



Rijksstraatweg 69
4194 SK Meteren
Postbus 159
4190CD Geldermalsen

t- (0345) 471390
f- (0345) 471381
info@sloopaannemers.nl
www.sloopaannemers.nl

BEVORDEREN VAN HOOGWAARDIG HERGEBRUIK BETONNEN ELEMENTEN

OVERAS-DUU.13828.R

Rapportnummer : OVERAS-DUU.13828.R

Versiedatum : 15-6-2020

Voorwoord

Deze onderzoek scriptie was de laatste horde die ik, de schrijver, om af te studeren als civiel ingenieur. Hoewel er binnen de rest van de opleiding weinig wordt gesproken over duurzaamheid en slopen liggen er in deze twee vakgebieden wel belangrijke vraagstukken te wachten die niet alleen bepalend zijn voor de toekomst van de gebouwde omgeving, maar ook voor de werkwijze van ingenieurs. Door in een vroeg stadium al beter te kijken naar de levensloop van een gebouw of materiaal kunnen we elkaars werk een stuk simpeler maken.

Ik gebruik hier de term elkaar omdat ik zonder de steun van de meerdere disciplines die VERAS rijk is mezelf niet wegwijs had kunnen maken in de relatief, voor mij althans, onbekende wereld van slopen. Mijn dank gaat daarom uit naar de mensen die ik in deze korte en lastige periode collega heb mogen noemen binnen VERAS.

Ook zeker niet onbelangrijk was de grote bron aan waardevolle informatie die mij werd aangereikt vanuit de beroepspraktijk. Bij elke bijeenkomst die ik heb bijgewoond en bij elke gesprek wat is gevoerd in relatie tot dit onderzoek zijn elke keer weer nieuwe inzichten opgedaan die samen hebben geleid tot de conclusies in dit onderzoek. Aan iedereen die zich hierin herkent, mijn dank is groot en ik hoop in de toekomst verder te kunnen bouwen aan de opgedane relaties.

- Youri Blom, 12-07-2020

Samenvatting

In het programma “Circulaire Economie” heeft de rijksoverheid zijn ambitie uitgesproken om in 2050 geen afval meer te produceren. Doordat de bouwsector al jaren een grote bron is van afval zullen er stappen moeten worden gezet om de huidige processen te veranderen in dit onderzoek zal daarom worden onderzocht:

“Wat is ervoor nodig om betonnen elementen, verkregen uit de sloop van bestaande vloerconstructies in het bijzonder, toe te passen als secundair bouw materiaal en kunnen de gevonden voorwaarden worden toegepast op andere constructieonderdelen om circulair bouwen te bevorderen?”

Beton is hiervoor een bij uitstek geschikt materiaal doordat het goed bestand is tegen invloeden van buitenaf, maar ook doordat het nauwelijks sterkte verliest over tijd. Doordat er de komende tien jaar vloeren in grote aantallen gesloopt gaan worden is het een element met veel potentie.

Momenteel is de levenscyclus van beton nog lineair. Hierbij wordt het overgrote deel van het materiaal ge-down-cycled waarbij het als granulaat een tweede toepassing krijgt in de GWW-sector. Hierbij gaat de oorspronkelijke functie van het materiaal verloren. Naast recycling zijn nog twee andere mogelijke toepassingen voor te slopen beton; re-use, waarbij het element 1-op-1 wordt hergebruikt in een nieuwe constructie en repurpose, waarbij het element in aangepast vorm een tweede toepassing krijgt. Mochten het element voor beide oplossingen niet geschikt zijn kan het alsnog worden gegraneleerd en worden toegepast als toeslagmateriaal in nieuw beton of als funderingsmateriaal in de GWW. Hiervoor zullen alleen wel obstakels met betrekking tot de afzetmarkt, coördinatie en bekendheid moeten worden overwonnen.

Door de cyclus in relatie tot hergebruik circulair te maken komen sloper en ontwerper direct met elkaar in aanraking. De ontwerper zal aan moeten geven welke elementen hij wil hebben voor een nieuwe constructie en de sloper zal verantwoordelijk zijn voor het leveren van deze onderdelen. Daarnaast zullen ook de overige elementen moeten worden geregistreerd zodat er ten alle tijden een overzicht is van welke materialen waar vrij kunnen komen na sloop. Een alternatieve oplossing is door het creëren van gespecialiseerde materiaal hubs. Deze hubs zullen verantwoordelijkheid voor de vrijgekomen materialen dragen en helpen bij het herstel en certificeren om zo een volwaardig product op de markt te brengen.

Een meetstaaf voor het succes van hergebruik is niet alleen de potentiële reductie van afval, maar ook de invloed op het milieu gemeten in de uitstoot CO₂. Ketenganalyses van beton hebben aangetoond dat in relatie tot re-use/repurpose tot wel 190 kg CO₂ per m³ beton bespaard kan worden.

Doordat het om al bestaande elementen gaat zal het nodig zijn om uit te rekenen hoeveel belasting deze volgens de bouwvoorschriften van vandaag de dag nog kunnen opnemen. Om dit te faciliteren is in kader van dit onderzoek een Excel rekentool ontworpen. Deze kan op basis van gegevens als plaatafmetingen, betonkwaliteit, dimensies van wapeningsstaal en de gebruiksklasse het resterende draagvermogen bepalen. Hij houdt hierbij rekening met de twee belangrijkste beoordelingscriteria: bezwijken door buiging en bezwijken door afschuiving.

Om hergebruik te bevorderen zal het nodig zijn voor de betrokken partijen om samen te werken in de nieuwe betoncyclus. Materiaal technisch is het mogelijk en milieukundig gezien zit er veel potentie in. Belangrijk is wel dat er meer ervaring wordt opgedaan, zodat hopelijk de kosten zullen dalen wat het mogelijk maakt voor teruggewonnen elementen om te concurreren met nieuw geproduceerde.

Summary

In the program “Circulaire Economie” the government has voiced its ambition to reduce its waste production to zero by 2050. Because the construction sector is a major waste producer steps must be taken in order to change current procedures. This research will focus on the following:

“What is required in order to promote re-use of concrete elements, procured from demolition of existing structures, as secondary building materials and can the found conditions be used on other construction elements in order to stimulate circular construction practices?”

Concrete as a building material is exceptional. Being both protected against external influences and barely losing any strength over time. During the next ten years a lot of concrete floors will be demolished in large numbers making it a product with a lot of potential. However, the current lifecycle of concrete is still linear. Most of the material will be downcycled into granular materials where it gets a second function as stabilizer in the roadbuilding industry. Hereby it is losing its primary functionality. However, besides recycling there are two more options; re-use, where the element is used in the same function as its original designation and repurpose, where the element obtains a second life in a different shape or functionality. Any materials that do not fulfill the criteria for re-use or repurpose will be downcycled into granular materials for the roadbuilding industry or primary resources to produce new concrete. However, its biggest obstacles remain in the form of marketability, coordination, and recognition.

By making the life cycle of concrete circular in relation to reuse, demolition and design will get within proximity with one and other. Designers will need to be able to earmark the elements they require whereas the demolition companies need to provide goods to the new market. Communication and registration of elements will be key. Alternatively, an external party can be created to coordinate the process in form of material hubs. Those centralized entities will be responsible for restoration and certification of the recovered elements. This would put a full-fledged product on the market.

A way to measure the success of re-use will not only be the reduction of waste, but also the reduction in CO₂ emissions. According to analyses re-use/repurpose would save at least 190 kg of CO₂ for every m³ of concrete.

Because the elements eligible for re-use are made with different building codes they need to be recalculated to check if they would still suffice in today's building standards. In order to facilitate that process an Excel tool has been developed. By entering mostly visible details such as plate- and reinforcement dimensions and used material qualities it will automatically determine the remaining load capacity in accordance with shear and bending limitations.

To promote re-use, it will be necessary for all concerned parties to cooperate in the new concrete cycle. Concrete is a highly suitable material for re-use and environmentally speaking it has a lot of potential. Important for now is that more experience will be gained in order to streamline the process. This will reduce operating costs and enable the recovered elements to compete with newly produced ones.

TITELPAGINA

Projectnaam Afstuderen – Materiaal rapportage & herbruikbaarheid
 Modulecode civAF40
 Begeleider E. Hoven
 M. Kamps

Opdrachtgever Hogeschool Rotterdam
 Gedelegeerd opdrachtgever

Gemaakt door Y. Blom – 0932045

Studie Civiele Techniek, IGO
 Plaats Ridderkerk, Nederland

Datum 10/02/2020
 Datum van inlevering 15/06/2020

Revisie	Datum	Beschrijving	Opgesteld	Gecontroleerd	Vrijgegeven
4.3	15/06/2020	Versie na controle	Blom, Y	Ja	Ja
Project: AF					Revisie: 4.3

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	8
2	BETON ALS BOUWMATERIAAL	10
	2.1 TECHNISCHE ASPECTEN.....	10
	2.2 GESCHIKTHEID VOOR HOOGWAARDIG HERGEBRUIK	10
	2.3 VLOERTYPEN EN AANTALLEN.....	11
	2.4 KANAALPLATEN	11
3	DE LEVENSCYCLUS VAN BETON.....	13
4	HERGEBRUIK	14
	4.1 LADDER VAN LANSINK.....	14
	4.2 10R-MODEL MET BETREKKING TOT HERGEBRUIK BETONNEN ELEMENTEN.....	14
	4.2.1 Re-use	15
	4.2.2 Repurpose	16
	4.2.3 Recycle	17
	4.3 VOORWAARDEN AAN HERGEBRUIK.....	18
	4.4 PRAKTISCHE OBSTAKELS IN RELATIE TOT ALGEMEEN HERGEBRUIK	20
	4.5 VERWIJDERKOSTEN.....	20
5	DE BOUW-CYCLUS IN DE CIRCULAIRE ECONOMIE	22
	5.1 ARCHITECTEN EN SLOPERS – ROLLEN BINNEN NIEUWE PROCES	23
	5.2 MATERIAAL HUB	24
6	INVLOED VAN HERGEBRUIK OP HET MILIEU UITGEDRUKT IN CO₂.....	25
	6.1 MILIEUBESPARING IN RELATIE TOT HERGEBRUIK KANAALPLATEN.....	25
7	STRUCTURELE ANALYSE/NORM VERTAAL TOOL	27
	7.1 OUDE PLAAT VOLGENS NIEUWE NORM.....	27
	7.1.1 Stap 1: Invoer van gegevens	28
	7.1.2 Stap 2: Berekening maatgevende belasting + maximaal optredend moment	28
	7.1.3 Stap 3: Werkvoorspanning	29
	7.1.4 Stap 4: Bepalen van de momentweerstand volgens NEN-1992	29
	7.1.5 Stap 5: Toetsen van de weerstand tegen afschuiven.....	30
	7.2 OUTPUT VAN DE REKENTOOL.....	31
8	CONCLUSIE VAN HET ONDERZOEK	33
	8.1 VERVOLGONDERZOEK NAAR AANLEIDING VAN DIT ONDERZOEK.....	34

Figuur 1: Dak van het Pantheon, Rome en zijn betonnen koepel	10	
Figuur 2: Levensduur van gebouwcomponenten (Hradil, et al., 2014)	11	
Figuur 3: Stroomschema huidige levenscyclus beton (bijlage D voor vergrote weergave)	13	
Figuur 4: Ladder van Lansink (Wikipedia, 2019)	14	
Figuur 5: 10R-model	15	
Figuur 6 – Uithijzen tunnels	Figuur 7 – Circulaire woningen	16
Figuur 8 – Vrijgekomen materialen	Figuur 9 – De schaapskooi	17
Figuur 10 – Beton recycle installatie	18	
Figuur 11: obstakels m.b.t. hergebruik (Hradil, et al., 2014)	20	
Figuur 12: Beoogde materiaalcyclus ten behoeve van hoogwaardig hergebruik	22	
Figuur 13: Reverse logistics concept (Karamanou, 2019)	24	
Figuur 14: Voorbeeld invoertabel rekentool	28	
Figuur 15: Bepaling momentweerstand (Braam, 2012)	29	
Figuur 16: Voorbeeld van de output van de rekentool	31	

1 Inleiding

In het programma “Circulaire Economie” heeft de rijksoverheid zijn ambitie uitgesproken om in 2050 geen afval meer te produceren. Wat dit in de praktijk betekent is dat alle producten die worden gebruikt aan het eind van hun levensduur niet langer worden gedumpt of verbrand, maar juist weer opnieuw als grondstof worden ingezet.

De bouwsector, waaronder ook de sloop valt, is al jaren een grote bron van afval. Volgens getallen van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat produceerde de bouw in 2010 40% van al het afval wat in Nederland werd ingezameld (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2010). Er zullen dus grote stappen genomen moeten worden wil de wens van de overheid realiteit worden.

Wat dit daadwerkelijk voor de bouw gaat betekenen is echter nog altijd niet duidelijk. Momenteel heeft iedere partij, denk hierbij aan architecten, aannemers en slopers, wel een aantal pilotprojecten, maar van algehele coördinatie is nog altijd geen sprake waardoor een hoop potentie verloren dreigt te gaan.

Een van de thema's vanuit het betonakkoord in relatie tot de circulaire economie is het hergebruik van beton (Betonakkoord, 2020). Dit materiaal is een beetje een vreemde eend in de bijt. De betonsector wordt in Nederland tot een van de meest vervuilende gerekend met een productie van 1.5% van al het geproduceerde broeikasgas CO₂ (Cobouw, 2018), maar toch is dit ook de sector waarin al het afval voor 88% wordt gerecycled in de vorm van granulaat.

Doordat dit granulaat niet op grote schaal wordt ingezet om nieuw beton van te maken, en er verzadiging optreedt bij de traditionele afnemers, zal er naar nieuwe oplossingen moeten worden gezocht. Want waarom wordt er zoveel beton gegraneleerd, is het niet mogelijk om oude elementen te gebruiken in nieuwe constructies? In dit onderzoek zal de volgende vraag dan ook centraal staan:

“Wat is ervoor nodig om betonnen elementen, verkregen uit de sloop van bestaande vloerconstructies in het bijzonder, toe te passen als secundair bouw materiaal en kunnen de gevonden voorwaarden worden toegepast op andere constructieonderdelen om circulair bouwen te bevorderen?”

Om deze vraag te kunnen beantwoorden zal gekeken worden naar 4 hoofdlijnen:

- **Hoofdlijn 1: Constructief/materiaal**
 1. Is beton geschikt voor hoogwaardig hergebruik?
 2. Welk type vloeren komt beschikbaar in welke hoeveelheden?
 3. Hoe kan de kwaliteit worden bepaald van de betonelementen?
 4. Welke technische obstakels kent het materiaal en hoe kunnen deze worden overkomen?
- **Hoofdlijn 2: Proces**
 5. Hoe ziet de huidige levenscyclus van beton eruit?
 6. Hoe kan hergebruik van beton worden gedefinieerd en welke voorwaarden brengt dit met zich mee?
 7. Wat is ervoor nodig om deze levenscyclus circulair te maken en hoe komt de nieuwe cyclus eruit te zien?
- **Hoofdlijn 3: Milieu**
 8. Hoe verhoudt de CO₂-productie van nieuw productie zich ten opzichte van hergebruikte elementen?
- **Hoofdlijn 4: Economisch**
 9. Wat zijn de kosten van het terugwinnen van een element?
 10. Wat zijn schaduwkosten en wat is hun rol met betrekking tot hergebruik?

In dit onderzoek zal gekeken worden vanuit de rol van de sloopaannemer, maar zal ook informatie worden gebruikt afkomstig uit gesprekken met constructeurs en architecten (bijlage A). Doordat ieder een eigen rol heeft binnen de toekomstige circulaire economie is het lastig om maar een discipline te beschouwen. Zeker in de bouw waarin de verschillende disciplines innig met elkaar samen werken. Dit onderzoek zal uitwijzen of dat een nadere samenwerking nuttig zal zijn of dat het hergebruik van betonelementen, zoals door partijen omschreven, “rocketscience” blijkt te zijn door de vele hordes aan keurmerken en regels die niet zijn voorbereid op het hergebruik.

Doordat beton in allerlei soorten en maten beschikbaar is, is het lastig om het materiaal globaal te beschouwen. Hierom zal waar nodig is een uitstap gemaakt worden naar de kanaalplaat als product om nieuwe procedures/processen op te testen. Een deel van de beantwoording van de hoofdvraag zal daarom ook rusten op het toetsen van oude, al geproduceerde, kanaalplaten volgens de huidige normering.

2 Beton als bouw materiaal

Beton als bouw materiaal is in de moderne gebouwde omgeving onmogelijk weg te denken. Dit materiaal bestaat uit cement, toeslagmateriaal – veelal zand/steenachtige materialen – en water. Daarnaast kan er gekozen worden om aan dit mengsel hulpstoffen toe te voegen die op hun beurt weer de eigenschappen van het beton beïnvloeden (Wikipedia, 2019).

De sterkte van het beton wordt mede bepaald door de toegevoegde wapening, maar ook de samenstelling van het mengsel. De naam wordt sinds de invoering van de NEN-EN 206 gedocumenteerd als C van cement gevolgd door twee getallen (Wikipedia, 2018). Deze getallen geven informatie over de sterkte van het materiaal in respectievelijk de cilinderdruksterkte en kubusdruksterkte gemeten in MPa. Een voorbeeld hiervan is het veel toegepaste C20/25.



Figuur 1: Dak van het Pantheon, Rome en zijn betonnen koepel

Indien beton goed wordt onderhouden kan het eenvoudig honderden jaren meegaan. Bewijs hiervoor zijn de Romeinse constructies die vandaag de dag nog altijd in volle glorie overeind weten te blijven. Hoewel de mengsels door de jaren steeds verder zijn aangepast leent beton zich nog altijd als een ideale kandidaat voor hergebruik mede door zijn veelzijdigheid.

