



Hergebruik van geprefabriceerde betonnen welfsels

Een technisch-economische analyse op basis van het Europese hergebruiklandschap

Hergebruik van geprefabriceerde betonnen welfsels: een technisch-economische analyse op basis van het Europese hergebruiklandschap.

Gilles Vandenbussche

Studentennummer: 02110954

Promotoren: prof. dr. Lionel Devlieger, prof. Raf De Preter

Begeleiders: dr. ir. Tim soetens (Sanacon), Raf Geysen

Masterproef voorgelegd voor het behalen van de graad Master of Science in de ingenieurswetenschappen: architectuur -
architectuurontwerp en bouwtechniek

Academiejaar 2025-2026

Voorwoord

De bevreesde blikken die ik stevast krijg wanneer ik mijn passie voor beton deel met mensen buiten de bouwsector, dwongen me tot reflectie: waarom roept dit materiaal zoveel weerstand op? Hoewel de milieupact van beton algemeen bekend is, ontstaat de vraag in hoeverre we afstand moeten doen van een door de mens geperfectioneerd materiaal dat we al eeuwenlang toepassen. Veel kritiek richt zich op een gebrek aan duurzaamheid, terwijl de definitie van dat begrip vaak onvolledig wordt geïnterpreteerd. In mijn visie stoelt duurzaamheid op twee pijlers: een duurzame productie en een duurzaam gebruik. Dat laatste draait om het maximaliseren van de levensduur, ongeacht de initiële emissies. Een milieuvriendelijk productieproces verliest immers zijn waarde als een constructie na slechts tien jaar wordt afgebroken. Ik ben ervan overtuigd dat de intrinsieke kwaliteiten van beton essentieel blijven voor onze maatschappij, mits we ze inzetten voor de lange termijn. Gezien de huidige sloopwoede in onze omgeving, geldt de cruciale vraag: kunnen we principes van circulair hergebruik koppelen aan beton en betonelementen een tweede leven geven?

Deze masterproef kon niet tot stand komen zonder de steun en expertise van enkele belangrijke personen. In de eerste plaats gaat mijn oprechte dank uit naar mijn promotor, prof. dr. Lionel Devlieger, voor de vrijheid in het uitwerken van mijn eigen onderzoeksthema. Ook mijn copromotor, prof. Raf De Preter, wil ik bedanken voor de deskundige begeleiding en het kritisch meedenken gedurende dit onderzoek. Tijdens het onderzoekstraject kwamen twee personen op mijn pad wiens expertise en visie zo nauw aansloten bij mijn onderwerp, dat ik hen uitnodigde om betrokken te worden bij deze masterproef. Ik wil dr. ir. Tim Soetens, medeoprichter van Sanacon, en Raf Geysen, medeoprichter van architectenbureau Babini Geysen, dan ook hartelijk bedanken voor hun bereidheid om hun kennis te delen en voor de stimulerende gesprekken die de richting van dit onderzoek mede hebben bepaald. Daarnaast bedank ik Alice Babini voor de kans om mee te werken aan twee projecten rond hergebruik van betonelementen. Haar begeleiding op het bureau Babini Geysen maakte me duidelijk dat de praktische uitwerking van betonelementhergebruik uitdagender is dan de theoretische basis.

Ook bedank ik Timothy Debaets, Directeur Uitvoering bij Groep Versluys, voor zijn praktische inzichten in de kosten en de uitvoering van het oogsten en hergebruiken van holle welfsels. Zijn bijdrage heeft geleid tot het formuleren van realistische en praktijkgerichte conclusies. Het concretiseren van hergebruik van holle welfsels en het uitwerken van demontabele bouwdetails vereist de nodige technische onderbouwing. In dat kader bedank ik Jeroen Vander Beken, Managing Director en partner bij Ney & Partners, voor zijn waardevolle feedback op mijn berekeningen en zijn diepgaande inzichten in dit thema.

Tot slot wil ik een aantal mensen bedanken die in hun eigen ogen wellicht een bescheiden rol hebben gespeeld, maar wiens bijdrage voor mij van onschatbare waarde was. Hierbij een bedanking aan Marc-Antoine de Callatay (Coliseum), prof. dr. ir. Robby Caspeele (Universiteit Gent), Bruno De Maegd (Cobe Ingenieurs), Sven De Meuter (Grond- en afbraakwerken De Meuter), Bart Hendriks (Febe), Bregt Hoppenbrouwers (BC materials), Jan Mannaerts (360 Architecten), Joshua Marysse (SBE), Elisabeth Nijs (M-gineers), René Plaggenburg (Dusseldorp), Anne-Mieke Poppe (Abetec) en Michael Sanchez Velasquez (Buildwise). Bijkomend wil ik Sofie Vanderstraeten bedanken voor het broodnodige nalees- en verbeterwerk.

Ik hoop dat deze masterproef met belangstelling gelezen wordt en een waardevol startpunt vormt voor verder onderzoek naar het hergebruik van betonelementen.

Gilles Vandenbussche, 28 mei 2026

Toelating tot bruikleen

De auteur geeft de toelating om deze masterproef voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de masterproef te kopiëren voor persoonlijk gebruik.

Elk ander gebruik valt onder de bepalingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze masterproef.

28 mei 2026

Gilles Vandenbussche

The author gives permission to make this master dissertation available for consultation and to copy parts of this master dissertation for personal use.

In all cases of other use, the copyright terms have to be respected, in particular with regard to the obligation to state explicitly the source when quoting results from this master dissertation.

28 May 2026

Gilles Vandenbussche

Deze masterproef vormt een onderdeel van een examen. Eventuele opmerkingen die door de beoordelingscommissie tijdens de mondelinge uiteenzetting van de masterproef werden geformuleerd, werden niet verwerkt in deze tekst.

This master's dissertation is part of an exam. Any comments formulated by the assessment committee during the oral presentation of the master's dissertation are not included in this text.

Overzicht

Hergebruik van geprefabriceerde betonnen welfsels: een technisch-economische analyse op basis van het Europese hergebruiklandschap

Auteur: Gilles Vandenbussche
Promotoren: prof. dr. Lionel Devlieger
Prof. Raf De Preter
Begeleiders: dr. ir. Tim Soetens (Sanacon)
Raf Geysen

Masterproef voorgelegd voor het behalen van de graad Master of Science in de ingenieurswetenschappen:
architectuur – architectuurontwerp en bouwtechniek

Universiteit Gent

Academiejaar 2025 – 2026

Abstract

Hoewel de roep om circulair bouwen in de academische wereld steeds luider klinkt, blijft de praktische uitvoering vaak beperkt tot de herwaardering van niet-structurele materialen. Waarom laten we de grootste kansen op verduurzaming onbenut? Gezien de enorme milieu-impact van beton en de aanhoudende vroegtijdige sloop van gebouwen, is het essentieel om de stap naar het hergebruiken van structurele elementen te zetten. Deze masterproef richt zich specifiek op het hergebruikpotentieel van geprefabriceerde betonnen holle welfsels, die door hun groot aandeel in de structurele massa van Belgische gebouwen een cruciaal aandachtspunt vormen binnen de circulaire economie.

Het onderzoek brengt eerst de huidige stand van zaken van betonelementhergebruik in Europa in kaart. Op basis van deze analyse en inbreng door instanties in de constructiesector is een praktisch stappenplan ontwikkeld om de technische en economische haalbaarheid van het oogsten en hergebruiken van holle welfsels aan te tonen. Het resultaat is een beslissingsdiagram dat niet alleen toepasbaar is op welfsels, maar ook ontwerpprincipes aanreikt voor andere betonelementen. Verschillende hergebruiktrajecten resulteren in een lagere kostprijs per eenheid, waardoor het hergebruiken van betonelementen in deze scenario's economisch competitief wordt. Om de cirkel volledig te sluiten, besluit het onderzoek met concrete voorstellen voor demontabele bouwdetailering, waardoor de geoogste elementen ook in de toekomst eenvoudig opnieuw inzetbaar blijven.

Kernwoorden - circulair bouwen, demontabel bouwen, economische haalbaarheid, holle welfsels, hoogwaardig hergebruik, stappenplan

Reuse of precast concrete hollow-core slabs: a technical and economic analysis based on the European reuse landscape

Gilles Vandenbussche

Supervisors: prof. dr. Lionel Devlieger, prof. dr. Raf De Preter, dr. ir. Tim Soetens, Raf Geysen

Abstract – Although the call for circular construction is growing ever louder in academic circles, practical implementation often remains limited to the reuse of non-structural materials. Why are we failing to capitalise on the greatest opportunities for sustainability? Given the enormous environmental impact of concrete and the constant premature demolition of buildings, it is essential to take the step towards reusing structural elements. This research focuses specifically on the reuse potential of prefabricated hollow core slabs, which, due to their significant share in the structural mass of Belgian buildings, represent a crucial focus area within the circular economy.

The research first maps out the current situation regarding the reuse of concrete elements in Europe. Based on this analysis and input from bodies in the construction sector, a practical step-by-step plan is developed to demonstrate the technical and economic feasibility of harvesting and reusing hollow core slabs. The result is a decision tree that is not only applicable to hollow core slabs but also provides design principles for other concrete elements. Various reuse pathways result in a lower cost per unit, making the reuse of concrete elements economically competitive in specific cases. To complete the cycle, the research concludes with concrete proposals for demountable construction detailing, ensuring that the harvested elements remain easily reusable in the future.

Keywords – circular construction, demountable construction, economic viability, hollow core slabs, high-quality reuse, step-by-step plan

I. INTRODUCTION

‘You must build sustainably!’, ‘You must reuse materials as much as possible!’ and ‘Demolition is the absolute last resort; it is ethically irresponsible!’ are statements that professors have been all too keen to ram down our throats in recent years, driven by the need to reduce the world’s carbon footprint. In many cases, the discussion stops here, leaving students with the pressure and responsibility to transform conventional building practice. The reuse of non-structural materials, such as bricks, roof tiles and paving slabs, is gaining popularity. But what if we dare to think further? Buildings consist of more than just these materials. What about the load-bearing structure? Load-

bearing concrete structures are found in abundance everywhere, and yet very little tangible action has been taken regarding the reuse of concrete elements per se, compared to the gigatonnes of concrete in the world.

Since 1990, the Belgian cement industry has consistently produced around six million tonnes of cement annually, with recent figures climbing to over seven million tonnes. In perspective, these figures represent a per capita cement consumption of roughly 620 kg per year in Belgium [1]. From a European perspective, cement production is one of the most carbon-intensive processes, with the industry’s total annual greenhouse gas emissions reaching approximately 114 million tonnes [2]. The global concrete production increased by a factor of seven between 1970 and 2017 [3]. Global concrete production reaches approximately 26 gigatonnes annually, requiring 4 gigatonnes of cement, 20 gigatonnes of aggregates and 2 gigatonnes of water. Production-related carbon emissions have tripled over the last three decades, reaching around 3,100 megatonnes in 2020. Cement production accounts for 86% of these total emissions [4]. As a result, carbon emissions related to cement and concrete accounts for 8% of global greenhouse gas emissions [5].

Rising emission figures and the increasing frequency of climate-related disasters have made the shift toward reuse undeniable. This transition marks a return to a practice that was largely abandoned in the wake of the Industrial Revolution and the rise of mass production during wartime [6]. Concrete production accounts for a significant proportion of global CO₂ emissions, meaning that conventional demolition practices, which take place regardless of a building’s remaining lifespan, are not a sustainable choice [7]. In addition to keeping buildings in use for as long as possible – which is not always feasible – concrete elements can be harvested with a view to reuse. Given that concrete floor slabs account for the largest proportion of the structural mass [3], and that prefabricated hollow core slabs are widely used in the Belgian construction sector [8], they are the focus of this master’s thesis.

II. METHODOLOGY

Through studying publications and conducting interviews, a representative list of European projects is obtained where structural and non-structural concrete was reused. Belgian cases in specific will be identified by sending a structured email to architectural and engineering firms, circular advisors and institutions like Buildwise or FEBE. Information about the cases is formatted to obtain a clear and uniform factsheet from which conclusions can be drawn. In total, 24 projects are registered and analysed to identify the limiting factors and upscaling potentials for reusing concrete elements. A key research question is: to what extent is the reuse of structural concrete elements currently integrated within the European construction sector, and which technical, organisational and policy-related factors within existing projects and frameworks act as catalysts or barriers to wider market uptake? The results are used as basic knowledge during this master's thesis and are exploited in a practical reuse plan.

To ensure practical relevance of this study, the technical and economic feasibility of harvest and reuse of prefabricated hollow core slabs is investigated. Since these elements already reduce environmental impact by saving up to 50% concrete through their cores [9], extending their service life is a logical step to fully maximize their sustainable potential. In 2024, around 1.4 million square meters of reinforced and 2.3 million square meters of prestressed hollow core slabs were produced in Belgium alone. Consequently, they hold the largest market share among structural flooring systems [10]. To explore their reuse potential, a practical step-by-step decision tree has been designed, covering the entire process from the initial idea to the final new project. Reflecting current building practices, a specific cost is associated with each step. This allows for the examination of different trajectories and the calculation of their respective total cost. Based on the results, alternative approaches are developed to make certain trajectories more competitive with conventional building methods. The research part investigates how a standardised step-by-step plan for the harvesting, testing and reuse of hollow core slabs contribute to the technical reliability and economic competitiveness of circular construction projects.

III. RESULTS

The representative list of European cases in concrete element reuse can be divided into three main categories: 1) competition based, 2) government-commissioned and 3) university projects. All of them are executed out of ecological conviction and not because of economic competitiveness. However, these projects investigate the economic feasibility of upscaling this practice. By applying the timeline described by Célia Küpfer [3], the projects can be positioned between the development and diversification periods. As such, they are essential to the transition toward upscaling and mainstreaming concrete element reuse. The current economic situation is a

representation of where society stands in concrete reuse. Studies predict that continued research and future projects will lead to a more mainstream and economically feasible approach by 2035 (M. S. Velasquez, personal communication, 12 December 2025).

No correlation is found between the element type and the likelihood of it being harvested. The cases do prove that the reuse of concrete elements is technically and logistically viable. Furthermore, the availability of technical documentation and component catalogues facilitates the design process using harvested elements. Given that this is common practice among the competition-based projects in the list, such competitions can serve as a catalyst for mainstream adoption. On the other hand, the governmental framework in which projects take place has a major impact on their future potential. In that respect, the influence of governmental institutions such as Rijkswaterstaat in the Netherlands should not be underestimated. This institution has arguably been instrumental in scaling up the reuse of concrete elements, particularly prestressed bridge girders, by providing funding, raising awareness and offering practical support. Their goal of becoming fully circular by 2030 is being pursued with great seriousness.

The information and insights gathered in the orienting study serve as the basis for a step-by-step decision diagram for the reuse strategy of prefabricated hollow core slabs. In combination with practical guidance from industry professionals, the diagram is versatile and easy to understand. Every step is explained and provided with specific calculation methods to prove its feasibility. Since full-depth concrete cutting is one of the most cost-intensive steps, an economically competitive alternative has been developed. The cost of each activity is sourced from current industry practice to ensure that the conclusions are directly applicable to the sector.

The diagram is financially evaluated for two specific cases, both across three different floor areas: a house of 120 m², 200 m² and 300 m², and an office- or industry building of 2044 m², 3052 m² and 4060 m². Particularly in large-scale projects, certain reuse trajectories are economically competitive with conventional construction methods. Despite the need for expensive testing, weight-related lifting costs, and the increased transport requirements, the total cost per square meter remains surprisingly low. One explanation lies in economies of scale: in large-scale projects, fixed costs - such as setup fees for a single activity or a single activity per population - are spread across a much larger number of elements than in small-scale projects.

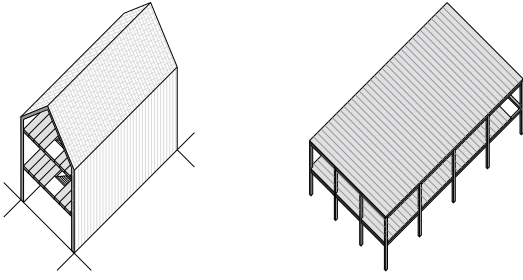


Figure 1: *Left: reference case of house; right: reference case of office-or industrial building.*

Transport distance logically has a significant impact on the overall cost, resulting in a much more competitive total cost when harvested elements are transported directly to a new project. Not only are transportation costs eliminated, but the need for storage expenditures is also obviated. To minimize waste and maintain structural integrity, this research proposes keeping the compressive layer. This is especially viable for larger elements, for which the added weight of the topping is proportionally less significant, leading to greater cost-efficiency. In conclusion, the designed step-by-step decision diagram performs optimally for large-scale projects, resulting in costs that are economically competitive with conventional building practices.

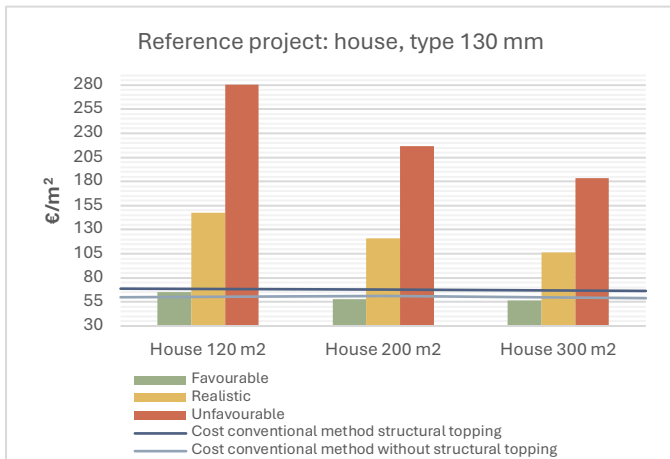


Figure 2: *Total costs of reuse for reference project: house, type 130 mm.*

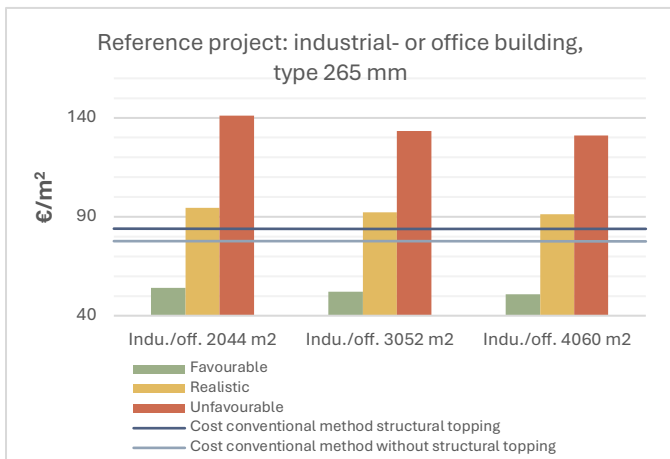


Figure 3: *Total costs of reuse for reference project: industrial- or office building, type 265 mm.*

After evaluating the above trajectories, including cost associated with each step, certain opportunities for optimisation emerge. Alternative approaches can be developed based not only on technical requirements but also on an organization's risk appetite. In small-scale projects, load testing can be omitted from the harvesting trajectory to significantly reduce total costs. However, this results in a greater uncertainty regarding capacity, as one must rely solely on technical documentation or original calculations. Since only a small number of hollow-core slabs is harvested in this case, the risk exposure is limited to this specific batch. In case of a bigger slab population, the cost of a test load is spread over more individual components and economically more feasible. Alternatively, in combination with the increased risk, the harvested elements can be reused in the safest load category. As a result, high-level reuse is not implemented as safety considerations are prioritised. A balance must be struck between the additional cost of conducting the trial and the loss of capacity that remains unused.

For small-scale projects, one economically competitive trajectory – compared to conventional building practices – while also ensuring safety in terms of structural capacity assessment, involves in situ test loading of harvested elements followed by direct transport to the new project site. In this way, additional transportation to a test site or to the storage facility is avoided, while the structural capacity is determined or validated through testing. Consequently, the expenditure for renting the storage facility is rendered redundant. This rationale aligns with the favourable trajectory, which – across all reference projects – demonstrates a significant divergence from the realistic trajectory wherein storage costs were accommodated. Lastly, the storage facility is to be seen as a builders' merchant for harvested structural concrete components. This concept enables the development of different business models.

IV. CONCLUSIONS

The cost per square meter of a conventional construction trajectory – including demolition, transport of concrete waste, landfill charges and the production of new hollow-core slabs – is compared with the outcome of economic analysis of the circular trajectory. Given the projected increase in carbon taxes which are applied directly to the carbon content of used fossil fuels [11], the current cost gap between specific reuse trajectories and conventional fabrication and demolition practices is expected to close, making the proposed model highly competitive in the near future. Additionally, cement prices are projected to increase by approximately 70% over the coming years (T. Debaets, personal communication, 4 May 2026), which is expected to drive the construction industry toward more innovative practices and large-scale reuse.

The designed decision tree finds its strength in its completeness, as it accounts for specific activities that fall

outside standard routines and it forms as the backbone of a comprehensive reuse trajectory, spanning from the initial concept to final construction details. A particularly impactful section focuses on the financial feasibility of harvesting hollow-core slabs, which is validated through simulations of six reference projects, demonstrating its potential for practical application in specific situations.

Given the positive results of the reuse trajectories for industrial or office buildings, the next logical step is to validate the theoretical phases of the activity diagram through practical application. Current cases reveal a lack of standardized methods for harvesting, testing and reusing structural components, highlighting the practical relevance of the proposed step-by-step decision diagram. Making the diagram mainstream could lead to a more integrated and systematic approach of harvesting components in a safe way. The societal relevance of this master's thesis is rooted in the urgent need to transition towards a circular economy within the construction sector.

Further research should focus on exploring potential and viable business models within the circular economy, enabling profitability to be aligned with ecologically sustainable practices. Establishing a mainstream vision for reuse in cases where preserving the original structure is not feasible, will provide an exciting new dimension to the construction industry. Over time new standards, regulations and practices will drive the development of a sustainable and viable construction sector contributing to the greater good of society.

V. REFERENCES

- [1] Febelcem, 'Jaarverslag van de Belgische cementnijverheid', Brussel, België, jaarverslag, 2023.
- [2] A. Ruggiero, 'Concrete solutions for decarbonising the EU's cement sector', Carbon Market Watch, oplossingsstrategie, 2022.
- [3] C. M. Küpfer, 'Reuse of concrete elements in architecture: characterisations and design methods for sustainable structures', PhD-proefschrift, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Zwitserland, 2024.
- [4] T. Watari, Z. Cao, A. C. Serrenho, and J. Cullen, 'Growing role of concrete in sand and climate crises', *iScience*, vol. 26, no. 5, p. 106782, 2023, doi: 10.1016/j.isci.2023.106782.
- [5] Global Cement and Concrete Association, 'Cement & Concrete Industry Net Zero Action & Progress Report 2025/26', Londen, Verenigd Koninkrijk, progressierapport, 2025. [Online]. Available: https://gccassociation.org/wp-content/uploads/2025/11/GCCA_ProgressReport_2025_AW_FINAL.pdf
- [6] M. Ghyoot, L. Devlieger, L. Billiet, and A. Warnier, 'Deconstruction and reuse', Université catholique de Louvain, Brussel, België, praktisch rapport, 2018.
- [7] R. Charef, J.-C. Morel, and K. Rakhshan, 'Barriers to Implementing the Circular Economy in the Construction Industry: A Critical Review', *Sustainability*, vol. 13, no. 23, p. 12989, 2021, doi: 10.3390/su132312989.
- [8] FebeFloor, 'Vloerelementen, holle welfsels - vloeren met balken en vulelementen - geribde vloerelementen', België, technisch rapport.
- [9] FebeFloor, 'Holle vloerelementen', België, technisch rapport, 2020. [Online]. Available: <https://www.febe.be/wp-content/uploads/2020/06/FEBEFLOOR-Brochure-holle-vloerelementen-nl.pdf>
- [10] L. Mbumbia and M. Mammerickx, 'Geprefabriceerd beton voor structuren', Procetus, cijferrapport, 2025.
- [11] Eurostat, 'Climate-related taxes', Statistics Explained. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Climate-related_taxes#:~:text=Several%20countries%20have%20already%20introduced,revenue%20from%20the%20EU%20ETS.

Inhoudsopgave

1. Beton in onze wereld.....	1
1.1. De fundering van onze moderne wereld.....	2
1.2. De wereld	3
1.3. Europa	4
1.4. België.....	4
1.5. Een samenstelling van cement, granulaten en water.....	5
1.5.1. Cement.....	5
1.5.2. Granulaten	8
1.5.3. Water.....	8
1.6. Afbraakcultuur	9
1.7. De <i>boom</i> in betonconsumptie	10
1.8. Toenemende betonkwaliteit	11
1.9. De nood aan hergebruik	14
2. Een verzameling aan hergebruik	15
2.1. Hergebruikstrategieën	16
2.1.1. Preventie.....	18
2.1.2. Adaptive reuse	19
2.1.3. Hergebruik betonelementen of -modules.....	20
2.1.4. Hergebruik van betonnen brokstukken.....	20
2.1.5. Gerecycleerd beton	21
2.2. Helpende instanties.....	22
2.2.1. Bestaand Belgisch kader.....	22
2.2.2. ReCreate – Duitsland, Finland, Zweden en Nederland	24
2.2.3. Rijkswaterstaat - Nederland	25
2.2.4. Interreg, Facilitating the Circulation of Reclaimed Building Elements (FCRBE) - Europa.	26
2.2.5. Structural Xploration Lab – École Polytechnique Fédérale de Lausanne - Zwitserland ...	27
2.2.6. Rotor - België.....	28
2.3. Een groeiende maar selectieve interesse.....	29
3. Deelonderzoek 1: Het bestaande betonhergebruiklandschap	30
3.1. Methodologie	31
3.2. Gevonden projecten	31
3.3. Casussen	32
3.3.1. “Nobody leaves the party” – BG TEN	32
3.3.1.1. Projectcontext.....	32
3.3.1.2. Rol van hergebruik.....	33
3.3.2. Stadsatelier de Ville – Schenk Hattori & Babini Geysen	34
3.3.2.1. Projectcontext.....	34
3.3.2.2. Rol van hergebruik.....	35

3.3.3.	Productiehal BC Materials – BC Architects	36
3.3.3.1.	Projectcontext.....	36
3.3.3.2.	Rol van hergebruik.....	37
3.3.4.	Kenniscentrum circulair bouwen – Cepezed, ReCreate.....	38
3.3.4.1.	Projectcontext.....	38
3.3.4.2.	Rol van hergebruik.....	39
3.3.5.	Techbank – Cepezed	41
3.3.5.1.	Projectcontext.....	41
3.3.5.2.	Rol van hergebruik.....	42
3.3.6.	SUPERLOCAL – Super Circular Estate	43
3.3.6.1.	Projectcontext.....	43
3.3.6.2.	Rol van hergebruik.....	44
3.3.7.	Tweede Levenbrug – Arc2 Architectuur	46
3.3.7.1.	Projectcontext.....	46
3.3.7.2.	Rol van hergebruik.....	47
3.3.8.	Vloedstegenbrug Haaksbergen - Arc2 Architectuur	48
3.3.8.1.	Projectcontext.....	48
3.3.8.2.	Rol van hergebruik.....	49
3.3.9.	Viaduct Daelderweg - Closing the loop	50
3.3.9.1.	Projectcontext.....	50
3.3.9.2.	Rol van hergebruik.....	51
3.3.10.	Viaduct Hoog Burel – Royal HaskoningDHV.....	52
3.3.10.1.	Projectcontext	52
3.3.10.2.	Rol van hergebruik.....	53
3.3.11.	Youth Centre at Sternentor - Brandenburgische Technische Universität, ReCreate	54
3.3.11.1.	Projectcontext	54
3.3.11.2.	Rol van hergebruik.....	55
3.3.12.	Pilotproject, test building design-for-disassembly – Technische Universität Berlin	56
3.3.12.1.	Projectcontext	56
3.3.12.2.	Rol van hergebruik.....	57
3.3.13.	Pilotproject house, Mehrow – CONCLUS.....	58
3.3.13.1.	Projectcontext	58
3.3.13.2.	Rol van hergebruik.....	59
3.3.14.	Eerste mini-pilotproject appartementsgebouw – LIIKE Architects, ReCreate	60
3.3.14.1.	Projectcontext	60
3.3.14.2.	Rol van hergebruik.....	61
3.3.15.	Kvarteret Återbruket Gothenburg – Lendager Group & Liljewall Arkitekter	62
3.3.15.1.	Projectcontext	62
3.3.15.2.	Rol van hergebruik.....	63
3.3.16.	H22 Pavillion – Koninklijk Technisch Instituut Stockholm, ReCreate	64
3.3.16.1.	Projectcontext	64
3.3.16.2.	Rol van hergebruik.....	65
3.3.17.	Nya Udden project.....	66
3.3.17.1.	Projectcontext	66
3.3.17.2.	Rol van hergebruik.....	67
3.3.18.	Elementa – Parabase	68
3.3.18.1.	Projectcontext	68
3.3.18.2.	Rol van hergebruik.....	69
3.3.19.	FLO:RE – Structural Xploration Lab	70

3.3.19.1.	Projectcontext	70
3.3.19.2.	Rol van hergebruik.....	71
3.3.20.	Re:Crete – Structural Xploration Lab	72
3.3.20.1.	Projectcontext	72
3.3.20.2.	Rol van hergebruik.....	73
3.3.21.	L'Eclisse - Solanellas Van Noten Meister	74
3.3.21.1.	Projectcontext	74
3.3.21.2.	Rol van hergebruik.....	75
3.3.22.	Re:bble – Maxence Grangeot	76
3.3.22.1.	Projectcontext	76
3.3.22.2.	Rol van hergebruik.....	77
3.3.23.	Rækkehuse in Terraced Houses in Gellerup, (P)RECAST project – Vandkunsten Architects & Transform	78
3.3.23.1.	Projectcontext	78
3.3.23.2.	Rol van hergebruik.....	79
3.4.	Conclusie deelonderzoek 1	80
4.	Deelonderzoek 2: Het hergebruikpotentieel van betonnen holle welfsels	90
4.1.	Motivatie	91
4.2.	Methodologie	92
4.3.	Eigenschappen van geprefabriceerde holle welfsels	93
4.4.	Hoe werken holle welfsels?	94
4.4.1.	Kenmerken.....	94
4.4.2.	Krachtswerking.....	94
4.4.3.	Draagkracht	96
4.5.	Stappenplan.....	97
4.5.1.	Overzichtsdiagram	98
4.5.2.	Bestellingsdiagram.....	99
4.6.	Activiteiten in het stappenplan	104
4.6.1.	Fase 1: Dossieronderzoek	104
4.6.1.1.	Studie hergebruikpotentieel & dossieronderzoek	104
4.6.2.	Fase 2: Site-onderzoek	106
4.6.2.1.	Verwijderen vloeropbouw & plafondafwerking	106
4.6.2.2.	Visuele inspectie.....	107
4.6.2.3.	Inventariseer te oogsten elementen op grondplan.....	110
4.6.2.4.	Drukproef in labo	111
4.6.2.5.	Terugslaghamer.....	113
4.6.2.6.	Wapeningsscan.....	114
4.6.2.7.	Vrijmaken wapening	115
4.6.2.8.	Vickers-hardheidsproef	116
4.6.2.9.	Nodige aannames & berekeningen	117
4.6.3.	Fase 3: In situ proeven	120
4.6.3.1.	Aanhechttingsproef	120
4.6.3.2.	Statische proefbelasting in situ	121
4.6.4.	Fase 4: Testprocedure in labo	123
4.6.4.1.	Boorkernen	123

4.6.4.2.	Alkali-silica reactie	125
4.6.4.3.	Zwelproof.....	126
4.6.4.4.	Fenoltaleïneproef.....	127
4.6.4.5.	Chlorideproef.....	129
4.6.4.6.	Testprocedure overige schadefenomenen	131
4.6.4.7.	Bereken de verwachte resterende levensduur.....	132
4.6.5.	Fase 5: Inventarisatie.....	134
4.6.5.1.	Bijwerken inventaris	134
4.6.6.	Fase 6: Demontage.....	137
4.6.6.1.	Uitvoeringsstudie	137
4.6.6.2.	Verwijder druklaag.....	138
4.6.6.3.	Elementen losmaken.....	139
4.6.6.4.	Elementen uithijzen	145
4.6.6.5.	Elementen voorzien van code	146
4.6.7.	Fase 7: Transport	147
4.6.7.1.	Transport naar... ..	147
4.6.7.2.	Aankomst op de nieuwe locatie.....	149
4.6.8.	Fase 8: Testsite.....	150
4.6.8.1.	Niet-destructieve cyclische proefbelasting.....	150
4.6.8.2.	Statistisch de rekenwaarde berekenen	152
4.6.9.	Fase 9: Opslag.....	154
4.6.9.1.	Opslagruimte	154
4.6.9.2.	Bouwpunt structurele recuperatiematerialen	155
4.6.10.	Fase 10: Nieuw werf & uitvoeringsdetails	156
4.6.10.1.	Aanbrengen oppervlaktebehandeling.....	156
4.6.10.2.	Mogelijke uitvoeringsdetails.....	157
4.7.	Druklaag.....	187
4.7.1.	Ontwerptabellen	189
5.	Financiële analyse van het hergebruiktraject	190
5.1.	Financiële analyse	191
5.1.1.	Kostprijzen	193
5.1.2.	Woning	195
5.1.2.1.	Referentieproject	195
5.1.2.2.	Gunstig traject – rijwoning.....	197
5.1.2.3.	Realistisch traject – rijwoning.....	202
5.1.2.4.	Ongunstig traject – rijwoning.....	208
5.1.3.	Middelgroot industrie- of kantoorgebouw.....	215
5.1.3.1.	Referentieproject	215
5.1.3.2.	Gunstig traject – kantoorgebouw	217
5.1.3.3.	Realistisch traject – open parkeergebouw.....	222
5.1.3.4.	Ongunstig traject – zuivelfabriek.....	228
5.1.4.	Conclusie financiële analyse	235
5.1.5.	Optimalisatiemogelijkheden	240
5.2.	Conclusie Deelonderzoek 2.....	243
6.	Verder onderzoek	244

7.	Maatschappelijke relevantie	246
7.1.	Een ruimere blik.....	247
8.	Bibliografie.....	248
8.1.	Primaire bronnen	249
8.2.	Secundaire bronnen.....	254
8.3.	Persoonlijke communicatie	259
8.4.	Casussen Deelonderzoek 1	262
8.5.	Technische fiches	271
8.6.	Normen	273
8.7.	Digitale bronnen	274
8.8.	Afbeeldingen	285
9.	Bijlagen.....	289
9.1.	Bijlage A: Model e-mail naar architecten- en ingenieursbureaus	290
9.2.	Bijlage B: Model e-mail naar sloopbedrijven	291
9.3.	Bijlage C: Gecontacteerde instanties	292
9.4.	Bijlage D: verantwoord gebruik van artificiële intelligentie	296

Lijst van figuren

Figuur 1: <i>Globale productie, sloop en geaccumuleerde voorraad beton tussen 1900 en 2020</i> . Overgenomen van <i>Growing role of concrete in sand and climate crises</i> , door Watari et al., 2023.....	3
Figuur 2: <i>De globale betoncyclus in 2020</i> . Overgenomen van <i>Growing role of concrete in sand and climate crises</i> , door Watari et al., 2023.....	5
Figuur 3: <i>CO2-emissie geassocieerd met de globale betoncyclus tussen 1990 en 2020, en emissieverlagende ingrepen met hun respectievelijke impact</i> . Overgenomen van <i>Growing role of concrete in sand and climate crises</i> , door Watari et al., 2023.....	7
Figuur 4: <i>De ladder van Lansink</i> . Overgenomen van <i>Ladder van Lansink: uitleg en betekenis voor de circulaire economie</i> , door Milgro, 2024.....	16
Figuur 5: <i>De R-ladder</i> . Overgenomen van <i>De R-ladder: uitleg en betekenis voor uw afval</i> , door Milgro, 2022.....	16
Figuur 6: <i>Transformatie van 530 appartementen</i> . Overgenomen van Ruault, geciteerd in <i>The role of Architects is Shifting: From Solitary Visionaries to Collective Activists</i> , door Souza, 2025.....	18
Figuur 7: <i>Toegevoegde wintertuin op Bâtiments Gounod, Haendel en Ingres</i> . Overgenomen van Ruault, geciteerd in <i>Dan toch geen Belgische winnaar Mies van der Rohe Award</i> , door Architectura, 2019.....	18
Figuur 8: <i>Visualisatie transformatie voormalige site van koffiefabrikant Douwe Egberts</i> . Overgenomen van Plusoffice, geciteerd in <i>Plusoffice transformeert productietoren Douwe Egberts tot modulaire kmo-hal</i> , door Verhulst, 2022.....	19
Figuur 9: <i>Interieur van de getransformeerde voormalige site van koffiefabrikant Douwe Egberts</i> . Overgenomen van <i>Hi! Site: voormalige gebouwen koffiefabrikant herleven als maak-, werk- en recreatieplek</i> , door Polspoel, 2024.....	19
Figuur 10: <i>De assemblage van de Re:bble Tower</i> . Overgenomen van Grangeot (2025), geciteerd in <i>Re:bble Pavilion - La recette suisse du réemploi de béton structurel</i> , door EPFL.....	20
Figuur 11: <i>ZIN-project in Brussel</i> . Overgenomen van Delvaux, geciteerd in <i>ZIN</i> , door 51N4E.....	21
Figuur 12: <i>Toegangsruimte in het ZIN-project</i> . Overgenomen van <i>Where life and work come together in innovative and sustainable ways</i> , door Befimmo.....	21
Figuur 13: <i>Logo van het onderzoeksproject ReCreate</i> . Overgenomen van <i>Reusing precast concrete for a circular economy</i>	24
Figuur 14: <i>Geoogste betonnen liggers</i> . Overgenomen van <i>Betonnen balken uit weg voor het eerst hergebruikt bij project buiten Rijkswaterstaat</i> , door Rijkswaterstaat, 2025.....	25
Figuur 15: <i>Logo van Interreg</i> . Overgenomen van <i>What is Interreg</i> , door Interreg.....	26
Figuur 16: <i>Het Re:crete team op de gebouwde brug van uitgesneden betonelementen</i> . Overgenomen van <i>Re:crete footbridge prototype</i> , door Brütting.....	27

Figuur 17: <i>Logo van Rotor</i> . Overgenomen van <i>Rotor is a cooperative design practice that investigates the organisation of the material environment</i> , door Rotor.	28
Figuur 18: <i>Enkele pagina's uit het wedstrijdvoorstel 'Nobody leaves the party'</i> . Overgenomen van <i>Nobody leaves the party</i> , Babini Geysen - TEN, door Babini Geysen – TEN – Olivier Campagne, 2024.	33
Figuur 19: <i>Keerwand naar het model van Maxence Grangeot</i> . Overgenomen van <i>Nobody leaves the party</i> , Babini Geysen - TEN, door Babini Geysen – TEN – Olivier Campagne, 2025.	33
Figuur 20: <i>Visualisatie Stadsatelier de Ville</i> . Overgenomen van <i>Circular hub/ Stadsatelier de ville – Babini Geysen – Schenk</i> , door Babini Geysen Architects, 2025.	35
Figuur 21: <i>Uitsnijden van betonmassieven</i> . Overgenomen van Babini Geysen Architects, 2026.	35
Figuur 22: <i>Snedes van de nieuwe productiehal van BC materials</i> . Overgenomen van <i>Demountable open production hall</i> , door BC architects.	37
Figuur 23: <i>Gerecupereerde betonblokken in de productiehal van BC materials</i> . Overgenomen van Lambrix, geciteerd in <i>Gerecupereerde betonvloer en -blokken voor een productiehal</i> , door Opalis.	37
Figuur 24: <i>In de productiehal van BC materials</i> . Overgenomen van Van Canghem, geciteerd in <i>Demountable open production hall</i> , door BC architects.	37
Figuur 25: <i>Overzicht ontmantelde betonnen onderdelen uit het Prinsenhof A</i> . Overgenomen van <i>Dynamisch ontwerpproces met geoogste materialen leidt tot circulair centrum</i> , door Cepezed, 2022.	40
Figuur 26: <i>Ontmanteling van een hol welfsel uit het Prinsenhof A</i> . Overgenomen van <i>Circulaire ontmanteling Prinsenhof A</i> , door Lagemaat.	40
Figuur 27: <i>Transformatietekening Circulair Centrum in Heerde</i> . Overgenomen van <i>Flexibel ontwerpproces circulair centrum: 'bouwen met de stenen die je hebt'</i> , door Cepezed, 2023.	40
Figuur 28: <i>Mock-up als voorbereiding op het Circulair Centrum Nederland</i> . Overgenomen van <i>The Dutch Mock-up: Building, Testing, and Learning for a Circular Future</i> , door ReCreate project, 2025.	40
Figuur 29: <i>Demontabel bouwdetail Tijdelijke Rechtbank Amsterdam</i> . Overgenomen van <i>Tijdelijke Rechtbank</i> , door Cepezed.	42
Figuur 30: <i>Techbank in opbouw</i> . Overgenomen van <i>Open dagen op 12 en 13 september 2025</i> , door Techbank, 2025.	42
Figuur 31: <i>Heropbouw techbank</i> . Overgenomen van Koggel, geciteerd in <i>Een gebouw demonteren en elders weer opbouwen? Kan gewoon!</i> , door Cepezed, 2025.	42
Figuur 32: <i>Expogebouw Superlocal</i> . Overgenomen van <i>Superlocal, Kerkrade</i> , door Bremen Bouwadviseurs.	44
Figuur 33: <i>Drie voorbeeldwoningen van het Superlocal project</i> . Overgenomen van <i>Superlocal</i> , door Zuyd.	45
Figuur 34: <i>Uithijzen van een unit in het Superlocal project</i> . Overgenomen van <i>SUPERLOCAL is genomineerd voor de Limburg Duurzaamheid Award 2019!</i> , door Super Circular Estate.	45
Figuur 35: <i>Foto's van de Tweede Levenbrug in Floriade Almere</i> . Overgenomen van <i>Reusebrug; de Tweede Leven brug op Floriade Almere</i> , door Meerdink Bruggen.	47

Figuur 36: <i>Plaatsen van een gerecupereerde brugligger</i> . Overgenomen van Drone Addicts, geciteerd in <i>Vloedstegenbrug N18 Haaksbergen</i> , door BruggenArchitectuur.....	49
Figuur 37: <i>Luchtfoto van de Vloedstegenbrug</i> . Overgenomen van <i>Vloedstegenbrug</i> , door Van Hattum en Blankevoort.....	49
Figuur 38: <i>Uithijzen van brugliggers</i> . Overgenomen van <i>Aan de slag met hergebruikte liggers!</i> , door Beton & staalbouw, 2025.....	51
Figuur 39: <i>Visualisatie van het viaduct Daelderweg</i> . Overgenomen van <i>Volgende fase voor 'nieuw' circulair viaduct Daelderweg over A76</i> , door Nebest.....	51
Figuur 40: <i>Hijzen van een brugligger op een proefopstelling</i> . Overgenomen van <i>Modulaire testopstelling voor circulaire liggers</i> , geciteerd in <i>Infra services</i> , door Royal Wagenborg.....	51
Figuur 41: <i>Bouw viaduct A44</i> . Overgenomen van Erik Karst Fotografie, geciteerd in <i>Waarom Nederland met z'n mooie wegennet stokoude 'tweedehands' viaducten neerzet</i> , door Redactie TopGear, 2024.....	53
Figuur 42: <i>Plaatsen van gerecupereerde brugliggers</i> . Overgenomen van <i>Hergebruik prefab liggers viaducten is duurzaam, veilig en haalbaar</i> , door Haskoning, 2024.....	53
Figuur 43: <i>Sloop van viaduct Hoog Burel</i> . Overgenomen van <i>Sloop en bouw A1 viaduct Hoog Burel, Ughelen</i> , door Poels, 2022.....	53
Figuur 44: <i>Visualisatie jeugdcentrum gebouwd met gerecupereerde betonelementen</i> . Overgenomen van <i>Reusing precast concrete elements challenges and solutions in the design process</i> , door ReCreate project, 2023.....	55
Figuur 45: <i>Ontmanteling van appartementsgebouw in de Karl-Marx-Straße</i> . Overgenomen van <i>Division Selective Deconstruction - Building in Existing Contexts (ECOSOIL Ost)</i> , door ReCreate project, 2025.....	55
Figuur 46: <i>Mock-up van de Duitse cluster in het ReCreate-project</i> . Overgenomen van <i>German country cluster completes test building</i> , door ReCreate project, 2024.....	55
Figuur 47: <i>Prototype aan de TU Berlin</i> . Overgenomen van <i>Recycling prefabricated concrete components - a contribution to sustainable construction</i> , door Asam, 2007.....	57
Figuur 48: <i>Pilootproject in Mehrow door architectenbureau Conclus</i> . Overgenomen van <i>Recycling prefabricated concrete components - a contribution to sustainable construction</i> , door Asam, 2007.....	59
Figuur 49: <i>Ontmanteling van een gebouw in Tampere door Umacon en Skanska</i> . Overgenomen van <i>Finland</i> , door ReCreate project.....	61
Figuur 50: <i>Hergebruikte holle welfsels in Tampere, 6 km van het donorgebouw</i> . Overgenomen van <i>First elements reclaimed by the Finnish cluster reused in a real-life mini pilot</i> , door ReCreate project, 2025.....	61
Figuur 51: <i>Nieuw project in Gothenburg met gerecupereerde holle welfsels</i> . Overgenomen van <i>Litteraturgatan, kvarteret Återbruket</i> , door Poseidon.....	63
Figuur 52: <i>Kwaliteitscontrole van te oogsten holle welfsels uit de Ikea in Källered</i> . Overgenomen van Suchorzewski, geciteerd in <i>Nytt centrum ska göra återbruk tryggt, lönsamt och storskaligt i byggbranschen</i> , door RISE, 2025.....	63

Figuur 53: <i>Zweedse pilootproject van het ReCreate-project op het H22 City Expo Drottninghög</i> . Overgenomen van <i>ReCreate H22 Swedish pilot</i> , door ReCreate project.....	65
Figuur 54: <i>Plaatsen van hol welfsel in de H22 City Expo Drottninghög</i> . Overgenomen van <i>Recycled concrete exhibition during H22 City Expo paves the way for circular construction</i> , door ReCreate project, 2022.	65
Figuur 55: <i>Ontmantelen van een betonnen muur</i> . Overgenomen van Eriksson, geciteerd in <i>The conditions and constraints for using reused materials in building projects</i> , door Eklund et al., 2003.....	67
Figuur 56: <i>Opbouw van het Nya Udden project</i> . Overgenomen van <i>The conditions and constraints for using reused materials in building projects</i> , door Eklund et al., 2003.	67
Figuur 57: <i>Visualisaties wedstrijdvoorstel Elementa van Parabase</i> . Overgenomen van <i>Elementa</i> , door Beta Architecture, 2024.....	69
Figuur 58: <i>Uithijzen van een geprefabriceerd TT-vloerelement</i> . Overgenomen van Schiffner, 2024.....	69
Figuur 59: <i>Parkeergebouw Lysbüchel</i>	69
Figuur 60: <i>Assemblage van het prototype FLO:RE</i> . Overgenomen van <i>Design, construction and assessment of FLO:RE - the prototype of a low-carbon building floor made of reused concrete elements and steel profile</i> , door Küpfer et al., 2025.....	71
Figuur 61: <i>Ontmantelingsproces van ter plaatse gestort beton</i> . Overgenomen van <i>Design, construction and assessment of FLO:RE - the prototype of a low-carbon building floor made of reused concrete elements and steel profile</i> , door Küpfer et al., 2025.....	71
Figuur 62: <i>Assemblage van uitgesneden betonnen blokken tot de Re:Crete brug</i> . Overgenomen van <i>Passerelle Re:Crete</i> , door Bastien Masse, 2022.....	73
Figuur 63: <i>Plaatsing van de Re:Crete brug in Conthey, Zwitserland</i> . Overgenomen van <i>Passerelle Re:Crete</i> , door Bastien Masse, 2022.....	73
Figuur 64: <i>Maquette en detailtekening L'Eclisse</i> . Overgenomen van <i>Schliengerweg</i> , door Solanellas Van Noten Meister.....	75
Figuur 65: <i>Re:bble paviljoen</i> . Overgenomen van Grangeot (2025), geciteerd in <i>Re:bble Pavilion</i> , door EPFL.....	77
Figuur 66: <i>Re:bble toren</i> . Overgenomen van Grangeot (2025), geciteerd in <i>Re:bble Tower</i> , door EPFL.....	77
Figuur 67: <i>Muurcomposiet beton en betonbrokstukken</i> . Overgenomen van Grangeot (2025), geciteerd in <i>Re:bble Prefa</i> , door EPFL.....	77
Figuur 68: <i>Muur uit betonnen brokstukken</i> . Overgenomen van Grangeot (2023), geciteerd in <i>Upcycling concrete rubble</i> , door EPFL.....	77
Figuur 69: <i>Uitladen van gerecupereerde holle welfsels in Gellerup</i> . Overgenomen van Falborg Pedersen (2024), geciteerd in <i>Reuse of Concrete Element slabs in Terraced Houses in Gellerup</i> , door AU Engineering, 2026.	79
Figuur 70: <i>Plaatsen van gerecupereerde holle welfsels in Gellerup</i> . Overgenomen van GXN, geciteerd in <i>(P)recast</i> , door mpa, 2025.....	79

Figuur 71: <i>Visualisatie van het Gellerup Masterplan</i> . Overgenomen van <i>Gellerup Masterplan</i> , door WE Architecture, 2018.	79
Figuur 72: <i>Overzicht krachtswerking in een vloer uit holle welfsels</i> .	95
Figuur 73: <i>Overzichtsdiagram hergebruiktraject holle welfsels</i> .	98
Figuur 74: <i>Beslissingsdiagram deel 1</i> .	99
Figuur 75: <i>Beslissingsdiagram deel 2</i> .	100
Figuur 76: <i>Beslissingsdiagram deel 3</i> .	101
Figuur 77: <i>Beslissingsdiagram deel 4</i> .	102
Figuur 78: <i>Beslissingsdiagram deel 5</i> .	103
Figuur 79: <i>Overzicht stap hergebruikpotentieel</i> .	104
Figuur 80: <i>Technische fiche gladde holle welfsels van Hedra Beton</i> . Overgenomen van Hedra Beton, 2011.	105
Figuur 81: <i>Overzicht stap vrijmaken welfsels</i> .	106
Figuur 82: <i>Visualisatie vloeropbouw en plafondafwerking</i> .	106
Figuur 83: <i>Overzicht stappen visuele inspectie</i> .	107
Figuur 84: <i>Overzicht schade op holle welfsels: a) damscheuren boven de strengen, b) langsscheuren ter hoogte van de kanalen, c) langsscheuren in de dam, d) hoekscheuren, e) damscheuren op of dichtbij de strengen, f) dwarsscheuren, g) diverse scheuren</i> . Overgenomen van <i>Problem of cracks in prestressed hollow core slabs</i> , door Parkhats, 2018.	108
Figuur 85: <i>Visualisatie schade op holle welfsels</i> .	109
Figuur 86: <i>Overzicht stap initiële inventarisatie</i> .	110
Figuur 87: <i>Voorbeeld van een oude plannenset</i> . Overgenomen van <i>Wij vinden uw oude bouwtekeningen terug in het bouwarchief</i> , door Hoving Bouwontwerp.	110
Figuur 88: <i>Overzicht stappen drukproef in labo</i> .	111
Figuur 89: <i>Drukproef in labo</i> . Overgenomen van <i>Grondige laboproeven voor diepgaand betononderzoek</i> , door Beton+.	112
Figuur 90: <i>Overzicht stappen terugslaghamer</i> .	113
Figuur 91: <i>Proceq Schmidthamer type LR</i> . Overgenomen van Meetinstrumenten Verhuur.	113
Figuur 92: <i>Overzicht stap wapeningsscan</i> .	114
Figuur 93: <i>Niet-destructief onderzoek naar wapeningsconfiguratie</i> . Overgenomen van <i>Wapeningsconfiguratie</i> , door Nebest.	114
Figuur 94: <i>Overzicht stap vrijmaken wapening</i> .	115
Figuur 95: <i>Wapeningsstaven vrijmaken met hydrojet</i> . Overgenomen van <i>Betonreparatie met ultra-hogedruk waterstralen</i> , door Kärcher.	115

Figuur 96: <i>Overzicht stap Vickers-hardheidsproef</i>	116
Figuur 97: <i>Vickers-hardheidsproef</i> . Overgenomen van <i>ASTM E92 Vickers Hardness</i> , door Zwick Roell.....	116
Figuur 98: <i>Overzicht stappen aannames & berekeningen</i>	117
Figuur 99: <i>Dwarskrachtscheur ter hoogte van de oplegging</i> . Overgenomen van <i>Shear capacity of hollow-core slabs with concrete-filled cores</i> , door R. McDermott & Z. Dymond, 2020.....	119
Figuur 100: <i>Overzicht stappen aanhechtingsproef druklaag</i>	120
Figuur 101: <i>Proefopstelling aanhechtingsproef</i> . Overgenomen van <i>Field tests (non destructive)</i> , door STATS Australia.....	120
Figuur 102: <i>Overzicht stappen statische proefbelasting in situ</i>	121
Figuur 103: <i>Proefbelasting in situ met watertonnen</i> . Overgenomen van <i>Proefbelasting</i> , door Nebest.....	122
Figuur 104: <i>Overzicht stappen boorkernen nemen</i>	123
Figuur 105: <i>Diamantboringen</i> . Overgenomen van <i>Betonboren</i> , door Kwakkel.....	124
Figuur 106: <i>Overzicht stappen alkali-silica reactie proeven</i>	125
Figuur 107: <i>Alkali-silica reactie onder petrografische microscoop</i> . Overgenomen van <i>Concrete Petrography - ASTM C856 is the standard practice for petrographic examination of hardened concrete</i> , door SGS.....	126
Figuur 108: <i>Overzicht stappen carbonatatie</i>	127
Figuur 109: <i>Fenolftaleïneproef op betondeel</i> . Overgenomen van <i>Grondige laboproeven voor diepgaand betononderzoek</i> , door Beton+.....	128
Figuur 110: <i>Betonschade door wapeningscorrosie carbonatatie-gerelateerd</i> . Overgenomen van <i>What is concrete spalling</i> , door Armorsil, 2023.....	128
Figuur 111: <i>Overzicht stappen chloride</i>	129
Figuur 112: <i>Uitvoeren van een chlorideproef</i> . Overgenomen van <i>Martin Memorial Center, North Parking Garage</i> , door Innovative Engineering.....	130
Figuur 113: <i>Overzicht stappen proeven overige schade fenomenen</i>	131
Figuur 114: <i>Visualisatie mogelijke schadepatronen</i>	131
Figuur 115: <i>Overzicht stap berekenen verwachte resterende levensduur</i>	132
Figuur 116: <i>Overzicht stap bijwerken inventaris</i>	134
Figuur 117: <i>Template inventarisatie structurele betonnen elementen, deel 1</i> . Overgenomen van <i>Resource assessment for the reuse of load-bearing reinforced concrete components</i> , door Devènes et al., 2023.....	134
Figuur 118: <i>Template inventarisatie structurele betonnen elementen, deel 2</i> . Overgenomen van <i>Resource assessment for the reuse of load-bearing reinforced concrete components</i> , door Devènes et al., 2023.....	135
Figuur 119: <i>Visualisatie inventaris verschillende bouwmaterialen</i>	136
Figuur 120: <i>Overzicht stap uitvoeringsstudie</i>	137

Figuur 121: <i>Visualisatie 'hoe demonteren?'</i>	137
Figuur 122: <i>Overzicht stappen verwijderen druklaag</i>	138
Figuur 123: <i>Cold milling machine in de wegenis</i> . Overgenomen van <i>Wirtgen introduces small milling machine in 1-m class</i> , door Southeast Asia Construction.....	138
Figuur 124: <i>Overzicht stappen ontmanteling</i>	139
Figuur 125: <i>Vervangen zaagblad diamantzaag</i> . Overgenomen van Schiffner, 2024.....	140
Figuur 126: <i>Demontage parkeergebouw Lysbüchel</i> . Overgenomen van Schiffner, 2024.....	140
Figuur 127: <i>Visualisatie uithijzen eerste elementen</i>	141
Figuur 128: <i>Visualisatie ankers in eerste elementen</i>	141
Figuur 129: <i>Visualisatie gaten boren in eerste elementen</i>	141
Figuur 130: <i>Visualisatie uitsnijden eerste elementen</i>	141
Figuur 131: <i>Ontmantelingsprocedure holle welfsels</i>	144
Figuur 132: <i>Overzicht stap uithijzen elementen</i>	145
Figuur 133: <i>Visualisatie uithijzen elementen met hijsankers</i>	145
Figuur 134: <i>Overzicht stap elementen voorzien van code</i>	146
Figuur 135: <i>QR-code naar de inventaris van het element</i>	146
Figuur 136: <i>Overzicht stap transport</i>	147
Figuur 137: <i>Vrachtwagen met holle welfsels</i>	148
Figuur 138: <i>Overzicht stap uitladen en stapelen elementen</i>	149
Figuur 139: <i>Correct stapelen van holle welfsels</i>	149
Figuur 140: <i>Overzicht stappen cyclische proefbelasting</i>	150
Figuur 141: <i>Proefopstelling cyclische proefbelasting waarin de dwarskrachtcapaciteit wordt geëvalueerd</i>	151
Figuur 142: <i>Overzicht stap statistische benadering rekenwaarde</i>	152
Figuur 143: <i>Overzicht stappen tussenopslag</i>	154
Figuur 144: <i>Opslagruimte voor gerecupereerde holle welfsels</i>	154
Figuur 145: <i>Overzicht stappen tussenopslag</i>	155
Figuur 146: <i>Opslagruimte Rotor DC</i> . Overgenomen van Pascal BROZE (2022), geciteerd in <i>Rotor DC: reuse made easy</i> , door Rotor.....	155
Figuur 147: <i>Overzicht stap coating</i>	156
Figuur 148: <i>Hydrofobe impregnering</i> . Overgenomen van <i>Protective impregnations</i> , door Sika.....	156
Figuur 149: <i>Overzicht stappen plaatsen gerecupereerde elementen</i>	157

Figuur 150: <i>Bouwdetail hoek conventionele bouwmethode voor het plaatsen van holle welfsels in woningen</i>	158
Figuur 151: <i>Principedetail demontabel bouwen met holle welfsels, betonbouw</i>	161
Figuur 152: <i>Principedetail demontabel bouwen met holle welfsels, staalbouw</i>	161
Figuur 153: <i>Principedetail snede demontabel bouwen met holle welfsels</i>	161
Figuur 154: <i>Visualisatie parameters afschuifweerstand longitudinale voegen</i>	163
Figuur 155: <i>Drukboog door diafragmawerking in vloerconfiguraties met holle welfsels, met resulterende krachtencomponenten</i>	166
Figuur 156: <i>Windbelasting op een gebouw</i>	167
Figuur 157: <i>Drukboog door diafragmawerking in vloerconfiguraties met holle welfsels, tussenvoeg in het rood aangeduid, met resulterende schuifkracht</i>	174
Figuur 158: <i>Doorsnede vloer als theoretische hoge ligger met aangeduide afmetingen nodig voor de schuifspanningsberekening</i>	175
Figuur 159: <i>Bouwdetail hoek demontabel bouwen woning</i>	178
Figuur 160: <i>Bouwdetail tussenmuur demontabel bouwen woning</i>	179
Figuur 161: <i>Bouwdetail hoek demontabel bouwen woning, stalen ligger</i>	180
Figuur 162: <i>Bouwdetail tussenmuur demontabel bouwen woning, stalen ligger</i>	181
Figuur 163: <i>Bouwdetail tussenmuur demontabel bouwen woning, stalen ligger met extra onderflens</i>	182
Figuur 164: <i>Bouwdetail hoek demontabel bouwen staalskeletbouw</i>	183
Figuur 165: <i>Bouwdetail tussenmuur demontabel bouwen staalskeletbouw</i>	184
Figuur 166: <i>Bouwdetail hoek demontabel bouwen betonskeletbouw</i>	185
Figuur 167: <i>Bouwdetail tussenmuur demontabel bouwen betonskeletbouw</i>	186
Figuur 168: <i>Circulaire ontmanteling holle welfsels uit het Prinsenhof Arnhem. Overgenomen van 'Circulair slopen is een omgekeerd bouwproces', door Van Elburg, 2022</i>	188
Figuur 169: <i>Grafiek draagvermogen hol welfsel type SP 200. Overgenomen van Technische gids, door Ergon, 2018</i>	189
Figuur 170: <i>Grafiek draagvermogen hol welfsel type WXT200. Overgenomen van Technische brochure WX, door Megaton / Structo</i>	189
Figuur 171: <i>Vergelijking conventioneel sloop- en bouwproces met circulair ontmantelings- en bouwproces</i>	192
Figuur 172: <i>Sloopmachine. Overgenomen van Schiffner, 2024</i>	193
Figuur 173: <i>Detailtekening hol welfsel type 130 mm met een druklaag van 70 mm</i>	195
Figuur 174: <i>Visualisatie referentieproject woning</i>	196
Figuur 175: <i>Legplan holle welfsels eerste en tweede verdieping in referentieproject woning</i>	196

Figuur 176: <i>Beslissingsdiagram waarop het gunstig traject voor woningen is aangeduid, deel 1</i>	197
Figuur 177: <i>Beslissingsdiagram waarop het gunstig traject voor woningen is aangeduid, deel 2</i>	198
Figuur 178: <i>Beslissingsdiagram waarop het realistisch traject voor woningen is aangeduid, deel 1</i>	202
Figuur 179: <i>Beslissingsdiagram waarop het realistische traject voor woningen is aangeduid, deel 2</i>	203
Figuur 180: <i>Beslissingsdiagram waarop het ongunstig traject voor woningen is aangeduid, deel 1</i>	208
Figuur 181: <i>Beslissingsdiagram waarop het ongunstig traject voor woningen is aangeduid, deel 2</i>	209
Figuur 182: <i>Detailtekening hol welfsel type 265 mm met een druklaag van 70mm</i>	215
Figuur 183: <i>Visualisatie referentieproject industrie- of kantoorgebouw</i>	216
Figuur 184: <i>Legplan holle welfsels eerste en tweede verdieping in referentieproject industrie- of kantoorgebouw</i>	216
Figuur 185: <i>Beslissingsdiagram waarop het gunstig traject voor kantoorgebouwen is aangeduid, deel 1</i>	217
Figuur 186: <i>Beslissingsdiagram waarop het gunstig traject voor kantoorgebouwen is aangeduid, deel 2</i>	218
Figuur 187: <i>Beslissingsdiagram waarop het realistische traject voor open parkeergebouwen is aangeduid, deel 1</i>	222
Figuur 188: <i>Beslissingsdiagram waarop het realistische traject voor open parkeergebouwen is aangeduid, deel 2</i>	223
Figuur 189: <i>Beslissingsdiagram waarop het ongunstig traject voor zuivelfabrieken is aangeduid, deel 1</i>	228
Figuur 190: <i>Beslissingsdiagram waarop het ongunstig traject voor zuivelfabrieken is aangeduid, deel 2</i>	229
Figuur 191: <i>Conclusiegrafiek financiële analyse referentieproject woning, type 130 mm</i>	236
Figuur 192: <i>Conclusiegrafiek financiële analyse referentieproject industrie- of kantoorgebouw, type 265 mm</i>	236
Figuur 193: <i>Elimineren van proefbelasting</i>	240
Figuur 194: <i>Continu opereren van de kraan</i>	241
Figuur 195: <i>Rechtstreeks transporteren van de elementen naar de nieuwe werf</i>	242
Figuur 196: <i>Zorgen voor een gunstig traject</i>	242

Lijst van tabellen

Tabel 1: <i>Cementsonu erten en hun bijhorende benaming</i> . Gebaseerd op gegevens uit "Betonbestanddelen", door Druart & Xhonneux, in <i>Handboek Betontechnologie</i> , 2018.	6
Tabel 2: <i>Koppeling tussen de Ladder van Lansink, de R-ladder en circulaire hergebruikstrategieën</i>	17
Tabel 3: <i>Betonfabrikanten, hun soort holle welfsels en de bijhorende betonklasse</i> . zie 'Technische fiches' in de bibliografie.	93
Tabel 4: <i>Benodigdheden onderzoek hergebruikpotentieel</i>	105
Tabel 5: <i>Benodigdheden vloeropbouw en plafondafwerking verwijderen</i>	106
Tabel 6: <i>Benodigdheden schadediagnose</i>	109
Tabel 7: <i>Benodigdheden initiële inventaris</i>	110
Tabel 8: <i>Benodigdheden drukproef in labo</i>	112
Tabel 9: <i>Benodigdheden terugslaghamertest</i>	113
Tabel 10: <i>Benodigdheden wapeningsscan</i>	114
Tabel 11: <i>Benodigdheden vrijmaken wapening</i>	115
Tabel 12: <i>Benodigdheden Vickers-hardheidsproef</i>	116
Tabel 13: <i>Benodigdheden aannames en berekeningen</i>	119
Tabel 14: <i>Benodigdheden aanhechtingsproef</i>	120
Tabel 15: <i>Benodigdheden statische proefbelasting in situ</i>	122
Tabel 16: <i>Benodigdheden boorkernen nemen</i>	124
Tabel 17: <i>Benodigdheden petrografische proef</i>	126
Tabel 18: <i>Benodigdheden zwelproef</i>	126
Tabel 19: <i>Benodigdheden onderzoek carbonatatiediepte</i>	128
Tabel 20: <i>Benodigdheden onderzoek chloridegehalte</i>	130
Tabel 21: <i>Benodigdheden testprocedure overige schadefenomenen</i>	131
Tabel 22: <i>Voorbeeld elementcodes en de bijhorende uitleg</i>	135
Tabel 23: <i>Benodigdheden bijwerken inventaris</i>	136
Tabel 24: <i>Benodigdheden uitvoeringsstudie</i>	137
Tabel 25: <i>Benodigdheden verwijderen druklaag</i>	138
Tabel 26: <i>Benodigdheden ontmanteling holle welfsels</i>	144
Tabel 27: <i>Benodigdheden uithijzen elementen</i>	145

Tabel 28: <i>Benodigdheden QR-code</i>	146
Tabel 29: <i>Holle vloerelementen, hun dimensies en het aantal dat per vrachtwagen getransporteerd kan worden.</i>	147
Tabel 30: <i>Benodigdheden transport holle welfsels</i>	148
Tabel 31: <i>Benodigdheden stockeren holle welfsels</i>	149
Tabel 32: <i>Benodigdheden niet-destructieve cyclische proefbelasting</i>	151
Tabel 33: <i>Benodigdheden opslagruimte</i>	154
Tabel 34: <i>Benodigdheden bouwpunt structurele bouwmaterialen</i>	155
Tabel 35: <i>Benodigdheden oppervlaktebehandeling</i>	156
Tabel 36: <i>Holle welfsels met hun bijhorende draagcapaciteit en hoogte</i>	187
Tabel 37: <i>Circulaire bouwactiviteiten en hun bijhorende kostprijs uit de bouwpraktijk</i>	194
Tabel 38: <i>Kostentabel gunstig traject voor woningen</i>	201
Tabel 39: <i>Kostentabel realistisch traject voor woningen</i>	207
Tabel 40: <i>Kostentabel ongunstig traject voor woningen</i>	214
Tabel 41: <i>Kostentabel gunstig traject voor kantoorgebouwen</i>	221
Tabel 42: <i>Kostentabel realistisch traject voor open parkeergebouwen</i>	227
Tabel 43: <i>Kostentabel ongunstig traject voor zuivelfabrieken</i>	234
Tabel 44: <i>Overzichtstabel gunstig, realistisch en ongunstig traject vergeleken met de nieuwkost voor verschillende referentieprojecten</i>	235

Lijst met afkortingen

BTW	Belasting over de toegevoegde waarde
CO ₂	Koolstofdioxide
Gt	Gigaton
Mt	Megaton
NBN	Bureau voor Normalisatie
ERMCO	European Ready Mixed Concrete Organization
CE	Conformité Européenne
EPFL	École Polytechnique Fédérale de Lausanne
WTC	World Trade Center
VLAIO	Vlaams Agentschap voor Innovatie en Ondernemen
TAU	Tampere University
SDG	Sustainable Development Goals
EFRO	Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling
FCRBE	Facilitating the Circulation of Reclaimed Building Elements
SXL	Structural Xploration Lab
ENAC	Faculté de l'Environnement Naturel, Architectural et Construit
BMA	Bouwmeester Maître Architecte
CO ₂ -eq.	Koolstofdioxide-equivalent
DPCP	Du Prie Cepezed Projects
SFB	Slim Floor Beam
MKI	Milieukostenindicator
MTM	Maximale Toegelaten Massa
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
KTH	Kungliga Tekniska högskolan
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
GRO	Gemeenschappelijke Referentie voor de Overheid
FEBE	Federatie van de Belgische Prefabbetonindustrie
OVAM	Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij
NS	Norsk Standard
ASR	Alkali-Silica Reactie
µm	Micrometer
pH	Potential of Hydrogen
m%	Massapercent
OSB	Oriented Strand Board
PE	Polyethyleen
ANB	Antenne Belge
Tm	Tonmeter

1. Beton in onze wereld



Over de invloed op onze leefomgeving,
de maatschappij en het klimaat



1.1. De fundering van onze moderne wereld

Beton, een veelzijdig materiaal gecreëerd door de mensheid, heeft een zeer negatieve connotatie gekregen. Vele duurzaamheidsstudies en onderzoeken hebben uitgemaakt dat de betonwereld een zeer grote speler is in de uitstoot van koolstofdioxide (Watts, 2019; Watari et al., 2023; Yu et al., 2025; Xu & Yu, 2025). Het materiaal is, op water na, de meest gebruikte substantie op onze planeet. Als we cement, een hoofdbestanddeel van beton, zien als een land, dan zou het de op twee na grootste CO₂-vervuiler zijn wereldwijd. Enkel China en de Verenigde Staten stoten meer koolstofdioxide uit (Watts, 2019). Anderzijds is er wel een reden waarom we zo dol zijn op het bouw materiaal, aangezien beton de voorbije eeuw onze leefwereld heeft mee vormgegeven (Forty, 2012). Zelfs de Romeinen gebruikten, weliswaar in een ietwat andere samenstelling, beton in hun bouwwerken. Denk maar aan het beroemde Pantheon in Rome, dat in 128 n.C. ingehuldigd werd. Dit kunstwerk heeft de grootste niet-gewapende betonnen koepel ter wereld. Het feit dat we nog steeds kunnen rondwandelen in hun structuren is het bewijs van de lange levensduur van beton (De Roy, 2023).

Hedendaags beton toont ons wat het betekent om *modern* te zijn. Het is in staat ons te beschermen tegen allesverwoestende natuurrampen zoals aardbevingen en orkanen (Forty, 2012) en geeft ons simpelweg een beschuttende laag. Betonstructuren beveiligen ons tegen regen en zorgen ervoor dat we leven op een droge ondergrond. Het materiaal zorgt ervoor dat onze zware structuren gefundeerd zijn op draagkrachtige grond waardoor we eender waar kunnen bouwen. Milieuwetenschapper Vaclav Smil schat zelfs dat de aanpassing van een traditionele moddervloer in werelds armste huizen naar een betonnen vloer parasitaire ziektes zou kunnen verminderen met 80% (Watts, 2019). Een belangrijke katalysator in het massale gebruik van beton is terug te vinden net na de Tweede Wereldoorlog. Door de toen talrijke aanwezigheid van de bestanddelen van beton, werd het materiaal gebruikt om de verwoeste steden opnieuw op te bouwen. De zeer lage kostprijs en de brandwerende eigenschap zijn evengoed oorzaken van het enorme gebruik van beton in onze bouw wereld. (Küpfer, 2024). Betonconstructies worden veelal berekend op een levensduur van 50 jaar, alhoewel 100 jaar geen enkel probleem zou mogen zijn (De Schutter, 2021).

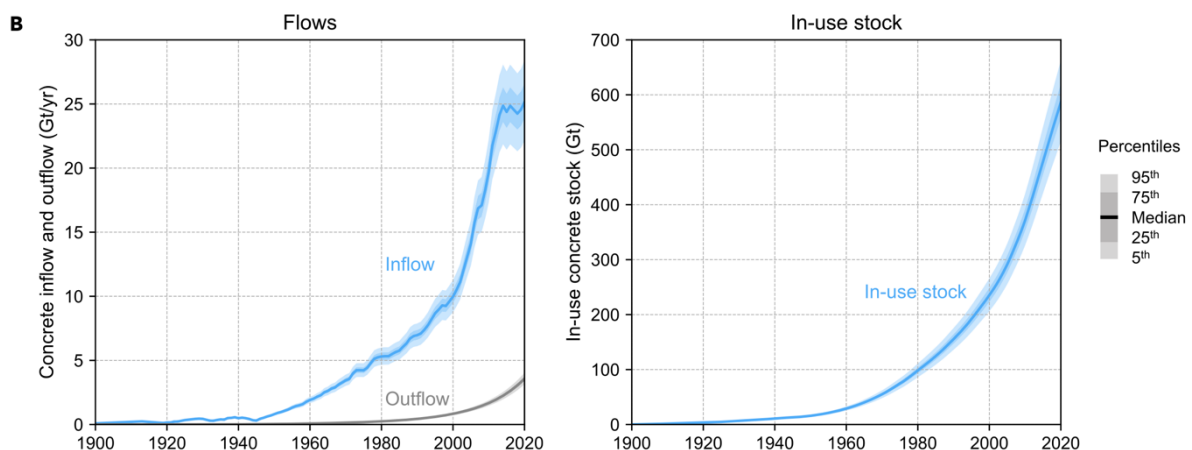
Het vloeibaar karakter van vers stortbeton stelt ons in staat de gekste vormen te realiseren. Zolang we een bekisting kunnen maken waarin we kunnen storten, is geen toepassing onmogelijk. Nadat het materiaal uitgehard is, bekomen we een zeer robuust en hard eindproduct dat uitblinkt in het opnemen van drukkrachten (Taerwe, 2018). Aangezien beton slecht scoort op vlak van op te nemen trekkrachten, introduceerde J.L. Lambot voor het eerst stalen staven in de trekzone van een constructief element. Deze verkregen composiet noemen we 'gewapend beton'. Hij patenteerde zijn tekeningen van gewapende betonnen balken en kolommen in 1855 (Wan-Wendner, 2025). In België is het meest voorkomende schadefenomeen aan onze betonnen structuren wapeningscorrosie. Dit fenomeen treedt op wanneer koolzuurgas, oftewel CO₂, uit de omgevende lucht de stalen wapeningsstaven bereikt. Ook chloridehoudend water kan het beton binnendringen en de wapeningsstaven aantasten. Wapeningscorrosie door strooizouten tegen gladde wegen is hier een duidend voorbeeld van (De Schutter, 2021). In dit opzicht is de levensduur van onze betonnen constructies voornamelijk afhankelijk van de wapeningsstaven, aangezien gecarboniseerd beton zijn sterkte niet verliest. Maar liefst 60% van alle betonschadegevallen is te linken aan het corroderen van de wapeningsstaven (Matthys, 2020)



1.2. De wereld

Betrouwbare duurzaamheidsstudies liegen echter niet: het enorme gebruik van beton leidt tot verontreinigde gronden, watertekorten in gebieden waar beton geproduceerd wordt, hogere temperaturen in steden door het *heat-island* effect en luchtvervuiling door zowel transport als het verwerkingsproces (Watts, 2019). De globale betonproductie is zevenvoudig toegenomen tussen 1970 en 2017 (Küpfer, 2024). Niet alleen de stijgende vraag naar huisvesting en structuren (van Oss, 2005), maar ook de alsmaar strenger wordende wetgeving inzake draagkracht, is de oorzaak van deze toename (Magalhães, 2024). De productie bereikte in 2020 een hoogtepunt van maar liefst 26 Gt beton. Omgerekend is dat 26.000.000.000.000 kilogram per jaar. Om aan deze enorme vraag te voldoen, is er jaarlijks ongeveer 4 Gt cement, 20 Gt toeslagmateriaal en 2 Gt water nodig (Watari et al., 2023). Andere bronnen beweren dat er jaarlijks zelfs 30 Gt beton wordt gebruikt (Küpfer, 2024; Nature, 2021; RI.SE, 2025). Kortom, te veel. Het is dan ook geen vreemd gegeven dat dit materiaal voor ongeveer 8% van de globale CO₂-uitstoot zorgt (Global Cement and Concrete Association, 2025).

In 2020 bevatte onze planeet maar liefst 600 Gt beton, oftewel 600.000.000.000.000 kilogram (Watari et al., 2023). Dit nummer overtreft de gezamenlijke koolstofmassa van elke boom, struik en gewas. In dit opzicht is onze betonnen wereld de natuurlijke wereld aan het uit(g)roeien (Watts, 2019). Een belangrijke opkomende vraag gaat dan ook over het ethisch omgaan met deze hoeveelheid. Beton-gerelateerde CO₂-uitstoot verdrievoudigde in de laatste 30 jaar, het bereikte in 2020 een uitstoot van ongeveer 3.100 Mt-CO₂/jaar, oftewel 3.100.000.000.000 kilogram CO₂ per jaar. Maar liefst 86% hiervan is te danken aan de productie van cement (Watari et al., 2023). Als gevolg is de bouwsector verantwoordelijk voor 38% van de totale wereldwijde energie-gerelateerde CO₂-uitstoot (Broer et al., 2022). De sector speelt dus een belangrijke rol in het behalen van de doelstellingen van de klimaatovereenkomst van Parijs, dat de mondiale temperatuurstijging wil beperken tot idealiter 1,5°C boven het pre-industriële niveau (United Nations, 2015).



Figuur 1: Globale productie, sloop en geaccumuleerde voorraad beton tussen 1900 en 2020. Overgenomen van *Growing role of concrete in sand and climate crises*, door Watari et al., 2023.



1.3. Europa

Een groot deel van de Europese bouwstock is gemaakt van gewapend beton, met een aandeel van maar liefst 45% van de sinds 1949 gebouwde bouwmassa. In 95% van de residentiële gebouwen maakt men gebruik van een betonnen vloer (Küpfer, 2024). Op Europees niveau is de cementproductie een van de meest koolstofintensieve sectoren, met een jaarlijkse uitstoot van 114 Mt CO₂. Dit is ongeveer 2,5% van alle EU-emissies (Ruggiero, 2022). Europa heeft een duidelijk doel voor ogen wat betreft uitstootreductie: tegen 205 moet de netto-uitstoot nul zijn. Dit houdt in dat er een evenwicht moet ontstaan tussen de uitstoot en de verwijdering van broeikasgassen (Russell, 2019). Aangezien de betonproductie gepaard gaat met zeer vervuilende en energie-intensieve processen (Watari et al., 2023), is dit een industrie die moeite heeft met het 'vergroenen' van de fabricatieprocessen. De netto-uitstoot zal op een alternatieve manier behaald moeten worden. Elke ton CO₂ die men uitstoot zal gecompenseerd moeten worden met een ton CO₂ die wordt opgevangen (Russell, 2019). Er is een middenweg te vinden tussen 'vergroenen' van fabricatieprocessen en het verwijderen van CO₂ uit de atmosfeer. Specifiek voor de betonproductie is er in 2023 een overkoepelende organisatie opgericht die een opvolger is van *The European Concrete Platform* en *The Concrete Initiative*, namelijk *Concrete Europe*. De organisatie bestaat uit BIBM, CEMBUREAU, EFCA, ERMCO, Aggregates Europe en EUPAVE, en is uiteraard hard bezig onder het thema *The European Green Deal* (Concrete Europe, 2025).

1.4. België

Ook in de Belgische steden is gewapend beton alomtegenwoordig; het vormt de basis voor zowel gebouwen als transportwegen. Denk maar aan het ritmisch geluid dat je hoort wanneer je over onze oudere wegen rijdt die gemaakt zijn van betonplaten. Hedendaagse toepassingen van betonwegen geven een geluidsarme en comfortabele ervaring, zoals dat het geval is op de E40 tussen Brussel en Luik, of op de ring van Antwerpen (FEBELCEM, n.d.). Ook onze fietspaden zijn een resultaat van de betonlust. Meer dan de helft van de Belgische fietspaden bestaat uit beton, en dit al voor zo'n 40 jaar (FEBELCEM, 2018). Keren we terug naar de Belgische bouwwerken, dan concludeert een onderzoek van de federatie van de Belgische prefab betonindustrie dat zo'n 98% van alle vloeren boven kruipruimten en verdiepingsvloeren bestaat uit geprefabriceerde betonnen vloerelementen, waarvan een overgroot deel uit geprefabriceerde holle welfsels (FebeFloor, z.d.).

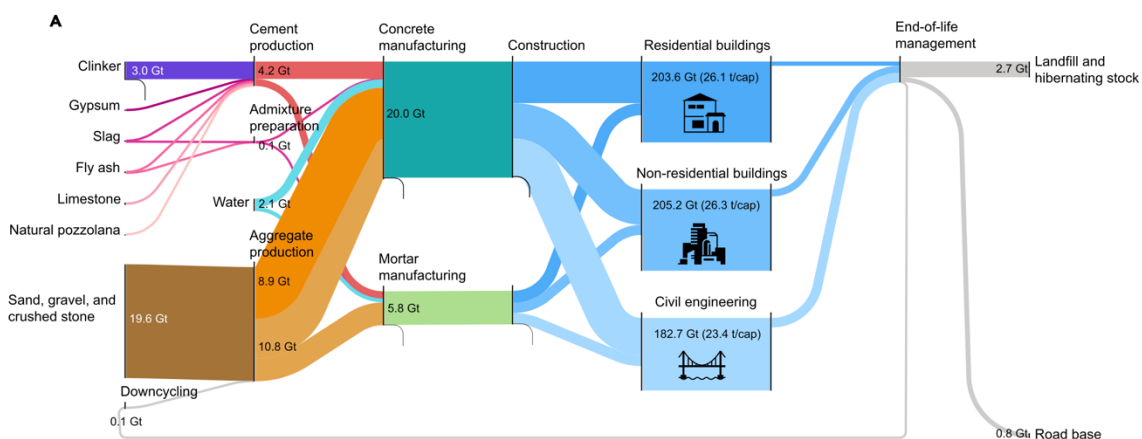
Gustave Magnel, docent aan de universiteit van Gent en oprichter van het Laboratorium voor Gewapend Beton, ontwikkelde in samenwerking met het Brusselse bouwbedrijf Blaton zijn eigen voorspanstelsysteem 'Blaton-Magnel'. Zijn opgericht labo, dat hedendaags gekend is als het Laboratorium Magnel voor Gewapend beton, was een groot succes. Hij kon rekenen op vele opdrachten uit zowel het binnen- als buitenland (Van de Voorde, 2016). Hij was mede-ontwerper van de Boekentoren, het Universitair Ziekenhuis en het Technicumgebouw van de faculteit Ingenieurswetenschappen in Gent (Universiteit Gent, 2006). Zijn bijdrage heeft ongetwijfeld geleid tot het enorme gebruik van beton in onze bouwcultuur. Kijken we specifiek naar de Belgische cementsector, dan noteren we drie grote cementgroepen: Heidelberg Materials, Holcim België en CCB. Deze drie bedrijven worden vertegenwoordigd door Febelcem, de Federatie van de Belgische Cementnijverheid. Ze behoren tot de grote internationale groepen, waaronder HeidelbergCement, Holcim en Cementir Holding (Febelcem, 2021). Sinds 1990 produceren ze ongeveer 6 miljoen ton cement per jaar. Dit cijfer bereikte een hoogtepunt in 2023 van maar liefst 7,23 miljoen ton. Dit wil zeggen dat er jaarlijks per inwoner ongeveer 620 kg cement gerbruikt wordt. (Febelcem, 2023).



1.5. Een samenstelling van cement, granulaten en water

Om inzicht te krijgen in de milieu-impact van beton, is het belangrijk om de bestanddelen afzonderlijk te bestuderen. Het materiaal bestaat typisch uit 10% tot 15% cement, 70% tot 80% granulaten, 15% tot 20% water en eventuele hulpstoffen (Taerwe, 2018), waarbij cement de grootste milieu-impact heeft (Watari et al., 2023). Als gevolg wordt er voornamelijk gezocht naar cementvervangers, zoals hoogovenslak of vliegask (Druart & Xhonneux, 2018), en wordt de milieu-impact van de granulaten en het gebruikte water vaak vergeten. Eventuele hulpstoffen worden in deze analyse niet opgenomen aangezien ze slechts in zeer geringe mate aanwezig zijn in beton en ze een positieve impact hebben op de duurzaamheid ervan (Betonhuis, 2019).

Na het toevoegen van water aan de bestanddelen begint de chemische reactie. Het uitharden van het beton is het gevolg van het hydraulisch karakter van cement; er is met andere woorden water nodig om de reactie te starten. Een positieve eigenschap van cement is dan ook dat het zonder lucht kan uitharden, bijvoorbeeld onder water (Druart & Xhonneux, 2018). De granulaten, meestal zand en grind, vormen de ruggengraat van het beton. Ze nemen de drukkrachten op en de cementpasta verbindt ze met elkaar tot de betonmatrix (Alan, 2024). Concluderend uit Figuur 2, hebben granulaten op gewichtsvlak het grootste aandeel in de samenstelling van beton.



Figuur 2: De globale betoncyclus in 2020. Overgenomen van *Growing role of concrete in sand and climate crises*, door Watari et al., 2023.

1.5.1. Cement

Cement is een fijn gemalen mineraal materiaal dat in contact met water een pasta vormt (Camerlynck, 2024). Het traditionele Portlandcement bestaat uit vijf essentiële grondstoffen die in de cementoven gaan: CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 en MgO . CaO , oftewel calciumoxide, is het product dat men verkrijgt uit CaCO_3 , oftewel kalksteen. Gezien in de samenstelling van de klinker kalk een gewichtsverhouding tot 68% heeft, zijn cementfabrieken logischerwijs gevestigd naast kalksteengroeves. De genoemde stoffen worden vermalen tot een fijn poeder en worden in een cilindrische draaioven geleidelijk tot een temperatuur van 1.450°C verhit. In dit proces zijn enkele temperaturen van groot belang. Rond 900°C ontbindt de kalksteen zich in kalk en gasvormig CO_2 , dit proces heet calcinatie. Bij 1.450°C vormen de componenten hydraulische verbindingen; dit noemt men sintering. Aan het einde van de oven, na het sinterproces, ontstaat Portlandklinker. Deze bestaat uit hydraulische samenstellingen van eerdergenoemde grondstoffen, waarbij Tricalciumsilicaat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) het grootste gewichtsaandeel heeft.



Deze stof heeft invloed op de begin- en eindsterkte van beton (Druart & Xhonneux, 2018). De processen op hoge temperaturen en de bijhorende decarbonatie zijn de reden waarom de CO₂-uitstoot in cementproductie zo moeilijk te reduceren is (Watari et al., 2023). Er is niet alleen enorm veel energie nodig om tot een temperatuur van 1.450°C te komen, ook komt er een enorme hoeveelheid CO₂ vrij (Druart & Xhonneux, 2018). Ongeveer 51% van de totale cement-gerelateerde uitstoot is te danken aan de laatste, gevolgd door 29% aan de verbranding van brandstof voor de cementovens (Watari et al., 2023).

Om de gigantische cement-gerelateerde CO₂-uitstoot iets meer in de hand te krijgen, experimenteerde men met enkele cementvervangers. Steeds vaker worden er industriële restmaterialen zoals vliegas en hoogovenslak gebruikt (Ecobouwers, 2025). Deze restmaterialen vertonen dezelfde hydraulische eigenschap als traditioneel Portlandcement (Druart & Xhonneux, 2018). Vliegas is een fijn poeder dat deel uitmaakt van de verbrandingsgassen bij de verbranding van steenkool in onder andere elektriciteitscentrales. De stof wordt elektrostatisch of mechanisch van de gassen afgescheiden en bestaat voornamelijk uit SiO₂ en Al₂O₃ (VVM Cement, 2025). Dit zijn twee van de hoofdbestanddelen van cement, waarbij met name SiO₂ zorgt voor de reactiviteit (Druart & Xhonneux, 2018). Hoogovenslak daarentegen is een bijproduct van de productie van ruwijzer. Staal wordt gemaakt in hoogovens, waarin ijzererts (Fe₂O₃) en cokes tot wel 2.300°C worden verhit. Hierbij werken de cokes als brandstof en reductiemiddel. Het vloeibare ruwijzer dat wordt gecreëerd, verzamelt zich op de bodem van de hoogoven. Deze verkregen laag wordt bedekt met een laag slak die ongeveer drie keer lichter is dan het ruwijzer. Dit slak bestaat uit de niet-metaalhoudende delen van het erts. Elke ton gietijzer genereert ongeveer 250 kg slak (Camerlynck, 2024).

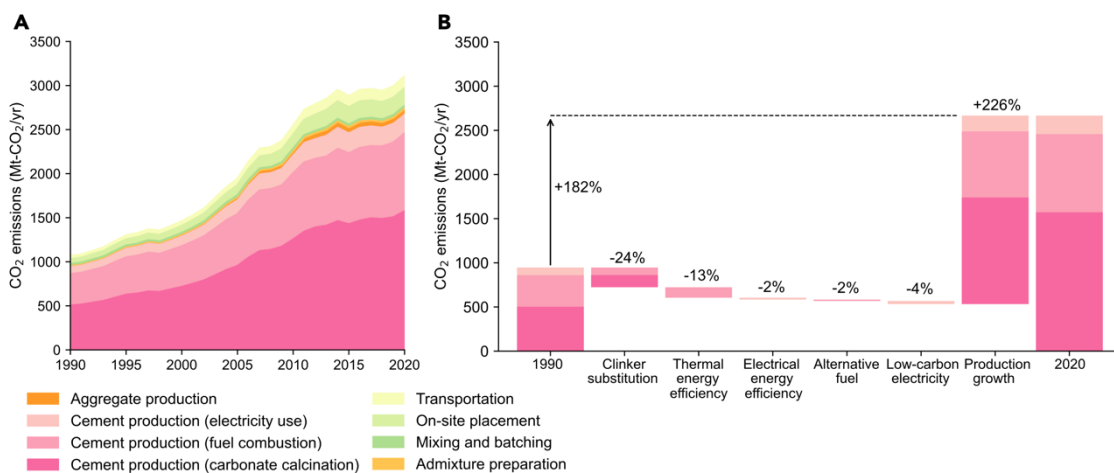
Portlandklinker is het belangrijkste bestanddeel van Portlandcement (CEM I) met een aandeel van 95% tot 100% (Camerlynck, 2024), de overige maximale 5% zijn toeslagstoffen. Buiten Portlandcement zijn er volgens de Europese norm NBN EN 197-1 nog vier andere gewone cementsoorten, elk met hun eigen dosering van traditioneel klinker, hoogovenslak en vliegas (Druart & Xhonneux, 2018). Officiële cementnamen bevatten een reeks aan informatie. De hoofdsoort wordt weergegeven met een Romeins cijfer, gevolgd door informatie zoals de hoeveelheid portlandcementklinker, andere hoofdbestanddelen zoals hoogovenslak of vliegas, de sterkteklasse, de beginsterkte en eventuele speciale eigenschappen. Een voorbeeld hiervan is de cementbenaming CEM II/B-V 42,5 N. Dit staat voor samengesteld portlandcement met een klinkergehalte (klasse B) tussen 65% en 79%. De toevoeging 'V' duidt op vliegas, terwijl 42,5 staat voor de normsterkte van 42,5 N/mm² en de 'N' voor een normale beginsterkte (BetonLexicon, 2025).

Cementsoort	Benaming
CEM I	Portlandcement
CEM II	Samengesteld Portlandcement
CEM III	Hoogovencement
CEM IV	Puzzolaan cement
CEM V	Composietcement

Tabel 1: *Cementsonu orten en hun bijhorende benaming*. Gebaseerd op gegevens uit "Betonbestanddelen", door Druart & Xhonneux, in *Handboek Betontechnologie*, 2018.



De productie van cement is verantwoordelijk voor maar liefst 70% van de CO₂-uitstoot bij het gieten van beton op de werf (Küpfer, 2024). De nodige uitstootreductie is dan ook voor een groot deel afhankelijk van de cementsector. De mondiale sector wordt gekenmerkt als oligopolie, waarbij de macht geconcentreerd is bij een handvol spelers; slechts zes producenten vertegenwoordigen een marktwaarde van meer dan 10 miljard euro (Companies Market Cap, 2025). Hierdoor is transitie sterk afhankelijk van hun monopolie en marktactiviteiten. De strategie waarbij de Portlandklinker (deels) vervangen wordt door restmaterialen uit industriële productie toont een reductie van 223 Mt-CO₂/jaar, wat de grootste vermindering is van alle strategieën (Watari et al., 2023). Dergelijke tactieken zijn essentieel om de emissies van de cementproductie te verminderen, hoewel de vervangende stoffen restproducten zijn van eveneens zeer vervuilende processen. De verbranding van steenkool, die centraal staat in beide besproken processen, veroorzaakt immers een hoge CO₂-uitstoot en de vorming van giftige stoffen (MilieuCentraal, 2025). In dat opzicht is de huidige 'vergroening' van de cementsector paradoxaal genoeg afhankelijk van andere CO₂-intensieve industrieën. Verdere emissiereductie is te danken aan verbeteringen in het gebied van thermische en elektrische energie-efficiëntie. Deze strategie zorgde respectievelijk voor een vermindering van 119 Mt-CO₂/jaar en 21 Mt-CO₂/jaar (Watari et al., 2023). Alhoewel de resultaten minder zijn dan bij de substitutie van Portlandklinker, zijn deze strategieën niet afhankelijk van andere zeer vervuilende productieprocessen. Bovenstaande verminderingen in uitstoot zijn jammer genoeg niet op te merken wegens de enorme productietoename in de cementindustrie. Tussen 1990 en 2020 is de cementproductie viervoudig toegenomen. Dit leidt, rekening houdend met de verbeteringen, tot een drievoudige toename van de uitstoot (Watari et al., 2023).



Figuur 3: CO₂-emissie geassocieerd met de globale betoncyclus tussen 1990 en 2020, en emissieverlagende ingrepen met hun respectievelijke impact. Overgenomen van *Growing role of concrete in sand and climate crises*, door Watari et al., 2023.



1.5.2. Granulaten

Granulaten hebben niet alleen het grootste gewichtsaandeel in beton (Watari et al., 2023), maar met een part van 75% ook het grootste volumeaandeel (Taerwe, 2018). Het is dus belangrijk de milieu-impact hiervan ook in kaart te brengen. Granulaten bestaan uit zand, grind of steen en hebben een belangrijke bijdrage aan de sterkte van het uiteindelijke beton (Horemans, 2018). Op gewichtsvlak zijn ze de meest gewonnen materialen op onze planeet. In veel regio's gebeurt granulaatwinning, verkoop en beheer ongereguleerd, wat resulteert in sociale en ecologische gevolgen. De vernietiging van ecosystemen, illegale mijnwerken en corruptie zijn slechts enkele voorbeelden (Watari et al., 2023). Als gevolg ontginnen we zand sneller dan dat het op een natuurlijke manier opnieuw kan aangemaakt worden, wat ecosystemen vernietigt (The Week, 2023). Het beste zand om beton mee te maken is rijnzand, maar door de massale exploitatie is deze grondstof al uitgeput (Magalhães, 2024). De substitutie van granulaten door gerecycleerde granulaten is een strategie die sporadisch toegepast wordt, dit noemt men gerecycleerd beton (Küpfer, 2024). Deze aanpak helpt enkel op vlak van afvalvermindering en het behoud van natuurlijke granulaten (Xiong et al., 2024). Er is eenzelfde hoeveelheid water, zand en cement nodig voor het 'gerecycleerde' beton, waardoor zijn ecologische impact en CO₂-voetafdruk hetzelfde blijft (Xing et al., 2022). Te strenge betoneisen in België zorgen er zelfs voor dat gerecycleerd beton niet mogelijk is (S. De Meuter, persoonlijke communicatie, 15 oktober 2025), alhoewel het bouwteam van het ZIN-project in Brussel 30.000 ton puin verzamelde en verwerkte tot 3.500 ton A+ aggregaten. Deze werden geïntegreerd in 30.000 ton nieuw beton. Het is voor het eerst in België dat deze operatie op die schaal werd toegepast voor structurele betonnen toepassingen (Ergon, 2025). Recyclage, in bredere zin, is het onderwerp waar men het meeste in geëvolueerd is de laatste jaren. Aangezien dit de op één na slechtste keuze is wanneer we kijken naar 'The 10 R's of circularity', kunnen we concluderen dat dit niet de beste optie is (Charef et al., 2011).

1.5.3. Water

Aangezien granulaten droge substanties zijn en cement aangekocht wordt in poedervorm, wordt de waterconsumptie van de betonindustrie vaak over het hoofd gezien (Miller et al., 2018). Veel landen in Europa lopen het risico op waterschaarste en frequentere droge periodes. Dit is schadelijk voor de natuur, maar ook voor onze economie (European Commission, 2025). Er is water nodig in de productieprocessen van de betonbestanddelen, maar ook tijdens het opwekken van energie om deze processen van stroom te voorzien (Miller et al., 2018). Watergebruik kan twee vormen aannemen: waterconsumptie en wateronttrekking. Bij waterconsumptie is het onttrokken water niet langer beschikbaar, omdat het tijdens het proces wordt verbruikt of verwerkt. Wateronttrekking daarentegen verwijst naar het water dat uit een natuurlijke bron wordt gehaald, ongeacht of het daarna wordt teruggevoerd of niet (EcoRise, 2022). Betonproductie is verantwoordelijk voor de jaarlijkse consumptie van 16,6 km³ water, wat ongeveer overeenkomt met 18% van de globale jaarlijkse industriële waterconsumptie. Maar liefst 65,7 km³ water wordt per jaar ontgonnen voor de betonindustrie, waarvan de helft te linken valt aan energiegebruik in de processen (Miller et al., 2018). Onderzoekers schatten in dat tegen 2050 ongeveer 75% van de beton-gerelateerde watervraag afkomstig zal zijn uit gebieden die kampen met waterschaarste, wat de druk op de lokale watervoorziening in deze kwetsbare regio's verder zal doen escaleren. Dit hoge waterverbruik in drogere gebieden verhoogt de ecologische voetafdruk van het materiaal aanzienlijk (Forta, z.d.).



1.6. Afbraakcultuur

Niet alleen in België, maar over de hele wereld, kennen we een afbraakcultuur. Als gevolg van het diepgewortelde lineaire bouwproces, is de mens zeer sceptisch over de circulaire tegenhanger waarin hergebruik de hoofdrol speelt (Charef et al., 2021). Veel structuren, inclusief gebouwen, worden gesloopt wegens 'veroudering' (Thomson & van der Flier, 2011). Een term die we beter kennen is *obsolescence*, de Engelse vertaling. De zogezegde *end-of-life* toestand van een structuur heeft meestal niets te maken met de draagcapaciteit van de draagstructuur of de kwaliteit van de materialen (Küpfer, 2024). Het fenomeen is vooral een gevolg van onze afkeer voor een bepaald gebouw, wat een sociologisch obstakel is (Thomson & van der Flier, 2011), in combinatie met een enorme vraag naar bouwgrond (Küpfer, 2024) en de lage productiekosten van nieuw gefabriceerde materialen (Ghyoot et al., 2018). Hierdoor is de sloopcultuur verantwoordelijk voor 50% van het totale afval dat wordt geproduceerd door de zogenaamde AEC-sector; Architecture, Engineering en Construction (Charef et al., 2011).

Uit historische data blijkt dat de genoemde parameters in het verleden wezenlijk anders van aard waren dan tegenwoordig. In die periode bestond er een bouwcultuur waarin het hergebruik van materialen centraal stond. Dit is onder andere het gevolg van de toen hoge productiekosten van handwerk en beperkte transportmogelijkheden (Ghyoot et al., 2018). De huidige markt wordt gekenmerkt door kostenefficiënte sloopmethoden, waardoor de conventionele afbraak van een structuur economisch competitiever is dan zorgvuldige ontmanteling en opslag (Küpfer, 2024). Daarnaast bestaat er binnen de sector een sterke scepsis ten aanzien van hergebruikte materialen, aangezien deze vaak met een verhoogd risicoprofiel worden geassocieerd (Charef et al., 2011). Voor de 20^{ste} eeuw was het gebruikelijk om gebouwen die afgebroken werden te ontmantelen en de bouwmaterialen te verkopen. De afbraaksites werden omgevormd tot openluchtveilingen en de verhouding tussen de ontmantelingskost en de verkoopwinst kon oplopen tot 1 op 3. Deze praktijk zorgde voor figuren zoals Achilles Picart als afbraakaannemer (Ghyoot et al., 2018).

In de naoorlogse *economic boom*-context stegen de prijzen over de gehele linie; zodoende werd ook het slopen van gebouwen aanzienlijk kostbaarder. De nieuwe cultuur van bonussen en boetes bij het al dan niet halen van een deadline was één van de redenen om gebouwen zo snel mogelijk af te breken. Nieuwe mechanische technieken werden ontwikkeld die de sloopaannemers hielpen in hun professie. Verbrandingsmotoren, die gebruikt werden tijdens de Eerste Wereldoorlog, werden ingezet om nieuwe afbraakmachines te maken (Ghyoot et al., 2018). De Tweede Wereldoorlog zorgde voor een enorme evolutie van het industriële apparaat. Oorlogsgoederen zoals pantserwagens, tanks, geweren en munitie werden aan de lopende band vervaardigd. Wegens het destructieve karakter van de oorlog was de markt nooit verzadigd en ontwikkelde men snelle en efficiënte productiemethoden (De Vlieger, 2024). Ook de bulldozer, die gebruikt werd aan het front, wordt ingezet in het slopen van gebouwen (Ghyoot et al., 2018). De optimalisatie van efficiëntie en snelheid binnen de industriële fabricage, aangedreven door de Industriële Revolutie en verder versneld tijdens de Wereldoorlogen, legde de basis voor lage productiekosten en de daaropvolgende massa-industrie en -consumptie (Roach et al., 2019; Grübler, 1995).



1.7. De boom in betonconsumptie

De verandering van agricultuur naar industriële activiteiten als belangrijkste motor van economische groei ging gepaard met een enorme vooruitgang in efficiëntie en productiviteit. De arbeidsmarkt bood een steeds diverser palet aan functies en het nationaal inkomen steeg, met als gevolg dat de arbeiders ook met een hoger loon gecompenseerd werden (Grübler, 1995). De koopkracht, en het productaanbod, steeg waardoor de arbeider zijn hoger inkomen kon spenderen aan de nieuwe producten. Dit was de essentie van de massaconsumptie (Bonneuil & Fresco, 2013). Een treffend voorbeeld van deze consumptieverplichting is te vinden in de historische *company towns*. De fabrieksbaas bouwde zijn productieketen op, ver weg van de bestaande steden. Hij zorgde voor huisvesting voor zijn arbeiders en voorzag enkele economische activiteiten zoals een bakker, een cinema en een café (Lowell, 2015).

De stijgende efficiëntie van de industriële productie, en de daaruit voortvloeiende prijsdaling van goederen, vormde in combinatie met de bevolkingsgroei een belangrijke drijfveer achter de enorme vlucht van de betonproductie. Deze demografische groei zorgde immers voor een acute behoefte aan huisvesting en infrastructuur (van Oss, 2005; Watari et al., 2023). De uitvinding van gewapend beton aan het eind van de jaren 1860 gold als een cruciale katalysator voor de bouwsector, aangezien dit materiaal in staat is om trekspanningen effectief op te vangen (van Oss, 2005). Aangezien de baksteenproductie enorm daalde, met bijvoorbeeld een productieniveau van slechts 37% in de Rupelstreek, steeg de baksteenprijs aanzienlijk. De enorme vraag naar dit materiaal tijdens de wederopbouw na de verwoestende Eerste Wereldoorlog kon niet ingewilligd worden. Constructiesystemen uit beton vormden een valabel alternatief, met als gevolg dat beton in grote hoeveelheden ingezet werd (Van de Voorde, 2011). Het echte kantelpunt van de massaconsumptie van beton is te vinden in de wederopbouw van gebombardeerde steden na de Tweede Wereldoorlog (Küpfer, 2024). Op dit moment startte ook de zoektocht naar prefabricatiesystemen in de woningbouw. In tegenstelling tot België kreeg dit veel belangstelling in landen zoals Frankrijk en Rusland. De populariteit van beton werd op een andere manier verworven in ons land. Figuren zoals Gustave Magnel, als protagonist van het voorgespannen beton, en Abraham Lipski en Louis Baes met hun innovatieve Preflex-balk, speelden hierin een sleutelrol (Van de Voorde, 2011). De eigenschappen van het materiaal zelf mogen uiteraard niet uit het oog worden verloren. De veelzijdigheid in vormgeving van betonnen structuren komt hierbij telkens opnieuw naar voren. Sinds 1920 werd gewapend beton gezien als een synoniem van de nieuwe architectuur (Forty, 2012).

Deze nieuwe, betonnen, architectuur gaat gepaard met een ander soort bouwdetailering. Voor het massale gebruik van beton, toen men voornamelijk bouwde met hout en steen, werden droge verbindingen ingezet (Vansteenkiste, 2005). Arbeiders konden simpelweg met een houweel en hamer de structuren ontmantelen om de elementen te verkopen en opnieuw te gebruiken (Ghyoot et al., 2018). Deze 'simpele' praktijk was onmogelijk met monoliet structuren zoals een betonskelet (Fayyad & Abdalqader, 2020). Kolommen en balken werden aan elkaar gestort om een sterker geheel te verkrijgen (Beton Lexicon, 2018). Het monoliete karakter van betonconstructies (Fayyad & Abdalqader, 2020) en de sterk geëvolueerde, efficiënte en snelle slooppraktijk (Ghyoot et al., 2018) zorgden ervoor dat ook deze structuren niet gespaard bleven van de sloophamer. Beton en steenachtige materialen vertegenwoordigen meer dan 80% van het totale bouw- en sloopafval in Europa (Xiong et al., 2024).



1.8. Toenemende betonkwaliteit

Deze, voornamelijk sociale en innovatieve, factoren zijn niet de enige redenen voor de groei van het betongebruik. Innovaties in de kwaliteit van het materiaal zelf spelen ook een belangrijke rol (Van de Voorde, 2011). Een belangrijke inbreng is om een idee te hebben van de kwaliteitsgeschiedenis en de bijkomende hoogtepunten, om de levensduur van een constructie in te kunnen schatten. Er zijn verschillende kwaliteitslabels ontwikkeld om de materiaalkwaliteit te controleren, waarvan het BENOR-label het belangrijkste voorbeeld is binnen de Belgische context (BENOR, 2025). De combinatie van innovatieve productiemethoden en toenemende materiaalkennis maakt het mogelijk om duurzamer beton te produceren met een langere levensduur dan het beton uit de beginperiode van de moderne betonbouw (Van de Voorde, 2011).

Er werd al gebruik gemaakt van beton, in een andere vorm dan we vandaag kennen, rond 7000 voor Christus in het hedendaagse Israël (Stanley et al., 1999). In de regio's van Syrië en Jordanië werden vloeren, huizen en ondergrondse waterreservoirs uit kalkbeton gemaakt (Giatec Scientific, 2022). Het materiaal kwam voor als een combinatie van ongebluste kalk, water en stenen. Tussen 5000 en 2500 voor Christus zijn geen enkele sporen terug te vinden over betongebruik (Stanley et al., 1999). Rond dit tijdsperk gebruikten de Egyptenaren modder gemengd met stro om gedroogde stenen te binden. Onderzoekers beweren dat ze kalk- of gipsmortel gebruikten tussen de bouwstenen van de Grote Piramiden van Gizeh (Giatec Scientific, 2022). De allereerste illustratie in het gebruik van beton, 1950 voor Christus, is te vinden op een muurschildering in Egypte dat het productieproces toont (Stanley et al., 1999).

Het zijn de Romeinen die de betonbouw tot een hoogtepunt brachten, hun sporen zien we vandaag nog steeds (Giatec Scientific, 2022). Dit is een duidelijke indicatie van de kwaliteit van hun productiemethode (De Roy, 2023). De eerste voorbeelden waar ze beton gebruikten dateren uit 300 voor Christus (Stanley et al., 1999). Tegen 200 voor Christus verwerkten ze het materiaal in het grootste deel van hun bouwwerken (Giatec Scientific, 2022). Een enorme vooruitgang in de sterkte van het materiaal is dan ook te danken aan hen. Ze gebruikten vulkanisch as, gevonden dichtbij Pozzuoli, dat siliciumdioxide (SiO_2) en aluminiumoxide (Al_2O_3) bevatte (Stanley et al., 1999). Dit was werkelijk het sleutelement in de zoektocht naar enorm sterk beton. De scheepvaart zorgde voor de verspreiding van de vulkanisch as doorheen het Romeinse Rijk (De Roy, 2023). Vitruvius nam het gebruik, en de samenstelling, van beton op in zijn handboek voor de Romeinse architecten en stichtte hiermee een eerste vorm van regelgeving (Stanley et al., 1999). Niet alleen had het Romeinse beton een hogere sterkte dan voorgaande mengsels, het had ook een zelfherstellende eigenschap. Duidelijke witte kalkklasten van enkele millimeters in omvang zijn aanwezig in het materiaal. Onderzoekers zagen dit altijd als een gevolg van een slordige mengeling, maar ze hebben wel degelijk een functie. Wanneer beton barst, zal de breuklijn hoogstwaarschijnlijk door enkele kalkklasten gaan. Het binnengedrongen water lost de reactieve klasten op (De Roy, 2023). Deze reactie zorgt voor een kristallisatie tot calciumcarbonaat, dat voorkomt in een harde vorm (Druart & Xhonneux, 2018). Op deze manier worden barsten hersteld alvorens die zich kunnen verspreiden (De Roy, 2023).

Niet alleen zelfhelend beton werd uitgevonden door de Romeinen, ook de eerste vorm van lichtgewicht-beton is te danken aan hen. Als granulaat werd er verbrijzeld puimsteen gebruikt (Stanley et al., 1999). Dit vulkanisch gesteente is zeer poreus en ontstaat wanneer lava snel afkoelt waardoor het geen tijd krijgt om te kristalliseren (Rafferty, 2006). Een laatste belangrijk kenmerk van Romeins beton is de weerstand tegen zout zeewater. Wanneer de Romeinse betonsamenstelling in contact komt met zout zeewater, reageren de componenten van het vulkanische as tot nieuwe mineralen. Eén van die mineralen is Al-tobermorië, dat versterkende en



1
scheurvoorkomende eigenschappen bezit (Kraaijvanger, 2017). In tegenstelling tot Romeins beton erodeert modern beton, waar geen vulkanische as in zit, door het zoute zeewater (TT, 2017).

