijs voor transport en storten van afval zal toenemen. Ook is het niet duidelijk in welke mate afvoer over de grenzen zal getolereerd worden in de toekomst (door het land van herkomst en het land van bestemming). De mogelijke invoer van normen aangaande sulfaat voor gerecycleerde granulaten zal mogelijk bijkomende beperkingen opleggen aan sulfaathoudende materialen in puin. Daarenboven ondermijnt deze oplossing vooral ook het ontstaan van alternatieve, meer hoogwaardige oplossingen.

5 Vervolgtraject: acties en aandachtspunten

5.1 Inleiding

In onderstaande paragrafen worden een aantal voorstellen gedaan om, op basis van de stand van zaken eind 2010, de praktijk aangaande recyclage van cellenbeton te verbeteren.

Gezien de beperkte omvang van de studieopdracht, worden van deze voorstellen slechts enkele verder uitgewerkt. Om ook de andere pistes uit te werken, wordt een oproep gedaan aan de betrokken actoren om deze zaken in realiteit om te zetten.

De acties die worden voorgesteld variëren van 'verder uitdiepen of ontwikkelen van technische toepassingen' over 'ondersteunen en opzetten van logistieke kanalen en marktwerking' tot acties inzake 'beleid en communicatie'. De voorgestelde pistes werden in grote mate besproken met de betrokken actoren in de reeds vermelde workshop.

5.2 Technische mogelijkheden voor hoogwaardige toepassing

5.2.1 Verder onderzoek naar het sluiten van de kringloop

Zoals aangegeven, wordt nu reeds een deel van het primaire zand in het cellenbeton-productiemengsel vervangen door gerecycleerd cellenbeton, voornamelijk productieafval, deels ook zuiver werfafval.

Hierbij blijven nog een aantal zaken open:

- Hoeveel procent van het zand of van de grondstoffen kan men maximaal vervangen om een goed eindproduct te verkrijgen? Met andere woorden: heeft men met 20% vervanging van het zand reeds de totale vervangbare capaciteit bereikt, of kan men ook streven naar 25 of 30% vervanging?
Een antwoord op deze vraag is van groot belang, gezien men in de enige Belgische productieplant niet meer kan verwerken dan wat technisch mogelijk is. Indien men nu reeds zoveel als mogelijk cellenbetonafval verwerkt, heeft het geen zin om bijkomende stromen van buitenaf aan te voeren.
- Zuiverheid is primordiaal bij de inzet van gerecycleerd cellenbeton. Hierbij kunnen volgende vragen nog worden gesteld:
 - Aan welke expliciete specificaties vanuit de producent aangaande samenstelling, zuiverheid, vorm, ... moet het aangeleverde cellenbeton voldoen om bruikbaar te zijn?
 - Hoe kan men de zuiverheid van een extern aangevoerde stroom controleren?
 - Hoe kan men de zuiverheid eventueel gaan verhogen, door inzet van sorteer- of reinigingsinstallaties?
 - Hoe kan men de inzameling van zuiver werf-afval beter organiseren? Welke incentives zijn hiervoor nodig (bv. financiering, opleiding, ...)?
- Gezien bepaalde verontreinigingen in het afval zorgen voor zwarte stippen op de witte cellenbetonblokken, stelt zich de vraag of men geen 'eco-cellenbetonblok' op de markt kan brengen, die dan grijs of gespikkeld zouden zijn, maar als 'gerecycleerd product' op de markt worden gezet. Hiervoor is uiteraard voldoende aanvoer nodig en moet er een afzetmarkt gecreëerd worden.

Hierbij kan ook de opmerking gemaakt worden dat men cellenbeton sowieso al promoot als een milieuvriendelijk materiaal. Wordt dit dan niet gecounterd door een 'extra milieuvriendelijk' cellenbetonproduct op de markt te zetten. Dit is ook de reden waarom bv. cellenbetonafval niet wordt toegepast in de productie van kalkzandsteen; men wil het goede imago van deze laatste niet in gevaar brengen.

5.2.2 Verdere technische ondersteuning / verkenning ‘cementgebonden’ producten

Uit de marktinventarisatie en de gesprekken tijdens de workshop bleek dat er reeds een aantal valabele technische oplossingen bestaat voor de recyclage van cellenbeton, ook in Vlaanderen (cfr. Jacobs Beton & Chap-yt).

In eerste instantie verdient het wellicht aanbeveling deze pistes zich verder autonoom te laten ontwikkelen, binnen de technische projecten en ontwikkelingen waarin ze nu zijn ingebed. De vraag stelt zich ook of het noodzakelijk is om nog andere, nieuwe technische sporen op te starten (bv. toepassing in rijke betonsoorten).

Een andere opportuniteit die zich aandient, is het implementeren van de kennis die in het buitenland (Nederland, Duitsland) is ontwikkeld en getest.

Eventueel kunnen bepaalde initiatieven wel verder ondersteund worden door de onderbouwing van de economische haalbaarheid of het verder uittekenen van logistieke trajecten.

5.2.3 Zichtbaar maken van de monostroom ‘cellenbetonafval’

Uit de studie blijkt dat er wellicht nog veel cellenbetonafval ‘verdwijnt’, in plaats van terecht te komen bij de verwerkers. Om dit circuit tegen te gaan, verdient het aanbeveling om de mogelijkheden en knelpunten omtrent recyclage te benadrukken.

Deze sensibilisatie van de sector kan gebeuren via de gepaste communicatiekanalen. Zo werd in het voorjaar van 2011 in kader van deze studie een artikel gepubliceerd in Bouwkroniek en Bouwbedrijf om de aandacht op het cellenbetonafval en de mogelijkheden voor recyclage in de verf te zetten.

Ook andere kanalen kunnen in de toekomst worden ingezet. Hierbij wordt gedacht aan de communicatie van de OVAM omtrent bouw- en sloopafval in het algemeen (fiches, folder, code van goede praktijk) en omtrent de afvalstoffeninventaris bij te slopen gebouwen. Door reeds bij de opmaak van de inventaris het cellenbeton als aparte afvalstroom te benoemen, wordt zowel bij de opdrachtgever als de sloper bewustzijn gecreëerd omtrent het cellenbeton, waardoor het normaliter ook eenvoudiger als aparte stroom kan worden behandeld.