2.1 Technische aspecten

De kwaliteit van het beton hangt nauw samen met de samenstelling van het mengsel, maar in grote lijnen kan het volgende worden gezegd:

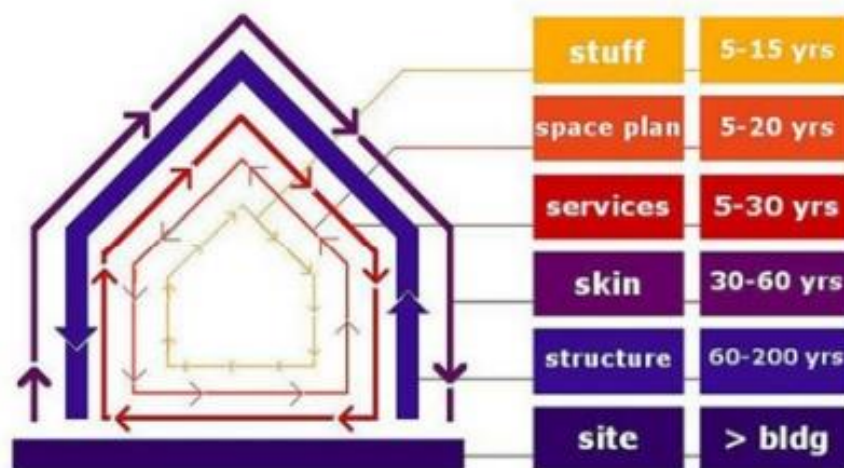
- + Beton is uitermate geschikt om drukkracht op te nemen.
- + Beton is goed beschermd tegen invloeden van buitenaf.
- + Beton verliest nauwelijks sterkte over tijd.
- Beton kan geen trekkracht opnemen en wordt hierdoor vaak toegepast in combinatie met wapeningsstaal
- Wapeningsstaal is gevoelig voor aantasting van buitenaf

2.2 Geschiktheid voor hoogwaardig hergebruik

Met name door de laatste twee van de positieve eigenschappen wordt duidelijk waarom beton bij uitstek geschikt is voor hergebruik. De structuur van een gebouw gaat namelijk veel langer mee dan de overige onderdelen zoals interieur en de gevelschil. Hierdoor zou een gebouw een tweede leven kunnen krijgen alleen door het vervangen van de verouderde onderdelen. Echter vaak door veranderde normen of bestemmingsplannen wordt er vaak voor sloop van het gehele gebouw gekozen in plaats van behoud van de nog bruikbare draagconstructie onderdelen.

Waar nog wel rekening mee gehouden moet worden is de wapening in het materiaal. Onder normale omstandigheden wordt het wapeningsstaal als het ware beschermd door het beton. Indien het beton beschadigd is in zijn levensloop kan het zijn dat het materiaal niet meer kan worden hergebruikt. Hoe deze beschadigingen kunnen optreden en wat de gevolgen zijn hangt af van de situatie en zal een rapport opzich zijn om deze nader toe te lichten. Het is echter wel relevant met betrekking tot hergebruik aangezien de kwaliteit van het element ook in de nieuwe situatie moet worden gekeurd en gewaarborgd. Over de procedure van inspectie zal verder ingegaan worden in bijlage B, maar cruciaal

in dit proces is een goed registratiesysteem. Want ook al is een materiaal vrijgegeven voor hergebruik kunnen beschadigingen in het terugwinproces ertoe lijden dat een materiaal alsnog afgekeurd moet worden. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het verkeerd uithijzen van betonelementen. Hierdoor kan het materiaal overmatig gaan scheuren waardoor de scheurvorming de in de norm voorgeschreven waarden kan overschrijden.



Figuur 2: Levensduur van gebouwcomponenten (Hradil, et al., 2014)

2.3 Vloertypen en aantallen

Om potentiële materiaalstromen in kaart te brengen heeft het Economisch Instituut voor de Bouw (EIB) in samenwerking met SGS Search en Metabolic een onderzoek uit laten voeren om te achterhalen welke materialen, in welke hoeveelheid vrijkomen in de komende tien jaar (Arnoldussen, et al., 2020). Hiervoor hebben zij 12 referentie gebouwen gekozen die een representatie vormen van de Nederlandse bouwvoorraad. Door deze referentie gebouwen te analyseren kwam een viertal vloertypen naar voren en een bruikbaar vloeroppervlak (BVO) in m². De volledige analyse is te vinden in bijlage C.

Tabel 1: Vloertypen en aantallen

Typen	Aantal (m ²)	Percentage
Kanaalplaatvloer (bedekt/onbedekt)	5.696.960	19%
Breedplaatvloer	16.196.200	55%
In-situ gestort	1.842.510	6%
Ribcassettevloer	5.751.200	20%
Totaal	29.486.870	100%

2.4 Kanaalplaten

Als puur en alleen naar de beschikbare aantallen gekeken zou worden lijkt de breedplaatvloer bij uitstek geschikt als kandidaat met het meeste potentie met betrekking tot hergebruik in relatie tot de milieu besparing. Het is in theorie ook mogelijk om deze vloeren op te delen in kleinere elementen om deze zo een tweede leven te geven. Echter ondanks de brede toepassing van dit type vloer zijn er toch wat aspecten die de vloer minder geschikt maken voor hergebruik. Namelijk het gaat om een in het werk gestorte vloer. Dit betekent dat er productiefouten in kunnen zitten. Misschien nog belangrijker is het feit dat wanneer de druklaag is verwijderd, de vloer niet langer zelfdragend is. Hierdoor kunnen eventuele kosten bij het verwijderen hoger uitvallen dan maatgevend is doordat er extra voorzieningen getroffen moeten worden.

In verdere uitwerking van hoogwaardig hergebruik van betonelementen zal de kanaalplaat als uitgangspunt worden beschouwd. Deze platen worden onder geconditioneerde omstandigheden geproduceerd waardoor dit zou kunnen betekenen dat, als de platen zorgvuldig zijn behandeld, de

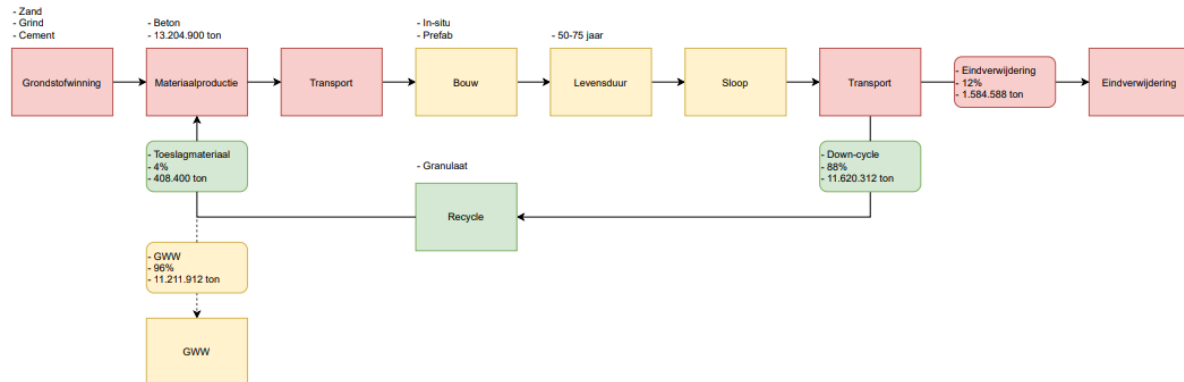
oude keurmerken nog van toepassing kunnen zijn. Ook zijn de platen zelfdragend en liggen in de meest gunstige gevallen onbedekt op stalen liggers, deels al modulair, wat verwijderen vergemakkelijkt. Ook komen de platen in een bepaald aantal typen waarvan uitvoerige documentatie beschikbaar is inclusief belastingtabellen.

De voordelen en nadelen van dit product zijn dus als volgt:

- + Fabrieksmatig geproduceerd
- + Vaste afmetingen
- + Zelfdragend
- + Kan gebruikt worden in modulaire (tijdelijke) constructies
- Oude beuk maten kunnen afwijken van waar de markt momenteel behoefte aan heeft
- Kan voorzien zijn van een druklaag of is aangestort in een grotere constructie
- Door aanpassingen in bouwvoorschriften kan het voorkomen dat platen niet langer in dezelfde gebruiksklasse toepasbaar is

3 De levenscyclus van beton

Nu er een object is gekozen is het belangrijk om te weten hoe de huidige levensloop van beton eruit ziet. Door het hergebruik van een element te stimuleren is het bijna gegarandeerd dat de totale cyclus van ontwerp tot sloop er anders uit komt te zien en kan belangrijke inzichten geven bij de ontwikkeling van een circulaire bouw. Wat hieronder is weergegeven is een versimpelde weergave aangevuld met gegevens van wederom het EIB. (Arnoldussen, et al., 2020)



Figuur 3: Stroomschema huidige levenscyclus beton (bijlage D voor vergrote weergave)

In dit stroomschema komt duidelijk naar voren dat momenteel de levensloop van beton begint als grondstof en het vervolgens verwerkt wordt in een gebouw. We spreken hier over een productie van 13,2 miljoen ton beton wat na sloop ook allemaal weer vrijkomt. Na en tijdens het slopen van een gebouw wordt een klein deel van het onbruikbare beton afgevoerd en op een locatie gestort als afval. Het gaat hierbij om ongeveer 12%. De overige 88% wordt gegraneleerd en krijgt een tweede leven als funderingsmateriaal of wordt toegepast als toeslagmateriaal in nieuw beton. Dit lijkt zo op het oog niet veel afval, maar 13,2 miljoen ton staat gelijk aan ongeveer 21% van de totale Nederlandse productie van huisafval die op 60,5 miljoen ton geraamd is (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2020).

Deze vorm van recyclen, waarbij het granulaat als funderingsmateriaal wordt, wordt ook wel down-cyclen genoemd aangezien de oorspronkelijke vorm en functie van het materiaal verloren gaat. Voor nu wordt het hergebruik van kanaalplaten ook onder recyclen gehangen. Daardoor kan er doormiddel van kleuren een onderscheid gemaakt worden wat we willen voorkomen in de nieuwe cyclus (rood) en wat er juist gestimuleerd moet worden (groen). De gele blokken zullen in beide cyclussen nagenoeg ongewijzigd plaatsvinden. Het kan voorkomen dat het proces van slopen intern wel veranderd, maar dat ligt buiten de scope van dit onderzoek. Het huidige proces is terug te vinden in bijlage E.

Het belangrijkste verschil ten opzichte van de oude cyclus zal zijn dat de grondstofwinning zal veranderen. Het doel is de impact op het milieu te minimaliseren en hierdoor zal de instroom van nieuwe materialen moeten worden beperkt tot het gene wat niet kan worden teruggewonnen uit bestaande constructies en herstelwerkzaamheden.

4 Hergebruik

In dit verslag is al meerdere keren gesproken over hergebruik in verschillende vormen zonder dat er een duidelijke definitie aan is gehangen. Hoewel het primaire doel van dit onderzoek is om hoogwaardig hergebruik te bevorderen is het voor het algemene plaatje van de circulaire bouw belangrijk om te weten welke “smaken” er zijn.

4.1 Ladder van Lansink

Om te achterhalen hoe het komt dat in de bouw al 88% van het afval wordt hergebruikt, maar nog steeds naar nieuwe oplossingen gezocht wordt moet er gekeken worden naar de huidige modellen die als maatstaaf dienen voor mate van hergebruik. Een van de eerste pogingen die moest bijdrage aan meer hergebruik was de ‘Ladder van Lansink’. Dit schema, wat voor het eerst verscheen in 1979, werd ingediend door de toenmalige politicus Ad Lansink (Wikipedia, 2019). Het doel hiervan was om de overheid meer bewust met afval om te laten gaan en motiveren om de ladder te beklimmen. Deze ladder bestaat uit de onderstaande onderdelen (fig. 4).



Figuur 4: Ladder van Lansink (Wikipedia, 2019)

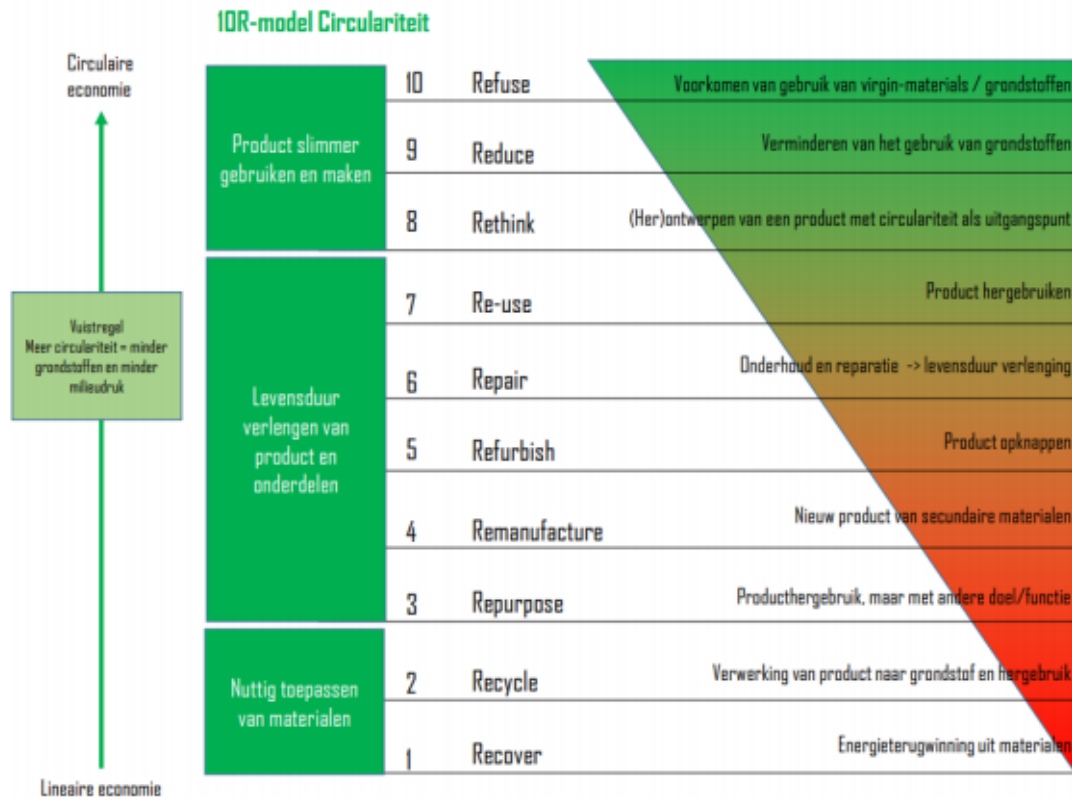
Zoals uit de afbeelding duidelijk naar voren geeft waar je op de ladder zit aan hoe milieuvriendelijk de gekozen wijze van afval verwerken is.

Momenteel, als wordt gekeken naar de sloop van beton, wordt het overgrote deel van het materiaal wat vrijkomt gegraneerd. Als we dit terugkoppelen naar de Ladder van Lansink gaat het hier inderdaad om hergebruik van het materiaal en zou de bouw dus eigenlijk al op een van de hoogste treden moeten staan. In de realiteit is dit echter niet het geval. Het bouwpuin wordt inderdaad hergebruikt, maar niet in zijn oorspronkelijke vorm. Doordat hergebruik is gedefinieerd als “Het opnieuw gebruiken van materialen in hun oorspronkelijk vorm” (Wikipedia, 2020) komt het opnieuw gebruikt van granulaat aanmerkelijk lager op de ladder bij recycling.

Het is echter niet mogelijk om eindeloos granulaat te produceren voor de aanleg van nieuwe wegen. Doordat bij het opbreken van wegen ditzelfde granulaat vaak weer teruggewonnen kan worden is het dus mogelijk dat er op lange termijn zelfs verzadiging optreedt van deze recycle markt (Stichting Stimular, 2019). Met als gevolg dat sloopbedrijven in de toekomst met grote hoeveelheden granulaat te maken krijgen wat alleen nog maar gestort kan worden als zijnde “afval” door het gebrek aan een afnemer.

4.2 10R-model met betrekking tot hergebruik betonnen elementen

Opgenomen in het Framework Circulair Bouwen (Platform CB'23, 2019) is het 10R-model van het Utrecht Sustainability Institute (fig. 5). Dit model is een verdere uitwerking van de Ladder van Lansink en biedt aanzienlijk meer detail en uitwerkingsmogelijkheden (Bastein & Rietveld, 2016).



Figuur 5: 10R-model

In dit schema zijn naast de harde maatregelen als recyclen ook de wat zachtere eisen verder toegelicht waarbij het in essentie om een mentaliteitsverandering gaat.

De werking van het 10R-model is erg afhankelijk van het moment in de keten waarop hij wordt toegepast. Het is dus niet zo dat in deze situatie één partij als verantwoordelijke kan worden aangewezen voor het behalen van de, door de overheid, gestelde doelen.

Met name in de gebouwen die de komende jaren gesloopt moeten gaan worden, die die gebouwd zijn tussen 1945-2000 (Arnoldussen, et al., 2020), is het slopen aan het einde van de levensduur geen integraal onderdeel geweest van het ontwerpproces zoals dat vandaag de dag wel het geval is. Uit deze gebouwen komen dus veel producten waarvan hoogwaardig hergebruik lastig, maar wel nodig is.

Omdat zoals eerder al is aangegeven dat niet een partij verantwoordelijk kan worden gehouden voor het behalen en/of uitvoeren van alle stappen zullen alleen de stappen die van toepassing kunnen hebben op slopen verder worden toegelicht. Belangrijk is wel om te onthouden dat het hergebruik technisch beter is om hoger op de ladder te zitten er bij de referentie projecten geen oordeel wordt geveld over het behaalde resultaat. De projecten dienen alleen ter illustratie van de mogelijkheden.

4.2.1 Re-use

Boven aan de ladder staat re-use of in het Nederlands: Hergebruik. Deze trede staat voor het 1-op-1 hergebruik van een bouwdeel of element in dezelfde of vergelijkbare functie waarvoor het element oorspronkelijk bedoeld was. In de praktijk kan het echter soms nog voorkomen dat er toch lichte aanpassingen verricht moeten worden om een element bruikbaar te houden en/of maken. Denk hierbij aan zaagwerkzaamheden, het verwijderen van druklagen of het toevoegen van hijsvoorzieningen. Hierbij verandert het element weliswaar van vorm of uiterlijk, maar zal het zijn oude functie kunnen vervullen in een nieuwe samenstelling van materialen.