Na de val van het Romeinse Rijk ging bijna alle kennis over het Romeinse beton verloren. Het was pas in 1414 dat manuscripten werden teruggevonden die het recept beschreven, waardoor de belangstelling ervoor opnieuw werd aangewakkerd (Giatec Scientific, 2022). Dit wil niet zeggen dat beton helemaal niet gebruikt werd in de Middeleeuwen. In vele kastelen, kerken en kathedralen is beton terug te vinden in de funderingen. Slechts enkele gevallen bezitten ook een betonnen vloer. In plaats van vulkanisch as gebruikten ze lokale kalksteen om te branden tot ongebluste kalk. Deze kalksteen werd ook gebruikt als granulaat (Stanley et al., 1999).

De 18^{de} eeuw wordt gekenmerkt als de start van de vele experimenten met cement, waarbij ingenieur John Smeaton een belangrijke rol speelde (Stanley et al., 1999). Hij pionierde in het gebruik van snel-hardend beton, dat direct afhankelijk is van het kleiaandeel in de gebruikte kalksteen (Nobis, 2025). Hij schreef zijn onderzoek neer in het boek genaamd 'A narrative of the Eddystone Lighthouse', waarvan Joseph Aspdin in 1813 een kopie kocht (Stanley et al., 1999). Als 'uitvinder' van het welbekende Portlandcement, is dit geen onbelangrijke naam. Hij experimenteerde met het verbranden van kalksteen en klei tot de samenstelling calcineerde (Nobis, 2025). Het product wordt klinker genoemd, dat het hoofdbestandsdeel is van het uiteindelijke cement (Watari et al., 2023). Hij vermaalde de klinker tot stof en mixte het met water. Zijn product noemde hij 'Portland Cement', dat verwees naar de gekende sterke steen van het eiland Portland in Dorset, Verenigd Koninkrijk (Nobis, 2025). De naam werd niet alleen gekozen omdat zijn uitgeharde product zo sterk was, ook omdat de kleur bijna identiek was aan deze steen. De gedachte dat zijn uitvinding gemaakt zou zijn in Portland is dus onwaar. Hij patenteerde zijn Portlandcement op 21 oktober 1824 (Stanley et al., 1999). In 1845 ontwikkelde Isaac Johnson een productiesysteem waarbij hij kalksteen en klei op een temperatuur tot 1.500°C brandde, veel hoger dan Joseph Aspdin zijn experiment. Sinds 1850 steeg het gebruik van Portlandcement aanzienlijk (Nobis, 2025).

Samen met de staalindustrie verbeterde de betonproductie en -kwaliteit tot een context die klaar was voor de ontwikkeling van gewapend beton (Van de Voorde, 2011). In 1830 werd het idee beschreven in de *Encyclopaedia of cottage, farm and village architecture* (Stanley et al., 1999), 18 jaar eerder dan het eerste tastbare project van Jean-Louis Lambot; de gewapende betonnen boot (Huber, 1966). De ontwikkeling zorgde voor veel sensatie op de wereldtentoonstelling in Parijs in 1855 (Stanley et al., 1999) en het aantal experimenten met de composiet steeg. William Wilkinson, een stukadoor-bouwer uit Newcastle, was de eerste die de functie van de wapening beschreef (Van de Voorde, 2011). Hij patenteerde het gebruik van platstalen staven in vloeren en rechte of gebogen balken in 1854. De meeste betonnen constructies waren echter nog steeds ongewapend (Stanley et al., 1999). Een belangrijke mijlpaal in de kwaliteit van het beton is te vinden in Duitsland in 1878. Hier werd de eerste standaard goedgekeurd die verschillende testmethodes en minimale eigenschappen beschreef. Veel landen volgden kort na de goedkeuring met eigen interpretaties op de standaard (Nobis, 2025). Het wereldwijde gebruik van gewapend beton is uiteindelijk te danken aan François Hennebique, met 'le système Hennebique' (Van de Voorde, 2011). Hij patenteerde zijn gewapende betonnen kolommen, balken en vloerplaten in 1892. Het succes van zijn systeem zorgde ervoor dat hij tegen 1902 meer dan zesduizend opdrachten over heel Europa op zijn naam kon zetten (Deseyn, 1993). Door de wapeningsstaven aan te brengen in de trekzone van geribde draagvloeren zorgde hij niet alleen voor een monolithisch geheel tussen vloer en balken, verankerd aan de kolommen (Ensie, 2025), maar ook voor een gemakkelijk en economisch voordeliger systeem (Van de Voorde, 2011). De experimenten met wapeningsstaven in beton zorgden voor een belangrijke uitvinding; de



voorgespannen betonnen ligger. Franse brugingenieur Eugene Freyssinet startte de ontwikkeling van zijn idee in 1908 (Stanley et al., 1999). Stalen wapeningsstaven, die tussen ankers voorgespannen worden, brengt men aan in het nog natte beton. Wanneer het uitgeharde beton een voldoende sterkte heeft, wordt de verankering vrijgemaakt. De aanvankelijke trekkracht in de wapening wordt overgebracht op het beton dat hierdoor aan een drukkracht wordt onderworpen (Espion & Provost, z.d.). Op deze manier zullen de aanwezige drukkrachten eerst overwonnen moeten worden vooraleer de ligger op trek wordt belast (Stanley et al., 1999). Een belangrijk figuur in de individuele ontwikkelingen van voorgespannen-betonsystemen is Gustave Magnel, die de mogelijkheden van spanbeton demonstreerde in zijn *Toren der Televerbindingen* (Van de Voorde, 2011).

Vóór de uitvinding van de truckmixer werd beton gemaakt op de bouwsite zelf. Hiervoor werden zakken cement aangekocht die in de cementfabriek gemaakt werden (Wentink, 1995). De afweging van de componenten gebeurde veelal op gevoel waardoor de betonkwaliteit sterk varieerde (Urquhart & O'Rourke, 1940). Alhoewel er verschillende standaardspecificaties ontwikkeld werden sinds 1878 (Shetty, 1982), is de uiteindelijke betonkwaliteit te danken aan de juiste verhoudingen (Druart & Xhonneux, 2018). Een grote vooruitgang in de kwaliteit is te danken aan de truckmixer, die vers beton met een vrachtwagen leverde op de bouwsite (Wentink, 1995). Na een experimentele fase ontdekte architect Jurgen Heinrich Magens dat de uithardingsfase van vers beton kon uitgesteld worden door het beton te koelen en te trillen tijdens transport. Hij kon bijkomend aantonen dat de karakteristieken zelfs verbeterden door de trillingen (Biasioli, 1999). Tijdens dit proces ontsnappen mogelijke luchtbellens en wordt het beton verdicht (Pollet, 2018). Omstreeks 1903 werd in Duitsland beton vervaardigd in daarvoor speciaal ingerichte fabrieken, om vervolgens te transporteren naar de bouwsite (Wentink, 1995). Na de Tweede Wereldoorlog was deze praktijk wijdverspreid over Europa (Biasioli, 1999). Het is pas in de jaren 1960 dat Belgische cementproducenten ook een afdeling 'stortklaar beton' oprichtten (Van de Voorde, 2011). In de komende jaren verbeterde de kwaliteit van het stortklare beton aanzienlijk wegens verschillende ontwikkelingen van kwaliteitscontroles en normen, die later uitbloeden tot de EN 206 standaard (Biasioli, 1999).

Een eerste studie naar een Belgische standaard dateert van 1920, dat na een kritische ronde werd gepubliceerd in 1923 als eerste uitgave van het ABS Verslag nummer 15. Na enkele herzieningen en nieuwe inzichten bloeide de standaard uit tot een eerste versie van de welgekende NBN 15 in 1954 (Belgisch Instituut voor Normalisatie, 1955). Aangezien beton grotendeels afhankelijk is van lokaal aanwezige materialen, ontwikkelde elk land zijn eigen norm (Biasioli, 1999). In die tijd werd de sterkte van beton nog afgeleid uit de hoeveelheid aanwezige cement in het mengsel (Belgisch instituut voor Normalisatie, 1955). De introductie van een Europese norm was gericht op het harmoniseren van de materiaalkwaliteit, wat grensoverschrijdende handel in bouwproducten mogelijk moest maken. In het midden van de jaren 1970 deed ERMCO, European Ready Mixed Concrete Organization, een eerste worp en publiceerde ze de 'Code of good practice for ready-mixed concrete' (Müller, 2011). Verschillende opvolgende jaren van voorbereidend werk resulteerden in de eerste uitgave van de EN 206-norm in 1999 (Biasioli, 1999). De standaard ging voornamelijk over de componenten en de eigenschappen van vers en uitgehard beton. Lokale verschillen in blootstellingsklasse en types cement zorgden ervoor dat elk Europees land een nationale bijlage ontwikkelde (Müller, 2011). Na de introductie van de Europese EN 206-norm werd de Belgische nationale standaard NBN B 15-001:1992 vervangen door de NBN EN 206-1:2001. Deze Europese norm werd in België gehanteerd in combinatie met de specifieke Belgische aanvulling NBN B 15-001:2004 (FEBELCEM, 2005).



Op dit moment wordt de wereldwijde cementmarkt gereguleerd door slechts een handvol multinationals. Zij hebben niet alleen invloed op alles rondom het productieproces, maar zijn ook verantwoordelijk voor de nodige evolutie naar een milieuvriendelijkere aanpak (Building Radar, 2024). Kijken we naar de betonkwaliteit specifiek, dan merken we een ontwikkeling van kwaliteitslabels die ervoor zorgen dat het geproduceerde en geconsumeerde beton van besliste kwaliteit is. Het door ons meest gekende voorbeeld is het BENOR-label, dat al 50 jaar een belangrijke kwaliteitsgarantie voorziet voor de gebruikte bouwmaterialen. Het label is eigendom van het Bureau voor Normalisatie, oftewel NBN, dat we kennen van de Belgische specificatie op de Europese EN 206 (BENOR, 2025). Omdat een specifieke CE-norm voor dit product ontbreekt, garandeert BENOR niet alleen de integriteit van het beton zelf, maar ook de volledige organisatie, productie en kwaliteitscontrole (Holcim België, 2013). Sinds 2024 beheert PROCERTUS – een fusie tussen BE-CERT, PROBETON en OCAB-OCBS – het BENOR-label voor zowel stortklaar beton, mortel als prefabbeton (PROCERTUS, 2025).

Het vervuilende karakter van de cementindustrie leidde tot experimenten met cementvervangers zoals vliegas en hoogovenslak (EcoBouwers, 2025). Aangezien de normen geschreven zijn op basis van traditioneel beton, is het moeilijk aan te tonen dat een niet-traditioneel beton ook voldoet aan hedendaagse normen. De *Equivalent Concrete Performance Concept* werd ingevoerd en is geïmplementeerd in de Belgische bijlage als NBN B15-100. Wanneer men met experimentele testen kan aantonen dat het niet-traditioneel beton even duurzaam en performant is als traditioneel beton, waar de eigenschappen van gekend zijn, dan voldoet het product. Op deze manier kan men ook niet-traditionele betonmengsels inzetten in het bouwlandschap (Matthys, 2020).

1.9. De nood aan hergebruik

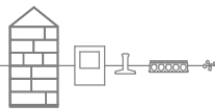
De uitgebreide introductie benadrukt de dringende nood aan het hergebruiken van beton. Dit kan gebeuren op verschillende niveaus, gaande van het opnieuw invullen van een betonnen structuur, aldus *adaptive reuse* (Kitaev, 2024), tot het verpulveren van bestaand beton om granulaten te hergebruiken in gerecycleerd beton (Vrijders & De Bock, 2019). Hierbij wordt de laatste gezien als *downcycling*, aangezien het element niet meer in zijn oorspronkelijke toepassing wordt benut (Küpfer, 2024). Ook staat 'Recycle' op de voorlaatste trede van de R-ladder van de circulaire economie. Enkel 'Recover', het terugwinnen van energie uit de gebruikte grondstoffen, staat er nog onder (Milgro, 2022). Een cruciaal inzicht is dat het hergebruik van granulaten in gerecycleerd beton de cementbehoefte niet reduceert; er is nog steeds een identieke hoeveelheid cement vereist als bij de productie van traditioneel beton (Xiong et al., 2024). Aangezien cement-gerelateerde uitstoot verantwoordelijk is voor 86% van de totale beton-gerelateerde uitstoot (Watari et al., 2023), is deze optie dus te vermijden en dient men bij voorkeur beton te hergebruiken in zijn geheel.

De geschiedenis van de betonkwaliteit, in combinatie met de verworven kennis over de bestanddelen, leert ons dat het niet voldoende is om een materiaal te ontwikkelen met een hogere levensverwachting, ook de energie die nodig is om dit product tot stand te brengen moet gereduceerd worden. De recente ontdekking van de zelfhelende karakteristiek (De Roy, 2023), en de resistentie tegen zoutwater door tobermoriëet (Kraaijvanger, 2017) van Romeins beton doet ons inzien dat historische samenstellingen ons nog iets kunnen bijbrengen. Binnen het hergebruikthema is onderscheid tussen betonnen elementen uit verschillende productie jaren essentieel; zo garandeert het BENOR-label vaak een hogere kwaliteit. Hoewel er gestreefd wordt naar maximale circulariteit zonder onnodige discriminatie van componenten, blijft deze kwaliteitsdifferentiatie cruciaal.

2. Een verzameling aan hergebruik



Over hergebruikstrategieën, faciliterende instanties en de bereidheid tot hergebruik



2.1. Hergebruikstrategieën

Binnen het kader van hergebruik ligt de focus bij betonconstructies primair op de dragende structuur. Het grootste aandeel van de ingebedde energie en de CO₂-impact van een gebouw zit doorgaans in het dragend systeem (Rakhshanbabanari, 2021). Gezien de hoge uitstoot-gerelateerde cijfers in de betonindustrie (Watts, 2019; Watari et al., 2023; Global Cement and Concrete Association, 2025; Broer et al., 2022), is de milieu-impact van een betonnen draagstructuur niet te overzien. Bij de beoordeling van de hergebruiksmogelijkheden van betonproducten vormt de 'Ladder van Lansink' een waardevol analytisch kader. De drie bovenste stappen, gekleurd in verschillende tinten groen, vormen ook de drie hergebruikstrategieën die in onze context als schappelijk worden gezien: preventie, hergebruik en *recycling*. 'Energie' bevindt zich een trede onder voorgaande en wijst op het terugwinnen van energie uit niet-herbruikbaar afval door verbranding (Milgro, 2022). Deze optie staat volledig onderaan de R-ladder waardoor die dient vermeden te worden (Green Matter, 2024). Bijgevolg wordt deze niet behandeld in de masterproef.

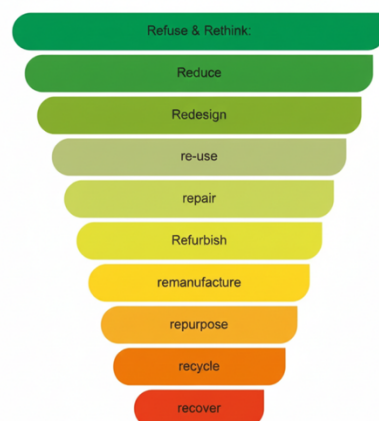
Omdat de trede 'hergebruik' diverse vormen kent en er een tussenstap mogelijk is tussen 'hergebruik' en 'recycling', namelijk brokstukken gebruiken in een nieuwe compositie (Grangeot et al., 2025), kan het model verder worden verfijnd. Hiervoor helpt de eerder vernoemde R-ladder, die ervoor zorgt dat grondstoffen in de procesketen blijven (Milgro, 2022). Een opmerkelijk aspect van dit model is de positie van 'recycling' op de voorlaatste trede van de circulariteitsladder; dit staat in schril contrast met de grootschalige toepassing en de overwegend positieve connotatie die het concept in de praktijk geniet (Vrijders & De Bock, 2019; Rakhshanbabanari, 2021). Bij het recyclen worden betonelementen verbrijzeld tot puin, om vervolgens de granulaten te recupereren en in te zetten in gerecycleerd beton (Küpfer, 2024). Aangezien voor gerecycleerd beton een identieke hoeveelheid water, zand en cement vereist is (Xiong et al., 2024), en het vermalen van beton tot puingranulaat effectief wordt beschouwd als downcycling (Küpfer, 2024), vormt deze methode geenszins de optimale strategie binnen het circulaire gedachtegoed.

de ladder van lansink

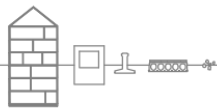


Figuur 4: De ladder van Lansink. Overgenomen van *Ladder van Lansink: uitleg en betekenis voor de circulaire economie*, door Milgro, 2024.

de R-ladder



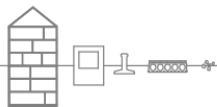
Figuur 5: De R-ladder. Overgenomen van *De R-ladder: uitleg en betekenis voor uw afval*, door Milgro, 2022.



Uit deze twee modellen kan men vijf duidelijke beton-hergebruiksmogelijkheden afleiden. De beste manier om de bouwpraktijk circulair te maken, is door ons gebouwde landschap langer in gebruik te nemen. Een belangrijke manier om de levensduur van gebouwen te verlengen, is door voldoende te investeren in het systematisch onderhoud ervan (Brand, 1994). Aangezien in onze massaconsumptiecultuur snel afkeer getoond wordt voor een bepaald gebouw, is dit een moeilijk gegeven (Thomson & van der Flier, 2011). Deze aanpak is in lijn met 'preventie' op de ladder van Lansink en met 'Refuse & Rethink' op de R-ladder. Een tweede manier is het behouden van de structuur, maar deze te voorzien van een nieuwe invulling. Het gebouw, of de constructie, wordt gezien als het startpunt van een nieuw ontwerp (Kitaev, 2024). Deze aanpak is in lijn met 'hergebruik' op de ladder van Lansink en met 'Redesign' en 're-use', en in sommige gevallen ook met 'repair', 'Refurbish', 'remanufacture' en 'repurpose', op de R-ladder. De derde mogelijkheid is het hergebruiken van individuele betoncomponenten of -modules, en vormt het hoofdthema van deze masterproef. Deze aanpak is in lijn met 'hergebruik' op de ladder van Lansink en met 're-use', en in sommige gevallen met 'repair', 'Refurbish', 'remanufacture' en 'repurpose', op de R-ladder. Het onderzoek van Maxence Grangeot onder het Structural Xploration Lab aan de EPFL, de verwerking van betonnen brokstukken in nieuwe toepassingen (Grangeot et al., 2025), wordt gezien als een oplossing tussen het hergebruiken van volledige componenten en recycleren en vormt de vierde mogelijkheid. Deze aanpak is in lijn met 'hergebruik' op de ladder van Lansink en met 'Refurbish', 'remanufacture' en 'repurpose' op de R-ladder. De laatste oplossing in het betonhergebruik-thema is het verpulveren van betonnen elementen tot puin, waaruit men vervolgens de granulaten recupereert om in te zetten in gerecycleerd beton. Deze aanpak is in lijn met 'recycling' op de ladder van Lansink en met 'recycle' op de R-ladder.

Hergebruikstrategie	Ladder van Lansink	R-ladder
Preventie	Preventie	<i>Refuse & Rethink</i>
<i>Adaptive reuse</i>	Hergebruik	<i>Redesign</i>
		<i>Re-use</i>
		<i>Repair</i>
		<i>Refurbish</i>
Hergebruik betonelementen of -modules	Hergebruik	<i>Remanufacture</i>
		<i>Repurpose</i>
		<i>Re-use</i>
		<i>Repair</i>
Hergebruik van betonnen brokstukken	Hergebruik	<i>Refurbish</i>
		<i>Remanufacture</i>
		<i>Repurpose</i>
		<i>Refurbish</i>
Gerecycleerd beton	<i>Recycling</i>	<i>Recycle</i>

Tabel 2: Koppeling tussen de Ladder van Lansink, de R-ladder en circulaire hergebruikstrategieën.



2.1.1. Preventie

In Vlaanderen werd in 2022 de gemiddelde leeftijd van gebouwen op 58,8 jaar vastgesteld. Dit onderzoek wordt gedaan sinds 2016, en toont jaarlijks een stijging in de gemiddelde leeftijd (Vlaanderen Circulair, 2025). Aangezien 21,3% van de bestaande gebouwen in België gebouwd zijn voor 1919 (Statbel, 2024), en bijna 350.000 gebouwen in Vlaanderen ouder zijn dan een eeuw (Van Nieuwenborgh, 2024), wordt er een groot deel gebouwen afgebroken vooraleer ze de gemiddelde leeftijd van 58,8 jaar halen. In 2022 had de constructie- en sloopsector in België een afvalaandeel van maar liefst 41,4% van de totale afvalproductie (Eurostat, 2024). Een belangrijke stap die genomen moet worden om de gemiddelde leeftijd van gebouw op te krikken, is het systematisch onderhouden van het bestaande gebouwenlandschap (Brand, 1994).

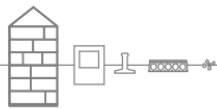
Een duidend voorbeeld hierbij is het project 'Transformation des bâtiments Gounod, Haendel et Ingres' van bureaus Lacaton & Vassal architectes, Frédéric Druot Architecture en Christophe Hutin Architecture in Bordeaux. De bestaande gebouwen met 530 appartementen uit de vroege jaren 1960 werd volledig behouden. Door enkel wintertuinen en balkons toe te voegen aan de bestaande gebouwen, genoten de residenten van meer natuurlijk licht, een grotere bewoonbare oppervlakte en een panoramavisie over Bordeaux (Lacaton & Vassal, 2017). Dat het gebouw eerst op de sloopleist stond, vormt een belangrijke nota (EUMies Awards, 2019). Binnen deze context kent het principe 'preventie' een tweeledig voordeel: enerzijds door de annulering van het sloopvoorstel, anderzijds door de verlenging van de levensduur via een toevoeging. Het originele gebouw is niet aangepast, behalve dan dat er openingen zijn vergoot om de wintertuin te bereiken (Lacaton & Vassal, 2017). Het project won de *European Union Prize for Contemporary Architecture – Mies van der Rohe Award* in 2019 wegens, volgens de jury, aanpasbaarheid en generositeit (A+, 2019).



Figuur 7: Toegevoegde wintertuin op Bâtiments Gounod, Haendel en Ingres. Overgenomen van Ruault, geciteerd in *Dan toch geen Belgische winnaar Mies van der Rohe Award*, door Architectura, 2019.



Figuur 6: Transformatie van 530 appartementen. Overgenomen van Ruault, geciteerd in *The role of Architects is Shifting: From Solitary Visionaries to Collective Activists*, door Souza, 2025.



2.1.2. Adaptive reuse

Architectuur is geen vast gegeven, maar een complexe samenwerking tussen verschillende lagen. Dit concept, geïntroduceerd door Francis Duffy en Stewart Brand, toont dat architectuur is opgebouwd uit zes lagen met elk een verschillende aanpassingsfrequentie: de site (eeuwig), de structuur (300 jaar), de bouwhuid (20 jaar), de technieken (15 jaar), de ruimtelijke invulling (3 jaar) en de voorwerpen (maandelijks) (Brand, 1994). De mogelijkheid tot verandering van een of meerdere lagen resulteert in een verfijning van voorgaande configuratie. Op deze manier is architectuur een continu proces van transformaties (Kitaev, 2024).

Het klopt dat er klassiek wordt uitgegaan van een structurele levensduur van 50 jaar, alhoewel de betonnen draagconstructies veel langer van dienst kunnen zijn. Wanneer een correcte betondekking wordt aangebracht, duurt het 100 jaar tot het carbonatatiefront de wapening bereikt (De Schutter, 2021). Door bijkomend rekening te houden met belangrijke bouwdetails en de milieuklasse, kan een performante betonnen constructie gemaakt worden. Door de draagstructuur te behouden en enkel de onderliggende lagen aan te pakken of te veranderen, maken we gebruik van de *adaptive reuse*-strategie (Küpfer, 2024). Het behoud van bestaande betonconstructies voorkomt de noodzaak tot sloop, wat resulteert in een aanzienlijke reductie van zowel energieverbruik als operationele kosten. In dit opzicht is een *adaptive reuse*-aanpak niet alleen interessant om de mogelijkheden te onderzoeken van een gebouw, maar is het ook een milieuvriendelijke oplossing.

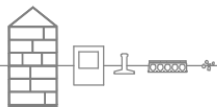
Het project 'Hi!' in Grimbergen van architectenbureau PLUSOFFICE en Global Estate Group als ontwikkelaar toont zeer duidelijk het concept *adaptive reuse*. De voormalige koffiefabriek van Douwe Egberts werd herbestemd tot een duurzaam en multifunctioneel bedrijventerrein (Global Estate Group, 2022). Niet alleen kantoren en een eventruimte zijn er aanwezig, ook een sportclub, een productiefaciliteit van HelloFresh en een kleiner gebouw dat dient als feestzaal (Polspoel, 2024). Niet alleen de volledige betonstructuur wordt behouden, ook achtergelaten meubilair wordt opnieuw ingezet. Nieuwe tussenwanden zijn geplaatst op een doordachte manier zodat nieuwe planconfiguraties mogelijk zijn en de aanpasbaarheid bevorderd wordt (Polspoel, 2022).



Figuur 8: Visualisatie transformatie voormalige site van koffiefabrikant Douwe Egberts. Overgenomen van Plusoffice, geciteerd in *Plusoffice transformeert productietoren Douwe Egberts tot modulaire kmo-hal*, door Verhulst, 2022.



Figuur 9: Interieur van de getransformeerde voormalige site van koffiefabrikant Douwe Egberts. Overgenomen van Hi! Site: voormalige gebouwen koffiefabrikant herleven als maak-, werk- en recreatieplek, door Polspoel, 2024.

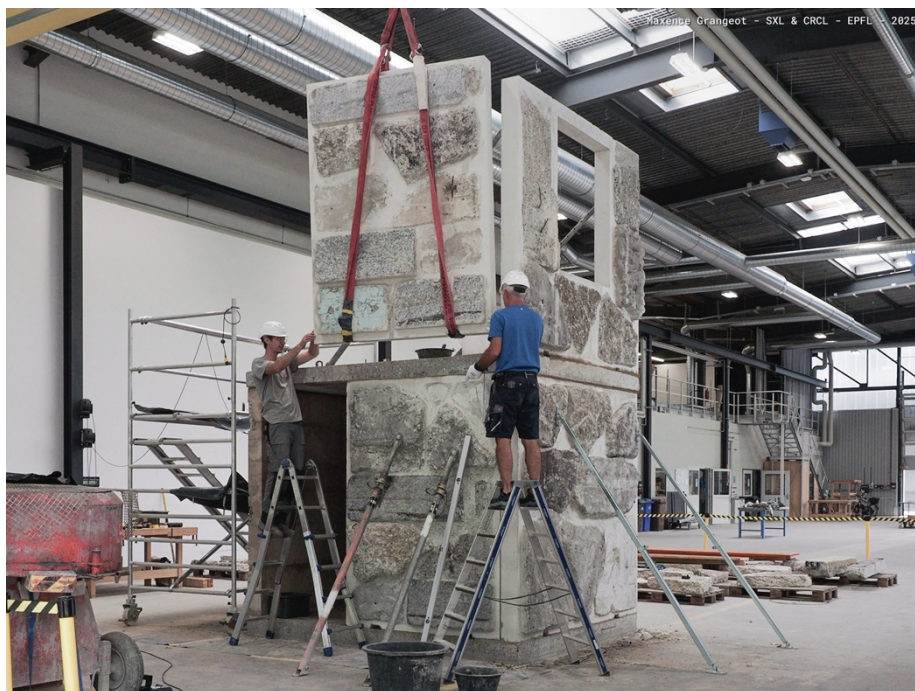


2.1.3. Hergebruik betonelementen of -modules

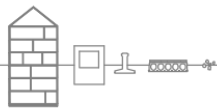
Vanwege de focus van deze masterproef op het hergebruiken van betonnen elementen (of modules), wordt er hier in het eerste deelonderzoek 'het bestaande beton-hergebruiklandschap' dieper op ingegaan. 24 casussen worden geïdentificeerd en beschreven om een overzicht te krijgen over het hedendaagse beton-hergebruiklandschap, zowel in België als in andere Europese landen. Het deelonderzoek beoogt de tastbare obstakels te identificeren die grootschalige toepassing belemmeren, evenals de katalysatoren die deze praktijk juist kunnen versnellen.

2.1.4. Hergebruik van betonnen brokstukken

Naast het direct hergebruiken van volledige betonelementen en het recycleren van betongranulaten, kan er een relevante tussencategorie worden geïdentificeerd. Maxence Grangeot, een doctoraatsonderzoeker aan de EPFL, onderzoekt hoe betonbrokken opnieuw ingezet kunnen worden in muren. Dit thema ontwijkt de nood om betonnen brokstukken verder te moeten verpulveren na afbraakwerken, en zorgt in dit stadium voor *upcycling* (Grangeot et al., 2025). Verschillende manieren werden onderzocht: enerzijds het effectief metselen van de brokstukken, anderzijds het horizontaal rangschikken ervan in een bekisting, waarna deze configuratie met stortklaar beton werd samengebracht. Met zijn *Re:bble Pavilion* en de *Re:bble Tower* ging hij verder dan enkel muurconfiguraties. Op deze manier wordt de inzetbaarheid van het principe op grotere schaal aangekaart (EPFL, 2025). Er wordt intensief gebruik gemaakt van 3D scans, digitale fabricatie en robotapparatuur om de muren te ontwerpen en uit te voeren. Zijn uitwerking brengt een hoge kost met zich mee en gekwalificeerde operatoren zijn nodig om de apparatuur te besturen. Deze complexiteit zorgt ervoor dat het experiment nog niet op grote schaal toegepast kan worden (Grangeot et al., 2025).



Figuur 10: *De assemblage van de Re:bble Tower* Overgenomen van Grangeot (2025), geciteerd in *Re:bble Pavilion* - La recette suisse du réemploi de béton structurel, door EPFL.



2.1.5. Gerecycleerd beton

Op de R-ladder vindt men 'recycle' op de voorlaatste trede, boven 'recover', waardoor deze praktijk een van de laatste circulariteitsstrategieën is die in aanmerking komt in een circulair project. Alhoewel deze strategie vroeger als toppunt van duurzaamheid werd beschouwd, ziet men het nu als een van de minst circulaire beslissingen (Milgro, 2022). Men verpulvert afgedankte betonelementen tot betonpuin, dat op zijn beurt gebroken wordt om de granulaten te splitsten van fijn zand en cement. Op deze manier worden primaire grondstoffen gespaard en krijgen de geoogste granulaten een tweede leven (Rens, 2021). Deze verkregen granulaten vervangen een deel van de natuurlijke granulaten, waarna het verkregen betonproduct 'gerecycleerd beton' wordt genoemd (Küpfer, 2024). Strenge betonkwaliteitseisen zorgen ervoor dat deze praktijk nog niet vaak toegepast wordt (S. De Meuter, persoonlijke communicatie, 15 oktober 2025). Aangezien de beoogde betonelementen niet hoogwaardig worden hergebruikt, ziet men het gebruiken van gerecupereerde granulaten in gerecycleerd beton als *downcycling* (Küpfer, 2024). De schaarse toepassing van deze praktijk resulteert in een aandeel gerecycleerde granulaten van minder dan 1% in de totale betongranulaatproductie (Watari et al., 2023). Aangezien het recyclen van bouwmaterialen de voorlaatste keuze is als circulariteitsstrategie (Milgro, 2022), houdt men dit cijfer best zo laag mogelijk. Bovendien levert het gebruik van deze granulaten niet direct een milieuvoordeel op. Door hun hogere porositeit absorberen ze meer water, wat de betonkwaliteit nadelig beïnvloedt en de geschiktheid voor structurele toepassingen beperkt. Daarnaast is er evenveel, of zelfs meer, cement nodig om de betonkwaliteit toch te verzekeren. Omdat cementproductie verantwoordelijk is voor 74% tot 94% van de totale milieu-impact, is de besparing door gerecycleerde granulaten nagenoeg verwaarloosbaar (Xing et al., 2022). De Nederlandse MKI-methode bevestigt dat sloop en recycling een significant hogere impact hebben dan demontage of hoogwaardig hergebruik (Snoek & Knuiman, 2021).

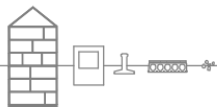
Een duidend projectvoorbeeld in België is het ZIN-project van de architectenbureaus 51N4E, l'AUC en Jaspers-Eyers, samen met de ontwikkelaar Befimmo. In dit project werd het Brussels World Trade Center (WTC), bestaande uit twee kantoorstorens uit respectievelijk 1973 en 1977, getransformeerd naar een multifunctioneel gebouw waar kantoren, appartementen, een hotel, werkplekken, een sportcentrum en openbare verblijfsplekken een plaats kregen. Hierbij bleven de originele funderingen, de plintverdiepingen en de twee structurele betonnen kernen bestaan, en werd het betonpuin gerecycleerd tot bruikbare granulaten van de hoogste klasse. Deze werden verwerkt in het beton dat gebruikt werd in de nieuwe druklaag, vloerplaten en in prefab elementen (51N4E & l'AUC, 2024).



Figuur 11: ZIN-project in Brussel. Overgenomen van Delvaux, geciteerd in ZIN, door 51N4E.



Figuur 12: Toegangsruimte in het ZIN-project. Overgenomen van *Where life and work come together in innovative and sustainable ways*, door Befimmo.



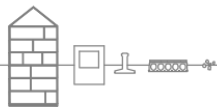
2.2. Helpende instanties

Een hergebruiktraject wordt veelal niet gestart omdat men geen idee heeft wat er moet gebeuren of waarmee te starten (Hradil et al., 2014). Documenten zoals stappenplannen, standaarden, technische documenten en voorbeeldprojecten helpen om een zicht te krijgen op het traject dat we verleerd zijn (Ghyoot et al., 2018). Er zijn genoeg voorbeelden te vinden van projecten waar er gebruik wordt gemaakt van tweedehands bouwmaterialen. Enkele zijn zelfs tot in een enorm detail berekend en beschreven, denk maar aan K118 van Baubüro in situ (Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, 2022) en het ZIN-project van Jaspers-Eyers Architects, L'AUC en 51N4E (Persyn & Gess, 2022). Deze documentatie en berekeningen zijn belangrijk om de impact van het hergebruikverhaal in kaart te brengen. Zo heeft het team van Baubüro in situ maar liefst 500 ton aan primaire materialen bespaard, waarmee 60% van de anders benodigde CO₂-uitstoot is vermeden (Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, 2022). Deze cijfers worden gebruikt om een ecologisch bewustzijn te creëren en verschillende actoren duiding te geven over het enorme voordeel van een circulaire bouwpraktijk (Borret et al., 2024). Verschillende overheidsinstanties, of EU-gefinancierde initiatiefgroepen, zien het belang van hergebruik en faciliteren de nodige onderzoeken. De volgende paragrafen lichten enkele groepen uit die een sleutelrol vervullen binnen het bestaande hergebruiklandschap.

2.2.1. Bestaand Belgisch kader

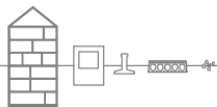
Zodra een gebouw wordt aangemerkt als te slopen object, wijzigt de juridische status naar 'afval'. De fysieke constructie verliest daarmee in de praktijk haar economische waarde (M. S. Velasquez, persoonlijke communicatie, 12 december 2025). Zodra men waarde toekent aan herbruikbare bouwmaterialen, verschuift het knelpunt naar de vraag wie verantwoordelijk is voor de kwaliteit ervan en wie er aansprakelijk is bij eventuele gebreken. De algemene regel in het oude Burgerlijk Wetboek is dat de verkoper aansprakelijk is als producten niet over de gewenste kwaliteit beschikken. Maar wanneer elementen geoogst zijn door de sloopaannemer, hersteld en verkocht worden door de tussenpersoon in een tussenopslag en geplaatst worden door de aannemer; wie is er dan aansprakelijk voor gebreken? De Wet Productaansprakelijkheid van 25 februari 1991 is ruim beschreven en lijkt meer betrekking te hebben op de eigenlijke producent, oftewel originele fabrikant, van het product. Deze is verantwoordelijk voor de levering en vrijwaring van het product. Dit laatste houdt in dat de verkoper garandeert dat jij als koper de rechtmatige eigenaar bent, en dat de verkoper instaat voor de kwaliteit en bruikbaarheid van het product. Indien herstellingen of aanpassingen worden gedaan aan het product, of één van bovenstaande instanties zichzelf uitspreekt als verantwoordelijke over het product, dan is die instantie aansprakelijk (Van Garsse et al., 2024). Met andere woorden, de aansprakelijke speler voor een gebrek aan het product hangt af van de aard van het gebrek en wie er een wettelijke uitspraak heeft gedaan over het product.

Buiten knelpunten door de toepassing van een bestaand juridisch kader dat niet gericht is op een hergebruiktraject, is het inzetten van de juiste spelers op de juiste momenten moeilijk. Projecten met hoge circulaire ambities worden veelal geminimaliseerd in de uitvoeringsfase omdat de sloopaannemer te laat in het projectproces geïntegreerd wordt. Er moet meer tijd en budget worden vrijgemaakt om analyse van het hergebruikpotentieel mogelijk te maken. Ook organisatorisch is er een *shift* nodig van goedkope en snelle sloopprocessen, naar het organiseren van selectieve ontmanteling en opslag. Een sleutelfiguur, die veelal vergeten wordt, is daarom ook de sloopaannemer. Het Living Lab Circulaire Sloopteams, een initiatief van VLAIO, concentreert zich daarom voornamelijk op hoe men deze speler vroegtijdig kan integreren in een



samenwerkingsproces met alle nodige actoren (Cambier et al., 2025). De toepassing van het huidige Burgerlijke Wetboek op het circulaire traject, dat nog geen eigen wettelijke verankering kent, impliceert dat de sloopaannemer als verkoper wordt aangemerkt zodra een tussenopslaghouder of andere partij ontmantelde materialen van hem koopt. Aangezien zijn activiteit invloed kan hebben op de veiligheid van het product, leiden de regels over productveiligheid mede naar de aansprakelijkheid van de sloopaannemer (Van Garsse et al., 2024). Met andere woorden krijgt de sloopaannemer een nieuwe verantwoordelijkheid en kan hij aansprakelijk worden gesteld voor door hem ontmantelde materialen. Hoewel deze kwalificatie juridisch logisch is, creëert zij een extra verantwoordelijkheid waar de sector terughoudend op kan reageren, met name vanwege de bijbehorende aansprakelijkheidsrisico's (Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening & Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2026). Vóór de uitvoering van fysieke werkzaamheden moeten duidelijke afspraken over de aansprakelijkheid worden gemaakt en contractueel worden vastgelegd (Van Garsse et al., 2024).

Met een specifieke focus op structurele betonnen elementen, start de UHasselt in samenwerking met Buildwise in 2026 een TETRA-project dat gericht is op het hergebruiken van deze componenten. Met oog op de ontwikkeling van een alomvattende handleiding voor horizontale betonnen elementen, zal dit project van uiterst belang zijn voor toekomstige hergebruiktrajecten (Vereecken et al., 2025). Er wordt een begeleidingsgroep opgesteld waar onder andere SBE (J. Marysse, persoonlijke communicatie, 5 november 2025) en Sanacon (T. Soetens, persoonlijke communicatie, 19 november 2025) deel van uitmaken. Het tweejarige onderzoeksproject zal wetenschappelijk onderbouwde methoden aanreiken om de restcapaciteit betrouwbaar te evalueren, in combinatie met heldere richtlijnen, onderzoek naar ecologische en economische voordelen en rekentechnische methoden. Tegen de achtergrond van het bestaande juridische kader wordt aanvullend onderzoek verricht naar businessmodellen en beleidsvormen die de verdeling van verantwoordelijkheden faciliteren (Vereecken et al., 2025). Verschillende voorgaande onderzoeksprojecten, samen met het TETRA-project en toekomstige onderzoeken zullen uiteindelijk het circulaire traject standaardiseren en, belangrijker nog, economisch haalbaar maken (M. S. Velasquez, persoonlijke communicatie, 12 december 2025).



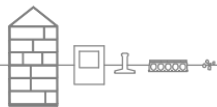
2.2.2. ReCreate – Duitsland, Finland, Zweden en Nederland

Het onderzoeksprogramma ReCreate wordt geleid door de Universiteit van Tampere (TAU) en gefinancierd vanuit het Horizon 2020-programma van de Europese Unie. Gezien hergebruik van geprefabriceerde betonelementen de energieconsumptie en de CO₂-voetafdruk met 93% tot 98% kan reduceren ten opzichte van primaire productie, stelt het project zich tot doel de betonkringloop te sluiten door ontmantelingscasussen en hoogwaardig hergebruik van deze componenten te faciliteren. Op deze manier wordt de technische en economische haalbaarheid onderzocht wanneer men betonnen structuren, die niet ontworpen zijn op ontmanteling, gaat hergebruiken. De grootste obstakels in het proces worden blootgelegd op basis van zowel ontmantelings- als heropbouwprojecten. Het project werkt samen met zowel industriële partners als bouwheren van de pilootprojecten (ReCreate, 2021).

Er worden vier grote pilootprojecten opgesteld in Duitsland, Finland, Zweden en Nederland, waarbij meewerkende universiteiten instaan voor het wetenschappelijk onderzoek achter de projecten. Op deze manier wordt er niet alleen gewerkt met een verschil in gebouwengamma, maar wordt het hergebruiken van beton getest onder verschillende normen, industriestructuren, legale kaders en constructietechnieken. Gezien het gigantische aandeel van geprefabriceerde betonstructuren in het bestaande gebouwenlandschap, kan de kennis die verkregen wordt tijdens het ReCreate-project dienen als basis voor toekomstig betonhergebruik. Bijkomend draagt het project zijn steentje bij aan het behalen van de duurzame ontwikkelingsdoelstellingen opgelegd door de Verenigde Naties; waaronder SDG 9 (industrie, innovatie en infrastructuur), SDG 11 (duurzame steden en gemeenschappen) en SDG 13 (verantwoorde consumptie en productie) (ReCreate project, 2021). De verschillende pilootprojecten onder het programma zullen aan bod komen in het eerste deelonderzoek van deze masterproef: 3. 'Deelonderzoek 1: Het bestaande beton-hergebruiklandschap'.



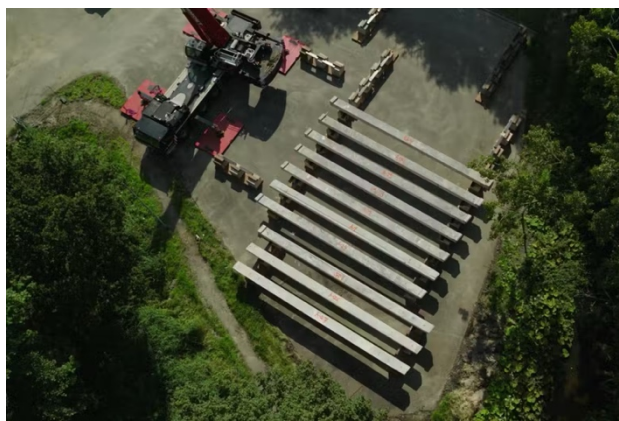
Figuur 13: Logo van het onderzoeksproject ReCreate. Overgenomen van *Reusing precast concrete for a circular economy*.



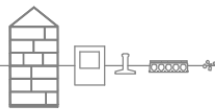
2.2.3. Rijkswaterstaat - Nederland

Als uitvoeringsinstantie van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is Rijkswaterstaat verantwoordelijk voor het beheer en de ontwikkeling van de nationale infrastructuur. Hierbij ligt de focus op de exploitatie van rijkswegen en wateren in een duurzaam kader (Rijksoverheid, z.d.). Het doel van de organisatie is om in 2030 klimaatneutraal te zijn en circulair te werken. Om dit te realiseren wordt er zo min mogelijk gebruik gemaakt van primaire grondstoffen en worden vrijgekomen materialen veilig en hoogwaardig hergebruikt (Rijkswaterstaat, z.d.). Dit streefdoel is deel van een breder circulair programma waarin Nederland een volledig circulaire economie wil ontwikkelen voor 2050, zoals ook het geval is in vergelijkbare landen. Er wordt niet alleen ingezet op het hergebruiken van vrijgekomen materialen, ook worden producten zodanig ontworpen dat ze in de toekomst hergebruikt kunnen worden met zo min mogelijk waardeverlies en zonder schadelijke emissies naar het milieu (Het ministerie van Infrastructuur en Milieu et al., 2016).

Aangezien het uitvoeringsorgaan Rijkswaterstaat focust op transportinfrastructuur, zal hun hergebruikverhaal voornamelijk gaan over onderdelen en materialen uit bestaande wegen, bruggen en sluizen. Bij de verbreding van de A9 worden bestaande bruggen onbruikbaar, waardoor een grote hoeveelheid materialen vrijkomt. Maar liefst 360 betonnen liggers werden al geoogst. Ze zullen gebruikt worden in andere projecten van Rijkswaterstaat, maar ook van provincies en gemeenten. Enkele succesvolle voorbeelden, die beschreven worden in het eerste deelonderzoek van deze masterproef, vormen de basis om deze toepassing op te schalen. Rijkswaterstaat coördineert de ontmanteling van de liggers en zorgt ervoor dat ze gebruikt worden in nieuwe projecten. Een bijkomende taak is dan ook om de geoogste liggers te testen en schoon te maken (Rijkswaterstaat, z.d.). Gezien Rijkswaterstaat een overheidsgebonden instelling is, hebben ze een voorbeeldfunctie en dient er geen winst gemaakt te worden op de projecten. Hun budgetten worden bepaald op basis van de rijksbegroting. Daarnaast worden de ramingen voor verplichtingen, uitgaven en ontvangsten jaarlijks vastgesteld. (Tweede Kamer der Staten-Generaal, 2025). Buiten betonnen liggers wordt er ook een tweede leven gegeven aan vangrails die in goede staat zijn. Met hun Asphalt Recycling Train kan de organisatie zelfs asfalt van de weg schrapen, reinigen en meteen opnieuw aanbrengen. Deze aanpak minimaliseert de noodzaak voor transport en bespaart zowel primaire grondstoffen als CO₂-emissies (Rijkswaterstaat, z.d.). Een zeer opmerkelijk project van Rijkswaterstaat, samen met gemeente Amsterdam en Rotterdam, is de opbouw van de Nationale Bruggenbank; een website waar bruggen en onderdelen van bruggen verkocht worden. Op deze manier is een hergebruikproces voor bruggen laagdrempelig en toegankelijk voor alle overheden (Nationale Bruggenbank, 2022).



Figuur 14: *Geoogste betonnen liggers*. Overgenomen van *Betonnen balken uit weg voor het eerst hergebruikt bij project buiten Rijkswaterstaat*, door Rijkswaterstaat, 2025.



2.2.4. Interreg, Facilitating the Circulation of Reclaimed Building Elements (FCRBE) - Europa

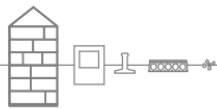
Interreg is een instrument van de Europese Unie dat organisaties uit Europa samenbrengt om na te denken over gemeenschappelijke uitdagingen. Door programma's financieel te ondersteunen en samenwerking te bevorderen, creëert men een kader waarin duurzame ontwikkeling en de bescherming van het klimaat centraal staat (Interreg, z.d.). Er wordt in totaliteit bijna 10 miljard euro verdeeld over een 80-tal programma's, waaronder het project *Facilitating the Circulation of Reclaimed Building Elements*. Het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling (EFRO), dat regionale verschillen in ontwikkelingsniveaus wil verkleinen, staat in voor de financiering (VLAIO, z.d.). Zowel de samenwerking tussen buurlanden als de transnationale en interregionale samenwerking wordt bevorderd. Dit leidt tot doordachte strategieën waar iedereen baat bij heeft. (Interreg, z.d.). Aangezien de evolutie naar een circulaire bouwpraktijk iedereen aangaat, is dit een gedeelde uitdaging en zorgt de uitkomst van het onderzoek voor een internationale evolutie.

In Noordwest-Europa wordt slechts 1% van alle bouwmaterialen opnieuw gebruikt na de eerste functie, terwijl een overgroot deel in een technisch goede staat verkeert. Het FCRBE-project heeft als doel een verhoging in hergebruiksgraad tot 50% te bekomen tegen 2032. Ze faciliteerde tijdens de uitvoering tussen 2018 en 2023 een samenwerkingsverband tussen in hergebruik gespecialiseerde organisaties, sectororganisaties, onderzoekscentra, architectuurscholen en overheidsinstanties (Interreg, 2021). Buiten belangrijke ontwikkelde documenten die hergebruik dienen te faciliteren, zijn ook pilootprojecten opgesteld. Tijdens de operatieperiode van het project werd er maar liefst 2309 ton materialen geoogst, waarbij 321 ton effectief werd hergebruikt in andere projecten (Ghyoot et al., 2024). Alhoewel beton niet voorkomt in het eindrapport over de pilootprojecten, zorgt dit programma voor een belangrijke stap naar een circulaire bouwconomie in zijn geheel. De opgestelde gids om het hergebruikpotentieel van bouwmaterialen te achterhalen is cruciaal in het opschalen van de bestaande hergebruikpraktijk. Hierin worden alle materialen in een te slopen gebouw geïnventariseerd en geïnspecteerd. Het hergebruikpotentieel wordt onderzocht aan de hand van de bestaande hergebruiksmarkt. Op deze manier is men zeker van de hergebruikswaarde en inzetbaarheid. Wanneer het hergebruikpotentieel onduidelijk is omdat er nog geen vastgesteld traject bestaat, kan dit worden bepaald aan de hand van specifieke beïnvloedingscriteria uit de gids. Daarnaast bevat de conclusie van het circulair onderzoek diverse invuldocumenten die helpen bij de inventarisatie en het vaststellen van dit potentieel (Interreg, 2020).

In het onderzoekskader *Facilitating the Circulation of Reclaimed Building Elements* ontwikkelde Rotor, samen met alle projectpartners, een leidraad voor hergebruik van verschillende materialen. Het document verzamelt zoveel mogelijk bruikbare informatie om een hergebruikstraject voor verschillende actoren laagdrempeliger te maken. De eigenschappen, oogstmethode, opslag, hergebruiksmogelijkheden en zelfs indicatieve prijzen en de beschikbaarheid van elk materiaal worden op uniforme wijze beschreven. Daarnaast worden er concrete toepassingsmogelijkheden aangereikt (Interreg, 2021). Hoewel het hoofdstuk over beton nog veel verwijst naar vervolgonderzoek en vrij algemeen blijft, biedt het wel een eerste inzicht in de mogelijke trajecten.



Figuur 15: Logo van Interreg. Overgenomen van *What is Interreg*, door Interreg.



2.2.5. Structural Xploration Lab – École Polytechnique Fédérale de Lausanne - Zwitserland

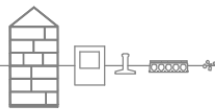
Het Structural Xploration Lab is een onderzoeksgroep die verbonden is aan de School of Architecture, Civil and Environmental Engineering (ENAC) en integraal lid is van het Smart Living Lab, een gezamenlijke faciliteit tussen de École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Université de Fribourg en Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg (EPFL, z.d.). Het laboratorium ondersteunt de bouwsector bij de overgang naar een circulaire bouwconomie. Ze onderzoeken nieuwe mogelijkheden om architecten en constructeurs te voorzien van tools die hergebruik van materialen vergemakkelijken. Een baanbrekend onderzoek van het labo toont de technische, ecologische en economische haalbaarheid aan van het hergebruiken van versneden elementen uit gewapend beton. De focus van de onderzoeken binnen de groep is dan ook gericht op het faciliteren en bevorderen van hergebruik van betonnen elementen an sich. Naast technische analyses ontwikkelt en test het labo hergebruikprotocollen, waarvan de resultaten steeds veelbelovender worden (Fivet, z.d.).

Uit de reeks publicaties gelinkt aan het labo, is het beoordelingsprotocol voor hergebruik van structurele gewapende betonnen elementen fundamenteel voor het tweede deelonderzoek in deze masterproef. Niet alleen voorziet het protocol een overzicht van alle mogelijke schadefenomenen op gewapende betonnen elementen, ook noodzakelijke proeven en beoordelingscriteria worden meegegeven. De publicatie sluit af met een praktische template voor de identificatie en inventarisatie van betonnen elementen, een zogenoemde *factsheet* (Devènes et al., 2022). Een Belgische tegenhanger van de inventarisatiefiche werd ontwikkeld door Tracimat, een door de Vlaamse regering erkende sloopbeheerorganisatie. Ze ontwikkelden met input van een breed netwerk van professionals een invulbare hergebruikfiche die bedoeld is om het potentieel voor hergebruik en hoogwaardige recyclage van materialen in kaart te brengen in een zo vroeg mogelijk stadium van het sloopproject (Tracimat, z.d.). De fiches lijken zich voornamelijk te richten op niet-structurele materialen, omdat vitale informatie over mechanische eigenschappen en specifieke schadefenomenen ontbreekt. Deze opvatting onderstreept de kwaliteit van zowel de hergebruikfiches als het volledige beoordelingsprotocol van het Structural Xploration Lab.

In het eerste deelonderzoek van deze masterproef worden verschillende projecten van het Structural Xploration Lab beschreven waarin betonelementen creatief zijn hergebruikt. De projecten 3.3.20. 'FLO:RE – Structural Xploration Lab', 3.3.21. 'Re:crete – Structural Xploration Lab' en 3.3.23. 'Re:bble – Maxence Grangeot' werden rechtstreeks door het labo uitgevoerd. De elementen in de ontwerpvoorstellen 3.3.19. 'Elementa – Parabase' en 3.3.22. 'L'Eclisse – Solanellas Van Noten Meister' werden door bureau Zirkular geïnventariseerd (Zirkular, z.d.) en vervolgens door het Structural Xploration Lab beproefd. De verzamelde informatie uit dit proces is gedocumenteerd volgens de eerder vermelde *factsheet* (Devènes, 2022).



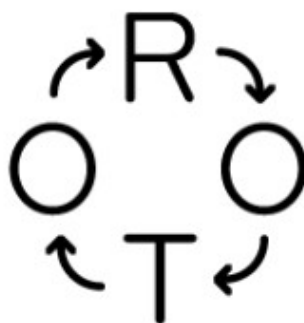
Figuur 16: Het Re:crete team op de gebouwde brug van uitgesneden betonelementen. Overgenomen van Re:crete footbridge prototype, door Brütting.



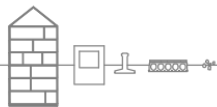
2.2.6. Rotor - België

Rotor is een Brusselse non-profitorganisatie, opgericht in 2005 (Library of Reuse, z.d.). Gedreven door een fascinatie voor materiaalstromen zagen de oprichters het potentieel in wat anderen veel te snel als 'afval' bestempelen. Zij zagen geen restproducten, maar over het hoofd geziene kansen (Gielen, 2022). Als adviesbureau ondersteunen zij bouwheren en beleidsmakers bij het ontwikkelen van terugwinnings- en hergebruikstrategieën. Hun kernmissie is het vergroten van het bewustzijn rondom ecologie, hergebruik en duurzaamheid binnen de bouwsector. In hun eigen interieurprojecten integreerden zij gerecupereerde bouwmaterialen (Library of Reuse, z.d.). Sinds 2012 documenteren ze bestaande handelaars van tweedehands bouwmaterialen in België en in buurlanden, waarbij ze realiseerden dat vele handelaars zich voornamelijk richtten op rustieke materialen bestemd voor de lokale rurale markt. Alle geïdentificeerde handelaars en hun specialisatie zijn gepubliceerd op de door hen opgerichte website Opalis.eu (RotorDC, z.d.). Het doel is niet alleen om de verkoop van gerecupereerde bouwmaterialen te stimuleren, maar ook om experts te lokaliseren die hergebruikambities kunnen omzetten in realiteit (Opalis, z.d.). In deze context werd Rotor Deconstruction opgericht als spin-off project van Rotor. Als coöperatie die zich toelegt op het leveren van gerecupereerde bouwmaterialen uit lokale slooplocaties, waaronder grote publieke gebouwcomplexen, breiden zij de bestaande tweedehandsmarkt aanzienlijk uit (Library of Reuse, z.d.). Waar de focus van Rotor ligt op materiaalstromen en de analyse van het bestaande bouwlandschap, richt Rotor Deconstruction zich specifiek op gebouwen die het einde van hun levenscyclus naderen (Gielen, 2022).

Ze braken internationaal door in 2010, toen een reeks tijdelijke architecturale interventies in Brussel leidde tot de eervolle opdracht om het Belgische paviljoen te ontwerpen voor de Biënnale van Venetië. Vanaf dat moment kwam hun carrière in een stroomversnelling en kreeg hun visie op hergebruik de aandacht die het verdiende (Gielen, 2022). Als hulp bij de documentatie van een hergebruiktraject stelde Rotor, met de steun van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, in 2016 het *Vademecum voor hergebruik buiten de bouwsite* voor. Het document is voornamelijk gericht op de recuperatie van bouwmaterialen uit publieke gebouwen, maar zou evengoed kunnen dienen voor privé-initiatieven. Een groot pluspunt van het vademecum zijn de downloadbare documenten, die variëren van materiaalinventarisaties tot aanbestedingsstukken en juridische typedocumenten (Rotor, 2016). De mogelijkheid tot materiaalhergebruik nuanceert het debat over behoud versus sloop en biedt de ontwerper een uitgebreid scala aan nieuwe opties. Hierdoor ontstaat een dynamische en continue hermodellering van onze gebouwde omgeving (Gielen, 2022).



Figuur 17: Logo van Rotor. Overgenomen van *Rotor is a cooperative design practice that investigates the organisation of the material environment*, door Rotor.



2.3. Een groeiende maar selectieve interesse

De behandelde (overheids)organisaties tonen de interesse in hergebruik en de transitienood naar een circulaire bouwconomie. Het actuele thema resulteert in enkele hergebruikstrategieën, gaande van het verlengen van de levensduur van een volledig gebouw tot het recupereren van granulaten voor gerecycleerd beton. Hoewel deze laatste ecologisch verantwoord klinkt en breed bekend is, vormt het binnen de circulaire context de op één na laatste keuze, vlak voor 'recover' (Milgro, 2022). In gerecycleerd beton is de milieuwinst van hergebruikte granulaten verwaarloosbaar, waardoor men in deze toepassing louter de druk op primaire granulaten verlaagd (Xing et al., 2022). Ondanks de bekende terminologie maken gerecycleerde granulaten nog steeds minder dan 1% uit van de totale granulaatproductie (Watari et al., 2023), en gezien de beperkte milieuwinst is dat wellicht maar goed ook. Doordat de levensduurverlenging van een gebouw vaak zonder uiterlijke wijzigingen plaatsvindt, is het lastig in te schatten hoe vaak deze praktijk in werkelijkheid wordt toegepast. De recuperatie en het hergebruik van niet-structurele bouwmaterialen, zoals bakstenen of tegels, vindt daarentegen frequenter plaats (S. Meersman, persoonlijke communicatie, 20 oktober 2025). Ook *adaptive reuse* is een opkomende praktijk; een strategie die Brussel, samen met andere duurzaamheidsinitiatieven, volledig heeft omarmd (Borret et al., 2024).

Hoewel de onderzochte organisaties benadrukken dat het hergebruik van betonnen elementen momenteel nog zelden voorkomt, wijzen ze ook op het enorme potentieel ervan. Hun onderzoek draagt dan ook wezenlijk bij aan de transitie naar een circulaire bouwsector en het behalen van de klimaatdoelstellingen voor 2050. Er is een groeiende interesse op te merken in de hergebruikpraktijk van betonnen elementen. De behandelde organisaties bieden een mooie balans tussen een alomvattend hergebruikskader voor betonelementen en een focus op specifieke elementen, zoals voorgespannen geprefabriceerde betonnen brugliggers. Uit gesprekken met vertegenwoordigers van aannemers en architectenbureaus blijkt dat er zeker interesse is, maar dat de lage betonprijs en de traditionele bouwpraktijk een echte transitie momenteel nog belemmeren (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 4 mei 2026). De combinatie van groeiende interesse, stijgende CO₂-boetes en lopende onderzoeken zal leiden tot een gestandaardiseerde praktijk die naar verwachting vanaf 2035 economisch rendabel wordt (M. S. Velasquez, persoonlijke communicatie, 12 december 2025).

3. Deelonderzoek 1: Het bestaande betonhergebruiklandschap



Over lessen uit bestaande projecten
binnen het Europese landschap



3.1. Methodologie

Om een betrouwbaar overzicht te krijgen over de bestaande projecten waarin, al dan niet structurele, betonnen elementen zijn hergebruikt, worden er enkele belangrijke geïdentificeerd en onderzocht. Belgische projecten werden gevonden door een gestructureerde e-mail op te stellen en te verzenden naar architectuur- en ingenieursbureaus, (sloop)aannemers, circulaire adviseurs en instanties zoals Buildwise of FEBE. De gevonden projecten worden geanalyseerd en in detail beschreven. Literatuur geeft aan dat projecten waar betonnen componenten worden hergebruikt voornamelijk te vinden zijn in Duitsland, Finland, Nederland, Zweden, Zwitserland en Denemarken (Asam, 2007; Pakarinen & Huuhka, 2021; Rijkswaterstaat, 2021; Weijo, 2020; Küpfer, 2024). Enkele toonaangevende projecten uit die landen worden bijgevolg onderzocht. De casussen worden zodanig gekozen dat ze het hergebruikthema van het respectievelijke land representeren. Er wordt voor elk project een fiche opgesteld met de belangrijkste informatie, in combinatie met een verduidelijkende uitleg. Op deze manier kunnen conclusies geformuleerd worden op basis van een uniform kenniskader. Door projecten met hergebruikte betonelementen te bundelen, ontstaat er een helder overzicht van de bestaande praktijkvoorbeelden.

De meest relevante casussen reiken inzichten aan die het toekomstige hergebruik van betonelementen kunnen faciliteren. Daarnaast tonen ze het potentieel aan om deze praktijk op te schalen. Conclusies die worden genomen uit dit deelonderzoek zullen dienen als basiskennis doorheen het verdere verloop van deze masterproef. De onderzoeksvraag voor dit deelonderzoek luidt: *In welke mate is het hergebruik van structurele betonelementen momenteel geïntegreerd binnen de Europese bouwsector, en welke technische, organisatorische en beleidsmatige factoren binnen bestaande projecten en kaders fungeren als katalysator of barrière voor een breder markt bereik?*

3.2. Gevonden projecten

Er kwam veel reactie op de e-mail, maar helaas leverde dat weinig concrete, bruikbare casussen op. Van de 143 gecontacteerde instanties zijn er slechts drie projecten gevonden waar er gerecupereerde betonelementen worden ingezet. Het Recypark in Jette van architectenbureaus Babini Geysen en TEN (BG TEN) en het Stadsatelier de Ville van Schenk Hattori en Babini Geysen zijn projecten waarbij men volop aan het onderzoeken is in hoeverre de ideeën over betonhergebruik mogelijk zijn. Het Stadsatelier de Ville startte de werf begin 2026. Beide projecten worden in het kader van deze masterproef opgevolgd om de theoretische inzichten te toetsen aan de praktijk. Het lage aantal Belgische casussen wordt aangevuld met de belangrijkste toonaangevende buitenlandse casussen. Wedstrijdvoorstellen, *mock-ups* van doctoraatstudenten of onderzoeksgroepen aan universiteiten, infrastructuurprojecten en heel zeldzaam een privé-initiatief zijn te vinden in enkele Europese landen. Gezien de geconcentreerde interesse in dit thema zijn veel van de gevonden casussen aan elkaar gelinkt; bijvoorbeeld door gedeelde onderzoeksgroepen, dezelfde financiering of samenwerkingen op het gebied van kennisuitwisseling.



3.3. Casussen

3.3.1. "Nobody leaves the party" – BG TEN

Kernfeiten

Bouwheer	: Net.brussels
Architect	: Babini Geysen & TEN
Aannemer	: /
Stabiliteit	: WOW engineering
Statuut	: 1^{ste} plaats open wedstrijd
Locatie	: Uyttenhovestraat 71-73-75-79, Jette, Brussel, België
Status	: Aanbestedingsfase
Functie	: Recyclagepark & kringloopcentrum
Oppervlakte	: +- 4.290 m²
Budget	: € 5.000.000
Gerecupereerde betonelementen	: Betonbrokken, 17 balken, 7 kolommen, 18 wanden & 2.022 m² beton
Afkomst elementen	: Zelfde site
Afstand donorgebouw – nieuw project	: 0 km
Ontmanteling	: /
Nieuwe functie betonelementen	: Keerwand & kolommen
Andere hergebruikte materialen	: 2.259 m² stalen profielplaten, 90 stalen profielen, 10 stalen kolommen, 7 stalen vakwerken & 31 stalen liggers
Vermeden CO₂	: 780.675 kg CO₂ eq.
Procent hergebruikt	: 100%

3.3.1.1. Projectcontext

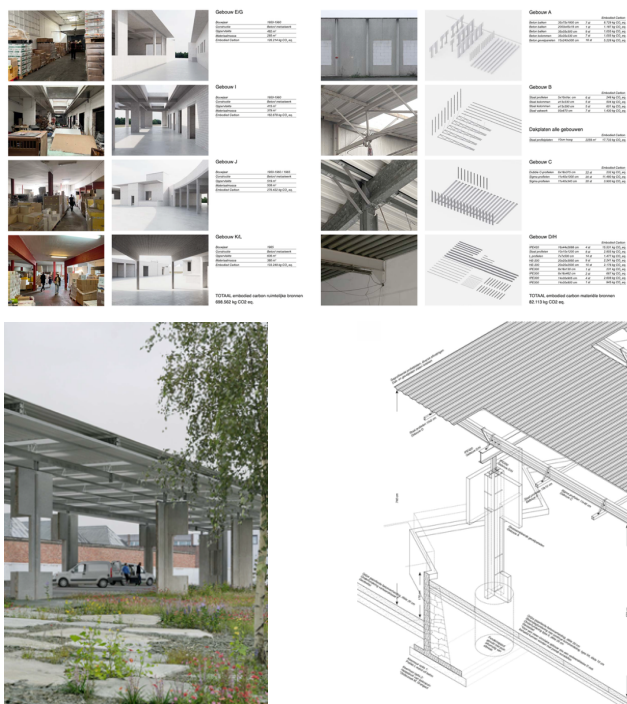
Het project werd ontworpen voor een uitgeschreven wedstrijd van BMA (Bouwmeester Maître Architecte). De bouwmeester werd in 2009 ingevoerd voor de begeleiding van overheidsopdrachten, om deze te verzekeren van architecturale en landschappelijke kwaliteit (Bouwmeester Maître Architecte, 2025). De opdracht werd uitgeschreven begin 2024 en vroeg naar een nieuw recyclagepark voor Jette. 'Voorkomen, hergebruik, recyclage en energiewinning' zijn praktijken die niet alleen te vinden zullen zijn in het recyclagepark zelf, maar ook in het ontwerp. Er wordt gevraagd optimaal gebruik te maken van de bestaande structuren en hergebruik te onderzoeken. Dit project dient als blauwdruk voor toekomstige recyclageparken (Bouwmeester Maître Architecte, 2024). Het is geen verrassing dat een wedstrijdopgave in Brussel een circulair karakter aanneemt. Miljoenen euro's worden geïnvesteerd in onderzoek naar circulariteit en de economische praktijken ervan om een leidende rol aan te nemen in het verhaal. Aangezien Brussel kampt met problemen die in veel grootsteden te vinden zijn, probeert de stad een voorbeeld te zijn en andere grootsteden te inspireren met hun onderzoeken (Ghyoot et al., 2018).



3.3.1.2. Rol van hergebruik

Uit de titel van het project valt af te leiden dat het ontwerp maximaal gebruik maakt van gerecupereerde materialen en gaat bijna geen enkel aanwezig materiaal verloren (TEN, 2025). Een weggeefcentrum is deel van het ontwerpvoorstel, waardoor de waarde van tweedehandsmaterialen extra benadrukt wordt. Het project werd voorafgegaan met een grondige inventarisatie van de bestaande aanwezige materialen en ruimtes (BG TEN, 2024). Hiervoor werden de bestaande gebouwen aan de hand van 3D-apparatuur gescand (R. Geysen, persoonlijke communicatie, 10 november 2025). Ze werden opgesplitst in verschillende graden van circulariteit, die invloed hebben op de ontwerpinterventies (BG TEN, 2024). In totaal werden er op de site materialen en structuren behouden die goed zijn voor een besparing van ongeveer 700 ton CO₂-eq. Dit is aangevuld met gerecupereerde materialen, die goed zijn voor nog eens ongeveer 82 ton CO₂-eq. (R. Geysen, persoonlijke communicatie, 26 mei 2026). Dit is een waanzinnige hoeveelheid aangezien, alvorens de projectopdracht uitgeschreven werd, het nieuwe recyclagepark van Jette een traditionele 'tabula rasa'-aanpak ging krijgen (R. Geysen, persoonlijke communicatie, 10 november 2025).

Op vlak van betonhergebruik werden enkele belangrijke ontwerpkeuzes gemaakt. Betonnen gevelpanelen uit het aanwezige gebouwaanbod worden geassembleerd tot T-vormige kolommen. Er wordt gebruik gemaakt van betonpuin en granulaten afkomstig van de site om in te zetten als kolomfundering (BG TEN, 2024). De keerwand aan de containerrand zal opgebouwd worden uit betonbrokstukken, zoals beschreven in 3.1.4 'Hergebruik van betonnen brokstukken'. Hiervoor wordt er een onderzoekstraject afgelegd met Maxence Grangeot (R. Geysen, persoonlijke communicatie, 10 november 2025). Alhoewel het project opgebouwd wordt uit zoveel mogelijk gerecupereerde materialen, wordt het uitzicht van het project voornamelijk gekenmerkt door de T-kolommen en keerwand. In dit opzicht speelt het hergebruiken van betonnen elementen een zeer belangrijke rol. Deze ontwerpkeuze, en voornamelijk het behouden van zoveel mogelijk materialen die aanwezig zijn op de site, heeft geleid tot een behoud van 780.675 kg CO₂-eq. (BG TEN, 2024).



Figuur 18: Enkele pagina's uit het wedstrijdvoorstel 'Nobody leaves the party'. Overgenomen van *Nobody leaves the party*, Babini Geysen - TEN, door Babini Geysen - TEN - Olivier Campagne, 2024.



Figuur 19: Keerwand naar het model van Maxence Grangeot. Overgenomen van *Nobody leaves the party*, Babini Geysen - TEN, door Babini Geysen - TEN - Olivier Campagne, 2025.



3.3.2. Stadsatelier de Ville – Schenk Hattori & Babini Geysen

Kernfeiten

Bouwheer	: TM STADSAT
Architect	: Babini Geysen & Schenk Hattori
Aannemer	: DEMOCO
Stabiliteit	: WOW engineering
Statuut	: 1 ^{ste} plaats open wedstrijd circulaire aanpak
Locatie	: Port Business Park, Anna Boch dreef 22, Brussel, België
Status	: Werf begin 2026
Functie	: Circulaire hub en nieuwe productiesite voor BC materials
Oppervlakte	: 5.500 m ²
Budget	: €7.257.000 voor de Circular Hub
Gerecupereerde betonelementen	: Holle welfsels, tegels, stapelbare blokken & vloerplaten
Afkomst elementen	: Catalogus, verschillende locaties
Afstand donorgebouw – nieuw project	: /
Ontmanteling	: /
Nieuwe functie betonelementen	: Fundering, wandblokken & vloerplaten
Andere hergebruikte materialen	: Stalen liggers, stalen kolommen, houten balken, houten kolommen
Vermeden CO₂	: /
Procent hergebruikt	: /

3.3.2.1. Projectcontext

Zoals het vorige project werd deze opdracht uitgeschreven door de Bouwmeester, op vraag van TM STADSAT. Deze instantie bestaat uit BC Architects & Studies & Materials en DEMOCO. De opgave bestond eruit een visie- en strategievoorstel in te dienen op basis van een catalogus van beschikbare hergebruikselementen. Opnieuw faciliteert Brussel, een voorbeeldstad, het onderzoekstraject naar circulariteit in de bouwwereld (Bouwmeester Maître Architecte, 2022). Het project zelf bestaat uit een circulaire hub voor bouwmaterialen, waarbij de hoofdactiviteit het produceren en distribueren van innovatieve materialen zal zijn. Architectuurbureau Babini Geysen en BC Architects zijn verantwoordelijk voor het masterplan (Port.Brussels & Circular Flanders, 2023). Hierbij is BC Architects de ontwerper van het gebouw voor BC Materials, en treedt Babini Geysen op als ontwerper van de *Circular Hub* (R. Geysen, persoonlijke communicatie, 26 mei 2026). Het project dient niet alleen opgebouwd te worden uit hergebruikte materialen van een bestaande catalogus, er moet ook ingezet worden op demontabel bouwen (R. Geysen, persoonlijke communicatie, 10 november 2025) aangezien het project in 2022 een concessie kreeg van 30 jaar in de haven van Brussel (Port.Brussels & Circular Flanders, 2023). Het team Babini Geysen en Schenk Hattori onderzochten mogelijkheden, alternatieve denkpatronen over duurzaamheid en de gekende definitie van een 'productief gebouw', zonder negatieve impact te hebben op lokale condities (Schenk Hattori – Babini Geysen, 2023).



3.3.2.2. Rol van hergebruik

Hergebruik is niet alleen een belangrijke component in het strategie-ontwerp, ook de functie van het Stadsatelier zit zeer dicht op circulariteit. Met de haven als ideale locatie, zet de circulaire hub in op de opslag en verwerking van selectief ontmanteld bouwafval (Port.Brussels & Circular Flanders, 2023). De strategie om hergebruik binnen het project te realiseren, ging gepaard met de nodige experimenten. Zo werd onderzocht of betonnen tegengewichten van bouwkransen als fundering ingezet zouden kunnen worden, en of gerecupereerde betonnen welfsels geschikt waren als overspanning. Uiteindelijk zullen piramide gestapelde gerecupereerde betonmassieven gebruikt worden als kolomfundering. Een te grote overspanning in het ontwerp was deels de reden dat gerecupereerde betonnen welfsels niet konden worden ingezet als overspanning. Het team experimenteerde samen met Vaulted AG uit Zwitserland met gotische overspanningsvormen en kwam tot een vloerontwerp dat een zeer lage hoeveelheid beton vroeg dankzij de gunstige krachtwerving (R. Geysen, persoonlijke communicatie, 26 mei 2026). De opbouw van de productiehal voor BC Materials is zeer gelijkaardig aan hun huidige hal. Er wordt gebruik gemaakt van betonnen legoblokken als wanden en prefab vloerplaten als vloeren, beide afkomstig van hun bestaande productiehal (BC Architects, z.d.). Men wist dat de bestaande productiehal binnen de acht jaar terug afgebroken zou worden (B. Hoppenbrouwers, persoonlijke communicatie, 17 november 2025), waardoor de prefab vloerplaten en betonblokken gezien werden als opnieuw te gebruiken elementen (BC Architects, z.d.). Buiten de betonnen voorbeelden zijn ook stalen en houten liggers ontmanteld en getest om te gebruiken in de nieuwe gebouwen. Ze hebben allen een andere oorsprong waardoor de aansprakelijkheid gespreid wordt (R. Geysen, persoonlijke communicatie, 10 november 2025).



Figuur 21: *Visualisatie Stadsatelier de Ville*. Overgenomen van *Circular hub/ Stadsatelier de ville* – Babini Geysen – Schenk, door Babini Geysen Architects, 2025.



Figuur 20: *Uitsnijden van betonmassieven*. Overgenomen van Babini Geysen Architects, 2026.



3.3.3. Productiehal BC Materials – BC Architects

Kernfeiten

Bouwheer	: BC materials
Architect	: BC architects & studies
Aannemer	: BC studies
Stabiliteit	: BC studies
Statuut	: Privé, eigen project
Locatie	: Havenlaan, Brussel, België
Status	: Opgeleverd in 2019
Functie	: Open productiehal
Oppervlakte	: 300 m²
Budget	: €60.000
Gerecupereerde betonelementen	: 175 stapelbare blokken & 126 prefab vloerplaten
Afkomst elementen	: Sloopwerf van De Meuter & Eurodal
Afstand donorgebouw – nieuw project	: 3,5 km
Ontmanteling	: Sloopbedrijf De Meuter
Nieuwe functie betonelementen	: Wandblokken en fundering & vloerplaten
Andere hergebruikte materialen	: Gerecycleerd beton
Vermeden CO₂	: /
Procent hergebruikt	: 100%

3.3.3.1. Projectcontext

De bestaande productiehal van BC Materials bevindt zich naast het hoofdkantoor van BC Architects & Studies, op dezelfde locatie als het toekomstige Stadsatelier de Ville. Sinds 2012 verkent BC de relatie tussen architectuur, materiaalproductie en het bouwen zelf (Patteeuw, z.d.). Het materialenbedrijf werd opgericht in 2018 (Circubuild, z.d.). Een jaar later nam het bedrijf zijn open productiehal in gebruik op een gehuurd, leegstaand terrein in de Brusselse havenzone (Patteeuw, z.d.). De productie van hun bouwmaterialen gebeurt volledig CO₂-neutraal dankzij de recuperatie van regenwater en het gebruik van hernieuwbare energie (Opalis, z.d.). Ze recupereren afgegraven ruwe aarde uit bouwerven om ze tot nieuwe bouwmaterialen te verwerken; zoals leemstenen, leempleister en stampleem. Het vormt een belangrijke praktijk aangezien er jaarlijks zo'n 36 miljoen ton aarde wordt afgegraven in België, waarvan er 60% niet verwerkt wordt en dus eindigt als afval (Patteeuw, z.d.). De productiehal werd volledig demonteerbaar en transporteerbaar opgebouwd (BC Architects, z.d.), aangezien de locatie van de productiehal als een tijdelijk gegeven gezien werd (B. Hoppenbrouwers, persoonlijke communicatie, 17 november 2025).



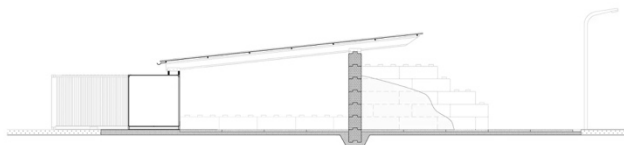
3.3.3.2. Rol van hergebruik

Hergebruik vormt niet alleen de basis van het ontwerp, maar is ook de hoofdreden voor het oprichten van de productiehal. Het gebouw is niet alleen volledig demonteerbaar en transporteerbaar opgebouwd, maar bestaat ook uit gerecupereerde materialen. Bovendien wordt de hal ingezet voor de productie van circulaire bouwmaterialen (Opalis, z.d.). Sinds BC de relatie verkent tussen architectuur, materiaalproductie en het bouwen zelf, vormt dit project een zeer goed voorbeeld van hun oeuvre (Patteeuw, z.d.). Door gerecupereerde betonblokken te stapelen zonder mortel als bevestigingsmateriaal, en prefab vloerplaten op een grindbed van gerecycleerd beton te plaatsen, toont het project een interessante manier om met gerecupereerde betonnen elementen demonteerbaar te bouwen. Deze betonblokken worden bijkomend ingezet als fundering, waardoor er helemaal geen beton werd gestort (Opalis, z.d.). Vanwege de demonteerbaarheid zullen alle elementen ingezet worden in de nieuwe productiehal op de site van het Stadsatelier in Tour & Taxis (B. Hoppenbrouwers, persoonlijke communicatie, 17 november 2025).

Door de tijdelijkheid van het project kan de productiehal gezien worden als een test voor de uiteindelijke productiehal in het Stadsatelier-project. De gebruikte legoblokken, met respectievelijke afmetingen van 60 cm bij 60 cm bij 180 cm, vormen wanden die niet stabiel genoeg zijn. Blokken met een breedte van 80 cm zullen gebruikt worden in de uiteindelijke productiehal (B. Hoppenbrouwers, persoonlijke communicatie, 17 november 2025). Het project werd genomineerd voor de *Brussels Architecture Prize 2021* in de categorie *small intervention* (Brussels Architecture Prize, 2021).



Figuur 23: Gerecupereerde betonblokken in de productiehal van BC materials. Overgenomen van Lambrix, geciteerd in *Gerecupereerde betonvloer en -blokken voor een productiehal*, door Opalis.



Figuur 22: Snede van de nieuwe productiehal van BC materials. Overgenomen van *Demountable open production hall*, door BC architects.



Figuur 24: In de productiehal van BC materials. Overgenomen van Van Canghem, geciteerd in *Demountable open production hall*, door BC architects.



3.3.4. Kenniscentrum circulair bouwen – Cepezed, ReCreate

Kernfeiten

Bouwheer	:	Lagemaat Heerde
Architect	:	Cepezed
Aannemer	:	Lagemaat
Stabiliteit	:	Pim Peters, IMd Raadgevende Ingenieurs
Statuut	:	Openbaar gebouw, pilotproject van ReCreate
Locatie	:	Heerde
Status	:	Werf, montage in 2026
Functie	:	Kenniscentrum
Oppervlakte	:	10.000 m²
Budget	:	/
Gerecupereerde betonelementen	:	594 holle welfsels, 343 gevelelementen & 64 buiten kerndelen
Afkomst elementen	:	Provinciehuis Prinsenhof Arnhem
Afstand donorgebouw – nieuw project	:	52 km
Ontmanteling	:	Lagemaat
Nieuwe functie betonelementen	:	Vloeroverspanning & gevelelementen
Andere hergebruikte materialen	:	1.256 m² glas, 332 aluminium kozijnen, buitenzonwering, 1.001 m² dakbedekking, isolatie, gipsplaten, 278 binnendeuren, valse plafonds, 33 stuks noodverlichting, 95 stuks tl-lampen, 165 plafondlampen, 1 km wandgoten & 1 km plafondgoten
Vermeden CO₂	:	3.500 ton, 75% minder dan een nieuwe constructie
Procent hergebruikt	:	92%

3.3.4.1. Projectcontext

Het kenniscentrum wordt hét centrale punt van kennis over circulair bouwen in Nederland. Het gebouw bestaat voornamelijk uit hergebruikte materialen, dit bewijst dat circulair bouwen geen compromis hoeft te zijn op kwaliteit en ambitie (LCP circulair, z.d.). Maar liefst 17.000 ton aan materialen, waaronder 12.000 ton beton, werd geoogst uit het voormalige kantoorpand Prinsenhof Arnhem. Een aanzienlijk deel hiervan zal een nieuw leven krijgen in het kenniscentrum (Lagemaat, z.d.). De circulaire ontmanteling van het Prinsenhof wordt door Pim Peters, directeur-eigenaar van IMd Raadgevende Ingenieurs uit Rotterdam, gezien als het meest ontwikkelde ontmantelingsproject in Europa tot nu toe (Vissering, z.d.). Niet alleen het ontmantelingsproject, maar ook het kenniscentrum, zijn onderdeel van het Europese ReCreate-project onder de Nederlandse cluster (ReCreate project, 2025). Er wordt samengewerkt met de Technische Universiteit Eindhoven, die verbonden is aan het ReCreate-project en zorgt voor aanvullende druksterktemetingen op de geoogste betonnen onderdelen (Lagemaat, z.d.). Het kenniscentrum, dat niet onafhankelijk kan gezien worden van het ontmantelingsproject, won de Circular Public Award 2023 en wordt gezien als een voorbeeld van 'Re-use' op de R-ladder (Cepezed, 2023). De toewijding van alle partijen resulteerde in een project dat niet alleen duurzaam, maar ook economisch rendabel is (Lagemaat, z.d.).



3.3.4.2. Rol van hergebruik

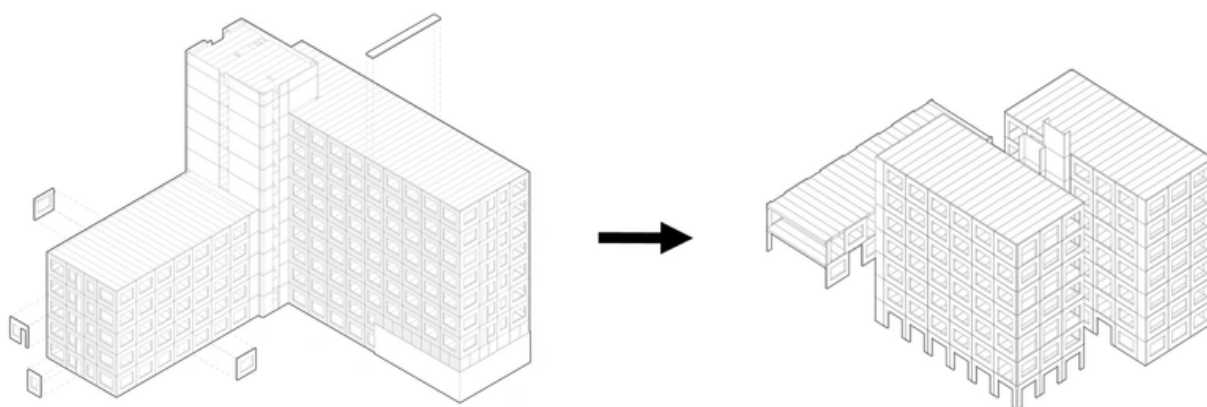
Het ReCreate-statuut brengt met zich mee dat beton centraal staat in dit ontmantelings- en montageproject. In deze context gaat het uitsluitend om holle welfsels en dragende gevelelementen, waarbij het meest circulaire effect wordt behaald wanneer de elementen volledig benut worden in dezelfde functie. Als men elementen ontmantelt en opnieuw gebruikt in een nieuw project, gelden de nieuwbouwregels. Hierbij zijn belangrijke onderzoeken en proeven nodig om te bepalen wat de draagkracht is van de geoogste elementen (Vissering, z.d.). Uit drukproeven bleek dat de holle welfsels ruim voldoen aan de huidige norm, ze zijn zelfs dubbel zo sterk als hun ontwerpsterkte die 40 jaar geleden werd vastgesteld in de technische documentatie (Cepezed, 2023). Een mooi voorbeeld van de blijvende kwaliteit van beton dus. Het project is bedoeld om een inspiratiebron te zijn voor toekomstige circulaire bouwinitiatieven en toont dat de transitie naar een duurzame bouwconomie volledig haalbaar is (Lagemaat, z.d.).

De bestaande druklaag wordt behouden waardoor de elementen dus beproefd worden als composiet. Het verwijderen van de druklaag om vervolgens een nieuwe aan te brengen past niet in het circulaire verhaal. Aangezien een hergebruikregelgeving nog niet bestaat, worden de elementen proefondervindelijk getest. Hierbij horen destructieve testen met het verlies van enkele geoogste elementen als gevolg. De stabiliteit van het Prinsenhof werd gewaarborgd door een prefab betonnen kernconstructie. Een opmerkelijke verandering in de constructielogica is dat de stabiliteit in het nieuwe kenniscentrum zal worden gewaarborgd door draagmuren, waarbij minimale versterkingen genoeg zijn (Vissering, z.d.). Een belangrijke kostenbesparende en risicoverlagende factor is het opslaan en verwerken van de geoogste betonnen elementen op de site waar het kenniscentrum opgebouwd zal worden (ReCreate project, 2025).

Een belangrijke *tool* om constructiemogelijkheden met gerecupereerde materialen te testen, is het bouwen van een testassemblage op grote schaal. Op de site van Lagemaat in Heerde werd zo'n testconstructie gebouwd met de geoogste elementen uit het Prinsenhof. Hierbij werden niet alleen details uitgeprobeerd, maar vormden gevonden moeilijkheden de basis voor een plan van aanpak in het kenniscentrum (ReCreate project, 2025).



Figuur 28: Mock-up als voorbereiding op het Circulair Centrum Nederland. Overgenomen van *The Dutch Mock-up: Building, Testing, and Learning for a Circular Future*, door ReCreate project, 2025.



Figuur 27: Transformatietekening Circulair Centrum in Heerde. Overgenomen van *Flexibel ontwerpproces circulair centrum: 'bouwen met de stenen die je hebt'*, door Cepezed, 2023.



Figuur 26: Ontmanteling van een hol welfsel uit het Prinsenhof A. Overgenomen van *Circulaire ontmanteling Prinsenhof A*, door Lagemaat.



Figuur 25: Overzicht ontmantelde betonnen onderdelen uit het Prinsenhof A. Overgenomen van *Dynamisch ontwerpproces met geogoste materialen leidt tot circulair centrum*, door Cepezed, 2022



3.3.5. Techbank – Cepezed

Kernfeiten

Bouwheer	:	HMO
Architect	:	Cepezed
Aannemer	:	Lagemaat, Winkels Techniek & Groothuis Bouwgroep
Stabiliteit	:	IMd Raadgevende Ingenieurs
Statuut	:	Openbaar gebouw
Locatie	:	Kennispark Twente, Enschede, Nederland
Status	:	Werf
Functie	:	Onderwijs- en bedrijfsverzamelgebouw
Oppervlakte	:	5.400 m²
Budget	:	/
Gerecupereerde betonelementen	:	Holle welfsels & prefab fundering
Afkomst elementen	:	Tijdelijke Rechtbank Amsterdam
Afstand donorgebouw – nieuw project	:	161 km
Ontmanteling	:	Lagemaat
Nieuwe functie betonelementen	:	Vloeroverspanning & fundering
Andere hergebruikte materialen	:	Stalen kolommen, stalen liggers, glas, HSB-wanden, kozijnen
Vermeden CO₂	:	1500 ton voor de structuur
Procent hergebruikt	:	95%

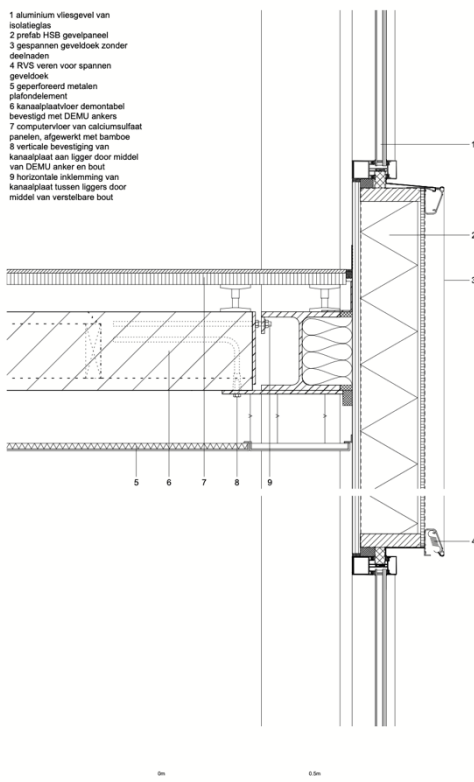
3.3.5.1. Projectcontext

In opdracht van het Rijksvastgoedbedrijf ontwikkelde het consortium DPCP (Du Prie bouw & ontwikkeling en Cepezedprojects) in 2015 de Tijdelijke Rechtbank in Amsterdam (Redactie De circulaire bouweconomie, 2025). Samen met twee bestaande torens vormde de demontabele structuur de volledige rechtbank voor vijf jaar lang. De structuur zorgde voor de hoofdingang van het gerechtscomplex en ook een groot deel van de rechtspraak vond er plaats (Cepezed, z.d.). In deze periode werd het voormalige gerechtscomplex gesloopt en voorzien van een nieuwbouw (Redactie De circulaire bouweconomie, 2025). De circulariteit van het tijdelijke gebouw zat vervat in de projectopdracht als belangrijk selectiecriteria. Cepezed bouwt met hun voorstel verder op hun eerdere conceptontwikkeling van tijdelijke gebouwen, waarbij een gebouw gezien wordt als een product dat op meerdere locaties inzetbaar is in verschillende functies (DPCP, 2015). In 2022 werd het tijdelijke gebouw gedemonteerd en opgeslagen (Cepezed, 2025), om in 2025 in zijn geheel heropgebouwd te worden als bedrijfsverzamelgebouw Techbank in Enschede op het Kennispark Twente (Redactie De circulaire bouweconomie, 2025). De heropbouw heeft bewezen dat het uitgedachte project effectief demontabel en remontabel is. De Tijdelijke Rechtbank scoorde het hoogst van alle getoetste projecten op de losmaakbaarheidsindex (Cepezed, 2019).

3.3.5.2. Rol van hergebruik

Het is duidelijk dat hergebruik hier volledig centraal staat aangezien het volledige gebouw wordt geremonteerd op een andere locatie, inclusief de ontworpen circulaire betonnen elementen. Losmaakbare holle welfsels werden speciaal voor dit project ontwikkeld en werden vijf jaar later gemakkelijk gedemonteerd zoals voorzien. Ook geen enkel onvoorzien obstakel kwamen voor tijdens de remontage in Enschede (Cepezed, 2025). De welfsels worden verticaal bevestigd en horizontaal ingeklemd aan de stalen SFB-liggers aan de hand van DEMU-ankers (Cepezed, z.d.). Deze bevestigingsankers bestaan uit een wapeningsstaaf die ingestort is in het holle welfsel, en een schroefhuls waarin een bout kan geschroefd worden. Op deze manier kunnen mechanische verbindingen tot stand komen tussen betonnen elementen en andere constructiedelen (Leviat, 2020). Het detail zorgt ervoor dat een druklaag overbodig wordt, waardoor een valse vloer rechtstreeks geplaatst kan worden op de welfsels.

De mechanische en demonteerbare verbindingen zorgen voor een bouw pakket dat aangepast kan worden aan de noden van de geremonteerde configuratie. In dit geval verschilde de zonoriëntatie op de nieuwe locatie van de oriëntatie in Amsterdam. Het zonwerende glas werd bevestigd aan een andere gevel dan in de Tijdelijke Rechtbank en de verdiepingen werden aangepast aan de noden van de nieuwe functie (Cepezed, 2025). Het is duidelijk dat flexibiliteit in de ontwerpfase, de organisatie maar ook in aanpasbaarheid belangrijk is in circulaire projecten.



Figuur 29: Demontabel bouwdetail Tijdelijke Rechtbank Amsterdam. Overgenomen van Tijdelijke Rechtbank, door Cepezed.



Figuur 31: Heropbouw techbank. Overgenomen van Koggel, geciteerd in *Een gebouw demonteren en elders weer opbouwen? Kan gewoon!*, door Cepezed, 2025.



Figuur 30: Techbank in opbouw. Overgenomen van *Open dagen op 12 en 13 september 2025*, door Techbank, 2025.



3.3.6. SUPERLOCAL – Super Circular Estate

Kernfeiten

Bouwheer	:	HEEMwonen
Architect	:	Maurer United Architects & SeC Architecten
Aannemer	:	Jongen Bouwpartners
Stabiliteit	:	/
Statuut	:	Expogebouw, testwoningen en appartementen, privé bewoond
Locatie	:	Bleijerheide, Kerkrade-Oost, Nederland
Status	:	Opgeleverd in 2019
Functie	:	Woningen
Oppervlakte	:	74 m²
Budget	:	/
Gerecupereerde betonelementen	:	Unit bestaande uit 2 wanden en 2 vloeren & betonbrokstukken
Afkomst elementen	:	Appartementsgebouwen site Superlocal
Afstand donorgebouw – nieuw project	:	0 km
Ontmanteling	:	Dusseldorp
Nieuwe functie betonelementen	:	Basis van de woning & gevelstenen
Andere hergebruikte materialen	:	Houten kozijnen, houten dakconstructie & bakstenen
Vermeden CO₂	:	1.000.000 kg voor renovatie 1 appartementsgebouw
Procent hergebruikt	:	95% voor het expogebouw, 90% voor de proefwoningen

3.3.6.1. Projectcontext

Het project SUPERLOCAL bevindt zich in Kerkrade en kwam tot stand na de sloop van één van de vier hoogbouwflats in 2012. Er werd niet alleen iets tastbaars weggenomen van de buurt, ook hun sociale structuur en identiteit veranderde. In deze context ontstond HEEMwonen, een groep die inzet op een nieuwe leefomgeving waarbij de nadruk hoofdzakelijk ligt op duurzaamheid en circulariteit (van Gemert, z.d.). Het einddoel van de buurtontwikkeling was de bouw van ongeveer 130 nieuwe woningen en de inrichting van het openbaar domein. Dit aantal is verdeeld in 15 grondgebonden woningen en 114 appartementen die zich bevinden in één gerenoveerd appartementsgebouw. Dit zijn minder woningen dan oorspronkelijk aanwezig, met als gevolg dat er meer open ruimte ontstaat (Super Circular Estate, 2019).

Het hoofdidee was om de nieuwe woningen uitsluitend op te bouwen uit materialen en bouwstoffen van de oude appartementsgebouwen (van Gemert, z.d.). Om af te toetsen of dit wel mogelijk was, werd een expogebouw ontworpen door Maurer United Architects. Het bestond uit maar liefst 95% hergebruikte materialen en bevatte de belangrijkste elementen van een reguliere woning; zoals een keuken, toilet, verwarmingsinstallatie en trap (Super Circular Estate, 2019). Er werden drie delen van een appartement uitgesneden en uitgehesen uit de bovenste verdieping van een van de bestaand appartementsgebouwen, dat als basis diende voor het experiment (Plaggenburg, z.d.). De opgedane kennis gebruikte het team in de realisatie van drie circulaire proefwoningen,



ontworpen door SeC Architecten, waarbij elke woning een andere geveluitwerking kreeg (van Gemert, z.d.). Ze bestonden alle drie uit minstens 90% hergebruikte materialen uit het projectgebied van SUPERLOCAL (Plaggenburg, z.d.). Het hoofddoel van de testwoningen was om te bewijzen dat er uit hergebruikte materialen van de site veilige en functionele nieuwe woningen gebouwd kunnen worden, die bovendien bouwtechnisch en -fysisch volledig aan de normen voldoen (SeC Architecten, z.d.). Het SUPERLOCAL-project werd verder opgeschaald en 15 demontabele woningen werden gebouwd. De binnenwanden zijn eenvoudig te verplaatsen waardoor er naast demonteerbaarheid ook een flexibiliteit te vinden is. De laatste fase van het project bestond uit de renovatie van één van de originele appartementsgebouwen. Hierbij werd de ene helft van het gebouw gesloopt, terwijl de andere helft gestript werd tot op de betonnen draagstructuur. De nieuwe afwerking, en het nieuwe deel dat tegen het bestaande werd gebouwd, is gerealiseerd met gerecupereerde materialen uit de site in Kerkrade (van Gemert, z.d.).

3.3.6.2. Rol van hergebruik

Alhoewel zowel het expogebouw als de proefwoningen opgebouwd zijn uit uitgesneden betonnen casco's, bestaan de grondgebonden woningen uit gerecycleerd beton. Als gevolg daarvan was het experiment met de casco's louter informatief om te ontdekken of het idee realistisch is. Het volledige project, inclusief het deels gerenoveerde en deels opnieuw opgebouwde appartementsgebouw, werd bestudeerd onder zijn milieu-impact. In dit opzicht waren de verschillende soorten hergebruik over de verschillende fases interessant om te ontdekken wat de energetische verschillen zijn (R. Plaggenburg, persoonlijke communicatie, 24 november 2025). De intensieve inzet op circulariteit leverde twee subsidiestromen op. Het project ontving 4,7 miljoen euro van het Urban Innovation Actions fonds, en 2,5 miljoen euro van het Europese Life-programma (Super Circular Estate, 2019). Met deze som kan er behoorlijk geëxperimenteerd worden, waardoor de verschillende hergebruik-uitwerkingen over het gehele project verstaanbaar zijn. Het heeft geleid tot een enorme hoop kennis waardoor het bedrijf Dusseldorp nu in staat is cementloos beton te maken met grondstoffen afkomstig uit de sloop (R. Plaggenburg, persoonlijke communicatie, 24 november 2025).



Figuur 32: *Expogebouw Superlocal*. Overgenomen van *Superlocal, Kerkrade*, door Bremen Bouwadviseurs.



Figuur 34: *Uithijzen van een unit in het Superlocal project.* Overgenomen van *SUPERLOCAL* is genomineerd voor de Limburg Duurzaamheid Award 2019, door Super Circular Estate.



Figuur 33: *Drie voorbeeldwoningen in het Superlocal project.* Overgenomen van *Superlocal*, door Zuyd.



3.3.7. Tweede Levenbrug – Arc2 Architectuur

Kernfeiten

Bouwheer	: Gemeente Almere
Architect	: Arc2 Architectuur
Aannemer	: Dura Vermeer & Meerdink bruggen
Stabiliteit	: Arc2 Architectuur & LukassenBrokking
Statuut	: Openbare constructie
Locatie	: Floriadewijk, Almere, Nederland
Status	: Opgeleverd in 2022
Functie	: Voetgangersbrug
Dimensies	: 4 m functionele breedte, 130 m lengte
Budget	: /
Gerecupereerde betonelementen	: 6 Voorgespannen liggers
Afkomst elementen	: Oude fiets- en voetgangersbrug over de A27
Afstand donorgebouw – nieuw project	: 56 km
Ontmanteling	: Dura Vermeer
Nieuwe functie betonelementen	: Hoofdliggers
Andere hergebruikte materialen	: Stalen dwarsliggers, houten dekliggers en - planken, stalen buispalen, houten spoorbielzen
Vermeden CO₂	: 65% minder dan een nieuwe constructie, 94.244 kg CO₂-eq. voor het hout
Procent hergebruikt	: 95%

3.3.7.1. Projectcontext

Het project was deel van de wereldtuinbouwtentoonstelling in 2022 en gebruikt bijna uitsluitend gerecupereerde materialen. Deze zijn voornamelijk afkomstig van het voormalige fiets- en voetgangersviaduct Bolgerijsekade nabij Vianen. Deze brug werd te weinig gebruikt en was niet meer in staat accidentele belastingen op te nemen. Dura Vermeer, de aannemer van de Tweede Levenbrug, oogstte in 2019 de onderdelen en plaatste ze in hun depot tot de mogelijkheid tot hergebruik zich voordeed (van Doorn, 2021). Wat een grote rol speelde in het uiteindelijke ontwerp, waren de maten van de bestaande elementen (van Doorn et al., 2021). De relatief simpele constructie toont een ander soort bruggenarchitectuur door zijn circulair karakter. Variaties in lengte van de gebruikte houten onderdelen worden omarmd en leveren een dynamisch beeld op (Arc2 Architectuur, z.d.). Het project ontwikkelde zich onder de doelstelling van de Bruggencampus Flevoland-Floriade; een praktijkomgeving voor de ontwikkeling van innovatieve en circulaire bruggen. Het project maakt deel uit van de grote vervangingsopgave van bruggen binnen Nederland (van Doorn, 2021). Vóór 2040 moeten er maar liefst 40.000 bruggen vervangen worden. Deze operatie kan fanatiek bijdragen aan de uitputting van de aarde als men ze niet circulair aanpakt (Meerdink Bruggen, z.d.).



3.3.7.2. Rol van hergebruik

Het ontwerp toont een assemblage van verschillende geooogste materialen. Voorgespannen betonnen I-liggers worden ingezet als overspanning, deze steunen op gerecupereerde stalen buispalen. Stalen dwarsliggers, die uit een oude gevelsteunconstructie komen (van Doorn, 2021), worden gebruikt als basis voor het houten brugdek uit Azobe en eiken. De beplanking wordt aangebracht op de betonnen liggers en biedt zitgelegenheid op de brug. Een opmerkelijk voorbeeld van de creativiteit in hergebruikpraktijken is te vinden in de houten brugleuning, die is vervaardigd uit oude spoorbielzen (Arc2 Architectuur, z.d.). De betonnen liggers zijn getest op hun draagvermogen en voldoen grotendeels aan de Nederlandse normen. Gezien de liggers een buitenfunctie hadden, is ook de carbonatatiediepte onderzocht (van Doorn et al., 2021). Hun applicatie in de nieuwe brug doet vermoeden dat ook deze proef een goedkeurend resultaat toonde.



Figuur 35: Foto's van de Tweede Levenbrug in Floriade Almere. Overgenomen van *Reusebrug; de Tweede Leven brug op Floriade Almere*, door Meerdink Bruggen.



3.3.8. Vloedstegenbrug Haaksbergen - Arc2 Architectuur

Kernfeiten

Bouwheer	: Gemeente Haaksbergen, Provincie Overijssel & Rijkswaterstaat
Architect	: Arc2 Architectuur
Aannemer	: Van Hattem en Blankevoort, Meerdink Bruggen & De Groene Liggers
Stabiliteit	: Arc2 Architectuur
Statuut	: Openbare constructie
Locatie	: N18 Haaksbergen, Nederland
Status	: Opgeleverd in 2025
Functie	: Verkeersbrug
Dimensies	: 18 m overspanning
Budget	: €4.200.000
Gerecupereerde betonelementen	: 9 voorgespannen liggers
Afkomst elementen	: Viaduct A9 bij Badhoevendorp
Afstand donorgebouw – nieuw project	: 160 km
Ontmanteling	: VeenIX consortium
Nieuwe functie betonelementen	: Liggers
Andere hergebruikte materialen	: Hardhouten dekplanken, houten leuning & stalen liggers
Vermeden CO₂	: 54% minder dan een nieuwe constructie
Procent hergebruikt	: /

3.3.8.1. Projectcontext

Aangezien Rijkswaterstaat deel uitmaakte van de groep opdrachtgevers, is het geen vreemd gegeven dat circulariteit centraal staat in dit project. De voormalige brug, gebouwd in 1930, verkeerde in zeer slechte staat en voldeed niet meer aan de eisen voor veilig gebruik. Er gold een gewichtslimiet van 20 ton, wat het zware vracht- en landbouwverkeer belemmerde (Vloedstegenbrug, z.d.). De nieuwe brug bestaat uit drie losse delen; één verkeersbrug en twee losse fietsbruggen. Er werd rekening gehouden met de natuurlijke context in zowel de vormgeving, het materiaal als de uitvoering van de brug. Op beide houten fietsbruggen wordt er plek voorzien voor voetgangers en fietsers om even stil te staan en te genieten van de stille natuur. Het gebruikte gerecupereerde hardhout heeft een natuurlijke uitstraling waardoor het past in het landschap (BruggenArchitectuur, z.d.). Aanwezige landhoofden werden opnieuw gebruikt waardoor er geen bouwkuip uitgegraven moest worden. De Buursebeek kon dus zonder obstructie doorstromen terwijl bestaande betonnen elementen werden hergebruikt. In de bestaande landhoofden werden schroefpalen geschroefd, waardoor de trillingen op de omliggende infrastructuur en natuur minimaal waren (Vloedstegenbrug, z.d.).



3.3.8.2. Rol van hergebruik

De geogste voorgespannen betonnen liggers vormen de basis voor de brug, die zijn optimale configuratie bereikt bij een overspanning van 18 meter (BruggenArchitectuur, z.d.). Dit wil zeggen dat de oorspronkelijke lengte van 22 meter gereduceerd moest worden. Om transportkosten te besparen werd deze modificatie op de bouwwerf zelf gedaan (Jansen, 2025). Aangezien het om voorgespannen liggers gaat, moet er zorgvuldig rekening gehouden worden met snij- en hijslocaties om voldoende voorspanning te behouden (BruggenArchitectuur, z.d.). Maar liefst negen voorgespannen liggers kregen een tweede leven in de Vloedstegenbrug (Vloedstegenbrug, z.d.). Binnen het betonthema wordt niet alleen gebruikgemaakt van geogste liggers, maar worden nieuwe keerwanden ook vervaardigd uit traditioneel beton in combinatie met basaltvezelwapening. Dit materiaal is veel duurzamer dan staal en is volledig corrosiebestendig. Vier landhoofden werden vervaardigd uit geopolymeerbeton, een betonoplossing met een aanzienlijk lagere CO₂-uitstoot dan conventioneel cementgebonden beton (Van Hattum en Blankevoort, z.d.).

Buiten beton werd er ook gebruikgemaakt van gerecupereerde houten en stalen elementen. Deze worden toegepast op de twee fietsbruggen aan beide kanten van de verkeersbrug. De houten onderdelen werden geïnspecteerd en goedgekeurd volgens CE-certificering, zodat ze voldoen aan de technische eisen van de nieuwe brug. Het volledige ontwerp is gebaseerd op duurzaamheid, waarbij materialen met een lage Milieu Kosten Indicator (MKI) centraal stonden. De MKI maakt het mogelijk verschillende materialen te vergelijken op basis van hun milieubelasting (Vloedstegenbrug, z.d.).



Figuur 36: Plaatsen van een gerecupereerde brugligger. Overgenomen van Drone Addicts, geciteerd in *Vloedstegenbrug N18 Haaksbergen*, door BruggenArchitectuur.



Figuur 37: Luchtfoto van de Vloedstegenbrug. Overgenomen van *Vloedstegenbrug*, door Van Hattum en Blankevoort.



3.3.9. Viaduct Daelderweg - Closing the loop

Kernfeiten

Bouwheer	: Rijkswaterstaat
Architect	: Antea Group
Aannemer	: Strukton Wegen & Beton
Stabiliteit	: GBN Groep & Nebest
Statuut	: Openbare constructie
Locatie	: Daelderweg A76, Nederland
Status	: Uitvoering van testen
Functie	: Viaduct
Dimensies	: 20 m overspanning
Budget	: /
Gerecupereerde betonelementen	: 34 prefab HNP-liggers, stootplaten & landhoofden
Afkomst elementen	: Viaducten A76 & Keizer Karel-viaduct A9
Afstand donorgebouw – nieuw project	: 0 km & 200 km
Ontmanteling	: MNE & VeenIX consortium
Nieuwe functie betonelementen	: Liggers, stootplaten & landhoofden
Andere hergebruikte materialen	: Leuningen
Vermeden CO₂	: 60% minder dan een nieuwe constructie
Procent hergebruikt	: 65%

3.3.9.1. Projectcontext

Onder het *Strategic Business Innovation Research* project in 2020 van Rijkswaterstaat in circulaire viaducten, ontstond het consortium 'Closing the Loop' (Redactie De circulaire bouweconomie, 2023). De samenwerkingsgroep bestaat uit Antea Group, Nebest, GBN en Strukton, waarbij alle partijen een eigen specifieke rol hebben in het project (Rijkswaterstaat, z.d.). In dit project zullen twee bestaande viaducten, uit 1938 en 2004, vervangen worden door een nieuwe. Vooral de bestaande constructie uit 2004 biedt veel hergebruikmogelijkheden, deze elementen kunnen nog minstens 100 jaar mee (Rijkswaterstaat, 2024). De geoogste liggers uit de bestaande viaducten zijn jammer genoeg niet voldoende, waardoor ze aangevuld werden met liggers uit het Keizer Karelviaduct van de A9 (Cement, 2023). Uiteindelijk zullen er liggers gebruikt worden van het Keizer Karelviaduct en kokerliggers van het bestaande viaduct uit 2004. Het dek van het bestaande viaduct uit 1938 bleek te kort voor de dimensies van de nieuwe brug, waardoor hergebruik niet mogelijk is. Het beton zal verwerkt worden tot granulaten die worden toegepast in nieuw stortklaar beton voor onder andere de druklaag (Redactie De circulaire bouweconomie, 2023). De liggers ondergaan een uitgebreide testprocedure om hun resterende sterkte en levensduur te berekenen. Op basis van deze proeven wordt ook beslist of een ligger gebruikt kan worden in het nieuwe viaduct (Rijkswaterstaat, 2024). Als een onderdeel net wat breder of hoger is dan voorzien, dan wordt het ontwerp zoveel mogelijk aangepast om het geoogste element nog steeds te gebruiken (Antea Group, 2023).