Eventueel kunnen er ook een of meerdere proefprojecten worden uitgevoerd die duidelijk illustreren hoe cellenbeton apart wordt gesloopt, en waar het, rekening houdend met het volume en de bereikte zuiverheid, naartoe kan worden afgevoerd. Hierbij kan bv. ook de kostprijs in kaart worden gebracht van bijkomend selectief slopen, en de baten die hiertegenover staan.

5.2.4 Logistiek kader & marktwerking

Eventueel kan worden ingezet op de verdere en meer doorgedreven organisatie van afvalbeheer op de bouwwerf, de sloopwerf en bij de verwerkers. Uiteraard zal de manier waarop men omgaat met cellenbetonafval (maw, hoe zuiver men deze stroom apart houdt) ook afhangen van de beschikbaarheid van afzetkanalen.

Ook op een overkoepelend niveau kan men de logistiek en de marktwerking beter gaan organiseren. Hiervoor kan een overleg tussen de verschillende partijen (vraag, aanbod, regelgeving) wenselijk zijn. Dit overleg kan idealiter uitmonden in afspraken of overeenkomsten, bv. een ‘convenant’, zoals dat ook is afgesloten rond de recyclage van gipsproducten.

5.2.5 Beleidsaanbevelingen

Tot slot kan de overheid als regelgever en facilitator ook haar rol spelen. Zoals reeds werd aangegeven kan een doordacht handhavingsbeleid helpen om de in ontwikkeling zijnde

recyclagekanalen leefbaar en rendabel te maken. Oneerlijke concurrentie verzwakt immers de positie van de legitieme verwerkingskanalen.

De overheid kan in deze ook een voorbeeldrol spelen, bv. door duidelijk aan te geven wat er op overheidswerven gebeurt met het cellenbeton. Op een ander niveau dient de overheid ook haar rol te spelen in de norm- en regelgeving aangaande sulfaten.

Eenzijds dient van voldoende nabij de evolutie op Europees niveau te worden gevolgd aangaande milieuhygiënische aspecten van afval, gerecycleerde producten en bouwproducten. Het kan niet de bedoeling zijn de verwerkingsmogelijkheden in Vlaanderen te limiteren ten opzichte van de ons omliggende en Europese landen en regio's.

Anderzijds wordt momenteel door VITO in opdracht van OVAM de haalbaarheid onderzocht van het invoeren van nieuwe normen voor de uitloging van anorganische parameters, voor de toepasbaarheid van secundaire grondstoffen (Joris et al., 2010). Voor sulfaat wordt een norm van 2200 mg/kg ds vooropgesteld. Deze norm is gebaseerd op een toepassing als ophoging (op een bodem zonder direct contact met het grondwater. Net als in Nederland is vastgesteld dat er voor een aantal secundaire grondstoffen, waaronder baggerspecie, zeefzand en menggranulaat een knelpunt kan ontstaan bij invoering van deze sulfaatnorm.

Het lijkt daarom noodzakelijk dat de Vlaamse overheid samen met de betrokken sectoren enerzijds nagaat wat de gevolgen zullen zijn van de invoering van een sulfaatnorm, en anderzijds nagaat wat de technische en economische mogelijkheden zijn voor de bedrijven om aan de nieuwe norm te voldoen. Mogelijk kan een gefaseerde aanpak zoals in Nederland waarbij de sulfaatnorm stapsgewijs wordt verstrengd, zodat de bedrijven de tijd krijgen om economisch haalbare oplossingen te vinden (om aan de nieuwe norm te voldoen), een oplossing bieden. Anno maart 2011 worden de mogelijkheden in de OVAM-werkgroep rond de nieuwe VLAREA-normstelling bekeken.

6 Besluit

Voorliggende studie heeft als doel de keten van het product cellenbeton zo goed mogelijk te sluiten en antwoorden te bieden op de knelpunten en vragen die rond het hergebruik en de (hoogwaardige) recyclage van cellenbeton anno 2010 bestaan. Het valoriseren van afval als nuttige toepassing is een samengaan van drie aspecten:

- technische performantie in functie van de toepassing
- impact op het milieu (zowel rechtstreeks via uitloging naar grond en grondwater als op macroschaal ten gevolge van transport, nodige opwerkingstappen, ...)
- praktische haalbaarheid en marktvoorwaarden (logistiek, kostprijs, marktwerking, regelgeving, ...)

Elk van deze drie factoren is aan bod gekomen in deze studie.

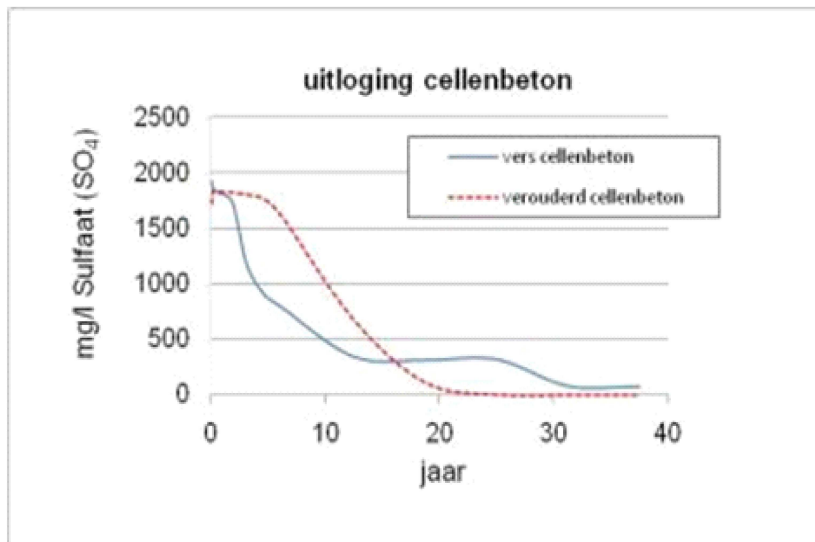
In eerste instantie werd gefocust op het aspect 'sulfaatuitloging'. Cellenbeton wordt gemaakt van cement, kalk, zand of vliegas, aluminiumpoeder en water. Dit mengsel reageert eerst expansief, en wordt vervolgens geautoclaveerd tot een hard steenachtig product. Zwavel wordt aan dit mengsel enerzijds toegevoegd via het gebruikte cement, maar daarnaast ook in de vorm van anhydriet en/of gips die fungeert als bindingsregelaar.