Mochten deze aanpassingen niet voldoende zijn, maar wil je wel deze trede behouden kan de keuze gemaakt worden om het materiaal achteraf nog te versterken. Dit brengt ons ook bij het grootste technisch obstakel:

- Gebouwen die nu aan het eind van hun technische levensduur komen zijn gebouwd met normen uit de tijd dat ze gebouwd zijn. Als de gebruikte normen afwijken van die van vandaag de dag zal dit moeten worden verrekend. Dit heeft invloed op de overspanningslengte, draagcapaciteit en de omgeving waarin kan worden toegepast.
- Keuring van een element/verzekering

SUPERLOCAL – Dusseldorp – www.superlocal.eu

In de Jaren 60' werden landelijk in korte tijd veel woningen gebouwd om de woningnood op te vangen. Hoewel de appartementen ruim waren opgezet voldoen veel van deze hoogbouwflats echter niet meer aan de wensen en eisen van deze tijd. Doordat de opdrachtgever HEEM wonen het belang in zag van hergebruik is gekozen om niet de volledige flats te slopen. Waar er een deels is gerenoveerd is er bij een andere gekozen voor een andere oplossing: Re-use! Hiervoor zijn volledige zogeheten "tunnels" als element uit het gebouw losgemaakt en eruit gehesen (figuur 6). Deze elementen vormde vervolgens de basis voor nieuwe woningen (figuur 7).



Figuur 6 – Uithijzen tunnels



Figuur 7 – Circulaire woningen

4.2.2 Repurpose

Wanneer een element niet geschikt is voor re-use zou de volgende vraag dan meteen moeten zijn: Waarvoor dan wel? Op deze trede van het 10R-model wordt gekeken naar een alternatieve functie voor een element wat niet meer geschikt is om dienst te doen in zijn oude vorm. Het is lastig om deze categorie te omschrijven zonder voorbeelden vandaar dat er een aantal fictieve oplossingen volgen:

- Kanaalplaten uit een gebouw die worden ingezet als (tijdelijke) voetgangersbrug.
- Kanaalplaten uit een gebouw die worden gebruikt als tijdelijke rijweg.
- Constructie van noodwoningen met prefab elementen.

Dit zijn enkele voorbeelden die een ding gemeen hebben en dat is dat het veelal gaat om tijdelijke, nood of hulpconstructies. Het materiaal is immers al een keer "afgekeurd" en is ontworpen voor een andere doel/functie. Hierdoor kan het zijn dat het materiaal eerst wel voldoende is voor de nieuwe functie, maar door gebrekkige bestendigheid tegen invloeden van buitenaf sneller zijn (kwalitatief) verslechterd. De technische obstakels betreffen dan ook:

- Moeilijk om restlevensduur te bepalen voor nieuwe omgeving.

- Gebrek aan zekerheid beperkt toepassingsgebied.

CIRCULAIRE SLOOP NOORDGOUW – Lagemaat - <https://schaapskuddezwole.nl/>

De sloop van een school in Hattem is door Lagemaat aangegrepen als de uitgelezen kans om te onderzoeken hoe circulair slopen in de praktijk kan worden toegepast. Hier werd al meteen duidelijk dat het eenvoudig is om nieuwe bestemmingen te vinden voor herbruikbaar staal en interieur elementen, maar wat doe je met de stromen die voorheen als sloopafval werden aangemerkt?

Voor deze materialen is een alternatieve functie gevonden. Zo werden de verdiepingvloeren hergebruikt in de constructie van een nieuwe schaapskooi. De verandering van milieu was zo geen probleem, aangezien de vloer immers geen dragende functie meer vervult.



Figuur 8 – Vrijgekomen materialen



Figuur 9 – De schaapskooi

4.2.3 Recycle

Recycle wordt vaak gezien als het basisniveau voor hergebruik. Oude producten worden opgebroken in hun oorspronkelijke bestanddelen zodat er weer nieuwe producten van kunnen worden gemaakt. In het kader van beton hergebruik wordt er al ontzettend veel gerecycled, tot wel 88% van de totale hoeveelheid beton die er jaarlijks gesloopt wordt. Dit komt neer op 11 miljoen ton. Hiervan verdwijnt echter 96% van onder de grond als funderingsmateriaal voor de Grond, Water en Wegenbouw sector. (Arnoldussen, et al., 2020). Deze variant wordt ook wel omschreven als laagwaardig hergebruik en zoals eerder al aangegeven kan er op termijn verzadiging optreden. Om te voorkomen dat het materiaal dan simpelweg wordt afgedankt zijn er twee opties mogelijk met betrekking tot recycling.

1. Betongranulaat toepassen als toeslagmateriaal voor nieuw beton. Binnen de huidige wetgeving is het toegestaan om een percentage van het traditionele grind te vervangen door betongranulaat. Afhankelijk van de klasse die het granulaat krijgt toegewezen ligt het percentage tussen de 20-30%.
2. Beton breken in kleinere bestanddelen. Door het gebruik van geavanceerde betonbrekers is het niet alleen mogelijk om betongranulaat terug te winnen, maar ook de kleinere bestanddelen waaronder zand en cement om weer nieuw beton van te maken. Wat hier vooral belangrijk is, is dat het meest vervuilende product uit de betonproductiecyclus kan worden teruggewonnen: cement.

De milieu impact bij beide varianten is echter beperkt. De reden hiervoor is dat bij het toepassen van betongranulaat als toeslagmateriaal er nog altijd nieuw bindmiddel moet worden toegevoegd, in dit geval virgin cement. Eerst lijkt de impact die het scheiden van beton in cement en granulaat beter, maar de enige manier om het cement weer te dehydrateren en bruikbaar te maken voor nieuw beton is door het te verhitten. Waar het recyclen van beton het meeste effect gaat hebben is bij het aanvullen van de steeds schaarser wordende toeslagmaterialen.

Technische obstakels liggen hier vooral in het waarborgen van de betonkwaliteit. Hoewel er al veel onderzoek is uitgevoerd en gepubliceerd in de vorm van CUR-aanbevelingen is de methode om recycle beton te maken nog vrij nieuw en gebeurt het nog altijd niet op grote schaal.

CONCRETE RECYCLING– TU Delft/Strukton - <https://strukton.com/en/Civiel/Circuiton>
Samen met de TU Delft is Strukton erin geslaagd een machine te ontwerpen die beton kan scheiden in zijn hoofdbestanddelen die ook klein genoeg is om eenvoudig te vervoeren naar een projectlocatie waar gesloopt wordt. Gebaseerd op de techniek ontwikkeld door C2CA wordt er sinds 2018 veelvuldig getest of de beoogde voordelen ook kunnen worden behaald. Geschat wordt dat als al het sloopbeton wat vrijkomt de komende 10 jaar wordt gerecycled dat het een netto besparing van 161 kiloton CO₂ oplevert.



Figuur 10 – Beton recycle installatie

4.3 Voorwaarden aan hergebruik

Op basis van de bovenstaande voorbeelden is af te leiden dat het hergebruik van beton zeker mogelijk is in andere vormen dan vandaag de dag wordt toegepast. Door het aantal eindbestemmingen niet te limiteren zou al het materiaal een bestemming krijgen waarbij het wordt toegepast in dezelfde functie, een andere functie of juist kan worden omgezet in de primaire grondstoffen voor het maken van beton. Het is waar dat hergebruik al wel plaats vindt, maar de schaal waarop is vaak nog erg beperkt terwijl in hoofdstuk 3.3 al wel flinke aantallen worden genoemd. Ook uit de voorbeelden kan worden opgemaakt dat als het gaat om creatieve oplossingen er geen gebrek aan nieuwe toepassingen voor hergebruikt beton is. Het belangrijkste obstakel wat hieruit volgt is de levenscyclus uit hoofdstuk 4. Hieronder kort globaal weergegeven waaraan de verschillende stappen van hergebruik aan moeten voldoen. Daarnaast zijn er de zogeheten harde eisen waaraan een bouwproduct moet voldoen zoals het bouwbesluit (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2020).

- **Re-use**

1. Hergebruik van een afgedankt, nog goed product in dezelfde functie
2. Wanneer beschadigde onderdelen worden verwijderd en/of het product wordt ingekort waardoor het in aangepast vorm toch zijn functie behoudt
 - Prefab liggers/platen, gezaagde elementen of kanaalplaten die worden toegepast als nieuwe verdiepingvloeren
3. Versterken van teruggewonnen product zodat het zijn functie behoudt
 - Extern wapenen doormiddel van staal en/of vezel versterkt plastic (FRP)
 -

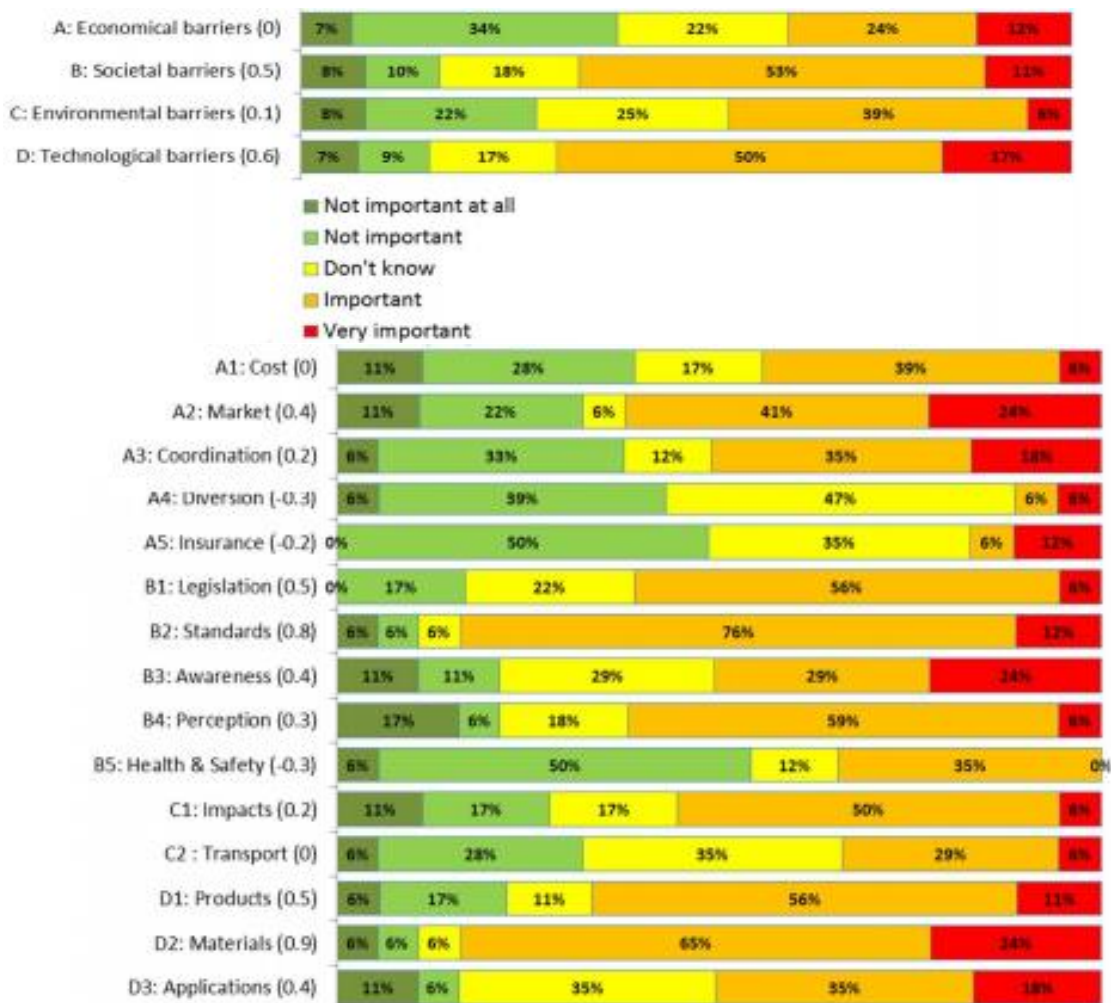
- **Repurpose**

3. Hergebruik van een afgedankt product in een andere functie vanwege tekortkomingen¹
 - Prefab liggers/platen, gezaagde elementen of kanaalplaten (beschadigd/aangetast) die worden toegepast als vloer op de grondslag of als tijdelijke rijbaan
- **Recycle**
 4. Producten verwerken tot materialen van dezelfde kwaliteit
 - Cement/aggregaat/wapening terugwinnen
 - Granulaat als toeslagmateriaal voor nieuw beton of wegebouw
- **Eindverwijdering**
 5. Storten van vrijgekomen materialen

¹ Indien er sterkteverlies optreedt door perforatie/indringing, maar dit voor de nieuwe functie niet van belang is.

4.3.1 Praktische obstakels in relatie tot algemeen hergebruik

Tegenwoordig wordt is materiaal hergebruik een begrip wat overal opduikt. Of het nu gaat om kleding gemaakt van PET-flessen of meubels van oude reclame bordes er valt bijna niet meer aan te ontkomen. Ook in de bouw valt te zien dat bedrijven grootse plannen hebben voor hergebruik, maar dit komt nog niet altijd tot uiting. Om te achterhalen waar volgens de betrokken partijen de grootste obstakels liggen heeft Het VTT Technical Research Center of Finland (Hradil, et al., 2014) een enquête afgenomen onder bouw- en slopers, materiaal producenten en recyclebedrijven.



Figuur 11: obstakels m.b.t. hergebruik (Hradil, et al., 2014)

De kanttkening moet hierbij wel gemaakt worden dat het hier om hergebruik in de breedste zin van het woord gaat. Geconcludeerd kan worden dat de grootste obstakels worden gevormd door de *markt, coördinatie, bekendheid en het materiaal zelf materiaal*. Uit gesprekken met Bond Nederlandse Architecten kwam dezelfde conclusie naar voren waarbij architecten wel aangaven met hergebruikte materialen te willen werken, maar de materialen nog niet altijd kunnen krijgen en al helemaal niet op grote schaal. Een potentiële oplossing zal dus met deze vier obstakels rekening moeten houden om te slagen.

4.4 Verwijderkosten

Een ander obstakel wat niet vergeten mag worden zijn de verwijderkosten. Oftewel hoeveel kost het om een betonelement uit een gebouw te demonteren en deze klaar te maken voor een nieuwe toepassing. Hoeveel deze kosten bedragen is niet in een globaal overzicht samen te vatten en worden vandaag de dag geraamd op 2-3x de kosten van "normaal" slopen. De reden hiervoor is dat de processen met betrekking tot demonteren en verwijderen te veel afwijken van de huidige

sloopprocessen. Daarnaast is de vorm, omvang en locatie van de constructie erg bepalend. Hierdoor kunnen voor nu alleen losse projecten aan zich beschouwd worden. Het onderzoek van A. Glias – The donor Skelet (Glias, 2013) beschouwd een van de projecten waarop hergebruik is toegepast. De resulterende kostenverdeling is als volgt:

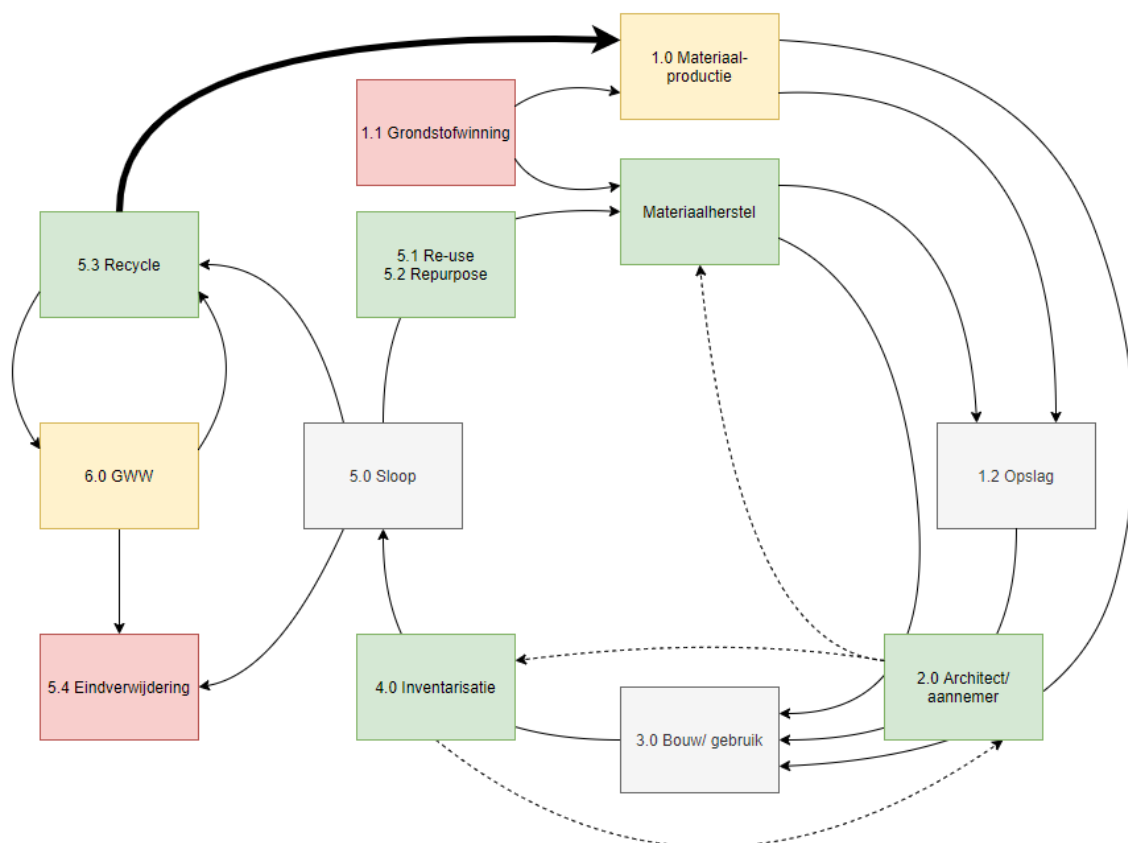
Tabel 1: Kosten verdeling volgens A. Glias

Handling	Percentage van totale “sloopkosten”
Demonteren	59,11%
Aanpassen/herstellen	5,64%
Transport	8,32%
Opslag	0,36%
Toepassing in nieuwe constructie	26,56%

Hoewel deze kosten kunnen bijdragen aan een baseline model van wat het verwijderen zou mogen kosten ten opzichte van een nieuw in de fabriek vervaardigd element mag niet worden vergeten dat deze ook afhankelijk zijn van plaats en tijd. Hiermee wordt bedoeld dat kosten regionaal erg kunnen verschillen, maar ook dat de kosten van bouw materiaal kunnen stijgen of dalen in de toekomst. Met name wanneer de grondstoffen schaars dreigen te worden of als de overheid milieuheffingen gaat toepassen op nieuwe producten kan hergebruik aan terrein winnen, doordat de prijs van nieuwe elementen stijgt en hierdoor een grotere marge ontstaat bij wat het verwijderen mag kosten.