3.3.9.2. Rol van hergebruik

Maar liefst twee derde van het nieuwe viaduct zal uit geoogste onderdelen bestaan, de rest wordt opgebouwd uit gerecycleerde materialen. Door deze aanpak zullen viaducten er anders uit gaan zien dan nieuwbouwviaducten (Antea Group, 2023). Nadat de liggers zijn geoogst, werden ze ingekort en ontdaan van hun druklaag. Vervolgens werden ze getest op sterkte en restlevensduur; hiervoor werden twee liggers destructief getest en vier liggers proefbelast (Redactie De circulaire bouwconomie, 2023). Na de uitgebreide non-destructieve testen is het nog steeds veilig de liggers te gebruiken, waardoor er slechts twee liggers verloren gingen (Rijkswaterstaat, 2024). Zelfs de proefopstelling werd gemaakt van gerecupereerde staalementen, in plaats van de traditionele uitvoering met ballast. Er is gebruikgemaakt van vijzels die onder de stalen liggers hangen en via lussen de proefbelasting op de betonnen ligger overbrengen. De proefopstelling is demontabel en kan elders ingezet worden, waardoor er getest kon worden op de opslagplaats van de liggers (van Duinen, 2025).

Het project zou 10% minder kosten dan een volledig nieuwe constructie (Antea Group, 2023), wat toch opmerkelijk is gezien het hoge kostenplaatje van testen en stockage. De ambitie van Rijkswaterstaat om klimaatneutraal te zijn en circulair te werken wordt hier duidelijk weerspiegeld (Rijkswaterstaat, 2024). Het Daelderweg-viaduct zal niet de enige uitwerking zijn van het concept van Closing the Loop. Hun doel is om een hergebruikpercentage van minstens 70% haalbaar te maken voor een reeks viaducten (van Duinen, 2025).



Figuur 40: *Hijsen van een brugligger op een proefopstelling.* Overgenomen van *Modulaire testopstelling voor circulaire liggers*, geciteerd in *Infra services*, door Royal Wagenborg.



Figuur 38: *Uithijsen van brugliggers.* Overgenomen van *Aan de slag met hergebruikte liggers!*, door Beton & staalbouw, 2025.



Figuur 39: *Visualisatie van het viaduct Daelderweg.* Overgenomen van *Volgende fase voor 'nieuw' circulair viaduct Daelderweg over A76*, door Nebest.



3.3.10. Viaduct Hoog Burel – Royal HaskoningDHV

Kernfeiten

Bouwheer	:	Rijkswaterstaat
Architect	:	Royal HaskoningDHV
Aannemer	:	Dura Vermeer & Haitsma Beton
Stabiliteit	:	Royal HaskoningDHV
Statuut	:	Openbare constructie
Locatie	:	A1 bij Apeldoorn
Status	:	Opgeleverd in 2023
Functie	:	Viaduct
Dimensies	:	Hoofdoverspanning van 31 m Zijvelden van 14 m
Budget	:	/
Gerecupereerde betonelementen	:	16 voorgespannen HRP-liggers
Afkomst elementen	:	Viaduct Zuidelijke Ringweg in Groningen
Afstand donorgebouw – nieuw project	:	135 km
Ontmanteling	:	Combinatie Liggers 2.0
Nieuwe functie betonelementen	:	Liggers voor de zijvelden
Andere hergebruikte materialen	:	/
Vermeden CO₂	:	97% minder dan nieuwe liggers
Procent hergebruikt	:	40% van de liggers

3.3.10.1. Projectcontext

Het 50 jaar oude bestaande viaduct over de A1 was sinds 2017 wegens betonschade afgesloten voor zwaar vrachtverkeer. Onder de projectvraag van Rijkswaterstaat ontstond het ontwerp voor het nieuwe viaduct, met uiteraard een enorme aandacht voor circulariteit. De gebruikte voorgespannen liggers zijn afkomstig uit een gesloopt viaduct over de A7 bij Groningen (Dura Vermeer, z.d.). Net zoals het vorige project, werd dit project ontworpen door een consortium aan partijen. In dit voorbeeld werken Royal HaskoningDHV, Dura Vermeer, Haitsma en Glasman samen onder het consortium 'Liggers2.0'. Het project werd gerealiseerd in 2023 en is bijkomend een primeur in zijn soort. Dit succesvolle bewijs dat gerecupereerde liggers effectief bewerkt en hergebruikt kunnen worden, opent de deur naar het opschalen van deze toepassing (Rijkswaterstaat, z.d.). De brug bestaat uit vier velden, waarvan de twee hoofdoerspanningen worden gemaakt door nieuwe liggers. Gerecupereerde liggers zijn uitsluitend toegepast voor de overspanning van de twee zijvelden. Ook deze liggers blijken een restlevensduur van 100 jaar te hebben, bovenop de al verstreken levensduur (Haitsma Beton, z.d.).



3.3.10.2. Rol van hergebruik

Toen Dura Vermeer de opdracht kreeg voor de vervanging van het viaduct Hoog Burel, had het consortium al zes liggers geoogst. Ze waren bedoeld voor een pilootproject, dat jammer genoeg vertraging opliep. Als gevolg werd het idee om liggers te hergebruiken toegepast op het ontwerp voor het viaduct Hoog Burel. Aangezien de zes geoogste liggers niet geschikt waren, ging de groep op zoek naar een andere bron. De uiteindelijke voorgespannen liggers werden gerecupereerd uit een viaduct over de Zuidelijke Ringweg in Groningen. Origineel hadden ze een lengte van 18 meter, terwijl ze in het uiteindelijke project slechts 14 meter zijn. Bijkomend waren ze in Groningen haaks, terwijl ze in het nieuwe project een hoek van 60 graden moesten maken. Het project toont aan dat zelfs ingrijpende aanpassingen aan de liggers de sterkte nauwelijks beïnvloeden, terwijl ze toch een aanzienlijk milieuvoordeel opleveren (Rijkswaterstaat, z.d.).



Figuur 43: Sloop van viaduct Hoog Burel. Overgenomen van *Sloop en bouw A1 viaduct Hoog Burel, Ughelen*, door Poels, 2022.



Figuur 42: Plaatsen van gerecupereerde brugliggers. Overgenomen van *Hergebruik prefab liggers viaducten is duurzaam, veilig en haalbaar*, door Haskoning, 2024.



Figuur 41: *Bouw viaduct A44*. Overgenomen van Erik Karst Fotografie, geciteerd in *Waarom Nederland met z'n mooie wegennet stokoude 'tweedehands' viaducten neerzet*, door Redactie TopGear, 2024.



3.3.11. Youth Centre at Sternentor - Brandenburgische Technische Universität, ReCreate

Kernfeiten

Bouwheer	: Burgemeester van Hohenmölsen Andy Haugk
Architect	: Christoph Henschel
Aannemer	: Aanbestedingsfase
Stabiliteit	: IB Jähne
Statuut	: Openbaar gebouw, pilotproject van ReCreate
Locatie	: Hohenmölsen, Saksen-Anhalt, Duitsland
Status	: Aanbestedingsfase, opgeleverd testgebouw in 2024, geplande volledige oplevering in 2027
Functie	: Jeugd- en recreatiecentrum
Oppervlakte	: 835 m ²
Budget	: €2.810.000
Gerecupereerde betonelementen	: 35 buitenmuren, 25 binnenmuren & 103 vloerplaten
Afkomst elementen	: WBS 70-C appartementsblok in de Karl-Marx-Straße, Großbräschen, Brandenburg, Duitsland
Afstand donorgebouw – nieuw project	: 184 km
Ontmanteling	: ECOSOIL Ost GmbH
Nieuwe functie betonelementen	: Buitenmuren, binnenmuren & vloerplaten
Andere hergebruikte materialen	: Stalen liggers, houtskeletwanden
Vermeden CO₂	: /
Procent hergebruikt	: /

3.3.11.1. Projectcontext

Als pilootproject van de Duitse cluster onder het ReCreate-project, staat ook hier betonhergebruik centraal. Een initieel ontwerp, getekend door architect Christoph Henschel, werd na enkele overlegondes met het bestuur van Hohenmölsen, een gemeente in Saksen-Anhalt, gezien als het startontwerp voor het nieuwe jeugdcentrum (ReCreate project, 2023). Na de opstelling van een wettelijk kader werd een wedstrijdprocedure uitgeschreven. Deelnemers moesten hierbij eerst aan specifieke selectiecriteria voldoen om in aanmerking te komen voor de aanbesteding. In het wettelijk kader werd de term *reuse* duidelijk beschreven, waardoor het doel van het pilootproject duidelijk was. De selectiecriteria bestonden voornamelijk uit het voorleggen van valabele referentiewerken, nodige licenties inzake projectmanagement en legale documenten, en een overzicht van de bedrijfsstructuur (Fischer, 2025).

Het donorgebouw werd deels ontmanteld in 2022, waarbij twee verdiepingen werden verwijderd van het prefab betonnen residentiële gebouw. De wetenschappelijke coördinatie werd voorzien door de Technische Universiteit van Brandenburg Cottbus-Senftenberg. Hun oordeel over de bruikbaarheid van de geogoste elementen, in combinatie met sterkteberekeningen voorzien door het ingenieursbureau P. Jähne, kwam uit op een positief hergebruikadvies (ReCreate, z.d.). De elementen zullen gebruikt worden in het nieuwe jeugdcentrum in



Hohenmölsen. Aangezien het ReCreate-project pilootprojecten niet rechtstreeks kan financieren, moest de stad zelf instaan voor de kosten. Ze kregen ongeveer 2,81 miljoen euro onder het *Just Transition Fund* (ReCreate project, 2025). Om enkele details en compositiemogelijkheden te testen, werd een proefopstelling ontworpen. Opvallend is dat de gebruikte prefab betonelementen niet afkomstig zijn uit de ontmanteling in 2022 in de Otto-Nuschke-Straße. Voor dit project werden eind 2023 enkele verdiepingen verwijderd van een appartementsgebouw in de Karl-Marx-Straße in Großräschen, dat deel uitmaakte van een renovatieproject. In 2024 werd het testpaviljoen opgebouwd uit 12 prefab betonelementen (ReCreate project, 2024).

3.3.11.2. Rol van hergebruik

Met het pilootproject in Duitsland mikken de instanties op een CO₂-reductie van meer dan 90% en een kostenreductie van maar liefst 30% in vergelijking met traditionele methodes. Na een testprocedure op de geoogste elementen voorschreef het rapport een sterkteklasse tussen C20/25 en C35/45, wat de verwachtingen oversteeg. Ook toonde de carbonatatieproef geen risico op corrosie. 163 prefab elementen in negen verschillende types en dimensies werden geoogst en geïmplementeerd in het plan voor het jeugdcentrum. Dit project is een mooi voorbeeld van innovatieve constructiedetails met gerecupereerd beton. Om voldoende vrije hoogte te garanderen, is er een verhoging onder de wanden ontworpen. Omdat de dimensies van de geoogste elementen vaststaan, is ook het overspanningsschema relatief onflexibel (ReCreate project, z.d.). Deze randvoorwaarde dwingt tot creativiteit, en dat is precies wat dit hergebruiktraject zo interessant maakt.



Figuur 45: Ontmanteling van appartementsgebouw in de Karl-Marx-Straße. Overgenomen van *Division Selective Deconstruction - Building in Existing Contexts (ECOSOIL Ost)*, door ReCreate project, 2025.



Figuur 44: Visualisatie jeugdcentrum gebouwd met gerecupereerde betonelementen. Overgenomen van *Reusing precast concrete elements challenges and solutions in the design process*, door ReCreate project, 2023.



Figuur 46: Mock-up van de Duitse cluster in het ReCreate-project. Overgenomen van *German country cluster completes test building*, door ReCreate project, 2024.



3.3.12. Pilotproject, test building design-for-disassembly – Technische Universität Berlin

Kernfeiten

Bouwheer	: Technische Universiteit Berlijn
Architect	: Technische Universiteit Berlijn
Aannemer	: Technische Universiteit Berlijn
Stabiliteit	: Technische Universiteit Berlijn
Statuut	: Universiteitsonderzoek
Locatie	: Technische Universiteit Berlijn, Duitsland
Status	: Opgeleverd in 2004
Functie	: Testgebouw voor tentoonstelling over <i>design-for-disassembly</i>
Oppervlakte	: /
Budget	: /
Gerecupereerde betonelementen	: Binnenmuren & voorgespannen platen (WBS 70)
Afkomst elementen	: /
Afstand donorgebouw – nieuw project	: 18 km
Ontmanteling	: Technische Universiteit Berlijn
Nieuwe functie betonelementen	: Muren & overspanningen
Andere hergebruikte materialen	: /
Vermeden CO₂	: /
Procent hergebruikt	: /

3.3.12.1. Projectcontext

Toen enkele decennia geleden de Oost-Duitse populatie zakte in aantal, en miljoenen jongvolwassenen het oosten verlieten om in het westen een job te vinden, werd een groot aantal gebouwen leeg achtergelaten. Er waren plannen om ongeveer 350.000 appartementsgebouwen uit het communistische tijdsperk te slopen (Hawley, 2005). Men werd geconfronteerd met een bouwstock van prefab betonelementen die bovendien in goede staat verkeerden. Vele kwaliteits- en renovatieproeven op deze gebouwen toonden aan dat prefab vloerplaten zonder veel moeilijkheden ontmanteld kunnen worden. In 1994 werd de hergebruikmogelijkheid van deze elementen voor het eerst wetenschappelijk onderzocht (Asam, 2007). De eerste fysieke testen werden uitgevoerd in 1998, en in 2001 bouwde een onderzoeksteam het eerste pilootproject in Cottbus (Hawley, 2005). Desondanks de enorme milieuwinst, werden veel constructiemoeilijkheden ontdekt. De vroege combinatie van hergebruikte onderdelen met traditionele technieken zorgde voor een trage operatie. De onderzoekers waren, ondanks de weinige erkenning, tevreden met de uitkomst dat het technisch wel degelijk haalbaar is (Asam, 2007).



3.3.12.2. Rol van hergebruik

Uit de eerste testen bleek dat het hergebruik van prefab betonelementen uit de communistische woningvoorraad zeer geschikt was voor kleinschalige projecten. In de Technische Universiteit van Berlijn werd een prototype gebouwd dat werd gezien als de start van het pilootprojectprogramma. De assemblage bestond uit betonnen binnenwanden en voorgespannen betonnen platen. Details en constructietechnieken werden getest, zodat de bouw van de pilootprojecten vlot kon verlopen. Zowel volledige als ingekorte elementen werden gebruikt op verschillende manieren. Tot 2007 zijn maar liefst negen kleine woningen opgetrokken uit geogoste betonnen elementen, allen privé-initiatieven. Duits architectuurbureau CONCLUS gebruikt sinds 2006 het testgebouw van de Berlijnse universiteit als tentoonstellingspaviljoen (Asam, 2007).



Figuur 47: Prototype aan de TU Berlin. Overgenomen van *Recycling prefabricated concrete components - a contribution to sustainable construction*, door Asam, 2007.



3.3.13. Pilotproject house, Mehrow – CONCLUS

Kernfeiten

Bouwheer	: Technische Universiteit Berlijn
Architect	: Hervé Biele
Aannemer	: /
Stabiliteit	: Technische Universiteit Berlijn
Statuut	: Pilotproject
Locatie	: Mehrow, Berlijn, Duitsland
Status	: Opgeleverd in 2005
Functie	: Woning
Oppervlakte	: 200 m²
Budget	: /
Gerecupereerde betonelementen	: 22 muren en 27 platen
Afkomst elementen	: /
Afstand donorgebouw – nieuw project	: 8 km
Ontmanteling	: Technische Universiteit Berlijn
Nieuwe functie betonelementen	: Muren en overspanningen
Andere hergebruikte materialen	: /
Vermeden CO₂	: 5.900 l olie equivalent minder dan een nieuwe constructie
Procent hergebruikt	: /

3.3.13.1. Projectcontext

In de reeks pilootprojecten na het testgebouw door de Technische Universiteit van Berlijn, is dit de eerste. In Oost-Duitsland werden de leegstaande prefab betonnen appartementsgebouwen uit het communistische tijdperk massaal gesloopt. Aangezien de betonelementen nog in perfecte staat waren, kwam het architectuurbureau CONCLUS met een eigen oplossing om de betonnen platen en wanden te recupereren en te verwerken in moderne woningen. Het nieuwe soort ontwerp combineerde de betonelementen uit de donkere betonnen torens met een openheid en rust van het moderne wonen. Het testgebouw van de Berlijnse universiteit voldeed niet aan de verwachtingen van Joel en Herve Biele, de architecten van het bureau CONCLUS. Het leek op een mini-versie van de deprimerende communistische appartementsblokken. Hun eigen projecten tonen eenzelfde insteek als het onderzoeksproject, maar met een veel opener karakter (Hawley, 2005).



3.3.13.2. Rol van hergebruik

De constructiemethode van het testgebouw van de Berlijnse universiteit werd gebruikt, waardoor opgedane kennis omgezet werd in een echt woonproject. In slechts 12 dagen werden de betonplaten en -wanden ontmanteld, aangepast en opnieuw ingezet op de bouwsite. De betonnen elementen dienen puur structureel, aangezien de façade afgewerkt werd met een isolerend composietsysteem (Asam, 2007). De transportkosten waren hoog door het betongewicht. De architecten berekenden dat de afstand tussen het donorgebouw en de nieuwe werf maximaal 300 kilometer mag bedragen om financieel haalbaar te zijn (Hawley, 2005). Hun keuze om structurele betonnen elementen te hergebruiken heeft de grootste positieve milieu-impact, gezien de *global warming potential* voor structurele elementen driemaal zo groot is als voor afwerkingsmaterialen en HVAC-systemen (Asam, 2007).



Figuur 48: *Pilootproject in Mehrow door architectenbureau Conclus.* Overgenomen van *Recycling prefabricated concrete components - a contribution to sustainable construction*, door Asam, 2007.



3.3.14. Eerste mini-pilotproject appartementsgebouw – LIIKE Architects, ReCreate

Kernfeiten

Bouwheer	: A-Kruunu
Architect	: LIIKE Architects
Aannemer	: Skanska
Stabiliteit	: Ramboll Finland
Statuut	: Overheidsgebonden, pilotproject van ReCreate
Locatie	: Potkurinkatu street, Tampere, Finland
Status	: Opgeleverd in 2024
Functie	: Sociale huisvesting appartementsblok
Oppervlakte	: /
Budget	: /
Gerecupereerde betonelementen	: 25 holle welfsels
Afkomst elementen	: Kantoorgebouw in Tampere
Afstand donorgebouw – nieuw project	: 6 km
Ontmanteling	: Umacon & Skanska
Nieuwe functie betonelementen	: Overspanningen
Andere hergebruikte materialen	: /
Vermeden CO₂	: /
Procent hergebruikt	: /

3.3.14.1. Projectcontext

Het pilootproject van de Finse cluster onder het ReCreate-project is onderdeel van een betaalbaar woonproject in Tampere, gelegen op een zestal kilometer van het donorgebouw. Alhoewel niet het volledige gebouw is opgebouwd uit gerecupereerde betonelementen, werd er wel volledig gebruik gemaakt van prefab elementen. Als gevolg heeft het appartementsgebouw een toekomstig hergebruikpotentieel (ReCreate project, 2025). Het donorgebouw was een kantoorgebouw van acht bouwlagen, gelegen in het centrum van Tampere en gebouwd in 1982. De kolommen, balken en holle welfsels werden zorgvuldig ontmanteld en zullen gebruikt worden in verschillende nieuwe gebouwen in Finland (ReCreate project, z.d.). Het bouwbedrijf Skanska, dat hard inzet op een circulaire bouweconomie, zal in de toekomst verder aan de slag gaan met de uitkomsten van het ReCreate-project (ReCreate project, 2025).

De elementen werden na een visuele inspectie ontmanteld en getransporteerd naar de originele fabrikant. Zij voerden destructieve testen uit en stonden in voor het renoveren van de elementen. Dezelfde rekenprotocollen kunnen voor deze betonstukken worden gebruikt, aangezien er is bewezen dat ze dezelfde sterkte bezitten als toen ze oorspronkelijk werden gefabriceerd. (ReCreate project, z.d.). Het volledige proces, inclusief goedkeuringsprocessen, zorgde voor belangrijke inzichten over management en mogelijke verbeteringen in de procedures. Fabrikant Consolis VBI is niet alleen betrokken bij deze mini-pilot, maar draagt ook actief bij aan het bredere doel van het ReCreate-project. Ze staat in voor de verfijning van de ontmantelings-, test- en certificeringsprocessen met als doel de hergebruikpraktijk op te schalen (Consolis VBI, 2024).



3.3.14.2. Rol van hergebruik

In het pilootproject worden 25 gerecupereerde holle welfsels gebruikt, afkomstig van het kantoorgebouw in Tampere. Dit deconstructieproject werd tevens ook uitgevoerd door de Finse cluster in het ReCreate-project. De plaatsing van de gerecupereerde elementen was net zo 'gemakkelijk' als het plaatsen van nieuwe elementen (ReCreate project, 2025). Dit betekent dat de complexiteit van betonhergebruik voornamelijk schuilt in de planning, de ontmanteling en de volledige testprocedure, inclusief het juridische kader. Een zeer grote troef is de bijdrage van de originele fabrikant van de holle welfsels. Op deze manier zijn originele documenten beschikbaar en tonen proeven aan hoe betrouwbaar en tijdsbestendig eigenschappen zoals draagcapaciteit zijn (Consolis VBI, 2024).

De elementen uit het donorgebouw werden geïnventariseerd en gedigitaliseerd in een BIM-model door de architecten. Het ingenieursbureau Ramboll breidde het model uit tot een deconstructiemodel, met als doel het bouwafval in het proces minimaal te houden. Vanaf het moment dat elementen uitgehesen waren, labelde het team ze met een QR-code. Dit verhoogt de traceerbaarheid en zorgt ervoor dat alle informatie over een element gebundeld is. Een belangrijk inzicht is de verwijdering van de betonnen druklaag alvorens de elementen werden geoogst (ReCreate project, z.d.). Op deze manier kon de originele fabrikant de holle welfsels correct opknappen.



Figuur 49: Ontmanteling van een gebouw in Tampere door Umacon en Skanska. Overgenomen van Finland, door ReCreate project.



Figuur 50: Hergebruikte holle welfsels in Tampere, 6 km van het donorgebouw. Overgenomen van First elements reclaimed by the Finnish cluster reused in a real-life mini pilot, door ReCreate project, 2025.



3.3.15. Kvarteret Återbruket Gothenburg – Lendager Group & Liljewall Arkitekter

Kernfeiten

Bouwheer	: Framtiden Byggutveckling
Architect	: Lendager Group & Liljewall Arkitekter
Aannemer	: NCC
Stabiliteit	: Liljewall Arkitekter
Statuut	: Privé ontwikkeling
Locatie	: Litteraturgatan, Göteborg, Zweden
Status	: Werf, geplande oplevering in 2026
Functie	: Appartementsgebouwen
Oppervlakte	: /
Budget	: /
Gerecupereerde betonelementen	: 3.000 m² voorgespannen holle welfsels
Afkomst elementen	: Ikea Kållerød
Afstand donorgebouw – nieuw project	: 18 km
Ontmanteling	: NCC
Nieuwe functie betonelementen	: Overspanningen
Andere hergebruikte materialen	: Houten planken, houten platen, stalen balken, stalen gevelplaten (17 ton staal)
Vermeden CO₂	: 37 kg CO₂ eq. per m²
Procent hergebruikt	: 50%

3.3.15.1. Projectcontext

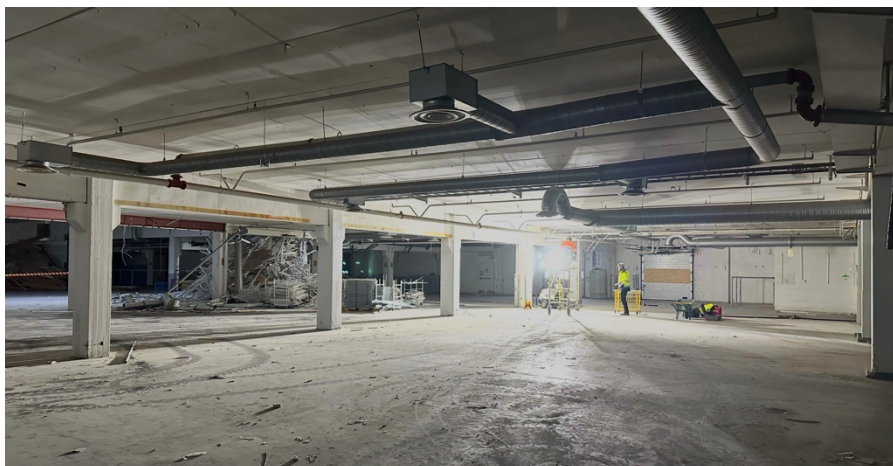
Onder het onderzoeksprogramma *Återhus 3.0 - Building from buildings*, dat bijdraagt aan de transitie naar circulaire materiaalstromen (RISE, z.d.), worden 66 huurwoningen opgebouwd in Litteraturgatan in Göteborg. Het project richt zich specifiek op grootschalig hergebruik, met als doel dat ten minste de helft van de toegepaste materialen van secundaire herkomst is (NCC, z.d.). Maar liefst 3.000 m² prefab holle welfsels (RISE, z.d.) en 17 ton staal (NCC, z.d.) werden geoogst uit een oude Ikea-winkel in Kållerød, net buiten Göteborg. RISE, het Zweedse onderzoeksinstituut voor duurzaamheid, werd aangesteld om de elementen te inspecteren en te testen op hun draagvermogen en restlevensduur (RISE, z.d.). Aangezien structurele elementen de grootste milieu-impact hebben, was dit ook de focus van het woonontwikkelingsproject. Daarnaast werden gelijmde houten balken gedemonteerd uit een ijshal in Kortedala; deze zullen eveneens worden verwerkt in het woonproject (NCC, z.d.).

Het onderzoeksinstituut RISE is ondertussen een bruikbare standaard aan het ontwikkelen voor betonhergebruik. Niet alleen worden kwaliteitsprocessen voor herbruikbare prefab betonelementen beschreven, maar er wordt ook onderzoek gedaan naar betonrecyclage en alternatieve bindmiddelen. In dit kader opereert het *Återhus 3.0*-project als de tak dat hergebruikmogelijkheden van bestaande betonnen elementen onderzoekt (RISE, z.d.).



3.3.15.2. Rol van hergebruik

Volgens RISE zijn holle welfsels elementen die niet alleen een hoge sterkte bezitten, maar ook potentieel tonen in een snelle ontmanteling en herplaatsing. De originele documentatie uit 1971, het jaar waarin de welfsels uit de Ikea-winkel gefabriceerd werden, diende als basis voor de sterkte-eigenschappen. Na de testprocedure concludeerde het onderzoeksinstituut dat de elementen buiten voldoende sterkte, ook een laag duurzaamheidsrisico bezitten. De restlevensduur werd geschat op 224 jaar wanneer ze in een droog binnenklimaat gebruikt zouden worden. Wegens een goeie planning en samenwerking tussen alle partijen, gebeurde de assemblage van de holle welfsels in het nieuwe project sneller dan gedacht. Hierdoor bewijzen de instanties dat logistieke voorzieningen en beschikbare opslagruimte cruciaal zijn om hergebruik kosteneffectief te maken. RISE ontwikkelde een methodologie om de restlevensduur van kanaalplaatvloeren te bepalen. Deze methode zal de basis vormen voor een nieuwe standaard, waarmee in de toekomst potentieel ook andere typen elementen berekend kunnen worden (RISE, z.d.). Hergebruikte materialen vormen bijkomend ook het karakter van het gebouw. Het gebruikte hout en plaatstaal in de façade zijn beide gerecupereerd, alsook een klein deel van het interieurmateriaal. Er wordt een binnenplein voorzien dat toegankelijk is voor alle bewoners en ook zal opgebouwd worden uit gerecupereerde materialen. Kortom, hoogwaardige appartementen in een complex waar duurzaamheid centraal staat, moet niet onderdoen voor conventionele uitvoeringen (Poseidon, z.d.).



Figuur 52: *Kwaliteitscontrole van te oogsten holle welfsels uit de Ikea in Kållerød.* Overgenomen van Suchorzewski, geciteerd in *Nytt centrum ska göra återbruk tryggt, lönsamt och storskaligt i byggbranschen*, door RISE, 2025.



Figuur 51: *Nieuw project in Gothenburg met gerecupereerde holle welfsels.* Overgenomen van *Litteraturgatan, kvarteret Återbruket*, door Poseidon.



3.3.16. H22 Pavillion – Koninklijk Technisch Instituut Stockholm, ReCreate

Kernfeiten

Bouwheer	: KTH, Helsingborgshem & Consolis Strängbetong
Architect	: Koninklijk Technisch Instituut Stockholm
Aannemer	: /
Stabiliteit	: Koninklijk Technisch Instituut Stockholm
Statuut	: Openbaar gebouw, pilotproject van ReCreate
Locatie	: Drottninghög, Helsingborg, Zweden
Status	: Opgeleverd in 2022
Functie	: Expopaviljoen
Oppervlakte	: 176 m ²
Budget	: /
Gerecupereerde betonelementen	: Wanden, vloerplaten, holle welfsels, kolommen & balken
Afkomst elementen	: Housing block in Drottninghög, industrial building in Helsingborg & Strängbetong's factory
Afstand donorgebouw – nieuw project	: 0 km – 500 km
Ontmanteling	: Trellegräv AB
Nieuwe functie betonelementen	: Wanden, overspanningen & kolommen
Andere hergebruikte materialen	: Deuren, ramen & OSB-platen
Vermeden CO₂	: 92% minder dan een nieuwe constructie
Procent hergebruikt	: 99%

3.3.16.1. Projectcontext

Als Zweeds pilootproject onder het ReCreate-project werd een tijdelijk paviljoen ontworpen en geassembleerd voor de stadstentoonstelling *H22* in Helsingborg. Naast het verzamelen van data in het kader van het ReCreate-project, diende het paviljoen om de haalbaarheid te demonstreren in het hergebruiken van bestaande geprefabriceerde betonnen elementen (ReCreate project, z.d.). De stadstentoonstelling is een initiatief van de stad om innovatieve oplossingen te ontwikkelen om de levenskwaliteit te verhogen en een duurzamere stad te verkrijgen. Ze voorspellen dat in 2030 ongeveer 60% van de wereldbevolking in steden zal leven, waardoor grote obstakels waarmee hedendaagse steden kampen zo snel mogelijk omgezet moeten worden in slimme oplossingen (H22, z.d.). Het doel van de Zweedse cluster in het ReCreate-project is het onderzoeken van de waardeketen van hergebruikte betonnen elementen, alsook hoe traditionele constructieprocessen en regulaties hergebruik beïnvloeden. Tussen de jaren 1960 en 1980 werd in Zweden enorm veel gebouwd met geprefabriceerde betonnen elementen. Als gevolg heeft het land een groot potentieel in het oogsten en hergebruiken ervan (ReCreate project, 2022). Het paviljoen werd opgebouwd met elementen afkomstig uit maar liefst vier verschillende bronnen (ReCreate project, z.d.).



3.3.16.2. Rol van hergebruik

Twee hergebruik-ontwerpstrategieën werden toegepast in het paviljoen, namelijk het ontwerpen vanuit een bestaande materialenstock en zoeken naar materialen die in een bepaald ontwerp moeten passen (ReCreate project, z.d.). Het paviljoen bestond uiteindelijk uit 99% hergebruikte materialen afkomstig uit drie verschillende donorgebouwen. Betonnen kolommen en balken werden geoogst uit een industriegebouw in het centrum van Helsingborg. Twee betonnen muurelementen en een vloerplaat zijn afkomstig uit een appartementsgebouw in Drottninghög. De deuren en ramen uit de voormalige kleuterschool 'Grodan', die eerder op de plek van het paviljoen stond, zijn hergebruikt. Op deze manier is ook de funderingsplaat van de kleuterschool op de site zelf behouden en hergebruikt. Tot slot komen de holle welfsels niet uit een donorgebouw, maar zijn het door de fabriek afgewezen elementen die anderszids verbrijzeld zouden worden (ReCreate project, z.d.). De geoogste elementen waren groter dan voorzien, waardoor er enerzijds een steviger paviljoen ontstond, maar anderzijds oplossingen moesten ontwikkeld worden om de geoogste ramen en deuren te doen passen. De geometrische beperkingen van de elementen werden juist ingezet als een creatieve kans om met obstakels om te gaan, wat resulteerde in een interessante architectuur. Het paviljoen werd later gebruikt als inspiratiebron in een ontwerpstudio aan de KTH, waarbij de studenten bewezen dat kwalitatieve ontwerpen kunnen ontstaan wanneer men bouwt met gerecupereerde materialen (ReCreate project, 2022). Bijkomend is het paviljoen volledig demontabel opgebouwd waardoor het opnieuw opgebouwd zou kunnen worden in een andere context. Uiteindelijk, na de tentoonstelling, zijn de gebruikte elementen verbrijzeld en de granulaten gebruikt in gerecycleerd beton (ReCreate project, z.d.).



Figuur 54: Plaatsen van hol welfsel in de H22 City Expo Drottninghög. Overgenomen van *Recycled concrete exhibition during H22 City Expo paves the way for circular construction*, door ReCreate project, 2022.



Figuur 53: Zweedse pilootproject van het ReCreate-project op het H22 City Expo Drottninghög. Overgenomen van *ReCreate H22 Swedish pilot*, door ReCreate project.



3.3.17. Nya Udden project

Kernfeiten

Bouwheer	: AB Stångåstaden
Architect	: /
Aannemer	: Idébyggarna & Åhlin and Ekroth
Stabiliteit	: /
Statuut	: Overheidsgebonden
Locatie	: Linköping, Zweden
Status	: Opgeleverd in 2001
Functie	: Studentenappartementen
Oppervlakte	: /
Budget	: €26.000.000
Gerecupereerde betonelementen	: Prefab: 138 scheidingswanden, 72 buitenwanden, 224 balken & 8 trappenunits
Afkomst elementen	: Norrköping
Afstand donorgebouw – nieuw project	: 45 km
Ontmanteling	: Idébyggarna
Nieuwe functie betonelementen	: Scheidingswanden, buitenwanden, balken & trappen
Andere hergebruikte materialen	: 16 stalen leuningen, 34 ramen & 100 vensterbanken
Vermeden CO₂	: /
Procent hergebruikt	: /

3.3.17.1. Projectcontext

Hoewel het oorspronkelijke plan van het Nya Udden-project om 500 studentenappartementen op te bouwen uit gerecupereerde betonelementen faalde, slaagde men er uiteindelijk in om 54 appartementen te realiseren. Hiervoor werden elementen gebruikt die afkomstig waren uit een renovatieproject in het Zweedse Norrköping. Het district, Ringdansen, kreeg een negatieve connotatie, waardoor de eigenaar een ontwikkelingsproces startte van maar liefst 100 miljoen euro. De ombouw van 5.000 appartementen naar 1.000 hoogwaardige units vereiste een zorgvuldige ontmanteling van de bovenste etages. Op deze manier bleven de onderliggende structuren onbeschadigd en nog steeds bruikbaar. De geoogste elementen zouden worden ingezet in de studentenappartementen (Eklund et al., 2003).

Stångåstaden is gemeentelijk gecontroleerd, toch wordt er beweerd dat het gebruik van gerecupereerde elementen hun eigen initiatief was. Het bedrijf heeft een enorme financiële kracht waardoor het nemen van risico's, zoals betonelementhergebruik, mogelijk is. Het was niet alleen een interessant onderzoek, het krikte ook het milieuprofiel op van het bedrijf (Eklund et al., 2003). De omslachtigheid bij de demontage en herplaatsing is voornamelijk het gevolg van de inzet van meerdere aannemers met elk een eigen planning. Bijkomend hadden de aannemers te weinig kennis om zorgvuldig om te gaan met de geoogste materialen waardoor de elementen schade opliepen (Küpfer, 2024). Als resultaat was het hergebruiken van betonnen elementen in hun geheel een duurdere operatie dan het verpulveren en recycleren ervan. Er werd logischerwijs, in economische zin, gekozen om verder te gaan met de laatste (Westerlind & Stenberg, 2025).



3.3.17.2. Rol van hergebruik

De ontmanteling van de elementen in het renovatieproject in Norrköping werd gedaan uit overtuiging van de positieve milieu-impact. Als gevolg kreeg het project 26 miljoen euro toegewezen. Aangezien de zorgvuldige ontmanteling stopgezet werd door logistieke en coördinatie-gebaseerde obstakels, zal dit bedrag hoogstwaarschijnlijk aangepast zijn (Eklund et al., 2003). Uiteindelijk bevatten de 54 studentenwoningen ongeveer 400 gerecupereerde elementen; waaronder prefab wanden, balken en volledige trappenconstructies. Geen grote technische obstakels werden geïdentificeerd tijdens de plaatsing van de elementen, waardoor de grootste moeilijkheden vervat zaten in de ontmanteling en coördinatie (Küpfer, 2024). In totaal werd er 1.432 ton beton hergebruikt. De elementen werden getest op hun capaciteit en voldeden aan de toenmalige standaarden. Uiteindelijk kostte de bouw van deze 54 appartementen ruwweg 10% tot 15% meer dan een conventioneel project. Omdat deze meerprijs werd gedekt door overheidssubsidies, bleven de uiteindelijke kosten voor de eigenaar gelijk aan die van een traditionele bouw. De verworven kennis op zowel technisch als financieel vlak zou als katalysator moeten dienen voor meer hergebruikprojecten in Zweden (Eklund et al., 2003).



Figuur 55: Ontmantelen van een betonnen muur. Overgenomen van Eriksson, geciteerd in *The conditions and constraints for using reused materials in building projects*, door Eklund et al., 2003.



Figuur 56: Opbouw van het Nya Udden project. Overgenomen van *The conditions and constraints for using reused materials in building projects*, door Eklund et al., 2003.



3.3.18. Elementa – Parabase

Kernfeiten

Bouwheer	: Immobilien Basel Stadt
Architect	: Parabase
Aannemer	: Caretta & Weidmann
Stabiliteit	: Monotti Ingegneri Consulenti
Statuut	: 1 ^{ste} plaats open internationale wedstrijd
Locatie	: Walkeweg, Bazel, Zwitserland
Status	: Verwachte realisatie tussen 2026 en 2028
Functie	: Sociale huisvesting & migratiecentrum
Oppervlakte	: 20.000 m ²
Budget	: €70.000.000
Gerecupereerde betonelementen	: 2.680 componenten: kolommen, balken, ribbenplaten
Afkomst elementen	: Garagegebouw Elsässerstrasse, Lysbüchel, Bazel
Afstand donorgebouw – nieuw project	: 7 km
Ontmanteling	: Aregger, opdracht van Immobilien Basel Stadt
Nieuwe functie betonelementen	: Kolommen, balken, overspanningen & ribbenplaten als gevel
Andere hergebruikte materialen	: /
Vermeden CO₂	: 1.088.082 kg CO ₂ eq.
Procent hergebruikt	: /

3.3.18.1. Projectcontext

Het bestemmingsplan voor het Walkeweg-gebied, dat deel uitmaakt van het *Wohnbauprogramms 1000+*, in Bazel is gericht op gezinsvriendelijk en betaalbaar wonen, waarbij er zowel in de constructiefase als de gebruiksfase rekening gehouden wordt met duurzaamheid. Dit principe noemt de stad "Low Cost – Low Energy", waarbij het energiegedeelte zich richt op het minimaliseren van de warmtebehoeften en het maximaliseren van het aandeel hernieuwbare energiebronnen (Kanton Basel-Stadt, z.d.). De stad heeft een internationale competitie uitgeschreven voor een specifiek onderdeel van het programma: de bouw van 120 betaalbare appartementen in combinatie met een migratiecentrum. Het winnende project, door het bureau Parabase, werd gekozen door het creatieve gebruik van gerecupereerde betonnen elementen (Florian, 2023). Zowel in de draagconstructie als in de gevel werden betonelementen gebruikt uit de voormalige Lysbüchel-parkeergarage. Het parkeergebouw werd ontmanteld in opdracht van de stad Bazel, in samenwerking met het bureau Zirkular (Kanton Basel-Stadt, z.d.). Nooit eerder werd hergebruik van structurele elementen op een dergelijke schaal toegepast binnen een openbare competitie (Vergopoulou, 2023).



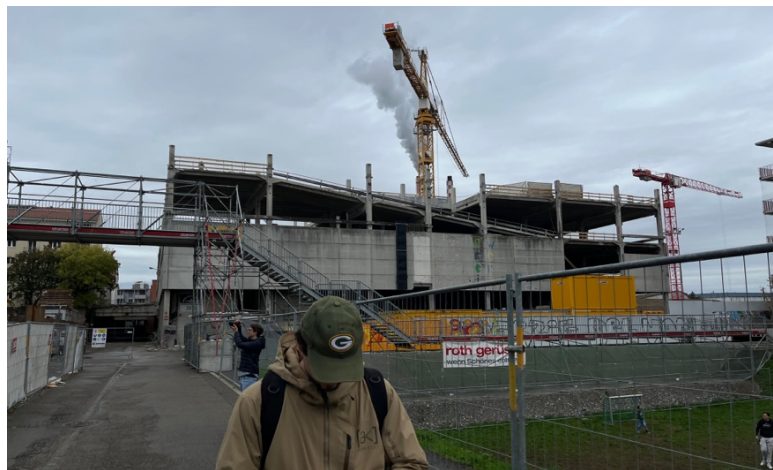
3.3.18.2. Rol van hergebruik

Het gebruik van gerecupereerde geprefabriceerde betonnen elementen in zowel de draagstructuur als de gevel (Florian, 2023), zorgt voor een creatief en herkenbaar gevelbeeld. Het parkeergebouw, het donorgebouw voor de voorgespannen betonelementen, werd opgebouwd in 1970 en bestaat uit vier verdiepingen. Het gebruik van slechts drie elementen – ribbenvloeren, balken en kolommen – resulteert in een uiterst logische en heldere structuur. Bovenop de ribbenvloeren werd een druklaag van acht centimeter aangebracht, die niet verwijderd werd tijdens de ontmanteling. De elementen werden met een diamantzaag losgezaagd, waarbij er werd gestreefd naar een herbruikbaarheidspercentage van 90% voor de ribbenvloeren (Devènes et al., 2022).

Naast het gebruik van gerecupereerde betonelementen, worden milieuvriendelijke materialen ingezet zoals houten wanden, kleiplaten, kleipleister en cellulose isolatie. De compositie is ontworpen op maximale flexibiliteit, waarbij de draagstructuur, de gevel en het interieur als aparte spelers worden gezien. Niet alleen wordt toekomstig hergebruik vergemakkelijkt, ook zijn aanpassingen tijdens de gebruiksfase steeds mogelijk. Naast het gebruik van gerecupereerde elementen en milieuvriendelijke materialen, zal het gebouw verwarmd worden met hernieuwbare energie en zullen zonnepanelen het gebouw van stroom voorzien (Beta-Architecture, 2024).



Figuur 58: Uithijzen van een geprefabriceerd TT-vloerelement. Overgenomen van Schiffner, 2024.



Figuur 59: Parkeergebouw Lysbüchel.



Figuur 57: Visualisaties wedstrijdvoorstel Elementa van Parabase. Overgenomen van Elementa, door Beta Architecture, 2024.



3.3.19. FLO:RE – Structural Xploration Lab

Kernfeiten

Bouwheer	: Structural Xploration Lab aan de EPFL
Architect	: Célia Küpfer
Aannemer	: Technici Smart Living Lab
Stabiliteit	: Maléna Bastien Masse & Numa Bertola
Statuut	: Doctoraatsonderzoek aan de EPFL
Locatie	: Fribourg, Zwitserland
Status	: Opgeleverd in 2023
Functie	: Vloersysteem kantoorgebouw
Oppervlakte	: 30 m ² & overspanning van 5m
Budget	: /
Gerecupereerde betonelementen	: Uitgesneden ter plaatse gestorte betonnen vloeroverspanning
Afkomst elementen	: Industrieel gebouw dicht bij Fribourg & hypothetische locaties
Afstand donorgebouw – nieuw project	: 140 km, 100 km, 20 km & 0 km
Ontmanteling	: Diamcoupe, La Ressourcerie, the Lyon 106-108 Consortium, Küpfer Géomètres & Atba Architecture + énergie
Nieuwe functie betonelementen	: Overspanning
Andere hergebruikte materialen	: 2 HEA 200 stalen liggers & 1 HEA 240 stalen ligger
Vermeden CO₂	: 80%, 84%, 92%, 94%
Procent hergebruikt	: 99%

3.3.19.1. Projectcontext

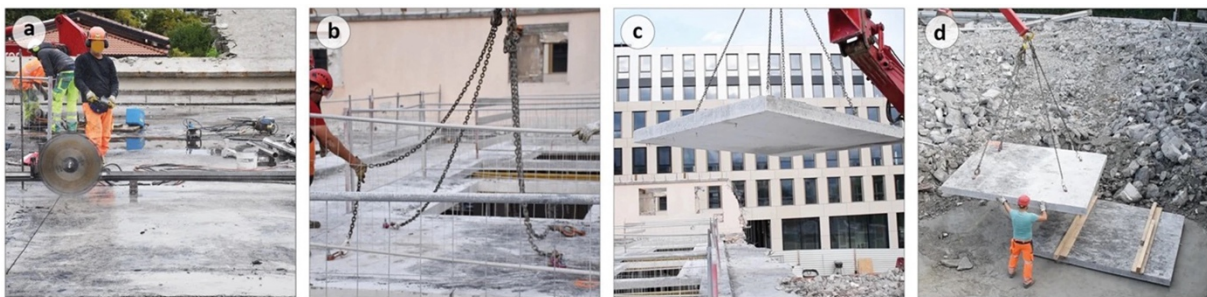
Aangezien de draagstructuur van een gebouw, die meestal uit staal of beton bestaat, verantwoordelijk is voor maar liefst 45% van de materiaalgebonden CO₂-impact, stelt dit project een alternatief voor waarbij gerecupereerde elementen worden ingezet in een nieuw vloersysteem. Beton vertegenwoordigt de helft van de totale massa van alle Europese gebouwen die na 1949 zijn opgetrokken. Het is dan ook geen verrassing dat beton een groot aandeel heeft in onze afvalstroom. Steeds jongere gebouwen worden neergehaald wegens economische of stedenbouwkundige redenen. Als gevolg zijn de meeste constructie-elementen nog in perfecte structurele staat, waardoor hun levensduur verlengd kan worden door ze in te zetten in nieuwe projecten. De *mock-up* wordt opgebouwd uit gerecupereerde stalen liggers en uitgezaagde delen van ter plaatse gestorte betonnen vloeren, en dient als een prototype voor een kantoorvloer. Niet alleen de technische haalbaarheid wordt gevalideerd, ook de deconstructie en de milieu-impact worden besproken. Simulaties van diverse theoretische ontwerpen laten een gemiddelde reductie in *Global Warming Potential* zien van maar liefst 88% (Küpfer et al., 2025).



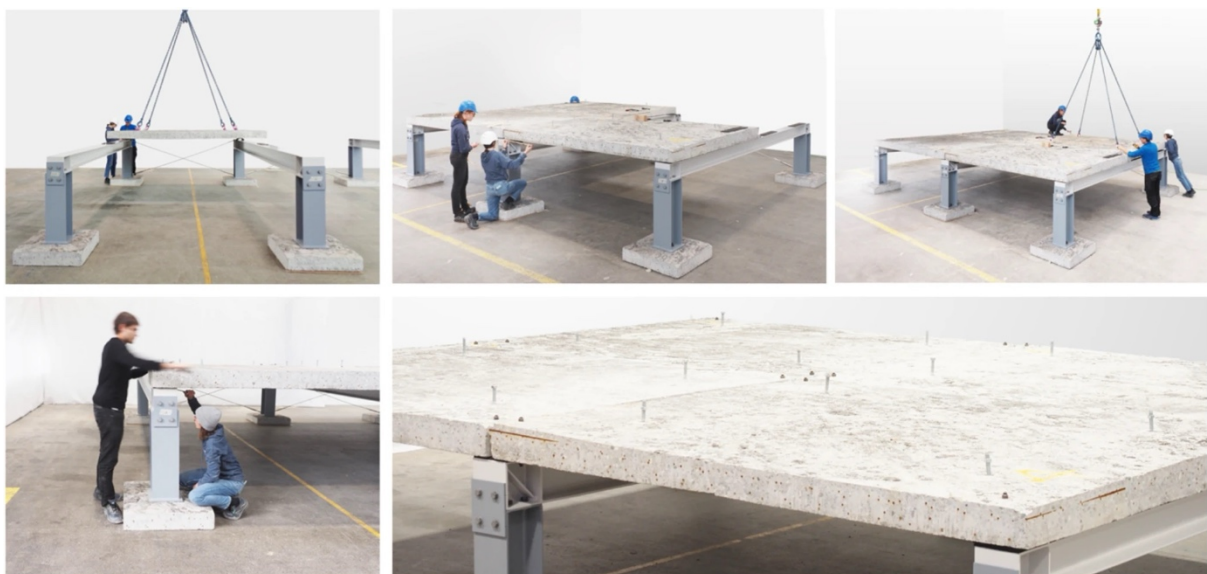
3.3.19.2. Rol van hergebruik

Naast het ontwerpen en simuleren van theoretische modellen, onderzocht het team de ontmantelings- en assemblagemogelijkheden aan de hand van een grootschalige *mock-up*. Het hergebruiken van beton- en staalementen an sich is slechts een deel van het onderzoek. Door middel van simulaties werd er achterhaald welke impact de afstand van een donorgebouw heeft op de CO₂-reductie van het eindproduct. Zelfs het uitzagen van de betonnen elementen en het gebruik van gerecupereerd rubber zit in de analyse vervat. Het aandeel van nieuwe elementen, waaronder verf en stalen bouten, wordt zo laag mogelijk gehouden. Door het hoge hergebruikpercentage staat het transporteren van de elementen in voor twee-derde van de CO₂-impact. De overige uitstoot is voornamelijk het gevolg van de kleine hoeveelheid nieuwe elementen (Küpfer et al., 2025).

Om de elementen als één constructief geheel te laten samenwerken, worden de betonnen platen met bouten op de liggers verankerd. Hierdoor is een betonnen druklaag overbodig en worden horizontale lasten rechtstreeks naar de liggers overgedragen. In combinatie met een windverband tussen de stalen kolommen, vormt de *mock-up* een valabele voorstelling van een mogelijk systeem. Wegens de droge verbindingen is het prototype volledig demonteerbaar, wat belangrijk is voor toekomstig hergebruik (Küpfer et al., 2025).



Figuur 61: Ontmantelingsproces van ter plaatse gestort beton. Overgenomen van *Design, construction and assessment of FLO:RE - the prototype of a low-carbon building floor made of reused concrete elements and steel profile*, door Küpfer et al., 2025.



Figuur 60: Assemblage van het prototype FLO:RE. Overgenomen van *Design, construction and assessment of FLO:RE - the prototype of a low-carbon building floor made of reused concrete elements and steel profile*, door Küpfer et al., 2025.



3.3.20. Re:Crete – Structural Xploration Lab

Kernfeiten

Bouwheer	: Structural Xploration Lab aan de EPFL
Architect	: Structural Xploration Lab
Aannemer	: Technici Structural Xploration Lab
Stabiliteit	: Structural Xploration Lab
Statuut	: Onderzoek aan de EPFL
Locatie	: Fribourg, Zwitserland
Status	: Opgeleverd in 2021
Functie	: Voetgangersbrug
Dimensies	: Overspanning van 10 m, 12 m²
Budget	: €67.000
Gerecupereerde betonelementen	: Ter plaatse gestorte kelderwanden
Afkomst elementen	: Gebouw met meerdere verdiepingen
Afstand donorgebouw – nieuw project	: 90 km
Ontmanteling	: Structural Xploration Lab
Nieuwe functie betonelementen	: 25 Blokken (120 cm x 40 cm)
Andere hergebruikte materialen	: Stalen bouten en ankers
Vermeden CO₂	: 63% - 75%
Procent hergebruikt	: /

3.3.20.1. Projectcontext

Maar liefst 30% van de totale hoeveelheid bouwafval in Europa is beton. Normaalgezien worden de afgebroken betonnen stukken verpulverd en gebruikt als invulling van uitgegraven gebieden of als fundering in de wegenbouw. Een recentere ontwikkeling is het recupereren van granulaten om deze vervolgens te verwerken in gerecycleerd beton (Devènes et al., 2022). Deze techniek zorgt slechts voor een vervanging van minder dan 1% van de totale granulaatproductie, en vereist dezelfde hoeveelheid cement als traditioneel beton. Gezien cementproductie de meest vervuilende schakel is in het betonproces, zorgt gerecycleerd beton enkel voor een reductie in de vraag naar primaire granulaten en niet voor een reductie in uitstoot (Watari et al., 2023).

Er is een dringende noodzaak om constructiemethodes te ontwikkelen die de productie van nieuw cement vermijden, de afvalstroom verkleinen en de intrinsieke waarde van constructie-elementen behouden en verlengen. Wanneer een levensduurverlenging van een volledig gebouw niet mogelijk is, zou hergebruik van de bouwelementen verkozen moeten worden boven het slopen ervan. Dit onderzoek toont één mogelijkheid om ter plaatse gestorte betonnen elementen her te gebruiken in nieuwe structuren. Er wordt niet alleen een bouwtechnisch voorstel uitgewerkt, ook sterktetesten en uitstootsimulaties zitten vervat in het onderzoek. De keuze is gevallen op de constructie van een brug, omdat circulariteit binnen deze categorie nog nauwelijks aan bod komt. Bovendien komt beton hierin optimaal tot zijn recht voor het opvangen van drukkrachten (Devènes et al., 2022).



3.3.20.2. Rol van hergebruik

Waar het FLO:RE-project gebruikmaakt van uitgesneden betonelementen uit ter plaatse gestorte vloeren, richt dit project zich juist op het uitsnijden van blokken uit ter plaatse gestorte muren. De blokken worden geconfigureerd in een boog om een zuivere drukbelasting op de elementen te realiseren, waarbij de resulterende spatkrachten worden opgevangen door een stalen trekkabel. Twee stalen kabels worden door de blokken getrokken om de configuratie voor te spannen, waardoor alle elementen onder een constante drukkracht komen te staan. De brug bezit voldoende weerstand om zijn eigengewicht en de tijdelijke last van voetgangers te weerstaan. Het prototype werd geplaatst over de Morge in Saint-Gingolph, de grensrivier tussen Frankrijk en Zwitserland, waar het voor twee jaar lang toegankelijk was voor het publiek. De structuur werd ingezet als voetgangersbrug tijdens onderhoudswerken aan de naastliggende wegenbrug (Bastien Masse, 2022).

De doorbuigingstest toont een verticale verplaatsing van minder dan een millimeter, wat uiteraard binnen de Zwitserse constructievoorschriften ligt. Ook de eigenfrequentie ligt in het veilige gebied waardoor resonantieschade vermeden wordt. Zoals in het FLO:RE project is ook hier het grootste deel van de uitstoot het gevolg van het transporteren van de gerecupereerde elementen. Als gevolg heeft de afstand van het donorgebouw een grote impact op de uitstoot van het volledige project. Opmerkelijk is dat dezelfde brugconfiguratie in hout nog steeds een 9% lagere *Global Warming Potential* heeft dan de gebouwde Re:Crete brug. Wanneer het donorgebouw op minder dan 75 km ligt van de bouwsite, heeft de brug met gerecupereerde betonblokken wel een lagere GWP dan zijn houten variant.



Figuur 62: Assemblage van uitgesneden betonnen blokken tot de Re:Crete brug. Overgenomen van *Passerelle Re:Crete*, door Bastien Masse, 2022.



Figuur 63: Plaatsing van de Re:Crete brug in Conthey, Zwitserland. Overgenomen van *Passerelle Re:Crete*, door Bastien Masse, 2022.



3.3.21. L'Eclisse - Solanellas Van Noten Meister

Kernfeiten

Bouwheer	:	Immobilien Basel Stadt
Architect	:	Solanellas Van Noten Meister
Aannemer	:	G2y baumanagement GmbH
Stabiliteit	:	Atlas Tragwerke
Statuut	:	1^{ste} plaats open internationale wedstrijd
Locatie	:	Schliengerweg 31, Basel, Zwitserland
Status	:	Verwachte realisatie tussen 2026 en 2027
Functie	:	6 sociale appartementsblokken & 2 kleuterscholen
Oppervlakte	:	1.293 m²
Budget	:	CHF 6.000.000
Gerecupereerde betonelementen	:	Prefab kolommen & ribbenplaten
Afkomst elementen	:	Garagegebouw Lysbüchel
Afstand donorgebouw – nieuw project	:	2 km
Ontmanteling	:	Aregger, opdracht van Immobilien Basel Stadt
Nieuwe functie betonelementen	:	Kolommen & overspanningen
Andere hergebruikte materialen	:	Stalen liggers
Vermeden CO₂	:	50%
Procent hergebruikt	:	85%

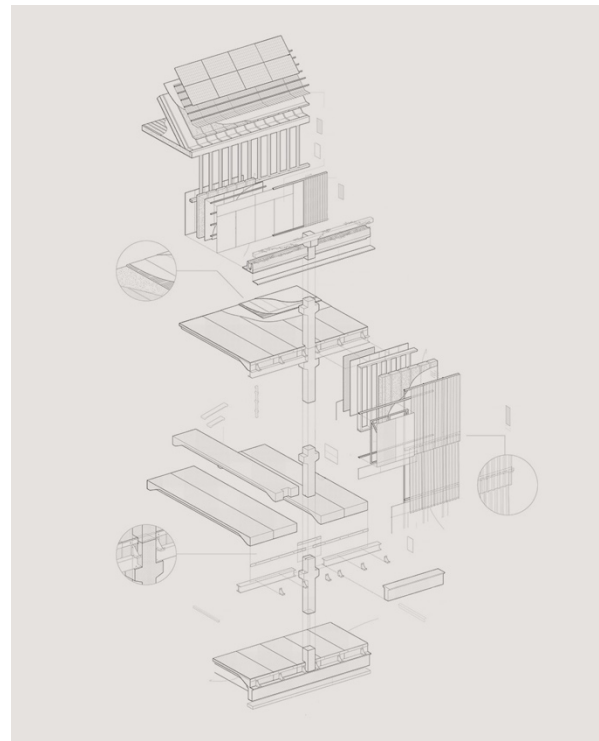
3.3.21.1. Projectcontext

Net zoals het project van Parabase; *Elementa*, maakt dit project deel uit van het *Wohnbauprogramms 1000+*. Dit programma heeft als doel het Walkeweg-gebied en het Schliengerweg-gebied te voorzien van 1.000 betaalbare appartementen, waarbij er ingezet wordt op circulariteit. Net zoals het Walkeweg-project werd ook hier een competitie voorzien waarbij er verplicht gebruik moest worden gemaakt van de voorziene hergebruikcatalogus (Zirkular, z.d.). De betonnen constructie-elementen uit de catalogus zijn afkomstig uit het parkeergebouw in Lysbüchel. Hierdoor worden dezelfde componenten hergebruikt als in het *Elementa*-project van Parabase (Kanton Basel-Stadt, z.d.). Het project, *L'Eclisse*, won de competitie door zijn hoge hergebruiksgraad en de functionaliteit en flexibiliteit van de grondplannen. De focus op circulariteit in het *Wohnbauprogramms 1000+* draagt bij aan de klimaatneutraliteitsdoelstelling vastgesteld door de Zwitserse overheid (Zirkular, z.d.).



3.3.21.2. Rol van hergebruik

Met de ambitie om een rolmodel te zijn voor de circulaire economie, streeft het ontwerpteam naar een zo hoog mogelijk hergebruikspercentage en zal het gebouw volledig draaien op hernieuwbare energie. Maar liefst 85% van de draagstructuur is vervaardigd uit gerecupereerde elementen. Om het gebruik van vers beton verder te reduceren, zullen de gemeenschappelijke wasruimte, technische ruimte en opslagplaats onder het hellend dak geplaatst worden en niet in een traditionele kelder (Solanelas Van Noten Meister, z.d.). Niet alleen de draagconstructie, maar ook de volledige esthetiek van het gebouw wordt gekarakteriseerd door 'hergebruik' (Zirkular, z.d.). Bijkomend worden de appartementen zeer flexibel opgebouwd, waarbij verschillende gezinsvormen een plek vinden in het project. Dankzij een opeenvolging van ruimtes die met schuifdeuren van elkaar scheidbaar zijn, in combinatie met een tweede toegang tot de leefruimte, kunnen de appartementen eenvoudig in tweeën worden gesplitst. Op deze manier behouden families hun privacy bij een veranderende gezinssituatie (Solanelas Van Noten Meister, z.d.).



Figuur 64: *Maquette en detailtekening L'Eclisse*. Overgenomen van *Schliengerweg*, door Solanelas Van Noten Meister.



3.3.22. Re:bble – Maxence Grangeot

Kernfeiten

Bouwheer	:	Structural Xploration Lab aan de EPFL
Architect	:	Maxence Grangeot
Aannemer	:	Technici Structural Xploration Lab
Stabiliteit	:	Maxence Grangeot
Statuut	:	Universiteitsonderzoek
Locatie	:	Fribourg, Zwitserland
Status	:	Opgeleverd in 2023
Functie	:	Wand
Dimensies	:	250 cm hoogte, 270 cm breedte & 30 cm dikte
Budget	:	/
Gerecupereerde betonelementen	:	Brokstukken
Afkomst elementen	:	Sloopwerf naast het Structural Xploration Lab in Fribourg
Afstand donorgebouw – nieuw project	:	0 km
Ontmanteling	:	Tinguely Recyclage
Nieuwe functie betonelementen	:	Wanddelen
Andere hergebruikte materialen	:	Betongranulaten
Vermeden CO₂	:	70,7%
Procent hergebruikt	:	/

3.3.22.1. Projectcontext

Waar in voorgaande projecten betonelementen zorgvuldig ontmanteld werden om elders te gebruiken, wordt er in dit project uitgegaan van een traditioneel afgebroken betonnen structuur. De bekomen brokstukken worden bespaard van verpulvering door ze in verschillende composities terug samen te brengen tot bruikbare draagmuur. In tegenstelling tot *recycling*, waarbij betonbrokstukken verpulverd worden om de granulaten te recupereren, verhogen we in dit geval de waarde van de stukken door ze structureel opnieuw in te zetten. Dit maakt het project een schoolvoorbeeld van *upcycling*. Aan de hand van digitale algoritmes en grootschalige prototypes worden mogelijkheden in verbindingen, composities en dimensies onderzocht. Omdat conventionele slooptechnieken niet worden belemmerd door een tijdrovende ontmanteling, biedt dit project een laagdrempelig alternatief voor het hergebruiken van volledige elementen (Grangeot et al., 2025). Het project kende verschillende prototypes waaronder de *Re:bble In Situ*, *Re:bble Prefa*, *Re:bble Tower* en de *Re:bble Pavilion*, waarbij de laatste werd opgeleverd eind 2025 (EPFL, z.d.). De verschillende combinaties tussen brokstukken en cement, of beton, tonen verschillende onderzochte mogelijkheden in het samenbrengen van de stukken tot een bruikbare muur.



3.3.22.2. Rol van hergebruik

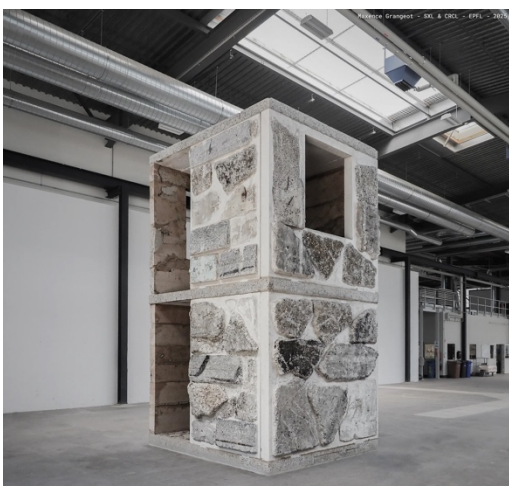
Alvorens composities mogelijk zijn, dienen de betonbrokstukken ingescand te worden. Aangezien driedimensionale scantools een hoge kost met zich meebrengen, wordt er gebruik gemaakt van een tweedimensionaal alternatief. De stukken worden gedigitaliseerd op basis van hun tweedimensionaal silhouet. Op basis van bestaande algoritmes worden de silhouetten digitaal gestapeld tot een muur op basis van stabiliteit, minimale openingen en optimale verbinding. De brokstukken worden vervolgens gestapeld met bestaande bouwmachines. Om een luchtdichte wand te garanderen, zijn grote openingen eerst handmatig opgevuld met kleine brokstukken voordat de voegen met mortel werden afgedicht (Grangeot et al., 2025). Gezien een in-situ proces zeer arbitrair is, vormde de *Re:bble Prefa* de logische volgende stap in het onderzoeksproject. Grote brokstukken worden horizontaal gelegd in een bekisting, die vervolgens opgevuld wordt met beton. Op deze manier ontstond een composietmuur met betonnen brokstukken en vers beton. Zowel de muurprototypes, de *Re:bble Tower* als de *Re:bble Pavilion* maken gebruik van deze techniek. Terwijl de afstand tot het donorgebouw in onderzoeken zoals het FLO:RE-project cruciaal bleek voor de totale milieu-impact (Küpfer et al., 2025), blijkt deze parameter bij de *Re:bble*-prototypes geen significante rol te spelen. De eerste prototypes, waarbij de brokstukken vanuit het recyclagecentrum naar de bouwplaats worden getransporteerd, vertonen een daling van de GWP met 57,4% ten opzichte van conventionele onregelmatige steenmuren met eenzelfde mortelgehalte. De keerwand in 3.3.1. "Nobody leaves the party" – BG TEN' zal opgebouwd worden met een stapeltechniek van dit project (R. Geysen, persoonlijke communicatie, 10 november 2025).



Figuur 68: Muur uit betonnen brokstukken. Overgenomen van Grangeot (2023), geciteerd in *Upcycling concrete rubble*, door EPFL.



Figuur 67: Muurcomposiet beton en betonbrokstukken. Overgenomen van Grangeot (2025), geciteerd in *Re:bble Prefa*, door EPFL.



Figuur 66: *Re:bble tower*. Overgenomen van Grangeot (2025), geciteerd in *Re:bble Tower*, door EPFL.



Figuur 65: *Re:bble pavilion*. Overgenomen van Grangeot (2025), geciteerd in *Re:bble Pavilion*, door EPFL.



3.3.23. Rækkehuse in Terraced Houses in Gellerup, (P)RECAST project – Vandkunsten Architects & Transform

Kernfeiten

Bouwheer	: PKA Pension
Architect	: Vandkunsten Architects & Transform
Aannemer	: JCN Bolig
Stabiliteit	: COWI
Statuut	: Privé ontwikkeling
Locatie	: Gellerup, Aarhus, Denemarken
Status	: Opgeleverd in 2025
Functie	: Private huurwoningen
Oppervlakte	: 120 m² per woning, 14 woningen
Budget	: DKK 300.000.000
Gerecupereerde betonelementen	: 8 holle welfsels
Afkomst elementen	: Appartementsgebouw in Gellerup
Afstand donorgebouw – nieuw project	: 0 km
Ontmanteling	: Kingo
Nieuwe functie betonelementen	: Overspanningen
Andere hergebruikte materialen	: Bakstenen, houten interieurelementen, stoeptegels & betongranulaat
Vermeden CO₂	: /
Procent hergebruikt	: /

3.3.23.1. Projectcontext

Het hoofddoel van het woonproject is om de monofunctionele residentiële zone te transformeren tot een aantrekkelijk en levendig urbaan geheel. In totaal worden negen appartementsgebouwen gerenoveerd en zeven afgebroken. Bijkomend maakt het masterplan gebruik van kleinere woonwijken, waarbij in één daarvan gerecupereerde holle welfsels zullen worden ingezet (Aarhus Kommune, 2024).

Een groot deel van de Deense sociale huizenstock was enorm snel opgetrokken in het midden van de 20^{ste} eeuw. Merendeels hiervan staat op de slooplijst of is al gesloopt. (P)RECAST, een samenwerking tussen het Deens Technologisch Instituut en partijen uit de volledige bouwindustrie, onderzoekt de mogelijkheid tot hergebruik van de structurele betonnen elementen van deze sociale woonblokken. Door een partnerschap aan te gaan met de leverancier van de nieuwe betonnen elementen, slaagde het team erin om verschillende geoogste holle welfsels te integreren in het nieuwe woonproject in Gellerup (Jones, 2025).



3.3.2.3.2. Rol van hergebruik

In totaal werden in 2023 maar liefst 30 holle welfsels geoogst uit een appartementsgebouw in Gellerup. Acht daarvan zijn hergebruikt in het nieuwe woonproject, waarbij elke woning één element kreeg. Dit succes vormde de ultieme bekroning op drie jaar intensief onderzoek binnen het (P)RECAST-project (Falborg Pedersen, 2024). De 60-jaar-oude holle welfsels werden vooraf zorgvuldig getest, waarbij een hoger draagvermogen werd geconcludeerd dan gestaafd werd in de originele documenten. Het onderzoek ging over meer dan enkel het plaatsen van geoogste elementen. Het identificatieproces, ontmanteltechnieken, testprocedures en plaatsingstechnieken werden onderzocht, met een zichtbaar positief resultaat (Jones, 2025).

Aangezien het complete masterplan voor Gellerup maar liefst 6.000 woonunits telt (COAC, z.d.), is het aandeel van acht hergebruikte holle welfsels weliswaar bescheiden. Aan de andere kant toont de succesvolle implementatie van deze geoogste betonnen elementen een positief resultaat voor het onderzoeksproject (P)RECAST. Een logische vervolgstap is het formuleren van beleidsaanbevelingen om de huidige regelgeving aan te passen, zodat het hergebruik van betonelementen in de toekomst op grotere schaal kan worden toegepast (Jones, 2025).



Figuur 71: *Visualisatie van het Gellerup Masterplan*. Overgenomen van *Gellerup Masterplan*, door WE Architecture, 2018.



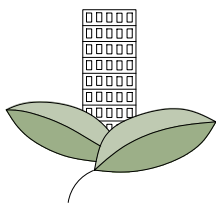
Figuur 69: *Uitladen van gerecupereerde holle welfsels in Gellerup*. Overgenomen van Falborg Pedersen (2024), geciteerd in *Reuse of Concrete Element slabs in Terraced Houses in Gellerup*, door AU Engineering, 2026.



Figuur 70: *Plaatsen van gerecupereerde holle welfsels in Gellerup*. Overgenomen van GXN, geciteerd in *(P)recast*, door mpa, 2025.



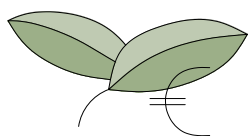
3.4. Conclusie deelonderzoek 1



Het hergebruiken van betonelementen in wedstrijdontwerpen, overheidsopdrachten en universitair onderzoek biedt een kansrijke oplossingsstrategie om bij te dragen aan de *Carbon Neutrality 2050*-doelstellingen.

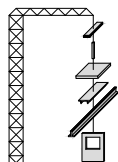
De Overeenkomst van Parijs verplicht alle ondertekenaars wettelijk om nationale klimaatplannen op te stellen en concrete maatregelen te nemen om de klimaatverandering tegen te gaan (Europese Raad, 2025). In januari 2026 zijn er maar liefst 194 partijen verbonden aan het Akkoord, waaronder de Europese Unie (United Nations, z.d.). De overeenkomst trad pas in zijn werking nadat minstens 55 landen die minstens 55% van de wereldwijde broeikasgassen uitstoten akkoord gingen. Dit gebeurde op 4 november 2016, opvallend snel na de officiële aanname van het verdrag tijdens de VN-klimaatconferentie in 2015. In deze context lanceerde de Europese Unie de Europese Green Deal, met maatregelen om de emissies drastisch terug te dringen (Europese Raad, 2025). De doelstelling werd gelanceerd in 2019 en richt zich op het halveren van onze uitstoot tegen 2030. Via de bijbehorende Europese klimaatwet zijn alle lidstaten inmiddels wettelijk verplicht om tegen 2050 klimaatneutraal te zijn (European Commission, z.d.). Om dit doel te bereiken, zijn er al tal van initiatieven genomen, waaronder het hergebruiken van betonnen elementen.

De gevonden projecten zijn op te delen in drie grote categorieën. Een eerste categorie is het ontwikkelen van een project in een competitie-context, waarbij hergebruik deel uitmaakt van de wedstrijdbeschrijving. In enkele gevallen, waaronder *Elementa* van het bureau Parabase en het *Stadsatelier de Ville* van de bureaus Schenk Hattori en Babini Geysen, wordt er bij de wedstrijdvrage een elementencatalogus geleverd door de bouwheer. In het eerste geval werden er zelfs proeven uitgevoerd en technische fiches opgesteld van de kolommen, balken en ribbenplaten door onderzoekers aan de EPFL (Devènes et al., 2022). Een tweede categorie zijn overheidsgebonden onderzoeken, waarbij overheidsinstanties ruimte maken voor onderzoek naar het hergebruiken van betonelementen. Een helder voorbeeld bij dit type is de overheidsarm Rijkswaterstaat, die instaat voor de ontwikkeling van de nationale wegen- en waterinfrastructuur (Rijksoverheid, z.d.). Ze zijn betrokken als bouwheer in bijna alle gevonden projecten waarin betonnen geprefabriceerde liggers worden hergebruikt. Gezien Rijkswaterstaat een overheidsgebonden instelling is, hebben ze een voorbeeldfunctie en dient er geen winst gemaakt te worden op hun projecten. Hun budgetten worden bepaald op basis van de rijksbegroting (Tweede Kamer der Staten-Generaal, 2025). Het Zweeds onderzoeksinstituut RISE toont eenzelfde voorbeeldfunctie en zit nauw op het gevonden project in Zweden. Tot slot omvat de laatste categorie het universitair onderzoek, waarin zowel doctoraatsstudenten als universiteitsgebonden onderzoekers de projecten trekken. Een duidend voorbeeld is het ReCreate-project, dat geleid wordt door de Universiteit van Tampere. Het onderzoek wordt gefinancierd door het *Horizon 2020*-fonds van de Europese Unie en is hierdoor indirect gelinkt aan de Europese overheid (ReCreate, 2021).



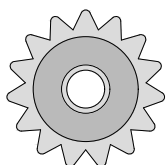
Hoewel de gevonden projecten telkens zijn opgestart vanuit een ecologische overtuiging, wordt tijdens het traject gaandeweg ook de economische haalbaarheid ervan onderzocht.

De gevonden casussen zijn ontwikkeld uit ecologische overtuiging en worden telkens, deels of volledig, gefinancierd door overheidsinstanties of Europese fondsen. Zo wordt het onderzoeksproject ReCreate voor het overgrote deel gefinancierd door het *Horizon 2020*-fonds van de Europese Unie (ReCreate project, 2021), terwijl de beschreven projecten in Bazel worden bekostigd door het pensioenfonds en het kanton Basel-Stadt (Kanton Basel-Stadt, 2025). Dit zijn voorbeelden van een directe overheidsgebonden financiële steun. Projecten die onafhankelijk van een overheidsinstelling en vanuit een ecologische overtuiging werden ontwikkeld, kregen stevast financiering toegewezen. Zo kreeg het Nya Udden project maar liefst 26 miljoen euro van de Zweedse overheid (Eklund et al., 2003). Deze financiële steun is noodzakelijk om experimenten met gerecupereerde betonnen elementen mogelijk te maken, aangezien dit hergebruikstraject momenteel nog economisch onvoordelig is (Vigren, 2025). In het overgroot deel van de gevonden casussen werd de mogelijkheid om het proces economisch haalbaar te maken en op te schalen onderzocht. Zo hebben de instanties in het Superlocal project in Kerkrade-Oost de ontvangen fondsen deels ingezet om te experimenteren op zowel technisch als economisch vlak (R. Plaggenburg, persoonlijke communicatie, 24 november 2025). De projecten in Nederland waarbij voorgespannen liggers hergebruikt worden, tonen zelfs een positief rapport en blijken goedkoper te zijn dan het bouwen van een brug met nieuwe elementen, rekening houdend met afbraakkosten in het lineaire proces (Rijkswaterstaat, 2021).



Er is geen correlatie tussen het type element en het al dan niet oogsten ervan.

In de 23 opgesomde casussen worden in totaal 241 balken, 7 kolommen, 468 buitenwanden, 185 binnenwanden, 175 blokken, 256 vloerplaten, 627 (+3.000 m²) holle welfsels, 64 buiten kerndelen, 1 volledige unit, 65 voorgespannen liggers, ter plaatse gestorte betonnen overspanningen en ter plaatse gestorte betonnen wanden hergebruikt. Deze cijfers zijn de uitkomst van alle projecten waarvoor er informatie werd meegedeeld over het aantal individuele elementen. De 2.680 betonnen componenten uit de catalogus van het Garagegebouw Elsässerstrasse in Bazel zijn niet verrekend in de uitkomst, omdat openbare informatie over de individuele elementen ontbreekt. Hetzelfde geldt voor *Stadsatelier de Ville*, *Techbank*, *Test building design-for-disassembly* en *H22 Pavillion*. Gezien de variatie in type geoogste elementen en hun bijhorende hoeveelheden, kan er geconcludeerd worden dat er geen correlatie is tussen het type element en het al dan niet oogsten ervan. Uiteraard zullen bepaalde elementen gemakkelijker te ontmantelen zijn, en heeft elk type zijn eigen procedure. Wat opvalt is de lage hoeveelheid hergebruikte kolommen. Slechts drie casussen rapporteren het gebruik ervan, waarvan twee geen informatie geven over de specifieke hoeveelheid.

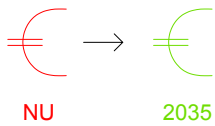


De onderzochte uitwerkingen van betonelementhergebruik toont dat het technisch en logistisch perfect haalbaar is.

Het overgrote deel van de onderzoeken over dit onderwerp streeft naar bewijs dat het idee technisch mogelijk is, waarbij in veel gevallen het economische aspect even aan de kant geschoven wordt (Vigren, 2025). Enkele heldere voorbeelden in de zoektocht naar technische haalbaarheid zijn de *mock-ups* in het ReCreate-project. In alle pilootprojecten worden de elementen geogost uit gebouwen die niet voorzien zijn op ontmanteling. Op deze manier toont het onderzoek dat het recupereren van structurele elementen uit conventionele gebouwen mogelijk is. Niet alleen de opbouw met gerecupereerde elementen wordt onderzocht, de manier van afbraak is even belangrijk. Hoewel elementen in de voorontmantelingsaudit een hoge hergebruikswaarde kunnen weerspiegelen, bestaat het risico dat ze tijdens de daadwerkelijke afbraakwerken onvoorziene schade oplopen (Vullings & Wijte, 2025)

Logistisch gezien is een belangrijke nieuwe stap in vergelijking met een lineair proces het stockeren van elementen voor een meestal onbekende duur. In een ideaal scenario is de ontmanteling van het donorgebouw afgestemd op de constructie van het project waarin de elementen gebruikt zullen worden, gezien de elementen zonder tussenstap getransporteerd kunnen worden naar de nieuwe site. Complexe projectplanningen maken dit scenario zeer ongebruikelijk, waardoor het stockeren van elementen meestal een noodzaak is (Küpfer, 2024). De twee projecten in Bazel, *Elementa* en *L'Eclisse*, maken gebruik van dezelfde elementencatalogus, opgesteld door Zirkular in opdracht van Kanton Basel-Stadt (Zirkular, z.d.). De stad stond hierbij volledig in voor de ontmanteling en opslag van de elementen. Ook gaven ze de opdracht aan de EPFL om technische fiches uit te werken voor de geoogste geprefabriceerde betonnen elementen (K. Müller, persoonlijke communicatie, 23 oktober 2024). Op deze manier draagt de stad de kosten, kunnen de deelnemers ontwerpen op basis van een betrouwbare catalogus en wordt het hergebruik van betonelementen actief gestimuleerd.

Volgens René Plaggenburg, directeur bij Dusseldorp, zal betonelementhergebruik nooit werken. Hij is een voorstander van *smart crushing*, een techniek waarbij bestaand beton wordt gescheiden in de originele bestanddelen: cement en granulaten (R. Plaggenburg, persoonlijke communicatie, 24 november 2025). Het project waarbij Dusseldorp betrokken was, *Superlocal*, is zeer experimenteel. In geen enkel ander geanalyseerd project wordt een volledige betonunit uitgesneden en uitgehesen. René Plaggenburg geeft zelf toe dat ze genoten van een enorm grote subsidiestroom waardoor experiment mogelijk was. Deze experimentele uitvoering van betonelementhergebruik zal wellicht geen zijn om te standaardiseren, gezien de hoge kostprijs en de iets complexere uitvoering dan andere gevonden oplossingen. Het *smart crushing*-idee is ook zeker niet dé oplossing. Het terugwinnen van de oorspronkelijke bestanddelen vraagt bijna evenveel energie als de productie van nieuw beton. Bovendien wordt beton steeds vaker vervaardigd met minder cement en meer alternatieve stoffen, wat het splitsproces bemoeilijkt (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 9 maart 2026). *Smart crushing* wordt gezien als de laatste mogelijkheid in het hergebruikverhaal door de hoge energievraag en de arbeidsintensiviteit (J. Vander Beken, persoonlijke communicatie, 25 februari 2026).

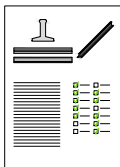


Het hergebruiktraject van betonnen elementen is economisch nog onvoordelig.

Een haalbaarheidsonderzoek van Rijkswaterstaat naar het Viaduct Kniplaan toonde aan dat het hergebruiken van liggers de totale projectkosten met 8% kan verlagen (Rijkswaterstaat, 2021). Desondanks is het hergebruiken van betonelementen in de meeste andere gevallen momenteel nog duurder dan nieuwbouw (M. S. Velasquez, persoonlijke communicatie, 12 december 2025). Een hergebruikt hol welfsel in een grondgebonden woning zou 17% duurder zijn dan een nieuw hol welfsel, respectievelijk 28% in een appartementsgebouw (Snoek & Knuiman, 2021). Een groot deel van het kostenplaatje is te linken aan het transporteren, testen en stockeren van de geogoste elementen, aangezien deze stappen niet aanwezig zijn in het lineair verhaal (Küpfer, 2024). Daarbovenop is elk businessmodel in de sector gericht op winst, waardoor conventionele spelers weinig interesse tonen in dit type innovatie vanwege hun huidige, stabiele winstmarges (Charef et al., 2021). Wanneer een CO₂-taks ingevoerd zou worden, zou de financiële kloof tussen een lineair traject en een circulair traject kleiner worden (J. Vander Beken, persoonlijke communicatie, 25 februari 2026).

De economische kloof tussen beide verhalen is een van de belangrijkste redenen waardoor spelers blijven kiezen voor een lineair proces (Charef et al., 2021). Wanneer we blijven experimenteren met het thema, zou het hergebruiken van betonelementen economisch voordelig kunnen worden tegen 2035 (M. S. Velasquez, persoonlijke communicatie, 12 december 2025). Buildwise, het innovatiecentrum voor de Belgische bouwsector, werkt mee aan de transitie naar een circulaire bouwpraktijk. Hierbij wordt de mogelijkheid onderzocht om materialen zoals beton opnieuw in te zetten en op die manier een lineair sloopverhaal te vermijden. Er wordt gestreefd naar standaardisatie en ook mogelijke businessmodellen en marktvormen worden onderzocht. Het is de bedoeling de circulaire bouwpraktijk ook economisch interessant te maken (Buildwise, z.d.). Zodra een gebouw de status van een te slopen object krijgt, wordt het juridisch als afval beschouwd. Vanaf dat moment wordt er aan de fysieke constructie nauwelijks nog enige materiële of economische waarde toegekend (M. S. Velasquez, persoonlijke communicatie, 12 december 2025).

Het hergebruiktraject is niet alleen complex en lang, maar is ook duurder dan het gekende lineaire verloop. Vers beton is te goedkoop waardoor er enorm weinig vraag is naar betonhergebruik (M. de Callatay, persoonlijke communicatie, 17 november 2025). Wanneer experimenten door de overheid worden ondersteund, leidt dit tot praktijken die dwingen tot een fundamenteel andere economische blik. In Nederland gebeurt dit bijvoorbeeld via de Milieu Kosten Indicator-score (MKI) op nieuwe gebouwen, waarbij milieuschade als een schaduwprijs wordt meegerekend in de totale kostenplaatjes. Dit is een uniforme berekening die transparant de milieubelasting van een gebouw op het klimaat in kaart brengt (Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, 2025). Het verkregen eindresultaat is uitgedrukt in euro per vierkante meter bruto vloeroppervlakte per jaar, wat zorgt voor een gemakkelijke vergelijking tussen gebouwen (Nationale Milieudatabase, z.d.). Uiteraard is er een ingestelde grenswaarde zodat hergebruik aangemoedigd, en bijna noodzakelijk, wordt (Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, 2025). Een dieper onderzoek naar de economische kloof tussen een hergebruiktraject en een lineair traject wordt uitgevoerd in 'Deelonderzoek 2: het hergebruikpotentieel van betonnen holle welfsels'.



Vooraf opgegeven catalogi en technische fiches van de geoogste elementen maken hergebruik laagdrempeliger.

Niet alleen spaart een opgegeven catalogus met de technische eigenschappen van de geoogste elementen tijd en moeite uit voor ontwerpers die gebruik willen maken van gerecupereerde betonnen elementen, het spaart hun ook een grote kost uit. Met een elementencatalogus kunnen ontwerpers bijna eenzelfde ontwerptraject afleggen als bij een conventionele opdracht. Op deze manier wordt de hergebruikcatalogus gezien als een elementencatalogus van een fabrikant, waarbij ook technische eigenschappen vermeld worden. Het zorgt ervoor dat een hergebruik-ontwerptraject behapbaarder wordt voor de ontwerper. Een duidend voorbeeld van een lang en intensief project waarbij het architectenbureau zelf instond voor de inventarisatie en bronzoektocht van betonnen elementen, is 3.3.1. “Nobody leaves the party” – BG TEN’ van architectenbureau Babini Geysen en TEN (Alice Babini, persoonlijke communicatie, 16 februari 2026). Zonder opgegeven catalogus van de bouwheer inventariseerden de bureaus alle aanwezige elementen op de site, en gingen ze op zoek naar andere donorsites buiten het project.

De bouwheer zou verantwoordelijk moeten zijn voor de kost voor het identificeren, testen en inventariseren van geoogste elementen. Omdat testprocedures een grote kost met zich mee kunnen brengen (T. Soetens, persoonlijke communicatie, 13 februari 2026), is het belangrijk dat bouwheren zich hierdoor niet laten afschrikken. Het vergemakkelijkt het ontwerpproces voor de ontwerper en zorgt voor een evolutie in de kennis naar hergebruik van betonelementen. Aangezien bijna alle projecten een serieuze financiële duw in de rug hebben gekregen door subsidies van overheidsinstellingen, staat de bouwheer op dit moment niet in voor alle kosten.

Vanwege het complexe traject dat nodig is om de eigenschapswaarden van onbekende elementen te achterhalen, is het noodzakelijk om dit proces overzichtelijk in kaart te brengen en de specifieke stappen te analyseren. De eigenschappen van de elementen zijn telkens afhankelijk van de functie van het donorgebouw, waardoor een testprocedure steeds opnieuw nodig is om de eigenschappen te verifiëren. De onderzochte casussen waarin informatie over de materiaalsterkte is gedeeld – zoals *Kenniscentrum circulair bouwen*, *Viaduct Daelderweg*, *Youth centre at Sternentor*, *Mini-pilotproject appartementsgebouw*, *Kvarteret Återbruket Gothenburg* en *Nya Udden project* – tonen aan dat de beproefde elementen stevast aan de verwachtingen voldoen of zelfs overcapaciteit vertonen. Een dieper onderzoek naar de testprocedure van holle welfsels wordt uitgevoerd in 4. ‘Deelonderzoek 2: het hergebruikpotentieel van betonnen holle welfsels’.

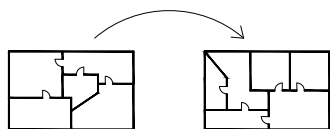


Nederland toont een aanzienlijke voorsprong in vergelijking met de andere landen die binnen dit onderzoek zijn geanalyseerd.

Nederland benadert de circulaire doelstellingen buitengewoon ambitieus, wat duidelijk zichtbaar is in de bouwsector. Aangezien de mondiale grondstoffenvoorraden slinken, worden landen in toenemende mate afhankelijk van specifieke bronnen die zich vaak buiten Europa bevinden. Om deze geopolitieke afhankelijkheid te omzeilen, zet Nederland resoluut in op het hergebruik van sloopmateriaal en bouwafval (Rijksoverheid, z.d.). Een belangrijke instantie die meewerkt aan het circulair doel van Nederland is Rijkswaterstaat, de overheidsarm verantwoordelijk voor het beheer en de ontwikkeling van de nationale infrastructuur (Rijksoverheid, z.d.). Met de doelstelling om tegen 2030 volledig circulair te werken, hebben de projectpartners herbruikbare brugliggers langs de A9 in kaart gebracht. Door geplande verbredingswerken moeten de bestaande bruggen daar immers worden aangepast. Er wordt samengewerkt met verschillende instanties om de liggers een nieuw leven te bieden. Het matchen van een ontmantelingsproject met een nieuwbouwproject is vaak complex. Tijdelijke opslag is hierbij cruciaal, hoewel dit gepaard gaat met een aanzienlijk ruimtebeslag en hoge kosten. Rijkswaterstaat biedt daarom één hectare opslagterrein aan om de liggers tijdelijk op te slaan en te inspecteren (Rijkswaterstaat, 2025).

Een ander vooruitstrevend voorbeeld van Nederland is het betonakkoord, dat origineel werd opgesteld in 2016. De ambitie is duidelijk: in 2030 de CO₂-uitstoot met 70% reduceren en volledig klimaatneutraal opereren, waarbij vrijgekomen beton 100% hoogwaardig wordt hergebruikt (Betonakkoord, z.d.). Dit is een serieuze ambitie die dwingt tot een heroverweging van de traditionele betonproductie; bij de start van een nieuw project verschuift de prioriteit hierdoor naar het inventariseren van de al bestaande materialen. Bijkomende innovatie is de inbreng van de MKI-score, dat de duurzaamheid van een project mee laat wegen als gunningscriterium bij aanbestedingen (Rijkswaterstaat, 2024). Uit deze berekening worden de schaduwkosten afgeleid: een virtuele prijs die representatief is voor de kosten die gemaakt moeten worden om de milieuschade van de productie van een nieuw element te voorkomen of te herstellen (Naber et al., 2013). De berekeningsmethodes om tot een MKI-score te komen zijn vaak anders dan de gekende berekeningen die de rest van Europa gebruikt. Door het ontwikkelen van eigen, vooruitstrevende protocollen riskeert Nederland de aansluiting met de nieuwste Europese ontwikkelingen te verliezen. Deze drang naar snelle innovatie kan er paradoxaal genoeg toe leiden dat nationale standaarden indruisen tegen toekomstige Europese regelgeving, wat de markt uiteindelijk juist kan belemmeren. Ook het betonakkoord is te vooruitstrevend op hergebruik, gezien er soms niet genoeg beschikbaar materiaal is om her te gebruiken (W. Moerman, persoonlijke communicatie, 24 februari 2026).

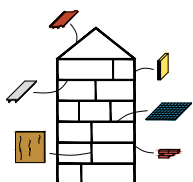
Dit vooruitstrevende kader heeft wel geleid tot talloze initiatieven op het gebied van betonhergebruik. In tegenstelling tot de sporadische experimenten in andere Europese landen, zet de Nederlandse markt structureel door met uiteenlopende vormen van hergebruik. Naast het oogsten van brugliggers worden er op grote schaal prefab elementen ingezameld, terwijl gespecialiseerde firma's zich specifiek op deze markt richten. Ook op het gebied van demontabel bouwen loopt het land voorop; een treffend voorbeeld hiervan is de Tijdelijke Rechtbank van Cepezed.



Hergebruik van betonelementen limiteert conventionele grondplannen en esthetiek niet.

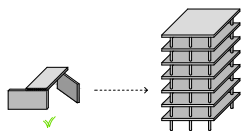
De geoogste elementen zijn zelf afkomstig uit conventionele gebouwen, ze hebben daardoor 'normale' afmetingen. Het enige verschil met nieuw gefabriceerde elementen is dat ze al eens zijn gebruikt. In die zin is de vrijheidsgraad afhankelijk van de aard en het aantal geoogste elementen, maar onafhankelijk van het feit dat het gerecupereerde elementen zijn. Een duidend voorbeeld is het *Pilotproject house* in Mehrow, Duitsland, van het architectenbureau Conclus. De woning ziet eruit als elke andere conventionele woning, met het verschil dat de draagstructuur gebouwd is met gerecupereerde modulaire betonelementen afkomstig van communistische prefab betonnen appartementsblokken uit Oost-Duitsland (Hawley, 2005). Fascinerend is dat de oorsprong van de elementen irrelevant is voor de uitvoering van een nieuw project, aangezien het communistisch karakter totaal verdwenen is in de moderne villa's van het architectenbureau Conclus. Aangezien structurele betonnen elementen voornamelijk verscholen zitten achter een buitenspouwblad en vloer- of plafondafwerking, is een zorgvuldige ontmanteling enkel gericht op het niet structureel aantasten van de elementen. Krassen, barsten zonder structurele impact, schilfers en afgebroken hoeken zijn bijgevolg in de meeste gevallen geen probleem.

Een belangrijk aspect om de vrijheid in het ontwerpproces hoog te houden, is creativiteit. Ontwerpers zijn, in tegenspraak met vorig paragraaf, gelimiteerd tot de afmetingen van de geoogste elementen. Aangezien op dit moment slechts sporadisch betonnen elementen geoogst worden, moeten ontwerpers omgaan met deze dimensionele limitatie. Zodra de ontmanteling van gebouwen de standaardpraktijk wordt, neemt niet alleen de hoeveelheid beschikbare elementen toe, maar ook de variatie ervan. Dit vergroot de ontwerpvrijheid voor de architect.



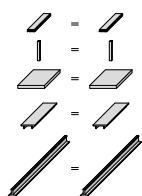
Projecten waar betonelementen worden hergebruikt, maken in veel gevallen gebruik van nog andere gerecupereerde materialen.

Alhoewel niet alle projecten informatie vrijgeven of hebben over de totale hergebruiksgraad, staat het thema 'hergebruik' wel in alle projecten centraal. In 15 van de 23 casussen worden er buiten beton een heleboel andere materialen hergebruikt, waaronder staal en hout. Kijken we specifiek naar het totale percentage hergebruik, dan geven slechts 12 projecten een specifiek cijfer. Hierbij tonen 8 projecten een totale hergebruiksgraad over de 90%. Deze conclusie houdt stand met het tweede conclusiepunt, 'Hoewel de gevonden projecten telkens zijn opgestart vanuit een ecologische overtuiging, wordt tijdens het traject gaandeweg ook de economische haalbaarheid ervan onderzocht', gezien hergebruik het centrale uitgangspunt is in bijna elke projectbeschrijving.



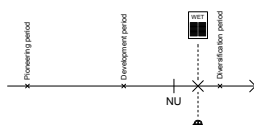
Mock-ups, in de ReCreate-context, zijn altijd succesvol.

Het ReCreate-project bestaat op fysiek uitvoeringsvlak uit vier pilootprojecten, hierbij gaat het voornamelijk over het ontmantelingsproces en de bouw van kleinschalige mock-ups (ReCreate project, z.d.). Enkele pilootprojecten zijn gericht op een groot eindproject voorafgegaan door één of meerdere testpaviljoenen. Zo bouwde de Duitse cluster een testgebouw waarbij zoveel mogelijk verschillende elementen en detailleringen werden uitgetest. De opbouw verliep zeer vlot waardoor de positieve uitkomst van toekomstige hergebruikprojecten realistischer wordt (ReCreate project, 2024). Eenzelfde traject is te vinden in Nederland en Finland, waarbij kleinschalige testgebouwen instaan voor de basiskennis voor toekomstige grotere projecten (ReCreate project, 2025). Waar Duitsland, Finland en Nederland een groter hergebruikproject ontwerpen en de testgebouwen gebruiken als kennis- en testbron, bouwde Zweden in 2022 hun paviljoen zonder zicht op toekomstige projecten binnen het ReCreate-project (ReCreate project, z.d.). Elk land heeft ondertussen een testgebouw geplaatst met succes, wat leidt tot positieve vooruitzichten in het hergebruiken van betonnen elementen.



Geoogste geprefabriceerde elementen worden ingezet voor de functie waarvoor ze ontworpen zijn.

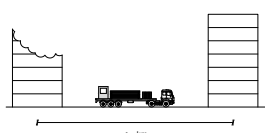
In maar liefst 20 van de 23 casussen worden de geoogste elementen opnieuw ingezet voor de functie waarvoor ze ontworpen zijn. De overige drie, *Elementa*, *Re:Crete* en *Re:bble* tonen een experimentele uitvoering met de geoogste componenten. *Nobody leaves the party* en *Stadsatelier de Ville* gebruiken een deel van de geoogste elementen voor dezelfde functie, om het overige deel experimenteel in te zetten. Alhoewel het logischerwijs gemakkelijker is om elementen te gebruiken voor de functie waarvoor ze ontworpen zijn, is het goed experiment te accepteren. Het risico bestaat dat de dimensies van de beschikbare geoogste elementen niet exact aansluiten bij de visie van de ontwerper. In een dergelijk scenario zijn experimentele praktijkvoorbeelden essentieel om aan te tonen hoe deze componenten op een alternatieve manier kunnen worden ingezet. Zelfs als enkel betonbrokstukken afkomstig uit de sloop worden hergebruikt, is een ecologische impactreductie van 70,7% ten opzichte van conventioneel stenen metselwerk op te merken (Grangeot et al., 2025).



Pioneering period, development period & diversification period.

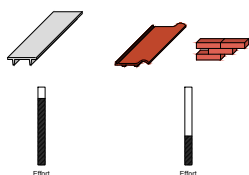
Binnen de hergebruikpraktijk van betonnen elementen vallen drie grote tijdsintervallen te identificeren: de *pioneering period*, de *development period* en de *diversification period*. De vroegste experimentele voorbeelden zijn te vinden vanaf 1967 (Küpfer, 2024). Er is op dit moment nog veel bij te leren over betonhergebruik op zowel technisch als economisch vlak (R. Plaggenburg, persoonlijke communicatie, 24 november 2025). Ook het implementeren van een circulaire economie in de totale constructie-industrie is nog moeilijk, gezien de dominantie van het gekende lineaire traject (Charef et al., 2021). Aan de andere kant tonen de gevonden casussen een variëteit in vorm, hergebruik en functie. Er kan worden geargumenteed dat de sector zich momenteel bevindt tussen de *development period* en de *diversification period*.

Wanneer de nodige activiteiten voor betonelementhergebruik *mainstream* wordt, kan het traject economisch ook voordelig worden. Bijkomend zal een helder legaal kader, waarin gerecupereerde elementen duidelijk beschreven worden, helpen (M. S. Velasquez, persoonlijke communicatie, 12 december 2025). Een worp naar hergebruik van betonelementen stoot vaak op enkele hardnekkige problemen zoals aansprakelijkheid, technische garanties, verzekerbaarheid en leveringszekerheid op het juiste moment binnen een strak bouwproces (E. Nijs, persoonlijke communicatie, 20 februari 2026). Het standaardiseren van activiteiten in het hergebruiktraject zou niet alleen zorgen voor een gemakkelijkere implementatie van de circulaire bouwconomie, het creëert ook jobs die we nog niet kennen (Vlaanderen Circulair, z.d.). Activiteiten zoals onderhoud, reparatie en reviseren winnen aan belang, waardoor de diensteneconomie belangrijker wordt dan de goedereneconomie. Op Europees niveau kan de implementatie van een circulaire economie tegen 2030 naar schatting 1,2 tot 3 miljoen werkgelegenheden opleveren, wat gepaard gaat met een daling werkloosheidsdaling met 250.000 tot 520.000 personen (Willeghems & Bachus, 2018).



De afstanden tussen donorgebouw en nieuw gebouw zijn relatief laag, waardoor een milieuwinst gegarandeerd is.

Bij maar liefst 16 van de 23 casussen bedraagt de afstand tussen het donorgebouw en het nieuwe project minder dan 50 km; bij 19 casussen is dit minder dan 100 km. Alleen bij het *H22 Pavillion* legden enkele elementen een traject van meer dan 200 km af. Wanneer ter plaatse gestorte betonnen vloerplaten uitgesneden worden om elders opnieuw te gebruiken, verkrijgt men altijd een lagere GWP in vergelijking met nieuwe ter plaatse gestorte vloerplaten wanneer transportafstanden lager zijn dan 765 km (Küpfer, 2024). Gezien de grote marge tussen de maximaal toegestane transportafstand voor een milieuvoordeel en de werkelijke afstanden in de geanalyseerde casussen, kan met zekerheid worden geconcludeerd dat elk project een positieve ecologische impact heeft, ongeacht het type hergebruikte element.



Het gering aantal gevonden casussen is een gevolg van de hergebruikhaalbaarheid van meer voor de hand liggende bouwelementen.

Alhoewel betongebruik enorm zwaar doorweegt tijdens een certificatieproces voor het BREEAM-label of in een GRO-tool, maken opmerkelijk weinig projecten gebruik van betonelementhergebruik. Een conventionele maatregel die genomen wordt inzake duurzaamheid op betonvlak, is het zoveel mogelijk gebruiken van CEMIII in de plaats van CEMI voor ter plaatse gestort beton (A. Poppe, persoonlijke communicatie, 6 november 2025). Recuperatie en hergebruik gebeurt iets regelmatig met niet-structurele bouwmaterialen, zoals bakstenen of tegels (S. Meersman, persoonlijke communicatie, 20 oktober 2025). Dit is duidelijk te merken wanneer de webshop van *Rotor Deconstruction* of *Opalis* erbij wordt gehaald.

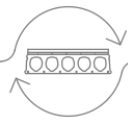
Vanwege de niet-structurele aard van de conventioneel gerecupereerde materialen, gaat het hier meer over de kwaliteit van het product dan het draagvermogen. De aansprakelijkheid valt volgens het burgerlijk recht op de verkoper van het materiaal (Van Garsse et al., 2024). Uiteraard brengt het aanvaarden van aansprakelijkheid voor gerecupereerde elementen zonder dragende functie aanzienlijk minder risico's met zich mee dan wanneer het gaat om structurele elementen. Opmerkelijk is de sociale schrik om dragende elementen her te gebruiken, voornamelijk door de vage beschrijvingen over aansprakelijkheid en certificatie. Naast de opbouw van een wettelijk kader is het zetten van een *mental shift* cruciaal; er moet een fundamenteel vertrouwen ontstaan in het hergebruik van gerecupereerde structurele elementen (M. de Callatay, persoonlijke communicatie, 12 november 2025).

Als er logisch geredeneerd wordt is het uiteraard gemakkelijker om bakstenen, dakpannen, tegels, isolatiemateriaal en houten beplanking te recupereren en opnieuw in te zetten, alhoewel cementmortel in baksteenmetselwerk demontage en reiniging bemoeilijkt. Aangezien kalkmortel vooral werd gebruikt voor 1950, zijn baksteenstructuren uit deze periode dus gemakkelijker te ontmantelen (Poncelet & Vrijders, 2021). Wanneer structurele elementen worden hergebruikt, moet er rekening gehouden worden met veel meer eigenschappen dan enkel de kwaliteit van het element. Op betonvlak wordt dit steeds moeilijker, gezien de strenger wordende normen in zake sterkte, doorbuiging en betondekking (R. Plaggenburg, persoonlijke communicatie, 24 november 2025).

4. Deelonderzoek 2: Het hergebruikpotentieel van betonnen holle welfsels



Over de operationele haalbaarheid, strategische stappen
en technische validering

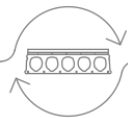


4.1. Motivatie

De eerste toepassing van longitudinale kanalen in betonplaten staat beschreven in een Frans patent van de Duitse pionier Wilhelm Siegler in 1906. Jules Heyneman, een Belgische uitvinder, kreeg in 1930 het patent op een geprefabriceerde uitwerking van het holle vloerelement. Hierbij is het aantal uitgespaarde kanalen aanpasbaar in de productie en wordt er wapening voorzien (Van Acker & Maas, 2021). De uitvinding van het holle vloerelement, samen met andere uitwerkingen van zelfdragende gewapende vloersystemen, zorgde ervoor dat lange en zware dragende liggers overbodig werden. Overspanningen tot 6 meter konden worden gerealiseerd met een relatief beperkte vloerdikte (Brosens et al., 2013). Mechanische destructiemachines die tijdens de wereldoorlogen waren ontwikkeld, werden in de naoorlogse context niet enkel ingezet als afbraakmachines (Ghyoot et al., 2018), maar stonden ook aan de basis van nieuwe hijswerktuigen en uitgebreidere transportmogelijkheden. Als gevolg van deze ontwikkelingen kwamen er zwaardere, al dan niet voorgespannen, geprefabriceerde vloerelementen op de markt, waardoor dit type bouwelement snel aan populariteit won (Brosens et al., 2013).

Geprefabriceerde betonnen vloerelementen domineren de Belgische markt met een aandeel van 98% in zowel kruipruimte- als verdiepingsvloeren. Het overgrote deel hiervan zijn, al dan niet voorgespannen, holle welfsels (FebeFloor, z.d.). In 2024 werden er in België alleen maar liefst 1.428.000 m² aan gewapende en 2.328.000 m² aan voorgespannen holle welfsels geproduceerd. Hiermee vormen zij het grootste aandeel binnen alle betonnen vloertypes (Mbumbia & Mammerickx, 2024). Aangezien de elementen over de ganse lengte een aantal kanalen bevatten, wordt het verbruik van grondstoffen en het eigen gewicht beperkt. Bijgevolg zijn holle welfsels niet alleen duurzamer dan massievere alternatieven, maar door hun dimensionale variatie ook economisch voordelig, tijdbesparend in de uitvoering en functioneel flexibel. (FebeFloor, 2020). Buiten uitstekende technische eigenschappen, zijn gewapende welfsels de goedkoopste oplossing. Een overspanning van 5,9 m vereist slechts een dikte van 13 cm (Mondelaers, z.d.), als dat de goede eigenschap van beton niet toont. Ze hebben een draagkracht tussen 350 en 700 kg/m², ideaal voor een conventionele woning. Bij grotere overspanningen, tot 20 m, kan er gekozen worden voor de voorgespannen variant. Dit element bezit een draagvermogen van tot wel 5.000 kg/m² (Van Thuyne, z.d.), dit kan vergeleken worden met een waterton met een grondvlak van één vierkante meter en een hoogte van vijf meter.

Buiten het gereduceerd gebruik van beton vanwege de uitgespaarde kanalen, bezitten de elementen minder cement (FebeFloor, z.d.). Gezien de cementproductie verantwoordelijk is voor het grootste deel van de CO₂-uitstoot, zorgt deze zet ervoor dat de elementen een lage ecologische voetafdruk hebben (Watari et al., 2023). Holle welfsels bevatten 12% cement, waarbij een aanzienlijk deel bestaat uit cementvervangende primaire materialen. Dankzij deze samenstelling en de gewichtsbesparing door de uitgespaarde kanalen, is de ecologische voetafdruk van een vloer uit holle welfsels 14 keer lager dan die van een massieve betonvloer (FebeFloor, z.d.). Wanneer deze elementen hergebruikt worden, verlengt men de levensduur van een element dat initieel al een verantwoorde ecologische voetafdruk bezit. De efficiëntie van het holle vloerelement in zowel materiaalgebruik als plaatsingsarbeid, kan verklaren waarom er in de gevonden casussen uit het eerste deelonderzoek maar liefst 619 (+3.000 m²) holle welfsels worden gerecupereerd en hergebruikt. Van alle geoogste elementen vormt dit type in aantal de grootste groep. Ondanks het kleine aantal Belgische casussen is het opvallend dat in geen van deze gevallen holle welfsels zijn hergebruikt. Het grote aandeel ervan in onze woningbouw (FebeFloor, z.d.), en een bouwafvalproductie van maar liefst 25.941.002 ton beton in 2022 (StatBel, 2025), toont dat er enorm veel



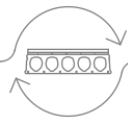
holle welfsels vrijkomen. De pilootprojecten in het ReCreate-project, maar ook onderzoeken van RISE, het Zweedse onderzoeksinstituut in duurzaamheid, toont ons dat het idee technisch volkomen haalbaar is. Waarop wachten we?

Ideeën en experimenten met het idee in België zijn gelukkig niet volledig afwezig. Office 360 architecten, een architectenbureau in Gent, heeft het experiment aangevangen in de Welzijnstoren te Leuven. In dit project rees de ambitie om de holle welfsels te oogsten. Hiervoor werden testen uitgevoerd om de betonnen druklaag te verwijderen. Het destructieve karakter van deze testen, gezien de vloerelementen uit cellenbeton vervaardigd waren, zorgde voor een stopzetting van het experiment (J. Mannaerts, persoonlijke communicatie, 22 oktober 2025). De vraag moet gesteld worden; kunnen elementen geoogst worden zonder de druklaag te verwijderen? Deze laag zorgt voor een verhoogde draagkracht door de verhoging van de drukzone (Febefloor, 2020), waardoor het oogsten van de elementen inclusief de druklaag juist positief moet zijn.

Ook in 3.3.2. 'Stadsatelier de Ville – Schenk Hattori & Babini Geysen' worden gerecupereerde holle welfsels ingezet. Bouwbedrijf Democo ontmantelde de elementen en stelde vervolgens een dimensielijst op (R. Geysen, persoonlijke communicatie, 2 maart 2026). In het kader van deze masterproef is een legplan ontworpen om deze geoogste elementen te hergebruiken in het technische gebouw binnen de grote hal van het *Stadsatelier de Ville*. Aangezien de dimensies van het ontwerp nagenoeg definitief zijn, moeten de elementen op de juiste overspanning worden afgezaagd. Bijgevolg is het uitwerken van een legplan binnen een bestaand ontwerp met gerecupereerde materialen geen kwestie van de juiste elementen op basis van hun afmetingen te positioneren, maar eerder een oefening in het minimaliseren van het aantal zaaghandelingen om de welfsels passend te maken. Als unicum in België dient deze uitvoering als een toetsing van de mogelijkheden voor het hergebruik van holle welfsels.