De aanwezigheid van zwavel en sulfaten in het eindproduct zorgt nadien voor een hoge sulfaatuitloging. De resultaten van de kolomtest van de verschillende geteste bouwmaterialen en de vergelijking met de VLAREA-toetsingswaarde voor sulfaat en de recent door VITO in opdracht van de OVAM berekende risicogebaseerde grenswaarden worden in onderstaande tabel weergegeven.

Materiaal	SO ₄ uitloging in mg/kg ds	VLAREA toetsingswaarde SO ₄ (mg/kg ds)	Risicogebaseerde grenswaarden (mg/kg ds)	
			Grensw. 1	Grensw. 2
Cellenbeton 2010	11036	540	1125	2192
Cellenbeton 1971-72	6048			
Snelbouwsteen 2010	10917			
Beton 2010	< 30			

De toepassing van ongebonden cellenbeton in ophogingen (grenswaarde 1) of opvullingen (grenswaarde 2) vormt dus een mogelijk risico voor bodem en grondwater omwille van de uitloging van sulfaat. Het sulfaat-uitloogniveau ligt vele malen hoger dan de huidige VLAREA-toetsingswaarde en de recent door VITO berekende risicogebaseerde grenswaarden (Joris et al., 2010). Ook voor de metselsteen die in het onderzoek mee werd opgenomen is de uitloging van sulfaat problematisch.

Daarnaast werd ook het effect van veroudering bestudeerd. Uit vers cellenbeton loogt vooral gips en anhydriet uit. Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) wordt niet beïnvloed door veroudering. Anhydriet (CaSO_4) zal geleidelijk omzetten naar gips. De veroudering heeft vooral invloed op de mineralen die een interactie kunnen ondergaan met CO_2 . Dit zijn o.a. C-S-H en hydroxyllestadiet. Hydroxyllestadiet zorgt in het verse cellenbeton voor een geringe uitloging van sulfaat, die afhankelijk is van het oplosbaarheidsproduct van hydroxyllestadiet. Bij veroudering kan dit hydroxyllestadiet omzetten naar andere mineralen waaronder gips, dat veel oplosbaarder is en dus voor een snellere uitloging zal zorgen van sulfaat uit cellenbeton. Indien sulfaat aanwezig is in de C-S-H verbindingen kan dit eveneens bij carbonatatie aanleiding geven tot de vorming van gips. Dit betekent dat bij veroudering van cellenbeton de maximale sulfaatconcentratie in het eluaat bij aanvang van de uitloogtest niet zal wijzigen maar dat de maximale sulfaatconcentratie in het eluaat mogelijk langer zal blijven aanhouden. Dit is grafisch weergegeven in onderstaande figuur.



Theoretische uitlogoprofielen van vers en verouderd cellenbeton

In een tweede fase werd de aandacht toegespitst op de huidige situatie in Vlaanderen: hoe wordt er momenteel omgegaan in de praktijk met cellenbeton en cellenbetonafval? Anno 2010 is er een enkele grote producent van cellenbetonproducten op de Belgische markt: Xella te Burcht. Zij vertegenwoordigen zowat 90% van de 250 000 à 300 000 m³ die jaarlijks in België worden afgezet. Kleinere spelers (Cellumat, Porit, ...) voeren in vanuit Frankrijk en Duitsland. Waar in de beginperiode vooral gewapende elementen werden gebruikt, wordt nu veel meer het blokkengamma aangewend.

In totaal is er sinds 1955 naar schatting 12.7 miljoen m³ of 7.3 miljoen ton cellenbeton in België gebruikt. Bij het doorrekenen van verschillende levensduurscenario's op basis van de productiegegevens, kan worden geschat dat er jaarlijks tussen de 75 000 en de 130 000 ton cellenbetonafval vrijkomt.

Xella heeft reeds stappen gezet om in zijn eigen productieproces een deel cellenbetonafval te recyclen. In Burcht zou het gaan om ongeveer 20 000 ton (= 20% van het totale tonnage aan zand), voornamelijk productieafval, maar ook een zekere instroom van werfafval, op voorwaarde dat dit zeer zuiver is.

Op basis van een enquête en een (beperkte) steekproef blijkt dat er in de praktijk, op bouwerven, sloopsites en bij sorteer- en breekcentra, behoorlijke verschillen bestaan in de omgang met cellenbeton. De diversiteit aan oplossingen en verwerkingsmanieren die werd vernoemd, geeft aan dat eenieder zoekt naar een oplossing die hem het beste schikt. Er zijn nog een aantal vragen en knelpunten aanwezig:

- Een marktbevraging laat niet toe om preciezere schattingen te maken van de hoeveelheid cellenbetonafval die er nu aanwezig is. Deze afvalstroom is momenteel onvoldoende zichtbaar in het Vlaamse landschap.
- Op de werf worden volgende knelpunten waargenomen:
 - In de bouwfase zijn de afvalfracties vaak te beperkt om een degelijk logistiek inzamelsysteem op te zetten. Hierdoor wordt het afval vaak met de rest van het afval mee afgevoerd, en bereikt het zuiver afval bv. niet de productiesite in Burcht.
 - Het afval dat ontstaat in de sloopfase kampt enerzijds met technische uitdagingen (onvoldoende zuiver, afzetkanalen voor (licht) verontreinigd cellenbeton niet of onvoldoende bekend, vaste afspraken met verwerkers) en anderzijds met het probleem van strikte handhaving, waardoor een deel van de stroom, die nog steeds als 'een probleem' wordt beschouwd momenteel waarschijnlijk 'verdwijnt'.
- Het sluiten van de kring is enerzijds een logistiek-technisch verhaal. Men is bereid een zekere hoeveelheid cellenbeton binnen te nemen, maar dit moet voldoende zuiver zijn. Hierbij moet de afweging gemaakt worden of men dan enkel op bouwafval mikt, waarbij het

volume vrij beperkt zal zijn, of dat men ook ander afval aanvaardt, waarbij de risico's op verontreiniging groter zijn (aanzuigeffect). Vragen die hierbij nog onvoldoende ingevuld zijn, zijn de vereiste specificaties voor intake, mogelijke prijszetting (om een markt te creëren), gewenst en technisch mogelijk vervangingspercentage. Hierbij dient ook te worden opgemerkt dat het vervangingspercentage in de productie hoe dan ook beperkt is, en dat men bij de producent dus ook geen oneindige hoeveelheid cellenbetonafval, hoe zuiver ook, kan verwerken.