5 De bouw-cyclus in de circulaire economie

Om de cirkel rond te krijgen zal er een verandering moeten plaatsvinden in de materiaalketen van beton. De oorspronkelijke keten uit hoofdstuk 4.2 is momenteel nog erg lineair en er is een grote uitstroom van materiaal. Op basis van gesprekken (bijlage A) met de Branchevereniging Nederlandse Architectenbureaus (BNA) en andere partners is de volgende aanzet voor een nieuwe cyclus opgesteld:



Figuur 12: Beoogde materiaalcyclus ten behoeve van hoogwaardig hergebruik

Tabel 2: Kleuren legenda figuur 12

Kleur	Betekenis
Rood	Ongewenst proces
Grijs	Ongewijzigd proces t.o.v. huidige cyclus
Geel	Ongewenst proces maar nodig i.v.m. andere processen in andere branches
Groen	Gewenst proces

Dit schema is ingedeeld in kleuren en fases waarbij pijlen worden gebruikt om stromen van materiaal (doorgetrokken lijn) en informatie (gestippeld) waarbij de dikte wordt gebruikt om prioriteit aan te geven.

Fase 1.0: De start van de cyclus begint bij de productie van nieuw materiaal. Wanneer er geen "sloopbeton" beschikbaar is zal hiervoor nieuw beton (1.1) vanuit de primaire grondstof moeten worden gemaakt. Ook bij vraag aan producten die niet voorkomen in de te slopen gebouwvoorraad zal er nieuw beton moeten worden geproduceerd. Na productie zal het naar opslag gaan of direct naar de nieuwe toepassing.

Fase 2.0: De architect of aannemer zal net als in de huidige cyclus de keuze maken voor welke materialen er worden gebruikt tijdens constructie. Een cruciaal verschil is wel dat er na sloop van een gebouw de vrijgekomen materialen met de potentiële afnemers wordt gedeeld. Doordat de afnemer niet alleen afhankelijk kan zijn van wat er vrijkomt, zal deze ook moeten kunnen aangeven wat hij nodig denkt te hebben op voorhand.

Fase 3.0: Bouw en gebruiksfase onveranderd, m.u.v. registratie van gebruikte materialen.

Fase 4.0: Om te weten welke materialen en in welke hoeveelheden zijn toegepast in een bouwwerk is het nodig om deze te inventariseren. Dit zal de kennis van het potentiële aanbod vergroten zodat op grotere schaal hergebruik kan worden toegepast. Dit kan ook gebeuren van gebouwen die nog niet te sloop zijn aangemerkt.

Fase 5.0: Hoewel de term hetzelfde blijft als in de oude cyclus zal het daadwerkelijke slopen van gebouwen anders plaats vinden. Dit slopen is echter te specifiek om in dit rapport verder over uit te wijden. Wat wel veranderd zijn de eindbestemmingen van de materialen. 5.1 t/m 5.4 zijn de processen zoals in hoofdstuk 5.3 zijn besproken. Materiaalherstel is zo goed als onontkoombaar en maakt deel uit van deelproces 5.1 en 5.2. Hier wordt het materiaal getest en kan het voorkomen dat het moet worden hersteld met nieuw materiaal.

Fase 6.0: Hoewel op termijn de afname vanuit de GWW minder zal worden blijft het wel een belangrijke afnemer van recycle granulaten. Op lange termijn zal echter het zwaarte punt van recycle richting het aanvullen van grondstoffen moeten gaan om uitputting van natuurlijke grondstoffen als grind en zand te voorkomen.

5.1 Architecten en slopers – Rollen binnen nieuwe proces

In de oude cyclus stonden de architecten aan het begin van de cyclus en slopers aan het eind. Wanneer deze cyclus circulair wordt gemaakt komen deze partijen echter naast elkaar te staan. Wat dit betekent is dat de verhouding en ook de verantwoordelijkheden van beide partijen zal veranderen. In een circulaire bouw zullen architecten bij hun materiaalgebruik op moeten letten dat ze de markt weten te stimuleren. Zij zullen verantwoordelijk zijn voor het creëren van de vraag op de markt. Door slimmer te ontwerpen door onder andere rekening te houden met modulariteit of “pure” materialen². Door de materialen vroegtijdig te registreren krijgen de architecten ook meer ruimte om in hun ontwerp rekening te houden met aangepaste beuk maten voor bijvoorbeeld de toepassing van hergebruikte kanaalplaten. De branche moet er wel waakzaam voor zijn dat er geen lappendekens van verschillende materialen of maten gecreëerd gaan worden. De gebouwen moeten met weinig moeite in en uit elkaar gehaald worden. Waarbij nauwkeurig wordt bijgehouden welke materialen aanwezig zijn.

Voor de sloper zal er in de beginfase niet erg veel veranderen. Veel businessmodellen van slopers, waaronder Urban Mining, rusten op het apart inzamelen van bijvoorbeeld metalen die later worden doorverkocht waarbij het te slopen pand een belangrijke leverancier van grondstoffen wordt (Urban Mining Collective, 2020).

Met de introductie van hoogwaardig hergebruik is het voor de sloper mogelijk om te investeren in sloopmethodes om materiaal in zijn geheel uit een gebouw te halen en eventueel zelf te herstellen. Dit komt doordat net als voor de metalen een kanaalplaat die kan worden hergebruikt waardevoller is dan granulaat. Op lange termijn zal de rol van de sloper veranderen meer in de richting van materiaal leverancier naast de traditionele producenten. Zij zullen er dan ook baat bij hebben bij modulaire constructies die relatief eenvoudig uit elkaar te halen zijn. Op korte termijn echter zullen de slopers ook diegene zijn die de grote last zullen moeten dragen. Aangezien de beperkte vraag naar herbruikbare elementen en de hoge kosten die er gebonden zijn zal het lastig zijn om een fatsoenlijke marge te hanteren. Helemaal doordat het moet concurreren met een overvloed aan goedkope, nieuwe producten.

² On-samengestelde materialen die eenvoudig te recycleren zijn

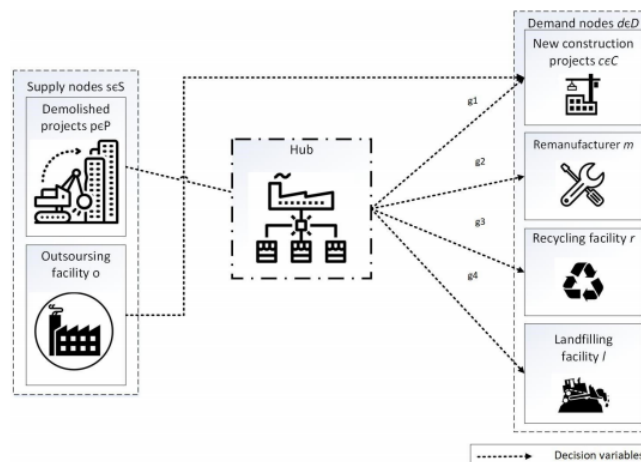
Hieruit kan geconcludeerd worden dat de ontwerper de markt zal bepalen, maar de sloper zal hier invulling aan moeten geven.

5.2 Materiaal hub

Materiaal wat op vraag wordt geproduceerd zal net als in de huidige situatie meteen naar het bestemde project worden afgevoerd. Echter de tweede stroom van “nieuw” materiaal zal in veel situaties niet meteen naar de afnemer gaan. Dit kan komen door de volgende redenen:

- De stroom van materiaal vrijgekomen uit de sloop is niet constant genoeg
- De stroom van vrijgekomen materiaal is te klein voor grootschalige projecten
- De vrijgekomen materialen zullen eerst moeten worden hersteld
- Het is niet bekend bij de afnemer waar en hoeveel materiaal er beschikbaar komt

Om deze punten te kunnen tackelen is er door meerdere partijen aangegeven dat de branche er baat bij heeft om een algemeen verzamel punt te creëren waar de informatie uit de inventarisaties en de producten na verwijderen samen komen. Deze zogeheten hubs zullen een belangrijke schakel vormen in het begeleiden en sturen van het nieuwe proces. Wie deze rol op zich neemt zal echter nog moeten worden bepaald, maar er wordt voorzichtig al geëxperimenteerd. Een voorbeeld hiervan is lightrec (LightRec Nederland, 2020). Deze partijen halen zelf de expertise in huis op het gebied van materiaal herstel en doorverkoop en staan toe om een constante stroom van materiaal te faciliteren. Deze partijen kunnen dan ook garant staan voor hun product waardoor het voor afnemers interessant wordt om te gebruiken. Zij regelen de markt, coördinatie van verschillende partijen en door het promoten van hun producten creëren ze ook bekendheid waarmee de belangrijkste praktische obstakels van hergebruik eigenlijk al worden opgelost.



Figuur 13: Reverse logistics concept (Karamanou, 2019)

6 Invloed van hergebruik op het milieu uitgedrukt in CO₂

Naast het reduceren van afvalproductie is het doel van de circulaire economie het terugdringen van de productie van broeikasgassen. In Nederland is de beton industrie op jaarbasis verantwoordelijk van 1,5% van de totale productie van CO₂ (Cobouw, 2018). Als de getallen van eerder gebruiken is het mogelijk om deze productie uit te drukken in ton: 1.297.703.767 kg CO₂. Uitgegaan van een productie van 13.204.900.000 kg beton (5.557.617,85 m³) met 233,5 kg CO₂ per m³ (Arnoldussen, et al., 2020) (Herk, 2019). De som van de CO₂ per m³ is bepaald via de volgende ketenanalyse:

Ketenfase	CO ₂ -uitstoot (kg/m ³)	Percentage
Grondstoffase	172,9	74,1%
Productiefase	17,8	7,6%
Gebruiksfase	0,0	0,0%
Recyclingfase	12,0	5,1%
Transportfase	30,7	13,1%
Totaal	233,5	100,0%

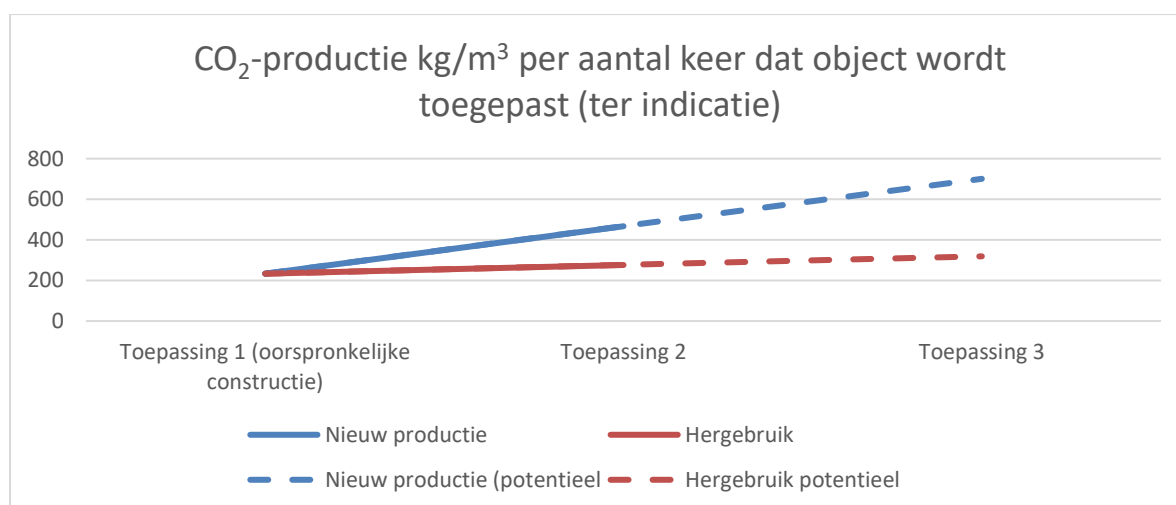
Ketenanalyse (Herk, 2019)

Doordat bij hergebruik de eerste drie fases komen te vervallen is de keten bij hergebruik als volgt:

Ketenfase	CO ₂ -uitstoot (kg/m ³)	Percentage
Grondstoffase	0,0	0,0%
Productiefase	0,0	0,0%
Gebruiksfase	0,0	0,0%
Recyclingfase	12,0	18,1%
Transportfase	30,7	71,9%
Totaal	42,7	100,0%

Ketenanalyse (Herk, 2019)

Dit geeft per m³ een reductie tot wel 190,8 kg CO₂ wat een aanzienlijke besparing is. Dit wordt ook duidelijk wanneer deze twee waarden tegen elkaar worden uitgezet in een grafiek. Beide lijnen delen hetzelfde beginpunt, de aanvankelijke productie van het element, maar wanneer een element wordt teruggewonnen, hersteld en opnieuw toegepast wordt de potentie pas echt zichtbaar ten opzichte van nieuw productie van hetzelfde element. Momenteel zal het in de praktijk niet voorkomen dat een element meer dan 2x wordt hergebruikt.



6.1 Milieubesparing in relatie tot hergebruik kanaalplaten

Al eerder in dit onderzoek is de keuze gemaakt om de kanaalplaat te beschouwen als geschikte kandidaat voor hergebruik. De volgende stap is dan ook om de te behalen besparing in CO₂ voor deze elementen te kwantificeren. In hoofdstuk 3 is bepaald dat er de komende tien jaar ongeveer 5.696.960

m² aan kanaalplaat vrij komt bij de sloop van de bestaande gebouw voorraad. Als wordt uitgegaan van het type plaat Dycore 260 (Dycore, 2020) leidt dit tot de volgende gegevens:

Type	m ²	m ³	Potentiele CO ₂ besparing in kg per m ³
Dycore 260	5.696.960	908.732	190.8

Het doel van hoogwaardig hergebruik is om voor elke element wat vrijkomt een vergelijkbare bestemming te zoeken. Echter zal dit zoals eerder aangegeven niet voor elk element mogelijk zijn. Hierdoor zal het hergebruik percentage in de praktijk nagenoeg nooit 100% zijn hierdoor is de keuze gemaakt om de potentie in verschillende scenario's te beschouwen. Ook is een nieuwe post geïntroduceerd wat in dit verslag nog niet eerder is behandeld: Schaduwkosten. Deze kosten zijn geïntroduceerd in de MPG (Milieu Prestatie Gebouwen) (Rijksdienst voor ondernemend nederland, 2020) om de duurzaamheid uit te drukken aan de hand van het materiaalgebruik van een gebouw. Deze kosten geven indirect aan hoeveel er betaald had moeten worden ter compensatie van de gecreëerde uitstoot. Hoewel er 17 categorieën zijn wordt hier alleen gekeken naar de kosten die worden bespaard op basis van de kosten per kg CO₂. Deze bedragen €0,05 per kg. (nibe, 2020)

Tabel 3: CO₂ besparing per percentage hergebruik (Arnoldussen, et al., 2020) (Herk, 2019)

Hergebruik van vloeroppervlak	m ²	m ³	Kg CO ₂ bespaard	Schaduwkosten
100%	5.696.960	908.732	173.386.065	€8.669.303,25
75%	4.272.720	681.549	130.039.549	€6.501.977,45
50%	2.848.480	454.366	86.693.032	€4.334.651,60
25%	1.424.240	277.183	43.346.516	€2.167.325,80

Hoewel deze besparing lijkt, in relatie tot de totale productie, een beperkt aandeel te hebben rondt de 15% van de totale CO₂ productie en rondt de 15% van de totale betonproductie in een ideale situatie. Deze getallen moeten echter wel in het juiste kader worden geplaatst:

- De besparing is alleen op basis van vrijkomende kanaalplaten 20% van het totale BVO van te slopen gebouwen
- Het onduidelijk hoeveel procent van de totale productie bestaat uit kanaalplaten
- Overige betonnen elementen zijn buiten beschouwing gelaten in de besparing.
- De besparing is uitgedrukt in CO₂, maar betekend op jaarbasis ook een besparing op gebruik van nieuwe materialen

7 Structurele analyse/norm vertaal tool

Uit de materiaal en object analyse kwam er een onderdeel waarop een ingenieur zijn invloed kan uitoefenen. Namelijk dat door de jaren heen, de normen die gehanteerd worden voor het maken van constructie berekeningen gewijzigd kunnen zijn. Doordat sloopaannemers, en dan vooral de kleinere, niet de capaciteit hebben om uitgebreide berekeningen los te laten op een gebouw dat ze ter inspectie krijgen ligt er een kans om deze "horde" weg te nemen.

Al vroeg bij de introductie van de zogeheten Eurocode is er door de TU Delft onderzoek gedaan naar de verschillen en overeenkomsten tussen de toenmalige 'voorschriften beton 1974' (VB1974) en de VBC 1990, de voorloper van de NEN 1992 (v.d. Veen, 1992). In dit rapport is dezelfde constructie volgens beide manieren getoetst waarna de resultaten met elkaar werden vergeleken. Hieruit bleek dat wanneer met de VB1974 wordt gerekend, dat de momenten die de constructie op moeten nemen 25% á 30% hoger liggen dan wanneer de "huidige" norm wordt toegepast. De conclusie die hieruit getrokken kan worden is dat plaatvloeren van voor de invoering van de Eurocode qua wapening veelal zijn over gedimensioneerd.

Verdere analyse van de VB1974 toont aan waarom deze conclusie veelbelovend is. Naast dat de berekenmethodes ligt afwijken van diegene die vandaag gebruikt worden zit er ook een groot verschil tussen de manier waarop de belastingen bepaald worden.

Tabel 4: Bepaling belasting combinatie volgens VB1974 of Eurocode (NEN, 1975) (Betonvereniging, 1975)

VB1974	Eurocode
$\gamma(EG+\Sigma OB)$	$1,2/1,35 * EG + 1,5 * \Sigma * \psi * OB$
EG: eigen gewicht, OB: Opgelegde belastingen VB1974: γ in bezwijk situatie 1,7	

Zoals duidelijk is te zien wordt er in de VB1974 geen onderscheid gemaakt tussen het eigen gewicht van de constructie en de opgelegde belastingen. Hierdoor worden beide met dezelfde factor vermenigvuldigd waardoor de gecombineerde belasting ongeveer 20% hoger uitvalt dan wanneer de Eurocode gebruikt zou worden. De grondslag van dit verschil ligt in het feit dat door de jaren heen het steeds eenvoudiger werd om nauwkeurigere berekeningen te maken dan voorheen het geval was. Hier tegenover staat wel dat de opgelegde belastingen in gewicht zijn toegenomen.