4.2. Methodologie

In dit deelonderzoek wordt er onderzocht op welke manieren men holle welfsels kan oogsten, waarbij het volledige verhaal van initieel idee tot nieuw project in beschouwing wordt genomen. Aangezien dit geen eenvoudig proces is, wordt een beslissingsdiagram opgesteld waardoor verschillende hergebruiktrajecten vergeleken kunnen worden. Elke stap in het diagram wordt uitvoerig beschreven om de relevantie ervan te bewijzen. Verschillende stappen maken gebruik van rekenmethodes die zijn overgenomen van, of gebaseerd zijn op, de Eurocode. Hoewel de technische haalbaarheid in de gevonden casussen al is aangetoond, blijft een analyse van de financiële kant erg interessant. Dit zal niet alleen bewijzen dat een hergebruiktraject goedkoper kan zijn dan een conventioneel traject, maar zal bijkomend de grootste economische lasten in het traject blootleggen. De financiële analyse wordt gedaan op basis van verkregen eenheidsprijzen door uitvoeringsinstanties, waardoor een realistische eindconclusie kan worden genomen. Alternatieve stappen worden vervolgens uitgewerkt op basis van hun plek in het hergebruiktraject en de bijhorende kostenlast. De eindconclusies uit het eerste deelonderzoek worden meegenomen in de opbouw van het beslissingsdiagram. Omdat de onderzochte casussen geen eenduidig traject laten zien, kan de beperkte toepassing van betonelementhergebruik in de huidige praktijk mogelijk worden toegeschreven aan het ontbreken van een duidelijk stappenplan. De onderzoeksvraag voor dit deelonderzoek luidt: *Op welke wijze kan een gestandaardiseerd stappenplan voor het oogsten, testen en hergebruiken van betonnen holle welfsels bijdragen aan de technische betrouwbaarheid en de economische competitiviteit van circulaire bouwprojecten in België?*



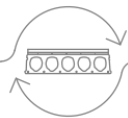
4.3. Eigenschappen van geprefabriceerde holle welfsels

Er worden twee soorten holle welfsels onderscheiden, elk met specifieke eigenschappen: gewapende en voorgespannen elementen. Bijhorende diktes zijn telkens bepaald in functie van de overspanning en de belasting. Een belangrijk verschil is dat gewapende vloerelementen altijd geleverd worden in standaardlengtes, en de voorgespannen variant meestal op maat wordt geproduceerd (FebeFloor, 2020). De uiteenlopende eigenschappen tussen beide producten zijn een gevolg van het verschil in productie. Gewapende welfsels worden geproduceerd op bekistingstafels van maximaal 10 m lang, waarbij eerst de wapening wordt aangebracht en vervolgens het beton wordt gestort. Bij voorgespannen welfsels wordt een deel van de wapening op spanning gebracht voordat het beton gestort wordt. De vloerelementen worden in dit proces geproduceerd op lange banen, om achteraf op maat gezaagd te worden (Mondelaers, z.d.). Een alternatieve productiemethode is het extrusieproces, waarbij het beton op een metalen bodembekisting in de gewenste vorm wordt geperst. De verdichting vindt hierbij rechtstreeks in de extrusiemachine plaats door een mechanische combinatie van persen en trillen (Ergon, 2018).

Onderstaande tabel toont het overgrote deel van de Belgische fabrikanten die holle welfsels produceren. De meeste hiervan leveren zowel gewapende als voorgespannen varianten. Wat de betonkwaliteit betreft, worden gewapende elementen doorgaans vervaardigd uit betonklasse C40/50, met Hedra Beton als enige uitzondering. Bij voorgespannen elementen is er meer variatie, al voeren C45/55 en C50/60 daar de boventoon.

Fabrikant	Soort	Betonklasse
Daerden	Gewapend	C40/50
DouBeton	Gewapend	C40/50
DouBeton	Voorgespannen	C45/55
Douterloigne	Gewapend	C40/50
Douterloigne	Voorgespannen	C45/55
Ergon	Voorgespannen	C55/67
Fingo	Gewapend	C40/50
Fingo	Voorgespannen	C50/60
Hedra Beton	Gewapend	C30/37
Megaton/Structo	Voorgespannen	C50/60
Megaton/Structo	Voorgespannen	C50/60
Nerva	Voorgespannen	C45/55
Nerva	Voorgespannen	C50/60
Ploegsteert	Voorgespannen	C40/50
Predalco	Gewapend	C40/50
Predalco	Voorgespannen	C45/55
Prefer	Gewapend	C40/50
Spanbeton Hollevoet	Voorgespannen	C40/50
Van Thuyne	Voorgespannen	C50/60
Van Thuyne	Gewapend	C40/50

Tabel 3: *Betonfabrikanten, hun soort holle welfsels en de bijhorende betonklasse. zie 'Technische fiches' in de bibliografie.*



4.4. Hoe werken holle welfsels?

4.4.1. Kenmerken

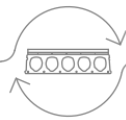
Hoewel gewapende en voorgespannen holle welfsels hoofdzakelijk verschillen in hun fabricageproces en de maximale overspanning per belasting, bezit de voorgespannen variant een grotere stijfheid. Dit resulteert in grotere overspanningen en reduceert de noodzaak aan tussensteunpunten (FEBE, 2021). Beide bevatten over de ganse lengte een aantal uitgespaarde kanalen om het verbruik van grondstoffen te beperken. Het percentage holle ruimte varieert tussen 30% en 50% van het totale volume, waardoor het eigengewicht tot maximaal de helft wordt verminderd in vergelijking met volle betonnen vloerplaten van dezelfde dikte (Febefloor, 2020). Bijkomend wordt hierdoor ook de hoeveelheid wapening gereduceerd. Deze positieve eigenschappen zorgen voor een bijhorend effect op de CO₂-uitstoot. Door de mogelijkheid om uitsparingen, passtukken en schuine oplegranden te voorzien, zijn holle welfsels geschikt voor nagenoeg elke gebouwcontour en type draagstructuur (FEBE, 2021).

De elementen zijn zelfdragend en dienen ondersteund te worden langs hun korte zijde (Megaton/Structo, z.d.). Dit zorgt ervoor dat tijdelijke onderschoring van voorgespannen elementen overbodig wordt, zelfs tijdens het storten van een eventuele druklaag (Ergon, 2018). Langere gewapende, niet voorgespannen, elementen worden best in het midden van de overspanning tijdelijk ondersteund (FEBE, 2021). De profilering aan de zijkanten van de elementen dient een tweeledig doel: enerzijds vergemakkelijkt dit het hijsen en plaatsen (Daerden, 2017), anderzijds verbetert het de structurele samenwerking na het uitharden van de voegvulling (Ergon, 2018). Het vloersysteem kan voorzien worden van een druklaag in beton om de draagkracht te verhogen (Febefloor, 2020) en de samenwerking tussen individuele welfsels te verbeteren. Deze aangebrachte laag zorgt er bijkomend voor dat aanzienlijke puntlasten gespreid worden en individuele grote doorbuiging van de elementen verhinderd wordt (Ergon, 2018). Gewapende holle welfsels worden hoofdzakelijk in de woningbouw toegepast, waar ze vrijwel altijd in combinatie met een druklaag worden geplaatst. Voorgespannen elementen worden daarentegen vooral in de industrie- en kantoorbouw gebruikt; hierbij wordt een druklaag niet altijd geplaatst (B. Hendriks, persoonlijke communicatie, 1 april 2026). Bij voorgespannen elementen is merkbaar dat het gunstige effect van de druklaag op de opneembare belasting afneemt naarmate de overspanning van het element toeneemt (Megaton/Structo, z.d.). Alle belangrijke eisen waaraan de elementen moeten voldoen worden beschreven in de Europese norm NBN EN 1168 en zijn nationale aanvulling voor België, NBN B 21-605 (Febefloor, 2020).

4.4.2. Krachtswerking

Buiten de capaciteit om verticale belastingen over te dragen naar de stijve elementen van de draagstructuur, kan een draagvloer uit holle welfsels ook ingezet worden om horizontale krachten over te brengen (Febefloor, 2020). Om een constructief geheel te vormen, dienen de holle welfsels samen te werken als een stijf geheel. Dit geheel dient correct verankerd te zijn met de rest van de draagstructuur, die op zijn beurt in staat moet zijn de aanwezige horizontale lasten op te nemen (Ergon, 2018). Er gelden drie grote stabiliteitsprincipes: het samenwerken van de elementen onderling, de verankering in de steunende draagstructuur en de kettingwapening.

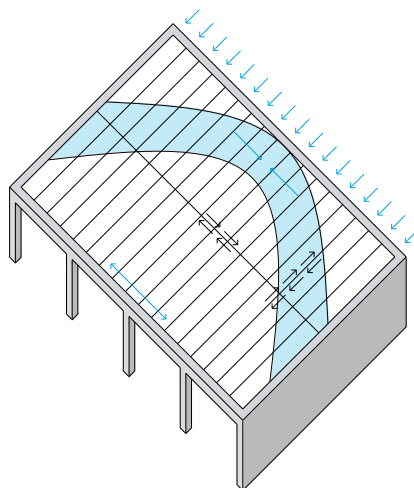
In niet extreme belastingsconfiguraties volstaat de ruwheid van de voegen om de schijfwerking te garanderen, op voorwaarde dat de afzonderlijke elementen met wapeningsstaven verbonden worden aan de randbalken. In dit geval zorgt de verankering op de steunende draagstructuur voor de structurele integriteit (Febefloor, 2020).



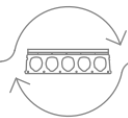
Hoewel de elementen bij een correcte detaillering zonder druklaag kunnen functioneren, wordt in veel projecten alsnog gekozen voor de toepassing ervan. Deze laag wordt doorgaans uitgevoerd in een lagere betonsterkteklasse en bevat een wapeningsnet. Op deze manier worden puntlasten verspreid over verschillende elementen, treedt er geen individuele doorbuiging op en wordt de horizontale krachtsoverdracht van de vloer verzekerd (Ergon, 2018). Meestal is deze druklaag overbodig en volstaat het aanbrengen van een zorgvuldig uitgevoerde voegvulling (FEBE, 2021). In de industriebouw zijn veel voorbeelden te vinden van structuren zonder aangebrachte druklaag, wat de ontmanteling ervan vergemakkelijkt (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 9 maart 2026).

De elementen worden op twee traditionele manieren verbonden aan de ondersteunende draagstructuur; aan de hand van langssleuven en hamerkopsleuven (Febefloor, 2020). Op de kopse kanten kunnen kanalen opengemaakt worden, zodat men op de werf wapeningsstaven kan aanbrengen die de koppeling met de ringbalk, en daarbij de hoofddraagstructuur, verzekeren. Hamerkopsleuven worden, afhankelijk van het welfseltype, in het eerste of tweede uitgespaarde kanaal voorzien. In deze openingen worden koppelwapeningsstaven aangebracht voor een correcte verbinding met de naastliggende draagstructuur (Megaton/Structo, z.d.). De keuze voor een droge oplegging, een oplegging op een mortelbed of op een specifiek materiaal zoals neopreen hangt af van het bouw materiaal waarop het welfsel rust, de optredende belastingen en de hoekverdraaiing van het element (Febefloor, 2020). In de praktijk worden de welfsels doorgaans op neopreen geplaatst, wat de ontmantelbaarheid ervan aanzienlijk verhoogt (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 4 mei 2026).

De toepassing van bovenstaande principes verdeelt de horizontale lasten over de elementen, maar volstaat nog niet voor een deugdelijke lastoverdracht naar de hoofddraagconstructie. Een horizontale krachtsoverdracht in vloeren kan beschreven worden aan de hand van een drukboog en trekband. Hierbij zal de horizontale belasting drukkrachten teweegbrengen die zich voortplanten volgens de drukboog. Deze boog vindt zijn oorsprong in de hoekpunten van de vloer, waardoor een trekband ontstaat (NEN, 2018). Om deze trekkracht op een correcte manier op te nemen, wordt er voldoende kettingwapening geplaatst in de ringbalk. De horizontale lasten worden op deze manier afgeleid naar de stijve delen, die op hun beurt de momenten overbrengen naar de fundering (Ergon, 2018). Aangezien de drukboog zich voortplant over de voegen tussen de individuele platen, mag volgens Eurocode 2 de verhouding tussen de schuifspanning in de voeg en de normaaldrukspanning op de voeg een bepaalde waarde niet overschrijden (NEN, 2018).



Figuur 72: Overzicht krachtwerving in een vloer uit holle welfsels.

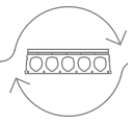


4.4.3. Draagkracht

Als draagvloer zijn holle welfsels niet meer weg te denken uit de huidige bouwsector. Dankzij hun gunstige prijs en snelle plaatsing worden ze ingezet in uiteenlopende projecten zoals sportstadions, laboratoria en winkelcentra (Megaton/Structo, z.d.), evenals in de residentiële sector (FebeFloor, z.d.). Als gevolg dienen de elementen een variëteit in draagvermogen en overspanning te bieden. De Eurocode beschrijft acht verschillende gebruiksklassen, waarbij elke klasse een bijhorende veranderlijke belasting naar voor brengt. Uiteraard dient men ook rekening te houden met de milieuklasse waarin het element gebruikt zal worden, dit zal voornamelijk een invloed hebben op de betondekking. Gewapende holle welfsels kunnen tot 7,5 meter overspannen, wat ze ideaal maken om toe te passen in woningen en appartementen. De voorgespannen variant kan overspanningen tot maximaal 20 meter overbruggen, wat de inzetbaarheid van dit type welfsel aanzienlijk vergroot (FebeFloor, 2020).

Voorgespannen holle welfsels vertonen een opbuiging vanwege de voorspankracht, deze varieert naargelang het type welfsel en de grootte van de overspanning (Ergon, 2018). Wanneer men een druklaag aanbrengt, wordt er een dikte voorgeschreven. Deze dient gewaarborgd te worden op het hoogste punt van de elementen, wat bij voorgespannen elementen in het midden van de overspanning is (Febe, 2021). Het eigengewicht van de druklaag zorgt ervoor dat de opbuiging van de elementen gereduceerd wordt. Het kan voorkomen dat de individuele elementen verschillende krommingen tonen, een druklaag helpt om ze op een gelijk niveau te krijgen (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 9 maart 2026).

Met het oog op hergebruik vereist het oogsten van holle welfsels grondige kennis over de fysieke eigenschappen van de elementen, waaronder de maximaal toelaatbare belasting. Bij gebrek aan originele technische documentatie is de draagcapaciteit onbekend, wat het lastig maakt om elementen in de juiste belastingsklasse opnieuw in te zetten. Men zal een testprocedure moeten doorlopen, die later beschreven wordt, om een ontwerpcapaciteit te verkrijgen. Op deze manier kunnen elementen gekoppeld worden aan hun bijhorende belastingsklasse en hoogwaardig hergebruikt worden. Als gevolg kan elk geoogst element opnieuw ingezet worden voor de juiste functie. Wanneer elementen een te lage draagcapaciteit bezitten voor een beoogd project, kunnen deze nog steeds ingezet worden door de overspanning te verminderen. In deze optie wordt er simpelweg een stuk van het holle vloerelement gezaagd (R. Caspee, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026). Het is dus niet mogelijk elementen te hebben die nergens gebruikt kunnen worden. Hun eigenschappen werden al bewezen in het donorgebouw en zullen niet op magische wijze aanzienlijk verminderen (J. Vander Beken, persoonlijke communicatie, 25 februari 2026).

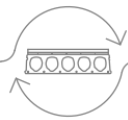


4.5. Stappenplan

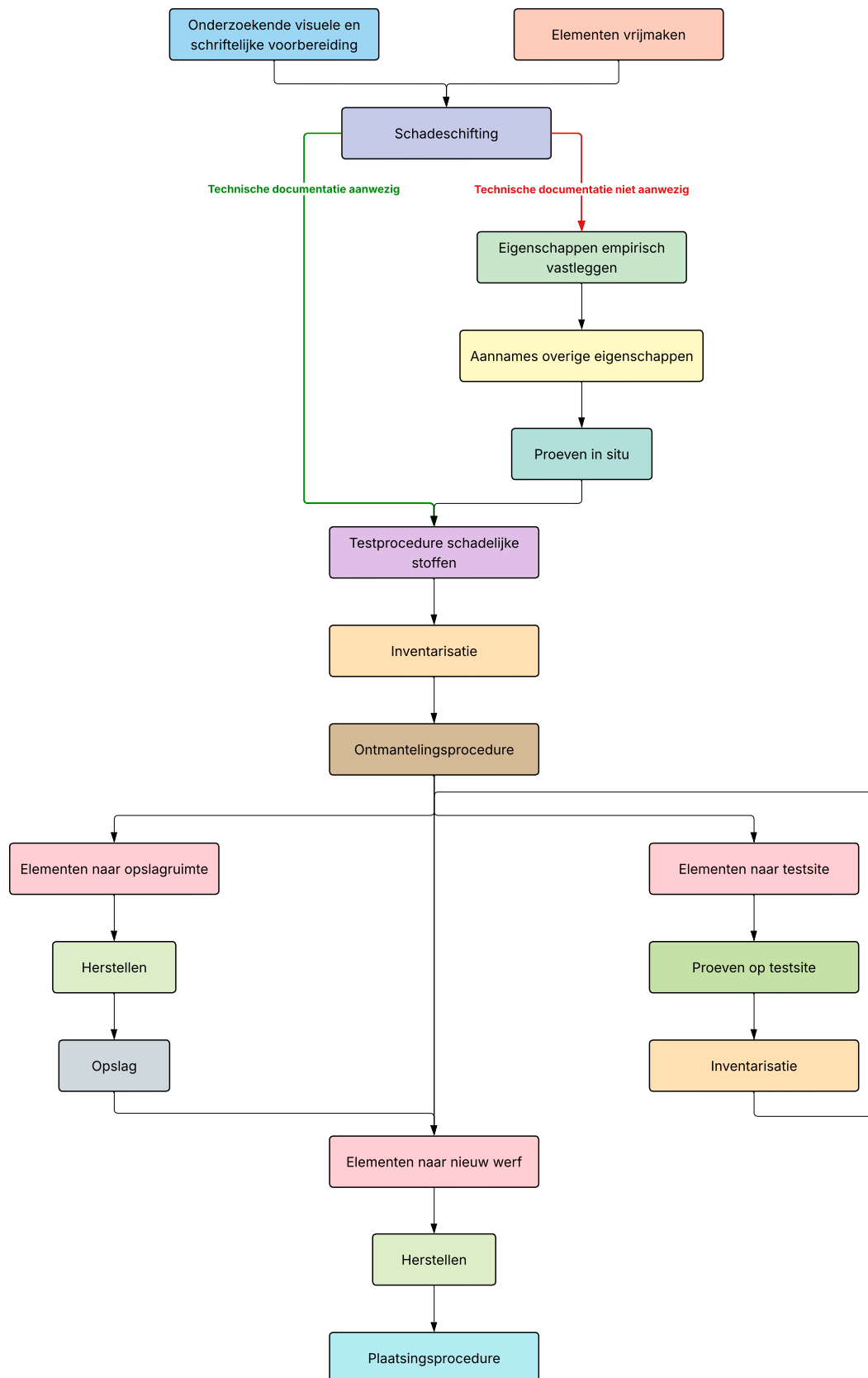
Aangezien er veel afwegingen, beslissingen en kennisverwervingsprocedures nodig zijn in een hergebruikverhaal, is dit traject niet rechtlijnig zoals een lineair materiaalverhaal. In een circulaire economie is het de bedoeling producten zo lang mogelijk te gebruiken op een zo hoog mogelijk niveau. Hierbij is de waarde voor aandeelhouders gericht op de lange termijn. Dit is moeilijk te begrijpen voor velen, gezien een lineaire economie gericht is op zoveel mogelijk winst maken op een zo kort mogelijk termijn (Kwakman, 2019). Het hoogste niveau van een circulaire bouweconomie is preventie, bovenaan de Ladder van Lansink (Milgro, 2022). Dit is in de praktijk complexer dan het lijkt, aangezien veel bouwwerken vroegtijdig als verouderd worden beschouwd en vervolgens worden gesloopt. Dit fenomeen is niet alleen een dreiging voor ons vastgoed, het ondermijnt het duurzame en kapitaalintensieve karakter van een gebouw, alsook de maatschappelijke en culturele betekenis ervan (Thomsen & Van der Flier, 2011). Aangezien de zogezegde *end-of-life* toestand van een structuur meestal niets te maken heeft met de draagcapaciteit van de draagstructuur of de materialiteit (Küpfer, 2024), is een valabele optie *adaptive reuse*. Hierbij worden de mogelijkheden van een bestaande structuur onderzocht en uitgewerkt, rekening houdend met de bestaande context (Borret et al., 2024). Op deze manier is architectuur een continu proces van transformaties (Kitaev, 2024).

In veel gevallen leidt de combinatie van onze afkeer met een bepaald gebouw (Thomson & van der Flier, 2011), de enorme vraag naar bouwgrond, de lage slooprijks, de snelheid van sloopwerken (Küpfer, 2024) en de lage productiekosten van nieuwe materialen (Ghyoot et al., 2018) tot het afbreken van een gebouw, ondanks de draagcapaciteit nog niet uitgeput is (Küpfer, 2024). Wanneer deze situatie zich voordoet, moet men opteren voor recuperatie van bouwmaterialen in plaats van de stortbelt op te zoeken. Gezien de beslissing om een gebouw te slopen in het overgrote deel van de gevallen onafhankelijk is van de werkelijke technische levensduur van de bouwmaterialen, is het inconsistent om deze materialen als afval te beschouwen en te vervangen door nieuwe grondstoffen. Dit benadrukt de noodzaak om te evolueren naar een circulaire bouweconomie waarin hergebruik centraal staat. Ethisch gezien is dit een logisch *statement*, maar door de vastgeroeste lineaire blik is het economisch gezien nog niet voordelig (M. S. Velasquez, persoonlijke communicatie, 12 december 2025). Maar waarom is het in economisch perspectief nog niet haalbaar? Welke stappen zorgen voor deze hoge kostprijs?

Onderstaand beslissingsdiagram toont de verschillende trajecten dat een hol vloerelement kan afleggen om opnieuw ingezet te worden. Op deze manier wordt de cirkel gesloten en het lineaire einde vermeden. Afhankelijk van de beoogde toepassing en functie binnen een bouwwerk, variëren holle welfsels sterk in zowel hun technische eigenschappen als hun dimensionering. De elementen zijn mogelijks gefabriceerd in verschillende productiereeksen, waarbij twee verschillende reeksen kunnen verschillen in eigenschappen (R. Caspeele, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026). Om deze redenen wordt elke stap in het beslissingsdiagram uitgevoerd per functie waarvoor de elementen worden ingezet, en per productiereeks. Ter bewaking van het overzicht beperkt het overzichtsdiagram zich tot de hoofdlijnen, waarna een uitvoerig beslissingsdiagram de verdieping in tien fases weergeeft. De verschillende activiteiten op het diagram worden vervolgens beschreven, alsook de benodigdheden ervoor. Om grip te krijgen op de financiële impact van circulariteit, worden in hoofdstuk 5. 'Financiële analyse van het hergebruiktraject' zes specifieke routes uit het centrale beslissingsdiagram gevolgd. Per traject worden de bijbehorende kostprijzen geanalyseerd. Op deze manier worden kapitaalintensieve stappen geïdentificeerd, waardoor gerichte oplossingen kunnen ontwikkeld worden.



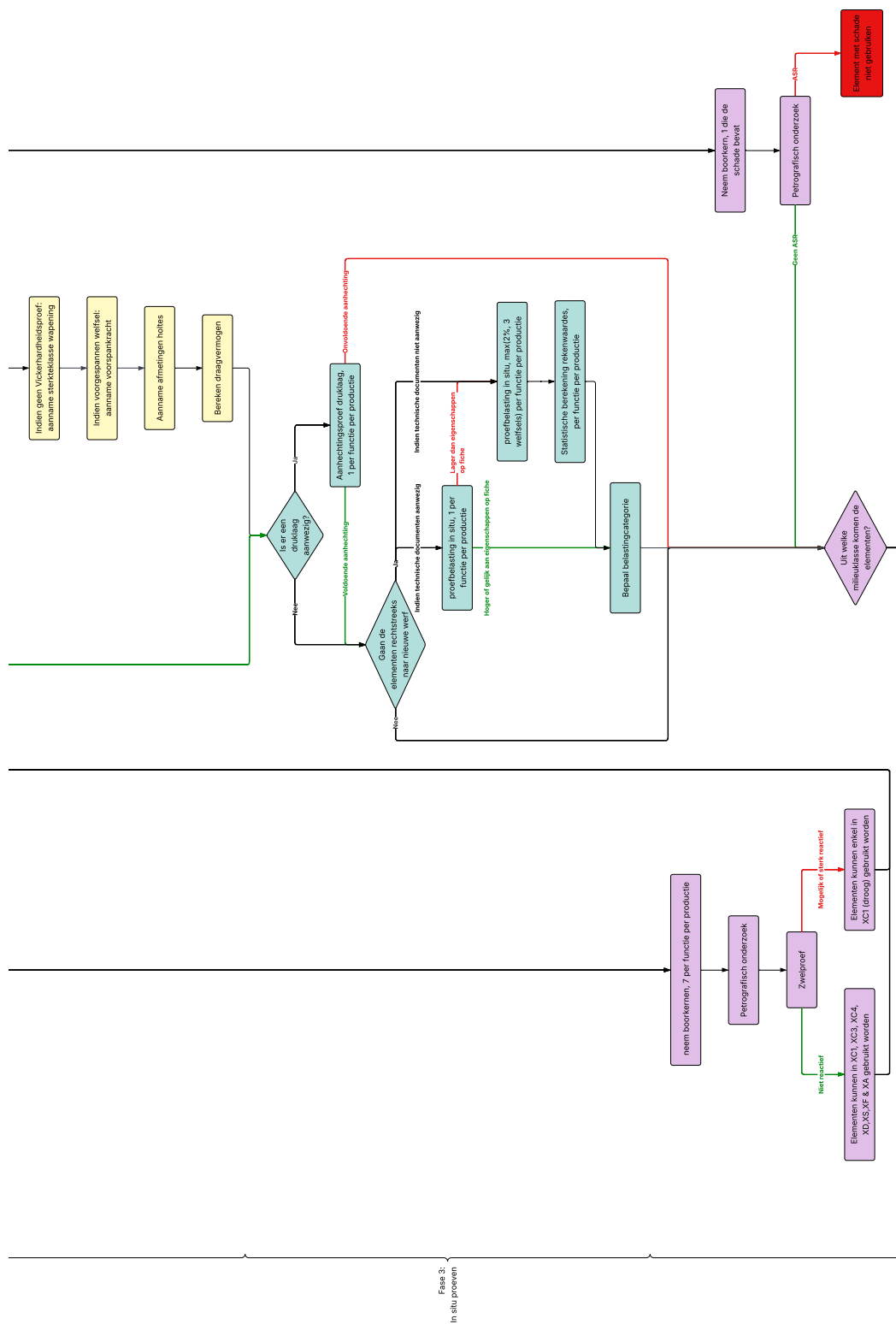
4.5.1. Overzichtsdiagram



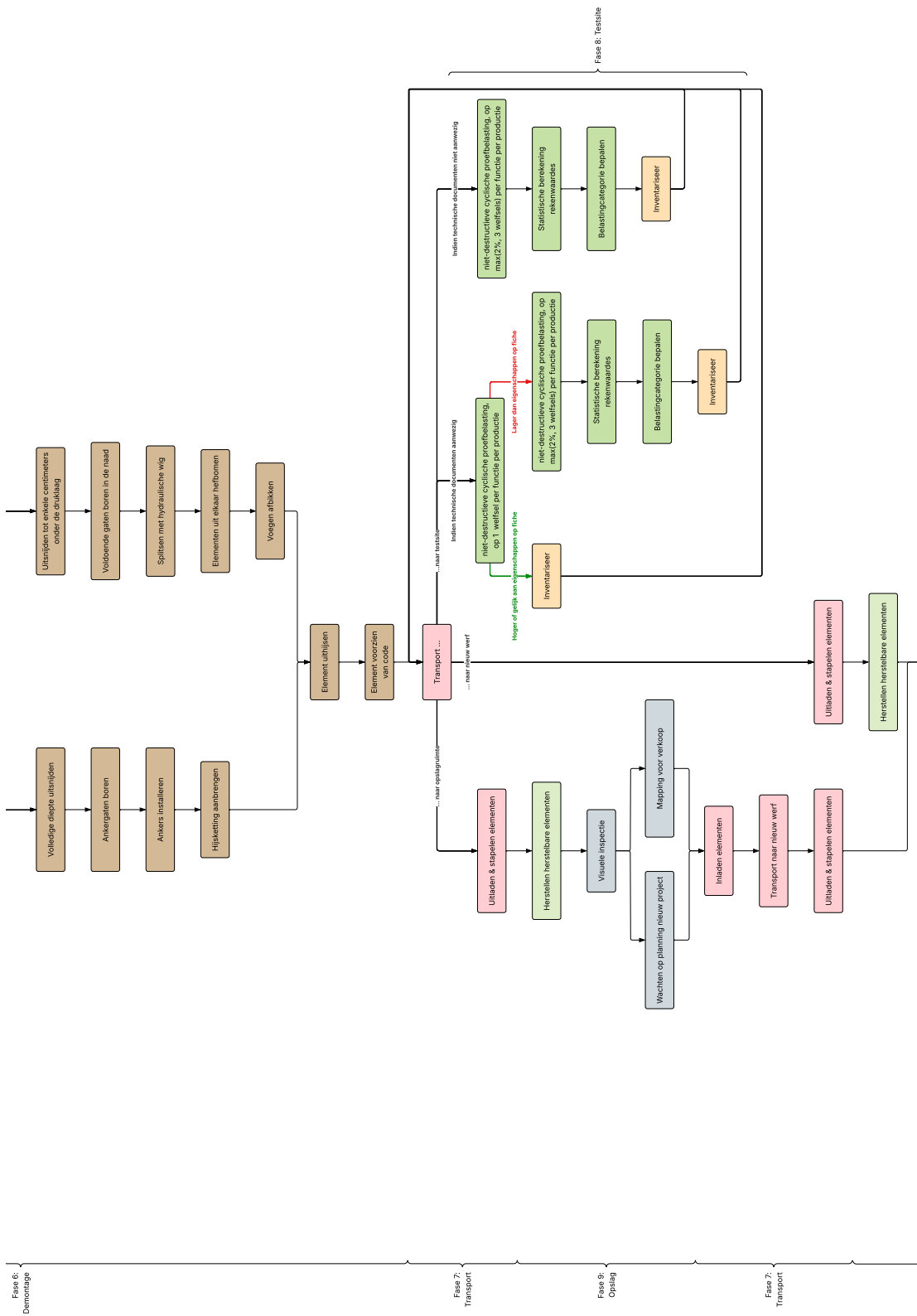
Figuur 73: Overzichtsdiagram hergebruiktraject holle welfsels.

99

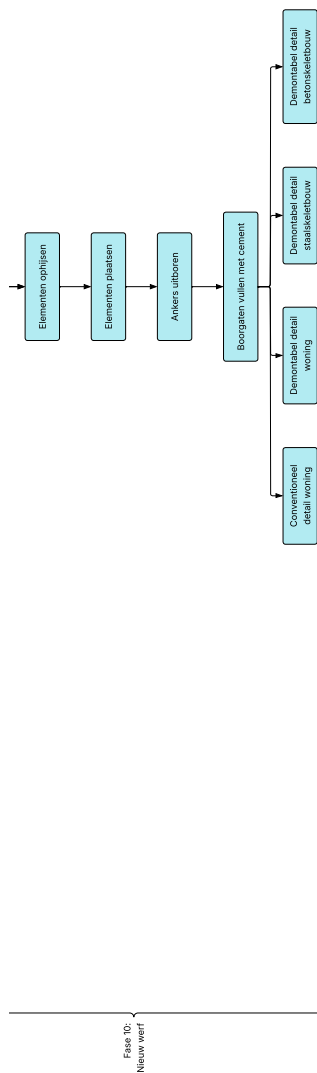
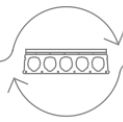




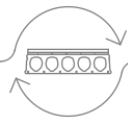
Figuur 75: Beslissingsdiagram deel 2.



Figuur 77: Bestissingsdiagram deel 4.



Figuur 78: Beslissingsdiagram deel 5.



4.6. Activiteiten in het stappenplan

4.6.1. Fase 1: Dossieronderzoek

4.6.1.1. Studie hergebruikpotentieel & dossieronderzoek

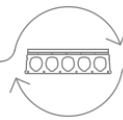
Studie hergebruikpotentieel & dossieronderzoek

Figuur 79: *Overzicht stap hergebruikpotentieel.*

Als allereerste stap, na het idee om holle welfsels te recupereren om welke reden dan ook, worden originele technische documenten over de elementen geanalyseerd. Logischerwijs onderzoekt men het hergebruikpotentieel van alle bouwmaterialen om de mogelijkheid tot recuperatie te concluderen. In deze stap zijn technische fiches, uitvoeringsdossiers, legplannen en verwijzingen naar de fabrikant uitermate belangrijk. De aanwezigheid van een BENOR-label bewijst de hoogste betonkwaliteit en staft de keuze om de elementen te oogsten (W. Moerman, persoonlijke communicatie, 24 februari 2026). Daarnaast is de oorspronkelijke milieuklasse van belang; deze geeft direct inzicht in de omgevingen waarvoor de elementen geschikt zijn voor hergebruik. Er kan geen conclusie tot al dan niet oogsten gemaakt worden op basis van de draagcapaciteit van een element, gezien 'sterkte' geen probleem vormt (J. Vander Beken, persoonlijke communicatie, 25 februari 2026). Elk element kan opnieuw ingezet worden in een correct corresponderende draagklasse (R. Caspeele, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026).

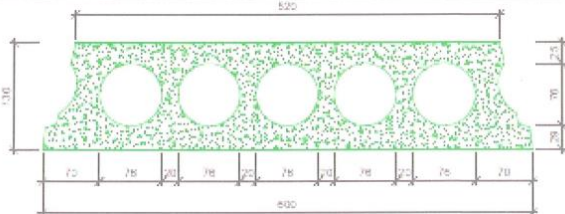
In de technische fiches is men voornamelijk op zoek naar de betonklasse, de wapeningsklasse, de opneembare dwarskracht, het opneembare moment en de belastingsklasse of nuttige belasting. Uitvoeringsdossiers, bouwdetails en legplannen geven een eerste blik op hoe de elementen liggen en de haalbaarheid om ze te oogsten. Daarnaast is de oorspronkelijke gebruiksfunctie, en daarmee de historische belasting van de elementen, van groot belang. Niet alleen het belastingstype – zoals punt-, lijn- of verdeelde last – maar ook de grootte, de aanwezigheid van dynamische lasten en de frequentie daarvan beïnvloeden de huidige technische staat. Om de technische eigenschappen correct te kunnen beoordelen, is het essentieel om eerst vast te stellen of het gaat om gewapende of voorgespannen holle welfsels. Wanneer enkele sterkte-eigenschappen onvindbaar zijn in de originele technische documentatie, kan men gemakkelijker deze eigenschappen berekenen voor de gewapende variant (W. Moerman, persoonlijke communicatie, 24 februari 2026). Zolang er geen informatie is over de voorspankracht van het voorspanstaal, is het onmogelijk de draagcapaciteit van een voorgespannen hol vloerelement te achterhalen aan de hand van berekeningen (R. Caspeele, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026).

Wanneer de originele technische documentatie niet volstaat om een correct beeld te vormen over de potentieel recupereerbare elementen, kan het fabricagejaar bijkomende informatie verstrekken. Een fabrikant garandeert veelal een draagcapaciteit voor een bepaalde duur, dit was doorgaans 50 jaar, waardoor een inschatting kan gemaakt worden van de gegarandeerde resterende levensduur (W. Moerman, persoonlijke communicatie, 24 februari 2026). Uit het fabricagejaar kan men de sterkteklasse van de gebruikte wapening afleiden. Sinds de brede invoering van de Eurocode 2, ongeveer 20 jaar geleden, is de sterkteklasse B500 de standaard voor gewapende betonelementen. Voor de voorgespannen varianten kan nagenoeg altijd worden uitgegaan van



voorspanstaal met klasse Y1860 (R. Caspeele, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026). Als er helemaal geen technische documentatie vindbaar is, wil dat niet meteen zeggen dat de elementen onbruikbaar zijn. Ze hebben al hun draagcapaciteit bewezen, waarom zouden ze dan plots niet meer voldoen (W. Moerman, persoonlijke communicatie, 24 februari 2026)?

Het is cruciaal om vast te stellen of de holle welfsels als een samengestelde doorsnede met een ter plaatse gestorte druklaag hebben gefunctioneerd. Terwijl een dergelijke druklaag standaard is in de woning- en kantoorbouw, wordt er in de industriebouw vaak zonder gewerkt (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 9 maart 2026). Het ontbreken van een druklaag vergemakkelijkt de latere ontmanteling, aangezien de elementen niet tot één monolithisch geheel zijn gestort en het extra gewicht van een druklaag buiten beschouwing blijft.

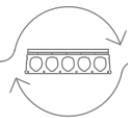
		201-1 BENOR 207	
		Fabrikant: HEDRA BETON NV. Maastrichterstraat z/n B-3770 Riemst (Herderen) T: +32 12 452 162 F: +32 12 455 495 info@hedra-beton.be www.hedra-beton.be	Productie-eenheid: HEDRA BETON NV. Maastrichterstraat z/n B-3770 Riemst (Herderen) T: +32 12 452 162 F: +32 12 455 495 info@hedra-beton.be www.hedra-beton.be
08			
1167-CPD-005/207			
EN 1168 Geprefabriceerde betonproducten – Holle vloerplaten			
GLADDE HOLLE VLOERPLAAT 13/60 (GL13/60)			
Geometrische kenmerken			
			
breedte		600 mm	
hoogte		130 mm	
lengte		800 – 5500 mm	
Andere kenmerken			
f_{ck} – sterkteklasse beton		C 30/37	
omgevingsklasse		EI – EE1	
milieuklasse		XC1 – XC2	
brandweerstand		REI 60	
kwaliteit wapening			
• f_{tk}		550 N/mm ²	
• f_{yk}		500 N/mm ²	
transportgewicht		210 kg/m ²	
rekengewicht		230 kg/m ²	

Verantwoordelijke: kwaliteitsverantwoordelijke Datum: 01/02/2011 Versie: 1.0

Figuur 80: Technische fiche gladde holle welfsels van Hedra Beton. Overgenomen van Hedra Beton, 2011.

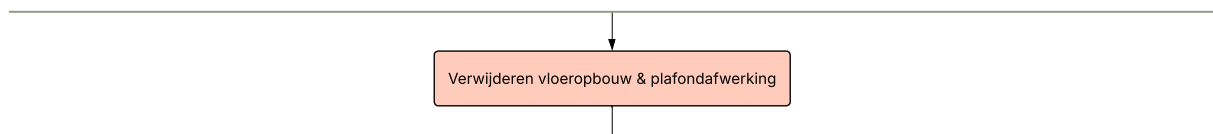
Benodigheden
Technische fiche
Uitvoeringsdossier
Legplannen
Info over de fabrikant

Tabel 4: Benodigheden onderzoek hergebruikpotentieel.



4.6.2. Fase 2: Site-onderzoek

4.6.2.1. Verwijderen vloeropbouw & plafondafwerking



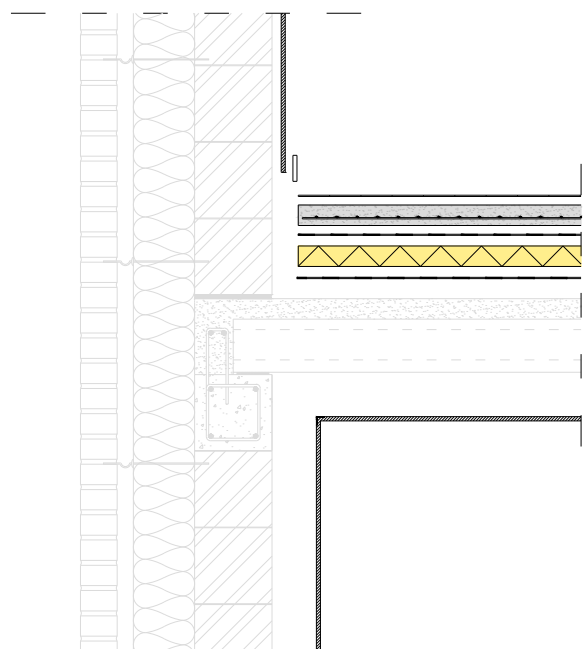
Figuur 81: Overzicht stap vrijmaken welfsels.

Om de holle welfsels later visueel te kunnen inspecteren, dienen ze vrijgemaakt te worden van hun afwerkingsmaterialen. Tegels, parket, laminaat en plinten, evenals harde isolatieplaten, vormen een wezenlijk onderdeel van een typische vloeropbouw en beschikken over een aanzienlijk hergebruikpotentieel. Voordat deze materialen als bouwafval worden afgevoerd, is het noodzakelijk de mogelijkheden voor hoogwaardige recuperatie te onderzoeken. Gespecialiseerde handelaars in deze materialen zijn voor België, Frankrijk, Luxemburg en Nederland terug te vinden op Opalis.eu. Voor het Verenigd Koninkrijk kan men terecht op het platform Salvoweb.com.

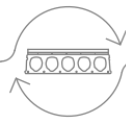
De onderzijde van de elementen zijn veelal afgewerkt met een gipspleisterlaag. De conventionele en meest voordelige methode om deze laag te verwijderen is handmatig met hamer en beitel, hoewel dit proces uiterst arbeidsintensief en tijdrovend is. Er wordt geadviseerd een pleisterfrees te gebruiken; dit apparaat is in diverse uitvoeringen verkrijgbaar, waardoor zowel kleine als grote oppervlakken efficiënt vrijgemaakt kunnen worden (Festool, z.d.). In het pre-industriële tijdperk was het hergebruik van bouwmaterialen een alledaagse kost, gedreven door hoge productiekosten van handwerk en beperkte transportmogelijkheden (Ghyoot et al., 2018). Zo was het gebruikelijk om gips van muren te schrapen en dit opnieuw tot poeder te verwerken voor secundair gebruik (Devlieger, 2025). Tegenwoordig wordt deze praktijk opnieuw omarmd, waardoor ook gipspleister uit donorgebouwen weer als waardevolle secundaire grondstof wordt ingezet (OVAM, z.d.).

Benodigheden
Hamer en beitel
Pneumatische hamer
Isolatiemes
Pleisterfrees
Bouwstofzuiger

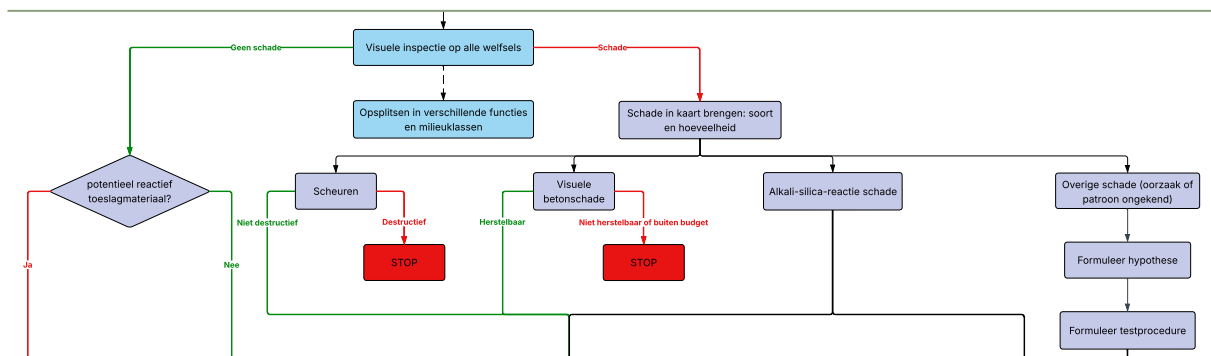
Tabel 5: Benodigheden vloeropbouw en plafondafwerking verwijderen.



Figuur 82: Visualisatie vloeropbouw en plafondafwerking.



4.6.2.2. Visuele inspectie



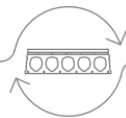
Figuur 83: Overzicht stappen visuele inspectie.

Wanneer de elementen vrijgemaakt zijn van hun afwerkingslagen is er een visuele inspectie mogelijk. Het is belangrijk om elk hol vloerelement te bestuderen op mogelijke gebreken. Visuele schade is vooral aan de onderzijde van de elementen te verwachten, aangezien de wapening zich hier bevindt. De druklaag beschermt daarentegen de bovenzijde. De Noorse standaard NS 3682:2022, over het oogsten van holle welfsels, richt de visuele inspectie zich op het verzamelen van gegevens over betonscheuren, overbelasting, mechanische schade, slip van de voorspanwapening, corrosie, kalkneerslag en kleurverschillen (Standard Norge, 2022). Omdat een eenduidige onderverdeling van deze patronen ontbreekt, beschrijft het beslissingsdiagram heldere schadeonderwerpen. Er wordt rekening gehouden met scheuren, visuele betonschade, signalen van alkali-silica reactie en overige schade waarbij de oorzaak of patroon ongekend is. In het schaderapport moet per element de gehanteerde milieuklasse en bijhorende functie worden vastgelegd, aangezien veel schadefenomenen direct voortvloeien uit het gebruik en de gebruiksintensiteit (Parkhats, 2018). Sommige schadefenomenen of structurele gebreken zijn niet meer rendabel om te herstellen of simpelweg niet herstelbaar. Er moet uiteraard een evenwicht behouden worden tussen het herstellen van opgemeten schade en de bijhorende kostprijs (W. Moerman, persoonlijke communicatie, 24 februari 2026). Het aanbrengen van kostbare externe wapening op elk te herstellen element is in de praktijk zelden rendabel. Een duidelijk schaderapport helpt om herstellingskeuze te maken (W. Moerman, persoonlijke communicatie, 24 februari 2026).

4.6.2.2.1. Scheuren

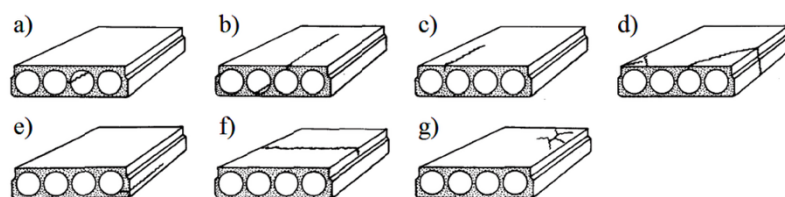
Scheuren worden vaak geassocieerd met instortingsgevaar. In de Eurocode staan maximaal toelaatbare scheurwijdtes beschreven om het gevoel van veiligheid te waarborgen. Hoewel veel scheuren geen direct risico vormen voor de structurele integriteit, kunnen ze wel een toegangsweg bieden naar de wapening. Onder corrosie-gunstige omstandigheden leidt dit tot wapeningscorrosie (Wan-Wendner, 2025). Een belangrijk onderscheid dient gemaakt te worden tussen destructieve en niet-destructieve scheuren om een keuze te maken tot oogsten. Hoewel scheuren de momentcapaciteit nauwelijks beïnvloeden, kunnen ze de dwarskrachtcapaciteit reduceren, de lastverdeling wijzigen en corrosie bevorderen (Parkhats, 2018).

Splijtscheuren kunnen op twee manieren ontstaan; door slipwerking en door het bereiken van de maximaal opneembare trekkracht van het beton. Enerzijds kunnen breuktrekkrachten ontstaan door de verwijding van het uiteinde van de streng ten gevolge van slipwerking. Dit kan vergeleken worden met een wig die in beton wordt getrokken. Anderzijds kunnen de overgedragen trekspanningen, van de wapening naar het omliggende beton, de maximale treksterkte van beton overschrijden en op die manier splijtscheuren initiëren. Deze fenomenen komen



slechts op kleine schaal voor en hebben een minimale impact op de bruikbaarheid van het vloerelement (Parkhats, 2018). Wanneer longitudinale scheuren direct onder de wapening zichtbaar zijn, wijst dit vaak op corrosievorming; het expanderende roest drukt hierbij het beton van de wapening weg. In een verdere stage kunnen de scheuren leiden tot stukken beton die loskomen en de wapening zichtbaar maken (Dervishaj et al., 2025). De oorzaak van het corrosieproces moet worden achterhaald, waarna de juiste herstelprocedure dient gevolgd te worden. Een nauwkeurige registratie van de schade en een helder geformuleerde hypothese zijn essentiële zaken in het schaderapport en dienen als basis voor verder onderzoek.

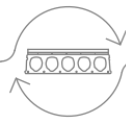
Enkele scheurpatronen beïnvloeden de dwarskrachtcapaciteit van het element. Zo zullen scheuren boven de wapening (a) en in de betonstroken tussen de kanalen (e), al dan niet in combinatie met hoekscheuren (d), de dwarskrachtcapaciteit verlagen. Men kan de kanalen aan de uiteinden vullen met beton om deze capaciteit opnieuw te verhogen. In enkele gevallen is het niet mogelijk de originele capaciteit te verkrijgen, maar dit wil niet zeggen dat de elementen niet meer inzetbaar zijn. Langwerpige scheuren boven de kanalen (b) of boven de betonstroken (c) beïnvloeden de lastenverdeling, maar kunnen zonder herstel gebruikt worden in combinatie met een druklaag. Als alternatief kunnen ze ook over hun lengte gezaagd worden tot passtuk. Dwarsscheuren (f) veranderen het gedrag van het element; ze leiden tot een reductie in de dwarskrachtcapaciteit en het opneembare moment bij de toepassing als uitkraaging. Bij minimale dwarsscheuren aan de bovenzijde van het vloerelement, evenals bij onregelmatige oppervlaktесheuren (g), is constructief of esthetisch herstel niet noodzakelijk. Uiteraard moet elke opgemerkte scheur onderzocht worden, aangezien ze mogelijks de wapening in contact brengt met de buitenomgeving (Parkhats, 2018).



Figuur 84: Overzicht schade op holle welfsels: a) damscheuren boven de strengen, b) langsscheuren ter hoogte van de kanalen, c) langsscheuren in de dam, d) hoekscheuren, e) damscheuren op of dichtbij de strengen, f) dwarsscheuren, g) diverse scheuren. Overgenomen van *Problem of cracks in prestressed hollow core slabs*, door Parkhats, 2018.

4.6.2.2.2. Visuele betonschade

Naast scheuren kunnen er ook andere schadepatronen op het vloerelement voorkomen. De rapportage van visuele betonschade richt zich hierbij op fysieke gebreken zoals afbrokkeling, grindnesten en oppervlakteputjes. Als de schade van structurele aard is, dient de oorzaak steeds onderzocht te worden om toekomstige schade te voorkomen. In extreme gevallen van afbrokkeling kan de wapening bloot komen te liggen. Het is essentieel om de exacte oorzaak vast te stellen en een passende herstelprocedure te volgen, mits dit economisch rendabel is. De schade kan een relatief onschuldige oorzaak hebben, zoals mechanische impact, maar kan ook wijzen op ernstigere problemen zoals wapeningscorrosie. Ongewone vervormingen maken bijkomend deel uit van dit onderdeel. Ze kunnen het gevolg zijn van slip tussen de wapeningstaven en het omringende beton (W. Moerman, persoonlijke communicatie, 24 februari 2026). Indien deze vervorming wordt vastgesteld, dient het element na het uithijzen aan een nader onderzoek te worden onderworpen. Hierbij zal de slipafstand opgemeten worden om een idee te krijgen van de relaxatie van de voorspanning. Dit heeft een belangrijke impact op het draagvermogen; hier dient dan ook rekening mee te worden gehouden.

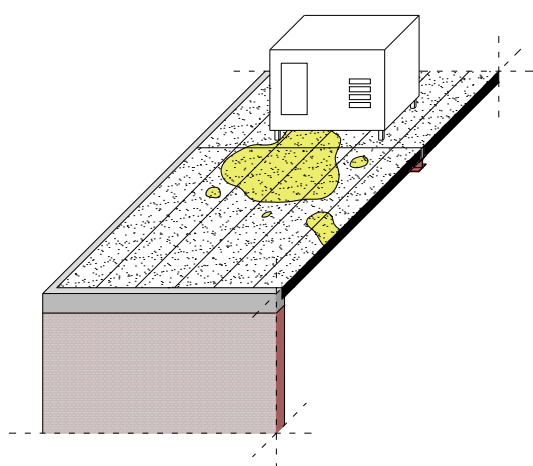


4.6.2.2.3. Alkali-silica reactie

De aanwezigheid van een gelvormig reactieproduct op het betonoppervlak duidt hoogstwaarschijnlijk op een alkali-silicareactie (ASR). Dit is een reactie tussen alkaliën, die aanwezig zijn in het poriewater van beton, en reactief silica, wat een bestanddeel is van sommige toeslagmaterialen of voorkomt in enkele granulaattypes. Vanzelfsprekend moeten alkaliën, water én reactief silica in voldoende hoge concentraties aanwezig zijn. Het reactieproduct is hygroscopisch, waardoor het water absorbeert en vervolgens opzwellt. Als gevolg zal het reactieproduct een druk uitoefenen op het omringende beton en zorgen voor barsten. Deze barsten zullen zich voortplanten tot het betonoppervlak, waardoor het reactieproduct zichtbaar wordt. Naast het gelvormig reactieproduct, is ASR herkenbaar door zijn netvormig, onregelmatig scheurpatroon (Thomas et al., 2011). Daarnaast kan de reactie worden geïnitieerd door een voldoende hoge concentratie aan alkaliën uit de omgeving van het element, bijvoorbeeld afkomstig uit zeewater, dooizouten of industriële restproducten. De milieuklasse van de elementen zal dus een impact hebben op het al dan niet verder onderzoeken van een potentiële ASR (Matthys, 2020). Aangezien de elementen in het overgrote deel van de toepassingen niet in rechtstreeks contact staat met de omgeving, zal dergelijk schadepatroon bijna niet voorkomen (T. Soetens, persoonlijke communicatie, 23 maart 2026). Pas bij een zichtbaar schadepatroon, of een risico op reactieve toeslagstoffen op basis van het bouwjaar en de context, wordt er doorverwezen naar dieper onderzoek.

4.6.2.2.4. Overige schade

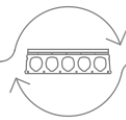
Er kunnen schadepatronen aanwezig zijn waarvan de aard of oorzaak niet direct vastgesteld kan worden. De dimensies, alsook een beschrijving van de schade, zullen opgenomen worden in het schaderapport in combinatie met een hypothese. Op basis van de hypothese zal een testprocedure ontworpen worden. Alhoewel de verwachte schadepatronen al beschreven zijn, kunnen uiterst specifieke situaties zich voordoen. Neem als voorbeeld een industrieel gebouw waarbij agressief chemisch afvalwater door een lek in contact komt met de draagvloer. Hierbij zal het belangrijk zijn te onderzoeken welke vloerelementen zijn aangetast, in hoeverre het draagvermogen of de resterende levensduur is afgenomen en wat het schaderisico is voor omliggende elementen.



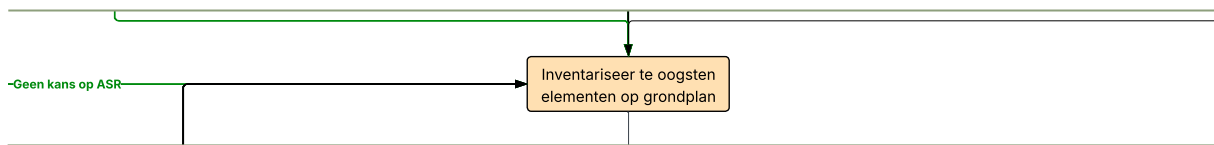
Figuur 85: Visualisatie schade op holle welfsels.

Benodigdheden
Schadeformulier
Digitale camera
Meetlint
Schade-specifieke tools

Tabel 6: Benodigdheden schadediagnose.



4.6.2.3. Inventariseer te oogsten elementen op grondplan



Figuur 86: Overzicht stap initiële inventarisatie.

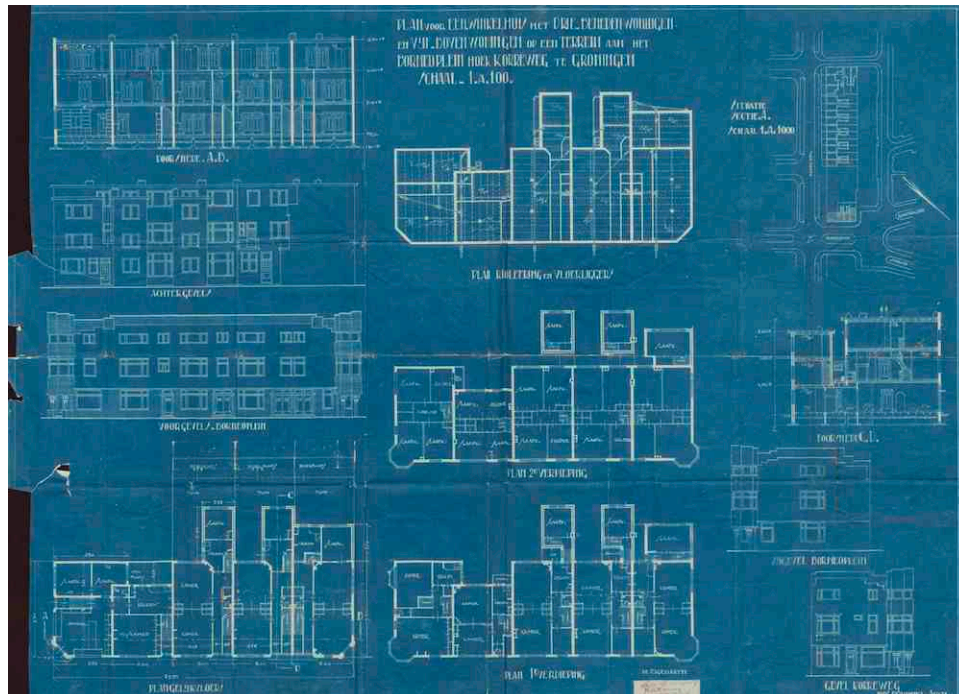
De visuele inspectie wordt uitgevoerd aan de hand van het legplan van de holle welfsels. Indien dit plan niet beschikbaar is in het originele dossier, dient het ter plaatse te worden opgemeten en uitgetekend. Door alle waargenomen schadepatronen direct op dit plan te markeren, ontstaat een eerste inventaris van de herbruikbare elementen. Met deze aanpak wordt elk element eenduidig op het grondplan gelokaliseerd en uniek gecodeerd. Dit is cruciaal voor de individuele identificatie en de verdere onderzoeksstappen. De definitieve, formeel gestructureerde inventaris komt pas tot stand in paragraaf 4.6.5.1. 'Bijwerken inventaris', nadat alle onderzoeksstappen volledig zijn afgerond. Deze methodiek creëert op dit moment in het traject direct een helder overzicht en maximaliseert de efficiëntie van de latere inventarisatiefase.

Benodigheden

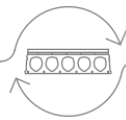
Legplan

Schrijfmateriaal

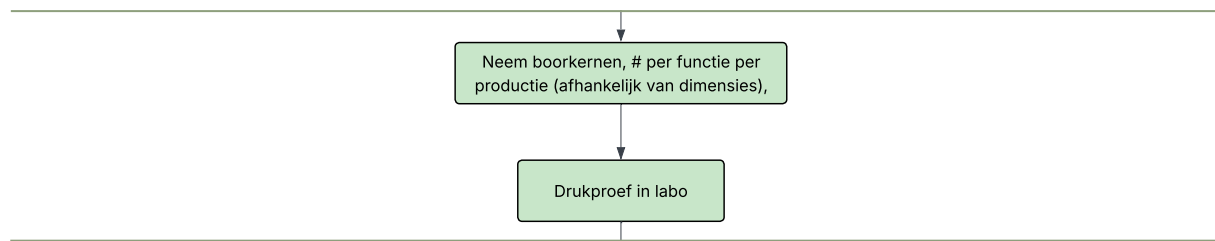
Tabel 7: Benodigheden initiële inventaris.



Figuur 87: Voorbeeld van een oude plannenset. Overgenomen van *Wij vinden uw oude bouwtekeningen terug in het bouwarchief*, door Hoving Bouwontwerp.



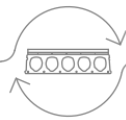
4.6.2.4. Drukproef in labo



Figuur 88: *Overzicht stappen drukproef in labo.*

De aanwezigheid van originele technische documenten van de holle welfsels vergemakkelijken en versnellen het hergebruiktraject. Aangezien de elementen potentieel enkele tientallen jaren oud zijn, is er een kans dat deze documenten niet terug te vinden zijn. In dit geval dienen de relevante eigenschappen via proeven te worden vastgesteld. Een belangrijke eigenschap die achterhaald dient te worden, is de sterkteklasse van het beton. De standaardmethode hiervoor is een drukproef op een cilindrisch of kubusvormig monster. Tijdens de drukproef veroorzaken de persplaten wrijving op het betonoppervlak. Bij een kubus beïnvloedt deze wrijvingskracht de meting, omdat deze versturende werking tot in de kern van het monster reikt. Voor een zuivere drukmeting is een slank proefstuk noodzakelijk. Daarom wordt gekozen voor een cilinder waarbij de hoogte dubbel zo groot is als de diameter; hierdoor kan er in het midden van het monster op zuivere druk worden getest (Wan-Wendner, 2025). In bestaande constructies worden volgens de Europese norm cilindrische monsters genomen met een diameter van 80 mm en een hoogte van minstens 80 mm. De keuze voor een kleinere diameter verkleint de kans dat vitale wapeningsstaven of voorspanstrengen tijdens het boren worden aangetast. Bij het hanteren van een standaarddiameter van 150 mm zou het proefstuk voor een ideale slankheid een hoogte van 300 mm moeten hebben. Een dergelijke afmeting is bij bestaande vloerconstructies in de praktijk onhaalbaar (NBN, 2019). Er wordt een boorkern genomen uit 5% van de elementen per populatie, met een minimum van 8 kernen (Standard Norge, 2022).

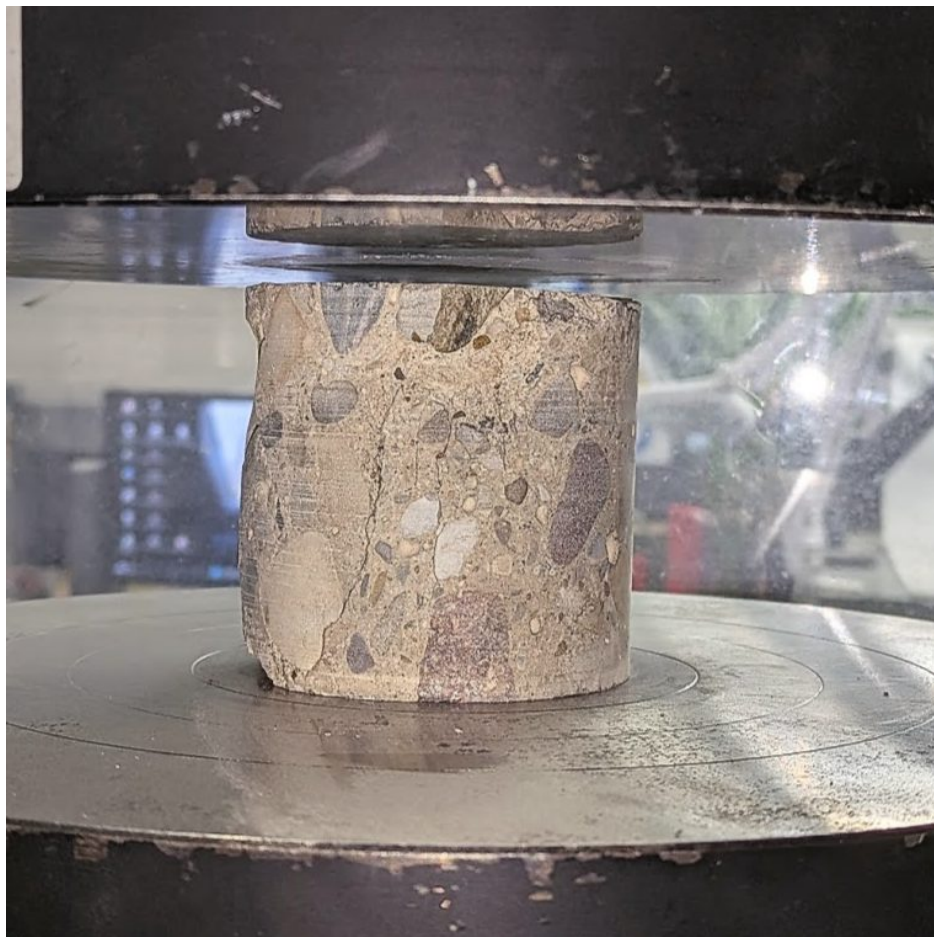
Aangezien zelfs deze verkleinde maat voor de boorkern onhaalbaar is door de holle kanalen in de doorsnede van meeste holle welfsels, is men genooddaakt smallere monsters te nemen. Door deze monsters aan de bovenzijde uit de betonstrook te nemen, wordt het risico op het raken van wapeningsstaal in het proefstuk tot een minimum beperkt. De druklaag, indien aanwezig, dient verwijderd te worden van het monster zodat er kan getest worden op het beton van het vloerelement zelf. De betonkwaliteit van de druklaag dient beproefd te worden in situ aan de hand van een terugslaghamer, beschreven in 4.6.2.5. 'Terugslaghamer'. Bij gebruik van een kleinere diameter is een groter aantal proeven noodzakelijk om de betrouwbaarheid van de resultaten te waarborgen (T. Soetens, persoonlijke communicatie, 23 maart 2026). Volgens norm EN 12504-1, *Testing concrete in structures – Part 1*, dienen er drie drukproeven uitgevoerd te worden op boorkernen met een diameter van 100 mm (NBN, 2019). Wanneer de diameter gereduceerd wordt van 80 mm naar 50 mm, verdrievoudigt men het aantal proeven (T. Soetens, persoonlijke communicatie, 23 maart 2026). Het aantal uit te voeren proeven is met andere woorden afhankelijk van de dimensies van de boorkernen.



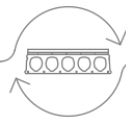
De maximale kracht waarbij het beton bezwijkt, bepaalt de druksterkte. Na vermenigvuldiging met een correctiefactor op basis van de monsterafmetingen, vormt dit resultaat de basis voor de indeling in een sterkteklasse (NBN, 2019). Bij te slanke vloerelementen, met een hoogte van bijvoorbeeld 130 of 150 mm, is een kwalitatieve kernboring niet mogelijk. De procedure om de betonkwaliteit in dit geval te achterhalen, wordt beschreven in paragraaf 4.6.2.5. 'Terugslaghamer'.

Benodigdheden
Diamantboor
Boorkernen (# afhankelijk van afmetingen boorkern)
Drukproefopstelling

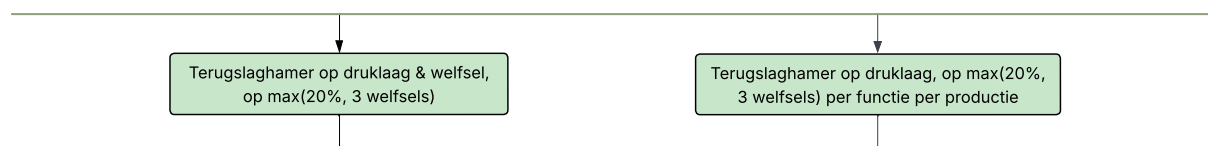
Tabel 8: *Benodigdheden drukproef in labo.*



Figuur 89: *Drukproef in labo.* Overgenomen van *Grondige laboproeven voor diepgaand betononderzoek*, door Beton+.



4.6.2.5. Terugslaghamer



Figuur 90: *Overzicht stappen terugslaghamer.*

Als er geen bruikbare betonboorkernen uit de holle welfsels gehaald kunnen worden, wordt de betonklasse bepaald met een terugslaghamerproef. Het instrument bepaalt de oppervlaktehardheid van het beton, een waarde die gecorreleerd kan worden aan de karakteristieke druksterkte (Nebest, z.d.). Metingen met een terugslaghamer op holle welfsels vertonen vaak een grote spreiding in de resultaten. Bij een beperkt aantal proeven levert dit een onbetrouwbaar beeld op van de werkelijke betonkwaliteit (T. Soetens, persoonlijke communicatie, 5 maart 2026). In vergelijking met de overige testen in het beslissingsdiagram, is er bij deze proef bewust gekozen voor een grotere steekproefomvang om de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de resultaten te verhogen (R. Caspeele, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026). De Noorse norm voor de recuperatie van holle welfsels, NS 3682:2022, schrijft een minimale proeffrequentie voor van 20% van de elementen, met een absoluut minimum van drie stukt (Standard Norge, 2022). In deze masterproef wordt deze richtlijn overgenomen om de statistische betrouwbaarheid van de geteste partijen te waarborgen.

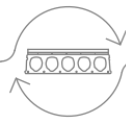
De terugslaghamer heeft een draagbaar formaat dat gemakkelijk hanteerbaar is. De proef wordt regelmatig uitgevoerd waardoor de verwerking van de verkregen waarden tot betrouwbare resultaten goed gekend is (Backus, z.d.). Aangezien de betrouwbaarheid van deze proef stijgt in functie van het aantal uitgevoerde proeven, en eventuele uitschieters in de resultaten minder doorwegen in de eindsterkte na de statistische verwerking, worden er per meetlocatie negen terugslagwaarden genomen. Aangezien de meting met een terugslaghamer beperkt blijft tot de buitenste zone en gebruikmaakt van correlatiegrafieken, is de uitkomst slechts een benadering. Om te corrigeren voor deze onzekerheidsfactoren, wordt de fictieve kubusdruksterkte gereduceerd met een factor 0,67 om tot een veilige, gereduceerde kubusdruksterkte te komen (Nebest, z.d.). Hierdoor kan in de berekeningsstap van het beslissingsdiagram conservatief worden gerekend. De proef dient te worden uitgevoerd op zowel het vloerelement zelf als op een eventueel aanwezige druklaag.

Benodigdheden **Terugslaghamer**

Tabel 9: *Benodigdheden terugslaghamertest.*



Figuur 91: *Proceq Schmidthamer type LR.* Overgenomen van Meetinstrumenten Verhuur.



4.6.2.6. Wapeningsscan

Wapeningsscan, op max(2%, 3
welfsels) per functie per productie

Figuur 92: Overzicht stap wapeningsscan.

Als er geen wapeningsplannen beschikbaar zijn, dient de wapeningsconfiguratie achterhaalt te worden op een andere manier. Er wordt een wapeningsscan uitgevoerd aan de onderzijde van de elementen, aangezien daar de wapening gesitueerd is. Voor deze scan gebruikt men typisch een *Hilti PS 300-ferroscansysteem* of een *Proceq Profoscope* (T. Soetens, persoonlijke communicatie, 5 maart 2026). Deze scansystemen brengen niet alleen de wapeningsstaven in kaart, maar meten ook de wapeningsdiameter en de betondekking (Concept Ingenieurs, z.d.). Ze zijn compact en gebruiksvriendelijk, waardoor verschillende elementen in een relatief korte periode kunnen onderzocht worden op een niet-destructieve manier (Newa, z.d.). Uiteraard hangt het rendement af van de specifieke situatie waarin men een scan uitvoert. Op één dag kunnen er gemakkelijk 50 individuele elementen onderzocht worden (T. Soetens, persoonlijke communicatie, 5 maart 2026). Aangezien er geen reden is om verschillende types holle welfsels te gebruiken binnen dezelfde functie, wordt er ook geen verschil verwacht in de uitkomst van de wapeningsscan. Gezien de hoge uitvoeringssnelheid en de handzame meetapparatuur, wordt een proeffrequentie van 2% van de populatie vloerelementen gehanteerd, met een absoluut minimum van drie stuks. Deze aanpak sluit eventuele meetfouten uit en resulteert in een betrouwbaar overzicht van de wapeningsconfiguratie. Omdat informatie over de aanwezige wapening noodzakelijk is voor de constructieve berekeningen, is deze data essentieel binnen het traject waarbij originele technische documentatie ontbreekt.

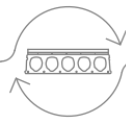


Figuur 93: Niet-destructief onderzoek naar wapeningsconfiguratie. Overgenomen van *Wapeningsconfiguratie*, door Nebest.

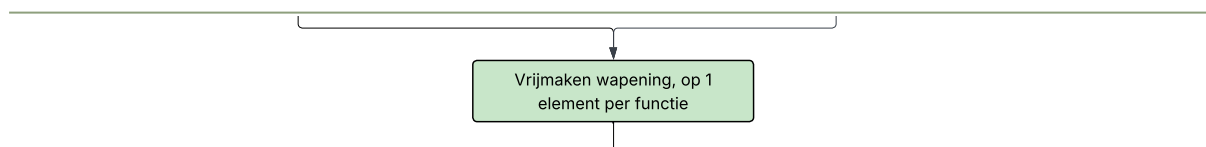
Benodigdheden

Wapenings-scansysteem
Eventueel verlengstuk

Tabel 10: Benodigdheden wapeningsscan.



4.6.2.7. Vrijmaken wapening



Figuur 94: *Overzicht stap vrijmaken wapening.*

Wanneer technische documentatie ontbreekt en de sterkteklasse van de wapeningsstaven onbekend is, moet de wapening worden vrijgemaakt om de staalkwaliteit te achterhalen. Deze stap is cruciaal om in staat te zijn de daaropvolgende proef, 4.6.2.8. 'Vickers-hardheidsproef', uit te voeren. Bijkomend wordt het resultaat uit 4.6.2.6. 'Wapeningsscan' bevestigd. De betondekking moet op de juiste wijze worden verwijderd om herstel en hergebruik van het element mogelijk te maken. Dit betekent dat het beton over de gehele breedte tot op gelijke diepte verwijderd moet worden om alle wapeningsstaven bloot te leggen. De wandhoek van het uitgeboorde deel mag minimaal 90° en maximaal 135° bedragen. Om een goede hechting met de herstelmortel mogelijk te maken, dient het oppervlak ruw te zijn.

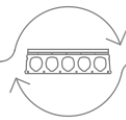
De goedkoopste manier om beton te verwijderen en daardoor de wapeningsstaven vrij te maken is met een pneumatische hamer. De werkzaamheden moeten zorgvuldig worden verricht, aangezien trillingen microscheuren in het beton kunnen veroorzaken. Een beter, maar duurdere optie is het gebruik van een hydrojet (Matthys, 2020). Aangezien er geen aanleiding is om uit te gaan van verschillende staalkwaliteiten binnen de wapening, wordt deze stap uitgevoerd op één representatief element per populatie.

Benodigdheden
Pneumatische hamer (of hydrojet)

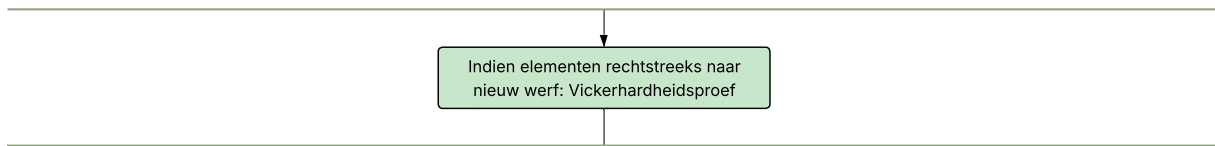
Tabel 11: *Benodigdheden vrijmaken wapening.*



Figuur 95: *Wapeningsstaven vrijmaken met hydrojet.* Overgenomen van *Betonreparatie met ultra-hogedruk waterstralen*, door Kärcher.



4.6.2.8. Vickers-hardheidsproef



Figuur 96: *Overzicht stap Vickers-hardheidsproef.*

Nadat de wapeningsstaven zijn vrijgemaakt, is men in staat een oppervlaktehardheidsproef uit te voeren. In de praktijk wordt de Vickers-methode het meeste gebruikt dankzij de diverse toepassingsmogelijkheden. Bij deze proef wordt een diamanten indringer in de vorm van een piramide met een vierkante basis en een tophoek van 136° met een gespecificeerde kracht in de wapeningsstaaf gedrukt, waarbij de belastingsduur tussen de 10 en 15 seconden wordt aangehouden. Vanwege de hoge kwaliteitseisen aan het proefoppervlak, wordt de testpositie vooraf mechanisch geslepen en gepolijst. Na afloop van de proef vindt een optische meting plaats van de beide diagonalen van de blijvende indrukking. De Vickershardheid wordt vervolgens berekend op basis van het gemiddelde van deze diagonalen en de uitgeoefende kracht aan de hand van volgende formule (Zwick Roell, z.d.):

$$HV = 0,102 \cdot \frac{2 \cdot F \cdot \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 0,1891 \cdot \frac{F}{d^2}$$

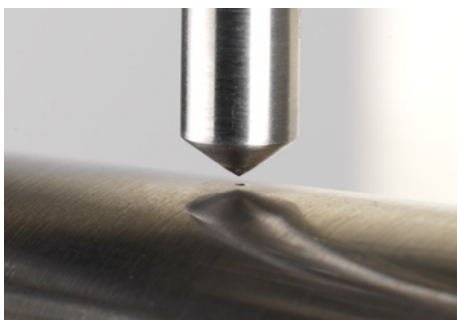
Waarbij

HV = Vickers hardheid [N/mm^2];

F = proefkracht [N];

$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$ = gemiddelde diagonaallengte [mm].

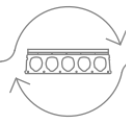
Aangezien deze proef hoge kosten met zich meebrengt en ongebruikelijk is binnen deze toepassing, wordt deze enkel ingezet op de wapeningsstaven van elementen die rechtstreeks naar een nieuwe werf worden getransporteerd en waarvan de technische documentatie ontbreekt. In deze gevallen dient de capaciteit berekend te worden met betrouwbare gegevens. Hierbij is een kwalitatieve bepaling van de staal-sterkteklasse noodzakelijk. De verkregen Vickershardheidswaarde, oftewel HV, kan worden omgezet naar de treksterkte via een omrekentabel (ISO, 2013). Logischerwijs wordt de proef uitgevoerd op één element per populatie, aangezien de wapeningsstaven volgens deze steekproef zijn vrijgemaakt.



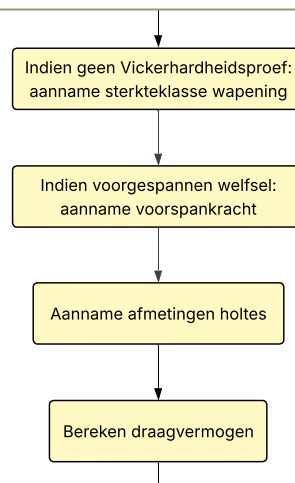
Figuur 97: *Vickers-hardheidsproef.* Overgenomen van *ASTM E92 Vickers Hardness*, door Zwick Roell.

Benodigdheden			
Haakse slijper			
Schuurtol			
Vickers-hardheidsmeter			
Omrekentabel			

Tabel 12: *Benodigdheden Vickers-hardheidsproef.*



4.6.2.9. Nodige aannames & berekeningen



Figuur 98: Overzicht stappen aannames & berekeningen.

Aangezien een Vickers-hardheidsproef voor het bepalen van de staalkwaliteit geen standaardprocedure is, kan deze niet in alle gevallen uitgevoerd worden. De staalkwaliteit is cruciaal om de capaciteit van een gewapend hol vloerelement te berekenen. Om op een correcte manier volgende stappen uit te voeren, zal een conservatieve sterkteklasse aangenomen worden op basis van het fabricagejaar (R. Caspee, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026). De elementen zijn nog niet uitgehesen, waardoor de doorsnede nog steeds onbekend is. Er zal een aanname gemaakt worden van de kanaalsecties op basis van vergelijkbare elementen. De kanalen hebben doorgaans een aandeel tussen 30% en 50% van het totale volume (Febefloor, 2020). Wanneer men de dimensies, betonkwaliteit en een conservatieve waarde voor de sterkteklasse van de wapening kent, is men in staat de dwarskrachtcapaciteit te berekenen van gewapende holle welfsels. Bij voorgespannen elementen is de voorspankracht de cruciale parameter; een waarde die zonder technische documentatie niet te achterhalen valt (R. Caspee, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026). Als gevolg zal men op basis van het fabricagejaar een conservatieve waarde aannemen om vervolgens ook in staat te zijn het draagvermogen van voorgespannen holle welfsels te berekenen (T. Soetens, persoonlijke communicatie, 23 maart 2026).

Om de dwarskrachtcapaciteit van een gewapend hol vloerelement te berekenen, hanteert men volgens EN 1992-1-1 de volgende formule:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d > (V_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad [N]$$

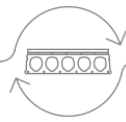
Waarbij

f_{ck} = karakteristieke cilinderdruksterkte [MPa];

$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$ = maatfactor [-];

$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02$ = langswapeningsverhouding [-];

A_{sl} = oppervlakte van de trekwapening [mm²];



b_w = breedte van de dammen [mm];

$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0,2 \cdot f_{cd}$ = gemiddelde drukspanning [MPa];

A_c = oppervlakte van de betondoorsnede [mm²].

Om de dwarskrachtcapaciteit van een voorgespannen hol vloerelement te berekenen, hanteert men volgens EN 1168 de volgende formule:

$$V_{Rdc} = \frac{I \cdot b_w(y)}{S_c(y)} \cdot \left(\sqrt{(f_{ctd})^2 + \sigma_{cp}(y) \cdot f_{ctd}} - \tau_{cp}(y) \right)$$

Met

$$\sigma_{cp}(y) = \sum_{t=1}^n \left\{ \left[\frac{1}{A_i} + \frac{(Y_c - y) \cdot (Y_c - Y_{pt})}{I} \right] \cdot P_t(l_x) \right\} - \frac{M_{Ed}}{I} \cdot (Y_c - y)$$

$$\tau_{cp}(y) = \frac{1}{b_w(y)} \cdot \sum_{t=1}^n \left\{ \left[\frac{A_c(y)}{A_i} - \frac{S_c(y) \cdot (Y_c - Y_{pt})}{I} + c_{pt}(y) \right] \cdot \frac{dP_t(l_x)}{dx} \right\}$$

Waarbij

I = traagheidsmoment van de betondoorsnede [mm⁴];

$b_w(y)$ = breedte van de dammen [mm];

Y_c = hoogte van de zwaartelijijn [mm];

$S_c(y)$ = statisch moment van het deel boven hoogte y ten opzichte van de zwaartelijijn [mm³];

y = hoogte van het kritieke punt op de breuklijn [mm];

l_x = afstand tussen betreffend punt op de breuklijn en het beginpunt van de transmissielengte [mm];

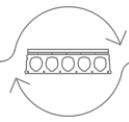
$\sigma_{cp}(y)$ = betondrukspanning op hoogte y en afstand l_x [MPa];

n = aantal lagen voorspanwapening [-];

A_i = Fictief oppervlak van de doorsnede [mm²];

$P_t(l_x)$ = voorspankracht in de betreffende kabelbaan op afstand l_x [N];

M_{Ed} = rekenwaarde van het buigend moment [Nmm];



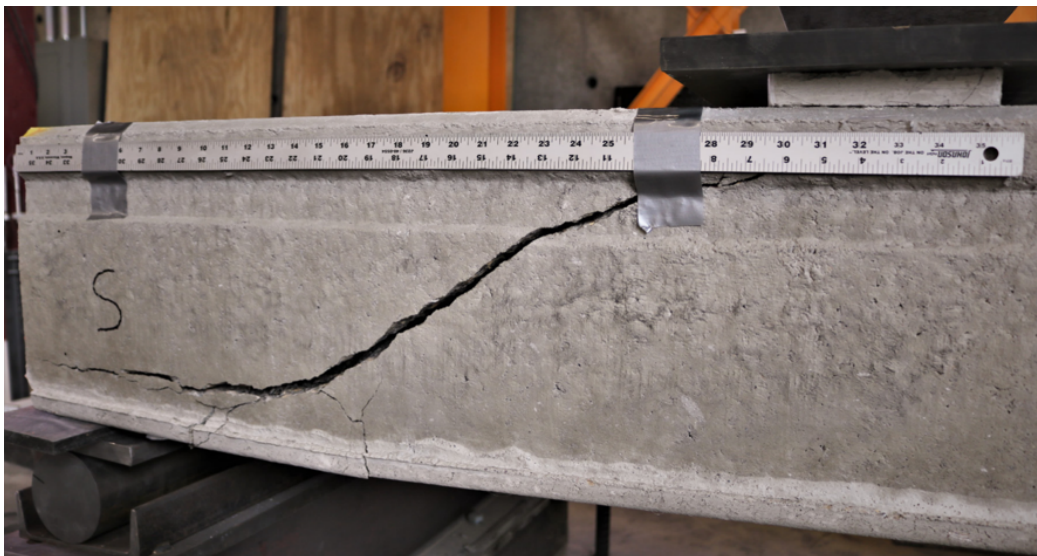
- $\tau_{cp}(y)$ = schuifspanning in het beton door overdracht van de voorspanning op hoogte y en afstand l_x [MPa];
- $A_c(y)$ = oppervlak boven hoogte y [mm²];
- $Cp_t(y)$ = factor die rekening houdt met de positie van de betreffende voorspanlaag [-];
- $$Cp_t = -1 \quad \text{wanneer } y \leq Yp_t$$
- $$Cp_t = 0 \quad \text{wanneer } y > Yp_t$$
- Yp_t = hoogte van de positie van de betreffende voorspanlaag [mm].

Benodigheden

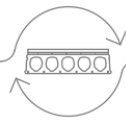
Technische documentatie van vergelijkbare elementen

Tabel 13: *Benodigheden aannames en berekeningen.*

4

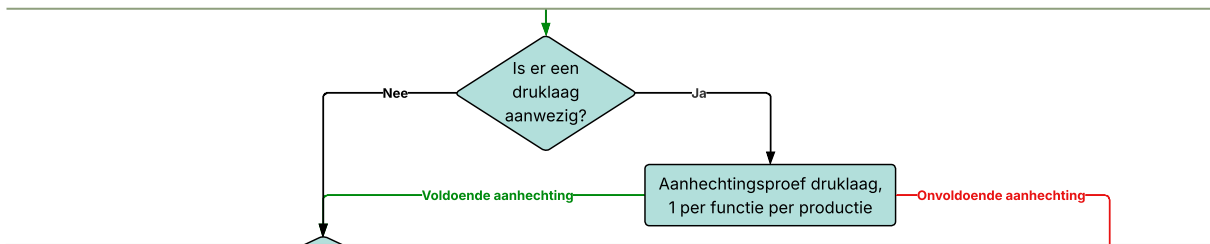


Figuur 99: Dwarskrachtscheur ter hoogte van de oplegging. Overgenomen van *Shear capacity of hollow-core slabs with concrete-filled cores*, door R. McDermott & Z. Dymond, 2020.



4.6.3. Fase 3: In situ proeven

4.6.3.1. Aanhechtingsproef



Figuur 100: Overzicht stappen aanhechtingsproef druklaag.

Bij holle welfsels met een druklaag is de demontagemethodiek erop gericht de elementen als één geheel met deze laag te demonteren. Het behouden van de druklaag zorgt niet alleen voor een verhoogde draagkracht (FebeFloor, 2020), maar vermijdt ook onnodig betonpuin. Om de elementen als composiet opnieuw in te zetten, moeten we zeker zijn van de hechtsterkte aan het element. Er wordt een aanhechtingsproef uitgevoerd volgens de norm NBN EN 1542. Men boort met een cilinderboor door de gehele druklaag tot een diepte van 15 mm in het hol vloerelement. Nadat het oppervlak van onzuiverheden is ontdaan, wordt een adhesief aangebracht om het trekanker te fixeren op de boorkern. Met een stapsgewijze belasting, dat wordt verhoogd met 0,05 MPa/s, wordt de hechtsterkte getest tot falen. Afhankelijk in welke laag de boorkern faalt, wordt geconcludeerd of de druklaag en het vloerelement sterker of zwakker zijn dan de adhesie ertussen (NBN, 1999). In het geval van breuk tussen de druklaag en het vloerelement, zal de trekhechtsterkte doorslaggevend zijn (NBN, 1999):

$$f_h = \frac{4 \cdot F_h}{\pi \cdot D^2}$$

Waarbij

f_h = trekhechtsterkte van de boorkern [MPa],

F_h = breuklast [N];

D = gemiddelde diameter van de boorkern [mm].

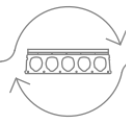
Aangezien een druklaag altijd in één keer wordt gestort, wordt er per populatie vloerelementen één aanhechtingsproef uitgevoerd. De uitkomst zal invloed hebben op het al dan niet verwijderen van de laag alvorens de elementen geogst worden.



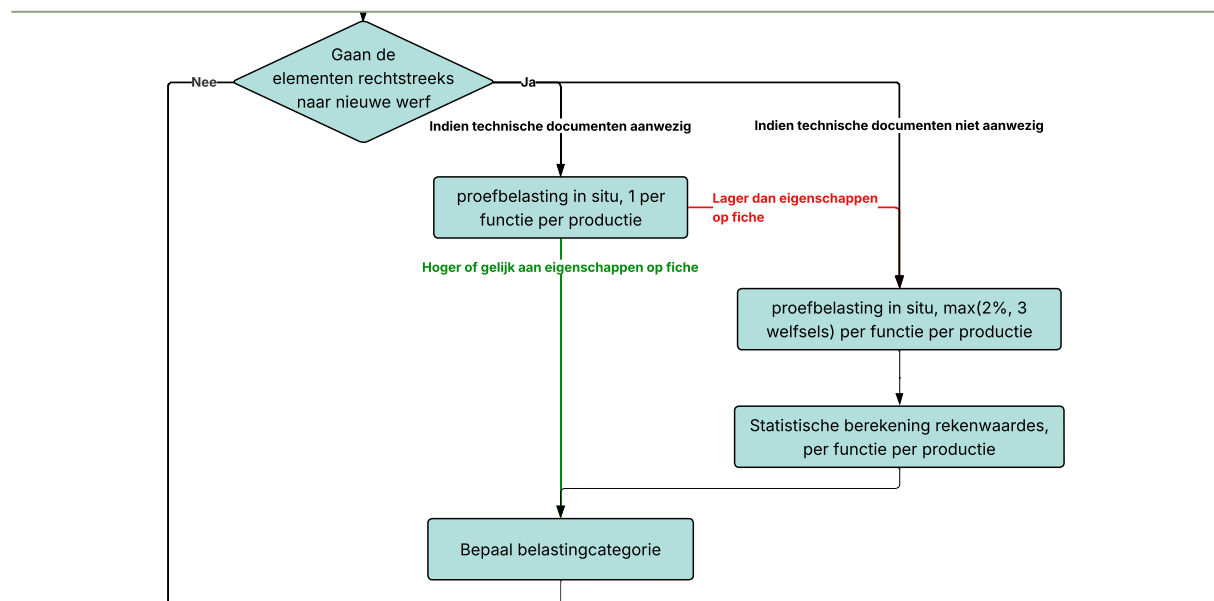
Figuur 101: Proefopstelling aanhechtingsproef. Overgenomen van *Field tests (non destructive)*, door STATS Australia.

Benodigdheden
Cilinderboor
Adhesief
Trekanker
Proefopstelling

Tabel 14: Benodigdheden aanhechtingsproef.



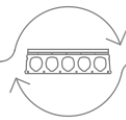
4.6.3.2. Statische proefbelasting in situ



Figuur 102: Overzicht stappen statische proefbelasting in situ.

Wanneer de bestemming van de holle welfsels al bekend is, zal er na het oogsten ervan niet voldoende tijd zijn om enkele naar de testsite te brengen voor een testprocedure. Wanneer de elementen rechtstreeks naar het nieuwe project worden getransporteerd en de technische documentatie beschikbaar is, wordt één element per populatie holle welfsels in situ beproefd ter validatie van het draagvermogen zoals vermeld in de documentatie. Wanneer deze technische informatie ontbreekt, berekent men het draagvermogen in stap 4.6.2.9. 'Nodige aannames & berekeningen'. Van deze partij wordt 2% onderworpen aan een statische proefbelasting, met een absoluut minimum van drie proeven (Standard Norge, 2022). Op deze manier wordt het eerder berekende ontwerpdraagvermogen afgetoetst, en kan de belastingcategorie bepaald worden. Aangezien de elementen nog in hun originele configuratie liggen, zal de proefopstelling afhangen van de situatie. Doorgaans zullen waterboxen of zandzakken als ballast een gespreide belasting simuleren, waarbij verschillende vervormingssensoren op het element worden bevestigd. Deze sensoren zullen op de geïnstalleerde plaats de verticale verplaatsing meten. In sommige gevallen kan de proefbelasting een gunstiger resultaat opleveren dan het theoretisch rekenkundig antwoord (Nebest, z.d.), waardoor deze fractie op een hoogwaardige manier kan worden hergebruikt. Dit is het gevolg van conservatieve aannames in het rekenmodel (Crow, 2023). Niet alleen de doorbuiging, maar ook het ontstaan van scheuren, delaminatie van de druklaag en toename van de voegwijdte tussen de elementen wordt nauwkeurig in het oog gehouden tijdens de proef (Nebest, z.d.).

Als er geen blijvende schade optreedt, is er aangetoond dat de berekende capaciteit in de bruikbaarheidstoestand klopt (Crow, 2023). In deze situatie levert de proef een gunstig resultaat en kan het beproefde vloerelement ook worden geoogst, waardoor geen onnodig betonafval wordt geproduceerd. Daarnaast moet de elastische doorbuiging worden getoetst. Zelfs als een element zijn draagkracht heeft bewezen, kan het alsnog worden afgekeurd vanwege overmatige vervorming. De elasticiteitsmodulus beschrijft de stijfheid van een materiaal; het geeft aan hoeveel elastische vervorming optreedt bij een gegeven belasting. Deze waarde valt af te leiden uit de belastingproef, en kan gebruikt worden om theoretische doorbuigingen te berekenen bij verschillende belastingcombinaties (Betoneik, 2024).



Om de buigstijfheid (EI) te berekenen, dient de elasticiteitsmodulus (E) vermenigvuldigd te worden met het traagheidselement (I) van het hol vloerelement. De totale buigstijfheid kan ook rechtstreeks uit de belastingproef berekend worden aan de hand van de formule uit de sterkteleer voor de maximale doorbuiging voor een gelijkmatig verdeelde belasting q . Op basis van de verkregen resultaten wordt de gebruiksklasse bepaald; deze zijn vastgelegd volgens de norm NBN EN 1991-1-1 (FebeFloor, 2020).

$$w = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot EI}$$

$$\gg EI = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot w_{\text{gemeten}}}$$

Waarbij

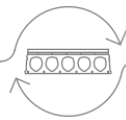
- w = doorbuiging [mm];
- q = gelijkmatig verdeelde belasting [N/mm];
- L = de overspanning [mm];
- EI = totale buigstijfheid [Nmm²].

Benodigheden
Ballast
Verplaatsingssensor
Proefopstelling

Tabel 15: *Benodigheden statische proefbelasting in situ.*

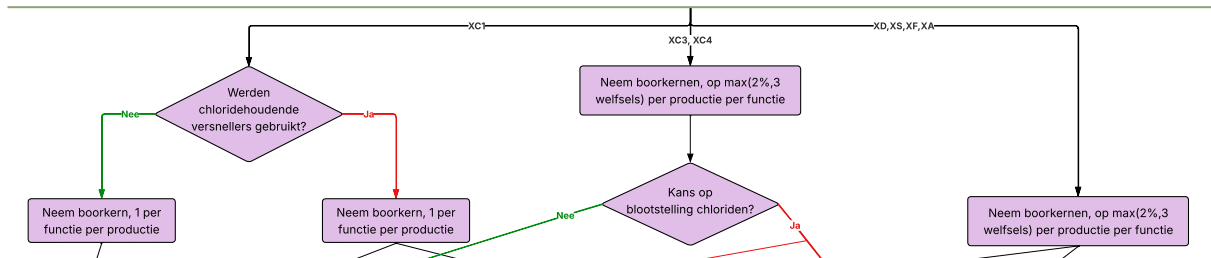


Figuur 103: *Proefbelasting in situ met watertonnen.* Overgenomen van *Proefbelasting*, door Nebest.



4.6.4. Fase 4: Testprocedure in labo

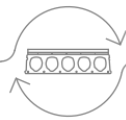
4.6.4.1. Boorkernen



Figuur 104: Overzicht stappen boorkernen nemen.

Afhankelijk van welke milieuklasse de holle welfsels afkomstig zijn, worden één of meerdere boorkernen genomen in het element. Omdat de wapening zich aan de onderzijde van deze elementen bevindt, worden de boorkernen eveneens aan de onderzijde genomen. Deze locatie is cruciaal voor het vervolgonderzoek, aangezien de betonsituatie rondom de wapening bepaalt in welke mate er risico is op wapeningscorrosie. Om het draagvermogen zo weinig mogelijk aan te tasten, en de continuïteit van de wapening te waarborgen, worden boorkernen tussen wapeningsnetten genomen (Matthys, 2020). De betondekking heeft men al bepaald in stap 4.6.2.6. 'Wapeningsscan' en 4.6.2.7. 'Vrijmaken wapening', waardoor de betonkwaliteit op die diepte kan onderzocht worden op de boorkern.

Er is gekozen voor het boren van kernen omdat deze, in tegenstelling tot alternatieve methoden, integraal onderzoek mogelijk maken naar de laagopbouw, het chlorideprofiel, het carbonatatiefront en de permeabiliteit (Beton+, z.d.). Daarnaast kunnen de boorkernen onderzocht worden op scheurvorming en ASR (Concept Ingenieurs, z.d.). De kernen worden geboord met een diamantboor om de werkzaamheden trillingsvrij en zonder vonkvorming uit te voeren. Hierdoor is het mogelijk om veilig kernen te boren in omgevingen met een verhoogd ontploffingsgevaar (Beton+, z.d.). Het aantal boorkernen dat per populatie holle welfsels wordt genomen, is afhankelijk van de oorspronkelijke milieuklasse. Wanneer de vloerelementen afkomstig zijn uit milieuklasse XC1, is er geen reden om aan te nemen dat het carbonatatiefront of het chloridegehalte verschilt tussen elementen met een identieke functie (J. Vander Beken, persoonlijke communicatie, 25 februari 2026). Als gevolg wordt er één boorkern genomen per populatie holle welfsels die representatief is voor de volledige populatie. Voor elementen in de overige milieuklassen, waarin schadelijke stoffen voorkomen, wordt de Noorse standaard NS 3682:2022 gehanteerd. Hierbij worden boorkernen genomen uit 2% van de vloerelementen, met een absoluut minimum van drie elementen (en bijgevolg drie kernen) (Standard Norge, 2022). Op elke boorkern kan zowel een fenolftaleïneproef als een chlorideproef worden uitgevoerd. Hiervoor worden de kernen over de lengte in tweeën gezaagd, waardoor twee halve cilinders ontstaan voor afzonderlijke analyse (Matthys, 2020). Deze proeven worden beschreven in 4.6.4.3. 'Fenolftaleïneproef' en 4.6.4.4. 'Chlorideproef'.



Benodigdheden

Diamantboor

Bijtel

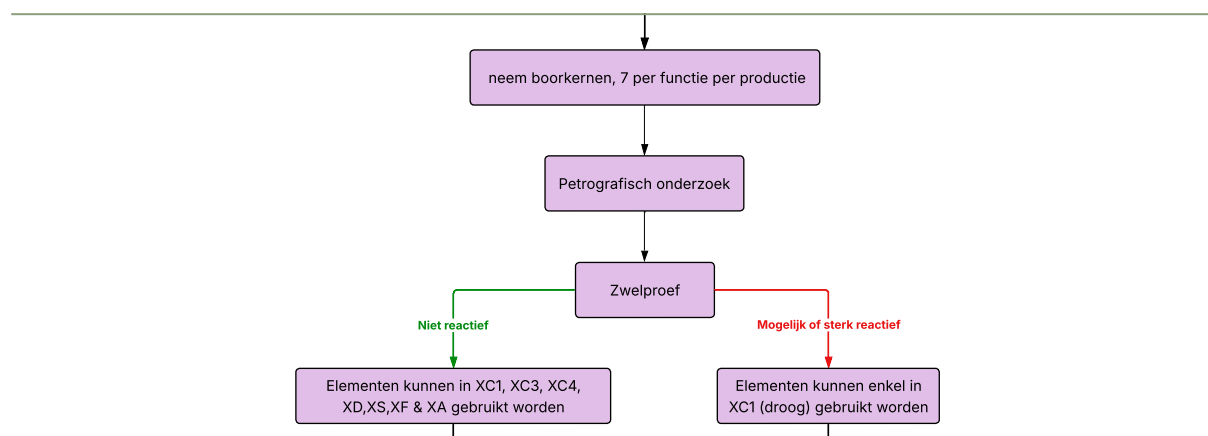
Tabel 16: *Benodigdheden boorkernen nemen.*



Figuur 105: *Diamantboringen.* Overgenomen van *Betonboren*, door Kwakkel.



4.6.4.2. Alkali-silica reactie

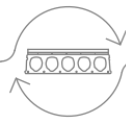


Figuur 106: Overzicht stappen alkali-silica reactie proeven.

Holle welfsels worden voornamelijk gebruikt in woningen, appartementen, scholen en winkelruimtes (FebeFloor, 2020). Dankzij de gunstige verhouding tussen kosten, overspanning en materiaalgebruik zijn holle welfsels een standaardkeuze voor grootschalige industriële bouwprojecten en kantoorgebouwen (J. Vander Beken, persoonlijke communicatie, 25 maart 2026). Als gevolg behoort het overgrote deel tot milieuklasse XC1, waarbij het risico op blootstelling aan schadelijke stoffen minimaal is. Er kan geconcludeerd worden dat het overgrote deel van de holle welfsels ingezet wordt in een droge binnenomgeving. Voor ASR moeten alkaliën, vocht en reactief silica in voldoende mate aanwezig zijn (Thomas et al., 2011). In het geringe aantal projecten waar holle welfsels in contact komen met de buitenomgeving, is de kans klein dat al deze factoren gelijktijdig in de kritische verhoudingen aanwezig zijn. Als gevolg verwachten we doorgaans geen alkali-silica reactie op holle welfsels (T. Soetens, persoonlijke communicatie, 23 maart 2026). Aangezien holle welfsels ook in open parkeergebouwen worden toegepast, kan het niet volledig worden uitgesloten (FebeFloor, 2020). Om die reden zijn de respectievelijke stappen opgenomen in het beslissingsdiagram. Specifiek onderzoek naar ASR zal enkel plaatsvinden bij een zichtbaar schadepatroon of een verhoogd risico op reactieve toeslagstoffen. Als de aanwezigheid van dergelijke toeslagstoffen vooraf bekend is, worden de elementen uiteraard niet hergebruikt in externe omgevingen waar blootstelling aan alkaliën mogelijk is. Met andere woorden zal de uitkomst van dit onderzoek bepalen in welke milieuklasse het element ingezet zal worden.

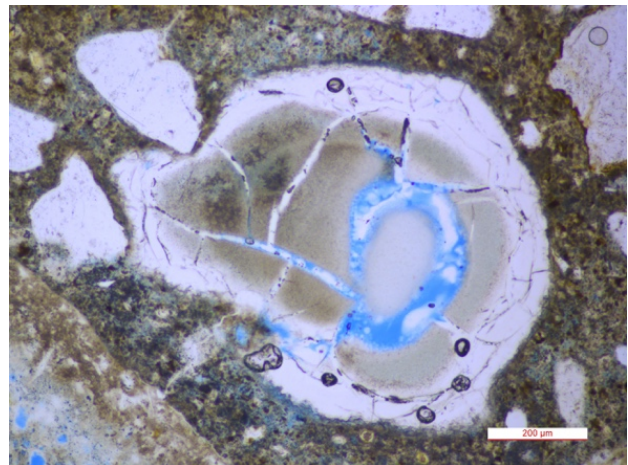
4.6.4.2.1. Petrografisch onderzoek

Bij een petrografisch onderzoek wordt er aan de hand van een macro- en microscopische analyse onderzoek gedaan naar de betonbestanddelen en de betonstructuur. Een eerste indruk over de aard van de betonstructuur wordt verkregen tijdens het macroscopisch onderzoek. Hierbij wordt de boorkern meestal over de lengte doormidden gezaagd en vervolgens geïmpregneerd met fluorescerende epoxyhars. Op basis van deze bevindingen wordt een kleiner, nader te onderzoeken, blokje gezaagd uit de boorkern. Vervolgens wordt die onder vacuüm geïmpregneerd met hetzelfde epoxyhars; op deze manier worden alle scheuren, holten en poriën gevuld met de hars. Het blokje wordt afgeslepen tot een betonvlies met een dikte van ongeveer 20 µm, om vervolgens met behulp van polarisatie- en fluorescentiemicroscopie onderzocht te worden (Nebest, z.d.). Op deze manier kan een verdacht scheurpatroon met zekerheid worden geclassificeerd als alkali-silica reactie (Rockview, z.d.).



Benodigdheden
Boorkern
Diamantzaag
Vacuüm-impregneerapparaat
Fluorescerende epoxyhars
Slijp- en polijstmachine
Stereomicroscoop
Polarisatiemicroscoop
UV-lichtbron

Tabel 17: Benodigdheden petrografische proef.



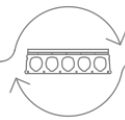
Figuur 107: Alkali-silica reactie onder petrografische microscoop. Overgenomen van *Concrete Petrography - ASTM C856 is the standard practice for petrographic examination of hardened concrete*, door SGS.

4.6.4.3. Zwelproef

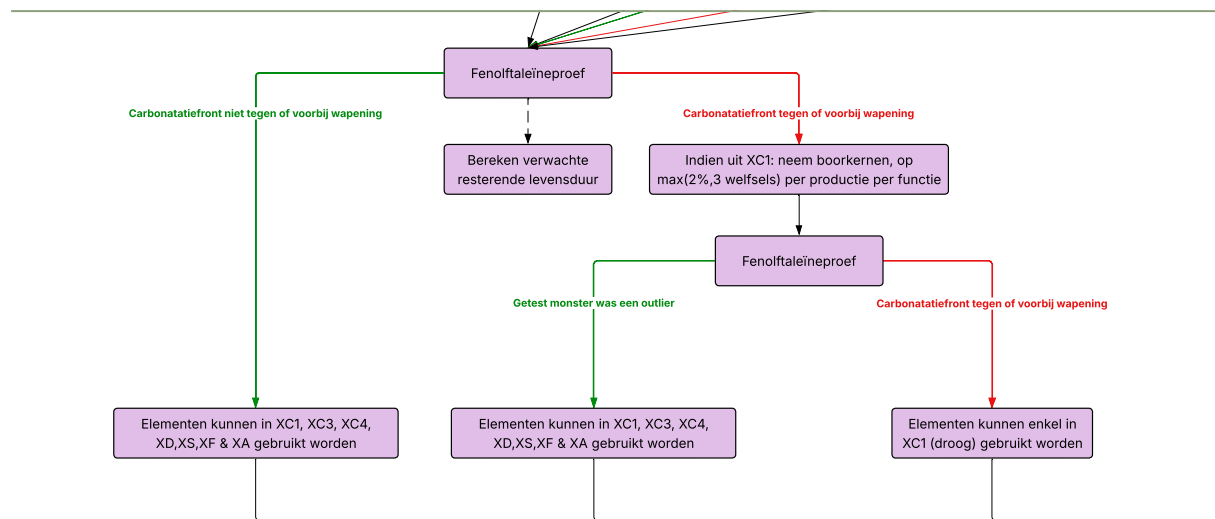
Wanneer er een risico is op ASR, maar er nog geen zichtbaar schadepatroon is op te merken, kan men een expansieproefprocedure volgen. Deze proef geeft een indicatie over de te verwachten reactiviteit (Desmyter et al., 2002). Per populatie holle welfsels worden zes boorkernen genomen, die gezamenlijk één testreeks vormen (T. Soetens, persoonlijke communicatie, 26 maart 2026). De boorkernen worden gedurende 24 uur ondergedompeld in water met een constante temperatuur van 80°C. Na deze conditionering vindt de nulmeting van de lengte plaats bij kamertemperatuur. Vervolgens worden de monsters ondergedompeld in een 1M NaOH-oplossing op 80°C. Volgens de originele methodiek van Oberholster en Davies wordt de gemiddelde expansie na 12 dagen blootstelling aan deze oplossing gehanteerd als referentiewaarde voor het identificeren van potentiële alkali-silica reactiviteit (Oberholster & Davies, 1986). Afhankelijk van de nationale normen worden meettermijnen tussen de 10 en 28 dagen gehanteerd om de reactiviteit van het toeslagmateriaal betrouwbaar vast te stellen (Grattan-Bellew, 1996). Deze proef wordt uitgevoerd in combinatie met 4.6.4.2.1. 'Petrografisch onderzoek', om te verifiëren of de waargenomen expansie van de kernen daadwerkelijk wordt veroorzaakt door alkali-silicareactiviteit (Grattan-Bellew, 1996).

Benodigdheden
6 boorkernen
Temperatuurgeregeld bad
Meetapparatuur
1 molaire NaOH-oplossing

Tabel 18: Benodigdheden zwelproef.



4.6.4.4. Fenolftaleïneproef

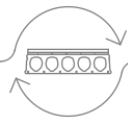


Figuur 108: Overzicht stappen carbonatie.

De aanwezigheid van calciumhydroxide, een reactieproduct van cement met water, zorgt ervoor dat het poriewater een hoge concentratie OH^- en Ca^{2+} -deeltjes bevat. Als gevolg heeft het beton een hoge pH-waarde, van 12 à 13, die zorgt voor een gunstige omgeving voor de wapeningsstaven. De Fe^{2+} -ionen van deze staven vormen met de OH^- -ionen een laag ijzer(II)hydroxide ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) op het staaloppervlak. Deze laag beschermt de wapening af van het poriewater, waardoor corrosie wordt voorkomen (Beton, 2024).