- De optie 'storten', die voorheen door verschillende slopers en sorteerdere werd uitgevoerd, is wegens de normering rond sulfaatuitloging een stuk duurder geworden. De alternatieve pistes (afvoer naar Wallonië, Nederland en Duitsland) kampen daarenboven met een gebrek aan duidelijkheid inzake nuttige toepassing en legale afvoer (betalen van heffingen). Er is nood aan een duidelijk, eenduidig wetgevend en milieuhygiënisch standpunt en voldoende handhaving op illegale praktijken. Het is immers te duur geworden (voor de sorteerder) om op een redelijke manier van het cellenbetonafval af te raken in concurrentie met illegale praktijken.
- Tot slot zijn er intussen een aantal initiatieven lopende om cellenbeton nuttig toe te passen in bv. chape en zandcement. Hierbij zijn nog een aantal technische zaken verder uit te klaren of te optimaliseren. Daarnaast zal het voor de initiatiefnemers ook een logistieke uitdaging zijn om via prijszetting te concurreren met de huidige afzetkanalen en voldoende volume binnen te halen om de gemaakte (of te maken) investeringen terug te verdienen.

Uit de inventarisatie blijkt dat er reeds een aantal technische mogelijkheden zijn voor cellenbetonrecyclage, en dat er een aantal pistes verder worden ontwikkeld. Zo zijn er dus mogelijkheden voor recyclage in cellenbeton zelf, voor toepassing als ongebonden materiaal (bv. in kattenbakvulling), en toepassing in met cement of andere bindmiddelen gebonden, vormgegeven toepassingen (zandcement, chapes, betonblokken, lichte ophogingsmaterialen).

Uit de diepgaandere analyse van drie mogelijke oplossingen, blijkt dat:

- Zuiver cellenbeton kan ingezet worden in de cellenbetonproductie. Hiervoor is nood aan verdere duidelijkheid aangaande 'zuiverheidscriteria' en inzicht in het maximale vervangingspercentage in de praktijk.
- Licht verontreinigd cellenbeton kan ingezet worden in een rijk betonmengsel. Via de juiste samenstelling en verwerking, bekomt men een product dat het midden houdt tussen cellenbeton en licht beton. Wegens de geringe sterkte van het cellenbeton, zijn porositeit en de aanwezigheid van sulfaten is voorzichtigheid en verdere onderbouwing echter geboden.
- De piste die was vooropgesteld voor meer vervuild cellenbeton, namelijk inzet in de cementovens, blijkt wegens technische en procesmatige redenen niet haalbaar. Door de (variërende) aanwezigheid van sulfaten, dreigt het productieproces van cement verstoord te raken, en de homogeniteit van het eindproduct in het gedrang te komen.

Voor de belangrijkste technische oplossingen, alsook voor het 'status quo' scenario werd een SWOT-analyse uitgevoerd, met aandacht voor de implicaties op logistiek, marktwerking en economische haalbaarheid en milieu-impact nu en in een volgend leven.

Op basis van de verzamelde informatie en een workshop waarop alle betrokken partijen aanwezig waren, werden volgende vervolgacties voorgesteld:

- Verdere ontwikkeling van technische mogelijkheden voor hoogwaardige toepassing:
 - Sluiten van de kringloop: bepalen maximaal vervangingspercentage, bepalen en verfijnen zuiverheid van intake-materiaal, organisatie van logistiek, vermarkting van eventueel 'gerecycleerd product'
 - Ondersteuning van de bestaande initiatieven in Vlaanderen, voor zover nodig. Er kan eventueel ook gedacht worden aan implementatie van technologische kennis die in het buitenland (Nederland, Duitsland) werd ontwikkeld. Meer zichtbaar maken van de stroom 'cellenbetonafval':
- Sensibilisatie van de sector, via artikels in bv. Bouwbedrijf en Bouwkroniek en via de betrokken federaties.
 - Communicatie vanuit de OVAM zelf: presentaties, folders, code van goede praktijk

aangaande bouw- en sloopafval. Implicaties en gebruik van de afvalstoffeninventaris om te sorteren bij de bron. Daarnaast kunnen ook een aantal demonstratiewerven worden gedocumenteerd.

— Marktwerking & logistiek

- Verdere en meer doorgedreven organisatie van het afvalbeheer op de werf en bij de verwerkingsbedrijven kan eventueel worden ondersteund. Dit hangt samen met de beschikbare afzetkanalen.
- Overleg tussen de verschillende partijen (vraag, aanbod en regelgeving). Dit kan eventueel leiden tot een soort 'convenant' waarin men zich verbindt tot bepaalde uitvoeringspraktijken of het aanleveren/verwerken van bepaalde volumes afval.

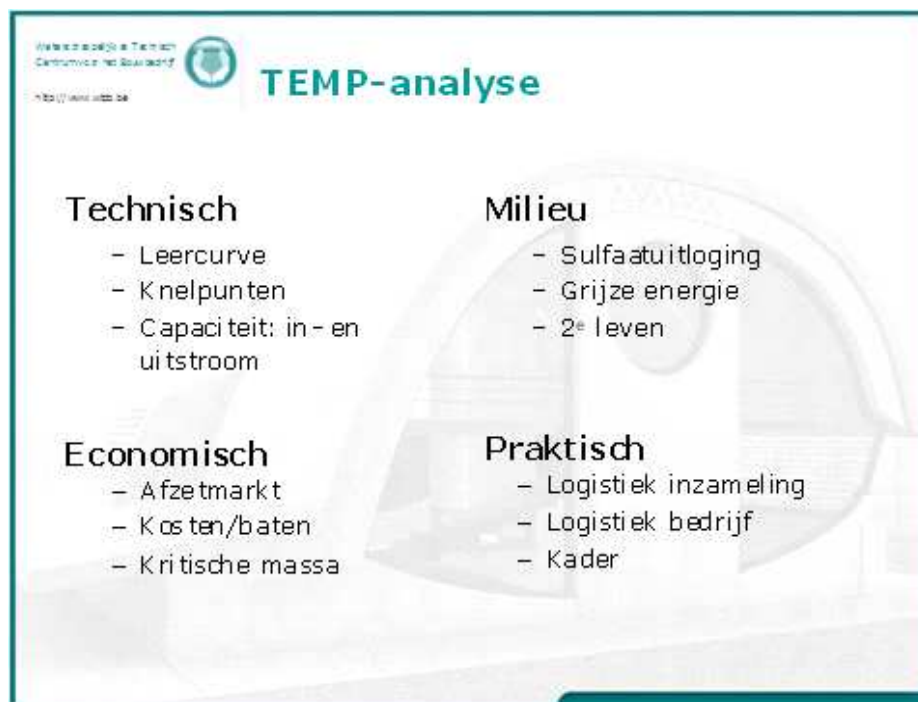
— Beleid

- Handhaving blijft een belangrijk aandachtspunt. Er wordt op het terrein momenteel nog een sterke, oneerlijke concurrentie ervaren van illegale alternatieven (transport over de grens).
- Het verdient aanbeveling om de evolutie in het regelgevend en normgevend kader aangaande bouw- en afvalstoffen op te volgen, en in het bijzonder de implicaties die een eventuele grenswaarde voor sulfaten voor hergebruik in of als bouwstof kunnen hebben.