7.1 Oude plaat volgens nieuwe norm

In het onderzoek van de TU Delft wordt dezelfde vloer volgens twee methodes bepaald. Hoewel deze methode een eerste inzicht kan geven is het niet geheel toepasbaar op de situatie met betrekking tot hergebruik. In beide situaties wordt namelijk gerekend met niet alleen de norm uit die tijd, maar ook met de materiaal gegevens die toen voorhanden waren. Hoewel dit een klein verschil is, is de situatie betreft hergebruik dat oude materialen, die zijn bepaald aan de hand van een oude methode, moeten worden getoetst volgens de nieuwe methode.

Om de plaat te kunnen toetsen zijn minimaal de volgende gegevens nodig:

- Afmetingen van de plaat (breedte x hoogte x lengte)
- Gebruikte betonsoort, dikte van de dekking en druklaag
- Diameter en aantal staven/strengen wapening per plaatbreedte
- Staalkwaliteit (Wanneer deze niet beschikbaar is rekenen met slechtste kwaliteit)
- Gebruiksklasse

Wanneer al deze gegevens bekend zijn is het mogelijk om een simpele berekening te maken waarbij het doel is om het draagvermogen te bepalen volgens de huidige norm. Door dit te doen voor verschillende lengtes kan worden bepaald voor welke functie de plaat eventueel kan worden toegepast. Hoewel dit proces is geautomatiseerd in Excel doorloopt de berekening de volgende stappen:

7.1.1 Stap 1: Invoer van gegevens

Zoals eerder al aangegeven ligt de kern van de rekentool bij gegevens die zichtbaar aanwezig zijn. Doordat slopers momenteel nauwelijks tot geen aanvullende informatie tot hun beschikking krijgen kunnen zij bij inspectie alleen uitgaan van het gene wat zij zelf kunnen zien. Het gaat hierbij om de afmetingen van de plaat, aantal wapeningsstrengen of staven, maar ook het aantal holle kanalen in de plaat. Deze bevindingen worden op de juiste plek in de tabel ingevuld en daarna aangevuld met standaard gegevens van de gebruikte materialen.

Zelf invullen
Past automatisch aan

		VB1974 & aanvullende normen	Opmerkingen	
Beton				
Soort		B45	C35/45	
Kubusdruksterkte	f'ck	45		N/mm ²
Rekenwaarde druksterkte	f'bk	36		N/mm ²
Rekenwaarde treksterkte	fb	2		N/mm ²
Elasticiïteitsmodulus	E'b	34000		N/mm ²
Staal				
Soort		FeP 1860		
Representatieve waarde treksterkte	fpurep	1860		N/mm ²
Rekenwaarde treksterkte	fpu	1690		N/mm ²
Representatieve waarde treksterkte 0,1% grens	fprep	1600		N/mm ²
Rekenwaarde treksterkte 0,1% grens	fp	1450		N/mm ²
Elasticiïteitsmodulus	Ep	210000		N/mm ²
Voorspanning bij aanbrengen	σp0	1500,74737	> fp: voldoet niet, voeg meer wapening toe	N/mm ²
Plaat				
Breedte	b	1200		mm
Lengte	l	7000		mm
Hoogte	ht	260		mm
Dekking	c	40		mm
Nuttige hoogte	d	220		mm
Aantal holtes		5		st
Diameter holtes		163		mm
Gezamenlijk oppervlak holtes		20867,2438		mm ²
lijfbreedte	bw	385		mm
Neutrale lijn onderzijde plaat	y0	130		mm
Betondooisnede ((Breedte * hoogte) - Oppervlak holtes)	Ab	291132,7562		mm ²
Kwadratisch oppervlakte moment (rechthoekige benadering)	Iy	1757600000		mm ⁴
Deklaag	hd	50		mm
Voorspanwapening				
Oppervlak streng 1	Ap1	139		mm ²
Aantal strengen 1		6		st
Totaal oppervlak streng 1	Ap1t	834		mm ²
Afstand tot neutrale lijn	e1	90		mm ²
Belasting				
Beton EG		2400	2400	kg/m ³
Gebruiksklasse belasting/OB		1,5		kN/m ²
Gebruiksklasse afhankelijke opgelegde belasting (zie tabblad 2)				
Gebruiksklasse afhankelijke reductie factor (alleen NEN-1992)			0,4	

Figuur 14: Voorbeeld invoertabel rekentool

Hoewel de benaming van de materialen voor de tijd van de Eurocode misschien anders was zijn de fysieke eigenschappen nauwelijks tot niet veranderd. Mocht het niet direct duidelijk zijn welke materiaal kwaliteit is toegepast kan altijd gebruik gemaakt worden van de laagst mogelijke waarde of over worden gegaan tot aanvullend onderzoek. Welke methodes hiervoor beschikbaar zijn, zijn uitgelegd in bijlage B.

7.1.2 Stap 2: Berekening maatgevende belasting + maximaal optredend moment

Na het invullen van de afmetingen gaat de rekentool zelf aan de slag met het bepalen van de maatgevende belasting. Het programma doet dit op basis van de inhoud van de plaat, de inhoud van de deklaag en de gebruiksklasse. De resulterende waarden zullen met behulp van de VB1974 worden omgerekend naar de maatgevende combinatie, in deze situatie maar één oplossing mogelijk zie tabel 4 voor uitleg, en vervolgens het maximaal optredend moment. Dit moment staat centraal in de berekening en zal gebruikt worden om de buigweerstand van de plaat op te ontwerpen. Door gebruik

te maken van de VB1974 zou het getal een grove benadering moeten zijn van de waarde die toen der tijd is gebruikt bij het ontwerp van de plaat.

7.1.3 Stap 3: Werkvoorspanning

Nu het maximaal optredend moment bekend is, is het mogelijk om te bepalen hoeveel van de weerstand wordt bepaald door de werkzame kracht die de voorspanning levert. Deze vergelijking bestaat uit drie componenten:

1. Moment ten gevolge van eigen gewicht en opgelegde belastingen (trek onder in de plaat)
2. Tegenwerkend moment ten gevolge van de voorspanning (druk onder in de plaat)
3. Resulterende normaal kracht (druk in de gehele doorsnede van de plaat)

Doordat de som van deze krachten/momenten samen in evenwicht moeten zijn kan de volgende vergelijking opgesteld worden:

$$-\frac{Fp}{Ab} + \frac{Med}{W} - \frac{Mp}{W} = 0$$

Hierin is:

Fp	=	Werkvoorspanning
Ab	=	Oppervlak betondoorsnede
Med	=	Maximaal optredend moment
Mp	=	Moment ten gevolge van de werkvoorspanning (Fp x excentriciteit)
W	=	Weerstandsmoment (1/6 * plaatbreedte * plaathoogte ²)

Na het invullen van de gegevens uit stap 1 blijft de werkvoorspanning Fp over als variabele, die met eenvoudige algebra gevonden kan worden. Gelukkig voor de sloper en andere gebruikers zal dit proces automatisch in de achtergrond gebeuren.

7.1.4 Stap 4: Bepalen van de momentweerstand volgens NEN-1992

Met de gevonden werkvoorspanning in de wapening is het mogelijk om met de NEN-1992 de momentweerstand te bepalen volgens de normen van vandaag:

$$M_{Ed} = (P_{m=0} + N_{Ed}) \cdot (z_b - y) + N_s \cdot (d_s - y) + N_{s2} \cdot (y - d_{s2}) + \Sigma \Delta N_p \cdot (d_p - y)$$

waarin:

- $P_{m=0}$ is de rekenwaarde van de effectieve normaaldrukkracht door de voorspankracht;
- N_{Ed} is de rekenwaarde van de normaaldrukkracht (exclusief voorspanning). Als de normaalkracht een trekkracht is, moet + N_{Ed} worden vervangen door - N_{Ed} ;
- N_s is de kracht in het betonstaal onder trek;
- N_{s2} is de kracht in het betonstaal onder druk;
- $\Sigma \Delta N_p$ is de toename van de kracht in het voorspanstaal ten opzichte van de werkvoorspankracht of de aanvangsvoorspankracht (Σ bij meer dan één laag);
- y is de afstand tussen de betondrukresultante en de meest gedrukte rand;
- d_s is de afstand tussen het op trek belaste betonstaal en de meest gedrukte rand;
- d_{s2} is de afstand tussen het op druk belaste betonstaal en de meest gedrukte rand;
- d_p is de afstand tussen het voorspanstaal en de meest gedrukte rand;
- z_b is de afstand tussen de elastische zwaartelijns en de meest gedrukte rand.

Figuur 15: Bepaling momentweerstand (Braam, 2012)

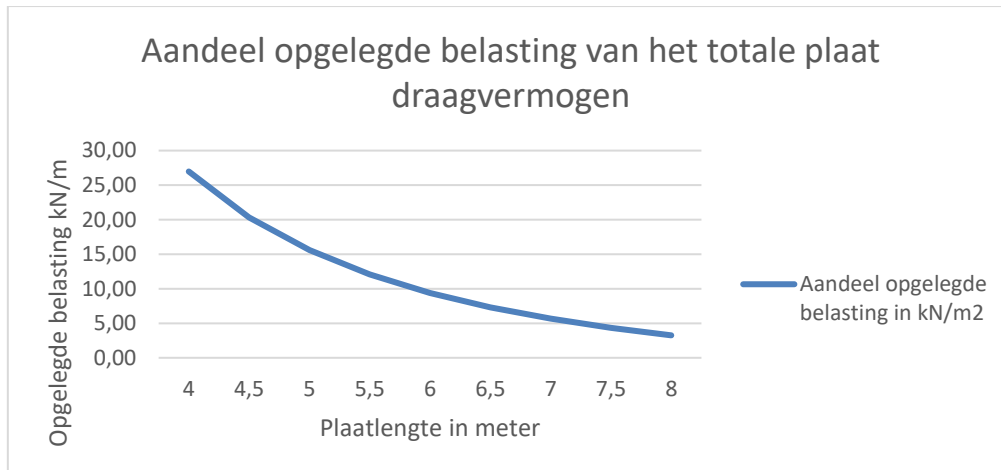
Waar in de VB1974 de momentweerstand werd bepaald door de maximaal opneembare spanning in het wapeningsstaal beschouwd de NEN-1992 elk aspect wat invloed heeft op de buigweerstand individueel. Initiële resultaten laten zien dat bepaling volgens deze methode leidt tot een grotere momentweerstand tussen de 5-7%. Echter dit is nog maar een deel van het verhaal.

Bij het ontwerpen van de platen volgens de VB1974 is rekening gehouden met een belasting die tot wel 20% hoger wordt gewaardeerd dan vandaag de dag het geval had geweest. Hierdoor is de plaat fors over gedimensioneerd. Na het vinden van de buigweerstand volgens de NEN zal de rekentool deze waarde zelf omrekenen naar iets waar de sloper wat aan heeft: hoeveel belasting de plaat in zijn huidige vorm kan opnemen per meter. Hiervoor zal het moment worden teruggerekend naar een

belasting per meter, maar ook zal het aandeel wat bestaat uit het gewicht van het beton, druklaag en kanaalplaat, ervan af worden gehaald.

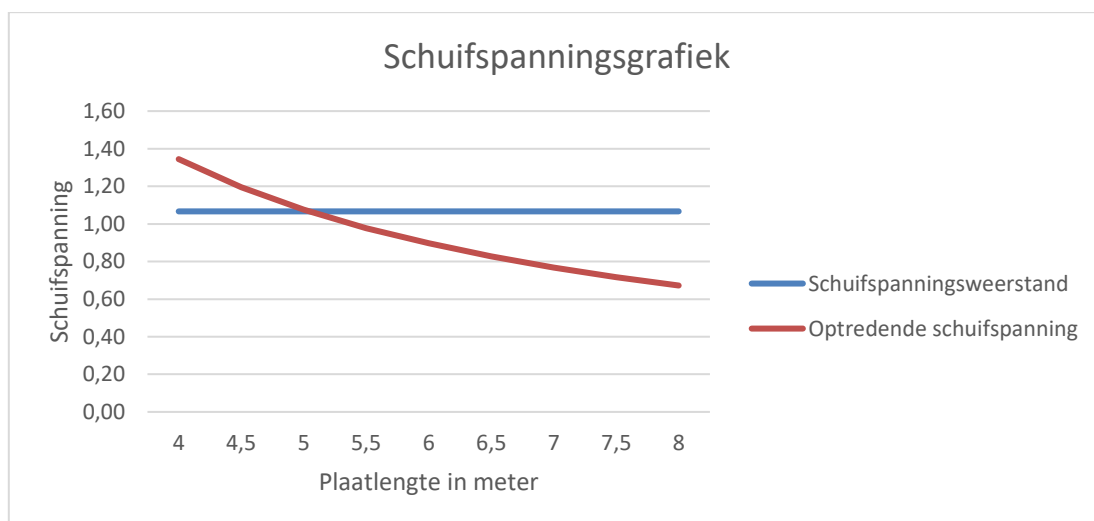
Tabel 5: Voorbeeld output calculatie opneembare belasting

Plaatlengte in meter	1	1,5	2	2,5	3
Totale belasting in kN/m	911,04	404,91	227,76	145,77	101,23
Aandeel opgelegde belasting in kN/m ²	501,48	220,29	121,88	76,32	51,58



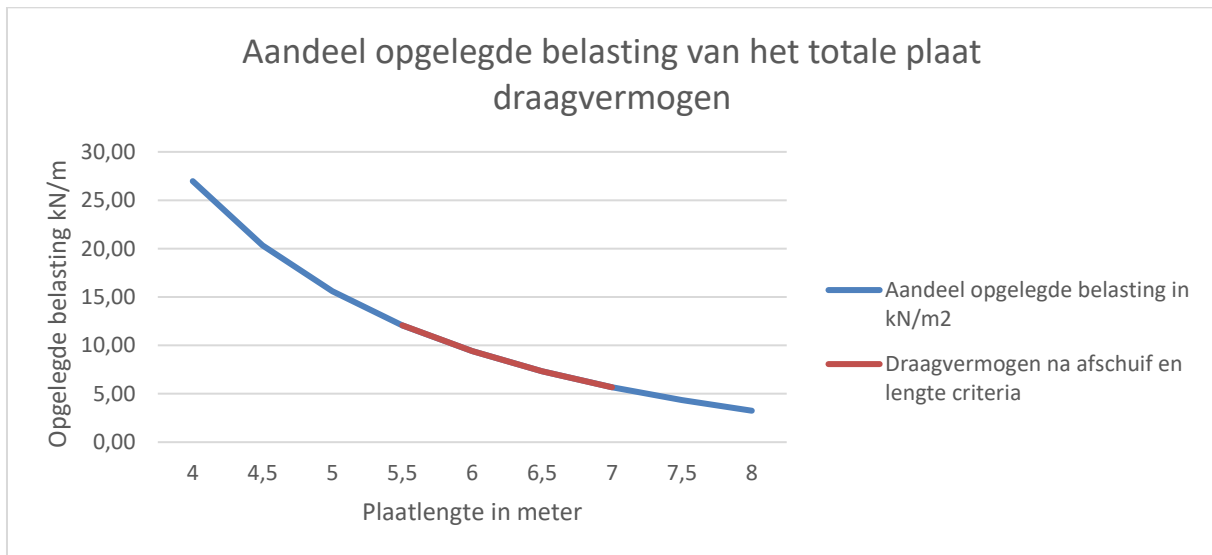
7.1.5 Stap 5: Toetsen van de weerstand tegen afschuiven

Zoals in tabel 5 goed is te zien is dat hoe korter de plaat hoe groter de belasting is die de plaat kan opnemen. Dit is echter alleen in theorie. Het klopt inderdaad dat een kortere plaat op kan nemen door de manier waarop het maximaal optredend moment wordt bepaald, maar er is een tweede manier van bezwijken die nog moet worden beschouwd. Deze vorm is de weerstand tegen optredende schuifspanningen. Door deze toets uit te voeren worden waardes waarvoor de maximaal optredende dwarskracht, ten gevolge van de maximale belasting, die de schuifweerstand overschrijden automatisch afgesneden. De tool zal hierdoor alleen waardes tonen die voldoen aan de maximaal opneembare buig-/ schuifspanning.



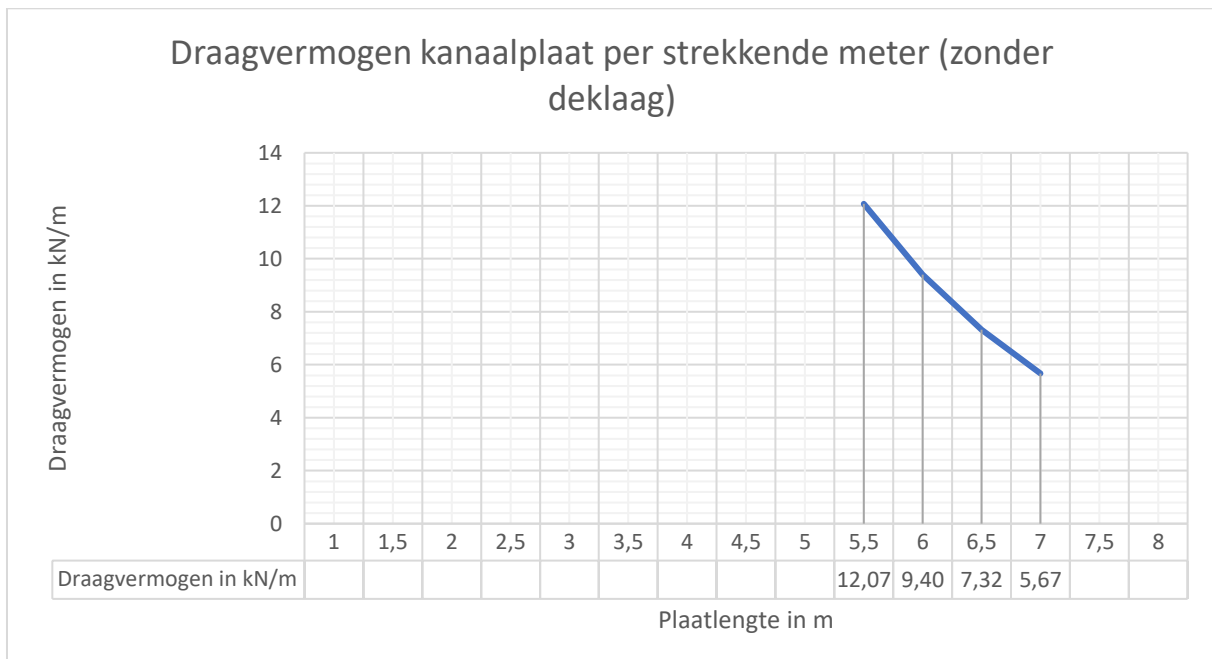
In deze test zit echter wel de grootste beperking van de calculatietool. Om de schuifweerstand van een betonplaat te vergroten kan waar nodig dwarskracht wapening worden toegevoegd. Hoewel dit niet vaak voorkomt in kanaalplaten bestaat de mogelijkheid wel dat het is toegepast met name ter

plaatse van de oplegging. De tool heeft geen mogelijkheid om deze extra wapening in te voeren en zal er ook niet mee rekenen. Dit kan bij platen die dikker zijn dan 300 mm een probleem geven aangezien het gewicht meer toeneemt dan de schuifweerstand waardoor hij op grond van deze toets wordt afgekeurd.