Niet alleen bomen, maar ook beton neemt CO_2 op uit zijn omgeving. De opgenomen CO_2 zal reageren met de OH^- en Ca^{2+} -deeltjes in het poriewater tot calciumcarbonaat en water, deze chemische reactie noemt men 'carbonatie'. De diepte tot waar het carbonatieproces is doorgedrongen noemt men het carbonatiefront (Beton, 2024). Aangezien CO_2 overal aanwezig is, al dan niet in verschillende concentraties, zal dit proces invloed hebben op alle betonstructuren (Dervishaj et al., 2025). De voortgaande carbonatie zal de pH-waarde van het poriewater doen dalen tot een waarde van ongeveer 9 (Beton, 2024). Deze reductie depassiveert de beschermende laag ijzer(II)hydroxide, waardoor de wapening in direct contact komt te staan met vocht en gevoelig wordt voor corrosie (Dervishaj et al., 2025). Aangezien er poriewater nodig is om CO_2 in op te lossen, verloopt de carbonatiesnelheid in zeer droge en zeer natte omgevingen uiterst traag. In een droge omgeving ontbreekt het water dat nodig is voor de chemische reactie. In een verzadigde omgeving zijn de poriën gevuld met water, waardoor het transport van het reactieproduct wordt geblokkeerd en er geen zuurstof aan de wapening kan. De hoogste carbonatiesnelheden zijn te vinden bij een relatieve luchtvochtigheid tussen de 60% en 70% (Matthys, 2020). Omdat het carbonatiefront binnen dezelfde structuur en onder gelijke randvoorwaarden gelijkmatig verloopt, kan er over de volledige lengte van de wapeningsstaaf corrosie ontstaan (Beton, 2024).

De milieuklasse waarin de holle welfsels werden gebruikt, heeft invloed op de diepte van het carbonatiefront (Dervishaj et al., 2025). Als gevolg heeft zowel de milieuklasse als de vastgestelde effectieve diepte van het carbonatiefront een invloed in welke milieuklasse de geoogste elementen gebruikt zullen worden. Elementen uit de milieuklassen XC3 en XC4 vertonen doorgaans een hogere carbonatiesnelheid dan die uit klasse XC1 (Dervishaj et al., 2025). Bij hergebruik binnen dezelfde milieuklasse vormen XC1-elementen geen risico op

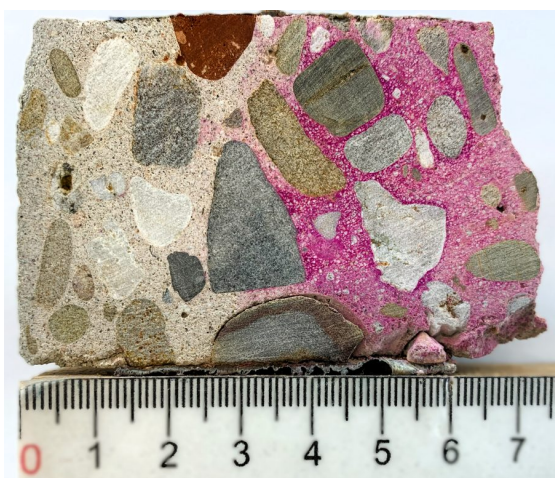


wapeningscorrosie, aangezien de afwezigheid van water in het beton het corrosieproces verhindert (Beton, 2024). Zelfs wanneer het carbonatatiefrent tot voorbij de wapening is gevorderd, blijven de elementengeschild voor hergebruik, mits ze in een droog binnenklimaat worden toegepast (T. Soetens, persoonlijke communicatie, 23 maart 2026). De carbonatatiesnelheid kan effectief worden vertraagd door elementen her te gebruiken in een minder kritieke milieuklasse (Dervishaj et al., 2025).

Om de diepte van het carbonatatiefrent op een boorkern visueel waar te nemen, wordt een fenolftaleïneproef uitgevoerd. Deze indicator kleurt paars-rose bij contact met beton met een pH-waarde van 12 of hoger, terwijl deze kleurloos blijft bij een pH-waarde onder de 9. Deze methode brengt het corrosierisico in kaart en maakt het mogelijk de resterende tijd tot het bereiken van de wapening te berekenen (Matthys, 2020).

Benodigdheden
Boorkern
Diamantzaag
Fenolftaleïne
Meetlat

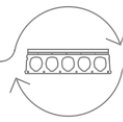
Tabel 19: *Benodigdheden onderzoek carbonatatie diepte.*



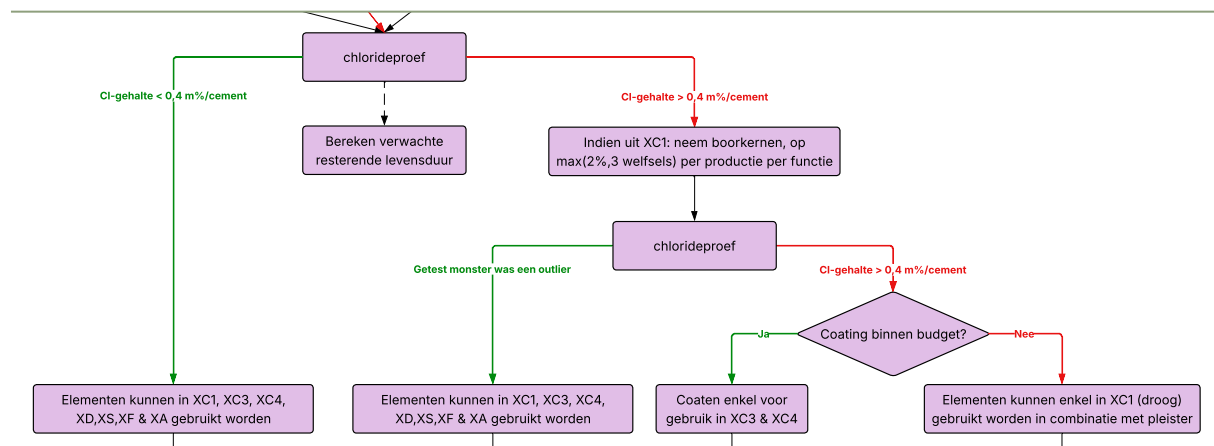
Figuur 109: *Fenolftaleïneproef op betondeel.* Overgenomen van *Grondige laboproeven voor diepgaand betononderzoek*, door Beton+.



Figuur 110: *Betonschade door wapeningscorrosie carbonatie-gerelateerd.* Overgenomen van *What is concrete spalling*, door Armorsil, 2023.



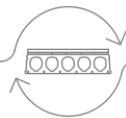
4.6.4.5. Chlorideproef



Figuur 111: Overzicht stappen chloride.

Naast depassivatie door carbonatatie kan ook een kritische concentratie aan chloriden leiden tot corrosie van de wapeningsstaven (Ali et al., 2024). Hierbij dringen zowel chloriden uit de omgeving als chloriden die al in de betonmatrix aanwezig zijn in naar de wapeningsstaven. Voorbeelden hiervan zijn chloriden afkomstig uit verontreinigd toeslagmateriaal, aanmaakwater of chloridehoudende versnellers, welke met name voor de jaren 1980 veelvuldig werden toegepast (Matthys, 2020). Chloriden dringen het betonelement voornamelijk binnen via capillaire poriën door middel van capillaire opzuiging, diffusie en penetratie. Omdat chloriden de wapeningsstaven lokaal bereiken, veroorzaken zij putcorrosie. In tegenstelling tot het carbonatatieproces, hebben chloriden geen invloed op de pH-waarde van het beton; zij doorbreken de passiveringslaag van de wapening uitsluitend op lokale punten (Ali et al., 2024). Als gevolg vormt de gedepasseerde plek een kleine anode, waarbij het omliggende staal fungeert als een zeer grote kathode. De kritische concentratie chloriden volgens de Belgische specificatie EN 206-1 waarbij wapeningscorrosie kan optreden is 0,4m%/cement, dit is de chlorideconcentratie vergeleken met de cementmassa. Uit de praktijk volgt dat bij een chlorideconcentratie groter dan 1 m%/cement er altijd corrosie optreedt. Net als bij het carbonatatieproces bestaat er voor chloride-geïnduceerde corrosie een optimale relatieve vochtigheid waarbij het risico op corrosie maximaal is. Zoals het geval is bij carbonatatie-geïnduceerde corrosie, leiden zowel een extreem hoge als een extreem lage relatieve vochtigheid tot een geringe corrosiekans. De optimale relatieve vochtigheid voor chloride-geïnduceerde corrosie is 85% (Matthys, 2020).

Om het chloridegehalte van een boorkern te achterhalen, maakt men gebruik van potentiometrische titratie volgens de norm EN 14629:2007 (NBN, 2007). Eén helft van de boorkern wordt in schijven verzaagd die fungeren als representatieve monsters voor het chlorideprofiel. Hierbij worden specifiek schijven genomen van het betonoppervlak, op de diepte van de wapening en uit de zone meteen daarachter. De schijven worden verbrijzeld tot betonstof waarop men de chlorideproef uitvoert (Matthys, 2020). Vervolgens wordt 1 tot 5 gram betonpoeder opgelost in een mengsel van 50 ml gedestilleerd water, 10 ml salpeterzuur (5 mol/l) en 50 ml warm water. In deze zure oplossing wordt een elektrodenpaar geplaatst, bestaande uit een referentie-elektrode met een stabiele potentiaal en een chloride-gevoelige indicator-elektrode. Tijdens de druppelsgewijze toevoeging van zilvernitraat wordt het elektrisch potentiaalverschil continu gemonitord. Het equivalentiepunt, waarbij alle chloride-ionen met het zilvernitraat hebben gereageerd, wordt gekenmerkt door een abrupte potentiaalsprong. Daarnaast wordt een blanco bepaling uitgevoerd op de gebruikte reagentia. Het verbruikte volume zilvernitraat



bij deze meting wordt genoteerd en in mindering gebracht op de resultaten van de betonmonsters om eventuele sporen van chloriden in de hulpstoffen te compenseren. Vervolgens wordt de chlorideconcentratie berekend met volgende formule (NBN, 2007):

$$CC = \frac{3,545 \cdot f \cdot (V_4 - V_3)}{m}$$

Waarbij

CC = chloridegehalte [%];

V_3 = volume van de zilvernitraatoplossing gebruikt in de titratie [ml];

V_4 = volume van de zilvernitraatoplossing gebruikt in de blanco bepaling [ml];

m = massa van het betonstofmonster [g];

f = molariteit van de zilvernitraatoplossing [-].

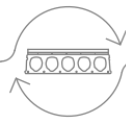
De uitkomst van deze proef zal beïnvloeden in welke milieuklasse de geogste elementen zullen gebruikt worden. Aangezien er voldoende vocht nodig is om het corrosieproces te starten (Matthys, 2020), kunnen elementen met een chloridegehalte boven de grenswaarde steeds ingezet worden in een droog binnenklimaat (T. Soetens, persoonlijke communicatie, 23 maart 2026). Wanneer men deze elementen toch in een buitenklimaat zal hergebruiken, kan het aanbrengen van een oppervlaktebehandeling het element beschermen tegen de indringing van water, chloriden en andere agressieve stoffen (Matthys, 2020).



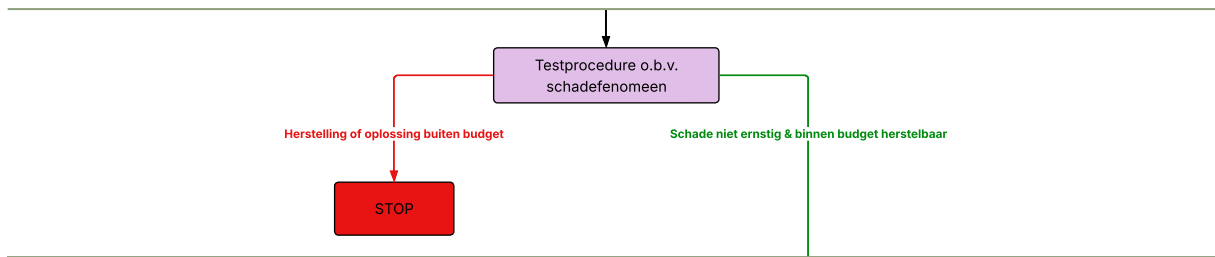
Figuur 112: Uitvoeren van een chlorideproef. Overgenomen van *Martin Memorial Center, North Parking Garage*, door Innovative Engineering.

Benodigdheden
Boorkern
Diamantzaag
Maalmolen
Potentiometer
Elektrodenpaar
Buret
Weegschaal
Zilvernitraatoplossing
Salpeterzuur
Gedestilleerd water

Tabel 20: *Benodigdheden onderzoek chloridegehalte.*



4.6.4.6. Testprocedure overige schadefenomenen

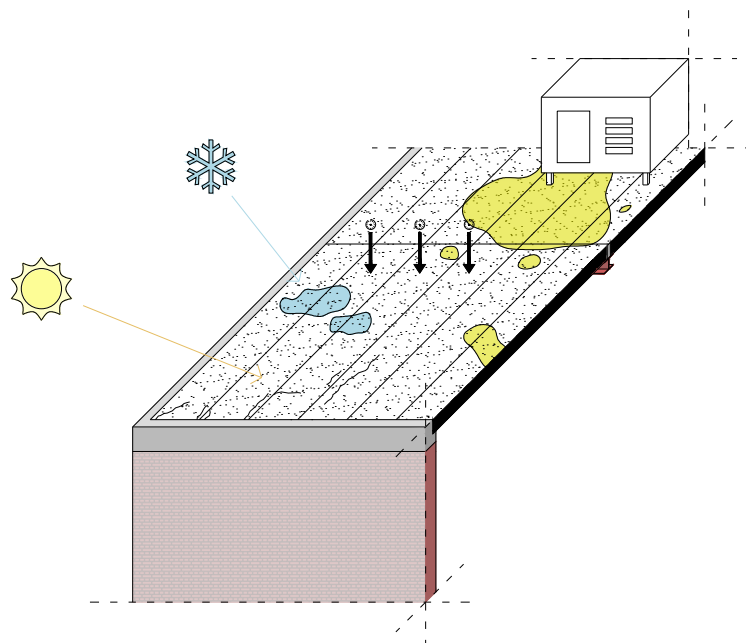


Figuur 113: Overzicht stappen proeven overige schadefenomenen.

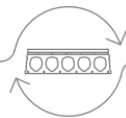
Buiten schade door chemisch agressieve stoffen, dat wordt beschreven in 4.6.2.2.4. 'Overige schade', kunnen uiterst specifieke schadefenomenen voorkomen op basis van de context waarin de elementen gebruikt worden. Zo kunnen er spanningsscheuren ontstaan door thermische uitzetting bij grote temperatuurverschillen, of vermoeiingsschade door dynamische belasting. Daarnaast kan er vorstschade optreden wanneer water via lekken in de bovenliggende structuur in contact komt met de elementen. Bovenstaande voorbeelden dienen onderzocht te worden in hun context en zijn hierdoor context-specifiek (Matthys, 2020). Bij elke schadeprocedure dient men de herstelbaarheid in kaart te brengen met de bijhorende kosten. Wanneer één of meerdere elementen onherstelbare of te kostbare schade vertonen, worden enkel de elementen geogost die alle voorgaande inspectiestappen in het beslissingsdiagram positief hebben doorstaan.

Benodigheden
Specifiek per schadefenomeen

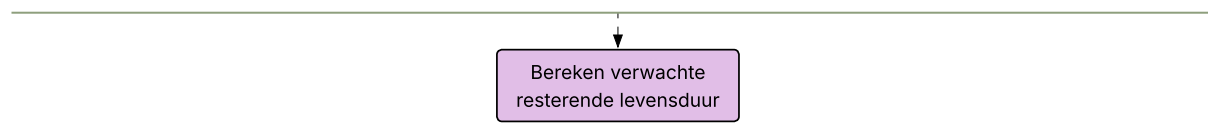
Tabel 21: Benodigheden testprocedure overige schadefenomenen.



Figuur 114: Visualisatie mogelijke schadepatronen.



4.6.4.7. Bereken de verwachte resterende levensduur



Figuur 115: *Overzicht stap berekenen verwachte resterende levensduur.*

Zodra het carbonatatiefront de wapening bereikt en de juiste condities voor corrosie aanwezig zijn, zal de wapening corroderen en de doorsnede ervan afnemen. Aangezien carbonatatie na verloop van tijd invloed heeft op alle betonnen structuren, kan de resterende levensduur worden berekend op basis van de gemeten carbonatatie diepte (Dervishaj et al., 2025). Chloride-geïnduceerde corrosie treedt uitsluitend op onder specifieke omstandigheden, waardoor het exacte tijdstip waarop de corrosie begint moeilijk te bepalen is. Bovendien is het nauwkeurig voorspellen van de mate van chloride-indringing complex, aangezien dit door een veelvoud aan factoren wordt beïnvloed (Ali et al., 2024). In een omgeving zonder chloriden kan de resterende levensduur van holle welfsels doorgaans berekend worden op basis van de carbonatatiesnelheid en de milieuklasse. Chloride-geïnduceerde corrosie treedt immers hoofdzakelijk op bij blootstelling aan maritieme milieus of dooizouten. De totale levensduur van betonnen structuren, waaronder holle welfsels, wordt berekend met volgende formule (Dervishaj et al., 2025):

$$t_{SL} = t_{ini} + t_{prop}$$

Waarbij

t_{SL} = totale levensduur [jaren];

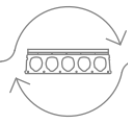
t_{ini} = initiatietijd [jaren];

t_{prop} = propagatietijd [jaren].

4.6.4.7.1. Resterende initiatietijd

De initiatiefase is de periode waarin het carbonatatiefront door de betondekking dringt, totdat dit front de wapening bereikt. Wanneer men de elementen oogst na hun eerste dienst, bevindt het carbonatatiefront zich al op een bepaalde diepte (Dervishaj et al., 2025). Deze diepte werd achterhaalt in 4.6.4.4. 'Fenolftaleïneproef'. Om de resterende initiatietijd – de periode die bijkomend nodig is voor het carbonatatiefront om de wapening te bereiken – te berekenen, maakt men gebruik van volgende formule (Dervishaj et al., 2025):

$$t_{r\ ini} = t_{ini} - t_a = \left(\frac{c}{k}\right)^2 - \left(\frac{x_1}{k}\right)^2$$



Waarbij

- $t_{r\,ini}$ = resterende initiatietijd [jaren];
- t_{ini} = initiatietijd [jaren];
- t_a = leeftijd van de structuur [jaren];
- c = betondekking [mm];
- k = carbonatatiesnelheid [$mm/\sqrt{jaar}$];
- x_1 = carbonatatiediepte op het moment van oogsten [mm].

De carbonatatiesnelheid (k) is afhankelijk van parameters zoals de diffusiecoëfficiënt, de milieuklasse en de chemische resistentie van het beton. Zo bedraagt de gemiddelde k -waarde voor een bepleisterd prefab-betonelement binnenshuis $0,15\ mm/\sqrt{jaar}$, terwijl dit voor de onderzijde van balkonplaten oploopt tot $3,1\ mm/\sqrt{jaar}$ (Dervishaj et al., 2025).

4.6.4.7.2. Propagatietijd

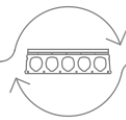
Zodra het carbonatatiefront de wapening bereikt, treedt depassivering op en kan het corrosieproces van start gaan. Omdat de gevormde corrosieproducten een groter volume innemen dan het oorspronkelijke staal, ontstaat er een inwendige expansiedruk die leidt tot scheurvorming en uiteindelijk tot het afbrokkelen van de betondekking (Matthys, 2020). Dit fenomeen kan leiden tot structurele schade en vormt de uiterste duurzaamheidsgrenstoestand. De periode die nodig is om betonscheuren te veroorzaken, is de propagatietijd. Deze tijdsspanne wordt berekend met volgende formule (Dervishaj et al., 2025):

$$t_{prop} = \frac{P_{corr}}{V_{corr}}$$

Waarbij

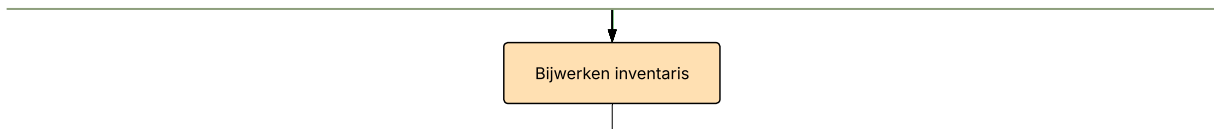
- t_{prop} = propagatietijd [jaren];
- P_{corr} = indringingsdiepte van de corrosie-aantasting op de uiterste grenstoestand van duurzaamheid [μm];
- V_{corr} = corrosiesnelheid [$\mu m/jaar$].

De totale resterende levensduur van holle welfsels wordt bepaald door de som van de resterende initiatietijd en de propagatietijd. De milieuklasse waarin de geoogste elementen gebruikt zullen worden, heeft een grote invloed op deze levensduur. In milieuklasse XC1 wordt een corrosiesnelheid van $0\ \mu m/jaar$ verondersteld (Dervishaj et al., 2025). Hierdoor kunnen elementen waarvan de initiatietijd is verstreken nog steeds veilig in deze klasse worden ingezet (T. Soetens, persoonlijke communicatie, 23 maart 2026).



4.6.5. Fase 5: Inventarisatie

4.6.5.1. Bijwerken inventaris



Figuur 116: Overzicht stap bijwerken inventaris.

Het voorbereidende onderzoekswerk is afgelopen, waardoor een gedetailleerde inventarisatie mogelijk is. Deze stap is cruciaal om, niet alleen bij grote projecten, overzicht te bewaren over de te oogsten elementen. Zoals gestaafd in Deelonderzoek 1, beperkt de recuperatie bij dergelijke projecten zich doorgaans niet tot slechts één type element. Door elk potentieel te oogsten element individueel te identificeren, wordt gedetailleerde informatie over de specifieke staat van elk afzonderlijk component gewaarborgd. Om deze werkwijze te standaardiseren, is het raadzaam een universele *factsheet* op te stellen. Hiermee wordt vastgelegd dat alle betonnen elementen, in elk demontageproject, op een uniforme wijze van informatie worden voorzien. Om dit te realiseren, heeft het Structural Xploration Lab van de EPFL een sjabloon ontwikkeld onder de titel: 'Factsheet template for Reinforced Concrete Components, Obsolete Structure Audit' (Devènes et al., 2023).

STRUCTURAL XPLORATION LAB
Factsheet template for Reinforced Concrete Components
Obsolete Structure Audit
April 2023
Authors: Julie Devènes, Maléna Bastien-Masse, Corentin Fivet

The obsolete structure audit is carried out prior to the deconstruction of a building. It consists in inventorying the obsolete structure's components and evaluating their properties. The collected information facilitates the integration of reclaimed components in the design of a receiving structure.

The factsheet summarizes all relevant information collected during the audit. It is normally an appendix of the report. This document proposes a template for the component factsheets to organize the data in a coherent and effective way.

For more information
Devènes J., Bastien-Masse M., Fivet C. Reusability assessment of reinforced concrete components prior to deconstruction from obsolete buildings. Submitted to journal of building engineering, 2023.

EPFL
EPFL ENAC IA SXL
Smart living Lab - HBL
Passage du Cardinal 13b
CH - 1700 Fribourg

Structural Xploration Lab
corentin.fivet@epfl.ch
<https://fxl.epfl.ch>

Factsheet template - Obsolete Structure Audit
April 2023
Devènes J., Bastien-Masse M., Fivet C.

Type: Type number
Name:

Category: Category name

Location

Figure

Photos

General photos

Color and finishing

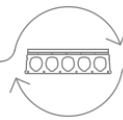
Close-up photos

Connections

Figures and close-up photos

EPFL
1 / 4

Figuur 117: Template inventarisatie structurele betonnen elementen, deel 1. Overgenomen van *Resource assessment for the reuse of load-bearing reinforced concrete components*, door Devènes et al., 2023.



Factsheet template – Obsolete Structure Audit

April 2023
Devènes J., Bastien-Masse M., Fivet C.

Type: Type number Category: Category name

Name

Dimensions 1:

Figure

Cross-section 1:

Figure

EPFL

2 / 4

Factsheet template – Obsolete Structure Audit

April 2023
Devènes J., Bastien-Masse M., Fivet C.

Type: Type number Category: Category name

Name

Description

Construction year

Material

Actual location

Initial function

Accessibility

Anchor points

Exposition

Color

Finishing

Overlays

Connection type

Deconstruction tool

Condition and durability

Damage class

Carbonation depth (mm)

Toxic substance

Mechanical characteristics

Concrete density (ρ_c)

Concrete compressive strength (f_{cd})

Concrete young modulus (E_c)

Reinforcement tensile strength (f_{td})

Reinforcement young modulus (E_s)

Component	Geometry			Inventory			Environmental impacts					
Subtype	Dimensions (W x L x T) (mm)	Reinforcement (mm)	Cross-section resistance (N/m)	Quantity (t)	Weight (kg/t)	Total area (m ²)	Total volume (m ³)	Significance	Initial production (kgCO ₂ -eq/t)	Conventional demolition (kgCO ₂ -eq/t)	Initial production (kWh oil-eq/t)	Conventional demolition (kWh oil-eq/t)

Additional information

Additional note

Attention point

EPFL

3 / 4

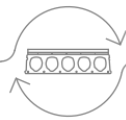
Figuur 118: *Template inventarisatie structurele betonnen elementen*, deel 2. Overgenomen van *Resource assessment for the reuse of load-bearing reinforced concrete components*, door Devènes et al., 2023.

Alle verzamelde informatie uit de voorgaande stappen van het beslissingsdiagram wordt gebundeld in dit sjabloon. De template werd onder andere gebruikt in het ontmantelingsproject van de Lysbüchel-parking in Bazel (Devènes et al., 2022). Deze geïnterpreteerde elementen zijn terug te vinden in de projecten beschreven onder 3.3.18. ‘Elementa – Parabase’ en 3.3.21. ‘L’Eclisse – Solanellas Van Noten Meister’. Zoals geconcludeerd in Deelonderzoek 1 vergemakkelijkt een goed opgestelde elementencatalogus de ontwerpfase van het project waarin de elementen gebruikt zouden worden. Ook wanneer geoogste elementen rechtstreeks in een nieuw project worden hergebruikt, is een gestructureerde inventaris essentieel. Door deze direct bij de eerste oogst aan te leggen, wordt een toekomstige tweede demontage aanzienlijk vergemakkelijkt.

Aangezien geoogste elementen mogelijks getransporteerd worden naar verschillende locaties, is het belangrijk dat elk element gekoppeld wordt aan zijn eigen informatiefiche. Om dit mogelijk te maken wordt elk element voorzien van een unieke code waarvan de opbouw kan zijn: type element, nummer element, verdiep, locatie. Deze unieke code dient als paspoort voor één of meerdere elementen; bij identieke eigenschappen kunnen meerdere elementen onder dezelfde code vallen.

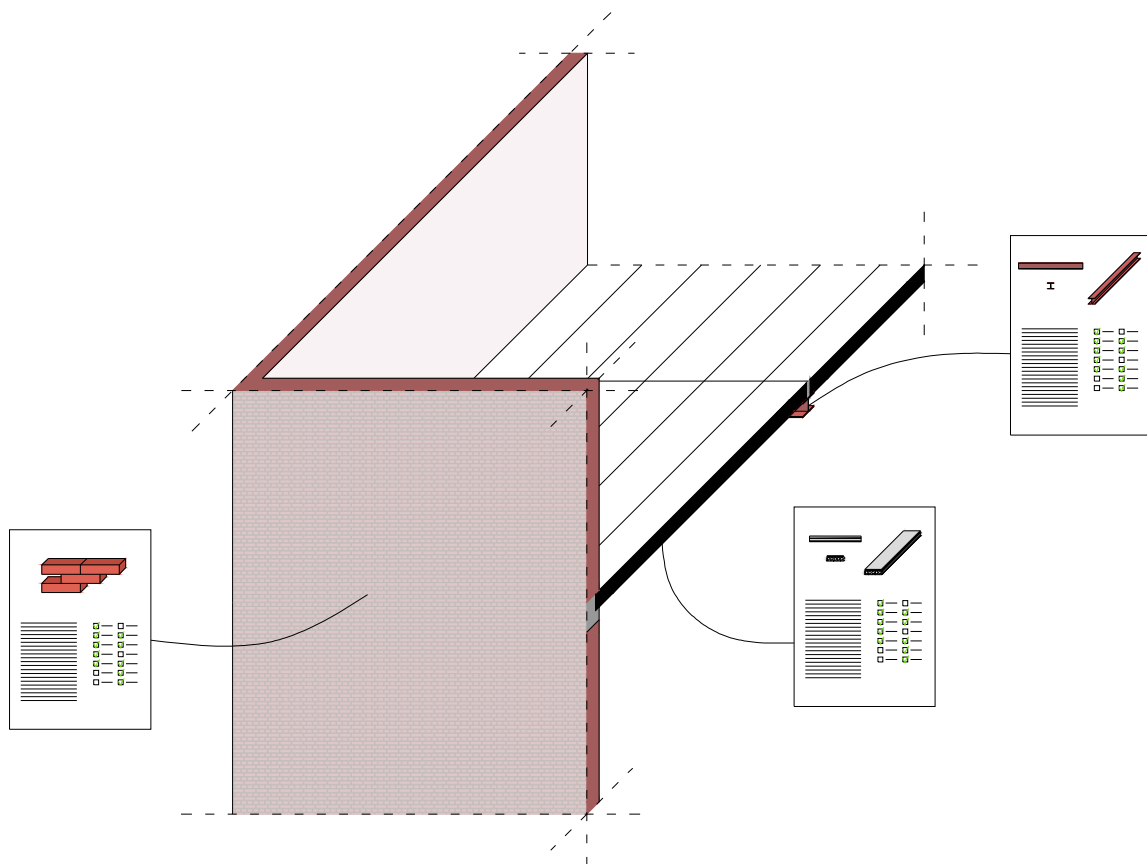
Elementcode	Uitleg
HV 1/+1 H	Hol Vloerelement 1/ uit verdiep +1 Hoeelement
HV 1/+5 R	Hol Vloerelement 1/ uit verdiep +5 Randelement
HV 38/+3 M	Hol vloerelement 38/ uit verdiep +3 Middenelement

Tabel 22: *Voorbeeld elementcodes en de bijhorende uitleg.*

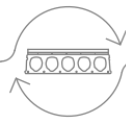


Benodigdheden
Sjabloon inventaris
Uitkomst voorgaand onderzoek

Tabel 23: *Benodigdheden bijwerken inventaris.*

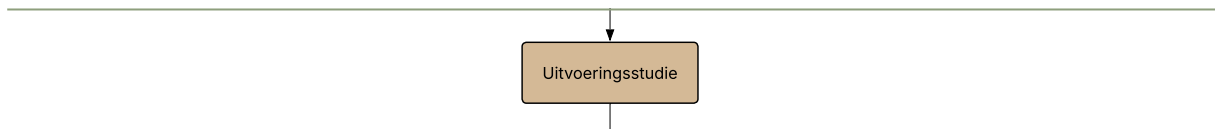


Figuur 119: *Visualisatie inventaris verschillende bouwmaterialen.*



4.6.6. Fase 6: Demontage

4.6.6.1. Uitvoeringsstudie

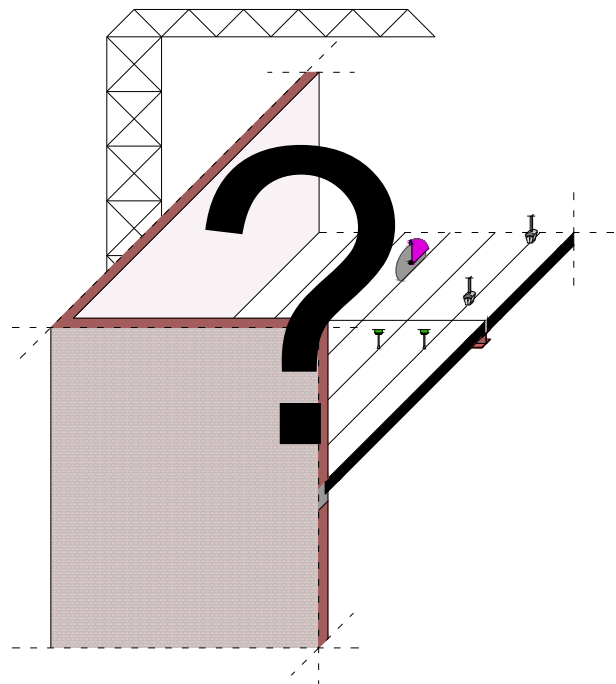


Figuur 120: Overzicht stap uitvoeringsstudie.

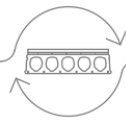
Na een zorgvuldige inventarisatie van de elementen, kan het demontageproces van start gaan. Zoals ook het geval is bij projecten met nieuw gefabriceerde elementen, is een uitvoeringsstudie van belang. Naast het correct inplannen van alle opeenvolgende activiteiten, oftewel projectplanning, wordt de werf logistiek georganiseerd (Buildwise, z.d.). De uitvoeringsstudie zorgt ervoor dat de juiste werkmaterialen op de werf voorzien worden. Hierbij selecteert men het type diamantzaag afhankelijk van de diepte waarin gezaagd moet worden, dit zal afhangen van de dimensies van het element. De overige apparatuur die nodig is om de elementen volledig los te maken wordt voorzien. Het uithijzen met een mobiele kraan is momenteel de enige methode om de vloerelementen te oogsten. Omgevingsfactoren bepalen de maximale werkstraal en het type kraan, wat een belangrijke impact heeft op de totale ontmantelingskosten. Het behouden van de druklaag, mits voldoende aangehecht, verzwaart de elementen aanzienlijk. Dit heeft niet alleen gevolgen voor de nodige kraancapaciteit, maar beperkt ook het aantal vloerelementen per vrachtwagenlading (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026). Blijkt de aanhechting van de druklaag onvoldoende, dan voorziet men logischerwijs het benodigde materiaal om deze laag te verwijderen. Hiervoor kan eventueel een freesmachine ingezet worden dat vergelijkbaar is met een *cold milling machine* in de wegenbouw (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 25 maart 2026).

Benodigdheden
Planningsprogramma
Uitvoeringsplannen
Inventaris

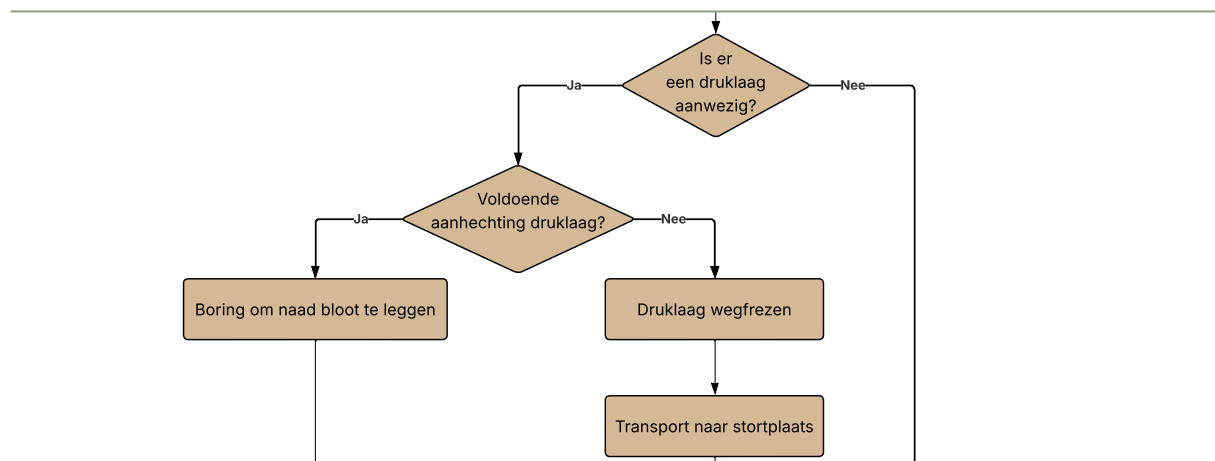
Tabel 24: Benodigdheden uitvoeringsstudie.



Figuur 121: Visualisatie 'hoe demonteren?'.



4.6.6.2. Verwijder druklaag



Figuur 122: Overzicht stappen verwijderen druklaag.

Volgens de doelstelling van dit onderzoek om zo weinig mogelijk betonafval te produceren, wordt het verwijderen van de druklaag enkel uitgevoerd bij een negatieve uitkomst van 4.6.3.1. 'Aanhechtingsproef'. Hoewel een druklaag de draagkracht van het holle welfsel verhoogt (FebeFloor, 2020), is dit afhankelijk van de hechting tussen beide lagen. Bij onvoldoende aanhechting treedt ontkoppeling op nog voordat de volledige capaciteit van het samengestelde element is bereikt (Beton, 2022). In dat geval functioneren de onderdelen niet meer als één constructief geheel, waardoor de druklaag zijn meerwaarde verliest. Bij voldoende aanhechting behoudt men de druklaag en zal men een tussenstap moeten uitvoeren alvorens de demontage kan van start gaan. Een vanaf de onderzijde geboord gat op enkele voegknooppunten creëert een zichtbaar referentiepunt aan de bovenzijde (J. Vander Beken, persoonlijke communicatie, 25 februari 2026).

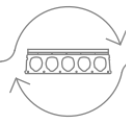
Handmatige verwijdering van de gewapende druklaag vereist voorzichtigheid om de integriteit van de holle welfsels te waarborgen. Gezien de hoge arbeidsintensiteit en de bijhorende kosten per vierkante meter, is deze optie voor omvangrijke projecten zelden de meest efficiënte keuze. Er wordt geopteerd voor een machinale verwijdering met een freesmachine. Hoewel deze apparatuur momenteel vooral in de wegenbouw dient, maken enkele eenvoudige aanpassingen de machines inzetbaar in ontmantelingsprojecten (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 25 maart 2026). Het gecreëerde betonpuin wordt eenvoudig verzameld in een afvalcontainer en naar de stortplaats gebracht. De granulaten kunnen worden hergebruikt in gerecycleerd beton, of het beton wordt gescheiden in de oorspronkelijke bestanddelen. Op deze manier zal het deel betonpuin dat in deze stap gecreëerd wordt opnieuw worden ingezet, waardoor het bijdraagt aan duurzaam bouwen (A. Jansen, z.d.).

Benodigdheden
FreemACHINE
Afvalcontainer

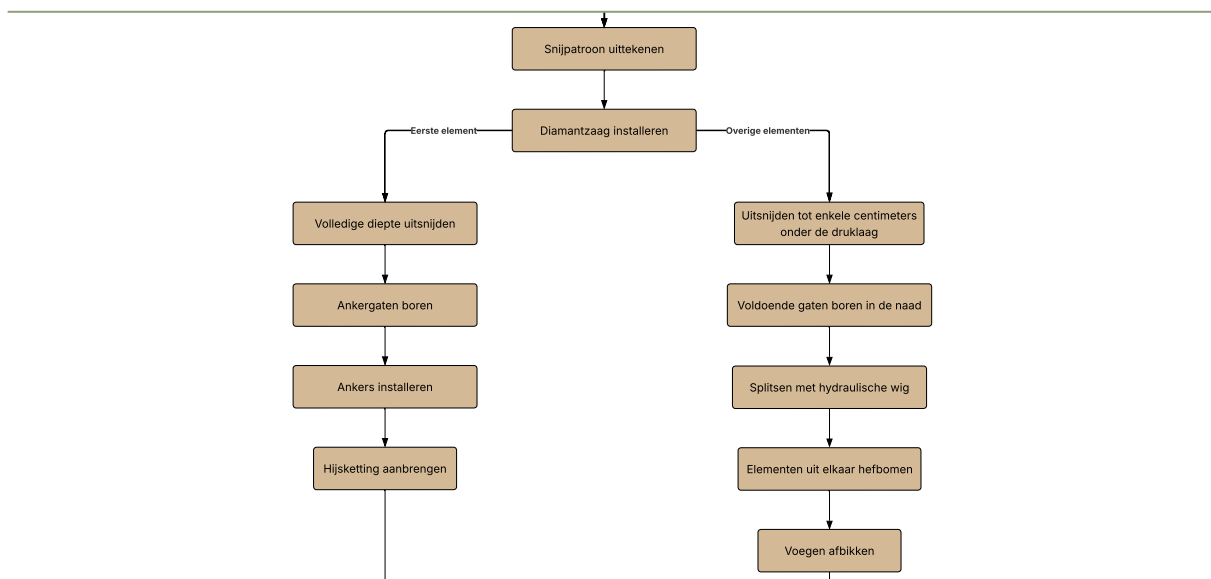
Tabel 25: Benodigdheden verwijderen druklaag.



Figuur 123: Cold milling machine in de wegenis. Overgenomen van *Wirtgen introduces small milling machine in 1-m class*, door Southeast Asia Construction.



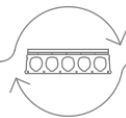
4.6.6.3. Elementen losmaken



Figuur 124: Overzicht stappen ontmanteling.

Na alle voorgaande procedures in het beslissingsdiagram, liggen de elementen klaar om geoogst te worden. De voegvulling waarborgt momenteel de samenhang tussen de holle welfsels (Ergon, 2018); het losmaken van deze voegen is dan ook de eerste stap in het demontageproces. Vaak worden de elementen over hun volledige dikte losgezaagd met een diamantzaag. Deze stap brengt aanzienlijke kosten met zich mee (Snoek & Knuiman, 2021). Zo bedragen de geschatte kosten voor het zagen in beton €0,75 per centimeter diepte per strekkende meter bij een dikte tot 20 cm. Voor diktes tussen de 20 en 30 cm stijgt deze prijs naar €0,95 per centimeter diepte per strekkende meter (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026). Bij een gangbare diepte van 20 cm, bestaande uit een vloerelement van 15 cm en een druklaag van 5 cm, komt dit neer op €15 per lopende meter. Wanneer deze hoogte 25 cm wordt, bestaande uit een vloerelement van 20 cm en een druklaag van 5 cm, komt dit neer op €23,75 per lopende meter. Bij grotere aantallen holle welfsels vormen deze kosten een substantieel aandeel in de totale projectbegroting.

Dit hoofdstuk introduceert een alternatieve en goedkopere methode voor het oogsten van deze elementen. Wanneer de te oogsten elementen zonder druklaag zijn ingezet, of de druklaag in de vorige stap is verwijderd, dan zijn de voegen aan de bovenzijde zichtbaar en kan men meteen van start gaan. Indien de druklaag behouden blijft, fungeren de geboorde gaten op de kruispunten van de voegen als merkpunten. Vervolgens kan een snijpatroon uitgetekend worden op de bovenzijde van de vloer.



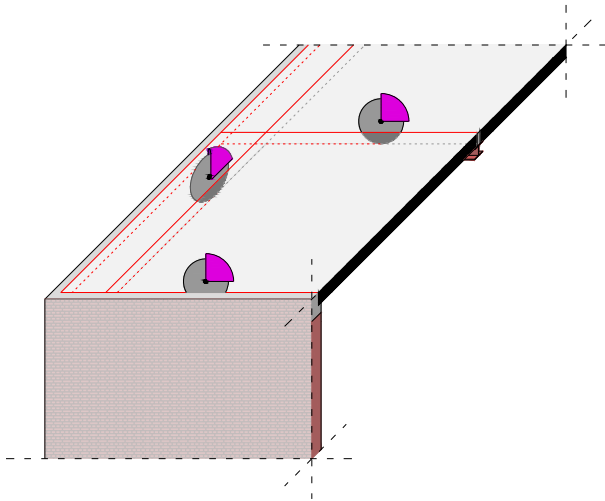
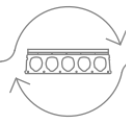
Figuur 126: *Demontage parkeergebouw Lysbüchel.*
Overgenomen van Schiffner, 2024.



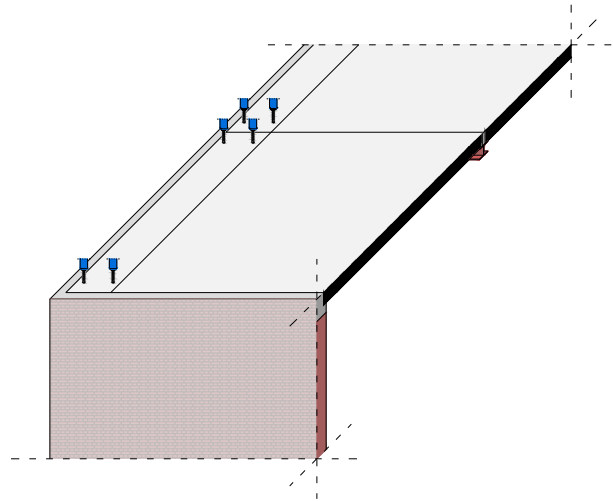
Figuur 125: *Vervangen zaagblad diamantzaag.*
Overgenomen van Schiffner, 2024.

4.6.6.3.1. Eerste element

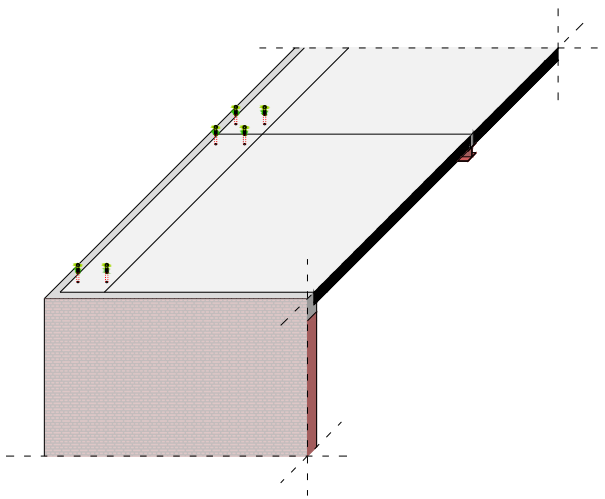
Omdat de elementen naadloos op elkaar aansluiten, moet het eerste element van elke rij over de volledige dikte worden losgezaagd. Na het doorzagen van de kopse zijden van alle elementen over de totale dikte, kan de daadwerkelijke demontage van de overige welfsels van start gaan. Aangezien er in deze configuratie nog geen ruimte is om de eerste elementen uit te hijsen met een welfselklem, zullen de eerste elementen geoogst worden aan de hand van hijsankers. Deze worden in nieuwe gefabriceerde holle welfsels, die niet met een aangepaste klem worden gehesen, voorzien door de fabrikant (Dycore, 2024). In het demontagegeval worden de hijsankers geïnstalleerd door het ontmantelingsteam. Aangezien de situatie vergelijkbaar is met nieuwe elementen waarbij de ankers al voorzien zijn, volgt men dezelfde instructies. De belangrijkste restrictie is dat de hoek tussen de plaat en de hijskabel nooit kleiner mag zijn dan 60° in elke richting (Megaton/Structo, z.d.). Nadat de hijsankers in het element zijn aangebracht, zijn de elementen klaar voor de uithijsfase.



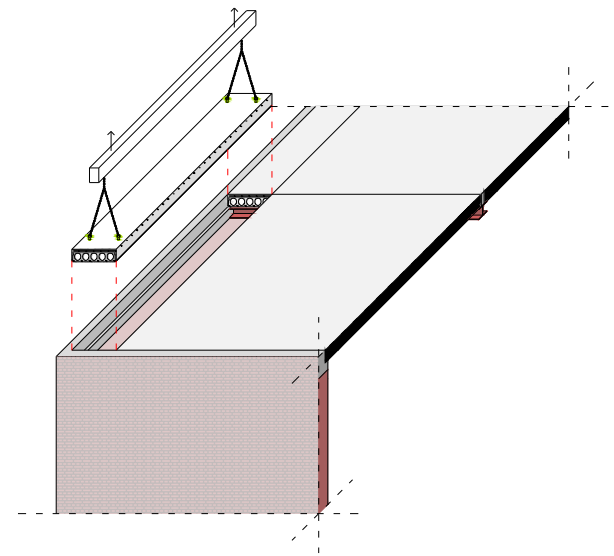
Figuur 130: Visualisatie uitsnijden eerste elementen.



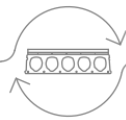
Figuur 129: Visualisatie gaten boren in eerste elementen.



Figuur 128: Visualisatie ankers in eerste elementen.



Figuur 127: Visualisatie uithijzen eerste elementen.



4.6.6.3.2. Overige elementen

Nadat de eerste elementen zijn uitgehesen en er manipulatieluimte is ontstaan, volgen de overige elementen een andere losmaakmethode. Met een diamantzaag snijdt men in de voegen tot enkele centimeters onder de bovenzijde van de prefab elementen. Daarbij wordt het wapeningsnet van de druklaag doorgesneden en geeft men een aanzet voor het vervolgproces. Vervolgens boort men in deze snee enkele gaten, waarvan de hoeveelheid afhangt van de lengte van het element. Deze gaten moeten groot genoeg zijn voor de hydraulische wig, die vervolgens een splijtkracht uitoefent in deze gaten op de aanliggende elementen. Wanneer de zaagsnede slechts tot de dikte van de druklaag loopt, ontstaat er louter onthechting tussen de druklaag en het element, waardoor de elementen niet loskomen (R. Caspeele, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026). Aangezien de betonsterkteklasse van voegbeton lager is dan de betonklasse van het holle vloerelement (FebeFloor, 2020), ontstaat er een splijtvlak in het voegbeton waardoor de elementen loskomen van elkaar. De kracht die de wig moet uitvoeren op de elementen moet groter zijn dan de treksterkte van het voegbeton en wordt berekend voor sterkteklassen kleiner dan of gelijk aan C50/60 met volgende formule (Vandewalle & Hardy, 2018):

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck,cyl}^{2/3}$$

Waarbij

f_{ctm} = gemiddelde betontreksterkte [MPa];

$f_{ck,cyl}$ = karakteristieke druksterkte bepaald op cilinders met diameter 150 mm en hoogte 300 mm [MPa].

Deze krachtsystematiek is een conservatieve benadering, aangezien in werkelijkheid de aanhechting tussen het voegbeton en het element de zwakke schakel vormt (T. Soetens, persoonlijke communicatie, 19 mei 2026). Binnen deze filosofie wordt de hechting als sterker beschouwd dan het voegbeton, waardoor men aan de veilige kant rekent. Aangezien de gemiddelde betontreksterkte uitgedrukt wordt in MPa, oftewel N/mm², kan er eenvoudig omgerekend worden naar de kracht die nodig is om de treksterkte van het voegbeton over een bepaalde oppervlakte te bereiken. De wrijvingsweerstand tussen het betonnen element en het draagvlak dient in de berekening te worden opgenomen, aangezien men ook deze kracht moet overwinnen. De nodige totale splijtkracht wordt berekend met volgende formule:

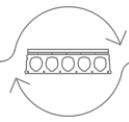
$$F_{ctm/opp} = f_{ctm} \cdot L \cdot d + \mu_s \cdot N$$

Waarbij

$F_{ctm/opp}$ = nodige wigkracht [N];

f_{ctm} = gemiddelde betontreksterkte [MPa];

L = lengte van het element [mm];



d = hoogte van het te splitsen oppervlak [mm].

μ_s = statische wrijvingscoëfficiënt [-];

N = normaalkracht [N].

Bij een element met een totale dikte van 335 mm (bestaande uit een vloerelement van 265 mm en een druklaag van 70 mm) en een overspanning van 8 m, wordt uitgegaan van een voorafgaande zaagsnede met een diepte van 120 mm. Hierdoor hoeft er over een resterende dikte van slechts 215 mm te worden gespleten. Uitgaande van de minimale druksterkteklasse C25/30 voor het voegbeton, bedraagt de benodigde splijtkracht hiervoor 4 425,3 kN. Wanneer er drie gaten worden voorzien om de splijtkracht op de elementen uit te oefenen, bedraagt de benodigde kracht per wig 1.475,1 kN. De maximale splijtcapaciteit van een hydraulische Darda C12-betonwig bedraagt 4.048 kN (Darda, z.d.), wat ruim voldoende is voor deze toepassing. Desondanks wordt er gekozen voor drie wiglocaties per vloerelement om het risico op ongewenste schade te minimaliseren.

Vervolgens wordt het losgemaakte element weggeschoven van de andere elementen om voldoende manipulatieplek te voorzien aan de gespleten zijde. Deze stap kan eenvoudig uitgevoerd worden aan de hand van een hefboomsysteem (Consolis VBI, 2025). De horizontale kracht die nodig is om het element te verschuiven, wordt berekend met volgende formule uit de sterkteleer:

$$F_s = \mu_s \cdot N$$

Waarbij

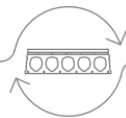
F_s = horizontale kracht nodig om element te verschuiven [N];

μ_s = statische wrijvingscoëfficiënt [-];

N = normaalkracht [N].

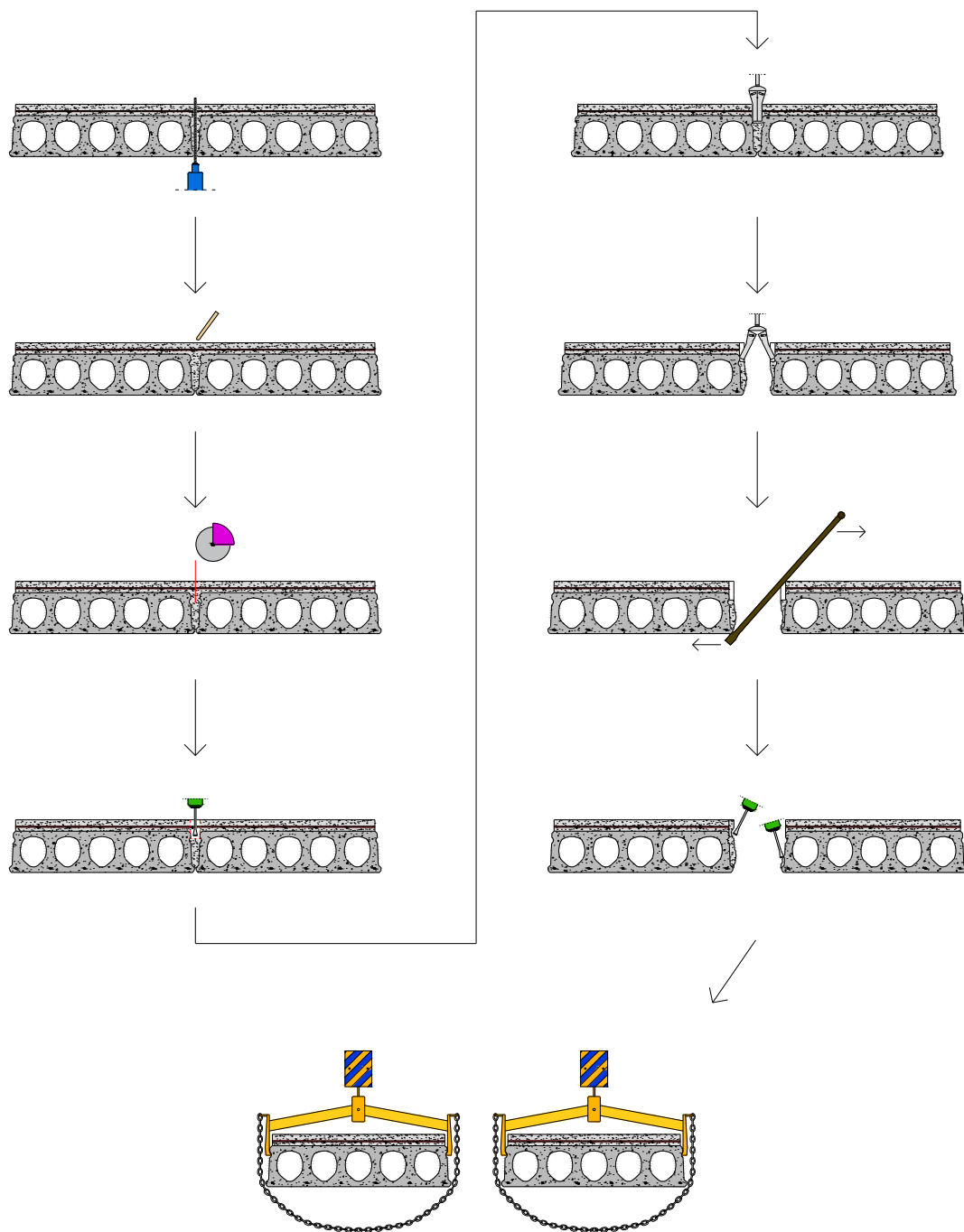
Wanneer de elementen op neopreen zijn opgelegd, is de statische wrijvingscoëfficiënt 0,9 (Bosch, 2019). Om een element met een hoogte van 335 mm (bestaande uit een vloerelement van 265 mm en een druklaag van 70 mm) en een overspanning van 8 m te verschuiven, is een horizontale kracht van 13,56 kN nodig. Hierna bikt men het overige voegbeton weg, waardoor het zijprofiel van het welfsel vrij komt te liggen. Na deze stap is het element klaar om uitgehesen te worden met een standaard welfselklem.

Hoe dieper men zaagt, hoe gemakkelijker de volgende stappen verlopen, maar ook hoe hoger de zaagkosten uitvallen. Er moet met andere woorden een optimaal evenwicht gevonden worden tussen de zaagdiepte en de benodigde wigcapaciteit om de treksterkte van het voegbeton te overwinnen. Aangezien de wigcapaciteit in het voorbeeld veel hoger is dan de treksterkte die overwonnen moet worden, kan de zaagsnede minimaal geschat worden. Hierbij dient men wel altijd enkele centimeters snede te voorzien onder de bovenzijde van het element om ongewenste schade aan de hechting te vermijden.



Benodigdheden
Betonboor
Krijt
Diamantzaag
Hijssankers
Hydraulische wig
Hefboom
Pneumatische hamer

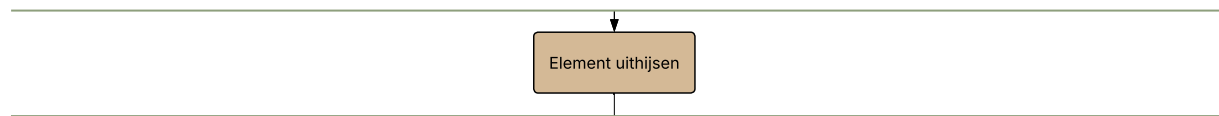
Tabel 26: Benodigdheden ontmanteling holle welfsels.



Figuur 131: Ontmantelingsprocedure holle welfsels.



4.6.6.4. Elementen uithijsen



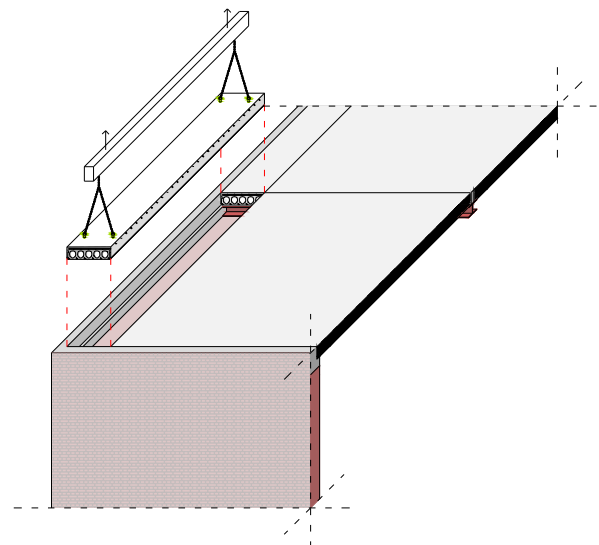
Figuur 132: *Overzicht stap uithijsen elementen.*

Vanwege de afwijkende ontmantelingsprocedure worden de eerste vloerelementen van een rij anders uitgehesen dan de overige elementen. In deze eerste werden in de vorige stap hijsankers voorzien. Hieraan worden hijskettingen aangebracht en volgt men dezelfde procedure als bij nieuwe elementen waarin de ankers al voorzien zijn door de fabrikant (Dycore, 2024). Om de stabiliteit van het element te waarborgen, mag de hoek tussen de plaat en de ketting in geen enkele richting kleiner zijn dan 60° (Megaton/Structo, z.d.). De elementen worden geladen op de vrachtwagen en getransporteerd naar hun bestemming. De hijsankers worden uit de elementen gehaald en kunnen opnieuw dienen in een volgend demontageproject. Aangezien het zijprofiel van de overige elementen vrij komt te liggen, is een manipulatie met welfselklem mogelijk. Ook hierbij volgt men dezelfde procedure als bij de manipulatie van nieuwe elementen. Dit houdt in dat de klem centraal op de plaat moet worden geplaatst, waarbij het element maximaal één meter buiten de klembekken mag uitsteken (Megaton/Structo, z.d.). De klem moet voorzien zijn van een evenaar, zodat de elementen gehesen kunnen worden zonder extra krachten in het welfsel te veroorzaken (Ergon, 2018). De hijskettingen aan de evenaar moeten voldoende lang zijn om een hijshoek van minimaal 60° te garanderen. Uit veiligheidsoverwegingen worden er veiligheidskettingen aan weerszijden van de klem aangebracht voordat het hijsproces start (Megaton/Structo, z.d.). De elementen worden vervolgens op de vrachtwagen geladen om te transporteren naar de bestemming.

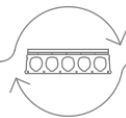
De keuze voor een geschikte kraan hangt af van de projectcontext. Bij kleine projecten, waarbij de holle welfsels minder dan drie ton wegen, volstaat een kraan met een lastmoment van 60 tonmeter. Bij grotere projecten zijn een hoger lastmoment en een grotere vlucht bepalend voor de keuze van het kraantype. In complexe situaties moet de kraan soms over andere gebouwen hijsen, waardoor een vlucht van 40 meter mogelijks noodzakelijk is. De huurprijs neemt logischerwijs toe naarmate de capaciteit van de kraan stijgt (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026). Concrete kostprijzen worden beschreven in 5.1.1. 'Kostprijzen'.

Benodigheden
Hijsketting
Aangepaste klem
Kraan

Tabel 27: *Benodigheden uithijsen elementen.*



Figuur 133: *Visualisatie uithijsen elementen met hijsankers.*



4.6.6.5. Elementen voorzien van code



Figuur 134: Overzicht stap elementen voorzien van code.

In het beschreven project onder 3.3.14. 'Eerste mini-pilotproject appartementsgebouw – LIIKE Architects, onder ReCreate' werd elk element voorzien van een unieke QR-code. Dit waarborgt de traceerbaarheid en zorgt ervoor dat alle relevante informatie aan het juiste element gekoppeld blijft (ReCreate project, z.d.). Aangezien inventarisatiefiches in een uniform sjabloon opgesteld zijn in 4.6.5.1. 'Bijwerken inventaris', worden deze gelinkt aan een scanbare QR-code. Deze code kan als sticker bevestigd worden op elk element tijdens de hijsprocedure. Logischerwijs krijgen identieke elementen die onder dezelfde condities hebben gediend en over gelijke eigenschappen beschikken, een gedeelde code. In dit geval fungeert de reeksbenaming, zoals beschreven in 4.6.5.1. 'Bijwerken inventaris', als unieke reeksidentificatie en wordt niet elk element apart van een benaming voorzien. De stickers worden aangebracht op de profielzijde van de elementen om geen sporen achter te laten bij toekomstig gebruik.

Benodigheden

Kleefbare QR-code

Tabel 28: Benodigheden QR-code.

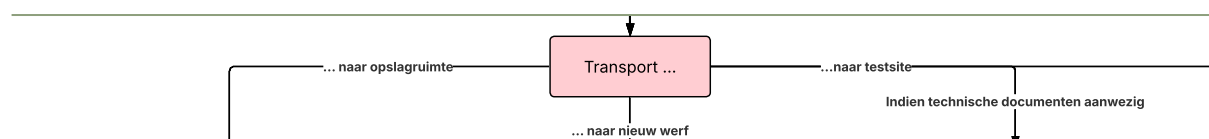


Figuur 135: QR-code naar de inventaris van het element.



4.6.7. Fase 7: Transport

4.6.7.1. Transport naar...



Figuur 136: *Overzicht stap transport.*

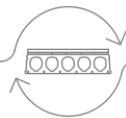
De elementen kunnen getransporteerd worden naar drie verschillende bestemmingen: de opslagruimte, de testsite of de nieuwe werf. Aangezien elementen die niet rechtstreeks naar een nieuw project gaan eerst worden verzameld in de opslagruimte, leggen deze elementen een grotere afstand af dan elementen die rechtstreeks getransporteerd worden naar een nieuw project. Rekening houdend met een gemiddelde transportprijs van €7/km (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026), heeft deze stap potentieel een aanzienlijke impact op de totale kosten. De uiteindelijke omvang hiervan is sterk afhankelijk van de afstanden tussen de demontagelocatie, de opslagruimte en de nieuwe projectbestemming.

Op de Belgische wegen is een Maximaal Toelaatbare Massa (MTM) van 48 ton toegestaan, mits het trekkend en het getrokken voertuig voldoen aan de opgelegde regelgeving (Droits Quotidiens Legal Design, 2021). Een zware drie-assige trekker van 8 ton (Ermers, 2025) en een lege drie-assige oplegger van 7 ton (Pacton, z.d.) hebben samen een gewicht van 15 ton. Hierdoor blijft er een laadcapaciteit van 33 ton over. Onderstaande tabel illustreert hoeveel holle welfsels er per vracht getransporteerd kunnen worden, zowel met als zonder druklaag.

Hol vloerelement						
Fabrikant	b (m)	h (m)	l (m)	Oppervlaktegewicht (kg/m ²)	Massa (kg)	# per vrachtwagen
DOU Beton	0,6	0,13	5	200	600	55
DOU Beton	0,6	0,17	6,5	245	955,5	34
Megaton/ Structo	1,196	0,2	12	298	4276,9	7
Megaton/ Structo	1,196	0,5	19	530	12043,7	2
Referentie	0,6	0,13	6	220	792	41
Referentie	1,196	0,265	8	365	3492,3	9

Druklaag				Hol vloerelement + druklaag		
b (m)	h (m)	l (m)	Oppervlaktegewicht (kg/m ²)	Massa (kg)	Massa (kg)	# per vrachtwagen
0,56	0,05	5	125	350	950	34
0,56	0,05	6,5	125	455	1410,5	23
1,156	0,05	12	125	1734	6010,9	5
1,156	0,05	19	125	2745,5	14789,2	2
0,56	0,07	6	160	537,6	1329,6	24
1,156	0,07	8	160	1479,7	4972	6

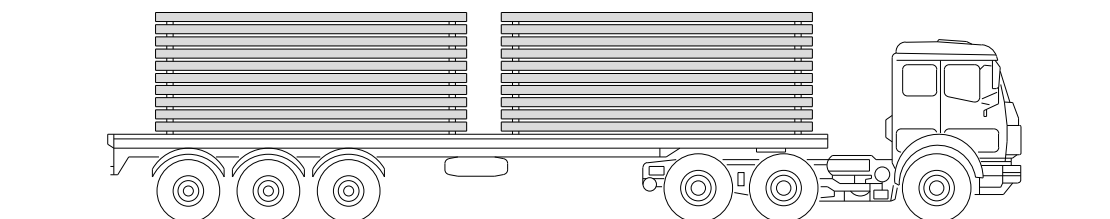
Tabel 29: *Holle vloerelementen, hun dimensies en het aantal dat per vrachtwagen getransporteerd kan worden.*



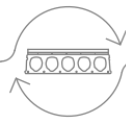
Omdat een druklaag extra gewicht toevoegt, kunnen er doorgaans minder elementen per vracht getransporteerd worden. Naarmate de elementen omvangrijker worden in hun dimensies, vermindert de invloed van de druklaag op het maximale transportaantal. Er dient enige nuance gebracht te worden in de vermeldde elementen met een overspanning van 19 m. Wanneer de totale lengte van een trekker met oplegger 18,75 m overschrijdt, valt het transport onder 'uitzonderlijk vervoer'. Hierbij is een MTM van 90 ton toegestaan (Team Zwaar Vervoer Expertise Verkeer en Telematica, 2019), waarbij de som van de massa's onder drie assen van een oplegger niet meer dan 25 ton mag bedragen (Departement Mobiliteit en Openbare Werken, 2021). Rekening houden met deze maxima, kan bij een totale vrachtconfiguratie met 9 assen ongeveer 68 ton geladen worden. Met andere woorden kunnen er bij uitzonderlijk transport per vrachtwagen vijf holle welfsels zonder druklaag worden vervoerd, tegenover slechts vier elementen met druklaag, uitgaande van een overspanning van 19 m.

Benodigheden
Drie-assige trekker (capaciteit afhankelijk van het te transporteren gewicht)
Drie-assige oplegger
Zes-assige oplegger bij uitzonderlijk vervoer

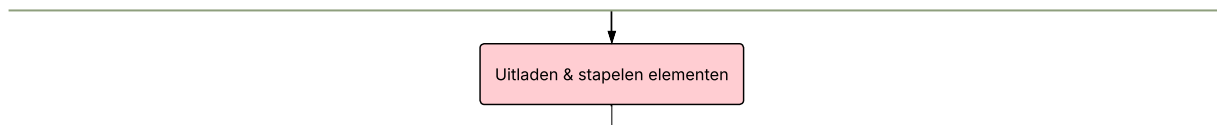
Tabel 30: *Benodigheden transport holle welfsels.*



Figuur 137: *Vrachtwagen met holle welfsels.*



4.6.7.2. Aankomst op de nieuwe locatie

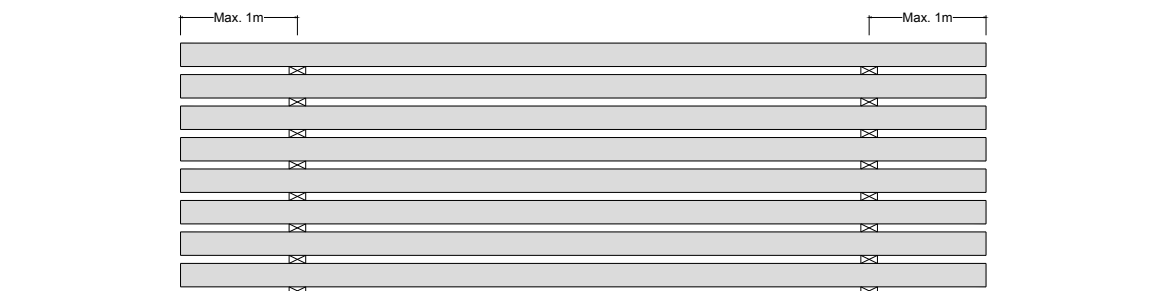


Figuur 138: Overzicht stap uitladen en stapelen elementen.

Wanneer de elementen aankomen op hun locatie, dienen ze correct uitgeladen en gestapeld te worden. De ankers uit de eerste elementen van elke rij mogen verwijderd worden. Het anker gat wordt opgevuld met herstelmortel aangezien ook deze elementen vanaf nu gemanipuleerd kunnen worden met een welfselklem. Wanneer de elementen gestockeerd worden op welke bestemming dan ook, dienen er voorschriften gevolgd te worden. De steunen tussen de opeengestapelde holle welfsels komen in hetzelfde verticaal vlak te liggen, op een afstand van maximaal 1 m van het uiteinde van de plaat. Daarnaast dient de ondergrond geëgaliseerd en voldoende draagkrachtig te zijn om zettingen te voorkomen. Het onderste constructie-element wordt vrij van de grond geplaatst om direct contact met de bodem te vermijden (Megaton/Structo, z.d.). Op deze manier worden instabiliteit en ongewenste puntlasten voorkomen.

Benodigheden
Voldoende draagkrachtige grond
Steunblokken

Tabel 31: Benodigheden stockeren holle welfsels.

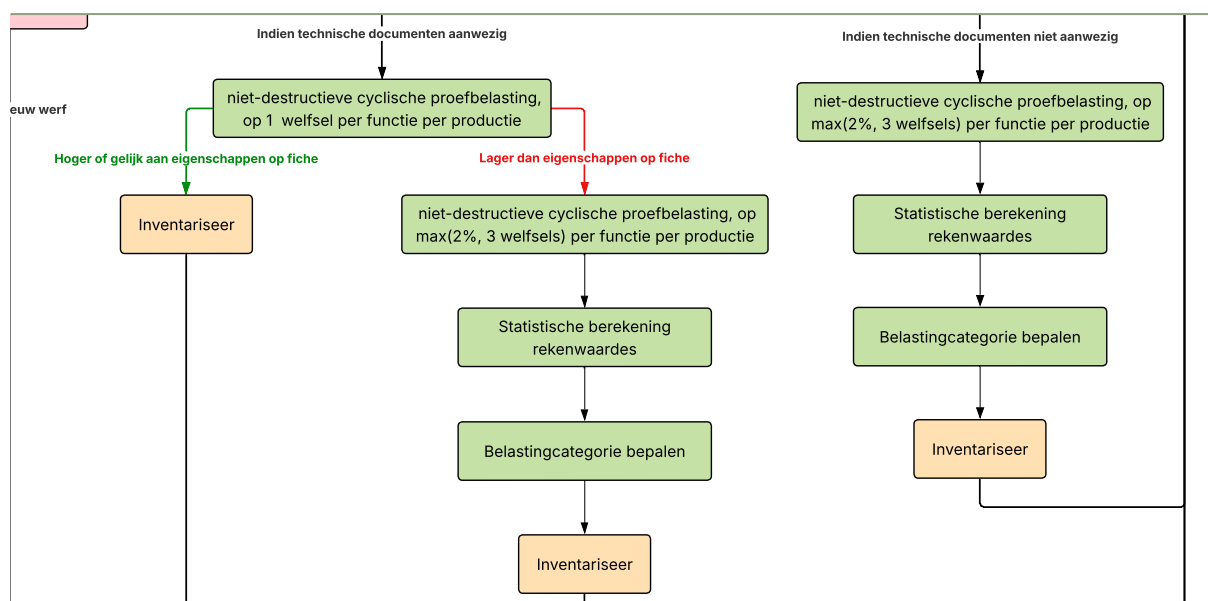


Figuur 139: Correct stapelen van holle welfsels.



4.6.8. Fase 8: Testsite

4.6.8.1. Niet-destructieve cyclische proefbelasting

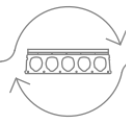


Figuur 140: Overzicht stappen cyclische proefbelasting.

Proefbelastingen in een gecontroleerde laboratoriumopstelling leveren accuratere en betrouwbaardere resultaten op dan proefbelastingen die in situ worden uitgevoerd (W. Moerman, persoonlijke communicatie, 24 februari 2026). Om die reden wordt een specifiek aantal elementen, afhankelijk van de situatie, naar een testsite getransporteerd wanneer zij niet rechtstreeks naar de nieuwe werf gaan. In dit laatste scenario – waarbij de elementen direct naar de nieuwe bestemming worden gebracht – bepaalt men de capaciteit op basis van de beschikbare technische documentatie of, bij het ontbreken daarvan, via een in situ proefbelasting. De overige elementen worden intussen naar de opslagruimte getransporteerd. Zelfs wanneer de proefbelasting niet aan de theoretische verwachtingen voldoet, blijven de elementen bruikbaar voor lichtere belastingsgevallen (R. Caspeele, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026).

Aangezien holle welfsels gevoeliger zijn voor dwarskracht dan voor buigende momenten (R. Caspeele, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026), wordt een element cyclisch beproefd om de dwarskrachtcapaciteit te achterhalen. In de proefopstelling zal het steunpunt waarbij de proefbelasting het dichtste aangrijpt een roloplegging zijn, zodat het element hier vrij kan roteren. Hierdoor ontstaan er geen axiale krachten die de proefresultaten zouden kunnen beïnvloeden. De proefbelasting grijpt aan op het element op een afstand van $2,5 \cdot h$ van de roloplegging, waarbij h de hoogte van de sectie is. Deze belasting wordt geïntroduceerd op het element via een stijve stalen I-ligger. Om de betrouwbaarheid van het resultaat te waarborgen, moet de overspanning van het beproefde element minimaal 4 m of 12 keer de elementdikte zijn (NBN, 2011).

Alhoewel de Eurocode een destructieve proefbelasting voorschrijft (NBN, 2011), wordt er in dit geval geopteerd voor een niet-destructieve proef. Op deze manier kunnen de beproefde holle welfsels nog ingezet worden op de nieuwe werf. De eerste proefcyclus zal het element belasten tot op 70% van de berekende maximale belasting. Bij een destructieve cyclische proefbelasting zal de tweede proefcyclus het element belasten tot falen (NBN, 2011). Een materiaalvriendelijkere manier van beproeven is te vinden in een tweede proefcyclus die het element belast tot op de berekende maximale capaciteit. Deze berekende waarde is inclusief veiligheidsfactoren (Wan-



Wendner, 2025), waardoor het element in gunstige omstandigheden geen faalfenomenen zou mogen tonen. Op deze manier wordt er aangetoond dat het element veilig is en niet zal falen onder de berekende ontwerpbelasting (Crow, 2023).

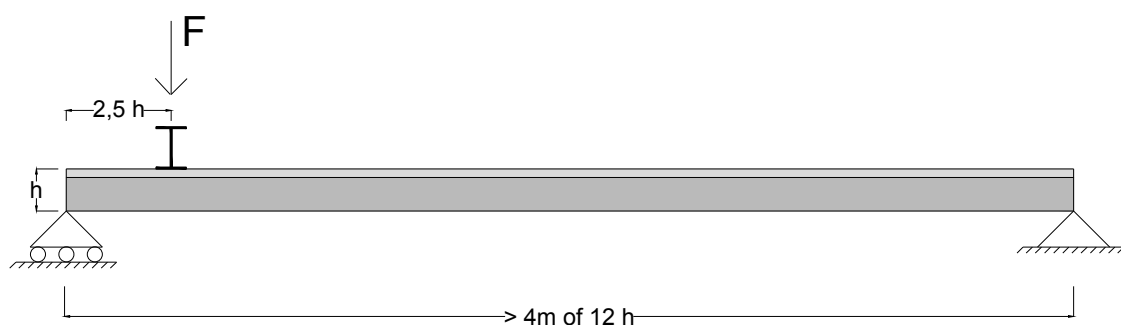
Als er technische documentatie beschikbaar is die informatie bevat over de maximale dwarskrachtcapaciteit, dan wordt er één element per populatie welfsels gebracht naar de testsite om vervolgens beproefd te worden met een cyclische proefbelasting. Deze proef is louter ter verificatie van de technische documentatie. Indien het behaalde resultaat onder de in de technische documentatie gestelde richtwaarde ligt, wordt de proef herhaald op een steekproef van 2% van de populatie, met een absoluut minimum van drie elementen (Standard Norge, 2022). De rekenwaarde voor de dwarskrachtcapaciteit wordt vervolgens berekend volgens 4.6.8.2. 'Statistisch de rekenwaarde berekenen'. Deze stap zal in het overgrote deel van de gevallen niet nodig zijn, aangezien geogoste holle welfsels in de beschreven projecten in Deelonderzoek 1 een overcapaciteit bezitten (Cepezed, 2023; ReCreate project, z.d.; Consolis VBI, 2024; RISE, z.d.; Eklund et al., 2003).

Bij het ontbreken van technische documentatie over de maximale dwarskrachtcapaciteit, dient de eerder vermelde procedure te worden gehanteerd: een cyclische proefbelasting op 2% van de populatie, met een absoluut minimum van drie elementen (Standard Norge, 2022). De statistisch berekende dwarskrachtcapaciteit van deze populatie elementen wordt geëvalueerd met de eerder berekende capaciteit. De verzamelde kennis wordt vervolgens aangewend om de definitieve belastingcategorie te bepalen. Alle verkregen informatie uit dit onderdeel van het beslissingsdiagram wordt naderhand geïntegreerd in de al opgestelde inventaris onder paragraaf 4.6.5.1 'Bijwerken inventaris'.

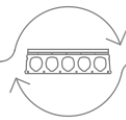
Wanneer de berekende, of uit technische fiches verkregen, dwarskrachtcapaciteit hoger ligt dan de werkelijke resultaten van de cyclische proefbelasting, bestaat het risico dat het element tijdens de proef faalt. Om die reden wordt de proefbelasting bij voorkeur uitgevoerd op elementen waaruit al een boorkern is genomen. Mocht zo'n element tijdens de proef bezwijken, dan is het weliswaar onbruikbaar, maar wordt hiermee wel het aantal te herstellen boorgaten in de overige, intacte elementen geminimaliseerd (Standard Norge, 2022). Het spreekt voor zich dat elementen die al schade vertonen niet zullen gebruikt worden voor een cyclische proefbelasting (NBN, 2011).

Benodigheden
Proefopstelling
Stalen I-ligger
Meetinstrumenten

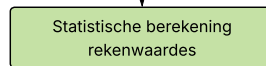
Tabel 32: *Benodigheden niet-destructieve cyclische proefbelasting.*



Figuur 141: *Proefopstelling cyclische proefbelasting waarin de dwarskrachtcapaciteit wordt geëvalueerd.*



4.6.8.2. Statistisch de rekenwaarde berekenen



Figuur 142: Overzicht stap statistische benadering rekenwaarde.

Wanneer men meer dan één proefbelasting uitvoert, dient men aan de hand van een statistische berekening de rekenwaarde te bepalen. Hierbij worden onzekerheden verwerkt om een betrouwbaar beeld te krijgen over de populatie holle welfsels op basis van het aantal proeven die uitgevoerd zijn (NBN, 2002). Deze stap is noodzakelijk wanneer men geen technische documentatie ter beschikking heeft. Hierbij wordt de dwarskrachtcapaciteit achterhaald op basis van een proefbelasting op 2% van de totale populatie, met een absoluut minimum van drie welfsels. Mocht er wel documentatie beschikbaar zijn, maar de proefbelasting een lagere dwarskrachtcapaciteit aantonen dan verwacht, dan moet de steekproefomvang alsnog worden uitgebreid naar deze zelfde norm voor situaties zonder documentatie. In dit geval zal men ook statistisch de rekenwaarde bepalen met de verkregen proefresultaten. De rekenlogica vangt aan met de berekening van het gemiddelde van de proefresultaten (NBN, 2002):

$$m_x = \frac{\sum x_i}{n}$$

Waarbij

m_x = gemiddelde van de proefresultaten [N];

x_i = proefresultaat i [N];

n = aantal proeven [-].

Vervolgens berekent men de standaardafwijking (NBN, 2002):

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum (x_i - m_x)^2$$

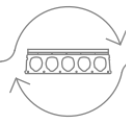
Waarbij

s_x = standaardafwijking van de steekproef [-].

n = aantal proeven [-];

x_i = proefresultaat i [N];

m_x = gemiddelde van de proefresultaten [N].



Vervolgens berekent men de variatiecoëfficiënt (NBN, 2002):

$$V_x = \frac{s_x}{m_x}$$

Waarbij

V_x = variatiecoëfficiënt [-].

s_x = standaardafwijking van de steekproef [-];

m_x = gemiddelde van de proefresultaten [N].

Uiteindelijk berekent men de rekenwaarde voor de dwarskrachtcapaciteit (NBN, 2002):

$$X_d = \frac{\eta_d}{\gamma_m} \cdot m_x \cdot (1 - k_n \cdot V_x)$$

Waarbij

X_d = rekenwaarde dwarskrachtcapaciteit [N];

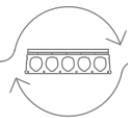
η_d = rekenwaarde van de omrekeningsfactor [-];

γ_m = partiële materiaalfactor [-];

m_x = gemiddelde van de proefresultaten [N];

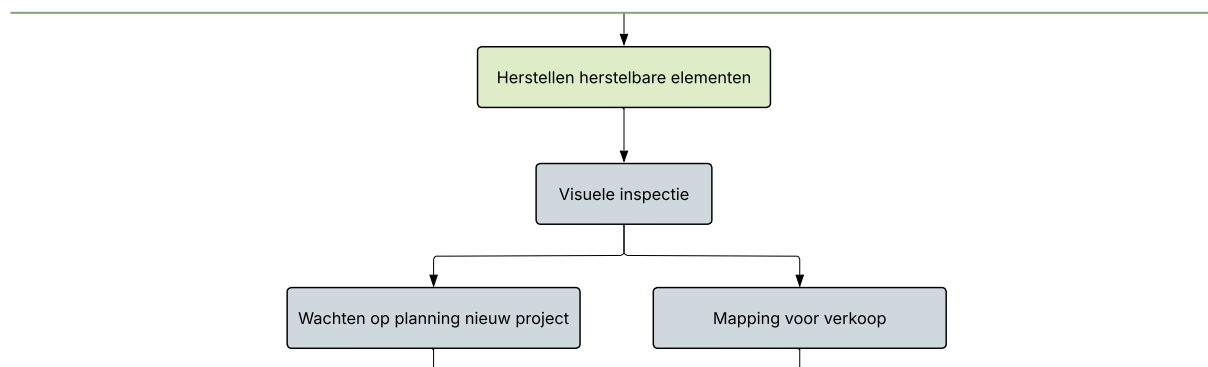
k_n = fractielijfactor op basis van het aantal proeven n [-];

V_x = variatiecoëfficiënt [-].



4.6.9. Fase 9: Opslag

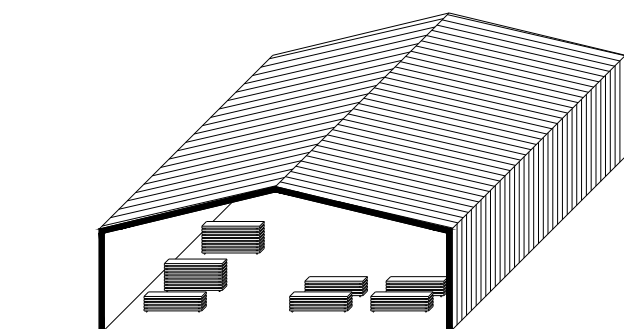
4.6.9.1. Opslagruimte



Figuur 143: Overzicht stappen tussenopslag.

De geogste holle welfsels die niet rechtstreeks naar de nieuwe werf, of de testsite, getransporteerd worden, zullen gestockeerd worden in een opslagruimte. Deze ruimte mag de resterende levensduur niet negatief beïnvloeden door bijvoorbeeld de carbonatatiesnelheid te verhogen. Aangezien de elementen in een opslagruimte volledig blootgesteld worden aan de omgeving, zal de periode waarin de elementen gestockeerd worden altijd invloed hebben op de diepte van het carbonatatiefront. Dit kan de levensduur verkorten, waardoor het essentieel is om op korte termijn een nieuwe bestemming voor de elementen te vinden (Dervishaj et al., 2025). Wanneer deze locatie slechts een tijdelijke opslag biedt voor elementen die al een bestemming hebben, zal deze periode minimaal invloed hebben op de resterende levensduur. Elementen waarvoor nog geen nieuwe bestemming is gevonden, dienen zorgvuldig in een droge omgeving te worden opgeslagen.

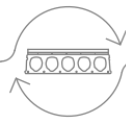
De partij holle welfsels die volgens paragraaf 4.6.2.2. 'Visuele inspectie' herstelbare schade vertoont, wordt in de opslagruimte hersteld. Bij de elementen waaruit boorkernen zijn genomen, worden de gaten gedicht met herstelmortel. De holle welfsels die rechtstreeks getransporteerd worden naar de nieuwe werf, worden op de nieuwe werf hersteld. Op deze manier worden extra transportkosten naar de herstelplaats vermeden. De opslagruimte kan simpelweg een grote plek zijn die voorzien is door de bouwheer. Om te evolueren naar een standaardpraktijk in hergebruik van betonelementen, is het aangewezen naar een businessmodel volgens 4.6.9.2. 'Bouwpunt structurele recuperatiematerialen' te evolueren (R. Geysen, persoonlijke communicatie, 2 maart 2026).



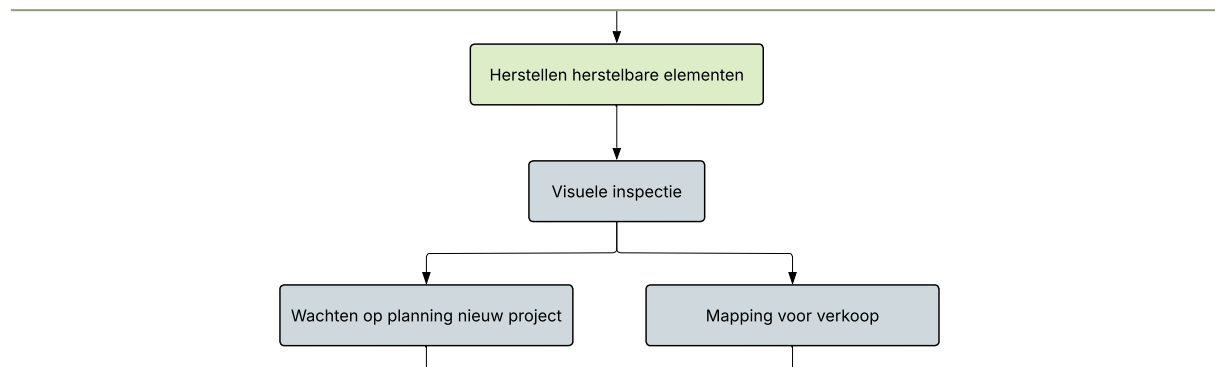
Figuur 144: Opslagruimte voor gerecupereerde holle welfsels.

Benodigheden
Opslagruimte
Steunblokken
Herstelmortel
Herstelgereedschap

Tabel 33: Benodigheden opslagruimte.



4.6.9.2. Bouwpunt structurele recuperatiematerialen



Figuur 145: *Overzicht stappen tussenopslag.*

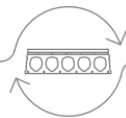
Zoals er bouwmaterialwinkels bestaan over heel de wereld die de bouwactoren voorzien van nieuwe materialen, kan dezelfde praktijk toegepast worden met gerecupereerde bouwmaterialen. Zo bestaan er in Nederland al verschillende webshops om gebruikte bruggen, liggers en onderdelen te kopen (Bruggenbank, z.d.; Insert, z.d.). Het voordeel van dit model is dat de elementen verkocht kunnen worden terwijl ze nog dienstdoen. Als gevolg kunnen ze rechtstreeks getransporteerd worden naar het nieuwe project zonder een tussenstop te maken in de opslagruimte. Dit bespaart niet alleen geld en tijd, maar ook energie. Omdat niet alle elementen al voor de ontmanteling een nieuwe bestemming hebben, kan de opslaglocatie fungeren als een hub voor structurele gerecupereerde materialen. Rijkswaterstaat, de Nederlandse overheidsarm die verantwoordelijk is voor het beheer en de ontwikkeling van de nationale infrastructuur, voorziet een terrein van 1 hectare in IJmuiden om geoogste voorgespannen liggers te bewaren totdat ze een nieuwe bestemming krijgen (Rijkswaterstaat, 2025). Zoals in voorgaande stap, worden ook op het bouwpunt elementen hersteld. Zodra deze elementen individueel zijn geïdentificeerd en voorzien zijn van een QR-code, zoals beschreven in 4.6.6.5. 'Elementen voorzien van code', kan voor de voorraad in de opslagruimte een webshop worden opgezet. Eens deze praktijk gebruikelijk wordt, zullen meer en meer bouwpunten voor tweedehands, al dan niet structurele, bouwmaterialen ontstaan. Het mooie voorbeeld van Rijkswaterstaat toont dat het wel degelijk technisch, logistiek en economisch haalbaar kan zijn (Rijkswaterstaat, 2025). Uiteraard is een grote *mental shift* in de conventionele bouwwereld nodig om de experimentele hedendaagse hergebruikpraktijken op te schalen (M. de Callatay, persoonlijke communicatie, 12 november 2025).

Benodigheden
Opslagruimte
Steunblokken
Herstelmortel
Herstelgereedschap

Tabel 34: *Benodigheden bouwpunt structurele bouwmaterialen.*

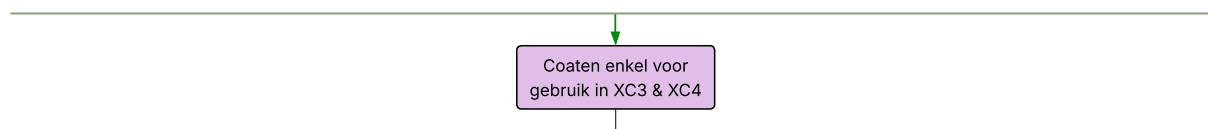


Figuur 146: *Opslagruimte Rotor DC.* Overgenomen van Pascal BROZE (2022), geciteerd in *Rotor DC: reuse made easy*, door Rotor.



4.6.10. Fase 10: Nieuw werf & uitvoeringsdetails

4.6.10.1. Aanbrengen oppervlaktebehandeling



Figuur 147: Overzicht stap coating.

Om verschillende redenen kan een oppervlaktebehandeling aangebracht worden op de elementen, waarbij elke soort behandeling zijn eigen voor- en nadelen met zich meebrengt. Een eerste behandeling is hydrofobe impregnering om een waterafstotend oppervlak te creëren. Hierbij worden de poriën en capillairen intern gecoat, maar niet gevuld (NBN, 2005). Er ontstaat een monomoleculaire laag die het betonoppervlak visueel niet verandert. Deze laag houdt water en agressieve oplossingen zoals chloride- en sulfatenoplossingen tegen, waardoor de duurzaamheid positief wordt beïnvloed. Hydrofobe impregnering wordt gedaan met oplossingen op basis van silanen, siloxanen, siliconen of een mix van deze drie (Sika, 2015). Een tweede behandeling is impregnering, waarbij het beton behandeld wordt om de oppervlakteporositeit te reduceren. In deze optie worden de poriën en capillairen gedeeltelijk of volledig gevuld met het impregneringsmateriaal (NBN, 2005). Dit resulteert in een sterker betonoppervlak waarbij de penetratie van schadelijke stoffen wordt verhinderd (Lu & Kim, 2024). Men gebruikt bij impregnering voornamelijk organische polymeren, waarbij een dunne film ontstaat op het betonoppervlak (NBN, 2005). Een laatste oppervlaktebehandeling is het aanbrengen van een coating om een continue beschermende laag te verkrijgen als scheiding tussen het beton en de omgeving. Deze laag bestaat doorgaans uit een organisch polymeer – al dan niet met cement als vulmiddel – of uit een met polymeerdispersie gemodificeerd hydraulisch cement. In het overgrote deel van de gevallen heeft de laag een dikte tot 5 mm (NBN, 2005).

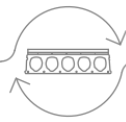
De gekozen oppervlaktebehandeling reflecteert de omgeving waarin de elementen gebruikt zullen worden. Buiten het beschermen tegen agressieve omgevingsstoffen, vertraagt de carbonatatiesnelheid ook aanzienlijk (Matthys, 2020). Een langdurige bescherming kan niet worden gegarandeerd door het verouderings- en verweringsproces van oppervlaktebehandelingen (Dervishaj, 2025). Om de effectiviteit van de beschermende laag niet negatief te beïnvloeden, dient de behandeling op een correcte manier uitgevoerd te worden. Een belangrijke randvoorwaarde voor de effectiviteit van het systeem, is een droog betonoppervlak. Het behandelen van een vochtige ondergrond kan leiden tot blaarvorming door osmotische druk en een gebrekkige hechting. Bovendien kan de afdichtende werking vervolgens leiden tot een verhoogd inwendig vochtgehalte, wat versnelde corrosie en schimmelvorming in de hand werkt (Matthys, 2020).



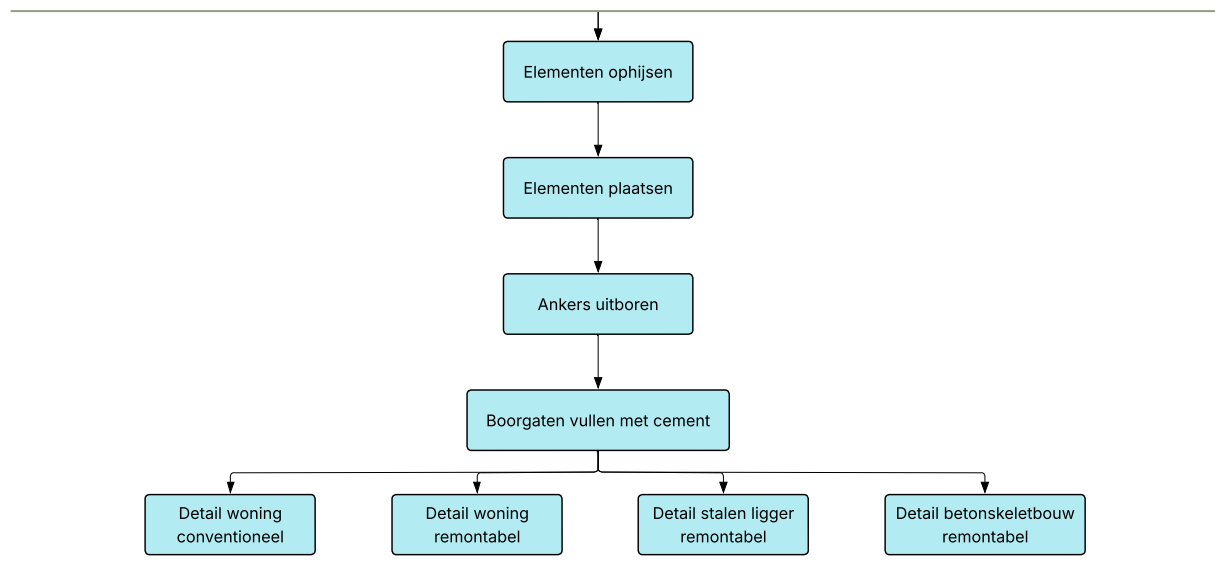
Figuur 148: Hydrofobe impregnering. Overgenomen van *Protective impregnations*, door Sika.

Benodigheden
Oppervlaktebehandelingsmiddel
Droog betonoppervlak

Tabel 35: Benodigheden oppervlaktebehandeling.



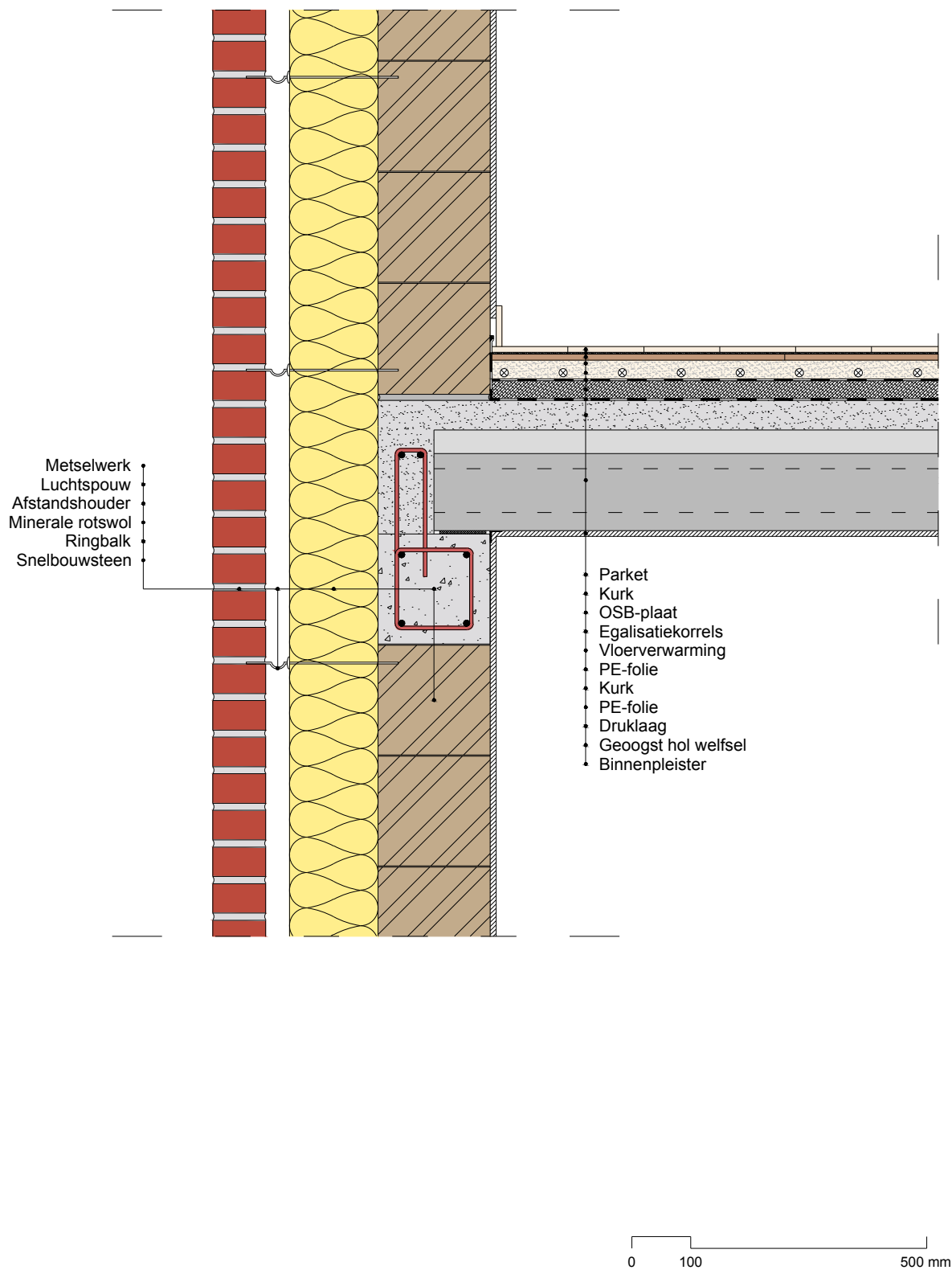
4.6.10.2. Mogelijke uitvoeringsdetails



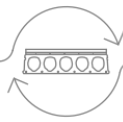
Figuur 149: *Overzicht stappen plaatsen gerecupereerde elementen.*

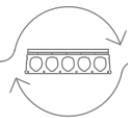
4.6.10.2.1. Conventionele methode

Een voor de hand liggende benadering in de woningbouw is het toepassen van bouwdetails volgens de traditionele bouwmethode. De elementen worden aan de ringbalk verankerd door wapeningsstaven in de langs- en hamerkopsleuven in te storten. Deze staven dragen de horizontale krachten over naar de kettingwapening in de ringbalk (FebeFloor, 2020). In de woningbouw voorziet men in het overgrote deel van de gevallen een gewapende druklaag bovenop deze verbindingen (B. Hendriks, persoonlijke communicatie, 1 april 2026). Deze technische aspecten waarborgen dat de draagvloer als één geheel fungeert en de horizontale belastingen correct overbrengt naar de rest van de draagstructuur (FebeFloor, 2020). Het resultaat is dat alle individuele onderdelen van de draagvloer door het storten van de druklaag met elkaar zijn verbonden, wat een eventuele latere ontmanteling van deze elementen moeilijker, duurder en arbeidsintensiever maakt. Om een volledig overzicht te bieden van de mogelijke bouwdetaileringen, is ook de conventionele methode in het stappenplan opgenomen. De gebruikte elementen zijn bovendien gerecupereerd, wat de milieu-impact van deze uitwerking al een stuk doet dalen (Snoek & Knuiman, 2021).



Figuur 150: Bouwdetail hoek conventionele bouwmethode voor het plaatsen van holle welfsels in woningen.



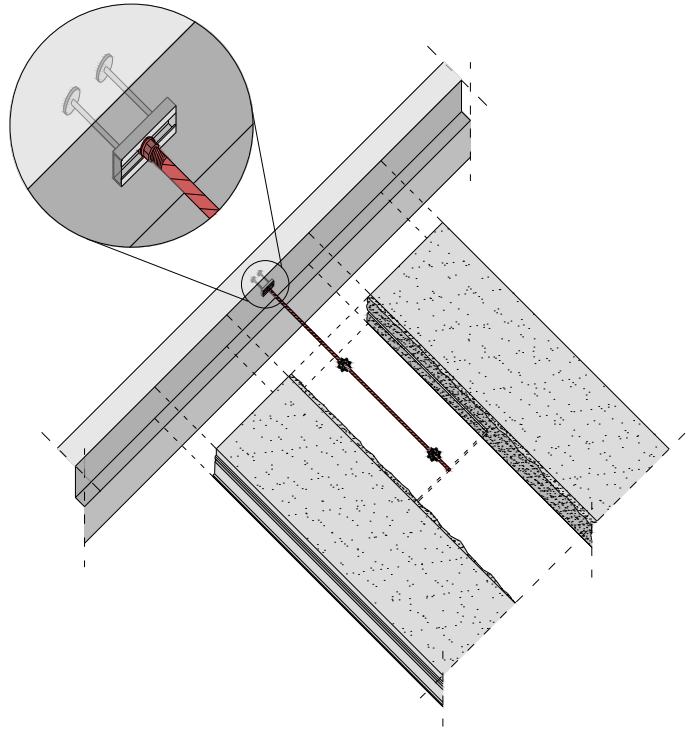
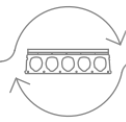


4.6.10.2.2. Demontabele methode

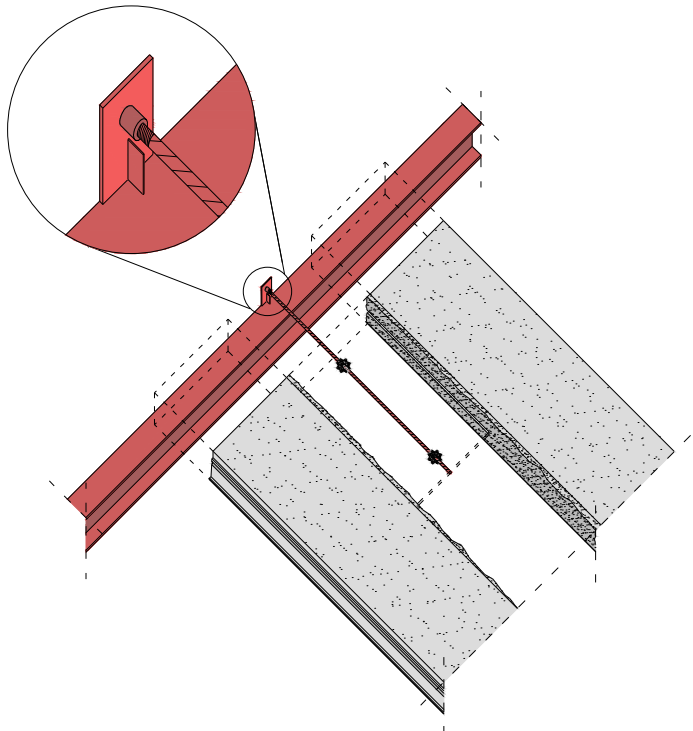
Hoewel het hergebruik van materialen een stap in de goede richting is, blijft de demontage bij conventionele bouwmethodes een arbeidsintensief proces. Het is daarom aan de huidige bouwactoren om al in de ontwerpfase te kiezen voor toekomstbestendige, demontabele details. Door elementen 'droog' te monteren in plaats van ze vast te storten, kunnen ze later eenvoudig worden ontmanteld voor een volgende levensfase (M. S. Velasquez, persoonlijke communicatie, 12 december 2025). Dit maakt een hergebruikstraject aanzienlijk rendabeler, aangezien kostbare bewerkingen zoals zaag- en breekwerk hiermee worden voorkomen. Door niet alleen na te denken over het demontabel inzetten van nieuwe holle welfsels, maar ook van geoogste elementen, ontstaan er toekomstbestendige en ecologische bouwdetails. Wanneer er geen sprake is van aanzienlijke wisselende belastingen of grote puntlasten, wordt er gekozen om de holle welfsels in te zetten zonder druklaag (Ergon, 2018). Hiermee wordt voorkomen dat de elementen samensmelten tot één monolithisch geheel. In veel gevallen, waaronder in de reguliere woningbouw, is een druklaag bovendien overbodig (VBI Consolis VBI, 2025). Op de werf moeten de voegen tussen de elementen met beton worden gevuld. De ruwheid ervan is voldoende om bij normale belasting de schijfwerking te garanderen (FebeFloor, 2020). Rondom het gehele vloerveld wordt een kettingwapening, de ringbalk, aangebracht. De elementen worden traditioneel met verankeringswapening aan deze kettingwapening bevestigd (Ergon, 2018). Als gevolg van deze verankering vormen de elementen een onlosmakelijk geheel met de ringbalk, wat de vloer een horizontale stijfheid geeft maar de demontage bemoeilijkt.

Een demontabele oplossing hiervoor is het aanbrengen van koppelwapening in de voegen, die de horizontale belastingen overdragen naar de ringbalk. Het is aanbevolen om een aardvochtige kleinkorrelbeton met een sterkteklasse van C12/15, of maximaal C20/25, te gebruiken om de demonteerbaarheid te verhogen (VBI Consolis, 2025). De ringbalk waaraan de welfsels bevestigd zullen worden, wordt geprefabriceerd en voorzien van ankerrails ter hoogte van elke naad tussen de elementen. Vervolgens zal de koppelwapening geschroefd worden op deze ankerrail volgens Figuur 148 en Figuur 149. Hoewel de ankerrail tijdens de montage horizontale speling biedt, zorgt de mechanische fixatie ervoor dat de wapeningsstaaf op de definitieve positie onwrikbaar vaststaat. Hierdoor ontstaat een starre verbinding die de schuifkrachten betrouwbaar overdraagt. Op deze manier kunnen de geoogste welfsels geplaatst worden zonder dat gefixeerde koppelwapening voor obstructies zorgt. Daarnaast wordt de demontage vergemakkelijkt, omdat de koppelwapening eenvoudig horizontaal verschoven kan worden. Tussen de ringbalk en de welfsels wordt er een PE-schuimlaag voorzien van één centimeter dik. Hierdoor ontstaat er werkruimte aan beide zijden van de elementen, zodat een latere demontage mogelijk is zonder dat de elementen klem komen te zitten (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026).

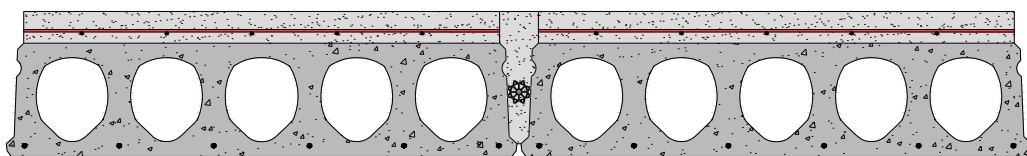
Als een stalen ligger de rol van de ringbalk opneemt, zoals in een staalskeletbouw, zal de koppelwapening deze ligger moeten verbinden met de holle welfsels. Op de ligger wordt vooraf een stalen plaatje gelast waarop een schroefhuls wordt voorzien (Consolis VBI, 2025). In plaats van deze wapening op de bouwplaats te laten lassen, wat extra personeelskosten met zich meebrengt, kan de wapeningsstaaf eenvoudig in de voorziene schroefhuls worden gedraaid (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 4 mei 2026). Op deze manier kan een correcte positie van de wapening verzekerd worden. Onderstaande details tonen het bevestigingsprincipe op zowel een betonnen ringbalk als een stalen ligger.