7 Bijlagen

7.1 TEMP-analyse van verschillende alternatieven

Op de workshop dd. 19/12/2010 werd voor een aantal technische pistes een analyse gemaakt aangaande een aantal technische, economische, milieu-impact- en praktische factoren. Voor elk van deze vier groepen, worden een aantal vragen gesteld om de huidige situatie voor het betreffende alternatief in kaart te brengen: wat is er al, waar is er nood aan, wat zijn mogelijke positieve en negatieve punten?



Technisch:

Leercurve: Is de technologie al ontwikkeld? Is de technologie toegepast in praktijk? Is er nog veel onderzoek nodig of is er enkel nog optimalisatie vereist?

Knelpunten: Welke zaken moet men nog verder beheersen? Dit kan ook breder gaan dan het pure productieproces, bv. beheersen van stofproductie

Capaciteit: Hoeveel afval kan men binnennemen? Hoeveel kan men verwerken per dag? Hoeveel recycleert kan men vervangen in huidige proces? Welke stroom kan men binnennemen, enkel heel zuivere, of ook heel vervuilde?

Milieu-impact:

Sulfaatuitloging: heeft men dit volledig onder controle?

Grijs energie: hoeveel energie en inspanning en producten moet er worden geïnvesteerd om het product te realiseren (bv. thermische processen...)? Aansluitend: is het zinvol om ergens heel veel cement toe te voegen (meer dan voor ander proces) ?

2e leven: Kan het gemaakte product worden gerecycleerd achteraf? Zal er op dat moment eventueel sulfaat uitlogen?

Economische factoren

Afzetmarkt: hoe groot is de markt? Is deze meteen beschikbaar of nog te veroveren? Zal klant het product willen kopen/toepassen?

Kosten/Baten: is het een economisch winstgevend proces? Ruime marges of zeer krap?

Kritische massa: je moet een investering terugverdienen: hoeveel input en output heb je

nodig hiervoor?

Praktisch en logistiek kader:

Inzameling: hoe krijg je het product bij de verwerker?

Bedrijfslogistiek: kan je alles opslaan? Kan je intermediaren kwijt? Welke investeringen zijn nog noodzakelijk? Verdienen ze zich terug? Hoe organiseer je samenwerking?

Wetgevend kader: welke vergunningen heb je nodig? Zijn die in orde?

Wetenschappelijk Technisch
Ook te vinden in: Bouwbedrijf

<http://www.ictb.be>

Recycling bij XELLA

Technisch <ul style="list-style-type: none">- Leercurve- Knelpunten- Capaciteit: in- en uitstroom	Milieu <ul style="list-style-type: none">- Sulfaatuitloging- Grijs energie- 2^e leven
Economisch <ul style="list-style-type: none">- Afzetmarkt- Kosten/baten- Kritische massa	Praktisch <ul style="list-style-type: none">- Logistiek inzameling- Logistiek bedrijf- Kader

Technisch

- Vervanging gebeurt al
- Max. vervangingspercentage?
- Zuiverheid stroom: QA
- Capaciteit zand-
vervanging

Milieu

- Sulfaat onder controle
- Enkel transport- en
breekenergie
- 2^e leven : C2C

Economisch

- Prijs inzameling &
verwerking vs prijs
zand
- Productiemarkt ?
Recyclingmarkt
- Imago 'recyclingblok'

Praktisch

- Bouwafvalvolume /
Sloopvolume
- Continuïteit instroom
voor productie
- Vergunning voor
'afvalverwerking' ?

Wetenschappelijk Technisch
Ook te vinden in: Bouwbedrijf

<http://www.ictb.be>

Chap-Yt Dekvloeren

Technisch <ul style="list-style-type: none">- Leercurve- Knelpunten- Capaciteit: in- en uitstroom	Milieu <ul style="list-style-type: none">- Sulfaatuitloging- Grijs energie- 2^e leven
Economisch <ul style="list-style-type: none">- Afzetmarkt- Kosten/baten- Kritische massa	Praktisch <ul style="list-style-type: none">- Logistiek inzameling- Logistiek bedrijf- Kader

Technisch

- Onderzoek in opstart
- Normkader
- 30 000 t/j

Milieu

- Binnen toepassing
- Gebruik van cement
- C2C-principe door kleur -
garantie?

Economisch

- Omvang afzetmarkt
- Kostprijs
- Tonnage voor
rentabiliteit?

Praktisch

- Centraal / Decentraal
- Breekproces
- Samenwerking vereist
- Vergunning voor
verwerking



Jacobs Beton V-Bouwstof

Technisch <ul style="list-style-type: none">- Leercurve- Knelpunten- Capaciteit: in- en uitstroom	Milieu <ul style="list-style-type: none">- Sulfaatuitloging- Grijs energie- 2^e leven
Economisch <ul style="list-style-type: none">- Afzetmarkt- Kosten/baten- Kritische massa	Praktisch <ul style="list-style-type: none">- Logistiek inzameling- Logistiek bedrijf- Kader

Technisch

- Onderzoek lopend
- Opstart breker
- Zuiverheidseisen beperkt
- 50 000 t/j

Milieu

- Sulfaatuitloging onder controle
- Optimalisatie cement
- 2^e leven in zelfde product gegarandeerd (?)