7.2 Output van de rekentool

Het middel waarmee de resultaten van de berekening worden weergegeven is in de vorm van een lengte/draagkracht grafiek.



Figuur 16: Voorbeeld van de output van de rekentool

In deze grafiek is de draagkracht van de kanaalplaat tegen de lengte uitgezet. Zo kan niet alleen de draagkracht van de huidige lengte worden bepaald, maar ook hoeveel draagvermogen de plaat in zich heeft wanneer de plaat als kortere variant wordt toegepast. Op basis van deze gegevens kan de sloper een initiële inventarisatie maken van de te verwijderen kanaalplaten, waarmee gezocht kan worden naar potentiële afnemers. Deze voorselectie kan de sloper tevens ook houvast bieden bij de

keuze of de extra kosten van het demonteren wel opwegen tegen het rendement wat de platen bieden. Als verdere afhandelingen, zoals keuren/testen, plaatsvinden bij een externe partij zoals een hub, hoeft de sloper zelf ook geen kennis over kanaalplaten in te kopen. De tool zal een vervanging bieden voor een constructeur die de platen, per soort, zal moeten doorrekenen.

De output houdt rekening met de stappen in het proces zoals in hoofdstuk 9.1 is beschreven, maar vormt geen vervanging voor de nodige keuringen die de plaat alsnog moet ondergaan wil het in nieuwbouw worden toegepast. Doordat de plaat alleen de maximale belasting geeft per meter sluit dit natuurlijk niet uit dat een plaat weldegelijk korter mag zijn dan in de output gegeven. Zolang de maximale belasting van de laatst gegeven waarde in de grafiek niet wordt overschreden. In deze berekening is niet meegenomen de toepassing van overige wapening dan de voorspanwapening of het eventueel toepassen van een nieuwe druklaag, doordat de dikte hiervan bepalend is voor het resterende gewicht wat de plaat kan opnemen in de uitvoeringsfase.

Hoewel de tool voor nu beperkte ondersteuning kan bieden om hergebruik te faciliteren is het wel mogelijk om deze te blijven aanvullen en updaten.

8 Conclusie van het onderzoek

Bij aanvang van dit onderzoek is de volgende hoofdvraag geformuleerd: Wat is ervoor nodig om betonnen elementen, verkregen uit de sloop van bestaande vloerconstructies in het bijzonder, toe te passen als secundair bouw materiaal en kunnen de gevonden voorwaarden worden toegepast op andere constructieonderdelen om circulair bouwen te bevorderen? Om deze vraag te beantwoorden is besloten te kijken naar een viertal deelaspecten die samen het antwoord vormen.

Hoofdlijn 1: Constructief/materiaal

Beton als bouw materiaal is ongeëvenaard in zijn veelzijdigheid en beschikbaarheid. Het is bestand tegen invloeden van buitenaf, het gaat lang mee, het is uitermate geschikt om druk op te nemen en als dat nog niet genoeg is kan het worden versterkt/gewapend om zo ook grote overspanningen mogelijk te maken. Daarnaast is het goedkoop en eenvoudig te produceren in alle wenselijke vormen en maten. Een echt wonderproduct van het moment van vervaardigen tot sloop. Door de grootschalige toepassing van het materiaal betekent dit ook dat deze in grote getallen vrijkomt bij de sloop van de huidige bouwvoorraad. Door alleen te kijken naar de vloeren kunnen de volgende gegevens boven tafel worden gehaald:

Typen	Aantal (m ²)	Percentage
Kanaalplaatvloer (bedekt/onbedekt)	5.696.960	19%
Breedplaatvloer	16.196.200	55%
In-situ gestort	1.842.510	6%
Ribcassettevloer	5.751.200	20%
Totaal	29.486.870	100%

In dit onderzoek is verder gewerkt met de kanaalplaat als praktijkuitwerking volgens de redenen gegeven in hoofdstuk 3.4. Het grootste obstakel wat de kanaalplaat zal moeten overwinnen is dat de bouwvoorschriften door de jaren heen zijn veranderd. Hierdoor kan het voorkomen dat een plaat die aanvankelijk is ontworpen in de jaren 70 niet meer voldoet aan de eisen die vandaag de dag aan het product worden gesteld. In het kader van dit onderzoek is daarom een rekentool opgesteld die voor een kanaalplaat bepaald wat het draagvermogen van deze plaat is volgens de VB1974 en deze omrekent naar het draagvermogen vandaag de dag volgens de Eurocode.

De rekentool kan in zijn huidige vorm ondersteuning bieden aan sloopaannemer die bij inspectie van een gebouw zo eenvoudig in kunnen schatten wat het potentiële draagvermogen gaat zijn als zijn de kanaalplaatvloeren demonteren in losse elementen. Voor specifieke informatie over de kwaliteit en het daadwerkelijke draagvermogen zullen nog altijd steekproeven moeten worden gedaan, maar dat neemt niet weg dat constructief gezien hergebruik mogelijk is. Doordat de gevonden draagkrachten tot wel 3x de ontwerpbelasting werden gevonden, mede door het ontbreken van een druklaag. Wat dit betekend voor de certificering is echter nog onduidelijk. Het argument valt te maken dat wanneer een element zijn volledige levensduur een bepaalde draagkracht moet leveren. Wanneer een element dus vroegtijdig wordt gedemonteerd, en hierbij niet beschadigd, dat het certificaat de resterende levensduur nog geldig moet zijn. Hierbij geldt de rekentool dan niet alleen als ondersteuning, maar als test of de oude plaat in een nieuwe constructie mag worden toegepast.

Hoofdlijn 2: Proces

Om van een hoofdzakelijk lineaire economie naar een circulaire over te gaan is het noodzakelijk dat de processen als een levenscyclus van materiaal uit hoofdstuk 4 ook worden omgevormd naar een circulaire variant. Om dit mogelijk te maken zijn er 4 begrippen voor hergebruik gedefinieerd middels het 10R-model. Wil het omvormen van dit proces slagen is het van groot belang dat de betrokken partijen, slopers, aannemers en architecten hun nieuwe rol kennen en dat zij hier ook een actieve bijdrage aan gaan leveren. Slopers zullen binnen de cyclus de voornaamste leverancier van materiaal worden. Waar architecten juist op hun beurt moeten zorgen dat er voldoende vraag is naar tweedehands bouw materiaal. Dit kan alleen gefaciliteerd worden wanneer de gebruikte en vrijkomende bouw materialen uitvoerig worden gedocumenteerd, zodat alle partijen weten hoeveel er van een product is en waar het vandaan kan komen.

Een veel aangedragen deeloplossing wordt gegeven in de vorm van een materiaal hub. Deze externe partij zal de markt kunnen ondersteunen door de logistiek binnen de cyclus op zich te nemen, maar ook de kennis in huis te halen die nodig is bij het herstellen en beoordelen van de kwaliteit van de betonnen elementen.

Hoofdlijn 3: milieu

Naast het reduceren van afvalproductie is het doel van de circulaire economie het terugdringen van de productie van broeikasgassen. In Nederland is de beton industrie op jaarbasis verantwoordelijk van 1,5% van de totale productie van CO₂. Doordat bij hergebruik van betonnen elementen de productiefase, de meest vervuilende, komt te vervallen kan dit een besparing opleveren van 190,8 kg CO₂ per m³. Wanneer wordt uitgegaan van het aantal kanaalplaten gevonden in hoofdstuk 3.3 geeft dit de volgende resultaten per percentage hergebruik:

Percentage hergebruik	m ²	m ³	Kg CO ₂ bespaard	Schaduwkosten
100%	5.696.960	908.732	173.386.065	€8.669.303,25
75%	4.272.720	681.549	130.039.549	€6.501.977,45
50%	2.848.480	454.366	86.693.032	€4.334.651,60
25%	1.424.240	277.183	43.346.516	€2.167.325,80

Hoofdlijn 4: Economisch

Bij hoofdlijn 3 is het begrip schaduwkosten geïntroduceerd. Hoewel deze kosten geen directe gevolgen hebben voor de betonindustrie geeft het een indicatie voor hoeveel geld aan schade er wordt aangericht wanneer de CO₂ vrij in de lucht terecht had gekomen. Het vormt dus een meetstaaf voor economische schade.

Voor andere kosten zoals het verwijderen van kanaalplaten en andere elementen bleek helaas geen algemeen overzicht mogelijk. Deze kosten variëren heel erg per project en hangen onder meer af van de vorm van het gebouw, de manier waarop de elementen in de draagconstructie zijn opgenomen, regio waar het gebouw staat en het aantal gebruikte materieel/materiaal. Een schatting, gegeven door een van de partijen die hoogwaardig hergebruik in de praktijk heeft toegepast, is dat de kosten 2-3x hoger liggen dan bij traditionele sloop. Een gedetailleerde casus uitwerking kan gevonden worden in het onderzoek waarnaar werd verwezen in hoofdstuk 6.5.

Uit de bovenstaande onderdelen kan dus geconcludeerd worden dat hergebruik dus zeker mogelijk is. Grootschalige praktijktoepassing zal op lange termijn ook kunnen bijdragen aan het behalen van huidige en eventueel toekomstige klimaatdoelen. Dit komt vooral door de grote potentie die al in het materiaal zit. Om dit te kunnen bewerkstelligen zal wel een grote inspanning verwacht worden van de partijen op wie deze wijzigingen invloed hebben. Er zullen nieuwe samenwerkingen moeten worden aangegaan tussen de verschillende partijen, waarbij centrale sturing komt om in kaart te brengen welke materialen in welke hoeveelheden vrijkomen en waar deze kunnen worden toegepast in nieuwe constructies. Doordat het Bouwbesluit 2012 hergebruikte materialen toestaat, hoewel dit niet expliciet staat vermeld, zal een belangrijke stap zijn het ontwikkelen en uitvoeren van meer pilotprojecten. Deze zullen de nodige ervaring en bekendheid creëren waarmee het ingewikkelde proces van hoogwaardig hergebruik dagelijkse praktijk kan worden.

8.1 Vervolgonderzoek naar aanleiding van dit onderzoek

Door de beperkte tijd gegeven dit onderzoek is het niet mogelijk geweest om alle betrokken aspecten de aandacht te geven die het verdient. Doordat dit onderzoek wel een verkennende werking had is het nu mogelijk om gericht vervolgonderzoek. Enkele van de onderzoeken waar hoogwaardig hergebruik van (betonnen)elementen van kan profiteren zijn:

- Regionale impact op hergebruik in relatie tot opslag- en transportkosten
- Specifieke verwijdermethoden van elementen en hun eventuele kosten
- Inrichting en functies van een materiaal hub
- Het her-certificeringsproces van betonnen elementen ten behoeve van hergebruik

- Milieuvoordelen van hergebruik in relatie tot de uitputting en vervanging van primaire grondstoffen
- Stimuleren van hergebruik door EMVI-kortingen

Daarnaast kan het zinvol zijn om de ontworpen rekentool verder uit te bouwen tot een volwaardig app. Hierin kunnen zaken meegenomen worden als oudere normen, maar ook het voorprogrammeren van globale informatie als gebruiksklassen en beton/staal soorten. Alsmede het doorrekenen van andere betonnen prefab elementen.

9 Bibliografie

- Arnoldussen, J., Errami, S., Semenov, R., Roemers, G., Blok, M., Kamps, M., & Faes, K. (2020). *Materiaalstromen, milieu-impact en energieverbruik in woning- en utiliteitsbouw*. Amsterdam: Economisch Instituut voor de Bouw; Metabolic; SGS Search.
- Bastein, T., & Rietveld, E. (2016). *Circulaire potentie voor Utrecht*. TNO.
- Betonakkoord. (2020, 06 09). *Het Betonakkoord*. Opgehaald van Betonakkoord: <https://www.betonakkoord.nl/betonakkoord/>
- Betonvereniging. (1975). *Grafieken en tabellen voor beton*. Betonvereniging.
- Braam, C. (2012). *Constructieleer Voorgespannen Beton*. Boxtel: Aeneas.
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2020). *Afvalproductie*. Opgehaald van CBS: <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatschappij/natuur-en-milieu/groene-groei/milieu-efficientie/indicatoren/afvalproductie>
- Cobouw. (2018, november 14). *Bouwen kan niet zonder cement en beton*. Opgehaald van Cobouw.
- Dycore. (2020, 02 27). *Breedplaatvloer*. Opgehaald van Dycore: <https://www.dycore.nl/producten/breedplaatvloeren>
- Glias, A. (2013). *The Donor Skelet*. Delft: TU Delft.
- Herk, J. A. (2019). *Energie efficiëntie onderzoek conform ISO 16*. Meteren: MiSa advies.
- Hradil, P., Talja, A., Wahlstrom, M., Huuhka, S., Lahdensivu, J., & Pikkuvirta, J. (2014). *Re-use of structural elements*. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland.
- Karamanou, M. (2019). *Evaluation of a material hub as a circular waste management strategy*. Delft: TU Delft.
- LightRec Nederland. (2020). *Recycling lampen en armaturen*. Opgehaald van LightRec Nederland.
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijkrelaties. (2020, 2 20). *Bouwbesluit Online 2012*. Opgehaald van Rijksoverheid: <https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/bb2012/hfd1/par1-3>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2010). *Afvalmonitor*. Opgehaald van Databank: https://afvalmonitor.databank.nl/Jive/Jive?cat_open=landelijk%20niveau/Samenstelling%20van%20huishoudelijk%20restafval
- NEN. (1975). *VB1974*. Stichting voor Onderzoek, Voorschriften en Kwaliteitseisen op het gebied van beton.
- nibe. (2020). *OMSCHRIJVING METHODE MILIEUCLASSIFICATIES BOUWPRODUCTEN*. Opgehaald van Nibe: <https://www.nibe.info/nl/methode>
- Platform CB'23. (2019). *Framework Circulair Bouwen*. Platform CB'23.
- Rijksdienst voor ondernemend nederland. (2020). *MilieuPrestatie Gebouwen - MPG*. Opgehaald van rvo: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels/nieuwbouw/milieuprestatie-gebouwen>
- Stichting Stimular. (2019). *Handvat duurzaam materiaalgebruik*. Rotterdam: Bouwend Nederland.
- Urban Mining Collective. (2020). *De stad als bron*. Opgehaald van UrbanMiningCollective: <https://urbanminingcollective.nl/>
- v.d. Veen, C. (1992). *Nagespannen vlakke plaatvloeren - toepassing VBC 1990*. Delft: TU Delft.
- Wikipedia. (2018, 5 8). *Betonsterkteklasse*. Opgehaald van Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Betonsterkteklasse>

Wikipedia. (2019, 12 4). *Beton*. Opgehaald van Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Beton>

Wikipedia. (2019, 11 14). *Ladder van Lansink*. Opgehaald van Wikipedia:
https://nl.wikipedia.org/wiki/Ladder_van_Lansink

Wikipedia. (2020, 2 8). *Hergebruik*. Opgehaald van Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Hergebruik>

10 Bijlagen

Bijlage A – Bijgewoonde bijeenkomsten

Bijlage B – Inspectie van beton

Bijlage C – Gebouw analyse

**Bijlage D - Huidige levenscyclus van beton inclusief
productie aantallen**

Bijlage E - Slooproces




14 JUNI 2020

AFSTUDEER BIJLAGE

BIJGEWOONDE BIJEENKOMSTEN

BLOM, Y.
HOGESCHOOL ROTTERDAM
Meteren



TITELPAGINA

Projectnaam Afstuderen
Modulecode civAF40
Begeleider E. Hoven
M. Kamps

Opdrachtgever Hogeschool Rotterdam
Gedelegeerd opdrachtgever

Gemaakt door Y. Blom – 0932045

Studie Civiele Techniek, IGO
Plaats Ridderkerk, Nederland

Datum 08/06/2020
Datum van inlevering 16/06/2020

Revisie	Datum	Beschrijving	Opgesteld	Gecontroleerd	Vrijgegeven
1.0	01/03/2020	Eerste versie	Blom, Y	Nee	Nee
1.1	08/06/2020	Toevoeging Dusseldorp/Struijk	Blom, Y	Ja	Ja
Project: AF					Revisie: 1.1

1 Inhoud

2	Inleiding	3
3	Bijgewoonde bijeenkomsten.....	4
3.1	Harmonisatie bijeenkomst – SVMS	4
3.2	VERAS/BNA bijeenkomst.....	4
3.3	Gesprek met P. Scheer – Dusseldorp	5
3.4	Gesprek met H. Lievaart – Struijk Groep.....	8

2 Inleiding

Gedurende mijn tijd bij VERAS heb ik de mogelijkheid gehad om een aantal bijeenkomsten bij te wonen die werden georganiseerd tussen de belangenvereniging en de leden. Dit document is opgesteld uit de belangrijkste punten die werden besproken om ze als bron te kunnen gebruiken voor het onderzoek.

Hoewel de tussenkomst van Corona een aantal van deze bijeenkomsten aan zich voorbij hebben moeten laten gaan is toch geprobeerd om een genuanceerd beeld te creëren van slopen en hergebruik door deze op afstand toch door te laten gaan.

3 Bijgewoonde bijeenkomsten

3.1 Harmonisatie bijeenkomst – SVMS

Dinsdag 11-02 vond bij het afstudeerbedrijf een harmonisatie bijeenkomst plaats waarbij wijzingen van de beoordelingsrichtlijn van SVMS werd besproken. De aanwezigheid van meerdere aangesloten partijen zorgde voor een breed scala aan kennis en discussie. Vooral doordat verschillende mensen een aparte kijk hebben op een inspectie en hoe er wordt beoordeeld binnen de richtlijn. Een voorbeeld wat werd aangedragen is het inzamelen van lichtbakken en armaturen. Hierbij dienen lichtbakken als blik te worden ingezameld bij hoeveelheden $> 1 \text{ m}^3$. Wat de aannemers zelf echter ook goed in de gaten hadden was dat als je de lichtbakken kleiner maakt er meer in 1 m^3 passen.