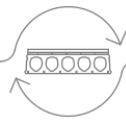
Figuur 151: *Principedetail demontabel bouwen met holle welfsels, betonbouw.*



Figuur 152: *Principedetail demontabel bouwen met holle welfsels, staalbouw.*



Figuur 153: *Principedetail snede demontabel bouwen met holle welfsels.*



4.6.10.2.2.1 Afschuifweerstand van de longitudinale voegen

Wanneer er een lijnbelasting verticaal in langsrichting op een element aangrijpt, moet de langsvoeg deze kracht overdragen naar het naastliggende element. Deze belastingsoverdracht veroorzaakt een dwarskracht in de voeg en in de elementen aan weerszijden daarvan. De dwarskrachtcapaciteit van het geheel is de kleinste waarde van de flensweerstand en de voegweerstand (NBN, 2011). De gebruikte formules in dit paragraaf zijn afgeleid of overgenomen uit NBN EN 1168:2011 sectie 4.3.3.2.3. De flensweerstand van een element inclusief druklaag wordt berekend met volgende formule (NBN, 2011):

$$v'_{Rdj} = 0,25 \cdot (f_{ctd,e} \cdot \sum h_f + f_{ctd,t} \cdot h_t)$$

Waarbij

- v'_{Rdj} = flensweerstand [N/mm];
- $f_{ctd,e}$ = ontwerpwaarde van de betontreksterkte van het hol welfsel [N/mm²];
- $\sum h_f$ = som van de kleinste diktes van de bovenste en onderste flens [mm];
- $f_{ctd,t}$ = ontwerpwaarde van de betontreksterkte van de druklaag [N/mm²];
- h_t = hoogte van de druklaag [mm].

De voegweerstand wordt berekend met volgende formule (NBN, 2011):

$$v''_{Rdj} = 0,15 \cdot f_{ctd,j} \cdot (h_j + h_t)$$

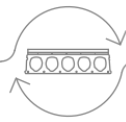
Waarbij

- v''_{Rdj} = voegweerstand [N/mm];
- $f_{ctd,j}$ = ontwerpwaarde van de betontreksterkte van het voegbeton [N/mm²];
- $h_j + h_t$ = hoogte van de volledige voeg [mm].

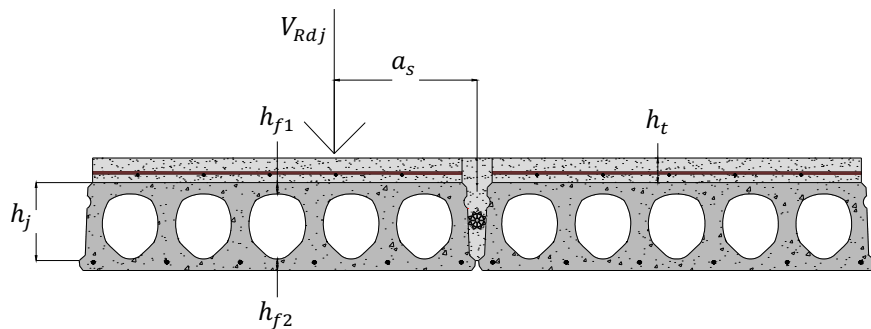
Vervolgens kan de voegafschuifweerstand, uitgedrukt als weerstandsbiedende geconcentreerde last, van het element berekend worden. Er wordt gebruik gemaakt van volgende formule (NBN, 2011):

$$V_{Rdj} = v_{Rdj} \cdot (a + h_j + h_t + 2 \cdot a_s)$$

Waarbij



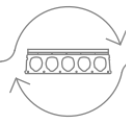
- V_{Rdj} = afschuifweerstand als weerstand biedende geconcentreerde last [N/m];
- v_{Rdj} = kleinste waarde van v'_{Rdj} of v''_{Rdj} [N/mm];
- a = lengte van de lijnlast parallel aan de voeg [mm];
- h_j = netto hoogte van de voeg tussen twee basiselementen [mm];
- h_t = hoogte van de druklaag [mm];
- a_s = afstand tussen het aangrijpingspunt van de belasting en het midden van de voeg [mm].



Figuur 154: Visualisatie parameters afschuifweerstand longitudinale voegen.

De voegafschuifweerstand wordt berekend van een hol welfsel van het type 130 mm, een breedte van 600 mm en met een 70 mm dikke druklaag. Zoals achterhaald in 4.3. 'Eigenschappen van geprefabriceerde holle welsels', worden gewapende holle welsels voornamelijk gefabriceerd uit beton met sterkteklasse C40/50. De druklaag heeft een sterkteklasse C30/37 (Ergon, 2018), terwijl voor de voeg beton met sterkteklasse C20/25 wordt gehanteerd (Consolis VBI, 2025). De berekening wordt uitgevoerd voor een geconcentreerde belasting [Q]. Dit is een lijnlast over 50 mm, die aangrijpt in het midden van het welfsel. De verkregen voegafschuifweerstand als maximale geconcentreerde last Q is 23,2 kN, wat in veel gevallen ruim voldoende is. Dit is de maximale geconcentreerde last voor bovengenoemde toepassing dat via één voeg kan worden overgedragen naar het naburige element.

Een andere lijnlast die geplaatst kan worden is een dragende muur uit snelbouwstenen. Deze wordt vereenvoudigd tot lijnlast om te voldoen in de formule. De muur wordt ook hier in het midden van het welfsel geplaatst en wordt geëvalueerd over een lengte van 5 m. De berekende voegafschuifweerstand is 160,5 kN, oftewel 16,4 ton. Dit wil zeggen dat voor een dragende-muurtoepassing de voegafschuifweerstand neerkomt op 32,1 kN/m. Er kan geconcludeerd worden dat, zonder rekening te houden met de draagcapaciteit van het welfsel zelf en de hechting tussen het element en het voegbeton, de verwachte lasten in het overgrote deel van de projecten lager zullen zijn dan de afschuifweerstand van de voeg.



4.6.10.2.2.2 Afschuiving in het aansluitvlak tussen op verschillende tijdstippen gestort beton

Voorgaande berekening houdt enkel rekening met de betontreksterkte van de verschillende betonsoorten en alle dimensies. De aanhechting en de afschuifweerstand tussen het geoogst element en de voeg wordt buiten beschouwing gelaten. De gebruikte formules in dit paragraaf zijn afgeleid of overgenomen uit NBN EN 1992-1-1:2005 sectie 6.2.5. Aan de hand van onderstaande formule wordt de ontwerpwaarde van de afschuifweerstand in het aansluitvlak berekend (NBN, 2005):

$$v_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd}$$

Waarbij

v_{Rdi} = ontwerpwaarde van de afschuifweerstand in het aansluitvlak [N/mm²];

c = reductiefactor afhankelijk van de ruwheid van het aansluitvlak [-];

f_{ctd} = ontwerpwaarde van de betontreksterkte [N/mm²];

μ = reductiefactor afhankelijk van de ruwheid van het aansluitvlak [-];

σ_n = normaalspanning loodrecht op het vlak [N/mm²];

ρ = geometrische wapeningsverhouding [-];

f_{yd} = ontwerpwaarde van de vloeigrens van de wapening [N/mm²];

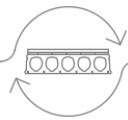
α = hoek tussen de dwarskrachtwapening en het aansluitvlak [°];

$v = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$ = sterkte-reductiefactor [-];

f_{cd} = ontwerpwaarde van de betondruksterkte [N/mm²].

Aangezien men in deze masterproef in aanraking komt met geoogste elementen die zonder nieuwe druklaag ingezet worden, zal er geen wapening te vinden zijn die het aansluitvlak kruist. Als gevolg kan men het berekeningsdeel waarin de invloed van kruisende wapening over het aansluitvlak berekend wordt uit de formule halen (i.e. $\rho = 0$). Vervolgens wordt de ontwerpwaarde van de schuifspanning in het aansluitvlak berekend aan de hand van volgende formule (NBN, 2005):

$$v_{Edi} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{z \cdot b_i}$$



Waarbij

v_{Edi} = ontwerpwaarde van de schuifspanning in het aansluitvlak [N/mm^2];

β = verhouding van de langskracht in het laatst gestorte betongedeelte tot de totale langskracht in de druk- of trekzone, beide berekend voor de beschouwde doorsnede [-].

V_{Ed} = optredende dwarsschuifkracht [N];

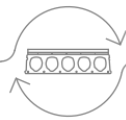
z = hefboomsarm van de samengestelde doorsnede [mm];

b_i = breedte van het aansluitvlak [mm].

De optredende schuifspanning ten gevolge van de dwarskracht dient kleiner dan of gelijk te zijn aan de afschuifweerstand.

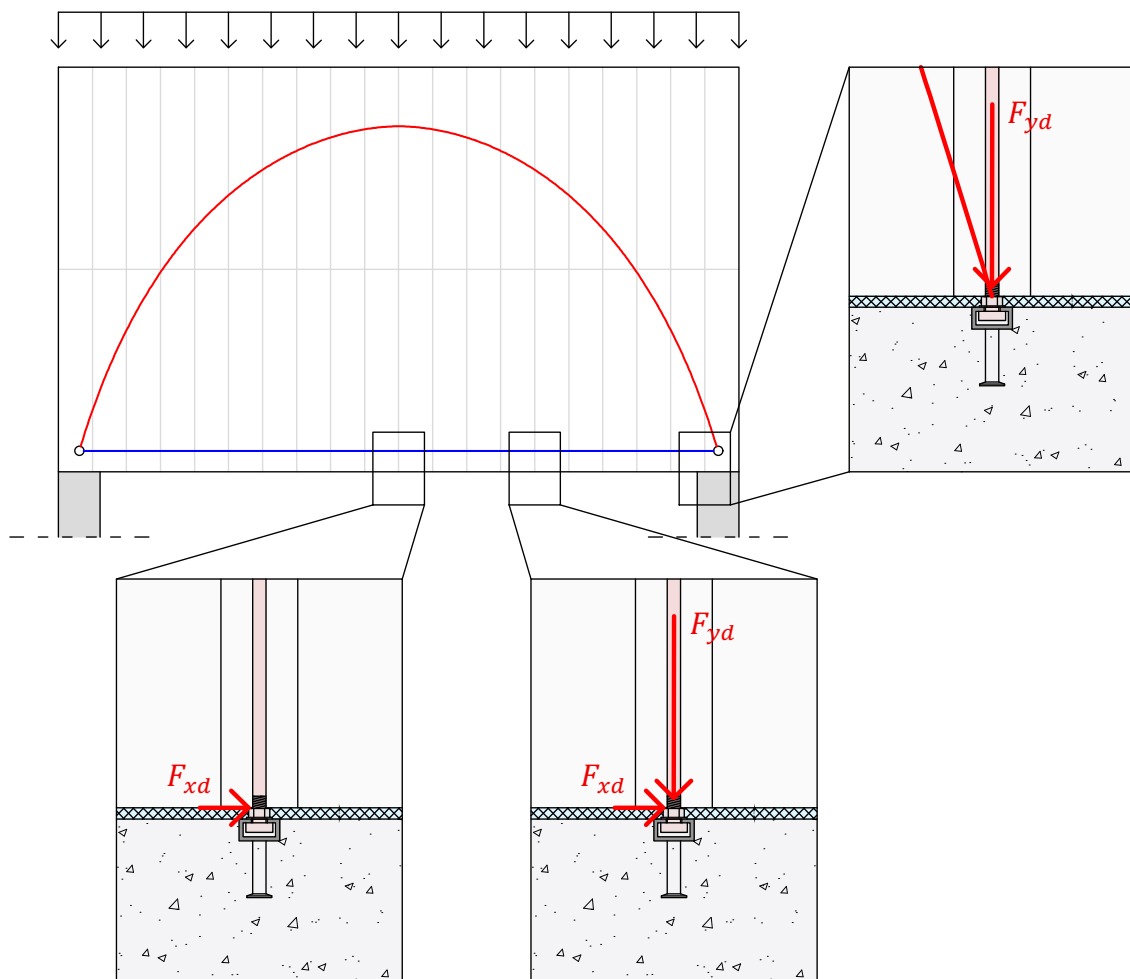
$$v_{Edi} \leq v_{Rdi}$$

Om de maximale dwarsschuifkracht V_{Ed} te berekenen alvorens de voeg afschuift in het aansluitvlak, wordt de optredende schuifspanning gelijkgesteld aan de afschuifweerstand. Er wordt uitgegaan van een vertanding van 50 mm hoog op de profielzijde van het welfsel; deze zijde wordt als 'geprofileerd' geclassificeerd. De inwendige hefboomsarm z is in deze configuratie de afstand tussen het zwaartepunt van de drukzone en dat van de trekzone. Voor de gecombineerde welfseldoorsnede bedraagt dit 160 mm. De verkregen afschuifweerstand v_{Rdi} voor een geogst welfsel van het type 130 mm met een druklaag van 70 mm is $0,501 \text{ N/mm}^2$, waardoor de maximale dwarsschuifkracht V_{Ed} 4 kN telt. Dit wil zeggen dat de voeg 408,56 kg belasting aankan alvorens de voeg afschuift in het aansluitvlak. Dit betekent niet dat de maximale belasting op het welfsel tot deze grootteorde beperkt is, maar dat dit de maximale kracht is die via de voeg naar het aangrenzende welfsel kan worden overgedragen. In vergelijking met de afschuifweerstand van de voegen zelf, zal de afschuiving in het aansluitvlak de kritieke factor zijn in de toelaatbare belasting op de voeg.

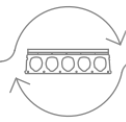


4.6.10.2.2.3 Verankering aan de ringbalk

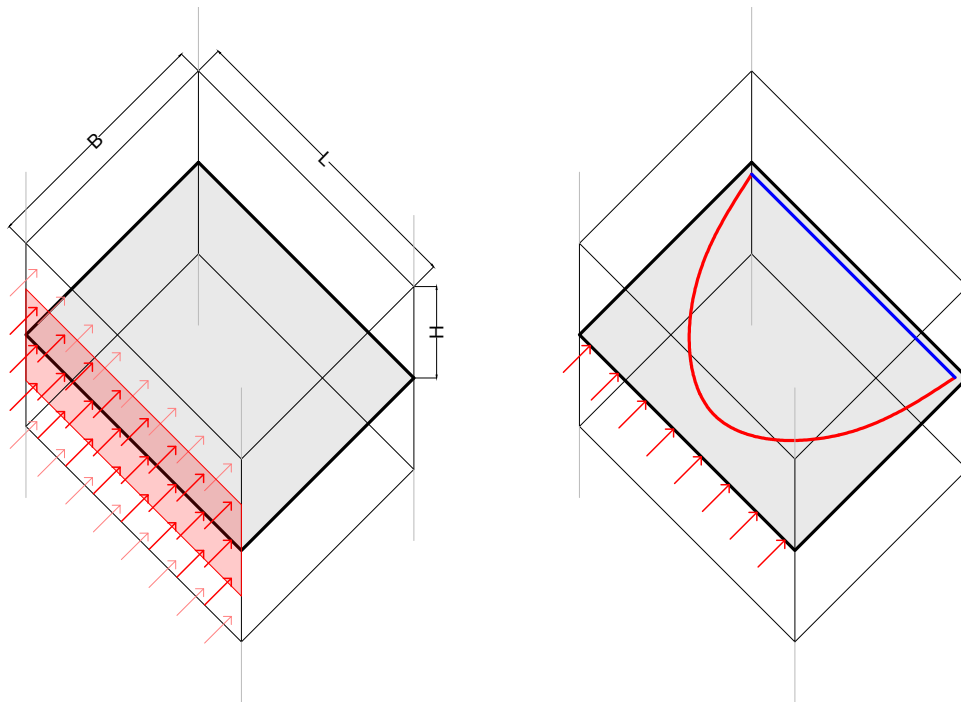
De holle welfsels zijn met een laag PE-schuim gescheiden van de ringbalk om toekomstige demontage mogelijk te maken. Om de horizontale windbelasting naar de ringbalk over te dragen, wordt verbindingswapening in de voegen van de welfsels voorzien. De dimensionering en verankeringslengte van deze wapening moeten voor elk relevant belastingsgeval expliciet berekend worden. Horizontale windbelasting verspreidt zich in de vloerschiif en activeert een intern krachtsmechanisme dat fungeert als een drukboog. De trekkracht die hieruit voortvloeit, wordt opgenomen door de kettingwapening in de ringbalk (Ergon, 2018). Volgens NBN EN 1168:2011 Annex D wordt deze kracht berekend volgens de methodiek van een hoge ligger, waarbij de vloer als één constructief geheel wordt beschouwd (NBN, 2011). De drukboog is opgebouwd uit een horizontale en een verticale krachtscomponent. De horizontale component is het gevolg van het buigend moment en bereikt zijn maximum in het midden van de overspanning en wordt nul ter hoogte van de oplegging. Deze component introduceert een trekkracht in de ringbalk (NBN, 2011). De verticale component is direct gekoppeld aan de dwarskracht. Deze component is maximaal ter plaatse van de opleggingen en verloopt naar nul in het midden van de overspanning. Deze component zal de wapeningsstaaf axiaal belasten. Aangezien de verbindingswapening de enige constructieve schakel is tussen de vloer en de ringbalk, moet deze de volledige windlast overdragen naar de ringbalk. De verticale component (F_{yd}) zorgt voor een axiale kracht, terwijl de horizontale component (F_{xd}) zorgt voor een buigmoment en een schuifkracht in de verbindingswapening. Een verduidelijking van de drukboogcomponenten is te vinden in Figuur 155.



Figuur 155: Drukboog door diafragmawerking in vloerconfiguraties met holle welfsels, met resulterende krachtencomponenten.



De verdeelde belasting op de vloerschijf wordt afgeleid uit de extreme stuwdruk van de wind. De relevante waarden hiervoor zijn terug te vinden in de tabellen 4.6 tot en met 4.9 van de Belgische nationale bijlage (NBN EN 1991-1-4 ANB:2010), waar de extreme stuwdrukken zijn weergegeven in functie van de terreincategorie en de gebouwhoogte (NBN, 2010). Aangezien de extreme stuwdruk wordt uitgedrukt in N/m^2 , wordt de verdeelde lijnlast op de vloer berekend door deze druk te vermenigvuldigen met de invloedshoogte voor één verdiep. Deze hoogte wordt bepaald door de som van de halve verdiepingshoogtes boven en onder de vloer, aangezien de vloer fungeert als het tussenliggende horizontale steunpunt voor de gevelbelasting.



Figuur 156: Windbelasting op een gebouw.

De krachtscomponenten van de drukboog worden berekend aan de hand van standaardformules uit de sterkteleer:

$$F_{xd} = \frac{M_{max}}{0,9 \cdot B} = \frac{q_d \cdot L^2}{0,9 \cdot B}$$

$$F_{yd} = R_y = \frac{q_d \cdot L}{2}$$

Waarbij

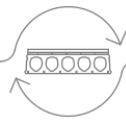
F_{xd} = maximale horizontale krachtscomponent van de drukboog [N];

F_{yd} = maximale verticale krachtscomponent van de drukboog [N];

q_d = ontwerpwaarde van de verdeelde belasting [N/mm];

L = lengte van de verdeelde belasting [mm];

$0,9 \cdot B$ = hefboomsarm onder invloed van de drukboog [mm].



4.6.10.2.2.3.1 Wapeningsdiameter ter hoogte van de steunpunten

Ter hoogte van de steunpunten is de verticale drukboogcomponent (F_{yd}) maximaal, terwijl de horizontale component nul is. Als gevolg wordt de wapeningsdiameter op deze locatie berekend op basis van de spanning die de verticale component teweeg brengt. De component introduceert een axiale belasting die zal zorgen voor een normaalspanning. De berekening van de optredende staalspanning ten gevolge van deze kracht is gebaseerd op de fundamentele principes van de sterkteleer:

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{N}{A} = \frac{F_{yd}}{\pi \cdot r^2}$$

Waarbij

$\sigma_{x,Ed}$ = normaalspanning in het kritieke punt [N/mm²];

$N = F_{yd}$ = axiale kracht [N];

$A = \pi \cdot r^2$ = oppervlakte van de doorsnede van de wapeningsstaaf [mm²];

r = straal van de cirkelvormige doorsnede [mm];

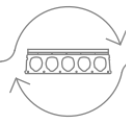
Aangezien de rekenwaarde van de vloeigrens vaststaat en de staafstraal r de enige onbekende is, kan de minimaal vereiste straal direct worden berekend. De berekende theoretische diameter dient vervolgens naar boven te worden afgerond naar de eerstvolgende standaardmaat voor wapeningsstaven. Vervolgens berekent men met de bovenstaande formule de optredende staalspanning op basis van de naar een standaardmaat afgeronde wapeningsdiameter. Deze zal in 4.6.10.2.2.3.3. 'Verankeringslengte' gebruikt worden om de verankeringslengte te berekenen van de staaf in het voegbeton.

4.6.10.2.2.3.2 Wapeningsdiameter midden van de overspanning

In het midden van de overspanning is de horizontale drukboogcomponent (F_{xd}) maximaal, terwijl de verticale component nul is. Als gevolg wordt de wapeningsdiameter op deze locatie berekend op basis van de spanning die de horizontale component teweeg brengt. De component introduceert een buigmoment dat zal zorgen voor een normaalspanning, en een schuifkracht die zal zorgen voor een schuifspanning. De berekening van de optredende staalspanning ten gevolge van deze krachten is gebaseerd op de fundamentele principes van de sterkteleer:

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{M}{W} = \frac{4 \cdot F_{xd} \cdot e}{\pi \cdot r^3}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{F_{xd}}{A} = \frac{F_{xd}}{\pi \cdot r^2}$$



Waarbij

$\sigma_{x,Ed}$	= normaalspanning in het kritieke punt [N/mm ²];
$M = F_{xd} \cdot e$	= buigmoment door de horizontale component van de drukboog [Nmm];
$W = \frac{I}{y_{max}} = \frac{\pi \cdot r^3}{4}$	= weerstandsmoment van een cirkelvormige doorsnede [mm ³];
F_{xd}	= maximale horizontale krachtscomponent van de drukboog [N];
r	= straal van de cirkelvormige doorsnede [mm];
e	= hefboomsarm [mm].
τ_{Ed}	= schuifspanning in het kritieke punt [N/mm ²];
$A = \pi \cdot r^2$	= oppervlakte van de doorsnede van de wapeningsstaaf [mm ²];

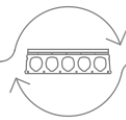
De normaalspanning en de schuifspanning die door de horizontale windbelasting in de verbindingswapening worden opgewekt, resulteren in een gecombineerde spanning. De gehanteerde interactieformule voor deze totale spanning is afgeleid uit het vloeicriterium voor een kritiek punt van de doorsnede, conform NBN EN 1993-1-1:2005 sectie 6.2.1 (5). Deze gecombineerde spanning mag de ontwerpwaarde van de vloeigrens van het wapeningsstaal niet overschrijden. Hierbij wordt de karakteristieke vloeigrens gedeeld door de partiële veiligheidsfactor voor staal (NBN, 2005).

$$\sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Waarbij

$\sigma_{x,Ed}$	= ontwerpwaarde van de lokale normaalspanning in de lengterichting in het beschouwde punt [N/mm ²];
τ_{Ed}	= ontwerpwaarde van de lokale schuifspanning in het beschouwde punt [N/mm ²];
f_y	= vloeigrens van de wapening [N/mm ²];
γ_{M0}	= partiële veiligheidsfactor voor staal [-].

Door de componenten in de interactieformule te substitueren met de specifieke formules voor normaal- en schuifspanning in het kritieke punt, wordt een vergelijking verkregen waarin de straal r van de cirkelvormige doorsnede de enige onbekende is. Aangezien de rekenwaarde van de vloeigrens een vaststaand gegeven is, kan de minimaal vereiste straal hieruit direct worden berekend. De berekende theoretische diameter dient vervolgens naar boven te worden afgerond naar de eerstvolgende standaardmaat voor wapeningsstaven.



$$\sqrt{\left(\frac{4 \cdot F_{xd} \cdot e}{\pi \cdot r^3}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{F_{xd}}{\pi \cdot r^2}\right)^2} \leq \frac{f_y}{1,15}$$

Vervolgens berekent men met de bovenstaande formule de optredende staalspanning op basis van de naar een standaardmaat afgeronde wapeningsdiameter. Deze zal in 4.6.10.2.2.3.3. 'Verankeringslengte' gebruikt worden om de verankeringslengte te berekenen van de staaf in het voegbeton.

4.6.10.2.2.3.3 Wapeningsdiameter tussen de maxima

De wapeningslocaties tussen het midden van de overspanning en de steunpunten van de fictieve hoge ligger zijn onderworpen aan zowel een verticale als een horizontale krachtscomponent van de drukboog. Als gevolg ontstaat er een gecombineerde krachtswerking van beide componenten.

De lokale normaalspanning in het kritieke punt van de doorsnede resulteert volgens NBN EN 1993-1-1 sectie 6.2.1 (7) uit de lineaire superpositie van de axiale kracht en het buigmoment. Die worden gegenereerd door respectievelijk de verticale (F_{yd}) en horizontale (F_{xd}) component van de drukboog op de locatie waarvoor men de wapeningsdiameter berekent. De berekening van de optredende staalspanningen ten gevolge van deze krachten is gebaseerd op de fundamentele principes van de sterkteleer:

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{F_{yd}}{\pi \cdot r^2} + \frac{4 \cdot F_{xd} \cdot e}{\pi \cdot r^3}$$

Waarbij

$\sigma_{x,Ed}$ = normaalspanning in het kritieke punt [N/mm²];

$N = F_{yd}$ = axiale kracht [N];

$A = \pi \cdot r^2$ = oppervlakte van de doorsnede van de wapeningsstaaf [mm²];

$M = F_{xd} \cdot e$ = buigmoment door de horizontale component van de drukboog [Nmm];

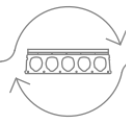
$W = \frac{I}{y_{max}} = \frac{\pi \cdot r^3}{4}$ = weerstandsmoment van een cirkelvormige doorsnede [mm³];

r = straal van de cirkelvormige doorsnede [mm];

e = hefboomsarm [mm].

De schuifspanning door de respectievelijke horizontale component (F_{xd}) van de drukboog wordt berekend aan de hand van een fundamentele formule uit de sterkteleer:

$$\tau_{Ed} = \frac{F_{xd}}{A} = \frac{F_{xd}}{\pi \cdot r^2}$$



Waarbij

- τ_{Ed} = schuifspanning in het kritieke punt [N/mm²];
- F_{xd} = maximale horizontale krachtscomponent van de drukboog [N];
- $A = \pi \cdot r^2$ = oppervlakte van de doorsnede van de wapeningsstaaf [mm²];
- r = straal van de cirkelvormige doorsnede [mm];

De axiale kracht en het buigend moment veroorzaken een normaalspanning, terwijl de schuifkracht zorgt voor een schuifspanning. Samen resulteren deze in een gecombineerde spanning. De gehanteerde interactieformule voor deze totale spanning is afgeleid van het vloeicriterium voor een kritiek punt van de doorsnede, conform NBN EN 1993-1-1:2005 sectie 6.2.1 (5). Deze gecombineerde spanning mag de ontwerpwaarde van de vloeigrens van het wapeningsstaal niet overschrijden (NBN, 2005).

$$\sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

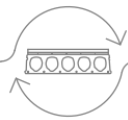
Waarbij

- $\sigma_{x,Ed}$ = ontwerpwaarde van de lokale normaalspanning in de lengterichting in het beschouwde punt [N/mm²];
- τ_{Ed} = ontwerpwaarde van de lokale schuifspanning in het beschouwde punt [N/mm²];
- f_y = vloeigrens van de wapening [N/mm²];
- γ_{M0} = partiële veiligheidsfactor voor staal [-].

Door de componenten in de interactieformule te substitueren met de specifieke formules voor normaal- en schuifspanning in het kritieke punt, wordt een vergelijking verkregen waarin de straal r van de cirkelvormige doorsnede de enige onbekende is. Aangezien de rekenwaarde van de vloeigrens een vaststaand gegeven is, kan de minimaal vereiste straal hieruit direct worden berekend. De berekende theoretische straal dient vervolgens naar boven te worden afgerond naar de eerstvolgende standaardmaat voor wapeningsstaven.

$$\sqrt{\left(\frac{F_y}{\pi \cdot r^2} + \frac{4 \cdot F_x \cdot e}{\pi \cdot r^3}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{F_{xd}}{\pi \cdot r^2}\right)^2} \leq \frac{f_y}{1,15}$$

Vervolgens berekent men met de bovenstaande formule de optredende staalspanning op basis van de naar een standaardmaat afgeronde wapeningsdiameter. Deze zal in 4.6.10.2.2.3.3. 'Verankeringslengte' gebruikt worden om de verankeringslengte te berekenen van de staaf in het voegbeton.



4.6.10.2.2.3.4 Verankeringslengte

Vervolgens kan men de verankeringslengte van de wapeningsstaaf in het voegbeton berekenen. Deze afstand hangt af van de wapeningsdiameter en de hechtsterkte tussen beide. De ontwerpwaarde van de uiterste hechtsterkte wordt berekend met volgende formule (NBN, 2005):

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$$

Waarbij

- f_{bd} = ontwerpwaarde van de uiterste hechtsterkte [N/mm²];
- η_1 = coëfficiënt aanhechtingsconditie [-];
- η_2 = coëfficiënt wapeningsdiameter [-];
- f_{ctd} = ontwerpwaarde van de betontreksterkte van het voegbeton [N/mm²].

Aan de hand van de verkregen hechtsterkte en wapeningsdiameter kan men de verankeringslengte berekenen. Dit is de benodigde lengte om de krachten volledig over te dragen van de wapeningsstaaf naar het beton. De basisverankeringslengte, uitgaande van een constante hechtspanning over de volledige staaf, wordt berekend met volgende formule (NBN, 2005):

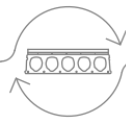
$$l_{b,rqd} = \frac{\phi_l}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

Waarbij

- $l_{b,rqd}$ = basisverankeringslengte [mm];
- ϕ_l = wapeningsdiameter [mm];
- σ_{sd} = rekenwaarde van de spanning in de staaf op de verankeringsplaats [N/mm²];
- f_{bd} = ontwerpwaarde van de uiterste hechtsterkte [N/mm²].

Vervolgens kan de ontwerpverankeringslengte berekend worden door de verkregen basisverankeringslengte te vermenigvuldigen met enkele coëfficiënten (NBN, 2005):

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$



Waarbij

l_{bd} = ontwerpverankeringslengte [mm];

α_1 = coëfficiënt voor de vorm van de staaf [-];

α_2 = coëfficiënt voor de betondekking [-];

α_3 = coëfficiënt voor de invloed van dwarswapening [-];

α_4 = coëfficiënt voor de gelaste dwarsstaven [-];

α_5 = coëfficiënt voor de druk loodrecht op het splijtvlak [-];

$l_{b,rqd}$ = basisverankeringslengte [mm];

$l_{b,min,trek} > \max\{0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ mm}\}$

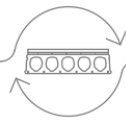
$l_{b,min,druk} > \max\{0,6 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ mm}\}$

Aangezien er geen dwarswapening in deze configuratie aanwezig is, zullen α_3 en α_4 geen invloed hebben op de ontwerpverankeringslengte en bijgevolg gesteld worden op één. De verticale component van de drukboog, gevormd door de spreiding van de windbelasting, genereert een druk loodrecht op de staaf. Deze druk bevordert de verankering, wat resulteert in een reductie van de benodigde verankeringslengte (NBN, 2005).

Ter illustratie wordt een voorbeeldberekening uitgevoerd voor een gebouw met een grondvlak van 10 m bij 8 m, een verdiepingshoogte van 3 m en een totale hoogte van 12 m. Op basis van terreincategorie I wordt conform NBN EN 1991-1-4 ANB:2010 (tabel 4.9) een extreme stuwdruk van 1,22 kN/m² als uitgangspunt genomen. De drukboog resulteert in een maximale verticale component van 27,4 kN ter hoogte van de steunpunten, en een maximale horizontale component van 9,5 kN in het midden van de fictieve overspanning. Ter hoogte van de steunpunten resulteren de berekeningen in een theoretisch vereiste wapeningsdiameter van 8,96 mm, uitgaande van staalklasse BE500S. De theoretisch berekende diameter wordt afgerond naar de eerstvolgende standaardmaat, wat in dit geval 10 mm bedraagt. De krachswerking in een staaf met deze diameter resulteert in een spanning van 348,87 N/mm². De staaf wordt verankerd over een lengte van 387,63 mm.

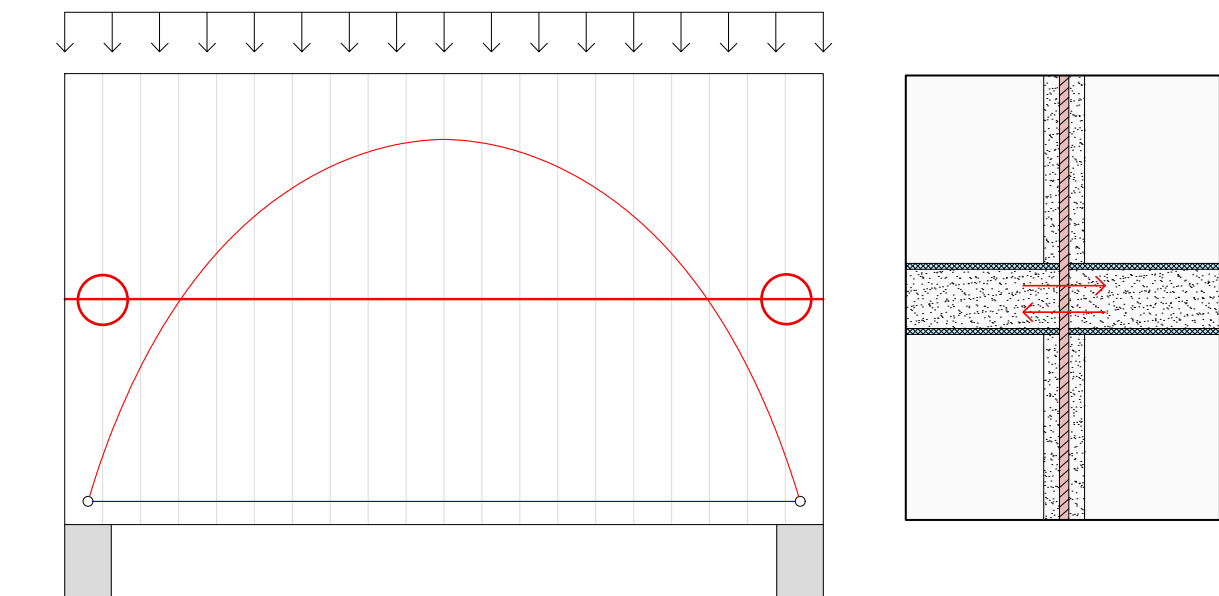
De wapeningsstaaf in het midden van de fictieve overspanning ondervinden een gecombineerde spanning als gevolg van een buigend moment en een schuifkracht. De berekeningen resulteren in een theoretisch vereiste wapeningsdiameter van 13,22 mm, die men afrondt naar 14 mm aangezien dit de dichtstbijzijnde bovenliggende standaarddiameter is. De krachswerking in een staaf met deze diameter resulteert in een gecombineerde spanning van 368,49 N/mm². De staaf wordt verankerd over een lengte van 573,2 mm.

De wapeningsdiameter voor de strengen tussen de twee besproken maxima wordt berekend op basis van de gecombineerde spanning uit beide krachtscomponenten op de locatie waar deze aangrijpen. Op een vierde van de overspanning bedraagt de verticale component 13,7 kN en de horizontale component ongeveer 6,5 kN. Deze krachten resulteren in een theoretisch vereiste wapeningsdiameter van 12,76 mm, wat leidt tot een gekozen standaarddiameter van 14 mm. Hieruit kan worden geconcludeerd dat strengen van 14 mm volstaan voor elke voeg in deze opstelling.



4.6.10.2.2.4 Schuifspanning in voeg ter hoogte van een tussenoplegging

Wanneer men gebruik maakt van een tussenmuur of tussenbalk in het grondplan, zal men twee rijen holle welfsels plaatsen. Deze twee rijen kan men zien als twee volumes die bij buiging ten opzichte van elkaar kunnen schuiven (J. Vander Beken, persoonlijke communicatie, 6 mei 2026). Als gevolg wordt dezelfde verbindingwapening gebruikt als bij de aansluiting van de holle welfsels aan de ringbalk. Deze worden in de voegen geplaatst om te voorkomen dat de twee rijen afzonderlijk van elkaar bewegen. Omdat de voeg tussen de twee rijen elementen door PE-schuim van de welfsels wordt gescheiden, vangt de koppelwapening de optredende schuifspanning op. De diameter van deze wapening wordt bepaald op basis van de berekende maximale schuifspanning in de voeg in combinatie met de optredende axiale belasting door de windlast. Deze waarde is te vinden ter hoogte van de steunpunten en is omcirkeld in Figuur 157.



Figuur 157: Drukboog door diafragmawerking in vloerconfiguraties met holle welfsels, tussenvoeg in het rood aangeduid, met resulterende schuifkracht.

Zoals in de figuur duidelijk wordt gemaakt, bekijkt men een samenwerkende vloer als een hoge ligger (NBN, 2011). De verbinding tussen de twee rijen wordt gerealiseerd met koppelwapening, waarbij wordt uitgegaan van een volledige samenwerking. Hierdoor kan de samengestelde doorsnede als één geheel worden beschouwd. De schuifspanning in de voeg, aangeduid in het rood, wordt berekend met de schuifspanningsformule van Jourawski:

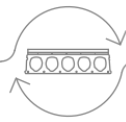
$$\tau_h = \frac{V(x) \cdot S}{b \cdot I}$$

Waarbij

τ_h = horizontale schuifspanning [N/mm²];

$V(x)$ = maximale dwarskracht op de doorsnede [N];

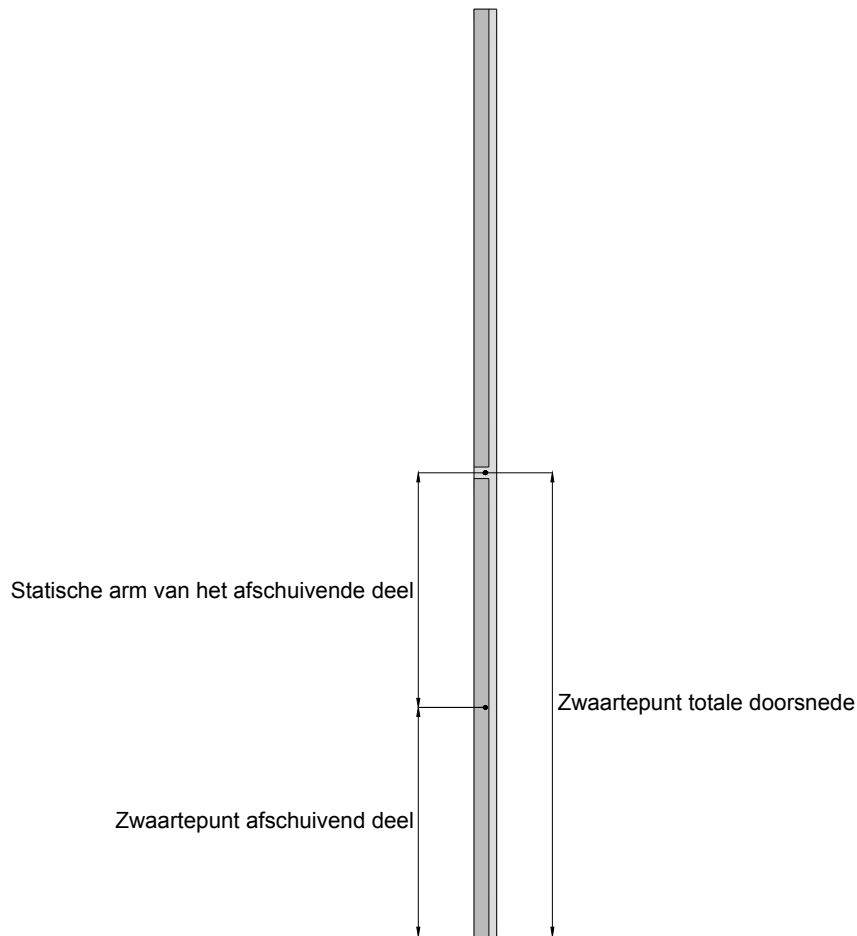
S = statisch moment van het afschuivende deel [mm³];



b = breedte van de doorsnede [mm];

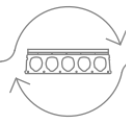
$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$ = traagheidsmoment van de bruto rechthoekige doorsnede, waarbij geen rekening is gehouden met de holtes [mm⁴].

De schuifspanning wordt geëvalueerd voor de doorsnede met de grootste dwarskrachtbelasting, welke zich ter hoogte van de steunpunten bevindt. De doorsnede ziet er als volgt uit:



Figuur 158: Doorsnede vloer als theoretische hoge ligger met aangeduide afmetingen nodig voor de schuifspanningsberekening.

De resulterende schuifkracht in de voeg wordt bepaald door de schuifspanning te vermenigvuldigen met het betreffende oppervlak; deze kracht moet vervolgens door de koppelwapening worden opgenomen. Dit betreft een conservatieve benadering; in werkelijkheid is de schuifspanning enkel maximaal ter hoogte van de steunpunten en neemt deze over de lengte van de overspanning af. Aangezien er in elke voeg een koppelwapening voorzien wordt, kan deze kracht gedeeld worden door het totaal aantal koppelwapeningsstaven. Op deze manier wordt de kracht berekend die elke staaf afzonderlijk opneemt.



$$F_{afschuif} = \tau_h \cdot b \cdot L$$

$$F_{1\text{ streng}} = \frac{F_{afschuif}}{\#strengen}$$

Waarbij

$F_{afschuif}$ = resulterende schuifkracht uit de schuifspanning [N];

τ_h = horizontale schuifspanning [N/mm²];

b = breedte van de doorsnede [mm];

L = lengte van de vloer, overspanning in het theoretisch model [mm];

$F_{1\text{ streng}}$ = schuifkracht opgenomen door één streng [N].

De schuifkracht grijpt loodrecht aan op de lengteas van de koppelwapening. Aangezien er ook een axiale kracht op de staven werkt – die maximaal is ter hoogte van de oplegging – volstaat een diameterbepaling op basis van enkel de schuifkracht niet. De wapeningsdiameter wordt bijgevolg gedimensioneerd met de interactieformule voor het vloeicriterium, conform NBN EN 1993-1-1:2005 sectie 6.2.1 (5). Voor een optimaal materiaalgebruik wordt uitgegaan van het net niet vloeien van het wapeningsstaal; daarom stelt men de gecombineerde spanningsformule gelijk aan de vloeigrens (NBN, 2005). Hierdoor is de straal r van de wapening de enige resterende onbekende.

$$\sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\Leftrightarrow \sqrt{\left(\frac{F_y}{\pi \cdot r^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{4 \cdot F_{1\text{ streng}}}{3 \cdot \pi \cdot r^2}\right)^2} \leq \frac{f_y}{1,15}$$

Waarbij

$\sigma_{x,Ed}$ = ontwerpwaarde van de lokale normaalspanning in de lengterichting in het beschouwde punt [N/mm²];

τ_{Ed} = ontwerpwaarde van de lokale schuifspanning in het beschouwde punt [N/mm²];

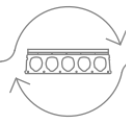
f_y = vloeigrens van de wapening [N/mm²];

F_y = axiale kracht [N];

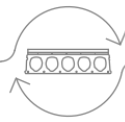
γ_{M0} = partiële veiligheidsfactor voor staal [-];

r = straal van de cirkelvormige doorsnede [mm];

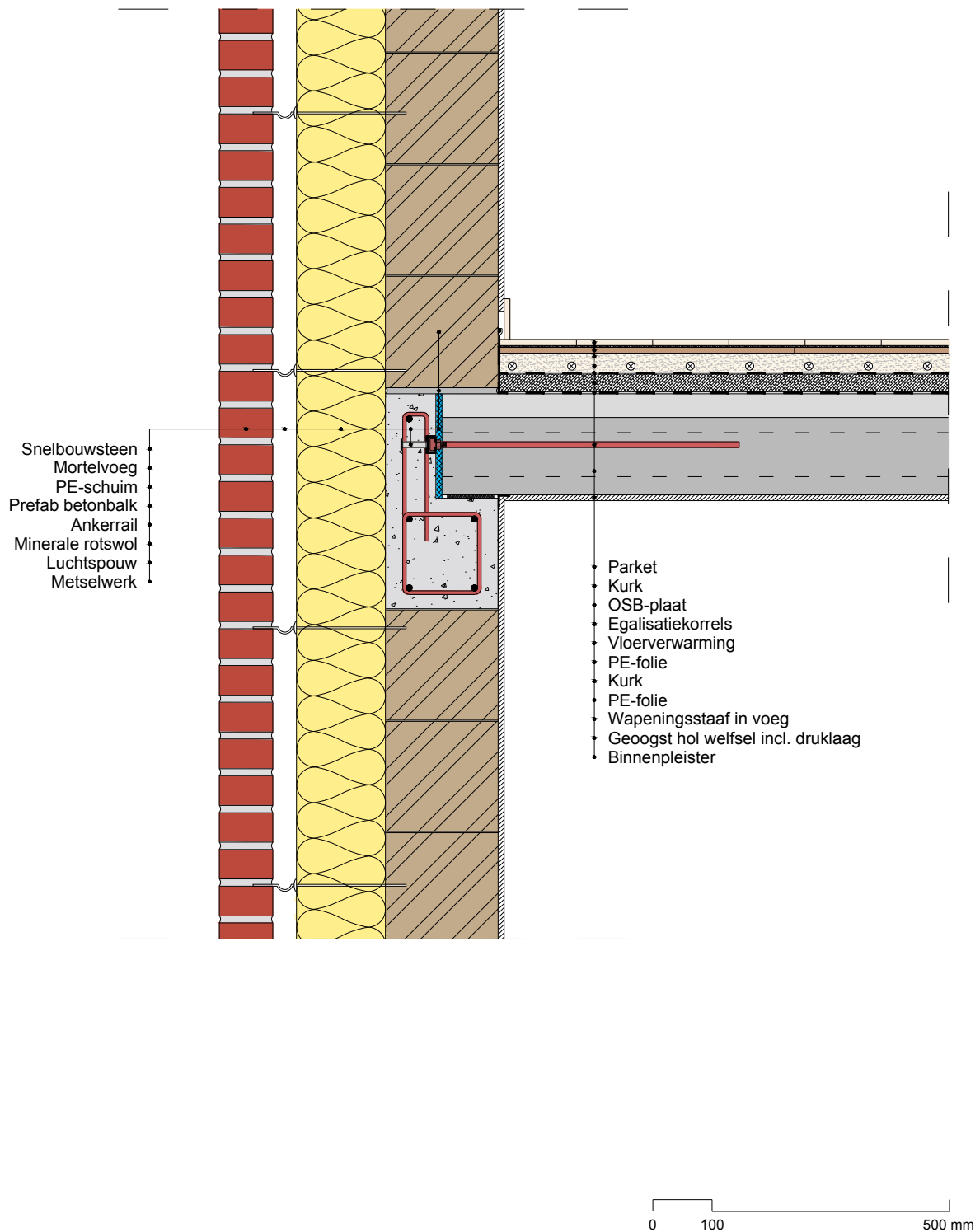
$F_{1\text{ streng}}$ = resulterende schuifkracht uit de schuifspanning voor één streng [N].



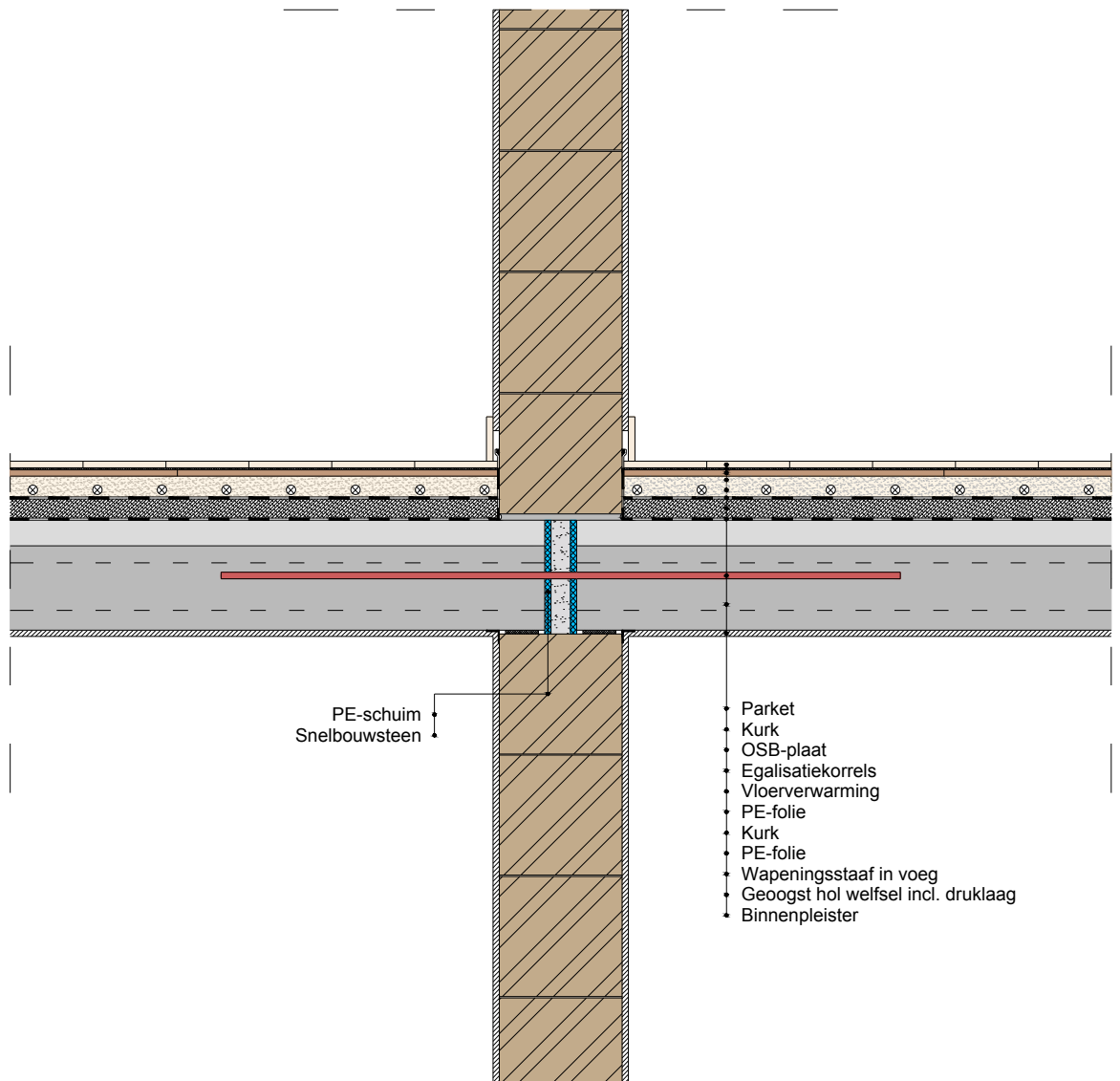
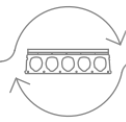
Ter illustratie wordt een voorbeeldberekening uitgevoerd voor een gebouw met dezelfde dimensies als voorgaande berekeningen; een grondvlak van 10 m bij 8 m, een verdiepingshoogte van 3 m en een totale gebouwhoogte van 12 m. Op basis van de gekozen stuwdruk, conform NBN EN 1991-1-4 ANB:2010 (tabel 4.9), bedraagt de horizontale component van de drukboog 9,5 kN en de verticale component 27,4 kN. Er wordt gebruik gemaakt van holle welfsels met een breedte van 600 mm. In deze configuratie plaatst men 16 volledige holle welfsels per rij, en een passtuk. Dit wil zeggen dat er 16 voegen zijn waarin koppelwapening geplaatst wordt. Bijgevolg bedraagt de schuifkracht per streng 3,2 kN. Naast de optredende schuifkracht wordt de streng belast door een axiale kracht. Deze is het grootste ter hoogte van de oplegging en bedraagt 27,4 kN, dit is de reactiekracht. Uit de interactieformule voor een gecombineerde spanning volgt een wapeningsdiameter van 9,1 mm, oftewel een standaardmaat van 10 mm, wanneer wapeningsstaven van klasse BE500S gebruikt worden.



4.6.10.2.2.5 Draagmuur woning



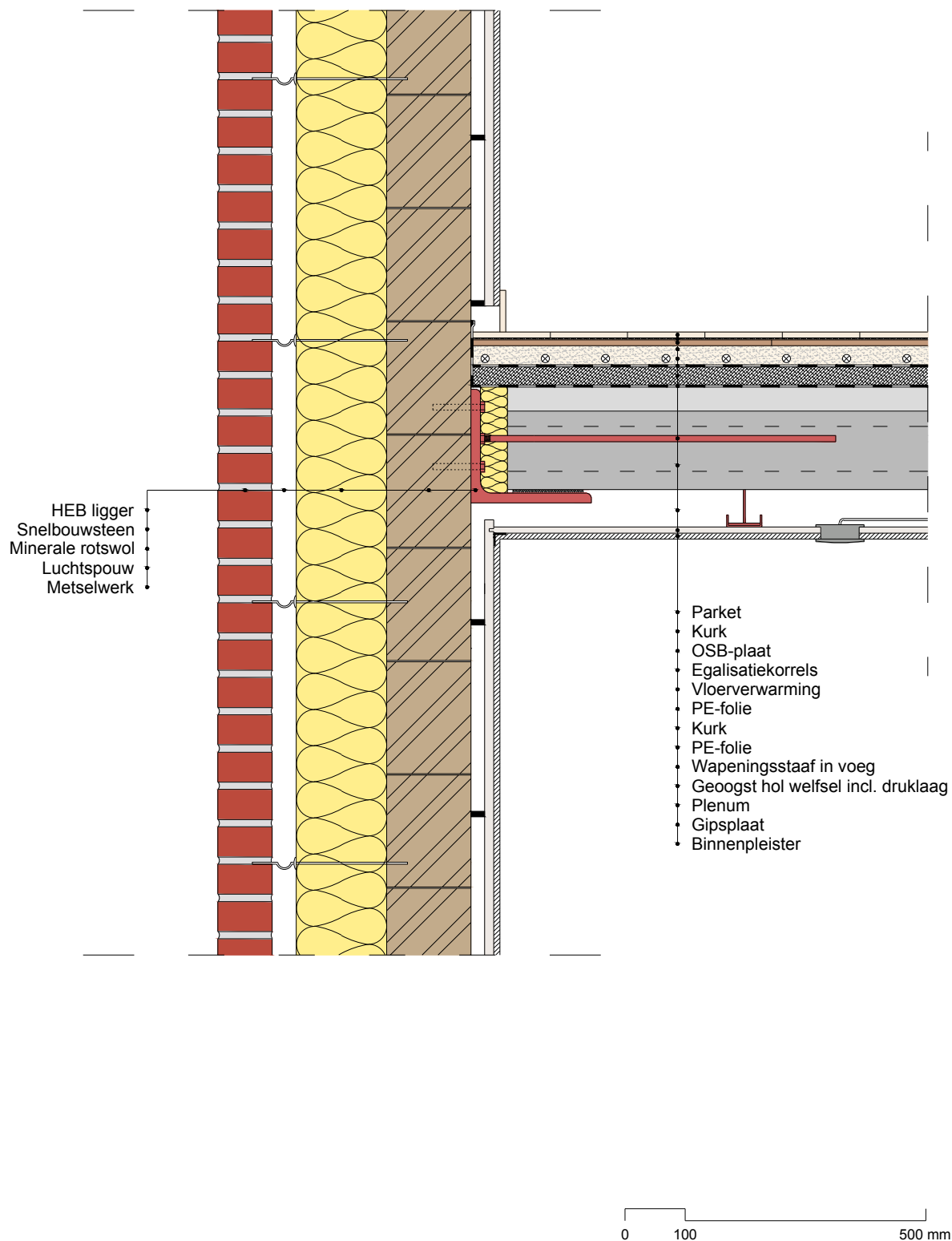
Figuur 159: *Bouwdetail hoek demontabel bouwen woning.*



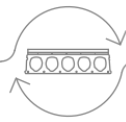
Figuur 160: *Bouwdetail tussenmuur demontabel bouwen woning.*



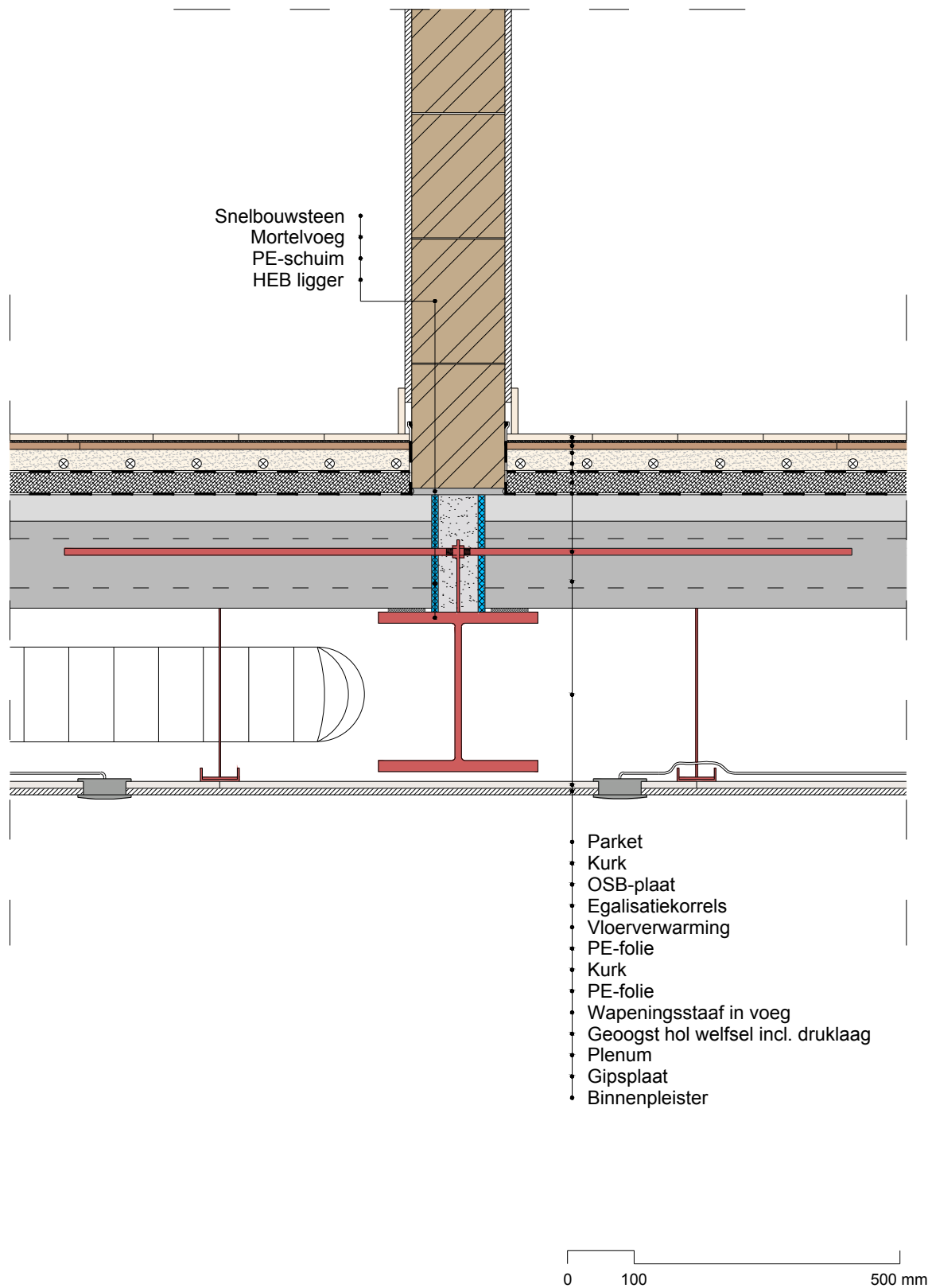
4.6.10.2.2.6 Renovatiedetail



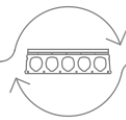
Figuur 161: *Bouwdetail hoek demontabel bouwen woning, stalen ligger.*



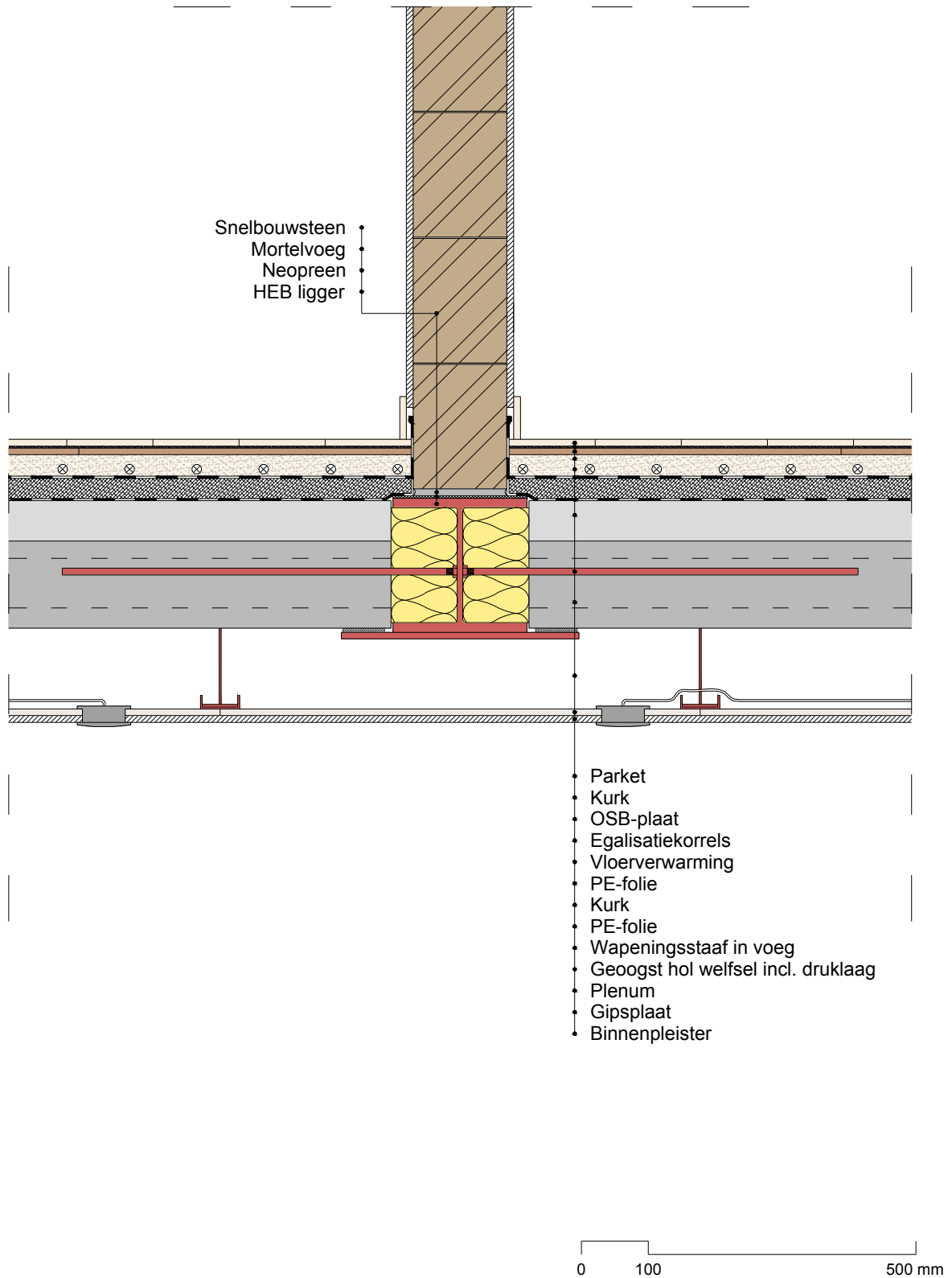
4.6.10.2.2.7 Stalen ligger woning



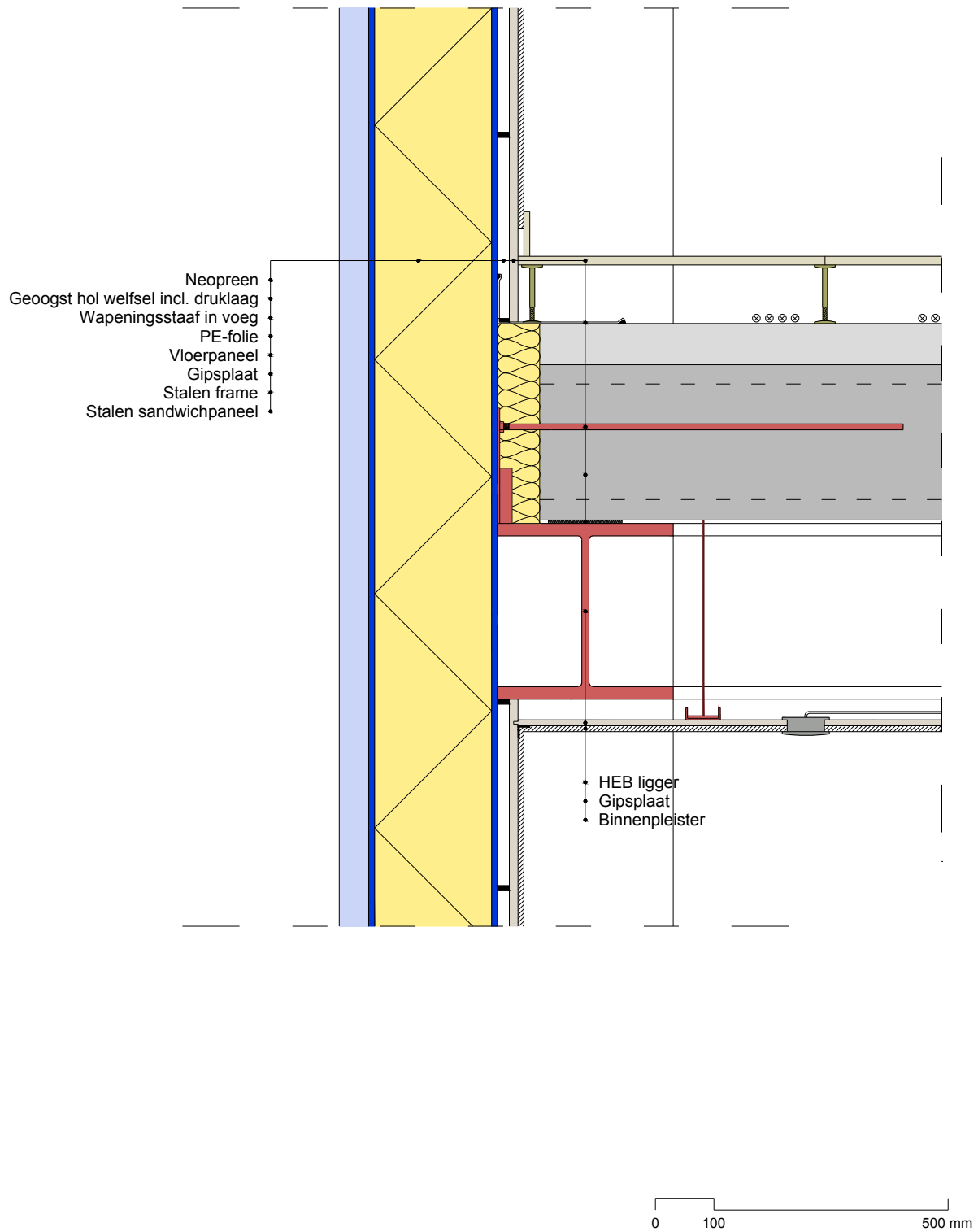
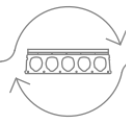
Figuur 162: *Bouwdetail tussenmuur demontabel bouwen woning, stalen ligger.*



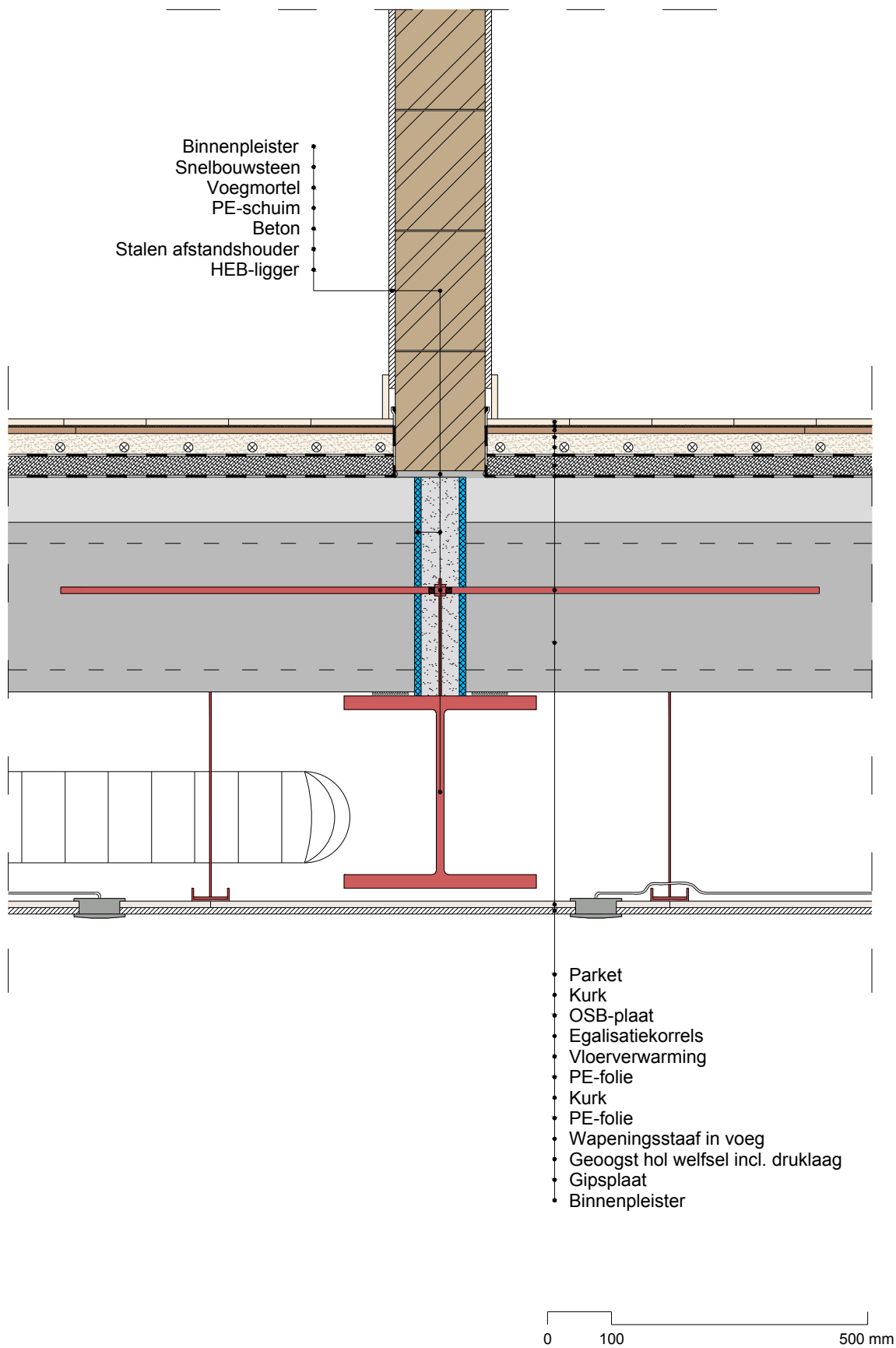
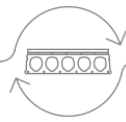
4.6.10.2.2.8 Staalskelet industrie- of kantoorgebouw



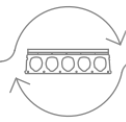
Figuur 163: *Bouwdetail tussenmuur demontabel bouwen woning, stalen ligger met extra onderflens.*



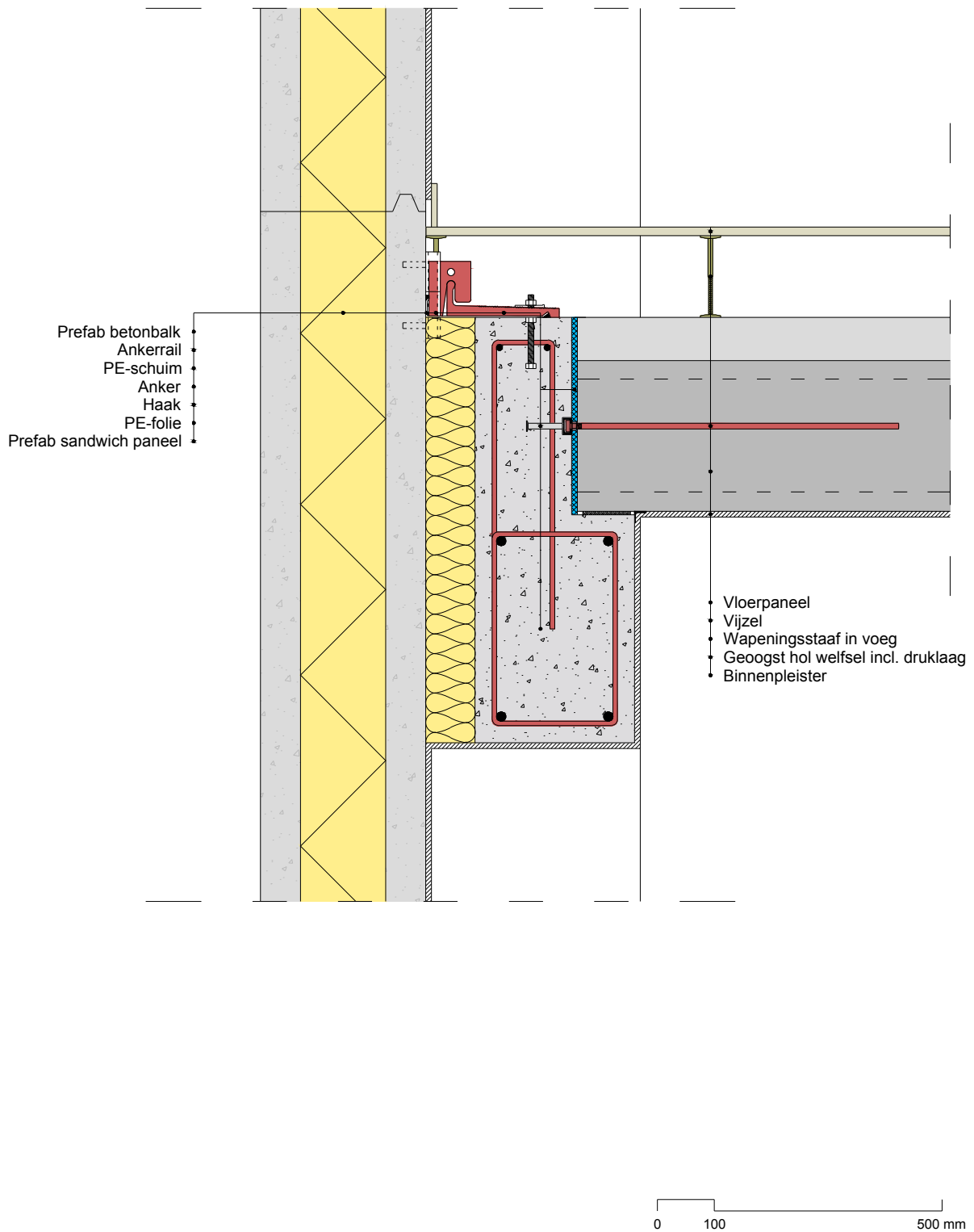
Figuur 164: *Bouwdetail hoek demontabel bouwen staalskeletbouw.*



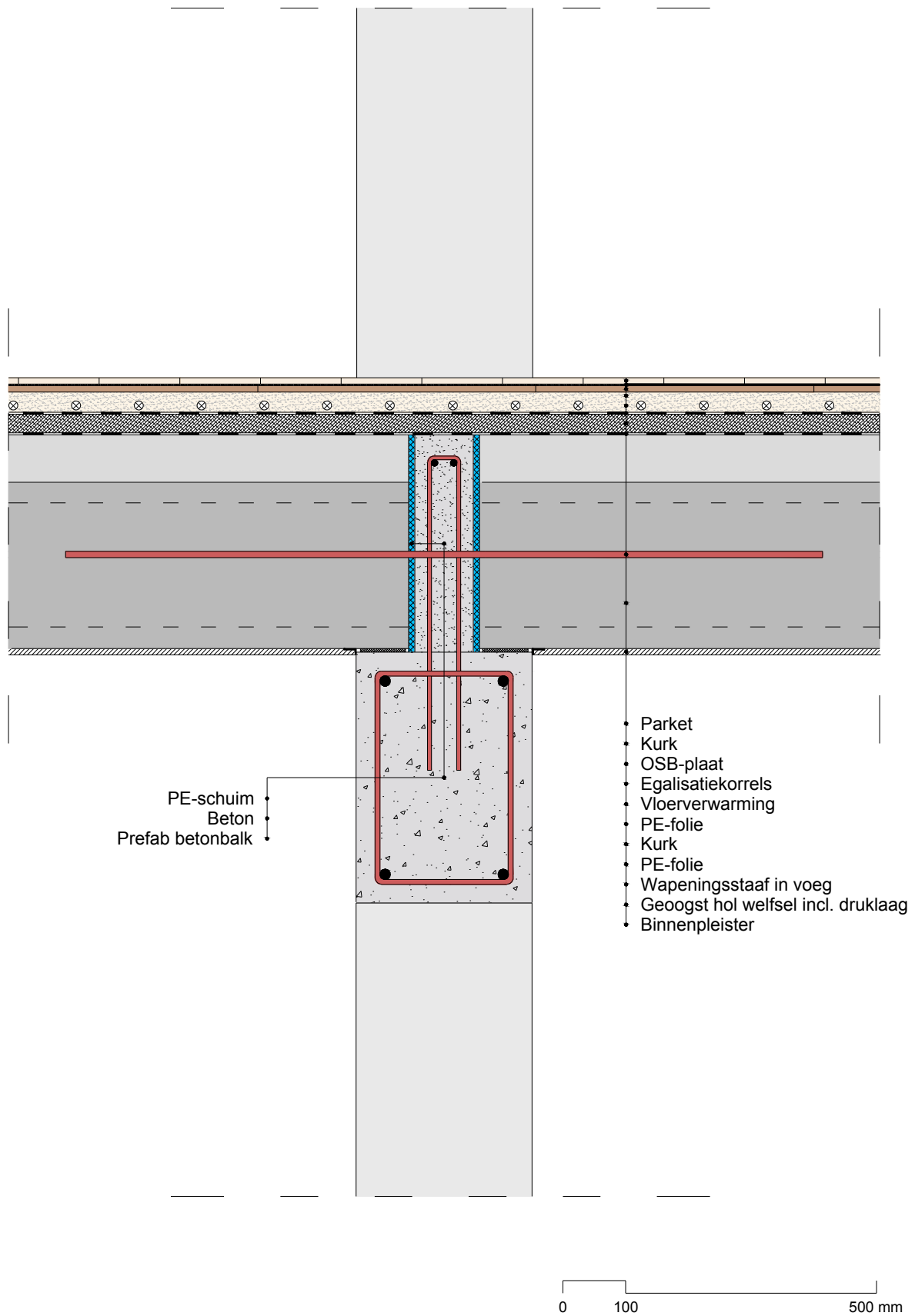
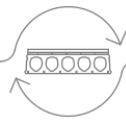
Figuur 165: *Bouwdetail tussenmuur demontabel bouwen staalskeletbouw.*



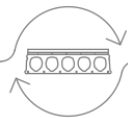
4.6.10.2.2.9 Betonskelet industrie- of kantoorgebouw



Figuur 166: *Bouwdetail hoek demontabel bouwen betonskeletbouw.*



Figuur 167: *Bouwdetail tussenmuur demontabel bouwen betonskeletbouw.*



4.7. Drukklaag

De drukklaag op een configuratie van holle welfsels verhoogt de draagkracht en zorgt ervoor dat puntlasten gespreid worden over verschillende elementen (Febefloor, 2020). Bovendien verbetert de drukklaag ook de samenwerking tussen de onderlinge elementen, wat de schijfwerking van de totale vloerconstructie ten goede komt (Ergon, 2018). Gezien de focus van deze masterproef op het recupereren en hergebruiken van betonnen elementen, wordt logischerwijs betonafval tot een minimum beperkt. Het verwijderen van de drukklaag is immers niet alleen arbeidsintensief, maar ook onnodig. De aanhechtingsproef, zoals beschreven in 4.6.3.1. 'Aanhechtingsproef', zal uitmaken of de drukklaag verwijderd moet worden of niet. Aangezien er normen bestaan om de kwaliteit en de aanhechting van de drukklaag te waarborgen (NBN, 2011), zal in het overgrote deel van de aanhechtingsproefgevallen geconcludeerd worden de drukklaag te behouden.

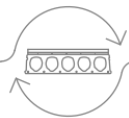
Naast de besparing op arbeid en het behoud van een groter draagvermogen, brengt deze methode een aanzienlijk hogere eigen massa met zich mee dan bij welfsels zonder drukklaag. Dit beïnvloedt op een negatieve manier het aantal elementen dat per vrachtwagen getransporteerd kan worden. De extra kosten dat het transport van de zwaardere elementen met zich meebrengt, kan worden genuanceerd als het extra verkregen draagvermogen competitief is met het vermogen van een basiswelfsel van dezelfde hoogte. De onderstaande tabel toont de weerstandsmomenten of nuttige belastingen met en zonder drukklaag voor elementen van de fabrikanten Ergon, Megaton/Structo en DOU Beton.

Type vloerelement Ergon	Weerstandsmoment M_{Rd} [kNm]		Hoogte element [mm]
	zonder drukklaag	met drukklaag	
SP 150-5X	44	61	150 + 50
SP 200-5X	63	81	200 + 50
SP 265-6X	106	127	265 + 50
SP 320-6X	132	153	320 + 50

Type vloerelement Megaton/Structo	Overspanning [m]	Nuttige belasting $\left[\frac{kN}{m^2}\right]$ zonder drukklaag	Nuttige belasting $\left[\frac{kN}{m^2}\right]$ met drukklaag	Hoogte element [mm]
WX 150	7	2,3	4	150 + 50
WX 200	7	6,5	10,5	200 + 50
WX 265	10	5	7	265 + 50
WX 320	10	9,3	13	320 + 50

Type vloerelement DOU Beton	Overspanning [m]	Nuttige belasting $\left[\frac{kN}{m^2}\right]$ zonder drukklaag	Nuttige belasting $\left[\frac{kN}{m^2}\right]$ met drukklaag	Hoogte element [mm]
Gewapend 13	4	4,5	7	130 + 40
Gewapend 17	4	7+	X	170
Gewapend 13	5	X	3,5	130 + 40
Gewapend 17	5	5	7	170 + 40
Gewapend 13	5,2	X	3	130 + 40
Gewapend 17	5,2	3,5	7	170 + 40

Tabel 36: Holle welfsels met hun bijhorende draagcapaciteit en hoogte.

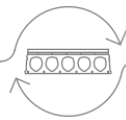


Elke tabel toont verschillende types holle welfsels met bijhorende hoogtes. De eigenschappen van elementen met druklaag moeten worden vergeleken met die van een basiselement waarvan de hoogte gelijk is aan de totale hoogte van de gecombineerde sectie. Dit wil zeggen dat een hol welfsel met een hoogte van 150 mm en een druklaag van 50 mm vergeleken wordt met een hol welfsel met een equivalente totale hoogte van 200 mm. Er kan worden geconcludeerd dat zowel het weerstandsmoment bij Ergon als de nuttige belasting bij de overige fabrikanten iets lager uitvalt voor een gecombineerde sectie dan voor een basiselement van dezelfde hoogte. Naarmate de overspanning toeneemt, neemt de meerwaarde van de druklaag af en nadert de capaciteit van de gecombineerde sectie die van het equivalente basiselement. Met andere woorden: hoe groter de overspanning, hoe competitiever de draagcapaciteit van de gecombineerde sectie is ten opzichte van een basiselement met dezelfde hoogte. Als gevolg is het valabel de druklaag te behouden om de draagcapaciteit van de individuele elementen te verhogen en betonafval te vermijden.

Een sprekend voorbeeld waarbij de holle welfsels inclusief hun druklaag zijn geoogst, is de ontmanteling van het Prinsenhof Arnhem, zoals nader beschreven wordt in paragraaf 3.3.4. 'Kenniscentrum circulair bouwen – Cepezed, ReCreate'. In dit project werden de 13 meter lange elementen over hun volledige diepte uitgezaagd en uitgehesen (Van Rijnbach, 2023). Op deze gecombineerde sectie werden druk- en belastingsproeven uitgevoerd om de eigenschappen van de geoogste materialen te garanderen. De holle welfsels bleken hierbij dubbel zo sterk te zijn als oorspronkelijk geregistreerd (Lagemaat, 2022). Hoewel een druklaag de draagkracht positief beïnvloedt (FebeFloor, 2020), leidt dit zeker niet tot een verdubbeling van de totale capaciteit. Dit illustreert dat geoogste elementen hun hoogwaardige eigenschappen behouden en niet zomaar in kwaliteit inboeten.

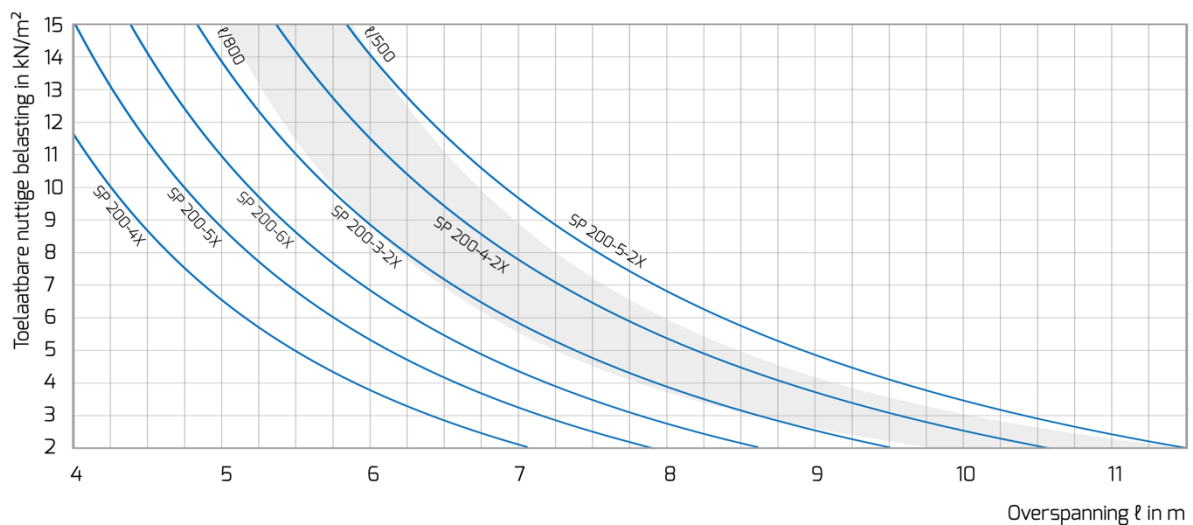


Figuur 168: *Circulaire ontmanteling holle welfsels uit het Prinsenhof Arnhem.* Overgenomen van 'Circulair slopen is een omgekeerd bouwproces', door Van Elburg, 2022.



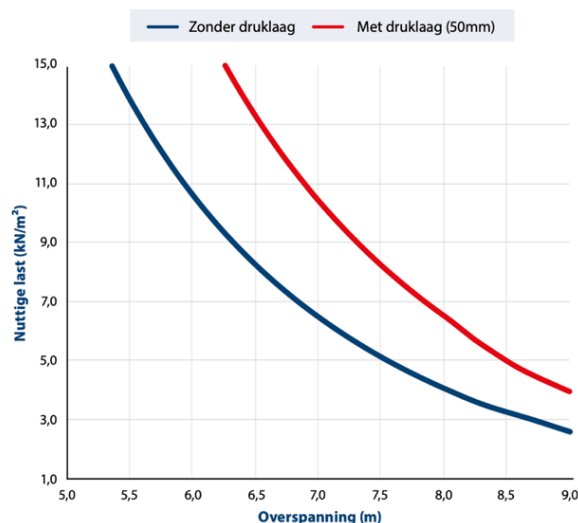
4.7.1. Ontwerptabellen

Fabrikanten geven doorgaans in hun catalogi ontwerptabellen of -grafieken. Deze documenten geven voor eenzelfde type welfsel de verschillende overspanningen met bijhorende nuttige belasting. Opmerkelijk is hoe sterk de nuttige belasting stijgt met het verminderen van de overspanning. Aangezien de lengte van prefab welfsels eenvoudig kan worden aangepast door ze af te zagen (B. De Maegd, persoonlijke communicatie, 3 april 2026), kan de draagcapaciteit van de geoogste elementen worden verhoogd door de overspanning te verkleinen. Dankzij deze ingreep kunnen elementen die in eerste instantie ontoereikend waren voor de gestelde eisen, alsnog worden opgewaardeerd naar een hogere belastingsklasse. Onderstaande ontwerpgrafiek toont dit principe voor een type SP 200-element van Ergon. De cijfers na het koppelteken duiden het aantal voorspanstrengen aan (Ergon, 2018).



Figuur 169: Grafiek draagvermogen hol welfsel type SP 200. Overgenomen van *Technische gids*, door Ergon, 2018.

Ter vergelijking van holle welfsels met een identieke hoogte tussen verschillende fabrikanten, toont de onderstaande ontwerpgrafiek het principe voor een type WXT200-element van Megaton/Structo (Megaton/Structo, z.d.).



Figuur 170: Grafiek draagvermogen hol welfsel type WXT200. Overgenomen van *Technische brochure WX*, door Megaton / Structo.

5. Financiële analyse van het hergebruiktraject



Over de financiële kant van het hergebruiktraject

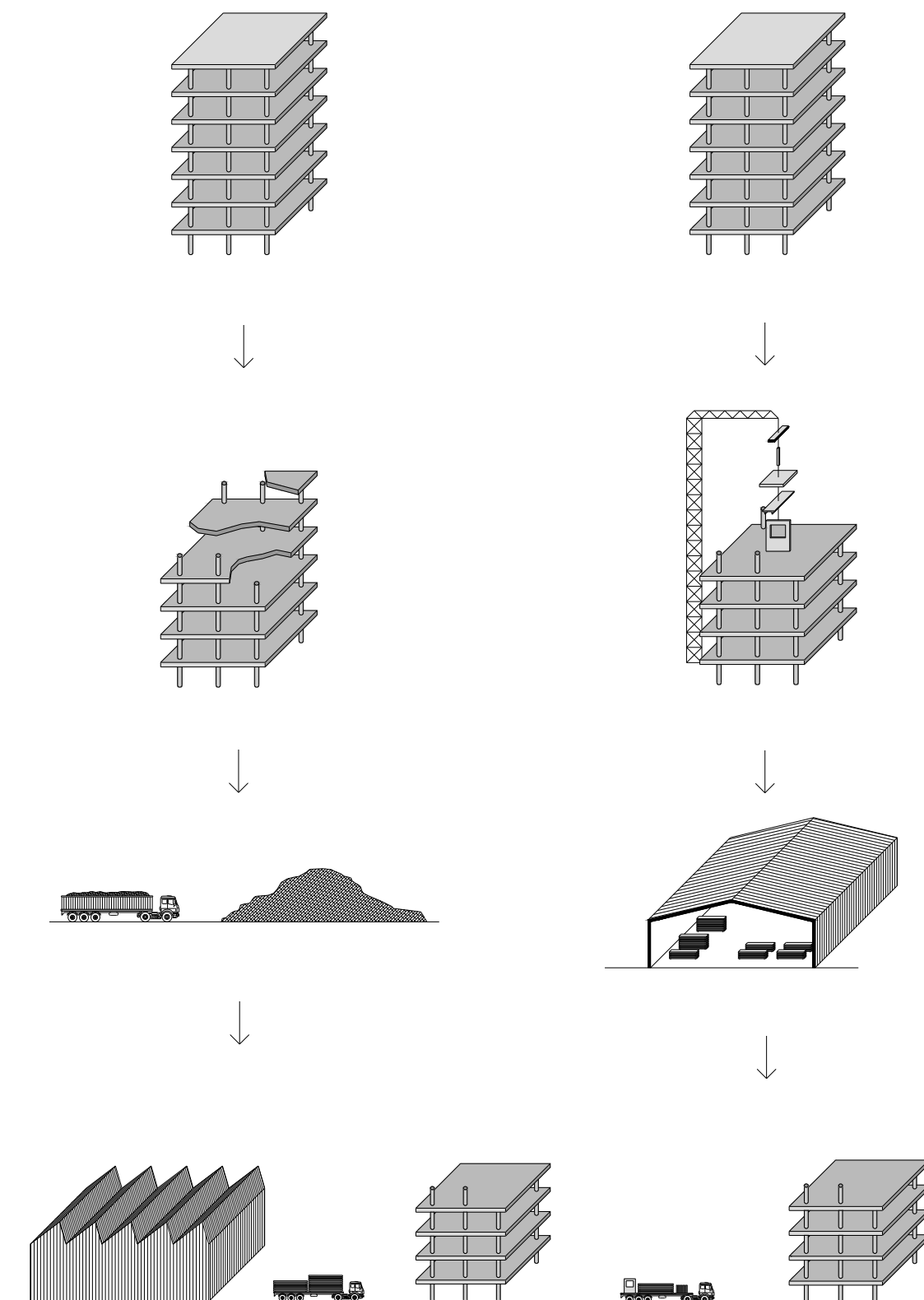


5.1. Financiële analyse

Uit het eerste deelonderzoek werd geconcludeerd dat een hergebruiktraject voor betonnen elementen economisch onvoordelig is. Zo ligt de prijs voor een gerecupereerd hol welfsel in een grondgebonden woning 17% hoger dan die van een nieuw geproduceerd element, terwijl dit verschil bij een appartementsgebouw zelfs oploopt tot 28% (Snoek & Knuiman, 2021). Voor een kantoorpand van tien verdiepingen met een oppervlakte van telkens 1.100 m² vallen de bouwkosten bij hergebruik bovendien 20% hoger uit dan bij het gebruik van nieuwe holle welfsels (Naber et al., 2013). Wanneer ook andere elementen in beschouwing worden genomen, toont een haalbaarheidsstudie van Rijkswaterstaat aan dat hergebruik van voorgespannen brugliggers de totale projectkosten met 8% kan verlagen (Rijkswaterstaat, 2021). Door gebrek aan een gedetailleerde gepubliceerde uitwerking van de referentieprojecten en de gevolgde hergebruikstappen voor holle welfsels, zijn eerdergenoemde cijfers slechts een richtinggevende indicatie. Aangezien appartementsgebouwen doorgaans groter zijn dan grondgebonden woningen, kunnen er meer holle welfsels worden geoogst. Ondanks het grotere volume aan herbruikbare elementen binnen deze strategie, vallen de kosten per eenheid opmerkelijk hoger uit dan bij een grondgebonden woning, die over slechts een beperkt aantal elementen beschikt.

Een gedetailleerde financiële analyse van het beslissingsdiagram zal uitwijzen of de gevolgde logica daadwerkelijk leidt tot een hogere kostprijs per vierkante meter welfsel. Om een correcte vergelijking met nieuw geproduceerde elementen te maken, wordt het diagram doorlopen voor een grondgebonden woning (120 m²) en een industrieel- of kantoorgebouw (2044 m²), aangevuld met simulaties voor oppervlaktes van 200 m², 300 m², 3.052 m² en 4.060 m². Aangezien de beslissingen in het diagram gebaseerd zijn op voortschrijdend inzicht, wordt de uiteindelijke kostprijs bepaald door het traject waarin voor elk referentiegeval een gunstig, realistisch en ongunstig scenario wordt geanalyseerd. Het gunstige scenario vermijdt bijkomende kosten door een positieve uitkomst bij elke stap, terwijl het realistische traject rekening houdt met onvermijdelijke zijstappen en meerprijzen. Wanneer alle beslissende stappen negatief uitvallen, zijn extra activiteiten vereist om de elementen van de juiste informatie te voorzien, wat resulteert in het zogenaamde worst case scenario. Het economische hergebruiktraject eindigt bij de levering van de elementen op de werf; de vervolgstappen zijn immers identiek aan de plaatsing van nieuw gefabriceerde holle welfsels.

De verkregen eindkosten worden vergeleken met de prijs voor de levering van nieuw geproduceerde holle welfsels op de werf. Omdat een hergebruiktraject bepaalde kosten bespaart ten opzichte van de conventionele slooppraktijk, kan de nieuwprijs van welfsels genuanceerd worden. In deze masterproef wordt de 'wereld van morgen' geïntroduceerd: een analysemodel waarin niet simpelweg hergebruik met nieuwprijs wordt vergeleken, maar conventionele sloop- en bouwpraktijken afzetten tegen een circulaire bouweconomie. Dit scenario veronderstelt een paradigmaverschuiving waarin het bouwen op onbebouwde percelen niet langer de norm is; men start altijd vanuit een bestaande constructie. Waar de conventionele methode een gebouw verbrijzelt en het puin afvoert, waarbij de transport- en storkosten feitelijk bij de prijs van het nieuwe bouw materiaal opgeteld moeten worden, vermijdt de circulaire economie deze afvalkosten door ontmanteling en hergebruik. Vanzelfsprekend brengt de circulaire methodiek ook kosten met zich mee. Inspecties, proeven en de arbeidsintensieve demontage, evenals de logistiek naar tussenopslag, resulteren in een eigen kostenstructuur voor de circulaire bouwpraktijk. Aan de hand van deze twee trajecten maakt deze analyse een eerlijke vergelijking mogelijk tussen een lineair slooptraject en een circulair ontmantelings- en bouwtraject.



Figuur 171: *Vergelijking conventioneel sloop- en bouwproces met circulair ontmantelings- en bouwproces.*



5.1.1. Kostprijzen

Aan elke activiteit in het beslissingsdiagram is een prijs gekoppeld. De onderstaande tabel biedt een overzicht van de mogelijke processtappen en hun respectievelijke aankoop-eenheidsprijzen. Dit maakt het mogelijk het beslissingsdiagram economisch te evalueren om de financiële haalbaarheid, de grootste kostenposten en eventuele optimalisatiemogelijkheden te bepalen. De eenheidsprijzen sluiten aan bij de actuele bouwpraktijk, wat voor elk traject een realistische raming van de eindkosten oplevert (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 17-25 maart 2026; T. Soetens, persoonlijke communicatie, 5-26 maart 2026; J. Vander Beken, persoonlijke communicatie, 25 maart 2026; Concrete research & testing, z.d.). Deze lijst bevat ook de fabricagekosten van twee types holle welfsels en de bijhorende sloop- en stortkosten, zodat men een correcte totale conventionele referentiekost kan berekenen. Alle genoemde bedragen zijn exclusief btw, winsten of werfkosten. Omdat winstmarges per bouwinstantie kunnen verschillen, biedt een vergelijking van de initiële kosten per stap het meest nauwkeurige beeld van beide trajecten. Bovendien is bij de uitvoering van praktijkproeven de volledige verwerking van de onderzoeksgegevens al in de prijs inbegrepen.

Voor stappen zoals het uittekenen van een snijpatroon of het inventariseren van elementen is het omslachtig om een eenheidsprijs te bepalen. Deze taken worden respectievelijk uitgevoerd door een bouwvakker op de werf en een ingenieur. De kosten voor deze stappen worden berekend aan de hand van de geldende uurtarieven van beide. Uiteraard zullen activiteiten waarvan een duur ingeschat moet worden per specifiek geval anders zijn. Alle inschattingen worden nagekeken en goedgekeurd door Timothy Debaets, Directeur Uitvoering bij Groep Versluys. Dit deel van het onderzoek houdt geen rekening met de verworven milieuwinsten voor het hergebruiken van betonnen holle welfsels, omdat de bouwkost voor de verschillende bouwactoren een belangrijkere voorwaarde is voor de haalbaarheid van hergebruik (Naber et al., 2013).



Figuur 172: *Sloopmachine*. Overgenomen van Schiffner, 2024.



Activiteit	Kostprijs
Aanbrengen oppervlaktebehandeling	€ 50/m ²
Aanhechtingsproef	€ 150/proef
Ankergaten boren	€ 20/boring
Beton afbreken tot stortbaar puin	€ 2,25/m ²
Boorkern	€ 116,67/boorkern
Boring volledige diepte	€ 40/boring
Chlorideproef	€ 50/proef
Cyclische proefbelasting	€ 4.000/proef
Druklaag wegfreen	€ 3/m ²
Drukproef in labo	€ 80/proef
Een kraan van 100 tonmeter, 30 m reikwijdte	€ 146/uur
Een kraan van 160 tonmeter, 40 m reikwijdte	€ 208/uur
Een kraan van 200 tonmeter, 40 m reikwijdte	€ 245/uur
Een kraan van 60 tonmeter	€ 95/uur
Een kraan van 80 tonmeter, 30 m reikwijdte	€ 110/uur
Fenolftaleïneproef	€ 20/proef
Ingenieur	€ 100/uur
Nieuwe holle welfsels 130 mm geleverd op de werf	€ 48/m ²
Nieuwe holle welfsels 265 mm geleverd op de werf	€ 61/m ²
Opslagruimte grote hoeveelheid	€ 4/m ² /maand
Opslagruimte kleine hoeveelheid	€ 5/m ² /maand
Petrografisch onderzoek	€ 550/proef
Snijden met diamantzaag ≤ 200 mm	€ 0,75/cm diep/m
Snijden met diamantzaag ≤ 300 mm	€ 0,95/cm diep/m
Statische proefbelasting in situ	€ 4.000/proef
Stortprijs beton	€ 18/ton
Terugslaghamer	€ 35/meetlocatie
Transport	€ 7/km
Vickers-hardheidsproef	€ 538,5/proef
Visuele inspectie	€ 4/m ²
Voeg afbikken	€ 1,75/m
Vrijmaken wapening	€ 150/element
Wapeningsscan	€ 28/element
Werfarbeider	€ 40/uur
Wiggaten boren	€ 20/boring
Zwelproef	€ 750/proefreeks

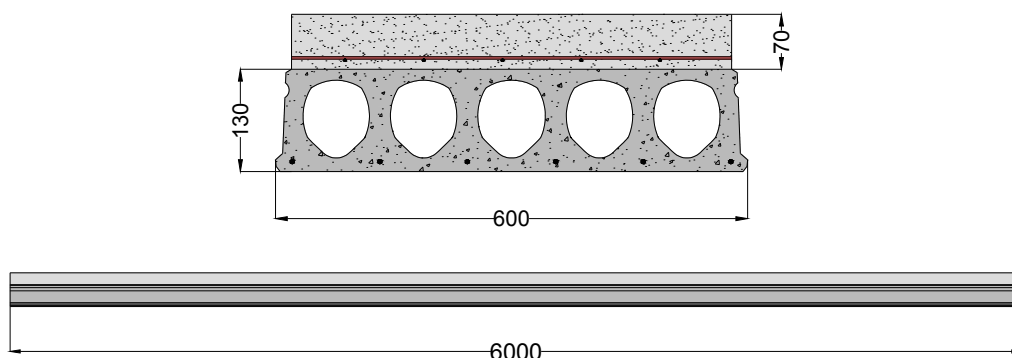
Tabel 37: Circulaire bouwactiviteiten en hun bijhorende kostprijs uit de bouwpraktijk.



5.1.2. Woning

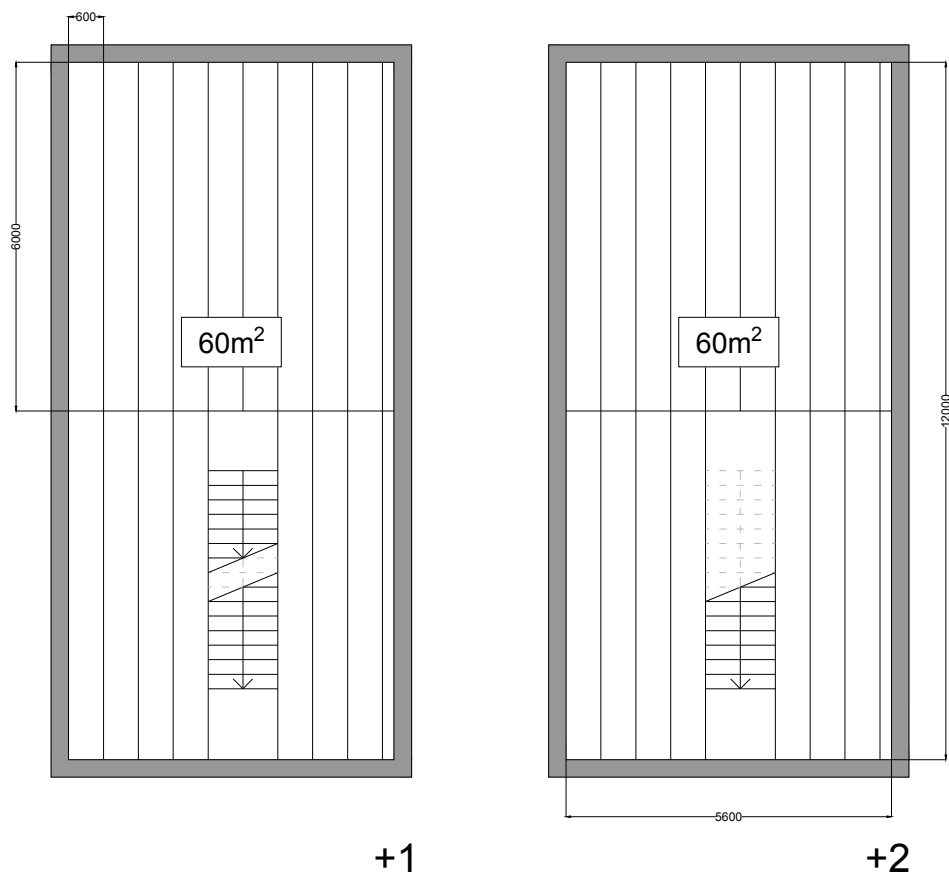
5.1.2.1. Referentieproject

Het referentieproject voor het oogsten van holle welfsels uit woningen is een woning van 120 m². Soortgelijke projecten met een eerder beschreven groter oppervlak volgen dezelfde logica en worden enkel voorgesteld met hun eindkost in het overzicht. De woning bevindt zich op een goed bereikbare locatie, waardoor zowel de kraan als de vrachtwagen direct tot aan de voorgevel kunnen manoeuvreren. Het project bestaat uit twee verdiepingen, beide opgebouwd uit gewapende holle welfsels met een hoogte van 130 mm, een breedte van 600 mm en een overspanning van 6.000 mm. Een oppervlak van 120 m² zorgt ervoor dat enkele passtukken gebruikt worden. Hiervoor worden elementen op maat gezaagd over hun lengte (Megaton/Structo, z.d.). De kleine, en soms complexe, te overspannen oppervlakten in de woningbouw zorgen ervoor dat het gebruik van passtukken onvermijdelijk is. Omdat in de woningbouw voornamelijk met een druklaag wordt gewerkt (B. Hendriks, persoonlijke communicatie, 1 april 2026), is in dit referentieproject gekozen voor een druklaag met een laagdikte van 70 mm. Aangezien de elementen in een woning gebruikt worden, hebben ze allemaal slechts één functie. Bovendien zijn alle holle welfsels afkomstig uit dezelfde productieserie. Voor de stappen waarbij 'per functie per productie' vermeld staat, volstaat dus één enkele meting. Dit type element wordt nieuw geproduceerd en geleverd op de werf voor een kostprijs van €48/m² (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026). De sloop-, transport- en storkosten binnen de conventionele slooppraktijk worden opgeteld bij deze nieuwprijs. Als de elementen niet gebruik maken van een druklaag met een laagdikte van 70 mm, is de totale kostprijs voor een nieuw geproduceerd hol welfsel geleverd op de werf €60,04/m², en respectievelijk €68,76/m² met druklaag.

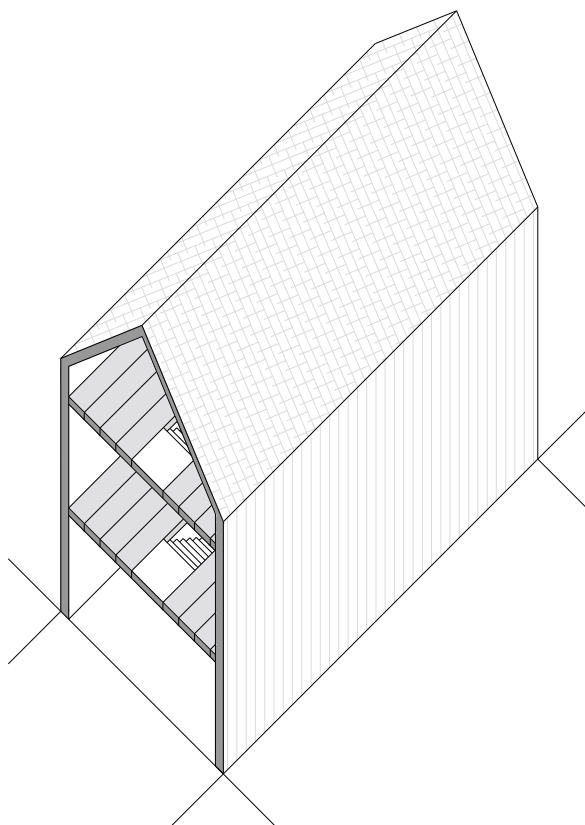


Figuur 173: Detailtekening hol welfsel type 130 mm met een druklaag van 70 mm.

De kost voor het oogsten van overige bouwmaterialen, en de tijd die hiervoor nodig is, wordt buiten beschouwing gelaten. Deze praktijk wordt gedaan door andere instanties op een moment dat niet conflicteert met de demontageplanning voor de holle welfsels. Om een eindkost te bekomen die enkel gericht is op de beoogde elementen, wordt ervan uitgegaan dat de sloop of demontage van de overige bouwmaterialen deze niet beïnvloed. Om deze reden wordt er ook geen prijs gekoppeld aan de stap 4.6.2.1. 'Verwijderen vloeropbouw & plafondafwerking'. Er wordt voor een gebouw van deze grootteorde van uitgegaan dat alle holle welfsels in één werkdag geoogst kunnen worden, mits 4.6.6. 'Fase 6: Demontage' direct van start kan gaan. Dit betekent dat de demontagestap in het oogsttraject de conventionele bouwplanning niet vertraagt, aangezien er voor de reguliere sloop van een dergelijk gebouw eveneens één dag wordt ingepland (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026).