Economisch

- Afzetmarkt voldoende groot
- Kostprijs vs. alternatieven
- Voldoende instroom vereist

Praktisch

- Decentraal / Centraal
- Opslagplaats
- Gebruikscertificaat



GipsNet Kok Lexmond

Technisch <ul style="list-style-type: none">- Leercurve- Knelpunten- Capaciteit: in- en uitstroom	Milieu <ul style="list-style-type: none">- Sulfaatuitloging- Grijs energie- 2^e leven
Economisch <ul style="list-style-type: none">- Afzetmarkt- Kosten/baten- Kritische massa	Praktisch <ul style="list-style-type: none">- Logistiek inzameling- Logistiek bedrijf- Kader

Technisch

- Ervaring
- Mengstroom?
- Capaciteit: 25 t/h (= 50 000 t/j)

Milieu

- Sulfaatuitloging OK
- Cementgebruik
- 2^e leven OK

Economisch

- Afzetmarkt?
- Scherpe prijszetting
- Kritische massa bereikt?

Praktisch

- Transportafstand - schip
- Grensoverschrijdend transport
- Onderbouwing nuttige toepassing



Eerland Recycling Immobilisaat

Technisch
- Leercurve
- Knelpunten
- Capaciteit: in- en
uitstroom

Milieu
- Sulfaatbilting
- Grijs energie
- 2^e leven

Economisch
- Afzetmarkt
- Kosten/baten
- Kritische massa

Praktisch
- Logistiek inzameling
- Logistiek bedrijf
- Kader

Technisch

- Onderzoek afgerond
- Technologieoverdracht
- Capaciteit ?
- Oplossing voor 'witte stroom'

Milieu

- Sulfaat onder controle
- Optimalisatie bindmiddel
- 2^e leven

Economisch

- Afzetmarkt typisch Nederlands?
- Grootte van de afzetmarkt + concurrentie
- Kostprijs?

Praktisch

- Transport
- Integratie in bestaande activiteiten
- Vergunningen/keurmerk en nodig?



'Opmengen' ?

Technisch
- Leercurve
- Knelpunten
- Capaciteit: in- en
uitstroom

Milieu
- Sulfaatbilting
- Grijs energie
- 2^e leven

Economisch
- Afzetmarkt
- Kosten/baten
- Kritische massa

Praktisch
- Logistiek inzameling
- Logistiek bedrijf
- Kader

Technisch

- Bouwtechnisch geen echt probleem, tenzij voor hoogwaardige toepassing

Milieu

- Sulfaat in 'mengpuin' momenteel niet genormeerd
- Grenswaarde in functie van menging?

Economisch

- Kostenefficiënt?
- ! Andere opties worden ondermijnd !

Praktisch

- Quid handhaving?
- Logistiek kan via bestaande kanalen
- Mengen van afvalstromen

Lijst van tabellen

Tabel 1: Overzicht zwavel gehalte, en zwavel mineralogie in cellenbeton en courant gebruikte bouwmaterialen.	16
Tabel 2: Overzicht uitloging van sulfaat uit bouwmaterialen.	19
Tabel 3: Uitloogresultaten van klassiek beton	21
Tabel 4: Uitloogresultaten van de snelbouwsteen	21
Tabel 5: Uitloogresultaten van het verse cellenbeton	22
Tabel 6: Uitloogresultaten van het cellenbeton van 1971-72	23
Tabel 7: Totaal zwavelgehalte van de verschillende bouwstoffen (voor en na uitloging bij L/S=40)	24
Tabel 8: Gemeten totaal zwavelgehalte van de verschillende bouwstoffen (voor en na uitloging)	32
Tabel 9: VLAREA toetsingswaarden voor sulfaatuitloging en recent door VITO berekende risicogebaseerde grenswaarden.	33
Tabel 10: Sulfaatuitloging (kolomtest) uit de verschillende bouwmaterialen vergeleken met de VLAREA-toetsingswaarde voor sulfaat en recent door VITO berekende risicogebaseerde grenswaarden.	33
Tabel 11: risicogebaseerde grenswaarden: standaard modelresultaten en specifiek voor cellenbeton berekende grenswaarden op basis van het waargenomen uitlooggedrag van vers en oud cellenbeton.	36
Tabel 12: Overzicht antwoorden van sloopaannemers op mini-enquête omtrent omgang met cellenbetonafval	51
Tabel 13: Overzicht antwoorden sorteerbedrijven op mini-enquête	52
Tabel 14: Overzicht beschikbare gegevens stortplaatsen ivm intake cellenbeton	54
Tabel 15: Overzicht Rapportering Afvalstoffen - Overgenomen uit 'Hoeveelheid & percentage eindproducten 2002-2007 Sorteerders' (INTRON – SenterNovem)	59
Tabel 16: Recepturen van basismengsels	74
Tabel 17: Vergelijking resultaten lichtgewichtsteen met cellenbetonblok en licht beton	74
Tabel 18: Samenstelling van referentieproefstukken (A, B, C) en mengsels met cellenbetonzand (D, E, F, G).	76
Tabel 19: Eigenschappen van verse mortel(waarden tussen haakjes zijn schattingen van de effectieve W/C factoren, rekening houdend met de geschatte waterabsorptie van de gerecycleerde granulaten)	76
Tabel 20: Resultaten bepaling druksterkte mortelproefstukken na 2 en 28 dagen	77