Zelf heb ik nog een bijdrage mogen leveren aan de gebruikte presentatie, hiervoor heb ik de lay-out wat aangepast zodat deze op alle dia's hetzelfde was.

Bij aanvang werd ook een informatieve presentatie gegeven door SGS met betrekking tot de chromo-6 discussie.

- + Veel verschillende partijen met verschillende achtergronden zorgt voor een levendige discussie
- + Zorg voor smart doelstellingen/items om te meten.
- Stem van te voren goed af wie wat doet aan de presentatie om dubbel werk te voorkomen
- Hoe meer mensen mee praten des te lastiger het is om besluiten te maken

3.2 VERAS/BNA bijeenkomst

Met een circulaire doelstelling komen in de toekomst slopers en architecten steeds dichterbij elkaar te liggen. De producten die de architect in zijn gebouw stopt worden aan het eind van de levensduur door de sloper weer teruggewonnen om vervolgens weer in een nieuw gebouw te kunnen toepassen. Deze praktijken worden in het dagelijkse leven ook al toegepast, maar de bekendheid is nog niet altijd even goed. Architecten gaven vooral aan dat zij nog niet altijd even goed weten waar ze de producten kunnen aanschaffen en welke sloopaannemer nu echt circulair is.

Slopers daar in tegen uitte veel kritiek op de toepassing van "rommel". Hiermee werden producten aangeduid die bestaan uit composieten. Deze zijn bij het slopen lastig af te voeren of her te gebruiken.

Beide partijen lieten zich positief uit over het inventariseren en creëren van digitale hub.

- + Om circulair te bouwen is coördinatie belangrijk, zorg dat vraag en aanbod elkaar kunnen vinden
- + Architect is leidend betreft materiaalkeuze, schone producten kunnen het best circulair worden ingezet.
- Huidige certificaten clashen met circulair bouwen door weinig ruimte aan eigen inbreng
- Lage kosten voor aanschaf nieuwe materialen hinderen toepassing teruggewonnen producten
- Bekendheid

3.3 Gesprek met P. Scheer – Dusseldorp

* Dusseldorp ligt aan de gang met hergebruik
(↳ 1,5 jaar geleden een soort marktplein)
architect-achtergrond uit te halen elementen hergebruikt.
↳ nu sloner als leverancier

oefen
op gebied
van materialen → - huls → verantwoordelijk voor kwaliteit hergebruik
garantie niet alleen op leveringsduur, maar ook weer hergebruiken

↓
fakultet-
matig
breukt de
weg.

* nodig zijn tests die het materiaal beschouwd
- beton wordt getest of geëxtrudeerd vanuit de grondstof
- testnormen toepassen op het hergebruikt materiaal

- leker ≠ materiaal verantwoordelijkheid
↳ afspraken maken over water met muderend gedaan
wordt

- aannemer brengt mensen met elkaar.
- terugkemen moet mogelijk zijn maar prijs zit in de weg

- demonteer - duur → transport ook weinig spacy
geen proces om het weer terug te brengen naar
bouwstof → aannemers zijn onverschillig wettelijke verplichting zit niet
hier

* subsidie stimuleert, geeft ruimte maar aannemer moet klaar
staan (komo afspraken)

van garantie afgeven
↳ samenstellen
met prijs

- sloper en duiker op het materiaal

aanemer = contractor

- kleine veranderingen in een bestaand proces meer levensvatbaar

hulp aanbieden in samenwerking, maar met producten die "redelijk" zijn

afhandelingen

hulp staat garant

↔ leverancier van hulp

↓

leveren voor verpakking

↓ langzaam uitbreiden
↓ met waarde toe

↓

leveren

↓

verkoopen.

'insert'

esthetisch niet onderwerpen?

markt acceptatie van producten

communicatie op voorhand
tergebruik is nog niet goedkoop

"refurbished electronics"

↳ CO₂ belasting
↳ arbeid minder belast

↳ markt verking

stem lopen - methode

enwi stimuleren

"vondatie wordt" negeerwen

↳ nog nie erg concreet

▽
?

- constructieve alles doorrekenend

↳ gaf aan glad wapeningssysteem voordelig

↳ sikewa zou minder gevolgen hebben

- veranderde maten me voor langbruik

- transfereren ?

- product is specifiek voor de situatie

- documentatie is belangrijk voor wapenen (doorzet voorstellen)

* architecten vrijheid in vorm blijft belangrijk, maar
mag meer leunen op materiaal leveranciers

↳ voor functie binnenproces belangrijk
huidige proces goed, maar mag kleine aanpassing
krygen

leverancier → architect - samenwerking

↑

had invoege belangrijk

3.4 Gesprek met H. Lievaart – Struijk Groep

* slopes krijgen geen rekening!

inslagen (dellaag)
afmetingen

sommige items eerder anders regelen

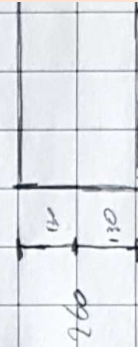
boxen staal hoger dan nieuwstaal
werkplegenheid + kwaliteit

geplouwe uitlopen kans klein

geld.

houden zich bezig met slopen
veel kennis op slopen, minder

handstof land



Items te veel naar industrie

gebouwen niet gebouwd
voor betonbouw

moda + innovatie

- onslag deur
- minder vraag

regionaal

1 Inhoud

2	Inspectie en kwaliteitsbepaling	2
2.1	Scores met betrekking tot hergebruik.....	3
2.2	Kwaliteitsbepaling	3
3	Stroomschema inspectie	6
4	Bibliografie.....	7

2 Inspectie en kwaliteitsbepaling

Voordat een vloer kan worden hergebruikt zal de kwaliteit moeten worden bepaald. Een van de mogelijkheden op het gebied van kwaliteitsbepaling zijn de inspecties volgens NEN 2767, maar gezien deze een algemene inspectie omschrijft wordt hier nader ingegaan op een aantal zaken die belangrijk zijn specifiek aan deze situatie. Dit hoofdstuk is onderdeel van het stroomschema inspectie.

De eerste stap in de inspectie is het visueel vaststellen van gebreken aan de vloer. Gegevens van deze inspectie zullen worden vastgelegd in tabellen die zijn georganiseerd op basis van de ernst van het gebrek. Deze gebreken zijn als volgt ingedeeld:

Ernst	Toelichting	Voorbeeld
Gering	Veroorzaakt geen afbreuk aan de functionaliteit van het bouwdeel	Luchtbelletjes, haarscheurtjes, verkleuring
Serius	Veroorzaakt degradatie aan het bouwdeel zonder de functionaliteit direct aan te tasten	Perforatie, vorst schade, carbonatatie
Ernstig	Veroorzaakt afbreuk aan de functionaliteit van het bouwdeel	Betonrot, brandschade

Table 1: Classificatie tabel ernst van gebreken (Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut, 2019)

Roestplekken op het beton dienen apart te worden genoteerd. De aanwezigheid van roest aan het oppervlak kan namelijk duiden op betonrot en dient nader te worden onderzocht.

Geringe gebreken					
Omvang \ Intensiteit	Incidenteel (2%)	Plaatselijk (2 tot 10%)	Regelmatig (10 tot 30%)	Aanzienlijk (30 tot 70%)	Algemeen ($\geq 70\%$)
Beginstadium	1	1	1	1	2
Gevorderd stadium	1	1	1	2	3
Eindstadium	1	1	2	3	4

Serieuse gebreken					
Omvang \ Intensiteit	Incidenteel (2%)	Plaatselijk (2 tot 10%)	Regelmatig (10 tot 30%)	Aanzienlijk (30 tot 70%)	Algemeen ($\geq 70\%$)
Beginstadium	1	1	1	2	3
Gevorderd stadium	1	1	2	3	4
Eindstadium	1	2	3	4	5

Ernstige gebreken					
Omvang \ Intensiteit	Incidenteel (2%)	Plaatselijk (2 tot 10%)	Regelmatig (10 tot 30%)	Aanzienlijk (30 tot 70%)	Algemeen ($\geq 70\%$)
Beginstadium	1	1	2	3	4
Gevorderd stadium	1	2	3	4	5
Eindstadium	2	3	4	5	6

Table 2: Scoringstabellen volgens NEN 2676 (Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut, 2019)

De scores die hier genoemd worden strekken van 1 – uitstekende conditie tot 6 – zeer slechte conditie. Een nadere omschrijving van wat de conditie precies inhoud is terug te vinden in NEN 2676 - hoofdstuk 4.

Verdere vastlegging van gegevens met betrekking tot hoeveelheden, locaties en verwerkingsmethodes zal worden vastgelegd middels een stoffeninventarisatie.

2.1 Scores met betrekking tot hergebruik

Desondanks dat het om een subjectief onderzoek gaat bepalen de scores wel of een voorwerp herbruikbaar is of niet. Dit in combinatie met de ernst van het gebrek laat zien of het mogelijk is om een element opnieuw toe te passen in een nieuwe constructie. Op basis hiervan is de volgende indeling gemaakt die een initiële kwalificatie bied voor hergebruik:

Score	Herbruikbaar	Omschrijving
1 2	Ja	Goede conditie, veroudering begint net zichtbaar te worden.
3 4	Ja, maar alleen na reparatie	Matige conditie, bouwdeelen tonen gebreken aan afwerkklagen of componenten. Lokale beschadigingen.
5 6	Nee	Zeer slecht, veroudering is onomkeerbaar geworden door grootschalige aantasting

Scores uit de range 1-2 zijn geschikt voor hergebruik waarvoor licht onderhoud nodig is. Het gaat hierbij om het opnieuw beschermen van de wapening die is vrijgekomen na het zagen en eventueel schoonmaken van het oppervlak.

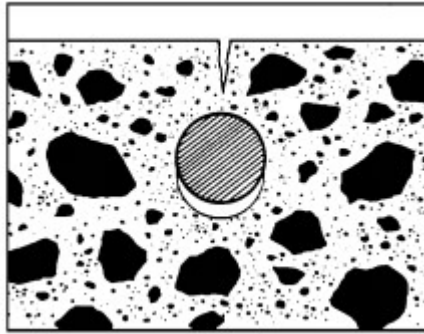
Scores uit de range 3-4 vertonen beginnende schade, maar nader onderzoek moet aantonen of het kan worden hergebruikt na herstel. Economische rendabiliteit zal in deze situatie medebepalend zijn bij de keuze of het materiaal zal worden hersteld en welke functie het toebedeeld krijgt.

Scores uit de range 5-6 zijn structureel dusdanig ver aangetast dat herstel niet meer mogelijk is zonder het volledige element te moeten vervangen. Deze reeks zal daarom worden afgekeurd voor hoogwaardig hergebruik, maar zou wel kunnen worden ge-downcycled.

Definitief hergebruik dient ten alle tijden te worden bepaald aan de hand van fysiek onderzoek doormiddel van sterkteproeven en non-destructief onderzoek middels de in hoofdstuk 7.2 beschreven methoden door een gecertificeerde instantie.

2.2 Kwaliteitsbepaling

Voordat iets over de kwaliteit van een product gezegd kan worden is het belangrijk om te meten wat de conditie van het desbetreffende onderdeel is. Met name in hergebruik van constructieve elementen is dit van groot belang al dan niet het belangrijkste. Deze meting hoofdzakelijk uit een visuele inspectie. Hieruit blijkt welke oppervlakkige schade er in de levensloop van een bouwwerk heeft plaats gevonden en of er een aanleiding is voor een vervolg onderzoek. Veelal volstaat een visuele inspectie voor bestaande constructies, echter om er zeker van te zijn dat de onderdelen ook in hun nieuwe functie niet bezwijken is er aanvullend onderzoek nodig. Oud bouw materiaal in nieuwe constructies moet immers voldoen aan huidige normering.

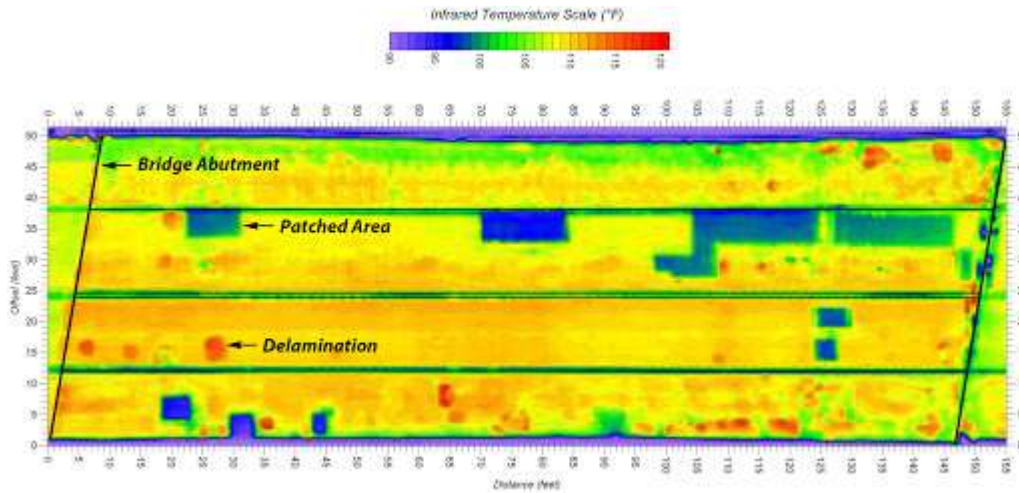


Figuur 1: Holle ruimte en betonscheur ten gevolgen van kruip (Portland Cement Association, 2002)

Welke testen toegepast zullen worden op de te slopen vloeren hangt samen met de aanvankelijke staat van de constructie, eerste inspectie toont wellicht een gebrek aan wat nader onderzocht dient te worden, maar ook op de mate van zekerheid die een sloopaannemer wil met betrekking tot kennis van het onderdeel. Het bouwbesluit en normen waarnaar deze verwijzen nemen zelf al genoeg als aangetoond kan worden dat het betonmengsel de juiste sterkte heeft middels voorgeschreven rekenmethode en drukproven. In de praktijk zegt dit echter nog niks over kruip en/of indringing van vloeistoffen.

Relevante onderzoeken naast de visuele inspectie, op eventueel scheurvorming/roestplekken/delaminatie, in willekeurige volgorde kunnen zijn:

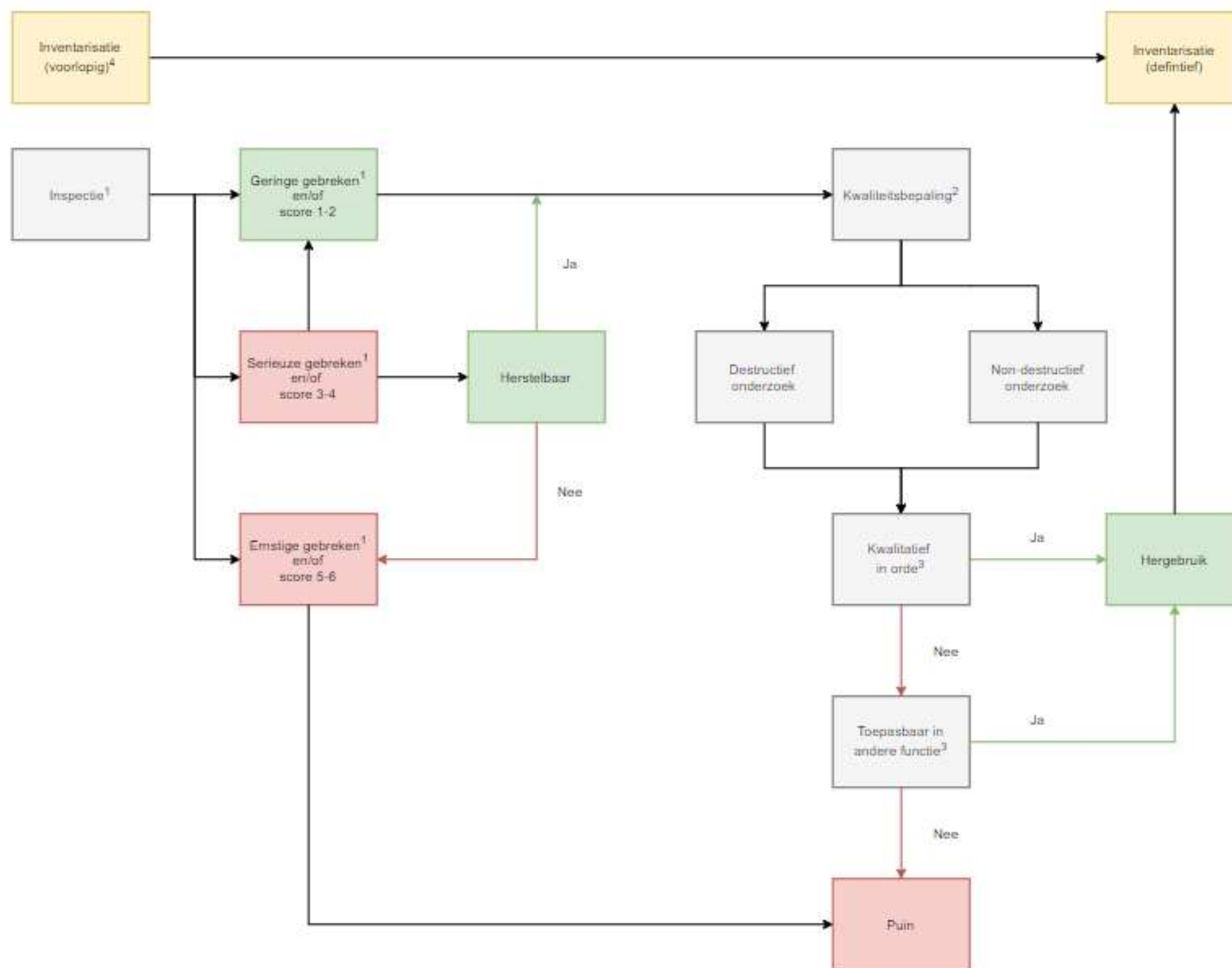
- **Kernboring:** Hierbij wordt met speciaal gereedschap een cilindervormig stuk beton uit de constructie gehaald (Sondex, 2020). Hieruit kan de laagopbouw/samenstelling, druk- en/of treksterkte, poreusheid en weerstand tegen chemicaliën worden bepaald. Deze methode is erg locatie afhankelijk en het deel waaruit de cilinder wordt gehaald is daarna niet meer her te gebruiken.
- **Pull-out test:** Het doel van deze test is om de trekweerstand van het beton te bepalen. Hierbij wordt er een metalen pin of ander bevestigingsmiddel in het beton geboord en wordt er gekeken hoeveel kracht het kost om deze weer los te trekken. Deze methode is eenvoudiger dan een lab-test om de sterkte te bepalen, maar wederom gaat er een deel van het element verloren.
- **Radiografisch/ultrasoon onderzoek:** Doormiddel van radio of geluidgolven kan er op locatie worden onderzocht of er zich holtes in het beton bevinden. Hoewel deze methode toe staat om het beton in-situ te onderzoeken kunnen de resultaten worden beïnvloed door de aanwezigheid van wapeningsstaven. (The constructor, 2020)
- **Grond penetrerende radar:** Indien er aanleiding voor is kunnen met behulp van radarsystemen worden bepaald waar en hoeveel wapening/kabels of leidingen er zich in het beton begeven. Deze methode is effectief, maar tegelijkertijd erg kostbaar. (Clu-in, 2020)
- **Infrarood thermografie:** Door gebruik te maken van het principe dat warmte langzamer stroomt in holtes kunnen scheuren en delaminatie worden opgespoord. De onderstaande infraroodfoto van een brugdek laat ook goed eerdere beschadigingen zien die opnieuw zijn afgewerkt. (Concrete Construction, 2020)



Figuur 2: Thermografie van een brugdek (Penetradar, 2020)

In de praktijk wordt regelmatig een combinatie van methodes toegepast. Een dergelijk voorbeeld is de SonReb methode waarbij de vloer wordt doorgemeten met behulp van geluidsgolven in combinatie met een terugslaghamer-test (Schmidt hamer). Onderzoek naar de juistheid en precisie van deze methode (Hannachi & Guetteche, 2012) laat zien dat het in veel gevallen een beter beeld van de constructie kan worden verkregen dan een laboratorium test doordat de test op meerdere locaties kan worden uitgevoerd zonder dat het materiaal zelf wordt aangetast tegen een redelijke prijs. Echter de relatie tussen de destructieve en non-destructieve methode moet nog nader worden uitgewerkt voordat het een vervanging kan bieden.