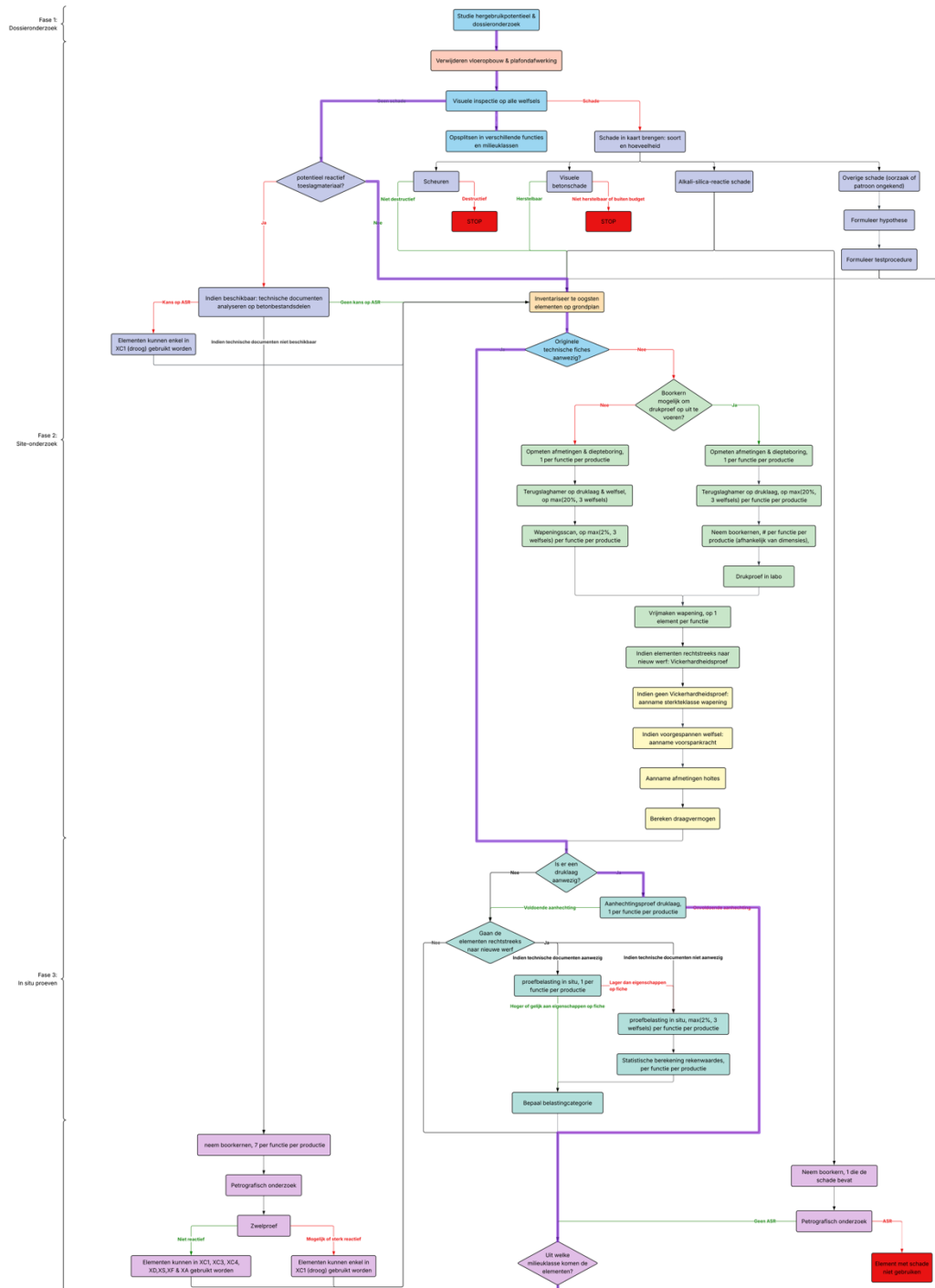


Figuur 175: Legplan holle welfsels eerste en tweede verdieping in referentieproject woning.

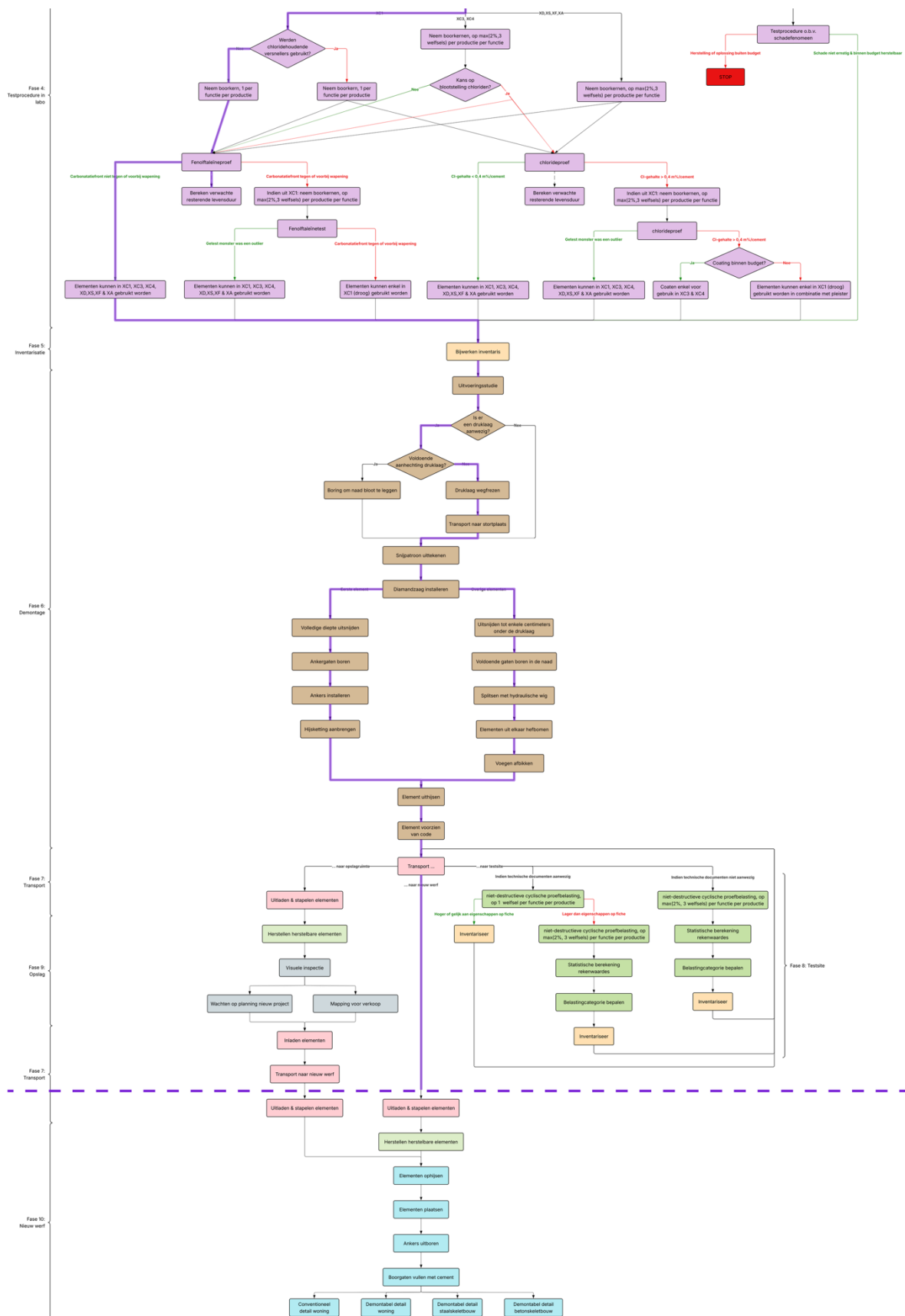


Figuur 174: Visualisatie referentieproject woning.

5.1.2.2.1. Beslissingsdiagram



Figuur 176: *Beslissingsdiagram waarop het gunstig traject voor woningen is aangeduid, deel 1.*



Figuur 177: Beslissingsdiagram waarop het gunstig traject voor woningen is aangeduid, deel 2.



5.1.2.2.2. Gevolgd traject

5.1.2.2.2.1 Fase 1: Dossieronderzoek

Bij aanvang van het project wordt een studie uitgevoerd door de ingenieur naar het hergebruikpotentieel op basis van alle gevonden informatie. Tijdens deze stap worden de herbruikbare elementen geïdentificeerd en valt de beslissing om het hergebruikonderzoek al dan niet voort te zetten.

5.1.2.2.2.2 Fase 2: Site-onderzoek

Vervolgens wordt de vloeropbouw en plafondafwerking verwijderd. Hierbij worden zoveel mogelijk materialen gerecupereerd. Buiten de zwevende dekvloer zijn alle afwerkingsmaterialen ontmantelbaar. Zodra de betonnen elementen volledig blootgelegd zijn, voert men een visuele inspectie uit op alle holle welfsels. Er wordt geen schade geregistreerd en er is geen kans op potentieel reactief toeslagmateriaal. Dit zorgt ervoor dat niet elk element uniek zal zijn, waardoor de welfsels in groepen worden geïnventariseerd. Aangezien de originele technische documentatie beschikbaar is, kennen we de draagcapaciteit.

5.1.2.2.2.3 Fase 3: In situ proeven

Er is een druklaag aanwezig waarop men een aanhechtingsproef uitvoert. De breuklijn bevindt zich op het grensvlak tussen de druklaag en het welfsel; de adhesie tussen beide lagen is met andere woorden zwakker dan de cohesie binnen de materialen zelf. Er wordt gekozen om de druklaag te verwijderen, waardoor een in situ proefbelasting op een element op dit moment niet mogelijk is. Gezien de bekende technische specificaties en de beperkte schaal van de oogst, is het verantwoord om het hergebruikonderzoek zonder proefbelasting voort te zetten.

5.1.2.2.2.4 Fase 4: Testprocedure in labo

De referentiewoning heeft een milieuklasse XC1 en er werden geen chloridehoudende versnellers gebruikt tijdens de originele fabricatie van de welfsels, waardoor men één boorkern neemt uit een willekeurig representatief element. Een fenolftaleïneproef toont aan dat het carbonatatiefront de wapening niet heeft bereikt. Op basis van de verzamelde informatie zijn de elementen geschikt voor toepassing in de milieuklassen XC1, XC3, XC4, XD, XS, XF en XA.

5.1.2.2.2.5 Fase 5: Inventarisatie

Deze conclusie, en alle voorgaande verzamelde informatie, wordt verwerkt in de al opgebouwde inventaris.

5.1.2.2.2.6 Fase 6: Demontage

Vervolgens voert de aannemer een uitvoeringsstudie uit waarbij het nodige materiaal en gereedschap verzameld wordt. In eerdere proeffase werd geconcludeerd dat de druklaag onvoldoende hecht aan de holle welfsels. Bij aanvang van de ontmantelingswerken wordt eerst en vooral de druklaag weggefreest. De voegen tussen de elementen worden hierdoor zichtbaar aan de bovenzijde, waardoor er een correct snijpatroon kan getekend worden. Met een diamantzaag worden de kopse kanten, de tegen de ringbalk gestorte zijden en het eerste element van elke rij over de volledige diepte losgezaagd. In de rij waarin de trap zich bevindt is er al plaats om in de volgende stappen de overige elementen los te maken, hier zal het eerste element dus niet over de volledige diepte uitgesneden worden. Er worden vier ankergaten geboord in elk element dat volledig is uitgesneden. Dit komt neer op een totaal van acht gaten, aangezien slechts twee elementen als eerste in een rij fungeren. De hijsankers worden aangebracht in de gaten en de eerste elementen worden uitgehesen. Men zaagt met een diamantzaag in de overige voegen tot drie centimeter diep. Vervolgens worden per voeg twee gaten geboord,



waarin een hydraulische wig een horizontale splijtkracht uitoefent om de elementen van elkaar te scheiden. Met een stalen wrikijzer wordt een hefboomswerking gecreëerd om de elementen gecontroleerd uit elkaar te schuiven. Het resterende voegbeton aan de profielzijden van de holle welfsels wordt verwijderd met een pneumatische hamer. De welfselklem hijst alle elementen vervolgens op de vrachtwagen. Aangezien een element zonder druklaag 792 kg weegt en de kraan dicht bij de woning kan opstellen, volstaat een standaard laadkraan met een capaciteit van 60 tonmeter. De welfsels worden voorzien van een scanbare QR-code om ze traceerbaar en identificeerbaar te maken.

5.1.2.2.7 Fase 7: Transport

Het verkregen betonpuin van de druklaag wordt getransporteerd naar de stortplaats. Het totale gewicht hiervan bedraagt 19,2 ton. Gezien de laadcapaciteit van 33 ton kan deze volledige partij met één vrachtwagen worden afgevoerd. De volledige populatie van 32 geoogste elementen kan op één vrachtwagen worden getransporteerd, aangezien de maximale capaciteit voor dit type elementen zonder druklaag 41 stuks bedraagt. Ze worden rechtstreeks naar de nieuwe werf gebracht waar ze opnieuw zullen dienen als overspanningselementen. Bij elke transportstap is rekening gehouden met de volledige afgelegde afstand. Dit betekent dat, ook al volstaat één transport, de ongeladen ritten van en naar de uitvalsbasis van de vrachtwagen volledig zijn meegeteld in de berekening. Er wordt uitgegaan van een afstand tussen donorgebouw en nieuw werf van 50 km en een afstand tussen uitvalsbasis en donorgebouw, of nieuw werf, van 25 km. Ook de afstand tussen het donorgebouw en de stortplaats is geschat op 50 km. Dit wil zeggen dat een vrachtwagen per volledige rit 100 km rijdt.

5.1.2.2.8 Fase 10: Nieuw werf

De testprocedure in het beslissingsdiagram heeft uitgewezen dat de geoogste elementen in milieuklasse XC1, XC3, XC4, XD, XS, XF en XA gebruikt mogen worden. De holle welfsels worden idealiter demontabel heringezet volgens de bouwdetails beschreven in 4.6.10.2. 'Mogelijke uitvoeringsdetails'.

5.1.2.2.3. Kostentabel

Algemeen		Woning 120 m ²		Woning 200 m ²		Woning 300 m ²	
Activiteit	Eenheidsprijs	Aantal	Kost	Aantal	Kost	Aantal	Kost
Studie hergebruik-potentieel & dossieronderzoek	€100/uur	1 uur	€100	1 uur	€100	1 uur	€100
Visuele inspectie	€4/m ²	120 m ²	€480	200 m ²	€800	300 m ²	€1.200
Inventariseer te oogsten elementen	€100/uur	1 uur	€100	1 uur	€100	1 uur	€100
Aanhechtings-proef druklaag	€150/proef	1 proef	€150	1 proef	€150	1 proef	€150
Neem boorkernen	€116,67/kern	1 kern	€116,67	1 kern	€116,67	1 kern	€116,67
Fenolftaleïneproef	€20/proef	1 proef	€20	1 proef	€20	1 proef	€20
Bijwerken inventaris	€100/uur	1 uur	€50	1 uur	€50	1 uur	€50
Uitvoeringsstudie	€100/uur	2 uren	€200	2 uren	€200	2 uren	€200

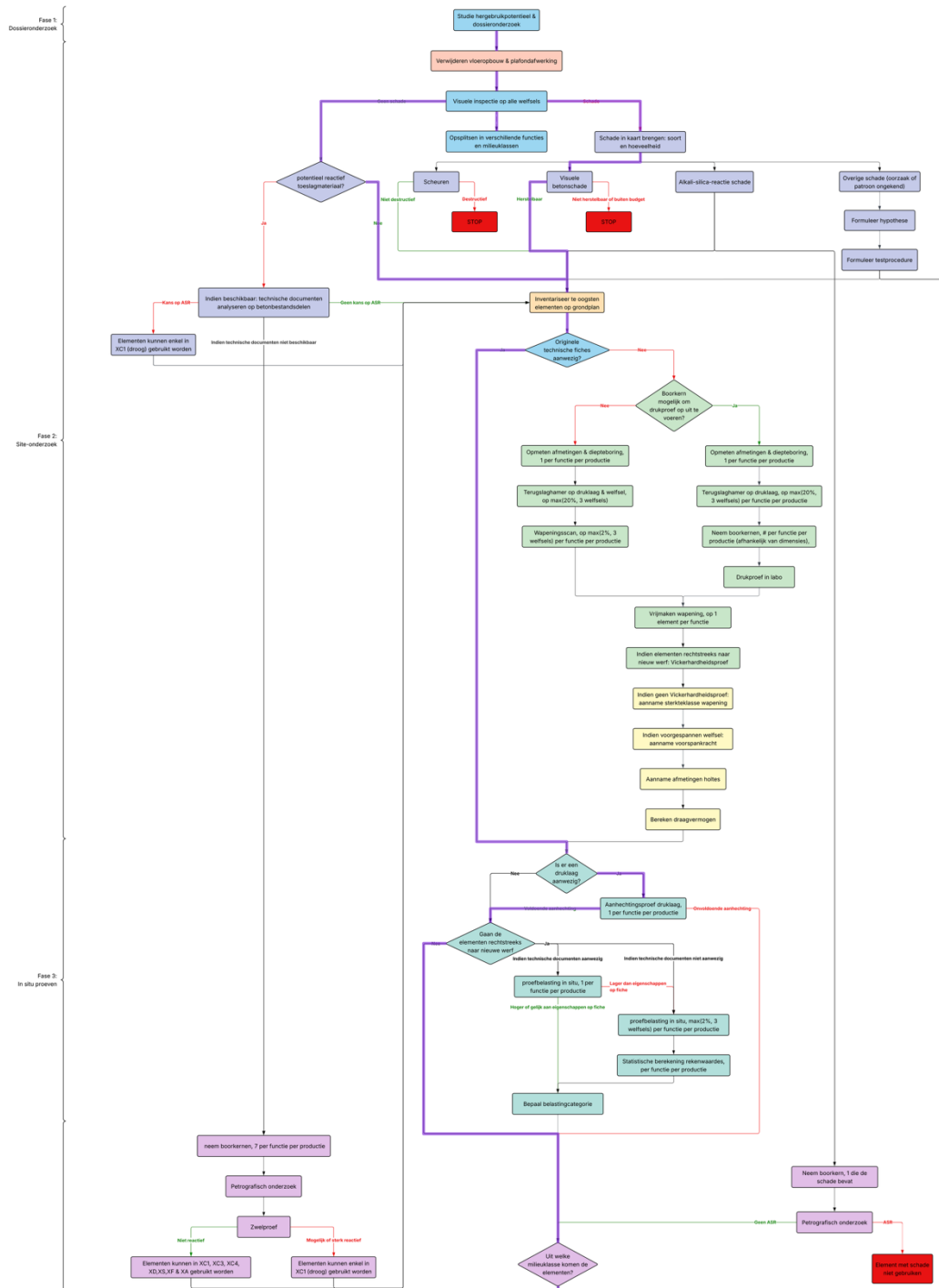


Druklaag wegfreen	€3/m²	120 m²	€360	200 m²	€600	300 m²	€900
Transport vol naar stortplaats	€7/km	50 km	€350	100 km	€350	150 km	€700
Transport leeg naar stortplaats	€7/km	50 km	€350	50 km	€350	100 km	€700
Storten betonpuin	€12/ton	19,2 ton	€230,4	32 ton	€384	48 ton	€576
Snijpatroon uittekenen	€40/uur	1 uur	€40	1,5 uren	€60	2 uren	€80
Volledige diepte uitsnijden	€9,75/m	93,6 m	€912,6	113,6 m	€1107,6	138,6 m	€1.351,35
Ankerboringen boren	€20/boring	8 boringen	€160	8 boringen	€160	8 boringen	€160
Ankers installeren	€40/uur	0,5 uur	€20	0,5 uur	€20	0,5 uur	€20
Uitsnijden enkele centimeters	€2,25/m	168 m	€378	288 m	€648	456 m	€1.026
Gaten boren in de naad	€20/boring	56 boringen	€1.120	96 boringen	€1.920	152 boringen	€3.040
Splitsen met hydraulische wig	€40/uur	3 uren	€120	5 uren	€200	7,5 uren	€300
Elementen uit elkaar hefbomen	€40/uur	1 uur	€40	1,5 uren	€60	2 uren	€80
Voegen afbikken	€1,75/m	384 m	€672	672 m	€1.176	1.008 m	€1.764
Elementen uithijzen	€95/uur	10 uren	€950	15 uren	€1.425	20 uren	€1.900
Transport vol naar nieuw werf	€7/km	50 km	€350	100 km	€700	150 km	€1.050
Transport leeg naar nieuw werf	€7/km	50 km	€350	100 km	€700	150 km	€1.050
Totaal			€7.784,87		€11.639,27		€16.972,02
Totaal per m²			€64,87		€58,20		€56,57
Vergelijken met nieuwprijs per m²			€60,04		€61,21		€58,88

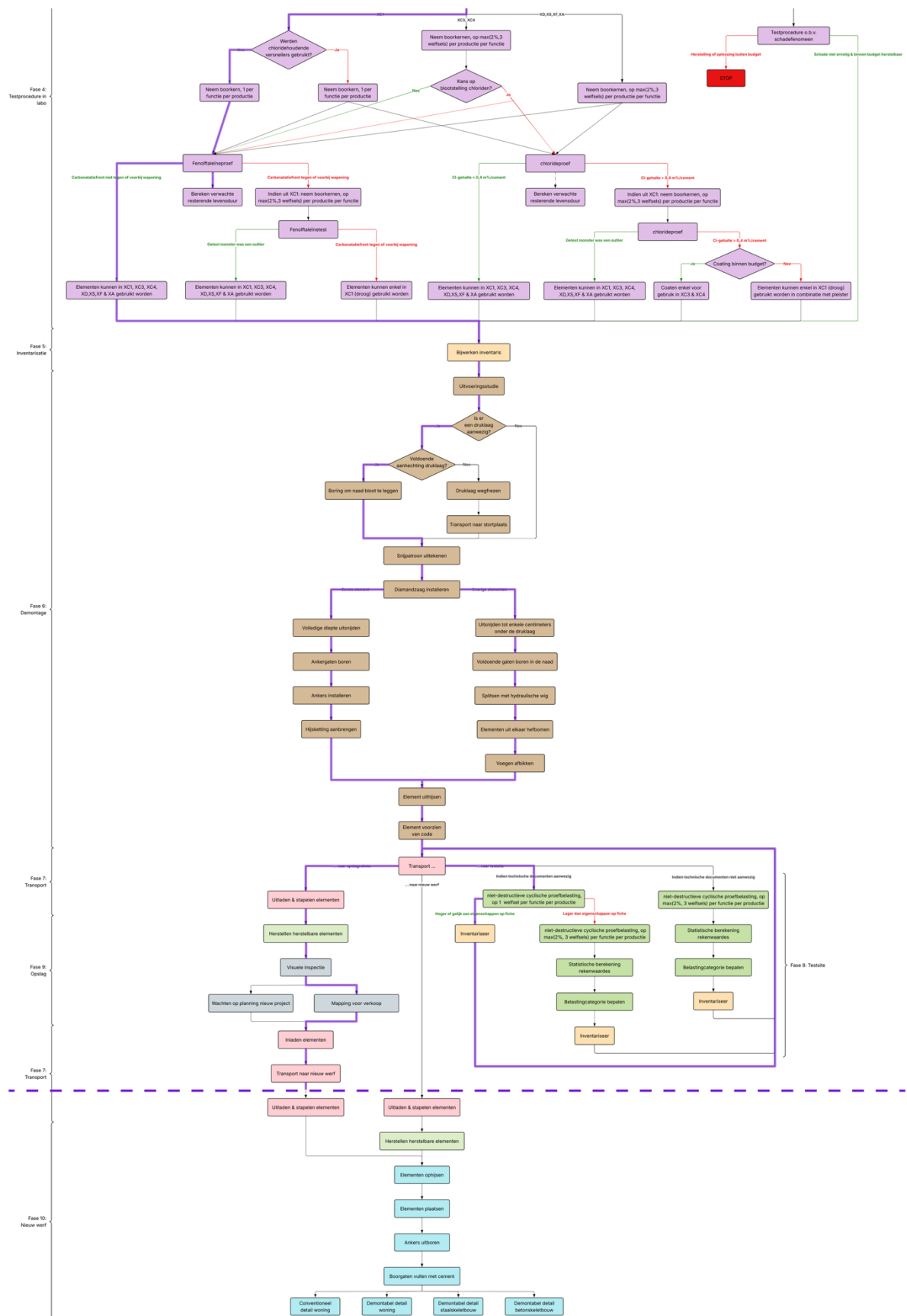
Tabel 38: Kostentabel gunstig traject voor woningen.

5.1.2.3. Realistisch traject – rijwoning

5.1.2.3.1. Beslissingsdiagram



Figuur 178: Beslissingsdiagram waarop het realistisch traject voor woningen is aangeduid, deel 1.



Figuur 179: Beslissingsdiagram waarop het realistische traject voor woningen is aangeduid, deel 2.



5.1.2.3.2. Gevolgd traject

5.1.2.3.2.1 Fase 1: Dossieronderzoek

Bij aanvang van het project wordt een studie uitgevoerd door de ingenieur naar het hergebruikpotentieel op basis van alle gevonden informatie. Tijdens deze stap worden de herbruikbare elementen geïdentificeerd en valt de beslissing om het hergebruikonderzoek al dan niet voort te zetten.

5.1.2.3.2.2 Fase 2: Site-onderzoek

Vervolgens wordt de vloeropbouw en plafondafterwerking verwijderd. Hierbij worden zoveel mogelijk materialen gerecupereerd. Buiten de zwevende dekvloer zijn alle afwerkingsmaterialen ontmantelbaar. Zodra de elementen volledig blootgelegd zijn, voert men een visuele inspectie uit op alle holle welfsels. Een aantal elementen vertoont aan de onderzijde schade die vermoedelijk tijdens de montage is ontstaan. De schade is herstelbaar en wordt geregistreerd in de inventaris. De overige elementen vertonen geen schade, en er is geen potentieel reactief toeslagmateriaal aanwezig. De elementen worden in groepen geïnvventariseerd. Aangezien de originele technische documentatie beschikbaar is, kennen we de draagcapaciteit.

5.1.2.3.2.3 Fase 3: In situ proeven

Er is een druklaag aanwezig waarop een aanhechtingsproef is uitgevoerd. Hieruit blijkt dat de breuklijn in de druklaag zelf ligt; de adhesie tussen de lagen is dus groter dan de cohesie van de druklaag. De elementen worden daarom inclusief druklaag geoogst. Omdat er in dit traject niet direct een nieuwe bestemming beschikbaar is, worden de elementen tijdelijk opgeslagen. Dit biedt de ruimte om een cyclische proefbelasting op de testsite uit te voeren, waardoor in situ proefbelastingen in dit stadium niet nodig zijn.

5.1.2.3.2.4 Fase 4: Testprocedure in labo

De referentiewoning heeft een milieuklasse XC1 en er werden geen chloridehoudende versnellers gebruikt tijdens de originele fabricatie van de welfsels, waardoor men één boorkern neemt uit een willekeurig element. Een fenolftaleïneproef toont aan dat het carbonatatiefront de wapening niet heeft bereikt. Op basis van de verzamelde informatie zijn de elementen geschikt voor toepassing in de milieuklassen XC1, XC3, XC4, XD, XS, XF en XA.

5.1.2.3.2.5 Fase 5: Inventarisatie

Deze conclusie, en alle voorgaande verzamelde informatie, wordt verwerkt in de al opgebouwde inventaris.

5.1.2.3.2.6 Fase 6: Demontage

Vervolgens voert de aannemer een uitvoeringsstudie uit waarbij het nodige materiaal en gereedschap verzameld wordt. Eerder werd aangetoond dat de druklaag voldoende aanhecht, waardoor de elementen zullen ontmanteld worden inclusief deze laag. Als gevolg is de voeg tussen de elementen niet zichtbaar waardoor er om de drie voegkruispunten een gat geboord wordt over de volledige diepte via de onderzijde van de elementen. Op deze manier worden de hoekpunten zichtbaar aan de bovenzijde en kan men de overige kruispunten tussen de boringen aanduiden door te meten. Als alle voegkruispunten gekend zijn, wordt het snijpatroon uitgetekend met krijt. Met een diamantzaag worden de kopse kanten, de aansluitingen met de ringbalk en het eerste element van elke rij volledig losgezaagd. In de rij met de trap is dit doorzagen niet nodig vanwege de al aanwezige ruimte. In de twee elementen die fungeren als eerste in de rij worden telkens vier ankergaten geboord, waarin vervolgens hijsankers worden geplaatst om de eerste elementen uit te hijsen. De overige voegen worden tot 10 cm diep uitgezaagd als aanzet om de elementen vervolgens correct te splitsen van elkaar. Vanwege de overspanning



van 6 meter worden per voeg twee gaten geboord, waarna hydraulische wiggen en een wrikijzer de elementen gecontroleerd scheiden en verschuiven. Het resterende voegbeton wordt met een pneumatische hamer verwijderd zodat de profielzijde vrijkomt. Deze elementen worden met een welfselklem uitgehesen en op de vrachtwagen geplaatst. Omdat elk element 1.329,6 kg weegt en de kraan dicht bij de woning kan opstellen, volstaat een standaard laadkraan met een capaciteit van 60 tonmeter. De welfsels worden voorzien van een scanbare QR-code om ze traceerbaar en identificeerbaar te maken.

5.1.2.3.2.7 Fase 7: Transport

Met een laadcapaciteit van 33 ton kan een vrachtwagen per rit 24 holle welfsels, inclusief druklaag, vervoeren. Om de totale populatie van 32 elementen te verwijderen, zijn 3 enkele ritten nodig: één vrachtwagen transporteert het profelement naar de testsite, terwijl twee vrachtwagens de overige 31 elementen naar de opslagruimte vervoeren. Na de cyclische proefbelasting op de testsite wordt het beproefd element getransporteerd naar de opslagruimte waar het de rest van de welfsels vervoegd. Na een jaar krijgen de elementen een nieuwe functie en worden ze naar het nieuwe project getransporteerd. Ook in dit traject wordt rekening gehouden met de ongeladen ritten tussen elke start- en eindlocatie. Er wordt uitgegaan van een afstand voor elke rit van 50 km. Dit wil zeggen dat een vrachtwagen per volledige rit 100 km rijdt. In totaal zal er in dit referentieproject maar liefst 600 km worden afgelegd.

5.1.2.3.2.8 Fase 8: Testsite

Aangezien de draagcapaciteit is vastgelegd in de technische documentatie, en deze beschikbaar is, wordt een cyclische proefbelasting uitgevoerd om deze waarde te valideren. Concreet beproeft men één element per populatie holle welfsels; wat in dit geval neerkomt op één welfsel. Het blijkt dat het beproefd element een dwarskrachtcapaciteit bezit dat hoger of gelijk aan de gekende waarde is. De eerder opgestelde inventaris wordt bijgewerkt met deze informatie om overzicht te bewaren. Aangezien de proefbelasting niet-destructief uitgevoerd wordt, transporteert men volgens voorgaande paragraaf dit element naar de opslagruimte.

5.1.2.3.2.9 Fase 9: Opslag

De holle welfsels worden gestockeerd in het bouwput voor gerecupereerde structurele bouwmaterialen. De in de visuele inspectieesignaleerde niet-destructieve visuele betonschade wordt hier herstelt met herstelmortel. De contactpersoon van het bouwput vult de eigen verkoopsinventaris aan op basis van onze opgestelde fiches. De QR-codes dienen hierbij om de elementen snel te identificeren en correcte herstelprocedures uit te voeren op de beschadigde elementen. Zodra de elementen een nieuwe bestemming krijgen, worden ze ingeladen op de vrachtwagen en getransporteerd naar de nieuwe werf. In een realistisch hergebruiktraject wordt uitgegaan van een opslagtermijn van één jaar. De welfsels worden in stapels van zeven stuks geplaatst, waarbij voldoende tussenruimte wordt vrijgehouden voor inspectie en manipulatie.

5.1.2.3.2.10 Fase 10: Nieuw werf

De testprocedure in het beslissingsdiagram heeft uitgewezen dat de geoogste elementen in milieuklasse XC1, XC3, XC4, XD, XS, XF en XA gebruikt mogen worden. De holle welfsels worden idealiter demontabel heringezet volgens de bouwdetails beschreven in 4.6.10.2. 'Mogelijke uitvoeringsdetails'.



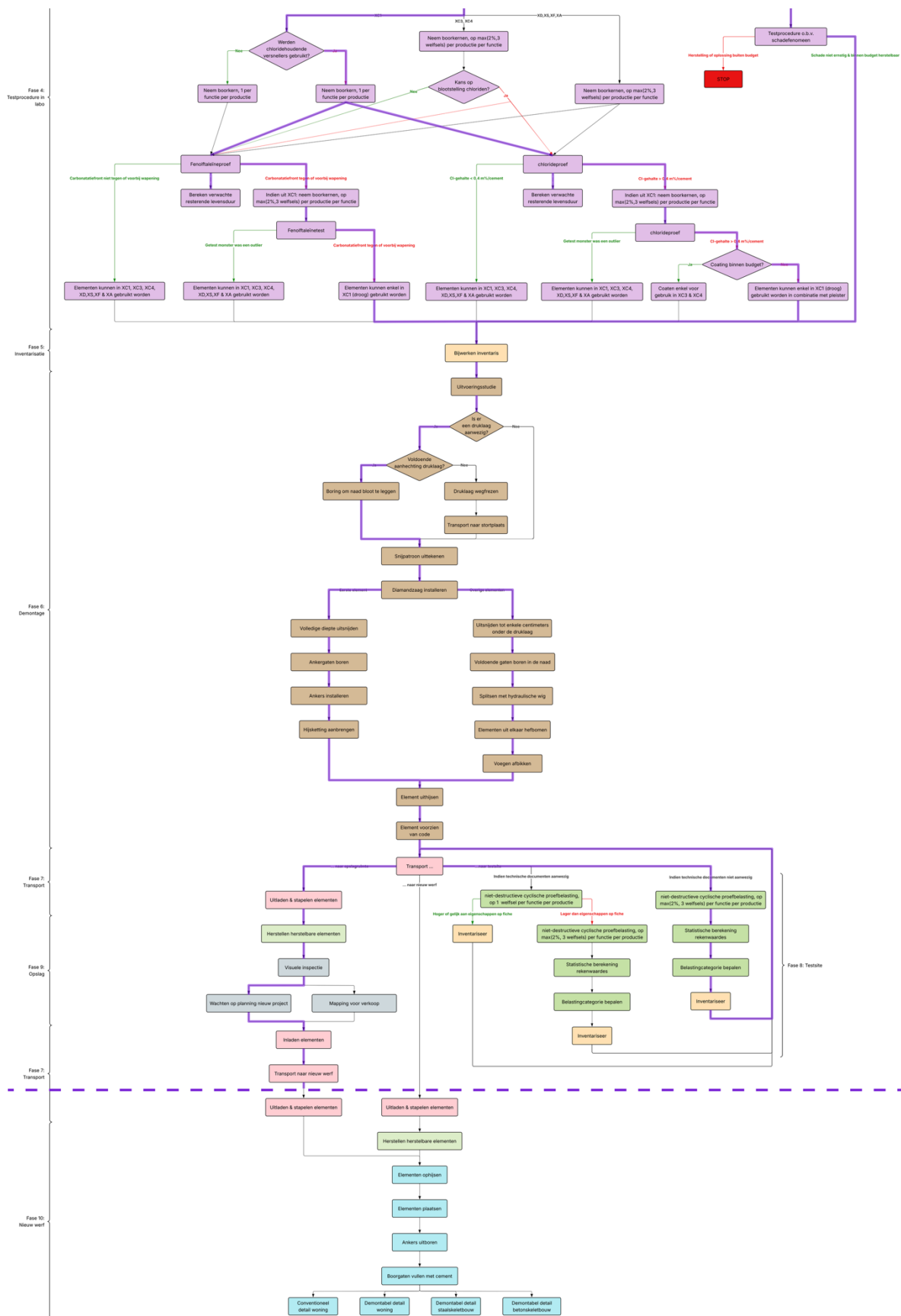
5.1.2.3.3. Kostentabel

Algemeen		Woning 120 m ²		Woning 200 m ²		Woning 300 m ²	
Activiteit	Eenheidsprijs	Aantal	Kost	Aantal	Kost	Aantal	Kost
Studie hergebruik-potentieel & dossieronderzoek	€100/uur	1 uur	€100	1 uur	€100	1 uur	€100
Visuele inspectie	€4/m ²	120 m ²	€480	200 m ²	€800	300 m ²	€1.200
Inventariseer te oogsten elementen	€100/uur	1 uur	€100	1 uur	€100	1 uur	€100
Aanhechtings-proef druklaag	€150/proef	1 proef	€150	1 proef	€150	1 proef	€150
Neem boorkernen	€116,67/kern	1 kern	€116,67	1 kern	€116,67	1 kern	€116,67
Fenolftaleïneproef	€20/proef	1 proef	€20	1 proef	€20	1 proef	€20
Bijwerken inventaris	€100/uur	2 uren	€200	2,5 uren	€250	3 uren	€300
Uitvoeringsstudie	€100/uur	2 uren	€200	2 uren	€200	2 uren	€200
Boring om naad bloot te leggen	€40/boring	4 boringen	€160	8 boringen	€320	12 boringen	€480
Snijpatroon uittekenen	€40/uur	1 uur	€40	1,5 uren	€60	2 uren	€80
Volledige diepte uitsnijden	€15/m	93,6 m	€1.404	113,6 m	€1.704	138,6 m	€2.079
Ankerboren boren	€20/boring	8 boringen	€160	8 boringen	€160	8 boringen	€160
Ankers installeren	€40/uur	0,5 uur	€20	0,5 uur	€20	0,5 uur	€20
Uitsnijden enkele centimeters	€7,5/m	168 m	€1.260	288 m	€2.160	456 m	€3.420
Gaten boren in de naad	€20/boring	56 boringen	€1.120	96 boringen	€1.920	152 boringen	€3.040
Splitsen met hydraulische wig	€40/uur	3 uren	€120	5 uren	€200	7,5 uren	€300
Elementen uit elkaar hefbomen	€40/uur	1 uur	€40	1,5 uren	€60	2 uren	€80
Voegen afbikken	€1,75/m	384 m	€672	672 m	€1.176	1.008 m	€1.764
Elementen uithijzen	€95/uur	10 uren	€950	15 uren	€1.425	20 uren	€1.900
Transport vol naar testsite	€7/km	50 km	€350	50 km	€350	50 km	€350
Transport leeg naar testsite	€7/km	50 km	€350	50 km	€350	50 km	€350
Cyclische proefbelasting	€4.000/proef	1 proef	€4.000	1 proef	€4.000	1 proef	€4.000



Transport vol beproefde welfsels naar opslag	€7/km	50 km	€350	50 km	€350	50 km	€350
Transport leeg beproefde welfsels naar opslag	€7/km	50 km	€350	50 km	€350	50 km	€350
Transport vol naar opslag	€7/km	100 km	€700	150 km	€1.050	200 km	€1.400
Transport leeg naar opslag	€7/km	100 km	€700	150 km	€1.050	200 km	€1.400
Opslag 1 jaar	€5/m ² /maand	36 m ²	€2.160	60 m ²	€3.600	90 m ²	€5.400
Transport vol naar nieuw werf	€7/km	100 km	€700	150 km	€1.050	200 km	€1.400
Transport leeg naar nieuw werf	€7/km	100 km	€700	150 km	€1.050	200 km	€1.400
Totaal			€17.672,67		€24.141,67		€31.909,67
Totaal per m²			€147,27		€120,71		€106,37
Vergelijken met nieuwprijs per m²			€68,76		€67,59		€66,42

Tabel 39: Kostentabel realistisch traject voor woningen.



Figuur 181: Beslissingsdiagram waarop het ongunstig traject voor woningen is aangeduid, deel 2.



5.1.2.4.2. Gevolgd traject

5.1.2.4.2.1 Fase 1: Dossieronderzoek

Bij aanvang van het project wordt een studie uitgevoerd door de ingenieur naar het hergebruikpotentieel op basis van alle gevonden informatie. Tijdens deze stap worden de herbruikbare elementen geïdentificeerd en valt de beslissing om het hergebruikonderzoek al dan niet voort te zetten.

5.1.2.4.2.2 Fase 2: Site-onderzoek

Vervolgens wordt de vloeropbouw en plafondaafwerking verwijderd. Hierbij worden zoveel mogelijk materialen gerecupereerd. Buiten de zwevende dekvloer zijn alle afwerkingsmaterialen ontmantelbaar. Zodra de elementen volledig blootgelegd zijn, voert men een visuele inspectie uit op alle holle welfsels. Enkele elementen vertonen een schadepatroon waarvan de oorzaak niet meteen thuis te brengen valt. Er wordt een proefprocedure opgesteld op basis van de hypothese om het schadefenomeen te achterhalen. De overige elementen vertonen momenteel geen schadepatronen. Omdat deze vóór 2007 zijn geproduceerd, de periode voordat specifieke richtlijnen tegen alkali-silica-reactie breed werden geïmplementeerd in de normering (Standard Norge, 2022), blijft de aanwezigheid van potentieel reactief toeslagmateriaal een risicofactor. De technische documentatie is jammer genoeg niet beschikbaar, waardoor men in fase 4 enkele laboproeven zal moeten uitvoeren om de reactiviteit van het beton te evalueren.

Bij gebrek aan technische documentatie worden de noodzakelijke constructieve eigenschappen ter plaatse achterhaald of ingeschat. Omdat de beperkte afmetingen van de elementen het onmogelijk maken om boorkernen te nemen voor destructieve drukproeven, wordt als alternatief een terugslaghamerproef uitgevoerd. Hiermee wordt de betonsterkteklasse van zowel de druklaag als het welfsel op zeven representatieve locaties bepaald.

De geometrie wordt verder in kaart gebracht door middel van een boring door een element, waarmee de exacte elementhoogte en de dikte van de druklaag worden vastgesteld. De overige buitenmaten worden ingemeten met een lintmeter, waarna de afmetingen van de inwendige holle kanalen worden ingeschat op basis van deze vastgestelde dimensies. Parallel hieraan wordt een wapeningsscan uitgevoerd op drie welfsels om inzicht te krijgen in de diepteligging en tussenafstand van de staven. Deze scan dient als basis om de wapening op één locatie veilig vrij te leggen voor visuele verificatie, waarbij ook de staalsterkteklasse wordt ingeschat. Zodra de volledige geometrie, de betonsterkte en de staaleigenschappen zijn vastgesteld, kan het definitieve draagvermogen worden berekend.

5.1.2.4.2.3 Fase 3: In situ proeven

Er is een druklaag aanwezig waarop een aanhechtingsproef is uitgevoerd. Hieruit blijkt dat de breuklijn in de druklaag zelf ligt; de adhesie tussen de lagen is dus groter dan de cohesie van de druklaag. De elementen worden daarom inclusief druklaag geoogst. Omdat er in dit traject niet direct een nieuwe bestemming beschikbaar is, worden de elementen tijdelijk opgeslagen. Dit biedt de ruimte om een cyclische proefbelasting op de testsite uit te voeren, waardoor in situ proefbelastingen in dit stadium niet nodig zijn.

5.1.2.4.2.4 Fase 4: Testprocedure in labo

Om de reactiviteit van het beton te achterhalen, neemt men zeven boorkernen uit de populatie holle welfsels. Eén hiervan wordt petrografisch onderzocht op zijn bestanddelen. De overige zes vormen één proefreeks en dienen om een zwelproef op uit te voeren. Men concludeert dat het beton mogelijks reactief kan zijn. De



elementen met een ongekend schadepatroon volgen hun eigen proefprocedure op basis van de hypothese. Het blijkt dat de oorzaak van onschuldige aard is en de aangetaste elementen binnen budget herstelbaar zijn.

De referentiewoning is ingedeeld in milieuklasse XC1. Omdat de elementen vóór 2007 zijn geproduceerd, bestaat er een reële kans dat er tijdens de fabricage chloridehoudende versnellers zijn toegepast. Ter controle wordt er één boorkern genomen en over de lengte in twee delen gezaagd. Een fenolftaleïneproef op de eerste helft toont aan dat het carbonatatiefront al tot voorbij de wapening is gevorderd. Vanwege dit resultaat worden er drie extra boorkernen genomen, waarbij uit de herhaalde proeven blijkt dat het carbonatatiefront in alle gevallen de wapening heeft bereikt.

Op de andere helft van de eerste boorkern wordt een chlorideproef uitgevoerd. Omdat het chloridegehalte de kritische grenswaarde overschrijdt, is ook hier een verificatie noodzakelijk. Hiervoor worden de boorkernen van de fenolftaleïneproeven opnieuw ingezet om aanvullende chlorideanalyses op uit te voeren. Uit deze proeven blijkt dat het maximaal aanvaardbare chloridegehalte structureel wordt overschreden. Aangezien een beschermende coating buiten het budget van de bouwheer valt, mogen de elementen alleen worden toegepast in milieuklasse XC1. Daarnaast moeten ze worden voorzien van een binnenpleister voor extra bescherming.

5.1.2.4.2.5 Fase 5: Inventarisatie

Deze conclusie, en alle voorgaande verzamelde informatie, wordt verwerkt in de al opgebouwde inventaris.

5.1.2.4.2.6 Fase 6: Demontage

Ter voorbereiding op de werkzaamheden voert de aannemer een uitvoeringsstudie uit, waarbij de benodigde materialen en gereedschappen worden verzameld. Omdat eerder is aangetoond dat de druklaag voldoende aanhecht, worden de elementen inclusief deze laag gedemonteerd. Doordat de druklaag de voegen tussen de elementen aan de bovenzijde maskeert, worden vanaf de onderzijde gaten geboord om de drie voegkruispunten. Deze boringen maken de hoekpunten aan de bovenzijde zichtbaar, waarna de resterende kruispunten door middel van inmeting kunnen worden uitgezet. Zodra alle knooppunten gemarkeerd zijn, wordt het volledige snijpatroon met krijt op de druklaag uitgetekend.

Vervolgens worden met een diamantzaag de kopse kanten, de aansluitingen met de ringbalk en het eerste element van elke rij volledig losgezaagd. In de rij waar de trap zich bevindt, is volledig doorzagen niet noodzakelijk vanwege de al aanwezige werkruimte. In het eerste element van elke rij wordt telkens vier ankergaten geboord voor het plaatsen van hijsankers, waarmee deze 'sluitstukken' worden uitgehesen. De overige voegen worden tot een diepte van 10 cm ingezaagd om als aanzet te dienen voor het gecontroleerd splijten van de elementen. Gezien de overspanning van 6 meter worden per voeg twee gaten geboord, waarna de elementen met behulp van hydraulische wiggen en wrikijzers van elkaar worden gescheiden en verschoven. Het resterende voegbeton wordt met een pneumatische hamer verwijderd om de profielzijden volledig vrij te maken. De vrijgemaakte elementen worden vervolgens met een welfselklem opgepakt en op de vrachtwagen geladen. Met een eigen gewicht van 1.329,6 kg per element en de mogelijkheid om de kraan vlak bij de woning op te stellen, volstaat een standaard laadkraan met een capaciteit van 60 tonmeter. Tot slot wordt elk welfsel voorzien van een scanbare QR-code om de traceerbaarheid en identificatie gedurende het verdere proces te waarborgen.



5.1.2.4.2.7 Fase 7: Transport

Met een laadcapaciteit van 33 ton kan een vrachtwagen per rit 24 holle welfsels, inclusief druklaag, vervoeren. Om de totale populatie van 32 elementen te verwijderen, zijn 3 enkele ritten nodig: één vrachtwagen transporteert de drie proefelementen naar de testsite, terwijl twee vrachtwagens de overige 29 elementen naar de opslagruimte vervoeren. Na de cyclische proefbelasting op de testsite worden de beproefde elementen getransporteerd naar de opslagruimte waar ze de rest van de welfsels vervoegen. Na drie jaar krijgen de elementen een nieuwe functie en worden ze naar het nieuwe project getransporteerd. Ook in dit traject wordt rekening gehouden met de ongeladen ritten tussen elke start- en eindlocatie. Er wordt uitgegaan van een afstand voor elke rit van 50 km. Dit wil zeggen dat een vrachtwagen per volledige rit 100 km rijdt. In totaal zal er in dit referentieproject maar liefst 600 km worden afgelegd.

5.1.2.4.2.8 Fase 8: Testsite

Aangezien de technische documentatie ontbreekt en de draagkracht eerder is berekend op basis van via proeven achterhaalde eigenschappen, wordt een proefbelasting uitgevoerd op drie welfsels. Vervolgens berekent men statistisch de rekenwaarde van de dwarskrachtcapaciteit en bepaalt men uiteindelijk de correcte belastingcategorie. De verkregen resultaten worden in de inventaris verwerkt en de beproefde elementen worden volgens vorige paragraaf getransporteerd naar de opslagruimte.

5.1.2.4.2.9 Fase 9: Opslag

De holle welfsels worden tijdelijk gestockeerd in het bouwpoint voor gerecupereerde structurele bouwmaterialen. De in de visuele inspectie gesignaleerde niet-destructieve betonschade wordt hier herstelt. De contactpersoon van het bouwpoint vult de eigen verkoopsinventaris aan op basis van onze opgestelde fiches. De QR-codes dienen hierbij om de elementen snel te identificeren en correcte herstelprocedures uit te voeren op de beschadigde elementen. Zodra de elementen een nieuwe bestemming krijgen, worden ze ingeladen op de vrachtwagen en getransporteerd naar de nieuwe werf. In een ongunstig hergebruiktraject wordt uitgegaan van een opslagtermijn van drie jaar. De welfsels worden in stapels van zeven stuks geplaatst, waarbij voldoende tussenruimte wordt vrijgehouden voor inspectie en manipulatie.

5.1.2.4.2.10 Fase 10: Nieuw werf

De testprocedure in het beslissingsdiagram heeft uitgewezen dat de geoogste elementen enkel in milieuklasse XC1, in combinatie met een binnenpleister, gebruikt mogen worden. De holle welfsels worden idealiter demontabel heringezet volgens de bouwdetails beschreven in 4.6.10.2. 'Mogelijke uitvoeringsdetails'.

5.1.2.4.3. Kostentabel

Algemeen		Woning 120 m ²		Woning 200 m ²		Woning 300 m ²	
Activiteit	Eenheidsprijs	Aantal	Kost	Aantal	Kost	Aantal	Kost
Studie hergebruik-potentieel & dossieronderzoek	€100/uur	1 uur	€100	1 uur	€100	1 uur	€100
Visuele inspectie	€4/m ²	120 m ²	€480	200 m ²	€800	300 m ²	€1.200
Neem boorkernen	€116,67/kern	7 kernen	€816,69	7 kernen	€816,69	7 kernen	€816,69
Petrografisch onderzoek	€550/proef	1 proef	€550	1 proef	€550	1 proef	€550



Zwelproof	€750/proefreks	1 proefreeks	€750	1 proefreeks	€750	1 proefreeks	€750
Inventariseer te oogsten elementen	€100/uur	1 uur	€100	1 uur	€100	1 uur	€100
Boring volledige diepte	€40/boring	1 boring	€40	1 boring	€40	1 boring	€40
Opmeten dimensies	€40/uur	0,5 uur	€20	0,5 uur	€20	0,5 uur	€20
Terugslaghamer op druklaag	€35/meetlocatie	7 meetlocaties	€245	12 meetlocaties	€420	17 meetlocaties	€595
Terugslaghamer op welfsels	€35/meetlocatie	7 meetlocaties	€245	12 meetlocaties	€420	17 meetlocaties	€595
Wapeningsscan	€28/element	3 elementen	€84	3 elementen	€84	3 elementen	€84
Wapening vrijmaken	€150/element	1 element	€150	1 element	€150	1 element	€150
Bereken draagvermogen	€100/uur	1 uur	€100	1 uur	€100	1 uur	€100
Aanhechtingsproef druklaag	€150/proef	1 proef	€150	1 proef	€150	1 proef	€150
Neem boorkernen	€116,67/kern	1 kern	€116,67	1 kern	€116,67	1 kern	€116,67
Fenolftaleïneproef	€20/proef	1 proef	€20	1 proef	€20	1 proef	€20
Chlorideproef	€50/proef	1 proef	€50	1 proef	€50	1 proef	€50
Neem boorkernen	€116,67/kern	3 kernen	€350,01	3 kernen	€350,01	3 kernen	€350,01
Fenolftaleïneproef	€20/proef	3 proeven	€60	3 proeven	€60	3 proeven	€60
Chlorideproef	€50/proef	3 proeven	€150	3 proeven	€150	3 proeven	€150
Bijwerken inventaris	€100/uur	2,5 uren	€250	3 uren	€300	3,5 uren	€350
Uitvoeringsstudie	€100/uur	2 uren	€200	2 uren	€200	2 uren	€200
Boring om naad bloot te leggen	€40/boring	4 boringen	€160	8 boringen	€320	12 boringen	€480
Snijpatroon uittekenen	€40/uur	1 uur	€40	1,5 uren	€60	2 uren	€80
Volledige diepte uitsnijden	€15/m	93,6 m	€1.404	113,6 m	€1.704	138,6 m	€2.079
Ankergraten boren	€20/boring	8 boringen	€160	8 boringen	€160	8 boringen	€160
Ankers installeren	€40/uur	0,5 uur	€20	0,5 uur	€20	0,5 uur	€20



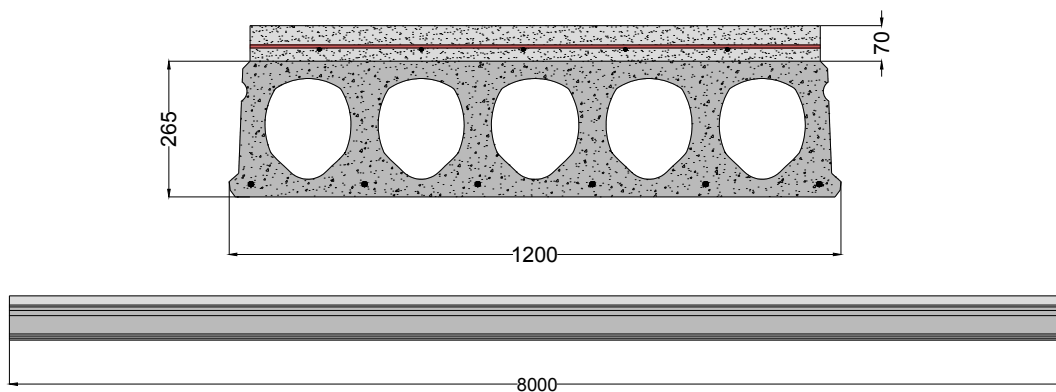
Uitsnijden enkele centimeters	€7,5/m	168 m	€1.260	288 m	€2.160	456 m	€3.420
Gaten boren in de naad	€20/boring	56 boringen	€1.120	96 boringen	€1.920	152 boringen	€3.040
Splitsen met hydraulische wig	€40/uur	3 uren	€120	5 uren	€200	7,5 uren	€300
Elementen uit elkaar hefbomen	€40/uur	1 uur	€40	1,5 uren	€60	2 uren	€80
Voegen afbikken	€1,75/m	384 m	€672	672 m	€1.176	1.008 m	€1.764
Elementen uithijzen	€95/uur	10 uren	€950	15 uren	€1.425	20 uren	€1.900
Transport vol naar testsite	€7/km	50 km	€350	50 km	€350	50 km	€350
Transport leeg naar testsite	€7/km	50 km	€350	50 km	€350	50 km	€350
Cyclische proefbelasting	€4.000/proef	3 proeven	€12.000	3 proeven	€12.000	3 proeven	€12.000
Transport vol beproefde welfsels naar opslag	€7/km	50 km	€350	50 km	€350	50 km	€350
Transport leeg beproefde welfsels naar opslag	€7/km	50 km	€350	50 km	€350	50 km	€350
Transport vol naar opslag	€7/km	100 km	€700	150 km	€1.050	200 km	€1.400
Transport leeg naar opslag	€7/km	100 km	€700	150 km	€1.050	200 km	€1.400
Opslag 3 jaar	€5/m ² /maand	36 m ²	€6.480	60 m ²	€10.800	90 m ²	€16.200
Transport vol naar nieuw werf	€7/km	100 km	€700	150 km	€1.050	200 km	€1.400
Transport leeg naar nieuw werf	€7/km	100 km	€700	150 km	€1.050	200 km	€1.400
Totaal		€33.653,37		€43.352,37		€55.070,37	
Totaal per m²		€280,44		€216,76		€183,57	
Vergelijken met nieuwprijs per m²		€68,76		€67,59		€66,42	

Tabel 40: Kostentabel ongunstig traject voor woningen.

5.1.3. Middelgroot industrie- of kantoorgebouw

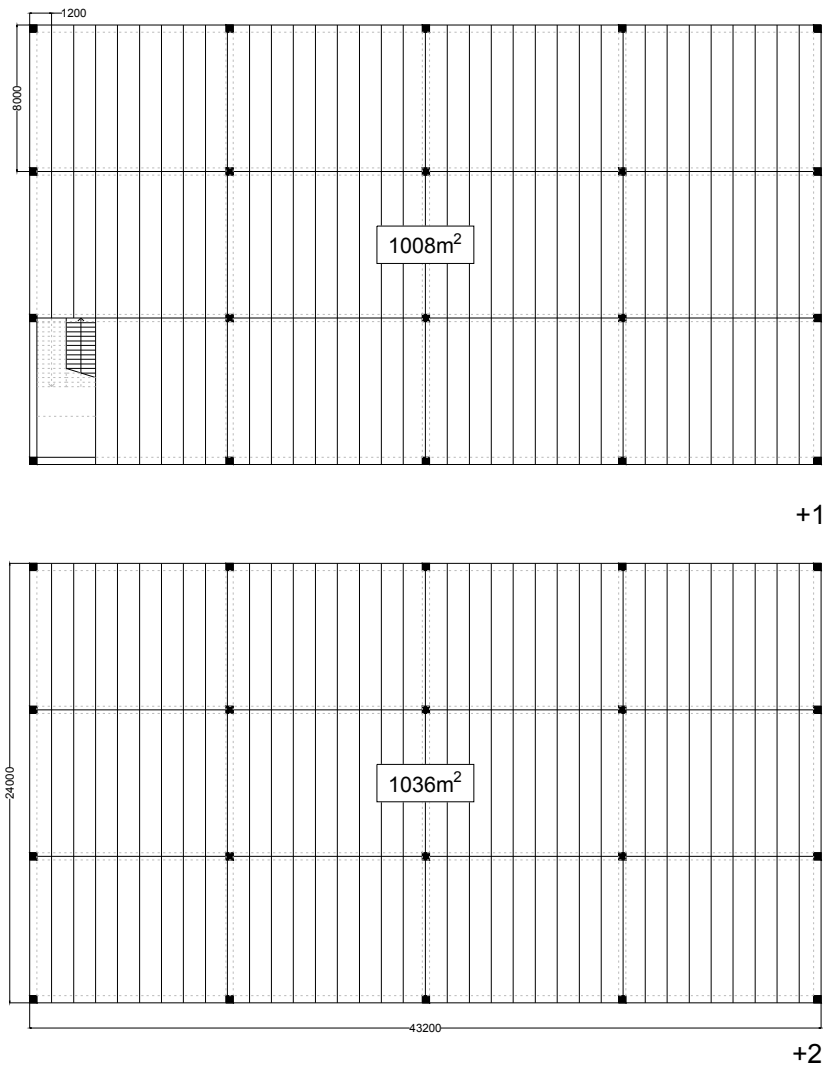
5.1.3.1. Referentieproject

Het referentieproject voor het oogsten van holle welfsels uit een middelgroot industrie- of kantoorgebouw is een grote hal van 2.044 m². In projecten van deze schaal wordt er rekening gehouden met de individuele afmetingen van de elementen, waardoor passtukken overbodig zijn. Als gevolg heeft het referentieproject geen afgeronde oppervlakte zoals 2.000 m², maar een oppervlakte van 2.044 m² waarbij een vol aantal elementen wordt gebruikt. Soortgelijke projecten met een eerder beschreven groter oppervlak volgen dezelfde logica en worden enkel voorgesteld met hun eindkost in het overzicht. Ook dit gebouw is goed bereikbaar voor zowel de kraan als de vrachtwagen. Het project bestaat uit twee grote verdiepingen, beide opgebouwd uit voorgespannen holle welfsels met een hoogte van 265 mm, een breedte van 1.196 mm en een overspanning van 8.000 mm. In maar liefst 40% van de industriële gebouwen waarbij men voorgespannen holle welfsels inzet, wordt er geen druklaag voorzien (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 9 maart 2026). Dit zorgt ervoor dat de voegen direct zichtbaar zijn, men minder diep moet zagen met de diamantzaag en er meer elementen per vrachtwagen kunnen geladen worden. Om deze reden zal in het gunstige hergebruiktraject uitgegaan worden van een configuratie zonder druklaag. In het realistische en ongunstige traject maakt men gebruik van een druklaag met een laagdikte van 70 mm. De welfsels in het gebouw worden opgesplitst in twee functies: de dakelementen en de verdiepingselementen. De dakelementen zijn in één productiegang vervaardigd, terwijl de verdiepingselementen in twee productiegangen zijn gefabriceerd. Voor alle stappen waarbij 'per functie per productie' vermeld staat, volstaan dus drie metingen. Dit type element wordt nieuw geproduceerd en geleverd op de werf voor een kostprijs van €61/m². Er wordt rekening gehouden met de sloop-, transport- en storkosten binnen de conventionele slooppraktijk. Wanneer men niet gebruik maakt van een druklaag met een laagdikte van 70 mm, is de totale kostprijs voor een nieuw geproduceerd voorgespannen hol welfsel geleverd op de werf €77,70/m², en respectievelijk €84,00/m² met druklaag.

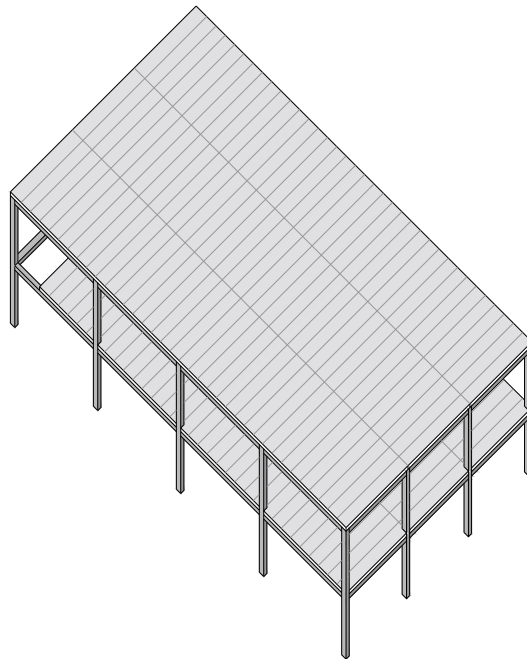


Figuur 182: Detailtekening hol welfsel type 265 mm met een druklaag van 70mm.

De holle welfsels in een gebouw van deze grootteorde kunnen ontmanteld worden in tien werkdagen (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026). Veelal bestaat de overige draagstructuur en bouwmaterialen uit prefab en modulaire elementen (Febe, 2024), waardoor ook deze materialen gemakkelijk te oogsten zijn. Daarom wordt de meerkost die gepaard gaat met de langere oogstperiode, in vergelijking met de conventionele slooppraktijk, buiten beschouwing gelaten.

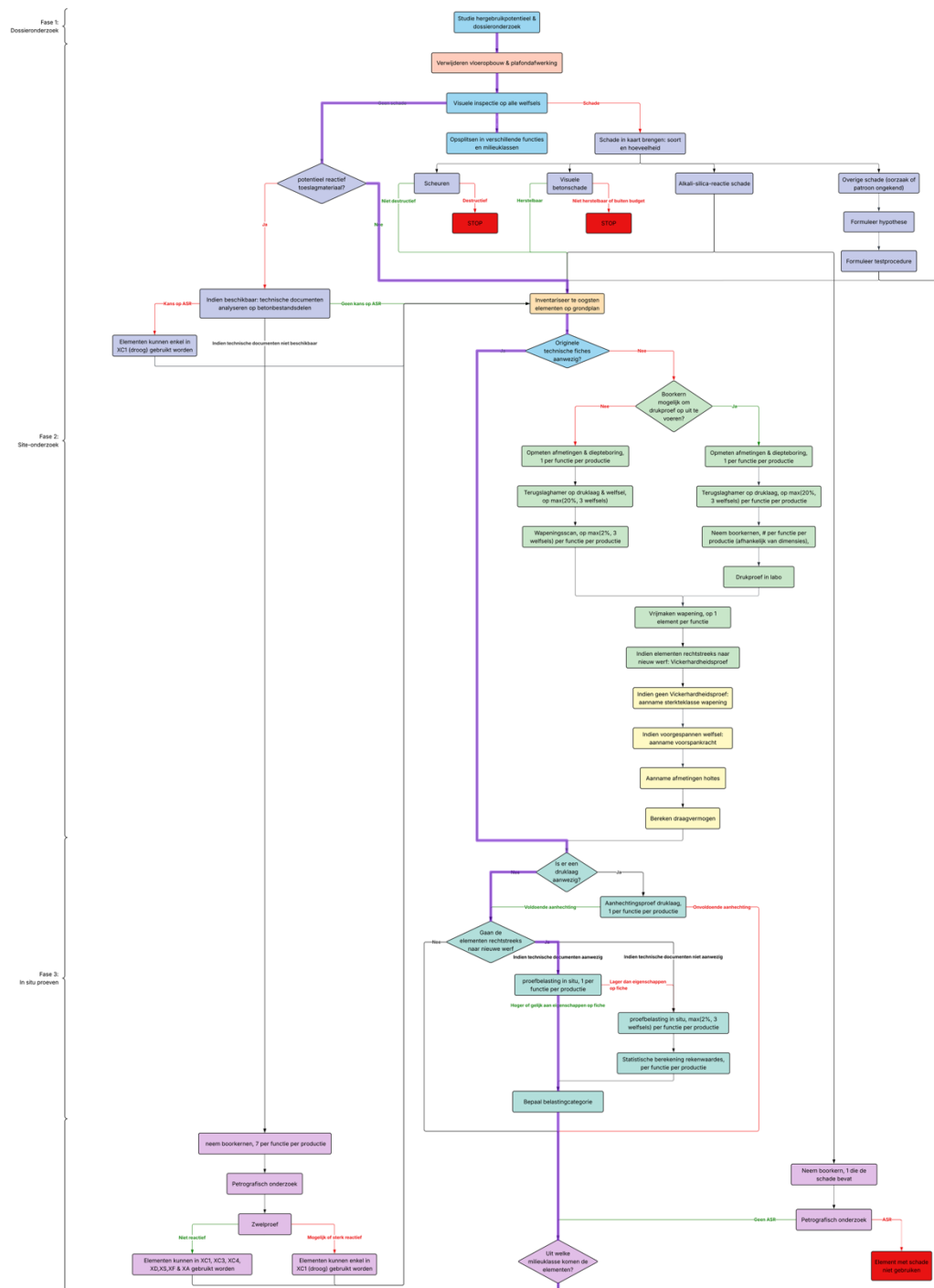


Figuur 184: Legplan holle welfsels eerste en tweede verdieping in referentieproject industrie- of kantoorgebouw.

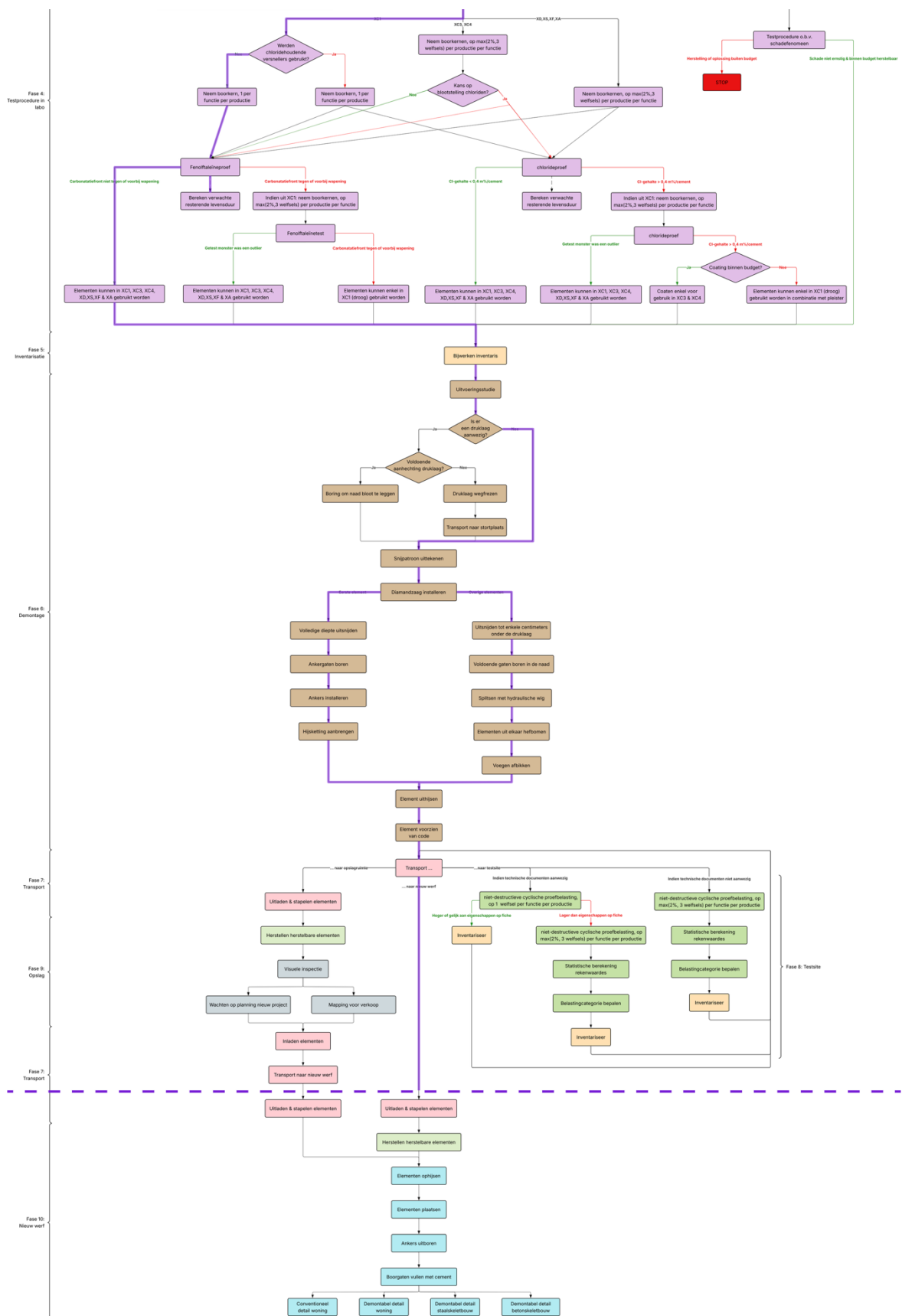


Figuur 183: Visualisatie referentieproject industrie- of kantoorgebouw.

5.1.3.2.1. Beslissingsdiagram



Figuur 185: *Beslissingsdiagram waarop het gunstig traject voor kantoorgebouwen is aangeduid, deel 1.*



Figuur 186: Beslissingsdiagram waarop het gunstig traject voor kantoorgebouwen is aangeduid, deel 2.



5.1.3.2.2. Gevolgd traject

5.1.3.2.2.1 Fase 1: Dossieronderzoek

Bij aanvang van het project wordt een studie uitgevoerd door de ingenieur naar het hergebruikpotentieel op basis van alle gevonden informatie. Tijdens deze stap worden de herbruikbare elementen geïdentificeerd en valt de beslissing om het hergebruikonderzoek al dan niet voort te zetten.

5.1.3.2.2.2 Fase 2: Site-onderzoek

Vervolgens wordt de vloeropbouw en plafondafwerking verwijderd. Hierbij worden zoveel mogelijk materialen gerecupereerd; denk maar aan het verhoogde vloersysteem of plafondsysteem. Zodra de elementen volledig blootgelegd zijn, voert men een visuele inspectie uit op alle holle welfsels. Er wordt geen schade geregistreerd en er is geen kans op potentieel reactief toeslagmateriaal. Dit zorgt ervoor dat niet elk element uniek zal zijn, waardoor de welfsels in groepen worden geïnventariseerd. Aangezien de originele technische documentatie beschikbaar is, kennen we de draagcapaciteit.

5.1.3.2.2.3 Fase 3: In situ proeven

Er is geen druklaag aanwezig waardoor een aanhechtingsproef ervan niet van toepassing is. De holle welfsels zullen rechtstreeks getransporteerd worden naar de nieuwe werf. Aangezien de technische documentatie beschikbaar is, wordt er een in situ proefbelasting uitgevoerd op één element per functie per productie. De proeven voor beide functies als productiereeksen hebben een positief resultaat; de dwarskrachtcapaciteit komt overeen met de informatie op de technische documentatie. Op basis van deze validatie bepaalt men de belastingscategorie.

5.1.3.2.2.4 Fase 4: Testprocedure in labo

Het referentiegebouw heeft een milieuklasse XC1 en er werden geen chloridehoudende versnellers gebruikt in de originele fabricatie van de welfsels, waardoor men één boorkern neemt uit elke populatie elementen. In totaal worden drie boorkernen genomen om het carbonatatiefront te achterhalen. Een fenolftaleïneproef toont aan dat het front de wapening niet heeft bereikt. Op basis van de verzamelde informatie zijn de elementen geschikt voor toepassing in de milieuklassen XC1, XC3, XC4, XD, XS, XF en XA.

5.1.3.2.2.5 Fase 5: Inventarisatie

Deze conclusie, en alle voorgaande verzamelde informatie, wordt verwerkt in de al opgebouwde inventaris.

5.1.3.2.2.6 Fase 6: Demontage

Vervolgens voert de aannemer een uitvoeringsstudie uit waarbij het nodige materiaal en gereedschap verzameld wordt. Aangezien de uitvoering geen druklaag bezit, zijn de voegen meteen zichtbaar en kan men een correct snijpatroon tekenen. Met een diamantzaag worden de kopse kanten, de tegen de ringbalk gestorte zijden en het eerste element van elke rij over de volledige diepte losgezaagd. In de rij waarin de trap zich bevindt is er al plaats om in de volgende stappen de overige elementen los te maken, hier zal het eerste element dus niet over de volledige diepte uitgesneden worden. Er worden vier ankerboren geboord in elk element dat volledig is uitgesneden. Dit komt neer op een totaal van 20 gaten, aangezien vijf elementen als eerste in een rij fungeren. De hijsankers worden aangebracht in de gaten en de eerste elementen worden uitgehesen. Men zaagt met een diamantzaag in de overige voegen tot zes en een halve centimeter diep, dit geeft voldoende aanzet om de elementen vervolgens correct te splitsen. De elementen hebben een overspanning van acht meter, waardoor er drie gaten per voeg worden geboord om geen schade aan de elementen te veroorzaken tijdens het splitsproces.



Hierin oefenen de hydraulische wiggen een horizontale splijtkracht uit om te elementen van elkaar te scheiden. Met een stalen wrikijzer wordt een hefboomwerking gecreëerd om de elementen gecontroleerd uit elkaar te schuiven. Het resterende voegbeton aan de profielzijde van de holle welfsels wordt verwijderd met een pneumatische hamer. Met een welfselklem worden alle overige elementen uitgehesen en op de vrachtwagen geplaatst. Omdat elk element 3.492,3 kg weegt en de kraan deze op een afstand van maximaal 31 meter moet hijsen, is een kraan met een capaciteit van 160 tonmeter en een vlucht van 40 meter vereist. De welfsels worden voorzien van een scanbare QR-code om ze traceerbaar en identificeerbaar te maken.

5.1.3.2.2.7 Fase 7: Transport

Dankzij de laadcapaciteit van 33 ton kan een vrachtwagen negen holle welfsels per rit transporteren. De volledige populatie bestaat uit 213 elementen, waardoor er in totaal 24 vrachtwagens nodig zijn om alle elementen op de nieuwe werf te krijgen. Ook in dit traject wordt rekening gehouden met de ongeladen ritten van de nieuwe werf naar het donorgebouw. Er wordt uitgegaan van een afstand tussen beide van 50 km. Dit wil zeggen dat een vrachtwagen per volledige rit 100 km rijdt. In totaal zal er in dit referentieproject maar liefst 2.400 km worden afgelegd.

5.1.3.2.2.8 Fase 10: Nieuw werf

De testprocedure in het beslissingsdiagram heeft uitgewezen dat de geoogste elementen in milieuklasse XC1, XC3, XC4, XD, XS, XF en XA gebruikt mogen worden. De holle welfsels worden idealiter demontabel heringezet volgens de bouwdetails beschreven in 4.6.10.2. 'Mogelijke uitvoeringsdetails'.

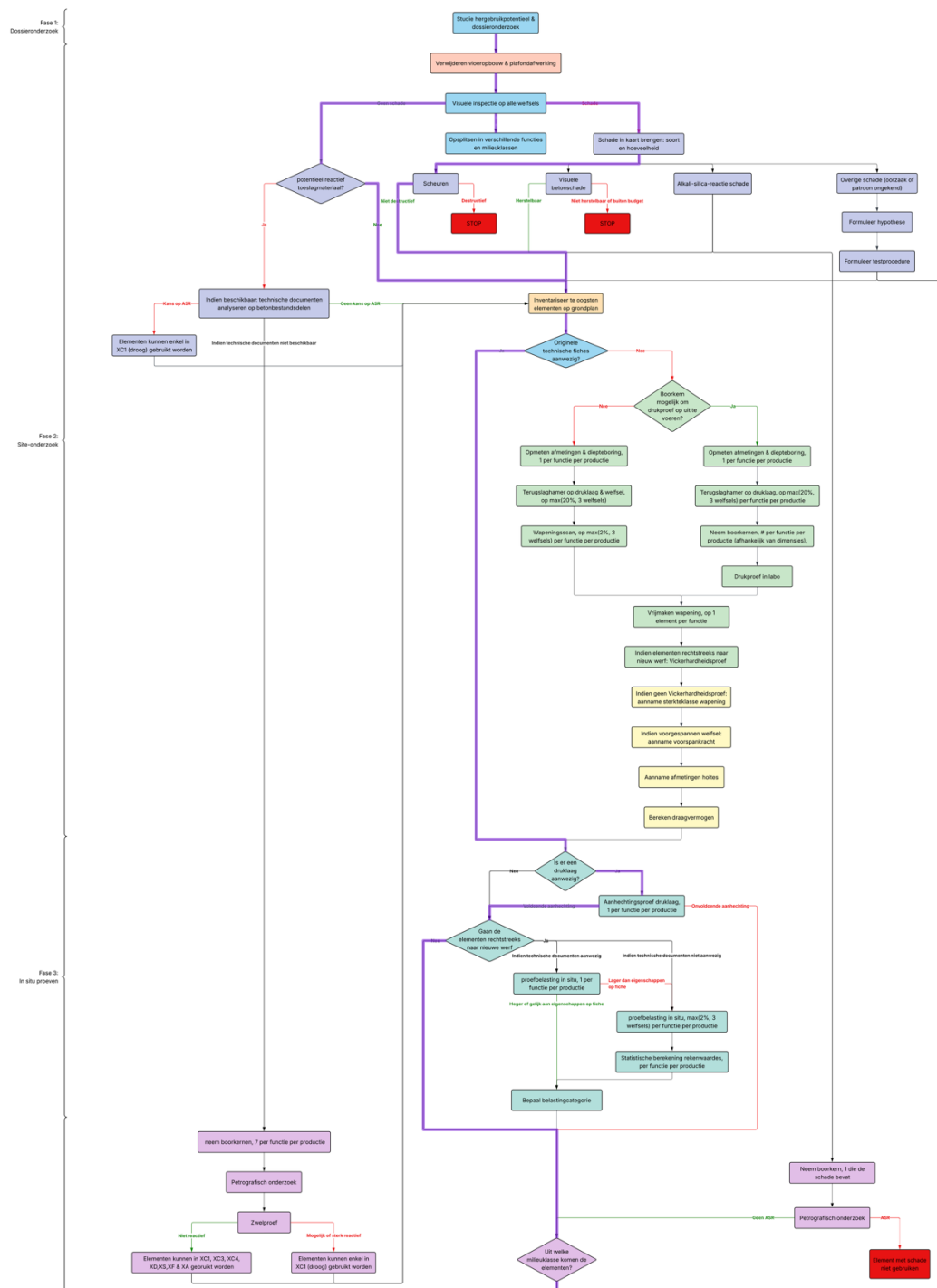


5.1.3.2.3. Kostentabel

Algemeen		Indu./kant. 2.044 m ²		Indu./kant. 3.052 m ²		Indu./kant. 4.060 m ²	
Activiteit	Eenheidsprijs	Aantal	Kost	Aantal	Kost	Aantal	Kost
Studie hergebruikpotentieel & dossieronderzoek	€100/uur	1 uur	€100	1 uur	€100	1 uur	€100
Visuele inspectie	€4/m ²	2.044 m ²	€8.176	3.052 m ²	€12.208	4.060 m ²	€16.240
Inventariseer te oogsten elementen	€100/uur	1,5 uren	€150	1,5 uren	€150	1,5 uren	€150
In situ proefbelasting	€4.000/proef	3 proeven	€12.000	3 proeven	€12.000	3 proeven	€12.000
Neem boorkernen	€116,67/kern	3 kernen	€350,01	3 kernen	€350,01	3 kernen	€350,01
Fenolftaleïneproef	€20/proef	3 proeven	€60	3 proeven	€60	3 proeven	€60
Bijwerken inventaris	€100/uur	2 uren	€200	2 uren	€200	2 uren	€200
Uitvoeringsstudie	€100/uur	2 uren	€200	2 uren	€200	2 uren	€200
Snijpatroon uittekenen	€40/uur	10 uren	€400	15 uren	€600	20 uren	€800
Volledige diepte uitsnijden	€25,175/m	466,4 m	€11.741,62	688 m	€17.320	910,5 m	€22.921,84
Ankerboren boren	€20/boring	20 boringen	€400	28 boringen	€560	36 boringen	€720
Ankers installeren	€40/uur	1 uur	€40	1,5 uren	€60	2 uren	€80
Uitsnijden enkele centimeters	€4,875/m	1.616 m	€7.878	2.416 m	€11.778	3.216 m	€15.678
Gaten boren in de naad	€20/boring	606 boringen	€12.120	906 boringen	€18.120	1.206 boringen	€24.120
Splitsen met hydraulische wig	€40/uur	55 uren	€2.200	82,5 uren	€3.300	110 uren	€4.400
Elementen uit elkaar hefbomen	€40/uur	20 uren	€800	30 uren	€1.200	40 uren	€1.600
Voegen afbikken	€1,75/m	3.408 m	€5.964	5.088 m	€8.904	6.768 m	€11.844
Elementen uithijzen	€208/uur	150 uren	€31.200	225 uren	€46.800	300 uren	€62.400
Transport vol naar nieuw werf	€7/km	1.200 km	€8.400	1.800 km	€12.600	2.350 km	€16.450
Transport leeg naar nieuw werf	€7/km	1.200 km	€8.400	1.800 km	€12.600	2.350 km	€16.450
Totaal			€ 110.779,63		€ 159.110,41		€ 206.763,85
Totaal per m²			€ 54,20		€ 52,13		€ 50,93
Vergelijken met nieuwprijs per m²			€ 77,70		€ 77,62		€ 77,58

Tabel 41: Kostentabel gunstig traject voor kantoorgebouwen.

5.1.3.3.1. Beslissingsdiagram



Figuur 187: *Bestillingsdiagram waarop het realistische traject voor open parkeergebouwen is aangeduid, deel 1.*



5.1.3.3.2. Gevolgd traject

5.1.3.3.2.1 Fase 1: Dossieronderzoek

Bij aanvang van het project wordt een studie uitgevoerd door de ingenieur naar het hergebruikpotentieel op basis van alle gevonden informatie. Tijdens deze stap worden de herbruikbare elementen geïdentificeerd en valt de beslissing om het hergebruikonderzoek al dan niet voort te zetten.

5.1.3.3.2.2 Fase 2: Site-onderzoek

Vervolgens wordt de vloeropbouw en plafondafwerking verwijderd. Hierbij worden zoveel mogelijk materialen gerecupereerd; denk maar aan het verhoogde vloersysteem of plafondsysteem. Zodra de elementen volledig blootgelegd zijn, voert men een visuele inspectie uit op alle holle welfsels. Niet alle elementen zijn volledig schadevrij. Er worden scheuren geobserveerd die niet destructief blijken te zijn. De schade wordt uitvoerig gedocumenteerd. Bijkomend is er geen kans op potentieel reactief toeslagmateriaal, waardoor men na de visuele inspectie kan concluderen dat alle elementen zich in herbruikbare staat bevinden. De geregistreerde schade zorgt ervoor dat de elementen met schade een uniek rapport krijgen, en als gevolg ook uniek worden geïnventariseerd. De overige welfsels zonder schade worden gegroepeerd. Aangezien de originele technische documentatie beschikbaar is, kennen we de draagcapaciteit.

5.1.3.3.2.3 Fase 3: In situ proeven

Er is een druklaag aanwezig waarop men een aanhechtingsproef uitvoert. De breuklijn bevindt zich in de druklaag; de adhesie tussen beide lagen is met andere woorden sterker dan de cohesie van de druklaag. De elementen zullen inclusief druklaag geoogst worden. In een realistisch traject zullen de elementen jammer genoeg nog niet meteen een nieuwe gebruikslocatie hebben, waardoor ze tijdelijk gestockeerd worden en er dus tijd is een cyclische proefbelasting uit te voeren op de testsite. Als gevolg zullen geen in situ proefbelastingen plaatsvinden in dit traject.

5.1.3.3.2.4 Fase 4: Testprocedure in labo

Het referentiegebouw is in dit traject een open parkeergebouw dat blootgesteld is aan de omgeving en waar dooizouten gebruikt kunnen worden. Het bezit met andere woorden een milieuklasse XD1, waardoor het tot de groep 'XD, XS, XF, XA' van het beslissingsdiagram behoort. Er worden vervolgens boorkernen genomen uit 2% van de elementen per populatie, waarbij per geselecteerd element één kern wordt geboord en er een minimum van drie kernen per populatie geldt. Dit resulteert in een totaal van 9 kernen die beproeft zullen worden. Als gevolg van de milieuklassengroep waartoe het gebouw behoort, wordt er op alle kernen zowel een fenolftaleïneproef als chlorideproef uitgevoerd. Het carbonatatief front bevindt zich nog volledig voor de wapening, waardoor de elementen op basis hiervan overal hergebruikt kunnen worden. De chlorideproef daarentegen toont dat het chloridegehalte hoger is dan 0,4m%/cement. Aangezien een coating niet in het budget van de bouwheer past, kunnen de elementen enkel heringezet worden in milieuklasse XC1 in combinatie met een binnenbepleistering.

5.1.3.3.2.5 Fase 5: Inventarisatie

Deze conclusie, en alle voorgaande verzamelde informatie, wordt verwerkt in de al opgebouwde inventaris.

5.1.3.3.2.6 Fase 6: Demontage

Vervolgens voert de aannemer een uitvoeringsstudie uit waarbij het nodige materiaal en gereedschap verzameld wordt. Aangezien er een druklaag op het element ligt, is de voeg tussen de elementen niet zichtbaar. Om de drie elementen wordt in het voegkruispunt een gat geboord over de volledige diepte via de onderzijde van de



elementen. Op deze manier worden de hoekpunten zichtbaar aan de bovenzijde en kan men de overige kruispunten tussen de boringen aanduiden door te meten. Als alle voegkruispunten gekend zijn, wordt het snijpatroon uitgetekend met krijt. Met een diamantzaag worden de kopse kanten, de aansluitingen met de ringbalk en het eerste element van elke rij volledig losgezaagd. In de rij met de trap is dit doorzagen niet nodig vanwege de al aanwezige ruimte. In de vijf volledig losgezaagde elementen worden telkens vier ankerkasten geboord voor de hijsankers, waarna deze elementen worden uitgehesen. De overige voegen worden 13,5 cm diep ingezaagd als aanzet voor het splijten. Vanwege de overspanning van 8 meter worden per voeg drie gaten geboord, waarna hydraulische wiggen en een wrikijzer de elementen gecontroleerd scheiden en verschuiven. Na het verwijderen van resterend voegbeton met een pneumatische hamer, worden alle elementen met een welfselklem uitgehesen en op de vrachtwagen geladen. Omdat elk element inclusief druklaag 4.972 kg weegt en de kraan deze op een afstand van maximaal 31 meter moet hijsen, is een kraan met een capaciteit van 200 tonmeter en een vlucht van 40 meter vereist. De welfsels worden voorzien van een scanbare QR-code om ze traceerbaar en identificeerbaar te maken.

5.1.3.3.2.7 Fase 7: Transport

Met een laadcapaciteit van 33 ton kan een vrachtwagen per rit zes holle welfsels, inclusief druklaag, vervoeren. Om de totale populatie van 213 elementen te verwijderen, zijn 36 enkele ritten nodig: één vrachtwagen transporteert de drie proefelementen naar de testsite, terwijl 35 vrachtwagens de overige 210 elementen naar de opslagruimte vervoeren. Na de cyclische proefbelasting op de testsite worden de beproefde elementen getransporteerd naar de opslagruimte waar ze de rest van de welfsels vervoegen. Na één jaar krijgen de elementen een nieuwe functie en worden ze naar het nieuwe project getransporteerd. Ook in dit traject wordt rekening gehouden met de ongeladen ritten tussen elke start- en eindlocatie. Er wordt uitgegaan van een afstand voor elke rit van 50 km. Dit wil zeggen dat een vrachtwagen per volledige rit 100 km rijdt. In totaal zal er in dit referentieproject maar liefst 7.300 km worden afgelegd.

5.1.3.3.2.8 Fase 8: Testsite

Aangezien de draagcapaciteit is vastgelegd in de technische documentatie, en deze beschikbaar is, wordt een cyclische proefbelasting uitgevoerd om deze waarde te valideren. Concreet beproeft men één element per populatie holle welfsels; wat in dit geval neerkomt op drie welfsels. Het blijkt dat alle beproefde elementen een dwarskrachtcapaciteit bezitten die hoger of gelijk is aan de gekende waarde. De eerder opgestelde inventaris wordt bijgewerkt met deze informatie om overzicht te bewaren. Aangezien de proefbelasting niet-destructief uitgevoerd wordt, transporteert men volgens voorgaande paragraaf deze elementen naar de opslagruimte.

5.1.3.3.2.9 Fase 9: Opslag

De holle welfsels worden tijdelijk gestockeerd in het bouwput voor gerecupereerde structurele bouwmaterialen. De in de visuele inspectie signaleerde niet-destructieve scheuren worden hier gedicht met herstelmortel. De contactpersoon van het bouwput vult de eigen verkoopsinventaris aan op basis van onze opgestelde fiches. De QR-codes dienen hierbij om de elementen snel te identificeren en correcte herstelprocedures uit te voeren op de beschadigde elementen. Zodra de elementen een nieuwe bestemming krijgen, worden ze ingeladen op de vrachtwagen en getransporteerd naar de nieuwe werf. In een realistisch hergebruiktraject wordt uitgegaan van een opslagtermijn van één jaar. De welfsels worden in stapels van zeven stuks geplaatst, waarbij voldoende tussenruimte wordt vrijgehouden voor inspectie en manipulatie.



5.1.3.3.2.10 Fase 10: Nieuw werf

De testprocedure in het beslissingsdiagram heeft uitgewezen dat de geoogste elementen enkel in milieuklasse XC1, in combinatie met een binnenpleister, gebruikt mogen worden. De holle welfsels worden idealiter demontabel heringezet volgens de bouwdetails beschreven in 4.6.10.2. 'Mogelijke uitvoeringsdetails'.

5.1.3.3. Kostentabel

Algemeen		Indu./kant. 2.044 m ²		Indu./kant. 3.052 m ²		Indu./kant. 4.060 m ²	
Activiteit	Eenheidsprijs	Aantal	Kost	Aantal	Kost	Aantal	Kost
Studie hergebruikpotentieel & dossieronderzoek	€100/uur	1 uur	€100	1 uur	€100	1 uur	€100
Visuele inspectie	€4/m ²	2.044 m ²	€8.176	3.052 m ²	€12.208	4.060 m ²	€16.240
Inventariseer te oogsten elementen	€100/uur	2,5 uren	€250	3 uren	€300	3,5 uren	€350
Aanhechtingsproef	€150/proef	3 proeven	€450	3 proeven	€450	3 proeven	€450
Neem boorkernen	€116,67/kern	9 kernen	€1.050,03	9 kernen	€10.500,3	11 kernen	€1.283,37
Fenoltaleïneproef	€20/proef	9 proeven	€180	9 proeven	€180	11 proeven	€220
Chlorideproef	€50/proef	9 proeven	€450	9 proeven	€450	11 proeven	€550
Bijwerken inventaris	€100/uur	4 uren	€400	5 uren	€500	6 uren	€600
Uitvoeringsstudie	€100/uur	2 uren	€200	2 uren	€200	2 uren	€200
Boring om naad bloot te leggen	€40/boring	24 boringen	€960	36 boringen	€1.440	48 boringen	€1.920
Snijpatroon uittekenen	€40/uur	10 uren	€400	15 uren	€600	20 uren	€800
Volledige diepte uitsnijden	€31,825/m	442,4 m	€14.079,38	688 m	€21.895,6	910,5 m	€28.976,66
Ankergaten boren	€20/boring	20 boringen	€400	28 boringen	€560	36 boringen	€720
Ankers installeren	€40/uur	1 uur	€40	1,5 uren	€60	2 uren	€80
Uitsnijden enkele centimeters	€10,125/m	1.616 m	€16.362	2416 m	€24.462	3.216 m	€32.562
Gaten boren in de naad	€20/boring	606 boringen	€12.120	906 boringen	€18.120	1.206 boringen	€24.120
Splitsen met hydraulische wig	€40/uur	55 uren	€2.200	82,5 uren	€3.300	110 uren	€4.400
Elementen uit elkaar hefbomen	€40/uur	20 uren	€800	30 uren	€1.200	40 uren	€1.600
Voegen afbikken	€1,75/m	3.408 m	€5.964	5.088 m	€8.904	6.768 m	€11.844
Elementen uithijzen	€245/uur	150 uren	€36.750	225 uren	€55.125	300 uren	€73.500

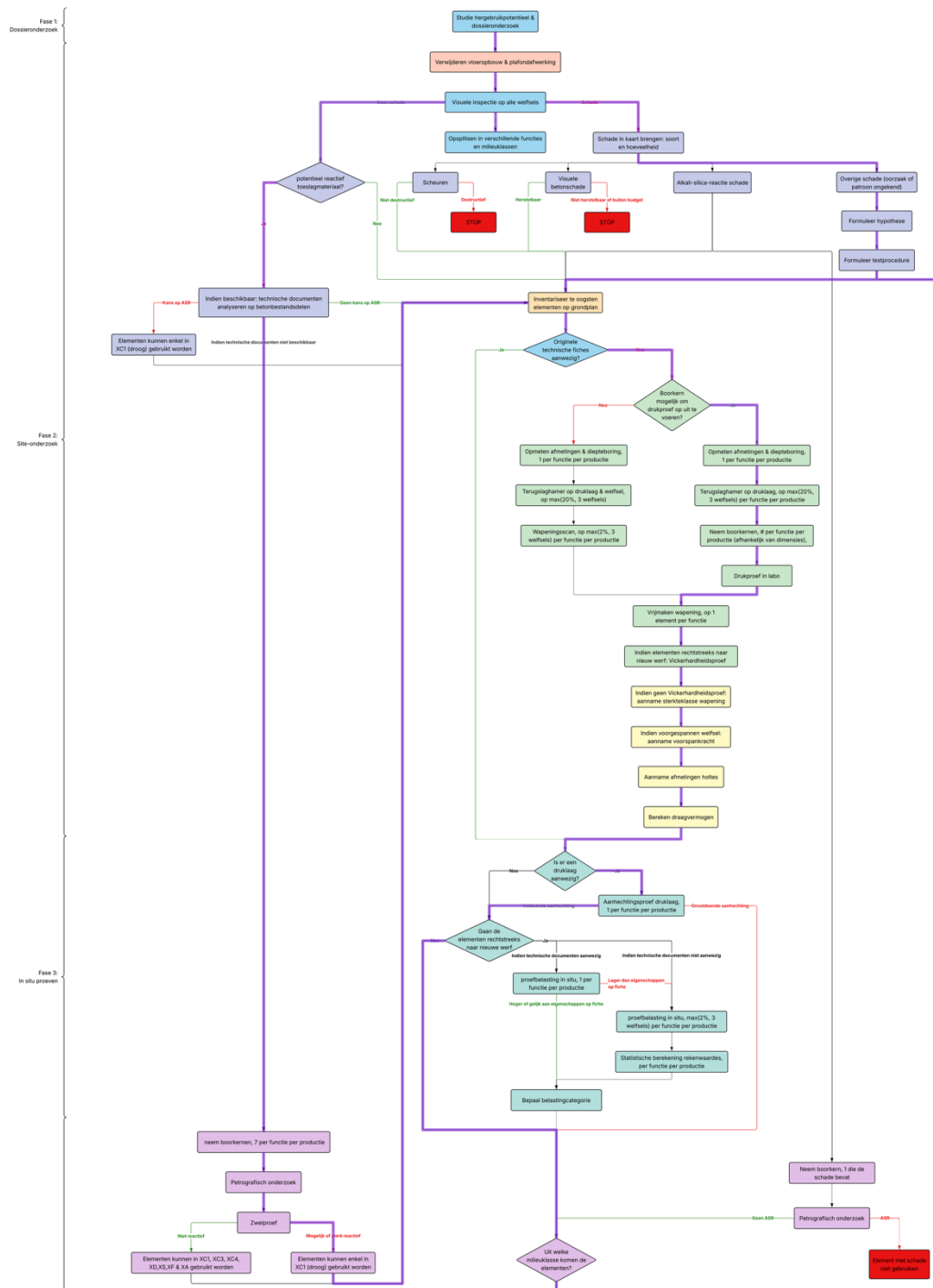


Transport vol naar testsite	€7/km	50 km	€350	50 km	€350	50 km	€350
Transport leeg naar testsite	€7/km	50 km	€350	50 km	€350	50 km	€350
Cyclische proefbelasting	€4.000/proef	3 proeven	€12.000	3 proeven	€12.000	3 proeven	€12.000
Transport vol beproefde welfsels naar opslag	€7/km	50 km	€350	50 km	€350	50 km	€350
Transport leeg beproefde welfsels naar opslag	€7/km	50 km	€350	50 km	€350	50 km	€350
Transport vol naar opslag	€7/km	1.800 km	€12.600	2.650 km	€18.550	3.550 km	€24.850
Transport leeg naar opslag	€7/km	1.800 km	€12.600	2.650 km	€18.550	3.550 km	€24.850
Opslag 1 jaar	€4/m ² /maand	600 m ²	€28.800	900 m ²	€43.200	1.200 m ²	€57.600
Transport vol naar nieuw werf	€7/km	1.800 km	€12.600	2.650 km	€18.550	3.550 km	€24.850
Transport leeg naar nieuw werf	€7/km	1.800 km	€12.600	2.650 km	€18.550	3.550 km	€24.850
Totaal			€193.231,41		€281.904,63		€370.216,03
Totaal per m²			€94,54		€92,37		€91,19
Vergelijken met nieuwprijs per m²			€84,00		€83,94		€83,91

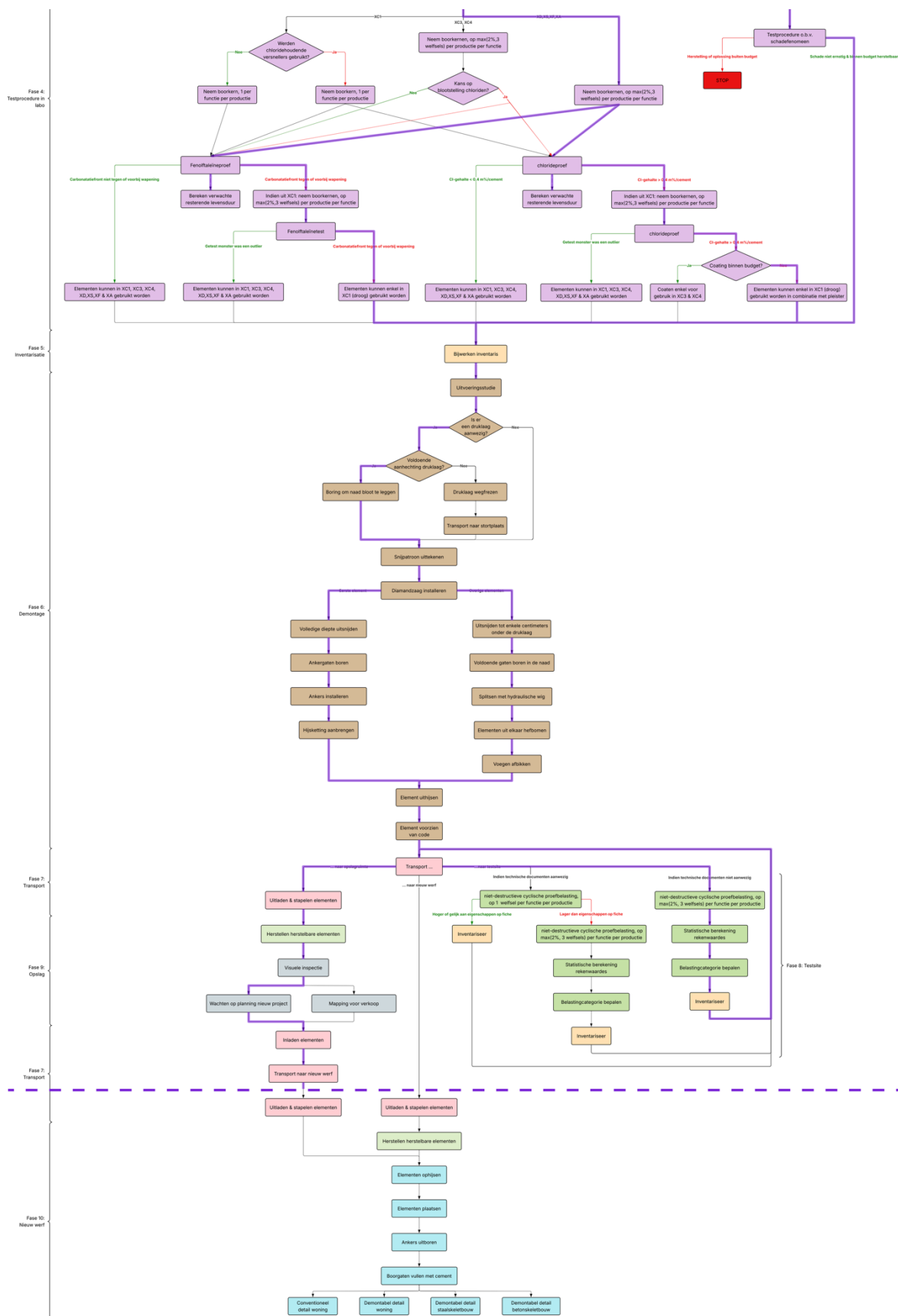
Tabel 42: Kostentabel realistisch traject voor open parkeergebouwen.

5.1.3.4. Ongunstig traject – zuivelfabriek

5.1.3.4.1. Beslissingsdiagram



Figuur 189: Beslissingsdiagram waarop het ongunstig traject voor zuivelfabrieken is aangeduid, deel 1.



Figuur 190: Beslissingsdiagram waarop het ongunstig traject voor zuivelfabrieken is aangeduid, deel 2.



5.1.3.4.2. Gevolgd traject

5.1.3.4.2.1 Fase 1: Dossieronderzoek

Bij aanvang van het project wordt een studie uitgevoerd door de ingenieur naar het hergebruikpotentieel op basis van alle gevonden informatie. Tijdens deze stap worden de herbruikbare elementen geïdentificeerd en valt de beslissing om het hergebruikonderzoek al dan niet voort te zetten.

5.1.3.4.2.2 Fase 2: Site-onderzoek

Vervolgens wordt de vloeropbouw en plafondafwerking verwijderd. Hierbij worden zoveel mogelijk materialen gerecupereerd. Zodra de elementen volledig blootgelegd zijn, voert men een visuele inspectie uit op alle holle welfsels. Enkele elementen vertonen een schadepatroon waarvan de oorzaak niet meteen thuis te brengen valt. Er wordt een proefprocedure opgesteld op basis van de hypothese om het schadefenomeen te achterhalen. De overige elementen vertonen momenteel geen schadepatronen. Omdat deze vóór 2007 zijn geproduceerd, de periode voordat specifieke richtlijnen tegen alkali-silica-reactie breed werden geïmplementeerd in de normering (Standard Norge, 2022), blijft de aanwezigheid van potentieel reactief toeslagmateriaal een risicofactor. De technische documentatie is jammer genoeg niet beschikbaar, waardoor men in fase 4 enkele laboproeven zal moeten uitvoeren om de reactiviteit van het beton te evalueren.

Bij gebrek aan technische documentatie worden de noodzakelijke constructieve eigenschappen ter plaatse achterhaald of ingeschat. De geometrie wordt in kaart gebracht door middel van een boring door een element, waarmee de exacte elementhoogte en de dikte van de druklaag worden vastgesteld. De overige buitenmaten worden ingemeten met een lintmeter, waarna de afmetingen van de inwendige holle kanalen worden ingeschat op basis van deze vastgestelde dimensies. De afmetingen van de elementen laten toe enkele boorkernen te nemen om een drukproef op uit te voeren. Deze worden genomen via de bovenzijde om geen wapeningsstaven aan te tasten. Alvorens de drukproef uitgevoerd wordt, verwijderd men de druklaag van het monster. Een terugslaghamerproef meet op 20% van de welfsels, oftewel 43 meetlocaties, de terugslagwaarden van de druklaag (Standard Norge, 2022). De drukproef uitgevoerd in het labo en de terugslaghamer geven uiteindelijk de betonsterkteklasse voor de welfsels en respectievelijk de druklaag. Vervolgens maakt men de wapening vrij van één element per populatie welfsels. In totaal wordt de wapening vrijgemaakt van drie elementen om de staalsterkteklasse in te schatten. Bij gebrek aan een proefmethode om de voorspankracht rechtstreeks te bepalen (R. Caspeele, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026), wordt deze waarde conservatief ingeschat op basis van het type element (T. Soetens, persoonlijke communicatie, 23 maart 2026). Zodra de volledige geometrie, de betonsterkte en de staaleigenschappen zijn vastgesteld, kan het definitieve draagvermogen worden berekend.

5.1.3.4.2.3 Fase 3: In situ proeven

Er is een druklaag aanwezig waarop men een aanhechtingsproef uitvoert. De breuklijn bevindt zich in de druklaag; de adhesie tussen beide lagen is met andere woorden sterker dan de cohesie van de druklaag. De elementen zullen inclusief druklaag geoogst worden. In een realistisch traject zullen de elementen jammer genoeg nog niet meteen een nieuwe gebruikslocatie hebben, waardoor ze tijdelijk gestockeerd worden en er dus tijd is een cyclische proefbelasting uit te voeren op de testsite. Als gevolg zullen geen in situ proefbelastingen plaatsvinden in dit traject.

5.1.3.4.2.4 Fase 4: Testprocedure in labo

Om de reactiviteit van het beton te achterhalen, neemt men zeven boorkernen uit elke populatie holle welfsels; dit resulteert in 21 kernen. Eén kern per populatie wordt petrografisch onderzocht op zijn bestanddelen. De



overige zes vormen één proefreeks en dienen om een zwelproef op uit te voeren. Men concludeert dat het beton mogelijks reactief kan zijn. De elementen met een ongekend schadepatroon volgen hun eigen proefprocedure op basis van de hypothese. Het blijkt dat de oorzaak van onschuldige aard is en de aangetaste elementen binnen budget herstelbaar zijn.

In het ongunstige traject wordt het referentiegebouw voorgesteld als een zuivelfabriek. Er wordt gewerkt met vloeistoffen, reinigingsmiddelen en organische zuren, waardoor het gebouw valt onder milieuklasse XA. Als gevolg volgt men in het beslissingsdiagram het pad 'XD, XS, XF, XA', waarbij er een boorkern wordt genomen uit drie welfsels per populatie. In totaal worden negen kernen zowel onderworpen aan een fenolftaleïneproef als aan een chlorideproef. Het blijkt dat het carbonatatieftefront geëvolueerd is tot tegen de wapening en dat ook het chloridegehalte zijn grenswaarde heeft bereikt. Een beschermende coating ligt niet binnen het budget van de bouwheer, waardoor de elementen enkel gebruikt kunnen worden in milieuklasse XC1 in combinatie met een binnenpleister.

5.1.3.4.2.5 Fase 5: Inventarisatie

Deze conclusie, en alle voorgaande verzamelde informatie, wordt verwerkt in de al opgebouwde inventaris.

5.1.3.4.2.6 Fase 6: Demontage

Ter voorbereiding op de werkzaamheden stelt de aannemer een uitvoeringsstudie op en worden de benodigde materialen en gereedschappen verzameld. Omdat de druklaag over voldoende aanhechting beschikt, worden de elementen inclusief deze laag gedemonteerd. Aangezien de druklaag de voegen aan de bovenzijde maskeert, worden er vanaf de onderzijde gaten geboord om de drie voegkruispunten. Deze boringen maken de hoekpunten aan de bovenzijde zichtbaar, waarna de overige kruispunten via inmeting nauwkeurig kunnen worden uitgezet. Zodra alle knooppunten zijn gemarkeerd, wordt het volledige snijpatroon met krijt op de druklaag aangebracht.

Vervolgens worden de kopse kanten, de aansluitingen met de ringbalk en het eerste element van elke rij volledig losgezaagd met een diamantzaag. In de rij bij de trap is volledig doorzagen niet nodig, omdat de bestaande opening al voldoende werkruimte biedt. In het eerste element van elke rij worden steeds vier gaten geboord voor de montage van hijsankers, waarmee deze 'sluitstukken' worden uitgehesen. De overige voegen worden tot een diepte van 13,5 cm ingezaagd; dit dient als aanzet voor het gecontroleerd splijten van de elementen. Gezien de overspanning van 8 meter worden per voeg drie gaten geboord, waarna de elementen met hydraulische wiggen en wrikijzers van elkaar worden gescheiden en verschoven. Het resterende voegbeton wordt met een pneumatische hamer verwijderd om de profielzijden volledig vrij te maken. De vrijgekomen elementen worden daarna met een welfselklem opgepakt en op de vrachtwagen geladen. Aangezien elk element 4.972 kg weegt, en de kraan deze op een afstand van maximaal 31 m moet hijsen, is een kraan met een capaciteit van 200 tonmeter en een vlucht van 40 m vereist. Tot slot krijgt elk welfsel een unieke, scanbare QR-code om de traceerbaarheid en identificatie in het verdere proces te garanderen.