Lijst van figuren

Figuur 1: Faseveranderingen die kunnen optreden tijdens de productie van cellenbeton op basis van kwartzand, cement, kalk en anhydriet als voornaamste grondstoffen gaande van het mengen van de grondstoffen tot finaal product. (Schrober, 2007)	13
Figuur 2: XRD-analyses van cellenbeton van verschillende ouderdom. Het oudste staal bevat geen tobermoriet maar wel veel meer amorfe CSH verbindingen, zoals blijkt uit –de verhoogde achtergrondwaarden tussen 15 en 35 ° (2 Theta waarden).	15
Figuur 3: XRD- analyses van kernen uit 4 cellenbeton monsters van verschillende ouderdom: T = tobermoriet, Q = kwarts, C = calciëet, A = anhydriet, G = gips, M = muscoviet (overgenomen uit Straube et al., 2008).	17
Figuur 4: Uitloging van sulfaat uit cellenbeton van XELLA bij uitvoering van de kolomuitloogtest (NEN7343) (data XELLA, 2003).	20
Figuur 5: Sulfaatuitloging uit de snelbouwsteen	22
Figuur 6: Sulfaatuitloging uit het verse cellenbeton	23
Figuur 7: Sulfaatuitloging uit het cellenbeton van 1971-72	24
Figuur 8: Cumulatieve uitloging in mg SO ₄ /kg ds voor de verschillende materialen vergeleken met de totaal SO ₄ concentratie in de monsters.	25
Figuur 9: XRD analyse van vers cellenbeton voor en na uitvoering van de kolomuitloogtest. Merk op dat gips niet langer detecteerbaar is na uitvoering van de uitloogtest.	26
Figuur 10: detail uit FIGUUR 9 waarin duidelijk de afname in intensiteit te zien is van hydroxyllestadiet en de toename in intensiteit van de calciëet diffractiepiek.	27
Figuur 11: XRD analyse van cellenbeton van 1971-72 voor en na uitvoering van de kolomuitloogtest. Merk op dat na uitloging de intensiteit van de calciëet diffractiepiek toeneemt terwijl deze voor vateriet gelijk blijft.	28
Figuur 12: PHREEQC model resultaten voor sulfaat concentraties in water in evenwicht met verschillende sulfaathoudende mineralen (ter vergelijking zijn de resultaten van de eerste 7 fracties van de kolomtest weergegeven).	30
Figuur 13: PHREEQC model resultaten voor calcium concentraties in water in evenwicht met verschillende mineralen (ter vergelijking zijn de resultaten van de eerste 7 fracties van de kolomtest weergegeven).	30
Figuur 14: langetermijn uitloging van sulfaat uit cellenbeton	31
Figuur 15: Fit van de modelcurve aan de gemeten uitloogconcentraties voor het verse cellenbeton en vergelijking met de uitloogcurve uit het standaard model.	37
Figuur 16: Fit van de modelcurve aan de gemeten uitloogconcentraties voor het oude cellenbeton en vergelijking met de uitloogcurve uit het standaard model.	37
Figuur 17: Oude kleiwinningsput op het bedrijventerrein van Xella.	39
Figuur 18: Theoretische uitloogprofielen van vers en verouderd cellenbeton.	40
Figuur 19: Afzet van cellenbeton in België [gebaseerd op bronnen bij Xella en de EAACA]	42
Figuur 20: Cellenbeton kan worden gebruikt als drukvaste thermische onderbreking bij de aanzet van muren [Bron: PHP vzw]	43
Figuur 21: Foto van werf waarbij dragende wanden in cellenbetonblokken worden uitgevoerd.	44
Figuur 22: Gebruik van cellenbeton voor binnenwanden	44
Figuur 23: Cellenbetonafval dat wordt ingezet in de nieuwe productie (XELLA Burcht)	45
Figuur 24: Scenario 1 levensduur cellenbeton	46
Figuur 25: Volume cellenbetonafval dat vrijkomt bij levensduurscenario 1	47
Figuur 26: Scenario 2 levensduur cellenbeton	47
Figuur 27: Volume cellenbetonafval dat vrijkomt bij levensduurscenario 2	48
Figuur 28: Scenario 3 levensduur cellenbeton	48
Figuur 29: Volume cellenbetonafval dat vrijkomt bij levensduurscenario 3	49
Figuur 30: Cellenbetonafval op een bouwwerf	50
Figuur 31: Transport van cellenbetonafval	50
Figuur 32: Gebruik van de puinzak voor cellenbeton-snijafval op een grote Brusselse werf	51
Figuur 33: Opslag van cellenbetonafval voor breken en recycleren	55
Figuur 34: Betonnen elementen voor een loods, geproduceerd met cellenbetonzand	57
Figuur 35: Kattenbakvulling gemaakt met cellenbetonafval	60

Figuur 36: De stofvorming werd beoordeeld door kattenbakvulling van op een hoogte van 50 centimeter in een bak te strooien, waarbij de stofvorming werd beoordeeld door 4 personen, De geur bindende kwaliteit van de kattenbakvulling werd beoordeeld door 4 personen te laten ruiken aan een dag oud mengsel van kattenbakvulling en surrogaat kattenurine.	62
Figuur 37: Honingraten en korrels om deze op te vullen (© Fermacell)	63
Figuur 38: Cellenbeton kan mogelijk worden ingezet als bodemverrijker	64
Figuur 39: Mogelijkheden voor inzet van cellenbeton op stortplaatsen als afdeklaag worden onderzocht	65
Figuur 40: Cellenbeton kan mogelijk meer structuur (en waterabsorptiecapaciteit) toevoegen in baggerspecie	65
Figuur 41: Systeem van betonblokken en aangekoppelde isolatie, waarbij de wand wordt opgestort met beton (overgenomen van http://www.betondelalomme.be)	66
Figuur 42: Gebruikt gebroken basismateriaal (F. Hlawatsch, J. Kropp, 2009)	72
Figuur 43: Zeefkromme van cellenbetonzand 0/2 mm (F. Hlawatsch, J. Kropp, 2009)	73
Figuur 44: Ontkist proefstuk	73

Bibliografie

Alandjijska, M. (2003) *Entwicklung neuer Modellkatalysatoren auf Porenbetonbasis Untersuchung von Porenbetonabfällen, Herstellung, Charakterisierung und katalytische Testversuche der Nickel-, Kupferoxid-, Nickeloxid- und Chromocen-Porenbetonkatalysatoren.* Doctoraatsthesis, 181 p.

Bock, E. (1961) On the solubility of anhydrous calcium sulphate and of gypsum in concentrated solutions of sodium chloride at 25°C, 30°C, 40°C and 50°C. *Can. J. Chem.*, 39, 1746-1751.

Brand, E., A.J. Baars, E.M. Verbruggen en J.P.A. (2008) *Afleiding van milieurisicogrenzen voor sulfaat in oppervlaktewater, grondwateroppervlaktewater, groundwater, bodem en waterbodem.* RIVM rapport 711701069, 33 p.

BRBS (2009), *Conceptrapport Sulfaat in het Besluit Bodemkwaliteit.*

Brouwer, J.P., E. Mulder, J. Frénay, J. Blaakmeer en C. van Opstal (2000) Use of sulphate containing sieve sands in building materials. P. 402-410. In: *Waste materials in Construction* (Eds. G.R. Woolley, J.J.J.M. Goumans en P.J. Wainwright), Elsevier Science.

Bundesverband Porenbeton(2003) *Nachhaltig Bauen mit Porenbeton.* 12 p (http://www.bv-porenbeton.de/bvp/download/BT_Nachhaltig_Bauen.pdf)

Cresswell, D. en Sims, V. (2007) *Characterisation of Mineral Wastes, Resources and Processing technologies – Integrated waste management for the production of construction material – Case Study: Green Roof Substrate using Aerated concrete waste.* Miro & BRE for DEFRA, 8 p.