3 Stroomschema inspectie



1. Inspectie volgens NEN 2678

2. Bepalen van kwaliteit vloer doormiddel van tenminste 1x kernboring in maatgevende overspanning + aanvullend onderzoek door gecertificeerde instantie

3. Element dient te voldoen aan voorschriften bouwbesluit met betrekking tot nieuwe functie

4. Verzamelen oorspronkelijke documenten met betrekking tot het bouwwerk, indien de vloer chloridehoudende wilhardversnellers bevat niet geschikt voor hergebruik.

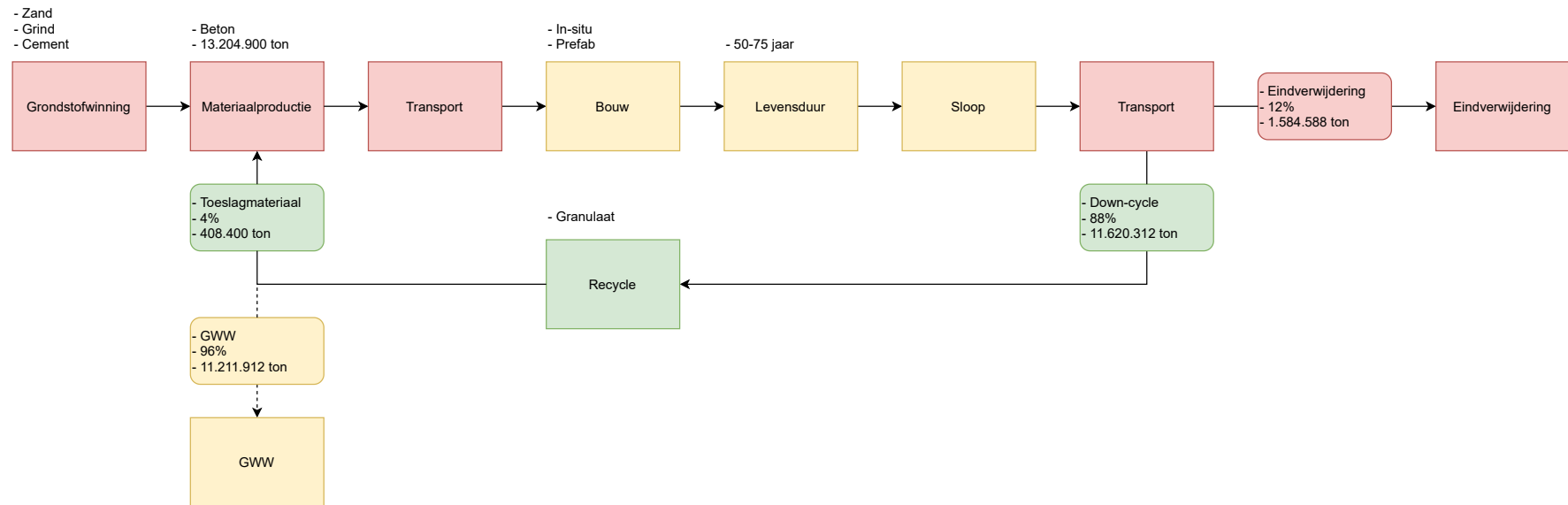
4 Bibliografie

- Clu-in. (2020, 02 18). *Ground Penetrating Radar*. Opgehaald van Clu-in: <https://clu-in.org/characterization/technologies/gpr.cfm>
- Concrete Construction. (2020, 02 18). *WHAT'S INFRARED THERMOGRAPHY?* Opgehaald van Concrete Construction: https://www.concreteconstruction.net/how-to/whats-infrared-thermography_o
- Ervas. (sd). *Brandschade*. Opgehaald van Ervas: <https://www.ervas.nl/betonrenovatie/problemen/brandschade>
- Hannachi, S., & Guetteche, M. N. (2012). *Application of the Combined Method for Evaluating the*. Constantine, Algeria: Civil Engineering Department, Faculty of Engineering Sciences, University Mentouri.
- Matthys, S., & Brosens, K. (2001). *STRUCTURELE VERSTERKING VAN BETONCONSTRUCTIES*.
- Namita. (2018, 3 3). *Strengthening of RCC beams*. Opgehaald van Civildigital: <https://civildigital.com/strengthening-of-reinforced-concrete-beam-rc-beam-methods/>
- Penetradar. (2020, 02 18). *Bridge Deck Inspection*. Opgehaald van Penetradar: http://penetradar.com/new/?page_id=359
- Portland Cement Association. (2002). *Types and Causes of Concrete Deterioration*. Skokie Illinois: Portland Cement Association.
- Sondex. (2020, 02 18). *Kernboring*. Opgehaald van Sondex: <https://www.sondex.be/nl/diensten/kernboringen.htm>
- Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut. (2019). *NEN 2767-1+C1: Conditiemeting gebouwde omgeving - Deel 1:*. NEN Connect.
- The constructor. (2020, 02 18). *BASIC METHODS FOR NDT OF CONCRETE STRUCTURES*. Opgehaald van The constructor: <https://theconstructor.org/practical-guide/basic-methods-for-ndt-of-concrete-structures/10694/>
- The constructor. (2020, 02 20). *Strengthening of Concrete Structures and When its Required?* Opgehaald van The constructor: <https://theconstructor.org/structures/strengthening-concrete-structures/1576/>
- Von Fay, K. F. (2015). *Guide To Concrete Repair*. U.S. Department of the Interior.
- Wan-Wendner, R. (2018). *Aging concrete structures: A review of mechanics and concepts*. Gent: Universiteit Gent.
- Wewin Inge, A., Nugroho, S., & Njo, H. (2018). *Strengthening method of concrete structure*. Medan, Indonesia: Architecture Department, Faculty of Engineering, Universitas Sumatera.
- Wikipedia. (2018, 6 5). *Carbonatatie*. Opgehaald van Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Carbonatatie>

Gebouwtype	Aantal	Locatie	Vloertype	Type element	Aantal	Vloeroppervlak (m2)	Vloerdikte (m)	Totaal oppervlak per gebouw (m2)	Inhoud per gebouw (m3)	Totaal oppervlak (m2)
2 onder 1 kap		Vloer op grondslag	-		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Beganegrondvloer	Element	Dycore 260	1,00	134,00	0,26	134,00	-	0,00
		Verdiepingsvloer	Element	Breedplaat	2,00	120,50	0,06	241,00	14,46	0,00
			Druklaag		2,00	120,50	0,16	241,00	38,56	0,00
Apartementgebouw	10400	Vloer op grondslag	-		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Beganegrondvloer	Ribben		1,00	553,00	0,32	553,00	176,96	5751200,00
		Verdiepingsvloer	Element	Breedplaat	2,00	412,50	0,06	825,00	49,50	8580000,00
				Druklaag	2,00	412,50	0,22	825,00	181,50	8580000,00
		Dak	Element	Breedplaat	1,00	317,00	0,06	317,00	19,02	3296800,00
		Druklaag	1,00	317,00	0,22	317,00	69,74	3296800,00		
Bedrijfshal met kantoor	400	Vloer op grondslag	In werk gestort		1,00	3090,00	0,30	3090,00	927,00	1236000,00
		Beganegrondvloer	Element	Dycore 260	1,00	208,00	0,26	208,00	-	83200,00
		Verdiepingsvloer	Element	Kanaalplaat AB-FAB	1,00	208,00	0,25	208,00	-	83200,00
		Dak	Element	Kanaalplaat AB-FAB	1,00	205,00	0,20	205,00	-	82000,00
Brede school		Vloer op grondslag	-		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Beganegrondvloer	Element	Dycore 260	1,00	1245,00	0,26	1245,00	-	0,00
		Verdiepingsvloer	Element	Breedplaat	1,00	1067,00	0,05	1067,00	53,35	0,00
			Druklaag	1,00	1067,00	0,22	1067,00	234,74	0,00	
		Dak	Element	Breedplaat	1,00	128,00	0,06	128,00	7,68	0,00
			Element	Breedplaat	1,00	1022,00	0,06	1022,00	61,32	0,00
		Druklaag	1,00	1022,00	0,18	1022,00	183,96	0,00		
Distributiecentrum	30	Vloer op grondslag	In werk gestort		1,00	20217,00	0,25	20217,00	5054,25	606510,00
		Beganegrondvloer	Element	Dycore 200	1,00	496,00	0,20	496,00	-	14880,00
		Verdiepingsvloer	Element	Kanaalplaat AB-FAB	1,00	793,00	0,20	793,00	-	23790,00
		Dak	Element	Kanaalplaat AB-FAB	1,00	1369,00	0,20	1369,00	-	41070,00
Kantoor groot		Vloer op grondslag	-		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Beganegrondvloer	Element	Dycore 260	1,00	828,00	0,26	828,00	-	0,00
		Verdiepingsvloer	Element	Kanaalplaat AB-FAB	2,00	839,00	0,20	1678,00	-	0,00
		Dak	Element	Kanaalplaat AB-FAB	1,00	839,00	0,20	839,00	-	0,00
Kantoor klein	470	Vloer op grondslag	-		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Beganegrondvloer	Element	Dycore 260	1,00	345,00	0,26	345,00	-	162150,00
		Verdiepingsvloer	Element	Kanaalplaat AB-FAB	1,00	377,00	0,20	377,00	-	177190,00
		Dak	Element	Kanaalplaat AB-FAB	1,00	389,00	0,20	389,00	-	182830,00
Rijwoning	10600	Vloer op grondslag	-		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Beganegrondvloer	Element	Dycore 260	1,00	395,00	0,26	395,00	-	4187000,00
		Verdiepingsvloeren	Element	Breedplaat	1,00	395,00	0,06	395,00	23,70	4187000,00
				Druklaag	1,00	395,00	0,16	395,00	63,20	4187000,00
		Dak	-		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VO school	85	Vloer op grondslag	-		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Beganegrondvloer	Element	Dycore 260	1,00	2531,00	0,26	2531,00	-	215135,00
		Verdiepingsvloeren	Element	Kanaalplaat AB-FAB	1,00	2606,00	0,38	2606,00	-	221510,00
		Dak	Element	Kanaalplaat AB-FAB	1,00	1933,00	0,32	1933,00	-	164305,00
Vrijstaande woning		Vloer op grondslag	In werk gestort		1,00	27,00	0,15	27,00	4,05	0,00
		Beganegrondvloer	Ribben		1,00	99,00	0,18	99,00	17,82	0,00
		Verdiepingsvloeren	Element	Breedplaat	1,00	153,00	0,06	153,00	9,18	0,00
			Druklaag	1,00	153,00	0,12	153,00	18,36	0,00	
		Dak	-		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Winkel met appartementen	100	Vloer op grondslag	-		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Beganegrondvloer	Element	Dycore 260	1,00	587,00	0,26	587,00	-	58700,00
		Verdiepingsvloeren	Element	Breedplaat	1,00	1324,00	0,06	1324,00	79,44	132400,00
				Druklaag	1,00	1324,00	0,22	1324,00	291,28	132400,00
		Dak	-		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Woonzorgcentrum	95	Vloer op grondslag	-		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Beganegrondvloer	Element	Dycore 260	1,00	664,00	0,26	664,00	-	0,00
		Verdiepingsvloeren	Element	Breedplaat	1,00	1282,00	0,06	1282,00	76,92	0,00
				Druklaag	1,00	1282,00	0,24	1282,00	307,68	0,00

Gewicht per gebouw (kg)	CO2 vrijgekomen bij productie (kg)	Totaal CO2 productie (ton)	Verlies	Rest inhoud (m3)	Oppervlak totaal (m2)	CO2 productie (kg)	CO2 herwinning (ton)	CO2 besparing (kg)
0,00	0,00	9,25	0,93	0,00	0,00	0,00	1,44	0,00
50786,00	4990,96		0,93	19,88	76,46	848,81		4142,16
34356,96	3376,41		0,95	13,74	228,95	586,57		2789,84
9003,76	884,84		0,00	0,00	0,00	0,00		884,84
0,00	0,00	115,98	0,93	0,00	0,00	0,00	7,31	0,00
420456,96	41320,16		0,60	106,18	331,80	4533,72		36786,44
117612,00	11558,25		0,95	47,03	783,75	2007,97		9550,28
431244,00	42380,25		0,00	0,00	0,00	0,00		42380,25
45191,52	4441,17		0,95	18,07	301,15	771,55		3669,62
165702,24	16284,29		0,00	0,00	0,00	0,00		16284,29
2202552,00	216454,50	237,65	0,93	862,11	2873,70	36812,10	40,42	179642,40
78832,00	7747,17		0,93	30,86	118,68	1317,55		6429,62
78832,00	7747,17		0,93	30,86	123,42	1317,55		6429,62
58015,00	5701,39		0,93	22,71	113,54	969,63		4731,76
0,00	0,00	172,71	0,93	0,00	0,00	0,00	12,85	0,00
471855,00	46371,27		0,93	184,69	710,35	7886,29		38484,98
126759,60	12457,23		0,95	50,68	1013,65	2164,14		10293,08
557742,24	54811,79		0,00	0,00	0,00	0,00		54811,79
18247,68	1793,28		0,95	7,30	121,60	311,54		1481,74
145696,32	14318,22		0,95	58,25	970,90	2487,45		11830,77
437088,96	42954,66		0,00	0,00	0,00	0,00		42954,66
12008898,00	1180167,38	1254,09	0,93	4700,45	18801,81	200709,32	213,28	979458,05
140368,00	13794,58		0,93	54,94	274,71	2346,02		11448,56
224419,00	22054,64		0,93	87,84	439,20	3750,80		18303,84
387427,00	38074,16		0,93	151,64	758,22	6475,22		31598,94
0,00	0,00	100,84	0,93	0,00	0,00	0,00	17,15	0,00
313812,00	30839,69		0,93	122,83	472,42	5244,86		25594,83
474874,00	46667,96		0,93	185,87	929,36	7936,75		38731,21
237437,00	23333,98		0,93	92,94	464,68	3968,38		19365,61
0,00	0,00	34,15	0,93	0,00	0,00	0,00	5,81	0,00
130755,00	12849,87		0,93	51,18	196,84	2185,36		10664,51
106691,00	10485,00		0,93	41,76	208,80	1783,17		8701,83
110087,00	10818,74		0,93	43,09	215,45	1839,93		8978,81
0,00	0,00	35,00	0,93	0,00	0,00	0,00	3,46	0,00
149705,00	14712,17		0,93	58,60	225,37	2502,08		12210,09
56311,20	5533,95		0,95	22,52	375,25	961,39		4572,56
150163,20	14757,20		0,00	0,00	0,00	0,00		14757,20
0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
0,00	0,00	308,66	0,93	0,00	0,00	0,00	52,49	0,00
959249,00	94269,63		0,93	375,46	1444,09	16032,30		78237,33
1329060,00	130612,59		0,93	520,21	1368,98	22213,09		108399,50
852453,00	83774,32		0,93	333,66	1042,69	14247,37		69526,94
9622,80	945,68	11,54	0,93	3,77	25,11	160,83	0,99	784,85
42340,32	4160,97		0,60	10,69	59,40	456,55		3704,42
21811,68	2143,53		0,95	8,72	145,35	372,39		1771,14
43623,36	4287,06		0,00	0,00	0,00	0,00		4287,06
0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
0,00	0,00	108,43	9,30	0,00	0,00	0,00	6,94	0,00
222473,00	21863,40		0,93	87,08	334,92	3718,28		18145,13
188749,44	18549,24		0,95	75,47	1257,80	3222,48		15326,76
692081,28	68013,88		0,00	0,00	0,00	0,00		68013,88
0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
0,00	0,00	114,54	0,93	0,00	0,00	0,00	19,54	0,00
251656,00	24731,35		0,93	98,50	378,85	4206,02		20525,32
182761,92	17960,82		0,95	73,07	1217,90	3120,26		14840,56
731047,68	71843,28		0,93	286,14	1192,26	12218,28		59625,00

CO2 besparing totaal (ton)	Herbruikbaarheidsscore
7,82	
108,67	
197,23	
159,86	
1040,81	
83,69	
28,35	
31,54	
256,16	
10,55	
101,49	
94,99	



*T200 bron icm materiaalstromen