CRIC (2007) PTV 411 *Codificatie van de granulaten overeenkomstig de normen NBN EN 12620, NBN EN 13043, NBN EN 13139 en NBN EN 13242; versie 1.4, 25p.*

Dietrich, R., A. Brauch en J. Kropp (2001) *Werktrockenmörtel mit Porenbetongranulaten aus der Bauschutttaufbereitung. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben AiF 11764 N*

Dietz en Bohnemann (2000) *Calcium silicate hydrate in fiber cement sheets and autoclaved aerated concrete (AAC).* 7th international Inorganic-Bonded Wood & Fiber Composite Materials conference.

Dunster, A. (2007) *Industry sector study on the utilization of alternative materials in the manufacture of manufactured concrete products.* 24 p.

Eerland (2010) *Cellenbeton als grondstof voor licht ophoogmateriaal. Gegraneerd cellenbeton uit bouw- en sloopafval wordt door immobilisatie met topcrete @ een niet vormgegeven NL-bouwstof met een beheersbare sulfaatuitloging; PPT van OVAM-WTCB-VITO Workshop Cellenbeton recyclage.*

Gipsnet (2010) *Verwerkingsverklaring cellenbeton aan OVAM van 03-11-2010 (inclusief Intron kwaliteitsrapport)*

Hanekamp, J.C. en Frapporti, G. (2002) *Grenzen aan normen: Sulfaat en het bouwstoffenbesluit.* 32 p.

Hendriks, Ch.F.. en J.P.G.M. Schreurs (1999) *Het bouwstoffenbesluit.*(296 pagina's) ISBN : 90 75 365 22-5.

Hendriks, Ch.F. (1999) *De Bouwcyclus, Aeneas.* 231 p.Hlawatsch, F. en J. Kropp (2008)

Leichtmörtelsteine aus feinen Porenbetongranulaten, BR Baustoff Recycling + Deponietechnik 24(2008)Nr.4, p.28-35, ISSN: 0934-683X.

Joris, I., K. Broos, M. Quaghebeur, 2010. Normvoorstellen voor gebruik van uitgegraven bodem en secundaire grondstoffen - Als bodem of als bouwstof of bouwkundig bodemgebruik/vormvast product. 2010/RMA/R/0001. Studie in opdracht van OVAM.

Kikuma, J. M. Tsunashima, T. Ishikawa, S-Y Matsuno, A. Ogawa, K. Matsui en M. Sato (2010) In situ Time-Resolved X-ray diffraction of Tobermorite formation process under autoclave condition. Journal of the American Ceramic Society, DOI: 10.1111/j.1551-2916.2010.03815.x.

Kopittke, P. M., N. W. Menzies and I. M. Fulton (2004) Gypsum solubility in seawater, and its application to bauxite residue amelioration. Australian Journal of Soil Research 42(8) 953–960.
Kus, H. en T. Carlsson (2003) Microstructural investigations of naturally and artificially weathered autoclaved aerated concrete. Cement and Concrete Research, 33, 1423-1432.

Lang-Beddoe, I. en G. Schrober (1999) Wiederverwertung von Porenbeton – Untersuchungsergebnisse zur Umweltverträglichkeit, Baustoff Recycling Deponietechnik, 15, 4-8.

Matsushita, F., Y. Aono en S. Shibata (2004) Microstructure changes in autoclaved aerated concrete during carbonation in the working and accelerated conditions. Journal of advanced concrete technology, 2, 121-129.

Mueller, A. en U. Stark (2002) Recycling of clay brick debris. Design for Deconstruction and Materials Reuse; CIB Publication 272 (Eds. A.R. Chini en F. Schultmann).

Narayanan, N. en K. Ramamurthy (2000) Microstructural investigations on aerated concrete. Cement and concrete research, 30, 457-464.

Öko-Test 1, 2010 Freizeit & Technik. Test Katzenstreu für die Katz! p. 116-120

OVAM (2006) Screening van de milieuhygiënische kwaliteit en kwaliteitsopvolging van puingranulaten. 157 p.

Reinhold, M. en A. Müller (2002) Lightweight aggregate produced from fine fractions of Construction and demolition waste. Design for Deconstruction and Materials Reuse; CIB Publication 272 (Eds. A.R. Chini en F. Schultmann)

Reinhold M. en A. Müller (200X) Leichtzuschläge aus feinstoffen des Mauerwerksabbruchs
Rouse, R.C en P.J. Dunn (1982) A contribution to the crystal chemistry of ellestadite and the silicate sulfate apatites. American Mineralogist, Vol. 67, p. 90-96.

Sakiyama, M. Y. Oshio M. Sakiyama, Y. Oshio, and T. Mitsuda (2000) Influence of Gypsum on the Hydrothermal Reaction of Lime-Quartz System and on the Strength of Autoclaved Calcium Silicate Product. J. Soc. Inorg. Mater. Jpn., 7, 685–91 (2000).

Schrober, G. (2005) Chemical transformations during the manufacturing of Autoclaved Aerated Concrete (AAC). Cement, lime, Gypsum and Quartz sand become Cellular concrete. ZKG Intl., 58, 63-70. (zie ook http://www.pb-aac.de/chemmin2_e.html)

Straube, B. P. Langer, A. Stumm (2008) Durability of autoclaved aerated concrete. 11DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Istanbul, Turkije, 11-14 mei 2008.

Sørensen, M. (2008) Cellenbeton – bouwstof van de toekomst ? (Porebeton - er det fremtidens byggemateriale?), 36 p.

VROM (2010) Toelichting bij LAP - Sectorplan 32 Cellenbeton,
<http://www.lap2.nl/sectorplan.asp?b=95>

Walk-Laufer, B (2002) Untersuchung des Einflusses von sulfaten auf das system CaO-SiO₂-Al₂O₃-K₂O-H₂O mittels Wärmeflusskalorimetrie und in-situ Neutronenbeugung unter hydrothermalen Bedingungen. Doctoraatsthesis (<http://www.ub.uni-siegen.de/pub/diss/fb8/2002/walk-laufer/walk-laufer.pdf>).

Wijs de, J.W.M. en R.F.M.J. Cleven (2007) Monitoring kwaliteit bouwstoffen 2006. Een vergelijking met de monitoringdata 2003/2004 en 2005. INTON- RIVM Rapport, 253 p.

Zwerus, R. (2009) Monitoringrapportage bouw- en sloopafval 2006-2007. INTRON iov SENTERNOVEM, 46 p.