5.1.3.4.2.7 Fase 7: Transport

Met een laadcapaciteit van 33 ton kan een vrachtwagen per rit zes holle welfsels, inclusief druklaag, vervoeren. Om de totale populatie van 213 elementen te verwijderen, zijn 36 enkele ritten nodig: twee vrachtwagens transporteren de negen profelementen naar de testsite, terwijl 34 vrachtwagens de overige 204 elementen naar de opslagruimte vervoeren. Na de cyclische proefbelasting op de testsite worden de beproefde elementen getransporteerd naar de opslagruimte waar ze de rest van de welfsels vervoegen. Na drie jaar krijgen de



elementen een nieuwe functie en worden ze naar het nieuwe project getransporteerd. Ook in dit traject wordt rekening gehouden met de ongeladen ritten tussen elke start- en eindlocatie. Er wordt uitgegaan van een afstand voor elke rit van 50 km. Dit wil zeggen dat een vrachtwagen per volledige rit 100 km rijdt. In totaal zal er in dit referentieproject maar liefst 7.400 km worden afgelegd.

5.1.3.4.2.8 Fase 8: Testsite

Bij gebrek aan technische documentatie wordt 2% van de holle welfsels per populatie beproefd, met een absoluut minimum van drie elementen. Voor dit traject resulteert dit in een cyclische proefbelasting op negen welfsels. Op basis van de verkregen resultaten wordt de dwarskrachtcapaciteit statistisch berekend, waarmee de toegestane belastingcategorie voor de elementen wordt bepaald. De cyclische proefbelasting heeft een niet-destructief karakter; de beproefde elementen worden na afloop getransporteerd naar de opslagruimte om daar de rest van de populatie te vervoegen.

5.1.3.4.2.9 Fase 9: Opslag

De holle welfsels worden tijdelijk gestockeerd in het bouwput voor gerecupereerde structurele bouwmaterialen. De in de visuele inspectie gesignaleerde ongekende schadepatronen worden hier hersteld. De contactpersoon van het bouwput vult de eigen verkoopsinventaris aan op basis van onze opgestelde fiches. De QR-codes dienen hierbij om de elementen snel te identificeren en correcte herstelprocedures uit te voeren op de beschadigde elementen. Zodra de elementen een nieuwe bestemming krijgen, worden ze ingeladen op de vrachtwagen en getransporteerd naar de nieuwe werf. In een ongunstig hergebruiktraject wordt uitgegaan van een opslagtermijn van drie jaar. De welfsels worden in stapels van zeven stuks geplaatst, waarbij voldoende tussenruimte wordt vrijgehouden voor inspectie en manipulatie.

5.1.3.4.2.10 Fase 10: Nieuw werf

De testprocedure in het beslissingsdiagram heeft uitgewezen dat de geoogste elementen enkel in milieuklasse XC1, in combinatie met een binnenpleister, gebruikt mogen worden. De holle welfsels worden idealiter demontabel heringezet volgens de bouwdetails beschreven in 4.6.10.2. 'Mogelijke uitvoeringsdetails'.



5.1.3.4.3. Kostentabel

Algemeen		Indu./kant. 2.044 m ²		Indu./kant. 3.052 m ²		Indu./kant. 4.060 m ²	
Activiteit	Eenheidsprijs	Aantal	Kost	Aantal	Kost	Aantal	Kost
Studie hergebruikpotentieel & dossieronderzoek	€100/uur	1 uur	€100	1 uur	€100	1 uur	€100
Visuele inspectie	€4/m ²	2.044 m ²	€8.176	3.052 m ²	€12.208	4.060 m ²	€16.240
Neem boorkernen	€116,67/kern	21 kernen	€2.450,07	21 kernen	€2.450,07	21 kernen	€2.450,07
Petrografisch onderzoek	€550/proef	3 proeven	€1.650	3 proeven	€1.650	3 proeven	€1.650
Zwelfproef	€750/proefreks	3 proefreeksen	€2.250	3 proefreeksen	€2.250	3 proefreeksen	€2.250
Inventariseer te oogsten elementen	€100/uur	2,5 uren	€250	3 uren	€300	3,5 uren	€350
Boring volledige diepte	€40/boring	2 boringen	€80	2 boringen	€80	2 boringen	€80
Opmeten dimensies	€40/uur	1 uur	€40	1 uur	€40	1 uur	€40
Terugslaghamer op druklaag	€35/meetlocatie	43 meetlocaties	€1.505	64 meetlocaties	€2.240	85 meetlocaties	€2.975
Neem boorkernen	€116,67/ kern	24 kernen	€2.800,08	24 kernen	€2.800,08	24 kernen	€2.800,08
Drukproef in labo	€80/proef	24 proeven	€1.920	24 proeven	€1.920	24 proeven	€1.920
Wapening vrijmaken	€150/element	2 elementen	€300	2 elementen	€300	2 elementen	€300
Bereken draagvermogen	€100/uur	1 uur	€100	1 uur	€100	1 uur	€100
Aanhechtings-proef druklaag	€150/proef	3 proeven	€450	3 proeven	€450	3 proeven	€450
Neem boorkernen	€116,67/kern	9 kernen	€1.050,03	9 kernen	€1.050,03	11 kernen	€1.283,37
Fenolftaleïneproef	€20/proef	9 proeven	€180	9 proeven	€180	11 proeven	€220
Chlorideproef	€50/proef	9 proeven	€450	9 proeven	€450	11 proeven	€550
Bijwerken inventaris	€100/uur	6 uren	€600	7 uren	€700	8 uren	€800
Uitvoeringsstudie	€100/uur	2 uren	€200	2 uren	€200	2 uren	€200
Boring om naad bloot te leggen	€40/boring	24 boringen	€960	36 boringen	€1.440	48 boringen	€1.920
Snijpatroon uittekenen	€40/uur	10 uren	€400	15 uren	€600	20 uren	€800

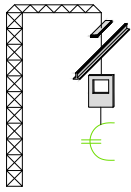


Volledige diepte uitsnijden	€31,825/m	442,4 m	€14.079,38	688 m	€21.895,6	910,5 m	€28.976,67
Ankerboringen boren	€20/boring	20 boringen	€400	28 boringen	€560	36 boringen	€720
Ankers installeren	€40/uur	1 uur	€40	1,5 uren	€60	2 uren	€80
Uitsnijden enkele centimeters	€10,125/m	1.616 m	€16.362	2.416 m	€24.462	3.216 m	€32.562
Gaten boren in de naad	€20/boring	606 boringen	€12.120	906 boringen	€18.120	1.206 boringen	€24.120
Splitsen met hydraulische wig	€40/uur	55 uren	€2.200	82,5 uren	€3.300	110 uren	€4.400
Elementen uit elkaar hefbomen	€40/uur	20 uren	€800	30 uren	€1.200	40 uren	€1.600
Voegen afbikken	€1,75/m	3.408 m	€5.964	5.088 m	€8.904	6.768 m	€11.844
Elementen uithijzen	€245/uur	100 uren	€24.500	150 uren	€36.750	200 uren	€49.000
Transport vol naar testsite	€7/km	100 km	€700	100 km	€700	100 km	€700
Transport leeg naar testsite	€7/km	100 km	€700	100 km	€700	100 km	€700
Cyclische proefbelasting	€4.000/proef	9 proeven	€36.000	9 proeven	€36.000	11 proeven	€44.000
Transport vol beproefde welfsels naar opslag	€7/km	100 km	€700	100 km	€700	100 km	€700
Transport leeg beproefde welfsels naar opslag	€7/km	100 km	€700	100 km	€700	100 km	€700
Transport vol naar opslag	€7/km	1.700 km	€11.900	2.600 km	€18.200	3.450 km	€24.150
Transport leeg naar opslag	€7/km	1.700 km	€11.900	2.600 km	€18.200	3.450 km	€24.150
Opslag 3 jaar	€5/m ² /maand	600 m ²	€86.400	900 m ²	€129.600	1.200 m ²	€172.800
Transport vol naar nieuw werf	€7/km	1.800 km	€12.600	2.650 km	€18.550	3.550 km	€24.850
Transport leeg naar nieuw werf	€7/km	1.800 km	€12.600	2.650 km	€18.550	3.550 km	€24.850
Totaal		€288.826,56		€407.034,78		€532.881,18	
Totaal per m²		€141,30		€133,37		€131,25	
Vergelijken met nieuwprijs per m²		€84,00		€83,94		€83,9	

Tabel 43: Kostentabel ongunstig traject voor zuivelfabrieken.



5.1.4. Conclusie financiële analyse



Een hergebruiktraject voor geprefabriceerde holle welfsels kan theoretisch economisch gunstiger zijn dan het conventioneel sloop- en bouwtraject.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van alle onderzochte trajecten in het beslissingsdiagram. Voor woningen van 200 m² en 300 m², en voor industrie- of kantoorgebouwen van 2.044 m², 3.052 m² en 4.060 m², leidt het gunstige traject tot een lagere prijs per vierkante meter dan het conventionele traject. Het verschil in kost tussen het hergebruiktraject van industrie- of kantoorgebouwen en de conventionele kost is kleiner dan het verschil bij woningen. De eerste toont een positief kostverschil dat zelfs oploopt tot bijna 41% in het meest gunstige traject. Omdat het realistische traject voor grotere projecten in totale kosten minder afwijkt van de conventionele aanpak dan bij woningbouw, is hergebruik hier financieel het meest aantrekkelijk. Het grootste hergebruikpotentieel ligt dan ook bij deze grotere projecten.

Alhoewel een realistisch als ongunstig traject voor woningen hogere kosten met zich meebrengen in vergelijking met het conventionele model, is er een competitieve uitkomst te vinden in het gunstige traject voor grotere woningen. Het grote kostenverschil tussen de verschillende woningtrajecten is te wijten aan het beperkte aantal te oogsten holle welfsels, waardoor elke stap zijn kost over minder eenheden moet verdelen. Als gevolg zullen economisch intensieve stappen al snel een grote invloed uitoefenen op de prijs per vierkante meter. Dit wil zeggen dat de positieve kostuitkomst voor het gunstige traject te danken is aan het minimaliseren van deze kapitaalintensieve spelers. Dit fenomeen kan bovendien de sleutel vormen om de realistische uitkomst dichter bij de conventionele referentie te brengen. Deze mogelijkheid wordt beschreven in 4.7.5. 'Optimalisatiemogelijkheden'.

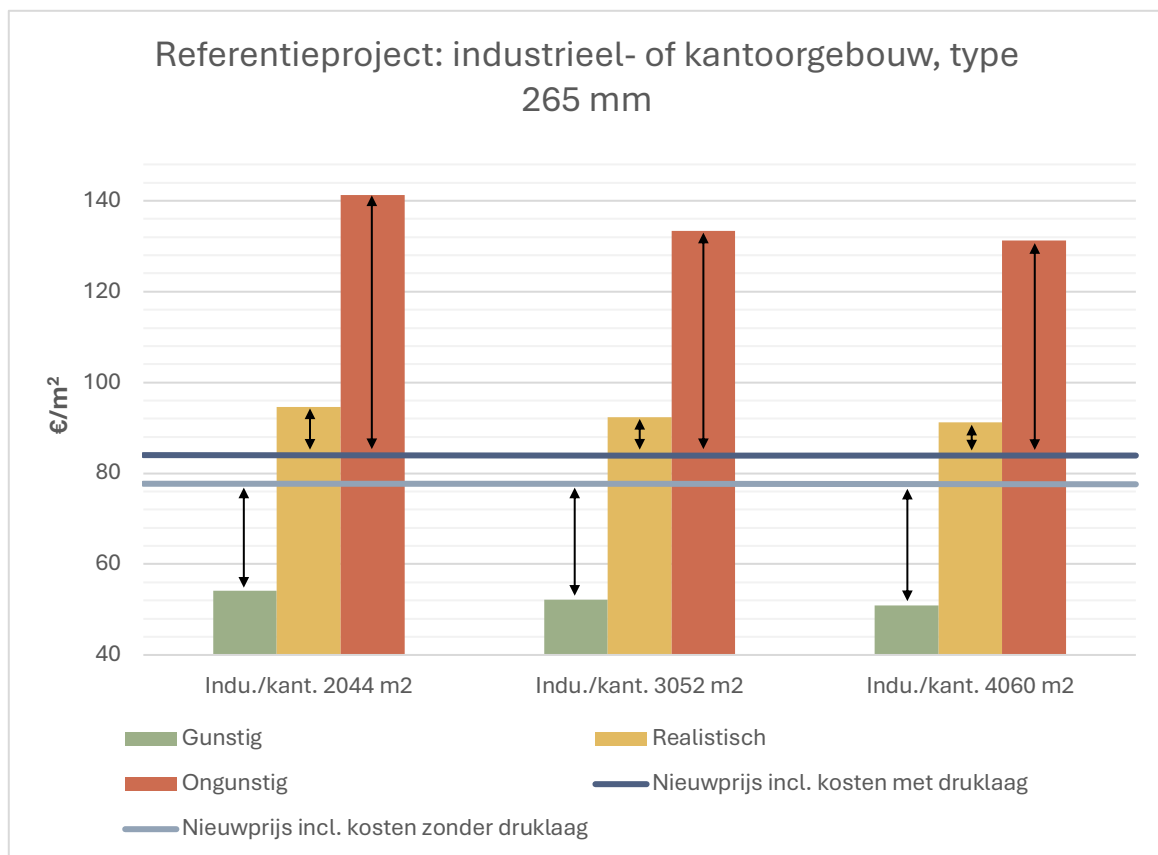
Referentieproject	Nieuwe welfsels incl. kosten zonder druklaag (€/m ²)	Nieuwe welfsels incl. kosten met druklaag(€/m ²)	Gunstig (€/m ²)	Realistisch (€/m ²)	Ongunstig (€/m ²)
W 120 m ²	60,04	68,76	64,87	147,27	280,44
W 200 m ²	61,21	67,59	58,20	120,71	216,76
W 300 m ²	58,88	66,42	56,57	106,37	183,57
I/K 2.044 m ²	77,70	84,00	54,20	94,54	141,30
I/K 3.052 m ²	77,62	83,94	52,13	92,37	133,37
I/K 4.060 m ²	77,58	83,91	50,93	91,19	131,25

Tabel 44: Overzichtstabel gunstig, realistisch en ongunstig traject vergeleken met de nieuwkost voor verschillende referentieprojecten.

Onderstaande grafieken geven een visueel overzicht van de financiële conclusie van deze masterproef. Hierbij vormen de balken de berekende trajectkosten en de grafieklijnen de conventionele referentiekosten. De resultaten worden gepresenteerd voor de twee onderzochte categorieën: woningen met het type 130 mm en industrie- en kantoorgebouwen met het type 265 mm.



Figuur 191: Conclusiegrafiek financiële analyse referentieproject woning, type 130 mm.



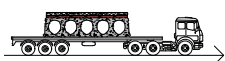
Figuur 192: Conclusiegrafiek financiële analyse referentieproject industrie- of kantoorgebouw, type 265 mm.



De meest kapitaalintensieve stappen hebben een grotere invloed naarmate het aantal te oogsten holle welfsels verminderd.

In het merendeel van de procesfasen waarin materiaaltesten worden geïntegreerd, worden deze proeven uitgevoerd op een proportioneel aandeel van de te oogsten elementen. In specifieke gevallen resulteert de procentuele berekening in een theoretische steekproefomvang die onder de kritieke ondergrens ligt. Bijgevolg wordt de beproeving in deze fasen noodgedwongen opgeschaald naar het reglementair vastgestelde minimum. Wanneer men bijvoorbeeld een minimum van drie proeven per populatie hanteert, liggen de kosten per vierkante meter voor een groep van 20 welfsels hoger dan voor een populatie van 40. Voor de woningen wordt in de meeste analysestappen het minimumaantal proeven gehanteerd. Dit verklaart grotendeels de extreem hoge kosten per vierkante meter voor de onderzochte woningen. Bij grootschalige projecten leidt de procentuele eis vaak tot een hoger aantal proeven dan het absolute minimum. Hierdoor zijn de specifieke proefkosten per vierkante meter constant voor alle projecten waarbij dit minimum wordt overschreden.

Zowel voor woningen als voor industrie- of kantoorgebouwen zijn de proefbelasting (al dan niet in situ), het transport van en naar de opslagruimte en de stockage de meest kapitaalintensieve stappen binnen de realistische en ongunstige trajecten. Wanneer men alle elementen over de volledige diepte zou uitzagen, zou de zaagactiviteit ook behoren tot deze opsomming. In deze logica kunnen de elementen niet met een standaard welfselklem worden uitgehesen, maar moeten ze allemaal worden voorzien van hijsankers. Als men deze praktijk zou volgen, verhoogt de kost per vierkante meter voor alle trajecten met enkele tientallen euro's. De in deze masterproef voorgestelde manier om elementen los te maken is kostenefficiënter. In grotere projecten, waarbij een kraan met een grotere capaciteit en vlucht vereist is, weegt de hijsoperatie ook door in het kostenplaatje. Dit type projecten kenmerkt zich veelal door de toepassing van holle welfsels met grotere overspanningen en robuustere dimensies. Ten gevolge van deze geometrie neemt de laadcapaciteit per transportvoertuig af. De daaruit voortvloeiende stijging van de transportfrequentie, en de totale kilometrage, resulteert in een directe verhoging van de logistieke eenheidskostprijs per vierkante meter.

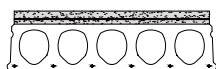


De totale trajectkosten dalen aanzienlijk bij direct transport naar de nieuwe werf, al speelt ook het specifiek elementtype een doorslaggevende rol in de uiteindelijke transportkost.

In de analyse worden alle afstanden geschat op 50 km. Dit houdt in dat men dezelfde afstand aflegt van het donorgebouw naar de nieuwe werf als van het donorgebouw naar de tussenopslag, of het bouwpoint voor gerecupereerde structurele bouwelementen. Bijgevolg is de transportafstand van de opslagruimte naar de nieuwe werf identiek. Wanneer de geoogste elementen vóór de transportstap al een nieuwe bestemming hebben, kunnen ze rechtstreeks naar de nieuwe werf worden gevoerd, wat de transportkost halveert. In dit geval wordt een in situ proefbelasting uitgevoerd, waardoor de elementen niet naar een testsite getransporteerd hoeven te worden en er transportkosten worden bespaard. Naast de bespaarde transportkosten vervalt ook de huur voor een opslaglocatie. Welk businessmodel de opslaguitbater ook hanteert, er zal altijd sprake zijn van opslagkosten. Als de uitbater zelf elementen ontmanteld en stockeert voor de verkoop, zal hij de opslagtermijn immers doorrekenen aan de koper. Het kostverschil tussen een gunstig en realistisch traject is niet te ontzien. Een groot deel van dit verschil is te danken aan het rechtstreeks transporteren van de elementen naar de nieuwe werf in het gunstige traject.

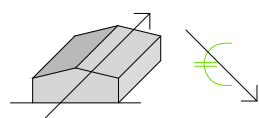


In woningen worden doorgaans lichtere types holle welfsels en kleinere overspanningen gehanteerd dan bij grootschalige projecten. Dit resulteert in meer elementen die getransporteerd kunnen worden per vrachtwagen. Zo kunnen er van het type 130 mm met een breedte van 0,6 m en een overspanning van 6 m theoretisch maar liefst 41 elementen per vrachtwagen worden vervoerd, terwijl dit voor het type 265 met een breedte van 1,2 m en een overspanning van 6 m beperkt is tot slechts 9 stuks. Uiteraard dienen de totale transportkosten verdeeld te worden over het totale aantal vierkante meter geoogste elementen, wat resulteert in een trajectkost van grootteorde €24/m² voor zowel kleine als grote projecten indien een tussenstop wordt gemaakt in het bouwput en men uitgaat van een volle vrachtwagen. Aangezien kleinere elementen een lagere nieuwprijs hebben (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026), wegen de transportkosten in het hergebruiktraject zwaarder door bij kleinere projecten.



Hoewel het behoud van de druklaag de generatie van betonpuin effectief voorkomt, resulteert deze methodiek inherent in additionele meerkosten.

Een druklaag heeft, zoals beschreven in deze masterproef, een positieve invloed op de schijfwerking en het draagvermogen van het vloergeheel. In beide referentieprojecten krijgt de druklaag een dikte van 70 mm, waardoor het gewicht van het kleinere type welfsel verhoudingsgewijs sterker stijgt dan dat van het grotere type. Dit impliceert dat de aanwezigheid van een druklaag de maximale transportcapaciteit voor elementen met kleinere dimensies reduceert met 50% ten opzichte van een transport zonder druklaag. Bij elementen met grotere dimensies bedraagt deze daling van het laadvolume daarentegen slechts een derde. Indien de elementen zonder druklaag worden getransporteerd, zoals het geval is binnen het gunstige scenario voor een woning van 120 m², volstaat één transportvoertuig. De totale omvang van 32 geoogste elementen blijft hierbij ruim onder de maximale voertuigcapaciteit van 41 elementen. Wanneer de druklaag aanwezig is, reduceert de laadcapaciteit tot 24 elementen per transportvoertuig. Bijgevolg is een additionele transportbeweging noodzakelijk, waarbij de tweede vrachtwagen een suboptimale beladingsgraad kent. Deze meerkost wordt verdeeld over de geoogste elementen en zal bijgevolg een grote impact hebben op de kost per vierkante meter. De resultaten indiceren dat de invloed van de druklaag op de laadcapaciteit afneemt naarmate de constructieve dimensies van het geoogste element groter worden.

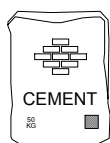


Het beslissingsdiagram resulteert voor grote projecten in zeer competitieve totale kosten in vergelijking met de kost van het conventioneel traject.

Slechts de grotere woningen in het gunstige traject tonen een lagere trajectkost dan het conventionele traject. In het realistische traject liggen de kosten nog te ver van de conventionele referentie waardoor het potentieel hierbij nog ver te zoeken is. Aanpassingen in het stappenplan kunnen leiden tot een competitiever verschil, alhoewel de meest kapitaalintensieve stappen veelal noodzakelijk zijn. Een manier om dit te verwezenlijken is het afschaffen van de proefbelasting in kleinere projecten en bijkomend een grotere spreiding op de berekende of verkregen eigenschappen te hanteren. Het gunstige traject kenmerkt zich door een directe logistieke koppeling, waarbij de elementen meteen naar de bestemming worden getransporteerd. Deze continuïteit in het proces elimineert de mogelijkheid tot het uitvoeren van een proefbelasting op de geoogste elementen. Als gevolg zakt de kost per vierkante meter aanzienlijk.



Het echte potentieel van deze analyse is te vinden in de grotere projecten. De gemaakte kosten worden verdeeld over een veel groter oppervlak te oogsten elementen, waardoor de kost per vierkante meter daalt. Zelfs bij een totale welfseloppervlakte van 2.044 m², gealloceerd aan twee functionele categorieën en verspreid over drie productiereeksen, wordt voor bepaalde processtappen noodgedwongen de reglementaire ondergrens qua beproeving gehanteerd. Dit is het directe gevolg van het feit dat het proportioneel berekende testvolume onder deze minimumdrempel uitvalt. Bijgevolg stemt de absolute proefomvang van grootschalige projecten soms overeen met die van kleinere projecten, wat vanwege schaalvoordelen leidt tot lagere proefkosten per vierkante meter. Bij aanwezigheid van technische documentatie worden enkele proeven slechts één keer per populatie uitgevoerd. Deze vaste kostenpost wordt binnen grotere projecten gemakkelijker geabsorbeerd door de grotere populatieomvang. Een mooi voorbeeld hiervan is de proefbelasting in het realistische traject voor industrie- of kantoorgebouwen. Hier wordt er één proefbelasting uitgevoerd per populatie welfsels, waardoor de kost voor zowel projecten met een oppervlak van 2.044 m², 3.052 m² als 4.060 m² neerkomt op €12.000. Dit resulteert in respectievelijk €5,87/m², €3,93/m² en €2,96/m². Bij grotere projecten is het met andere woorden economisch rendabel om kapitaalintensieve proeven uit te voeren om meer zekerheid over de eigenschappen te verkrijgen. Uiteraard worden in grote projecten meer elementen geoogst met dezelfde apparatuur. Dit wil zeggen dat de volledige operatie om alle nodige gereedschappen op de werf te brengen meer elementen zullen opbrengen bij grote projecten dan bij kleine projecten. Hiermee werd in deze analyse geen rekening gehouden, terwijl deze opvatting een positieve invloed zou hebben op grotere projecten. Om de voorgestelde hergebruikpraktijk te doen werken, ook voor woningen, is een eerder vermelde *mainstreampraktijk* in hergebruik nodig.



De stijgende cementprijs en koolstoftaks zullen momenteel onrendabele trajecten in de toekomst competitief maken.

De cementprijs zal naar verwachting de komende jaren met maar liefst 70% toenemen. Aangezien cement een cruciaal bestanddeel is van traditionele betonmengsels, zal de stijgende cementprijs onvermijdelijk doorwerken in de prijs van alle betonproducten (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 4 mei 2026). De stijgende prijzen dwingen tot innovatieve oplossingen, zoals het verlengen van de levensduur van gebouwen en het hergebruiken van betonelementen bij onvermijdelijke sloop. Omdat grootschalig hergebruik botst met het verdienmodel van de cementindustrie, zet de sector zelf in op de ontwikkeling van alternatieve oplossingen. Holcim, met financiële steun van het EU-emissiehandelssysteem, investeerde maar liefst 500 miljoen euro in hun G04ZERO-project om de decarbonisatie van Europa te bevorderen. Hierbij ontworpen ze een fabriek die tegen 2030 jaarlijks 8 miljoen ton koolstofvrij cement kan produceren (Michel, 2024). De innovatie is gericht op het opvangen van CO₂ en het inzetten van alternatieve brandstoffen om een bijna koolstofneutrale productie te garanderen (Besix, z.d.).

De financiële analyse biedt inzicht in de mate waarin specifieke parameters moeten stijgen om diverse trajecten competitief te maken. Concreet zal de nieuwkost van een welfsel van het type 130 mm moeten stijgen met 50% om een realistisch hergebruiktraject voor een woning vanaf 300 m² economisch interessant te maken. Bij ongunstige trajecten liggen de kosten voor elke behandelde oppervlakte zo ver boven de nieuwkost, dat een financieel rendabele projectie onrealistisch is. Een stijging van de nieuwprijs voor het type 265 mm met 15% zorgt ervoor dat het realistische hergebruiktraject financieel haalbaar wordt voor projecten vanaf 2.044 m². De stijgende kosten voor cement en het storten van betonpuin, samen met de verschuiving naar hergebruik als norm, maken het realistisch hergebruiktraject in de toekomst economisch haalbaar.

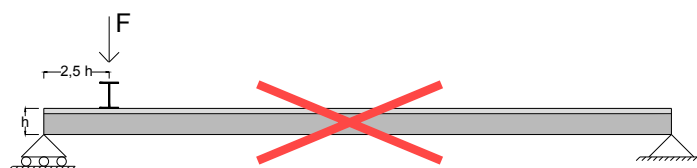


5.1.5. Optimalisatiemogelijkheden

Uit de conclusie van het financiële hergebruiktraject voor de beschreven projecten werden de kapitaalintensieve stappen geïdentificeerd. Deze spelers hebben een aanzienlijke invloed op de totale kost van het respectievelijke hergebruiktraject. Een alternatieve benadering zou kunnen leiden tot het competitief worden van de op dit moment niet rendabele trajecten ten opzichte van de conventionele nieuwkost. Ongeacht de projectomvang vormen de proefbelasting (al dan niet in situ), het uithijzen en transporteren van de elementen en de stockage de meest kapitaalintensieve stappen. Als gevolg vormen deze activiteiten de focus van dit onderdeel.

In hergebruiktrajecten voor woningen vormt de proefbelasting een aanzienlijke kostenpost. Het overslaan van deze stap zorgt niet alleen voor een belangrijke kostenreductie, maar zorgt er ook voor dat er geen extra kilometers afgelegd moeten worden naar de testsite. Omdat deze kosten bij kleinschalige projecten over aanzienlijk minder welfsels verdeeld worden, is de optimalisatie specifiek op dit segment gericht. In een woning van 120 m² zijn er 32 holle welfsels aanwezig om te oogsten. Men kan zichzelf de vraag stellen of een proefbelasting om de technische documentatie of het berekende draagvermogen te verifiëren rendabel is voor deze kleine populatie. Een mogelijkheid is om de proefbelasting in te wisselen voor een grotere spreiding op het gekende of berekende draagvermogen. Concreet zullen de elementen ingezet worden in de meest veilige belastingscategorie. Hoewel deze keuze bekritiseerd kan worden vanwege het niet hoogwaardig hergebruiken, wegen de voordelen op het gebied van veiligheid en kostenefficiëntie wel door. Bijgevolg dient er een afweging gemaakt te worden tussen de meerkost van een proefbelasting en het verlies aan onbenutte restcapaciteit.

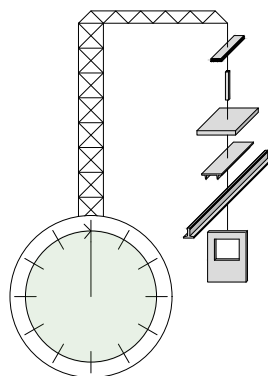
Anderzijds kan men argumenteren dat er geen technische grond is om het draagvermogen te reduceren louter op basis van de ouderdom van de welfsels (J. Vander Beken, persoonlijke communicatie, 25 maart 2026). In Deelonderzoek 1 werd er bewezen dat beproefde welfsels telkens een overcapaciteit toonden ten opzichte van hun technische documentatie. Als de technische documentatie beschikbaar is, de welfsels vrij zijn van constructieve schade en de carbonatatie- en chloridegehaltes binnen de norm vallen, kan men uitgaan van de oorspronkelijke gedocumenteerde capaciteit. Wanneer het draagvermogen berekend dient te worden op basis van verkregen waarden uit in situ proeven, kan het gunstig zijn de proefbelasting uit te voeren om de gerecupereerde welfsels met zekerheid hoogwaardig te remonteren. Naast het al dan niet uitvoeren van een proefbelasting, kan men ook de activiteit zelf optimaliseren. Hierbij wordt er specifiek naar proefbelastingen in situ gekeken, aangezien men hierbij momenteel gebruik maakt van een arbeidsintensieve opstelling. Door de conventionele ballastmethode te vervangen door een geautomatiseerde meetopstelling, kan één geïntegreerd systeem simultaan de belasting genereren en de resulterende verplaatsing nauwkeurig registreren (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 4 mei 2026). Een mogelijke proefbelastingsmethode is het positioneren van een hydraulische vijzel tussen de proefvloer en de bovenliggende vloerconstructie, analoog aan de beproevingsmethodiek bij breedplaatvloeren. Het nadeel van dit systeem is de generatie van een ongewenste opwaartse kracht op de bovenliggende structuur. Aangezien welfsels standaard enkel van onderwapening zijn voorzien, is de weerstand tegen een dergelijke belasting zeer beperkt, wat de inzetbaarheid van deze methode belemmert (Koekoek, 2019).



Figuur 193: *Elimineren van proefbelasting.*



Aangezien de uurtarieven variëren per type kraan, is de kostprijs van het project beïnvloed door de dimensies van de te hijsen elementen. Grootschalige projecten met zwaardere welfsels vereisen de inzet van een zwaardere kraanconfiguratie met een capaciteit van 200 tonmeter, waarvoor het uurtarief oploopt tot €245 (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 17 maart 2026). In het hergebruiktraject van industrie- of kantoorgebouwen met 4.060 m² te oogsten welfsels inclusief druklaag wordt de hijstijd ingeschat op 300 uren, wat overeenkomt met een totale hijskost van €73.500. Als de voorgestelde ontmantellogica wordt gevolgd, zal de kraan niet continu in bedrijf zijn. Omdat het afbikken van de voegen tijdrovender is dan de eigenlijke hijstijd met de welfselklem, ontstaan er intervallen waarin de kraan stand-by staat. Een mogelijke optimalisatie is om de elementen direct uit te hijsen na het splijten en de verdere afwerking pas op de vrachtwagen uit te voeren. Welfselklemmen zijn uitgerust met stalen veiligheidskettingen voor het geval dat de klem faalt. Men zou deze kettingen ook rechtstreeks kunnen inzetten om de uit elkaar gespleten elementen uit te hijsen. Op deze wijze wordt de benodigde tijd voor het uit elkaar hefbomen van de elementen geëlimineerd. Bovendien wordt het afbikken van de voegen uitgesteld tot op de vrachtwagen, waardoor de kraan capaciteit continu en zonder stilstand kan worden benut. In het originele traject wordt er per welfsel van het type 265 mm met druklaag ongeveer 20 minuten ontmantelingstijd (hydraulisch splijten en uit elkaar schuiven) voorzien zonder het afbikken van de voeg. Dit wil zeggen dat, inclusief het afbikken van de voeg, een kraan ongeveer 40 minuten de tijd heeft om het vorige ontmantelde element uit te hijsen op de vrachtwagen. Als de afbiktijd en de tijd om de welfsels voldoende uit elkaar te schuiven kan vermeden worden, zou een kraan elke 15 minuten een element kunnen hijsen. Dit resulteert in een kostenbesparing op de kraan van 62,5% en brengt in een realistisch traject de totale kost van €77,00/m² naar €65,32/m².

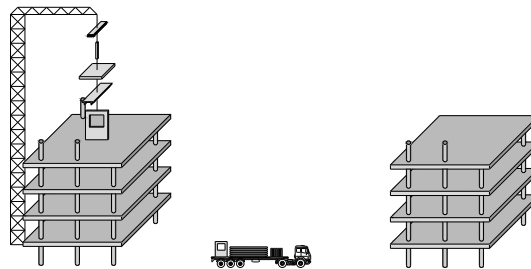


Figuur 194: *Continu opereren van de kraan.*

Een noemenswaardig verschil tussen een gunstig en realistisch hergebruiktraject is het verschil in transportafstand en vermeden stockage. In een gunstig traject worden de welfsels rechtstreeks getransporteerd naar de nieuwe werf. Dit halveert de totale transportkosten en reduceert de ecologische voetafdruk via een daling van het brandstofverbruik tijdens de logistieke fase. Bovendien elimineert deze werkwijze de noodzaak tot tussentijdse opslag. Naarmate het volume en gewicht van de welfsels toenemen, stijgt de relatieve impact van het transport op de totale kostprijs door de afnemende laadcapaciteit per voertuig. Het is dus aangewezen om zoveel mogelijk rechtstreeks naar de nieuwe werf te transporteren, zodat de extra kilometers naar de tussenopslagruimte vermeden worden. Een gestandaardiseerde hergebruikpraktijk maakt het mogelijk om recupereerbare materialen vroegtijdig te identificeren en al bij de start van het project een nieuwe bestemming te geven. Een eerste stap naar deze standaardpraktijk is het hergebruik van elementen binnen projecten van

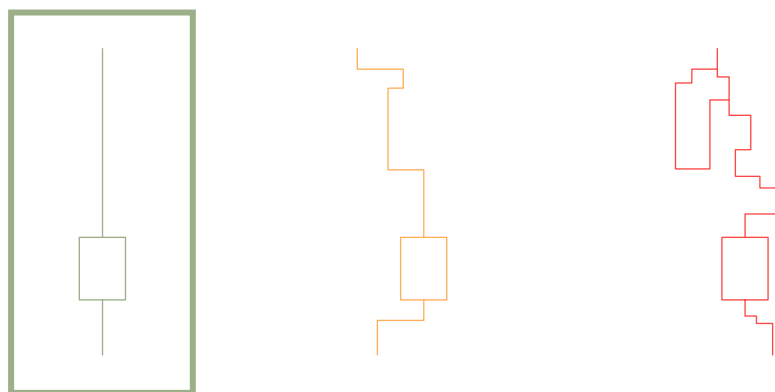


dezelfde aannemer. Doordat hij een totaaloverzicht heeft van alle benodigde materialen, kan hij geoogste elementen eenvoudig transporteren naar een ander eigen werf (T. Debaets, persoonlijke communicatie, 4 mei 2026). Een belangrijk aandachtspunt bij direct transport is dat de elementen in situ beproefd moeten worden. Deze methode is minder nauwkeurig dan een proefbelasting in een labo. Er zal een afweging gemaakt worden tussen een hogere kostprijs of het inboeten van nauwkeurigheid in de proefbelasting. Ook in deze situatie komt een gestandaardiseerde hergebruikpraktijk de nauwkeurigheid ten goede, aangezien een grotere hoeveelheid proefdata de statistische onzekerheid verkleint en een nauwkeurig beeld van de spreiding geeft.



Figuur 195: *Rechtstreeks transporteren van de elementen naar de nieuwe werf.*

Aangezien voor zowel woningen als industrie- of kantoorgebouwen het gunstige hergebruikstraject economisch aantrekkelijk is, zal men logischerwijs ervoor moeten zorgen dat zoveel mogelijk hergebruikprojecten het gunstig traject kunnen volgen. Bij actuele demontageprojecten vormt de vroegtijdige allocatie van een nieuwe bestemming een direct toepasbare strategie om substantiële kosten te reduceren. Deze simultane herbestemming halveert de totale transportafstand en elimineert de noodzaak tot tussentijdse opslagkosten. Dit zal gemakkelijker worden naarmate een circulaire bouwconomie gestandaardiseerd wordt. Ten behoeve van de efficiëntie van toekomstige hergebruikprojecten is een transitie naar demontabel bouwen noodzakelijk. Naast een aanzienlijke reductie van de demontagekosten, maakt deze methode het mogelijk om elementen te oogsten zonder resterende betonresten, waardoor de noodzaak tot intensieve nabewerking vervalt (Yrjölä, 2022). Het accuraat archiveren van de technische documentatie van holle welfsels, en bouwmaterialen in het algemeen, vormt laaghangend fruit om de noodzaak tot kostenintensieve proeven direct te elimineren. De conclusie van de financiële analyse toont aan dat het oogsten van holle welfsels binnen projecten met een hoge concentratie aan elementen de katalysator vormt om circulair hergebruik te transformeren van een nichepraktijk naar grootschalige marktintegratie.



Figuur 196: *Zorgen voor een gunstig traject.*



5.2. Conclusie Deelonderzoek 2

Het beslissingsdiagram, gebaseerd op de resultaten uit Deelonderzoek 1, biedt een logische opeenvolging van activiteiten. Het ondersteunt de uitvoeringsinstantie bij het nemen van cruciale beslissingen op basis van gewonnen informatie uit voorgaande stappen. De uitvoerige beschrijving van elke stap bewijst de technische haalbaarheid van een hergebruiktraject voor holle welfsels. Op basis van een gedetailleerde financiële analyse van elke processtap stelt deze masterproef een kostenefficiënter ontmantelingsproces voor dan de voor de hand liggende methode waarbij elementen over hun volledige diepte worden uitgesneden. De technische en praktische haalbaarheid van de diverse ontworpen processtappen is analytisch geverifieerd aan de hand van berekeningen, teneinde de uitvoerbaarheid van het totale proces te waarborgen.

Voor zowel een woontypologie als een industrie- of kantoorgebouwtypologie wordt het financiële traject geanalyseerd. Aangezien deze masterproef een theoretische benadering hanteert op basis van praktijkinzichten, kan de werkelijke trajectkost pas definitief worden vastgesteld bij een effectieve uitvoering van het beslissingsdiagram en de voorgestelde processtappen. De verschillende trajecten en hun respectievelijke kosten worden op uniforme wijze geanalyseerd, waardoor gefundeerde conclusies kunnen worden genomen over de onderlinge kostenverschillen. Hierbij werd het grote potentieel van het beslissingsdiagram gevonden in de grotere projecten. Hoewel bepaalde trajecten in de huidige analyse nog niet rendabel blijken, kunnen zij dit wel worden wanneer rekening wordt gehouden met de verwachte kostenstijging van cement en de impact van toekomstige verhoogde CO₂-heffingen.

Aangezien enkele beslissingen uit het gunstige hergebruiktraject ervoor zorgen dat het totale kostenplaatje economisch interessant wordt, geven deze aanleiding tot optimalisatiemogelijkheden. Een duidend voorbeeld is het niet kunnen uitvoeren van een kostelijke proefbelasting. Bijgevolg volstaat het om bij de ontmanteling van kleine hoeveelheden welfsels de nominale draagcapaciteit van de technische fiche te hanteren, mits de elementen vrij zijn van structurele schade en zowel het carbonaat- als chloridegehalte binnen de genormeerde grenswaarden vallen. De overige optimalisatiemogelijkheden leiden tot een kostenreductie en versterken de concurrentiepositie van hergebruiktrajecten die momenteel niet rendabel zijn.

Hoewel het beslissingsdiagram voortbouwt op bestaande activiteiten, zijn enkele specifieke stappen cruciaal voor de meerwaarde ervan. Het diagram houdt rekening met fenomenen die men in gebruikelijke gevallen nooit zal tegenkomen, zoals het voorkomen van alkali-silica-reactieschade bij holle welfsels die ingezet worden in een droge omgeving. De kracht ervan schuilt in de volledigheid, juist wanneer zich een ongebruikelijk patroon voordoet. Daarbij vormt het een alomvattend stappenplan dat begint bij de prilste beslissing om 'aan hergebruik te gaan doen' tot het uitwerken van bouwdetails in een nieuw project. Een belangrijk deel van het diagram is de testprocedure in het labo dat concludeert in welke milieuklasse de geoogste elementen gebruikt zullen mogen worden. Tot slot speelt de kosteneffectievere ontmantelingsmethode een cruciale rol in het versterken van de financiële competitiviteit. De doorontwikkeling van circulaire businessmodellen en de professionalisering van logistiek, transport en opslag zullen de toekomstige hergebruikpraktijk ongetwijfeld versterken.

6. Verder onderzoek



Over de sterktes, limitaties en
toekomstperspectieven

Deze masterproef reikt verschillende theoretisch onderbouwde methodologieën aan ter optimalisatie van de ontmantelingsprocedure van holle welfsels. Hoewel enkele berekeningsprocedures worden toegelicht, zal de effectieve geschiktheid ervan pas tijdens de empirische uitvoering worden aangetoond. Zowel de theoretisch uitgewerkte hergebruikstappen als de procedures die buiten de scope van deze masterproef vielen, bieden restricties en opportuniteiten voor nader onderzoek. Uiterst interessante hoofdstukken zoals de uitgewerkte ontmantelmethode, de demontabele bouwdetails en de bijhorende financiële evaluatie, verdienen een fysieke beproeving om hun geschiktheid aan te tonen. Een effectieve, tastbare uitvoering van de voorgestelde methodologieën is binnen het tijdsbestek en middelen van een masterproef praktisch onhaalbaar; dit vormt bijgevolg de voornaamste beperking van dit onderzoek. Ik hoop daarbij dat mijn uitgewerkte filosofie als startpunt kan dienen voor verder onderzoek.

Concreet is er verder onderzoek nodig naar de ontmantelingsprocedure om holle welfsels met hydraulische wiggen van elkaar te splitsen. De wiggen worden al ingezet in intensieve slooprojecten, waarbij ze hun effectiviteit al hebben bewezen. Ik ben ervan overtuigd dat de ontmantelingssequentie technisch haalbaar is. Bijgevolg vereist het correct uitvoeren van de technieken en het efficiënt indelen van de stappen praktijkgericht onderzoek dat uitsluitend via fysieke testen kan worden gevalideerd. Wanneer een vlottere methode wordt achterhaalt op basis van de uitgewerkte stappen, zal dit de bijhorende kost alleen maar positief beïnvloeden.

Verder vormen de voorgestelde bouwdetails om de elementen demontabel in te zetten een interessante aanleiding tot uitvoeringsdetails. Deze methode is niet uitsluitend gericht op de demontabele inzet van geoogste welfsels, maar nodigt ook uit tot een kritische reflectie op conventionele bouwmethoden. Het valideren van de voorgestelde bouwknopen aan de hand van nieuwe elementen kan een noodzakelijke start zijn om vervolgens ook geoogste elementen op deze manier in te zetten. Aangezien demontabel bouwen essentieel is om in de toekomst efficiënt elementen te kunnen oogsten voor hergebruik, bieden de ontwikkelde bouwknopen niet uitsluitend een verantwoorde methode om geoogste welfsels toe te passen, maar dragen ze ook bij aan een toekomstbestendige detaillering.

Tot slot dient men businessmodellen uit te werken gericht op een circulaire bouweconomie. Aangezien economische levensvatbaarheid een randvoorwaarde is, zal de transitie uitsluitend slagen wanneer er daadwerkelijk winst wordt gegenereerd. Dit impliceert niet louter een traditionele winstmarge op in- en verkoop, maar vereist het optimaliseren van processen om hergebruik op een kostenefficiënte wijze te realiseren. Een gestandaardiseerde procedure en een transparant overheidsbeleid dragen bij aan het vroegtijdig identificeren van oogstbare elementen. Hierdoor kunnen deze elementen sneller een nieuwe bestemming krijgen en wordt de noodzaak tot (tijdelijke) opslag geëlimineerd. Toekomstig onderzoek verschuift bijgevolg van de pure technische uitvoerbaarheid van het hergebruiken van holle welfsels en betonelementen op zich, naar de vraag hoe dit proces binnen een hedendaagse context efficiënt en kosteneffectief kan worden ingericht.

7. Maatschappelijke relevantie



Over het circulaire thema en de
huidige crisis



7.1. Een ruimere blik

Binnen het kader *circulaire economie* is de maatschappelijke relevantie van deze masterproef evident. Hoewel het concept in academische kringen breed wordt gedragen en gedocumenteerd met praktijkvoorbeelden, schetsen de huidige afval- en sloopcijfers – zowel op lokaal als op mondiaal niveau – een grimmige realiteit die vraagt om een versnelde transitie. Desondanks de interesse in *circulariteit* in de praktijk groot is, blijft de uitvoering momenteel beperkt tot gefragmenteerde voorbeelden. Een breed gedragen, mainstream visie is noodzakelijk om de transitie van intentie naar mondiale impact te forceren. Er is geen uniforme oplossing tegen de klimaatproblematiek waarmee de wereld kampt. Onderzoek naar CO₂-reductie, energieneutraliteit, *urban mining* en het gebruik van schone bouwmaterialen is essentieel om de transitie naar een volwaardige circulaire economie te versnellen. Dergelijke studies vormen de noodzakelijke fundamenten voor een duurzame toekomst. Gezien beton – na water – de meest geconsumeerde substantie ter wereld is, is de transitie naar een circulaire betonketen geen keuze, maar een absolute noodzaak voor een duurzame toekomst. Hoewel slooppreventie de absolute prioriteit geniet, dwingt de praktijk bij onhaalbaar behoud tot een focus op de deconstructie en het hergebruik van individuele betonelementen.

De transitie naar een circulaire bouweconomie vraagt om meer dan enkel academische toelichtingen en pleidooien; er is een fundamentele noodzaak aan praktische instrumenten die de kloof tussen visionaire theorie en de dagelijkse uitvoeringspraktijk overbruggen. Instanties zoals Rijkswaterstaat en Rotor vormen in dit proces de onmisbare schakel tussen theorie en realiteit. Door hun praktische expertise en concrete projecten in deze masterproef te belichten, wordt aangetoond hoe abstracte circulaire principes vertaald kunnen worden naar de dagelijkse bouwpraktijk. Deze voorbeelden dienen als inspiratie in dit werk, en leiden tot een praktisch stappenplan dat het hergebruiktraject van geprefabriceerde holle welfsels in detail toelicht. Niet alleen de technische, maar ook de financiële haalbaarheid wordt bewezen aan de hand van empirische bevindingen. Op deze manier tonen holle welfsels, een onmisbaar standaardelement binnen de Belgische prefabsector, hun aanzienlijk potentieel voor hoogwaardig hergebruik. De kracht van deze masterproef schuilt in het integrale traject: van het conceptuele hergebruikidee tot de technische uitwerking in concrete bouwdetails. Door de volledige cyclus te doorlopen, wordt het hergebruikpotentieel van betonelementen niet enkel theoretisch gesuggereerd, maar aan de hand van een specifiek element daadwerkelijk bewezen.

De grootste barrière voor circulariteit is de hardnekkige fixatie op conventionele bouwmethoden. Een mentaliteitsverschuiving is noodzakelijk, al lijkt de geschiedenis te leren dat dergelijke transitie vaak pas door een crisis worden bespoedigd. Een treffend precedent is Nederland: hun wereldwijde expertise in waterbouwkundige werken is niet toevallig ontstaan, maar is het directe resultaat van een existentiële noodzaak in de strijd tegen het water (R. Plaggenburg, persoonlijke communicatie, 24 november 2025). De vraag is niet wanneer de crisis komt, maar of we niet midden in een systeembreuk zitten? Niet enkel de problematiek binnen de constructiesector dwingt tot verandering; de integrale optelsom van mondiale crisissen en stijgende prijzen ligt aan de basis van de noodzaak om het volledige systeem te herzien. De combinatie van explosieve brandstof- en cementprijzen, klimatologische extremen zoals hitte en overstromingen, en de uitputting van natuurlijke bronnen fungeert als de dwingende katalysator voor deze transitie.

8. Bibliografie





8.1. Primaire bronnen

- 51N4E & L'AUC. (2024). *How to not demolish a building* [Projectbeschrijving]. Ruby Press.
- Asam, C. (2007). *Recycling prefabricated concrete components – a contribution to sustainable construction* [Onderzoek].
- Belgisch Instituut voor Normalisatie. (1955). *Onderrichtingen betreffende de Bouwwerken in Gewapend Beton* (norm 5). Belgisch Instituut voor Normalisatie.
- Broer, R., Simjanovic, J., & Toth, Z. (2022). *Implementing the Paris agreement and reducing greenhouse gas emissions throughout the life cycle of buildings: European public policies, tools and market initiatives*. Buildings Performance Institute Europe.
- Cambier, C., Cornillie, S., Neefs, E., Engelborghs, T., Voorter, J., & Verschave, A. (2025). *Samen circulair slopen* [Praktische gids]. VLAIO.
- Camerlynck, H. (2024). *Factsheet Cement: Hoogovenslak*. H. Camerlynck.
- Cave, M., Davis, R., Evans, P., Hoehn, T., & Nicholson, M. (2014). *Aggregates, cement and ready-mix concrete market investigation*. Competition Commission.
- Daatselaar, M. (2020). *Protocol hergebruik kanaalplatenvloerdelen* [Protocol]. SKG-IKOB.
- Daerden & Co. (2017). *Plaatsing- en verwerkingsvoorschriften voor welfsels* [Voorschrift].
- Dervishaj, A., Räsänen, A., Gudmundsson, K., & Lahdensivu, J. (2026). From durability to circularity: Ensuring service life and enabling reuse of concrete in circular construction. *Materials and Structures*, 59(1).
<https://doi.org/10.1617/s11527-025-02914-4>
- Desmyter, J., Potoms, G., Demars, P., & Jacobs, J. (2000). *De alkalisilicareactie, basisbegrippen en belang voor België*. 11th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction.
- Devènes, J., Bastien-Masse, M., & Fivet, C. (2024). Reusability assessment of reinforced concrete components prior to deconstruction from obsolete buildings. *Journal of Building Engineering*, 84, 108584.
<https://doi.org/10.1016/j.job.2024.108584>



- Devènes, J., Bastien-Masse, M., Küpfer, C., & Fivet, C. (2022). *Zürich Stadtsptal Triemli Personalhäuser – Resource assessment of structural elements*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6020922>
- Deweerd, M., & Mertens, M. (2020). *A guide for identifying the reuse potential of construction products* [Technisch rapport]. FCRBE. https://vb.nweurope.eu/media/10132/en%E2%80%91fcrbe_wpt2_d12_a_guide_for_identifying_the_reuse_potential_of_construction_products.pdf
- Dycore. (2024). *Instructie t.b.v. Het gebruik van de hijsmiddelen* (p. 7) [Instructie].
- Espion, B., & Provost, M. (z.d.). *Experimentele destructie van de eerste Belgische voetgangersbrug in voorgespannen beton*. Federatie van de Belgische Cementnijverheid.
- European Commission. (2019). *Circular Economy: Principles for Buildings Design* [Beleidsrapport]. European Commission.
- Febelcem. (2023). *Jaarverslag van de Belgische cementnijverheid* [Jaarverslag].
- Federatie van de Belgische Cementnijverheid. (2005). *VOORSCHRIJVEN VAN BETON VOLGENS DE NORMEN NBN EN 206-1:2001 & NBN B 15-001:2004* [Dossier]. Federatie van de Belgische Cementnijverheid.
- Gemeente Haaksbergen. (2024). *Programmabegroting 2025 en Meerjarenperspectief* [Kadernota].
- Gielen, M. (2022). The other Rotor: Laws of physics, economics and material reuse. In J. Westcott (Red.), *The Ultimate Guide to Guides* (Vol. 61). Stichting Archis.
- Global Cement and Concrete Association. (2025). *Cement & Concrete Industry Net Zero Action & Progress Report 2025/26* [Progressierapport]. https://gccassociation.org/wp-content/uploads/2025/11/GCCA_ProgressReport_2025_AW_FINAL.pdf
- Global Cement and Concrete Association (GCCA). (2024). *Cement Industry Net Zero Progress Report 2024/25* [Progressierapport]. <https://gccassociation.org/cement-industry-net-zero-progress-report-2024-25/>
- Hernández Vargas, J., & Stenberg, E. (2024). *Building, component, and connector typologies of precast concrete building systems*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.13828447>



- Holcim (België) N.V. (2013). *BENOR Beton* [Specificatie]. Holcim (België) N.V.
- Koekoek, M. (2019). Proefbelastingen breedplaatvloeren 2. *Cement*, (1).
- Kunstlinie. (z.d.). *Architectuurprijs Almere 2024 Inzendingen* [Overzicht].
- Küpfer, C., Bastien-Masse, M., Bertola, N., & Fivet, C. (2025). Design, construction and assessment of FLO:RE – the prototype of a low-carbon building floor made of reused concrete elements and steel profiles. *Architecture, Structures and Construction*, 5(1). <https://doi.org/10.1007/s44150-025-00138-2>
- Küpfer, C., & Fivet, C. (2021). *Déconstruction sélective - Construction Réversible: Recueil pour diminuer les déchets et favoriser le réemploi dans la construction*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4314325>
- Lu, J., & Kim, S. L. C. (2026). Assessment of surface treatment systems for protecting concrete structure. *Biogeotechnics*, 4(2). <https://doi.org/10.1016/j.bgtech.2024.100134>
- Mbumbia, L., & Mammerickx, M. (2025). *Geprefabriceerd beton voor structuren* (Cijferrapport 2024) [Cijferrapport]. Procertus.
- Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening & Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2026). *Aanpak Circulair Slopen en Hergebruik* [Plan van aanpak].
- Nederland circulair in 2050, Tweede Kamer der Staten-Generaal, 2015-2016 Kamerstuk (2016).
- Oberholster, R. E., & Davies, G. (1986). An accelerated method for testing the potential alkali reactivity of siliceous aggregates. In *Cement and Concrete Research*. National Building Research Institute Council for Scientific and Industrial Research Pretoria. (Original work published 1985)
- Pakarinen, S., & Huuhka, S. (2021). *Project Handbook for the ReCreate Project* [Intern project-handboek]. Tampere University.
- Poncelet, F., & Vrijders, J. (2021). *Product-toepassingsfiche: Bakstenen voor hergebruik in gevels* [Product-toepassingsfiche].
- Räsänen, A., Lahdensivu, J., Vullings, M., Dervishaj, A., & Huuhka, S. (2024). *Procedure for quality management of reclaimed concrete elements* (ReCreate Deliverable D4.1). Tampere University.



- Rens, L. (2021). *Betonwegen worden gemaakt met lokale grondstoffen, hebben een lange levensduur en zijn 100 % recycleerbaar* [Factsheet]. Febelcem.
- Rijkswaterstaat, Liggers2.0, & SBIR Circulaire Viaducten. (2021). *Eindrapport fase 1—Haalbaarheidsonderzoek Hergebruik Prefabliggers (HPL)* [Technisch rapport]. Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- Rijkswaterstaat, Witteveen-Bos, & Copper8. (2023). *Advies strategie hergebruik Rijkswaterstaat* [Strategie].
- Ruggiero, A. (2022). *Concrete solutions for decarbonising the EU's cement sector* [Oplossingsstrategie]. Carbon Market Watch.
- Sika. (2015). *Refurbishment Sika technology and concepts for hydrophobic impregnations* [Overzicht].
- Team Zwaar Vervoer Expertise Verkeer en Telematica. (2019). *Nota: Deelbare lading* [Nota bij norm].
- Thomas, M. D. A., Fournier, B., Folliard, K. J., & Resendez, Y. A. (2011). *Alkali-silica reactivity field identification handbook* (Handboek FHWA-HIF-12-022). The Transtec Group.
- United Nations. (2015). *Paris Agreement*.
- Urquhart, L. C., & O'Rourke, C. E. (1940). *Design of concrete structures* (4de dr.). McGraw-Hill Book Company.
- Van de Voorde, S., Bertels, I., & Wouters, I. (2015). *Post-war building materials in housing in Brussels 1945-1975 / Naoorlogse bouwmaterialen in woningen in Brussel 1945-1975 / Matériaux de construction d'après-guerre dans l'habitation à Bruxelles 1945-1975*. Vrije Universiteit Brussel.
- van Oss, H. G. (2005). *Background Facts and Issues Concerning Cement and Cement Data*. USGS.
- Vaststelling van de begrotingsstaten van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (XII) voor het jaar 2026, 36 800 XII, Tweede Kamer der Staten-Generaal, 2026 Kamerstuk 1 (2025).
- VBI Consolis. (2025a). Principedetails, Remontabel Bouwen, een praktische weg naar CO₂-reductie. In *PDRB01-001*.
- VBI Consolis. (2025b). Principedetails Remontabel Bouwen, Kanaalplaten in combinatie met staalconstructie. In *PDRB01-003*.



Vereecken, E., Velasquez, M. S., Van Itterbeeck, P., & Vrijders, J. (2025). *Structureel hergebruik van beton:*

*Ontwikkeling van een geïntegreerd kader voor de beoordeling van de herbruikbaarheid van betonnen
structuurelementen.*

Vrijders, J., & De Bock, L. (2019). *Het gebruik van gerecycleerde betongranulaten in beton* (innovatieve paper No. 32). Buildwise.

Walraven, J. C., Rots, J. G., & Wijte, S. (2018). *Beoordeling constructieve veiligheid NeHoBo vloeren in constructies
onderworpen aan een aardbevingsbelasting* [Position paper]. NEN.

Willeghems, G., & Bachus, K. (z.d.). *Sectorstudie circulaire economie* [Sectorstudie]. HIVA.



8.2. Secundaire bronnen

Ali, M., Shams, M. A., Bheel, N., Almaliki, A. H., Mahmoud, A. S., Dodo, Y. A., & Benjeddou, O. (2024). A review on chloride induced corrosion in reinforced concrete structures: Lab and *in situ* investigation. *RSC Advances*, 14(50). <https://doi.org/10.1039/D4RA05506C>

Advances, 14(50). <https://doi.org/10.1039/D4RA05506C>

Betoniek Standaard 17/19: Beton, een rekbaar begrip. (2024). *Betoniek*, (17).

Biasioli, F. (1999). Ready mix concrete: An old-new material for the 21st century. In *Creating With Concrete*.

Emerald Publishing Limited.

Bonneuil, C., & Fressoz, J.-B. (2017). *The shock of the anthropocene: The earth, history and us* (D. Fernbach, Vert.).

Verso.

Borret, K., Durt, L., & Kockerols, J. (2024). *The Architecture of Reuse in Brussels: From linear to circular*.

Bouwmeester Maître Architecte.

Brosens, K., Heirman, G., & Van Gemert, D. (2013). *Overzicht en revalorisatie van holle vloersystemen uit het interbellum*.

Charef, R., Morel, J.-C., & Rakhshan, K. (2021). Barriers to Implementing the Circular Economy in the Construction Industry: A Critical Review. *Sustainability*, 13(23). <https://doi.org/10.3390/su132312989>

Concrete needs to lose its colossal carbon footprint. (2021). *Nature*, 597(7878). <https://doi.org/10.1038/d41586-021-02612-5>

De Schutter, G. (2021). *Van tunnelvisie naar visie op tunnels: Hoe betonbouw kwaliteit, ecologie en economie kan combineren*. Constructive Academic Consulting bv.

Deseyn, G. (1970). Beton. *Tijdschrift voor Industriële Cultuur*, 1(44). <https://doi.org/10.21825/tic.v1i44.8050>

Devènes, J., Bastien-Masse, M., & Fivet, C. (2024). Reusability assessment of reinforced concrete components prior to deconstruction from obsolete buildings. *Journal of Building Engineering*, 84.

<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108584>



- Devlieger, L. (2025). *De ecologie van kalk, gips, cement, zoals toegepast in bouwsector (pre-modern tot moderne periode)* [Universiteitsles]. Bouwecologie, Gent, België.
- Dieryck, V., & De Schrijver, B. (2023). Nieuw CO₂-label voor duurzamer beton met een lagere koolstofvoetafdruk. *Ruwbouw en algemene aanneming*, 2.
- Fayyad, T., & Abdalqader, A. (2020). *Demountable reinforced concrete structures: A review and future directions*. Civil Engineering Research in Ireland 2020.
- Febe. (2024). *Les 2—Prefab Bouwsystemen* [Educatief technisch overzicht].
- Forty, A. (2012). *Concrete and culture: A material history*. Reaktion Books.
- From Farm to Factory, the Beginning of the Industrial Revolution in New England*. (2015). Tsongas Industrial History Center.
- Ghyoot, M., Devlieger, L., Billiet, L., & Warnier, A. (2018). *Deconstruction and reuse* [Praktisch rapport]. Université catholique de Louvain.
- Grangeot, M., Auffret-Postel, T., Parascho, S., & Fivet, C. (2025). New tectonics of concrete through rubble reuse. In M. Rinke & M. F. Hvejsel, *Structures and Architecture* (1ste dr., pp. 1185-1192). CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781003658641-141>
- Grattan-Bellew, P. E. (1996). *A critical review of accelerated ASR tests*. Institute For Research In Construction.
- Grübler, A. (1995). *Industrialization as a historical phenomenon* (Industrial Ecology and Global Change). International Institute for Applied Systems Analysis.
- Hibbeler, R. C., & Beng Yap, K. (2015). *Statika* (13de dr.). Pearson Benelux.
- Houbart, C. & Université de liège. (2019). De(con)struction / (re)construction: Urban scenography in Belgium in the 1960's. *Gremium*, 6(11). <https://doi.org/10.56039/rqn11a06>
- Hradil, P., Talja, A., Wahlström, M., Huuhka, S., Lahdensivu, J., & Pikkuvirta, J. (2014). *Re-use of structural elements: Environmentally efficient recovery of building components* (Technisch Onderzoeksrapport No. 200; VTT Technology). VTT Technical Research Centre of Finland.



- Huber, E. A. F. (1966). Het gewapend beton in het begin van de 20e eeuw (Deel 10). *Cement*, (18).
- Kitaev, A. (2024). *Continuum*. Technische Universität Wien.
- Küpfer, C. M. (2024). *Reuse of concrete elements in architecture: Characterisations and design methods for sustainable structures* [PhD-proefschrift]. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Magalhães, N. (2024). *Accumuler du béton, traces des routes*. La Fabrique.
- Matthys, S. (2020). *Damage diagnostics and repair of concrete structures*.
- Miller, S. A., Horvath, A., & Monteiro, P. J. M. (2018). Impacts of booming concrete production on water resources worldwide. *Nature Sustainability*, 1(1). <https://doi.org/10.1038/s41893-017-0009-5>
- Müller, C. (2012). Use of cement in concrete according to European standard EN 206-1. *HBRC Journal*, 8(1). <https://doi.org/10.1016/j.hbrj.2012.08.001>
- Naber, N., & van Keulen, D. (2013). Milieuwinst bij hergebruik kanaalplaten. *Cement*, (5).
- Parkhats, V. (2018). *Problem of Cracks in Prestressed Hollow Core Slabs*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17641.54882>
- Rakhshanbabanari, K. (2021). *A predictive model for assessing the reuse potential of structural elements at the end-of-life of a building* [PhD-proefschrift]. Coventry University.
- Roach, B., Goodwin, N., & Nelson, J. (2019). *Consumption and the Consumer Society*. Global Development And Environment Institute.
- Shetty, M. S. (2009). *Concrete technology: Theory and practice* (Multicolour rev. ed). S. Chand & Co.
- Snoek, R., & Knuiman, M. (2021). Hergebruik kanaalplaten: Meer dan een technische uitdaging. *Cement*, (3).
- Stanley, C., Bond, G., & The Cement Makers. (1999). *Concrete through the ages: From 7000 BC to AD 2000*. British Cement Association.
- Taerwe, L., Druart, S., Xhonneux, C., Horemans, J., Ployaert, C., Tielemans, D., Vanden Eynde, R., Dingenouts, M., Ladang, C., Vrijdaghs, R., De Schutter, G., Vandewalle, L., Hardy, P., Apers, J., Minne, P., Cools, K., Pollet, V., Piron, J., Van Haut, K., ... Dehousse, E. (2018). *Betontechnologie* (6de dr.). Luc Taerwe.



Taubert, C. (2022). *Die Lausitz schenkt alten Platten neues Leben*.

The Concrete Centre. (2024). Concrete buildings transformed for the 21st century. *Concrete Quarterly, Reuse*(CQ Focus: Reuse).

<https://www.concretecentre.com/TCC/media/TCCMediaLibrary/Concrete%20Quarterly%20Archive/2024/CQ285-Spring-2024-DIGITAL.pdf>

Thomsen, A., & van der Flier, K. (2011). Understanding obsolescence: A conceptual model for buildings. *Building Research & Information*, 39(4).

TT. (2017). Waarom is 2.000 jaar oud Romeins beton nog altijd zo stevig? Wetenschappers denken het antwoord gevonden te hebben. *Het Laatste Nieuws*. <https://www.hln.be/buitenland/waarom-is-2-000-jaar-oud-romeins-beton-nog-altijd-zo-stevig-wetenschappers-denken-het-antwoord-gevonden-te-hebben~a0337703/>

Van de Voorde, S. (2011). *Bouwen in beton in België* [PhD-proefschrift]. Universiteit Gent.

Van Garsse, S., Voorter, J., & Verschave, A. (2024). *Juridische kaders voor hergebruik van sloopmaterialen* [Memo].

Van Nieuwenborgh, J. (2024). Bijna 350.000 gebouwen in Vlaanderen zijn ouder dan een eeuw: Zoveel daarvan staan in Edegem. *Het Laatste Nieuws*.

Vansteenkiste, J. (2005). *De historische vakwerkbouw in West-Vlaanderen*. Lowyck.

Watari, T., Cao, Z., Serrenho, A. C., & Cullen, J. (2023). Growing role of concrete in sand and climate crises. *iScience*, 26(5). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106782>

Watts, J. (2019). Concrete: The most destructive material on Earth. *The Guardian*.
<https://www.theguardian.com/cities/2019/feb/25/concrete-the-most-destructive-material-on-earth>

Wentink, H. (1995). *Kalk & Cement* (No. 16; PIE). Stichting Projectbureau Industrieel Erfgoed.



- Westerlind, H., & Stenberg, E. (2025). Early Cases of Precast Concrete Reuse in Swedish Construction (1984-2002): Repurposing the Million Homes Programme. *Circular Building Sector Conference (CBSC 2025)*. Circular Building Sector Conference. <https://doi.org/10.52202/080684-0001>
- Wijnants, J., & Parmentier, B. (2016). Toevallige inklemming bij de toepassing van welfsels. *TC Ruwbouw en algemene aanneming*.
- Xing, W., Tam, V. W., Le, K. N., Hao, J. L., & Wang, J. (2022). Life cycle assessment of recycled aggregate concrete on its environmental impacts: A critical review. *Construction and Building Materials*, 317. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125950>
- Xiong, S., Frossard, M., Lasvaux, S., Zea Escamilla, E., & Habert, G. (2024). Environmental savings from concrete reuse: Examining the limitations and optimal practices for cutting thresholds of concrete building components for reuse. *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability*, 4(3). <https://doi.org/10.1088/2634-4505/ad7a22>
- Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Institut Konstruktives Entwerfen, Stricker, E., Brandi, G., Sonderegger, A., Angst, M., Buser, B., & Massmünster, M. (2022). *Reuse in Construction: A Compendium of Circular Architecture*. Park Books.



8.3. Persoonlijke communicatie

Babini, A. (Medeoprichter architectenbureau Babini Geysen). *Uitleg over twee architectuurprojecten.*

Kantoorbezoek op 16 februari 2026.

Caspeele, R. (Hoofddocent aan de faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur aan de Universiteit Gent).

Haalbaarheid hergebruiken holle welfsels. Kantoorbezoek op 17 maart 2026.

De Callatay, M.-A. (Medeoprichter Coliseum). *Vraag naar betonelementhergebruik.* Videoconferentie op 17

november 2025.

De Maegd, B. (Medewerker Cobe ingenieurs). *Oude technische fiches.* Kantoorbezoek op 3 april 2026.

De Meuter, S. (Zaakvoerder G & A De Meuter). *Vraag naar betonelementhergebruik.* E-mail op 15 oktober 2025.

Debaets, T. (Directeur Uitvoering Groep Versluys). *Ontmantelingsstrategie.* Kantoorbezoek op 9 maart 2026.

Debaets, T. (Directeur Uitvoering Groep Versluys). *Oogsten van holle welfsels.* E-mail op 17 maart 2026.

Debaets, T. (Directeur Uitvoering Groep Versluys). *Verwijderen druklaag.* E-mail op 25 maart 2026.

Debaets, T. (Directeur Uitvoering Groep Versluys). *Bouwdetails demonteerbaar bouwen.* Kantoorbezoek op 4

mei 2026.

Geysen, R. (Medeoprichter architectenbureau Babini Geysen). *Interview over twee architectuurprojecten.*

Kantoorbezoek op 10 november 2025.

Geysen, R. (Medeoprichter architectenbureau Babini Geysen). *Flowchart oogsten holle welfsels.* E-mail op 2

maart 2026.

Geysen, R. (Medeoprichter architectenbureau Babini Geysen). *Werkdag op betonelementhergebruik.*

Meeloopdag op 2 maart 2026.

Geysen, R. (Medeoprichter architectenbureau Bibini Geysen). *Correcties op projectbeschrijvingen.* E-mail op 26

mei 2026.

Hendriks, B. (Technisch adviseur Febe). *Vraag naar betoncijfers.* E-mail op 1 april 2026.



Hoppenbrouwers, B. (Architect BC architects & studies). *Vraag naar betonelementhergebruik*. E-mail op 17 november 2025.

Mannaerts, J. (Zaakvoerder 360 architecten). *Projectuitleg 360 Architecten*. Kantoorbezoek op 22 oktober 2025.

Marysse, J. (Innovation Manager Sustainability SBE). *Deelname begeleidingsgroep TETRA-project 'Structureel hergebruik van beton'*. Videoconferentie op 5 november 2025.

Meersman, S. (Commercieel Directeur Burgerlijke Bouwkunde Renotec). *Vraag naar betonelementhergebruik*. E-mail op 20 oktober 2025.

Moerman, W. (CSO - R&D Manager Willy Naessens). *Vraag naar betonelementhergebruik*. Videoconferentie op 24 februari 2026.

Müller, K. (Architect FSA, specialist partner ecobau Zirkular). *Lezing over hergebruik aan de Technische Universität Wien*. Lezing op 23 oktober 2024.

Nijs, E. (Business Unit Manager Renovatie+ M-gineers). *Vraag naar betonelementhergebruik*. E-mail op 20 februari 2026.

Plaggenburg, R. (Directeur Reststoffencentra Dusseldorp). *Superlocal en betonelementhergebruik*. Videoconferentie op 24 november 2025.

Poppe, A.-M. (Ingenieur Abetec). *Vraag naar betonelementhergebruik*. E-mail op 6 november 2025.

Soetens, T. (medeoprichter Sanacon). *Vraag naar betonelementhergebruik*. Kantoorbezoek op 19 november 2025.

Soetens, T. (medeoprichter Sanacon). *Testprocedures*. Kantoorbezoek op 13 februari 2026.

Soetens, T. (medeoprichter Sanacon). *Richtprijzen en info proeven*. E-mail op 5 maart 2026.

Soetens, T. (medeoprichter Sanacon). *Haalbaarheid hergebruiken holle welfsels*. Kantoorbezoek op 23 maart 2026.

Soetens, T. (medeoprichter Sanacon). *Hardheidstest staalkwaliteit*. E-mail op 26 maart 2026.

Soetens, T. (medeoprichter Sanacon). *Ontmantelingsprocedure*. Videoconferentie op 19 mei 2026.



Vander Beken, J. (Managing Director Ney & Partners). *Vraag naar betonelementhergebruik*. Persoonlijk gesprek op 25 februari 2026.

Vander Beken, J. (Managing Director Ney & Partners). *Hergebruik van holle welfsels*. Persoonlijk gesprek op 25 maart 2026.

Vander Beken, J. (Managing Director Ney & Partners). *Berekeningswijze holle welfsels zonder druklaag*. Persoonlijk gesprek 6 mei 2026.

Velasquez, M.-S. (R&D Buildwise). *Buildwise over betonelementhergebruik*. Videoconferentie op 12 december 2025.



8.4. Casussen Deelonderzoek 1

Antea Group. (2023). Closing the Loop: Viaduct van hergebruikte onderdelen. *anteagroup*.

<https://anteagroup.nl/nieuws-media/in-de-media/closing-the-loop-viaduct-van-hergebruikte-onderdelen>

Bastien-Masse, M. (2023). Re:Crete Footbridge. *Construction21*.

<https://www.construction21.org/infrastructure/h/passerelle-re-crete.html>

Beta. (2024). Elementa. *Beta Architecture*. <https://www.beta-architecture.com/elementa-parabase/>

Betoniek. (2023). Circulaire viaducten genomineerd voor Vernufteling. *Betoniek*.

<https://www.betoniek.nl/circulaire-viaducten-genomineerd-voor-vernufteling>

BG TEN. (2024). *Nobody leaves the party* [Wedstrijdvoorstel]. Bouwmeester Maître Architecte.

Bouwmeester Maître Architecte. (2023). Stadsatelier de Ville. *Bouwmeester Maître Architecte*.

<https://bma.brussels/nl/stadsatelier-de-ville/>

Bouwmeester Maître Architecte. (2024). Recypark Jette. *Bouwmeester Maître Architecte*.

<https://bma.brussels/nl/factsheet-recypark-jette/>

BruggenArchitectuur. (z.d.). Vloedstegenbrug N18. *BruggenArchitectuur*. Geraadpleegd

<https://www.bruggenarchitectuur.nl/projecten/verkeersbrug/vloedstegenbrug-n18-haaksbergen/>

BruggenArchitectuur. (2022). Tweede Levenbrug. *BruggenArchitectuur*.

<https://www.bruggenarchitectuur.nl/projecten/circulair/tweede-levenbrug-almere/>

Brussels Architecture Prize. (2021). Genomineerde projecten 2021. *Brussels Architecture Prize*.

<https://brusselsarchitectureprize.be/nl/vorige-edities/brussels-architecture-prize-2021/nominees-2021/>

Cepezed. (z.d.). *Tijdelijke Rechtbank* [Artikel]. Cepezed.

Cepezed. (2019). Tijdelijke Rechtbank meest losmaakbare gebouw. *Cepezed*.

<https://www.cepezed.nl/actueel/tijdelijke-rechtbank-meest-losmaakbare-gebouw/>



Cepezed. (2022). Oude betonkolos wordt “kenniscentrum voor circulaire bouw en sloop”. *Cepezed*.

<https://www.cepezed.nl/actueel/uit-oude-betonkolos-herrijst-kenniscentrum-voor-circulaire-bouw-en-sloop/>

Cepezed. (2023). flexibel ontwerpproces circulair centrum: ‘bouwen met de stenen die je hebt’. *Cepezed*.

<https://www.cepezed.nl/actueel/flexibel-ontwerpproces-circulair-centrum-bouwen-met-de-stenen-die-je-hebt/>

Cepezed. (2025). *een gebouw demonteren en elders weer opbouwen? Kan gewoon!*

<https://www.cepezed.nl/actueel/een-gebouw-demonteren-en-elders-weer-opbouwen-kan-gewoon/>

Circubuild. (z.d.). BC materials. *Circubuild*. Geraadpleegd <https://www.circubuild.be/nl/partners/bc-materials/>

Consolis. (2024). Cutting-edge pilot in Tampere as part of the EU-funded ReCreate project. *Consolis*.

<https://consolis.com/cutting-edge-pilot-in-tampere-as-part-of-the-eu-funded-recreate-project/#:~:text=as%20PDF%20File-,Cutting%20edge%20pilot%20in%20Tampere%20as%20part%20of%20the%20EU,of%20precast%20concrete%20elements.>

Devènes, J., Bastien-Masse, M., & Fivet, C. (2022a). *Parking Lysbüchel—Basel* (Factsheet No. LYS02; Resource Assessment of Structural Elements 1.1). Structural Xploration Lab.

Devènes, J., Bastien-Masse, M., & Fivet, C. (2022b). *Parking Lysbüchel—Basel* (Factsheet No. LYS03; Resource Assessment of Structural Elements 1.0). Structural Xploration Lab.

Devènes, J., Bastien-Masse, M., & Fivet, C. (2022c). *Parking Lysbüchel—Basel* (Factsheet No. LYS01; Resource Assessment of Structural Elements 1.2). Structural Xploration Lab.

Devènes, J., Brütting, J., Küpfer, C., Bastien-Masse, M., & Fivet, C. (2022). Re:Crete – Reuse of concrete blocks from cast-in-place building to arch footbridge. *Structures*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.07.012>

dpcp. (2015). *Persbericht / dpcp* [Persbericht].



Dura Vermeer. (z.d.). Hergebruik liggers. *Dura Vermeer*. Geraadpleegd

<https://www.duravermeer.nl/projecten/vervanging-viaduct-hoog-burel>

Eklund, M., Dahlgren, S., Dagersten, A., & Sundbaum, G. (2003). *The conditions and constraints for using reused materials in building projects*. Deconstruction and Materials Reuse.

<http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB875.pdf>

EPFL. (z.d.-a). Concrete rubble reuse for load-bearing walls. *EPFL*. Geraadpleegd

<https://www.epfl.ch/labs/sxl/research/rubble-reuse/>

EPFL. (z.d.-b). Upcycling concrete rubble. *EPFL*. Geraadpleegd <https://www.epfl.ch/labs/sxl/research/digital-upcycling/>

Florian, M.-C. (2023). Parabase Reuses Prefabricated Concrete Elements for a Radical Housing Development in Basel, Switzerland. *ArchDaily*. <https://www.archdaily.com/1008183/parabase-reuses-prefabricated-concrete-elements-for-a-radical-housing-development-in-basel-switzerland>

Grangeot, M., Bastien-Masse, M., Fivet, C., & Parascho, S. (2025). Large Concrete Rubble as a New Structural Construction Material: Opportunities and Digital Processes for Load-Bearing Walls. *Buildings*, 15(9).

<https://doi.org/10.3390/buildings15091437>

H22 Helsingborg Sweden. (2022). H22. *H22 Helsingborg Sweden*. <https://h22.se/en/aboutH22/>

Haitsma Beton. (z.d.). A1 Hoog Burel. *Haitsma Beton*. Geraadpleegd <https://www.haitsma.nl/projecten/a1-hoog-burel>

Haskoning. (2024). Hergebruik prefab liggers viaducten is duurzaam, veilig en haalbaar. *Haskoning*.

<https://www.haskoning.nl/nl-nl/nieuws/nieuwsberichten/2024/eindrapport-hergebruik-prefab-liggers-viaducten>

Hawley, C. (2005). A Communist Block House Renaissance. *Spiegel International*.

<https://www.spiegel.de/international/recycling-architectural-disasters-a-communist-block-house-renaissance-a-367335.html>



Hout in de grond- weg- en waterbouw. (z.d.). ReUse brug. *Hout in de GWW*. Geraadpleegd

<https://www.houtindegww.nl/project/reuse-brug/>

Jansen, K. (2025). Liggers van A9 bij Badhoevedorp doen nu dienst in nieuwe brug Haaksbergen. *Betonhuis*.

<https://betonhuis.nl/betonhuis/liggers-van-a9-bij-badhoevedorp-doen-nu-dienst-nieuwe-brug-haaksbergen-0>

Kanton Basel-Stadt. (z.d.-a). Areal Walkeweg. *Kanton Basel-Stadt*. Geraadpleegd

<https://www.bs.ch/schwerpunkte/arealentwicklungen-im-kanton-basel-stadt/areal-walkeweg>

Kanton Basel-Stadt. (z.d.-b). Schliengerweg 31, Neubau. *Hochbauprojekte*. Geraadpleegd

<https://www.bs.ch/schwerpunkte/bauprojekte/seiten/hochbauprojekte/schliengerweg-31-neubau>

Kanton Basel-Stadt. (z.d.-c). Wohnüberbauung Walkeweg Baufelder C/D, Neubau. *Hochbauprojekte*.

Geraadpleegd

https://www.bs.ch/schwerpunkte/bauprojekte/seiten/hochbauprojekte/wohneueberbauung-walkeweg-baufelder-cd-neubau?utm_source=chatgpt.com

Küpfer, C., Bastien-Masse, M., Bertola, N., & Fivet, C. (2025). Design, construction and assessment of FLO:RE – the prototype of a low-carbon building floor made of reused concrete elements and steel profiles.

Architecture, Structures and Construction, 5(1). <https://doi.org/10.1007/s44150-025-00138-2>

Lagemaat. (z.d.-a). Circulaire ontmanteling Prinsenhof A. *Lagemaat*. Geraadpleegd [https://lagemaat-](https://lagemaat-heerde.nl/projecten/circulaire-ontmanteling-prinsenhof-a/)

[heerde.nl/projecten/circulaire-ontmanteling-prinsenhof-a/](https://lagemaat-heerde.nl/projecten/circulaire-ontmanteling-prinsenhof-a/)

Lagemaat. (z.d.-b). Recreate. *Lagemaat*. Geraadpleegd <https://lagemaat-heerde.nl/samenwerkingen/recreate/>

LCP-circulair. (z.d.). Circulair Centrum Nederland. *LCP*. Geraadpleegd <https://lcp-circulair.nl/projecten/circulair-centrum-heerde>

Meerdink Bruggen. (z.d.). Reusebrug; de tweede leven brug op Floriade Almere. *Meerdink Bruggen*.

Geraadpleegd <https://www.meerdinkbruggen.nl/projecten/circulaire-reusebrug-floriade-almere/>



NCC. (z.d.). Hyresrätter Kvarteret Återbruket, Göteborg. *NCC*. Geraadpleegd <https://www.ncc.se/vara-projekt/hyresratter-kvarteret-aterbruket-goteborg/>

Opalis. (z.d.). Gerekupereerde betonvloer en -blokken voor een productiehal. *Opalis*. Geraadpleegd <https://opalis.eu/nl/inspiration/5630>

Patteeuw, V. (2021). Materiaaltactieken. *Brussels Architecture Prize*.
<https://brusselsarchitectureprize.be/nl/project/bc-materials/>

Plaggenburg, R. (z.d.). Een appartement uit een gebouw hijsen? *Dusseldorp*. Geraadpleegd <https://dusseldorp.nu/projecten/superlocal-kerkrade>

Polspoel, W. (2025). Hergebruik centraal in ontwerp vernieuwd Recypark in Jette (Babini Geysen Architects en TEN). *Circubuild*. <https://www.circubuild.be/nl/nieuws/hergebruik-centraal-in-ontwerp-vernieuwd-recypark-in-jette-babini-geysen-architects-en-ten/>

Port of Brussels & Flanders Circular. (2023). Stadsatelier de Ville circular hub. *Flows*.
<https://www.flows.be/havens/2023/02/partnercontent-circulaire-brusselse-havenhub-stadsatelier-de-ville/>

Poseidon. (z.d.). Litteraturgatan, kvarteret Återbruket. *Poseidon*. Geraadpleegd <https://poseidon.goteborg.se/nya-bostader/kvarteret-aterbruket/>

ReCreate. (2021a). H22 City Expo. *ReCreate*. <https://recreate-project.eu/h22-city-expo/>

ReCreate. (2021b). ReCreate H22 Swedish pilot. *ReCreate*. <https://recreate-project.eu/recreate-exhibitions/h22-pilot/>

ReCreate. (2021c). Sweden. *ReCreate*. <https://recreate-project.eu/project-pilots/sweden/>

ReCreate project. (z.d.-a). Finland. *ReCreate*. Geraadpleegd <https://recreate-project.eu/project-pilots/finland/>

ReCreate project. (z.d.-b). Germany. *ReCreate*. Geraadpleegd <https://recreate-project.eu/project-pilots/germany/>

ReCreate project. (2022). Erik Stenberg on the business case for reusing concrete elements. *ReCreate*.
<https://recreate-project.eu/2022/11/07/erik-stenberg-reuse-concrete-elements/>



ReCreate project. (2023). Reusing precast concrete elements challenges and solutions in the design process.

ReCreate. <https://recreate-project.eu/2023/12/13/reusing-precast-concrete-elements-challenges-and-solutions-in-the-design-process/>

ReCreate project. (2024). German country cluster completes test building. *ReCreate*. <https://recreate-project.eu/2024/07/05/german-country-cluster-completes-test-building/>

ReCreate project. (2025a). Division Selective Deconstruction – Building in Existing Contexts (ECOSOIL Ost).

ReCreate. <https://recreate-project.eu/2025/05/06/division-selective-deconstruction-building-in-existing-contexts-ecosoil-ost/>

ReCreate project. (2025b). First elements reclaimed by the Finnish cluster reused in a real-life mini pilot.

ReCreate. <https://recreate-project.eu/2025/02/13/first-elements-reclaimed-by-the-finnish-cluster-reused-in-a-real-life-mini-pilot/>

ReCreate project. (2025c). The tendering procedure for the pilot project in Germany – Episode 1: The

competition. *ReCreate*. <https://recreate-project.eu/2025/08/29/the-tendering-procedure-for-the-pilot-project-in-germany-episode-1-the-competition/>

ReCreate project. (2025d). The tendering procedure for the pilot project in Germany – Episode 2: The

Specification and bidder questions. *ReCreate*. <https://recreate-project.eu/2025/12/22/the-tendering-procedure-for-the-pilot-project-in-germany-episode-2-the-specification-and-bidder-questions/>

ReCreate project. (2025e). Transforming Prinsenhof A: Lagemaat's Refurbishing Plan for the Circular Centre

Netherlands. *ReCreate*. <https://recreate-project.eu/2025/02/17/transforming-prinsenhof-a-lagemaats-refurbishing-plan-for-the-circular-centre-netherlands/>

Redactie De circulaire bouweconomie. (2023). Circulaire cirkel start met oogsten liggers. *De circulaire*

bouweconomie. <https://circulairebouweconomie.nl/nieuws/circulaire-cirkel-start-met-oogsten-liggers/>

Redactie De circulaire bouweconomie. (2025). Van Tijdelijke Rechtbank naar Techbank. Een spectaculair

voorbeeld van circulair bouwen! *De circulaire bouweconomie*.



<https://circulairebouweconomie.nl/nieuws/van-tijdelijke-rechtbank-naar-techbank-een-spectaculair-voorbeeld-van-circulair-bouwen/>

Rijkswaterstaat. (z.d.). A76: Circulair viaduct Daelderweg. *Rijkswaterstaat*. Geraadpleegd

<https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/projectenoverzicht/a76-circulair-viaduct-daelderweg>

Rijkswaterstaat. (2023). Nieuw viaduct Hoog Burel weer beschikbaar voor verkeer. *Rijkswaterstaat*.

<https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/archief/2023/02/nieuw-viaduct-hoog-burel-weer-beschikbaar-voor-verkeer>

Rijkswaterstaat. (2024). Volgende fase voor 'nieuw' circulair viaduct Daelderweg over A76. *Rijkswaterstaat*.

<https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/archief/2024/10/volgende-fase-voor-nieuw-circulair-viaduct-daelderweg-over-a76>

RI.SE. (z.d.-a). Återhus 3.0—Building from buildings. *RI.SE*. Geraadpleegd [https://www.ri.se/en/system-](https://www.ri.se/en/system-innovation/circular-transition/project/aterhus-30-building-from-buildings)

[innovation/circular-transition/project/aterhus-30-building-from-buildings](https://www.ri.se/en/system-innovation/circular-transition/project/aterhus-30-building-from-buildings)

RI.SE. (z.d.-b). Case study: Reuse of hollow concrete slabs from Ikea Kållerød. *RI.SE*. Geraadpleegd

<https://www.ri.se/en/case-study-reuse-of-hollow-concrete-slabs-from-ikea-kallerod>

RI.SE. (z.d.-c). Recycled concrete builds cities of the future. *RI.SE*. Geraadpleegd

<https://www.ri.se/en/construction/concrete-and-cement/story/recycled-concrete-builds-cities-of-the-future>

Schenk Hattori - Babini Geysen. (2023). *STADSATELIER DE VILLE Circular hub and new BC Materials production site* [Wedstrijdvoorstel]. Bouwmeester Maître Architecte.

SeC Architecten. (z.d.). Superlocal—3 Circulaire woningen. *SeC Architecten*. Geraadpleegd [https://www.sec-](https://www.sec-architecten.com/projecten/superlocal-circulaire-woningen/)
[architecten.com/projecten/superlocal-circulaire-woningen/](https://www.sec-architecten.com/projecten/superlocal-circulaire-woningen/)

Solanellas Van Noten Meister. (z.d.). 031 Schliengerweg. *Solanellas Van Noten Meister*. Geraadpleegd

<https://svnm.eu/Schliengerweg>



SUPERLOCAL Super Circular Estate. (z.d.-a). Expogebouw. *Circulaire gebiedsontwikkeling in Parkstad Limburg*.

Geraadpleegd <https://www.superlocal.eu/superlocal/expogebouw/>

SUPERLOCAL Super Circular Estate. (z.d.-b). SUPERLOCAL. *Circulaire gebiedsontwikkeling in Parkstad Limburg*.

Geraadpleegd <https://www.superlocal.eu/superlocal/>

TEN. (z.d.). Recypark Jette. *TEN Studio*. Geraadpleegd <https://ten.studio/recycling-center-brussels>

van Doorn, E. (z.d.). "Tweede leven brug" gebouwd op Floriade. *Dura Vermeer*. <https://doi.org/2021>

van Doorn, E., Lukassen, R., & Meijdam, J. (2021). Een "tweede leven brug". *Cement*.

<https://www.cementonline.nl/artikelen/een-tweede-leven-brug>

van Duinen, T. (2025). Slimme testopstelling voor hergebruik liggers uit A9 zelf ook circulair. *Beton&Staalbouw*.

<https://betonenstaalbouw.nl/beton/slimme-testopstelling-voor-hergebruik-liggers-uit-a9-zelf-ook-circulair/>

van Gemert, F. (z.d.). SUPERLOCAL. *Jongen*. Geraadpleegd <https://www.jongen.com/nl/sterk-ons-werk/superlocal>

Van Hattum en Blankevoort. (z.d.). Vloedstegenbrug. *Van Hattum en Blankevoort*. Geraadpleegd

<https://www.vhbinfra.nl/nl/projecten/vloedstegenbrug>

Vergopoulou, C. (2023). Repurposed concrete components assemble housing units' facades in basel.

Designboom. <https://www.designboom.com/architecture/parabase-elementa-reuse-housing-switzerland-basel-08-30-2023/>

Vissering, C. (z.d.). Ontwerpen met bestaande betonelementen in nieuwbouw kenniscentrum. *Tektoniek*.

Geraadpleegd <https://tektoniek.nl/ontwerpen-bestaande-betonelementen-nieuwbouw/>

Vloedstegenbrug. (z.d.-a). Duurzaam ontwerp. *Vloedstegenbrug*. Geraadpleegd

<https://vloedstegenbrug.nl/duurzaam-ontwerp/>

Vloedstegenbrug. (z.d.-b). Vervanging Vloedstegenbrug. *Vloedstegenbrug*. Geraadpleegd

<https://vloedstegenbrug.nl>



Westerlind, H., & Stenberg, E. (2025). Early Cases of Precast Concrete Reuse in Swedish Construction (1984-2002): Repurposing the Million Homes Programme. *Circular Building Sector Conference (CBSC 2025)*.

Circular Building Sector Conference. <https://doi.org/10.52202/080684-0001>

Zirkular. (z.d.). Schliengerweg 31. *Zirkular*. Geraadpleegd <https://zirkular.net/en/project/schliengerweg-31/>

ZUYD. (z.d.). Superlocal. *ZUYD*. Geraadpleegd <https://surd.nl/project/superlocal/>



8.5. Technische fiches

- Daerden & Co. (2014a). *Prestatieverklaring Nr. DC0003-v02* [Technische fiche].
- Daerden & Co. (2014b). *Prestatieverklaring Nr. DC0004-v02* [Technische fiche].
- Daerden & Co. (2017). *Productfiche—TL60/13* [Technische fiche].
- Devènes, J., Bastien-Masse, M., & Fivet, C. (2022a). *Parking Lysbüchel—Basel* (Factsheet No. LYS02; Resource Assessment of Structural Elements 1.1). Structural Xploration Lab.
- Devènes, J., Bastien-Masse, M., & Fivet, C. (2022b). *Parking Lysbüchel—Basel* (Factsheet No. LYS03; Resource Assessment of Structural Elements 1.0). Structural Xploration Lab.
- Devènes, J., Bastien-Masse, M., & Fivet, C. (2022c). *Parking Lysbüchel—Basel* (Factsheet No. LYS01; Resource Assessment of Structural Elements 1.2). Structural Xploration Lab.
- Devènes, J., Bastien-Masse, M., & Fivet, C. (2023). *Factsheet template for Reinforced Concrete Components* [Obsolete Structure Audit]. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Dienst Preventie Bescherming Werk. (2020). *Hijzen gewelven* [Veiligheidsinstructiekaart]. Van Thuyne.
- Dou Beton. (2023). *Technische fiche, welfsels in gewapend beton* (Gladde en ruwe welfsels in gewapend beton) [Technische fiche].
- Dout Beton. (2020). *Technische fiche, voorgespannen welfsels* [Technische fiche].
- Douterloigne. (z.d.-a). *Gewapende betonwelfsels met gladde onderzijde* [Technische fiche].
- Douterloigne. (z.d.-b). *Voorgespannen betonwelfsels type 14 cm en 17 cm* [Technische fiche].
- Douterloigne. (2024). *Prestatieverklaring AV-006* [Technische fiche].
- Ergon. (2018). *Technische gids* [Technisch rapport].
- FebeFloor. (z.d.). *Vloerelementen, holle vloerelementen—Vloeren met balken en vulelementen—Geribde vloerelementen* [Technisch rapport].
- FebeFloor. (2020). *Holle vloerelementen* [Technisch rapport]. <https://www.febe.be/wp-content/uploads/2020/06/FEBEFLOOR-Brochure-holle-vloerelementen-nl.pdf>



- Fingo. (2026a). *F130-500* [Technische fiche].
- Fingo. (2026b). *FS130-600* [Technische fiche].
- Hedra Beton. (2011a). *Gladde holle vloerplaat 13/60 (GL13/60)* [Technische fiche].
- Hedra Beton. (2011b). *Gladde holle vloerplaat 16/60 (GL16/60)* [Technische fiche].
- Hedra Beton. (2011c). *Ruwe holle vloerplaat 13/60 (R13/60)* [Technische fiche].
- Interreg NWE/ FCRBE. (2021). *Reuse Toolkit: Material sheets* [Technisch rapport].
- Leviat. (2020). *Halfen Demu Bevestigingsankers* (technische fiche No. 17). Leviat.
- Leviat. (2026). *Halfen Cast-In Channels* [Technische gids].
- Megaton/Structo. (z.d.). *Gewelven in voorgespannen beton (WX)* [Technisch rapport].
- Nerva. (z.d.). *Voorgespannen welfsels* (Welfsels in voorgespannen beton) [Technische fiche].
- Ploegsteert. (2017). *Metselwerk* (Bestek Spanfloor) [Technische fiche].
- Predalco. (z.d.-a). *Gewapende betonwelfsels met gladde onderzijde* [Technische fiche].
- Predalco. (z.d.-b). *Voorgespannen betonwelfsels type 14 cm en 17 cm* [Technische fiche].
- Prefer. (2024). *Hourdis HPL 13-60* (Hourdis en béton armé avec face inférieure lisse (CE - BENOR)) [Technische fiche].
- Rotor vzw. (2016). *Vademecum voor hergebruik buiten de bouwsite: De recuperatie van bouwmaterialen uit publieke gebouwen haalbaar maken* [Technisch rapport]. Brussels Hoofdstedelijk Gewest.
- Spanbeton Hollevoet. (z.d.). *Gewelven*. Geraadpleegd <https://www.spanbetonhollevoet.be/nl/gewelven/>
- Van Thuyne. (z.d.-a). *Gewapende welfsels* [Technische fiche].
- Van Thuyne. (z.d.-b). *Voorgespannen Welfsel VS13/120* [Technische tekening].
- Van Thuyne. (z.d.-c). *Voorspanwelfsels* [Technische fiche].



8.6. Normen

NBN. (1999). *Products and systems for the protection and repair of concrete structures—Test methods—*

Measurement of bond strength by pull-off (Norm NBN EN 1542:1999).

NBN. (2002). *Eurocode—Basis of structural design* (norm NBN EN 1990:2002).

NBN. (2005a). *Eurocode 2: Design of concrete structures—Part 1-1: General rules and rules for buildings*

(+AC:2010) (norm NBN EN 1992-1-1:2005).

NBN. (2005b). *Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies—Deel 1-1: Algemene regels en regels*

voor gebouwen (norm NBN EN 1993-1-1:2005).

NBN. (2005c). *Products and systems for the protection and repair of concrete structures—Definitions,*

requirements, quality control and evaluation of conformity—Part 2: Surface protection systems for

concrete (Norm NBN EN 1504-2:2005).

NBN. (2007). *Products and systems for the protection and repair of concrete structures—Test methods—*

Determination of chloride content in hardened concrete (Norm NBN EN 14629:2007).

NBN. (2010). *Eurocode 1: Actions on structures—Part 1-4: General actions—Wind actions—National annex*

(norm NBN EN 1991-1-4 ANB:2010).

NBN. (2011). *Precast concrete products—Hollow core slabs* (Norm NBN EN 1168+A3:2011).

NBN. (2019a). *Testing concrete in structures—Part 1: Cored specimens—Taking, examining and testing in*

compression (Norm NBN EN 12504-1:2019).

NBN. (2019b). *Testing hardened concrete—Part 3: Compressive strength of test specimens* (Norm NBN EN

12390-3:2019).

Standards Norway. (2022). *Hollow core slabs for reuse* (Norm NS 3682:2022).



8.7. Digitale bronnen

62 miljoen ton afval werd in 2022 geproduceerd. (2025). Statbel.

[https://statbel.fgov.be/nl/themas/leefmilieu/afval-en-vervuiling/afvalproductie#:~:text=62%20miljoen%20ton%20afval%20werd%20in%202022%20geproduceerd&text=In%20België%20werd%20in%202022,4%25%20\(272.374%20ton\).](https://statbel.fgov.be/nl/themas/leefmilieu/afval-en-vervuiling/afvalproductie#:~:text=62%20miljoen%20ton%20afval%20werd%20in%202022%20geproduceerd&text=In%20België%20werd%20in%202022,4%25%20(272.374%20ton).)

Aanbod bruggen, liggers en onderdelen. (z.d.). Bruggenbank. Geraadpleegd <https://www.bruggenbank.nl/ons-aanbod/>

About Opalis. (z.d.). Opalis. Geraadpleegd <https://opalis.eu/en/about>

About us. (z.d.). RotorDC. Geraadpleegd <https://rotordc.com/about-us#ABOUT-US>

Aeneas Media. (2018a). *Cementbenaming.* Beton Lexicon. <https://www.betonlexicon.nl/C/c/cementbenaming>

Aeneas Media. (2018b). *Natte verbinding.* Beton Lexicon. <https://www.betonlexicon.nl/n/natte-verbinding>

Backus, B. (z.d.). *Rebound hammer test.* Gilson. Geraadpleegd https://www.globalgilson.com/blog/concrete-rebound-hammer-test?srltid=AfmB0opDFO_FuDfCly81mb_oqJ32kfV8Zmww4csrs4MQq8yPgFBzo7lk

BENOR. (2025). Het BENOR-label. *BENOR.* <https://www.benor.be/nl/benor-vzw/benor-label/>

Beschadigd pleister op wanden verwijderen. (z.d.). Festool. Geraadpleegd https://www.festool.be/kennis/toepassingsvoorbeelden/809?srltid=AfmB0oqgg4n-cfTG8cjitzX_kpBFNsdI8jOCDOvVn22m5lLEkZZG6N0l#Beschrijving

Beton en toeslag. (z.d.). Rockview. Geraadpleegd <https://rockview.nl/beton-en-toeslag/>

Betonhuis. (2023). *Hulpstoffen voor beton.* <https://betonhuis.nl/betonmortel/hulpstoffen-voor-beton>

Bosch, R. (2019). *Wrijvingskracht berekenen.* Roy Bosch. <https://roybosch.nl/wrijvingskracht-berekenen/>

Bruggen en viaducten. (z.d.). Duurzame infra. Geraadpleegd <https://www.duurzame-infra.nl/organisaties/transitiepad-kunstwerken/verduurzaming-bruggen-en-viaducten>

Building component catalog for IBS. (z.d.). Zirkular. Geraadpleegd <https://zirkular.net/en/project/building-component-catalog-for-ibs/>



- Carbonatatie van beton.* (2024). Beton. <https://beton.febe.be/2024/06/19/carbonatatie-van-beton/>
- Certificatie.* (2025). Procertus. <https://www.procertus.be/nl/diensten/certificatie/>
- Circulaire ontmanteling Prinsenhof A.* (2022). Lagemaat. <https://lagemaat-heerde.nl/projecten/circulaire-ontmanteling-prinsenhof-a/>
- Climate-related taxes.* (2026). Eurostat. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Climate-related_taxes#:~:text=Several%20countries%20have%20already%20introduced,revenue%20from%20the%20EU%20ETS.
- Concrete Europe.* (2025). <https://www.theconcreteinitiative.eu>
- Concrete needs to lose its colossal carbon footprint. (2021). *Nature*, 597(7878). <https://doi.org/10.1038/d41586-021-02612-5>
- Corentin, F. (z.d.). *Reused concrete—The latest construction material on the block*. Smart Living Lab. Geraadpleegd <https://www.smartlivinglab.ch/en/groups/sxl/>
- De Roy, L. (2023). *Het geheim van het “onverwoestbare” Romeinse beton: Ongebluste kalk* [Nieuwspagina]. VRT nws. <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2023/01/11/het-geheim-van-het-onverwoestbare-romeinse-beton-ongebluste-k/>
- Demonteren en remonteren.* (z.d.). Lagemaat. Geraadpleegd <https://lagemaat-heerde.nl/diensten/circulariteit/demonteren-en-remonteren/>
- Departement Mobiliteit en Openbare Werken. (z.d.). *Tonnageverhoging voor vrachtverkeer*. Vlaanderen. Geraadpleegd <https://www.vlaanderen.be/mobiliteit-en-openbare-werken/vrachtverkeer/tonnageverhoging-voor-vrachtverkeer>
- Ebema. (z.d.). *Circulair bouwen*. Geraadpleegd <https://ebema.be/nl-BE/circulair-bouwen>
- Engagement für preisgünstigen Wohnraum.* (2025). Kanton Basel-Stadt. <https://www.bs.ch/fd/ibs/preisquengstiger-wohnraum>



EPFL. (z.d.). *Atlas of Reused Concrete* [Onderzoekspagina]. Geraadpleegd <https://concrete-reuse.epfl.ch/list?view=list>

Ergon produceerde de eerste circulaire betonelementen in België en behaalde het certificaat "cradle to cradle"

silver. (z.d.). Ergon. Geraadpleegd <https://www.ergon.be/nl/project/zin-project/>

Ermers, A. (2025). *Hoeveel weegt een vrachtwagen?* Freight Frame.

<https://freightframe.com/kennisbank/hoeveel-weegt-een-vrachtwagen/>

European Commission. (z.d.-a). *Construction and demolition waste*. Environment. Geraadpleegd

https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste_en

European Commission. (z.d.-b). *Not enough water*. Environment. Geraadpleegd

https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-wise-eu/not-enough-water_en

Eurostat. (2024). *Waste statistics*. Statistics Explained. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics)

[explained/index.php?title=Waste_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics)

Febe. (2021). *"Holle vloerelementen zijn overal toepasbaar"*. Bouwen aan Vlaanderen.

<https://bouwenaanvlaanderen.be/bouwprojecten/holle-vloerelementen-zijn-overal-toepasbaar/>

Fischer, J. (2025). *The tendering procedure for the pilot project in Germany – Episode 2: The Specification and*

bidder questions. ReCreate. [https://recreate-project.eu/2025/12/22/the-tendering-procedure-for-the-](https://recreate-project.eu/2025/12/22/the-tendering-procedure-for-the-pilot-project-in-germany-episode-2-the-specification-and-bidder-questions/)

[pilot-project-in-germany-episode-2-the-specification-and-bidder-questions/](https://recreate-project.eu/2025/12/22/the-tendering-procedure-for-the-pilot-project-in-germany-episode-2-the-specification-and-bidder-questions/)

Gamla våningsplan får nytt liv i 66 hyreslägenheter i Selma stad. (2025). Framtiden Byggutveckling.

[https://www.mynewsdesk.com/se/framtiden-byggutveckling/pressreleases/gamla-vaaningsplan-faar-](https://www.mynewsdesk.com/se/framtiden-byggutveckling/pressreleases/gamla-vaaningsplan-faar-nytt-liv-i-66-hyreslaegenheter-i-selma-stad-3380179?)

[nytt-liv-i-66-hyreslaegenheter-i-selma-stad-3380179?](https://www.mynewsdesk.com/se/framtiden-byggutveckling/pressreleases/gamla-vaaningsplan-faar-nytt-liv-i-66-hyreslaegenheter-i-selma-stad-3380179?)

Gemiddelde leeftijd van gebouwen. (2025). Vlaanderen Circulair.

[https://cemonitor.be/indicator/huisvesting/gewenste-veranderingen/gemiddelde-leeftijd-van-](https://cemonitor.be/indicator/huisvesting/gewenste-veranderingen/gemiddelde-leeftijd-van-gebouwen/)

[gebouwen/](https://cemonitor.be/indicator/huisvesting/gewenste-veranderingen/gemiddelde-leeftijd-van-gebouwen/)



Giatec Scientific. (2022). *De geschiedenis van beton*. Giatec. [https://www.giatecscientific-com.translate.google.com/education/the-history-of-](https://www.giatecscientific-com.translate.google.com/education/the-history-of-concrete/?x_tr_sl=en&x_tr_tl=nl&x_tr_hl=nl&x_tr_pto=sge)

[concrete/? x tr sl=en& x tr tl=nl& x tr hl=nl& x tr_pto=sge](https://www.giatecscientific-com.translate.google.com/education/the-history-of-concrete/?x_tr_sl=en&x_tr_tl=nl&x_tr_hl=nl&x_tr_pto=sge)

Gips en gipskartonplaten. (z.d.). OVAM. Geraadpleegd [https://ovam.vlaanderen.be/gips-en-](https://ovam.vlaanderen.be/gips-en-gipskartonplaten#:~:text=In%20de%20recyclage%20van%20gips%20speelt%20homogeniteit%2C,gelde)

[gipskartonplaten#:~:text=In%20de%20recyclage%20van%20gips%20speelt%20homogeniteit%2C,gelde](https://ovam.vlaanderen.be/gips-en-gipskartonplaten#:~:text=In%20de%20recyclage%20van%20gips%20speelt%20homogeniteit%2C,gelde)
[n%20dan%20ook%20strengere%20acceptatiecriteria%20bij%20de](https://ovam.vlaanderen.be/gips-en-gipskartonplaten#:~:text=In%20de%20recyclage%20van%20gips%20speelt%20homogeniteit%2C,gelde)

GO4ZERO. (z.d.). Besix. Geraadpleegd <https://www.besix.com/nl/projects/go4zero>

Grangeot, M. (2024). *Is green concrete a myth?* EPFL. <https://actu.epfl.ch/news/is-green-concrete-a-myth/>

HALFEN DEMU bevestigingsankers. (z.d.). Halfen. Geraadpleegd [https://www.halfen.com/be-](https://www.halfen.com/be-nl/765/produktoverzicht/bouw/verankeringsystemen/halfen-demu-bevestigingsankers/introductie/)

[nl/765/produktoverzicht/bouw/verankeringsystemen/halfen-demu-bevestigingsankers/introductie/](https://www.halfen.com/be-nl/765/produktoverzicht/bouw/verankeringsystemen/halfen-demu-bevestigingsankers/introductie/)

Hergebruik & recyclage. (z.d.). Tracimat. Geraadpleegd [https://www.tracimat.be/onderzoek-](https://www.tracimat.be/onderzoek-innovatie/hergebruik-recyclage/)

[innovatie/hergebruik-recyclage/](https://www.tracimat.be/onderzoek-innovatie/hergebruik-recyclage/)

Het correct aanbrengen van voegvulling en druklaag op holle vloerelementen. (2022). Beton.

[https://beton.febe.be/2021/03/22/het-correct-aanbrengen-van-voegvulling-en-druklaag-op-holle-](https://beton.febe.be/2021/03/22/het-correct-aanbrengen-van-voegvulling-en-druklaag-op-holle-vloerelementen/)
[vloerelementen/](https://beton.febe.be/2021/03/22/het-correct-aanbrengen-van-voegvulling-en-druklaag-op-holle-vloerelementen/)

HII! Grimbergen officieel geopend. (2022). Global Estate Group. [https://globalestategroup.eu/nieuws/hi-](https://globalestategroup.eu/nieuws/hii-grimbergen-officieel-geopend)

[grimbergen-officieel-geopend](https://globalestategroup.eu/nieuws/hii-grimbergen-officieel-geopend)

Hydraulic rock and concrete splitters. (z.d.). Darda. Geraadpleegd [https://www.darda.de/en/product-](https://www.darda.de/en/product-overview/hydraulic-rock-and-concrete-splitters)

[overview/hydraulic-rock-and-concrete-splitters](https://www.darda.de/en/product-overview/hydraulic-rock-and-concrete-splitters)

Indicatoren over bevolking, huishoudens en woningen, naar verblijfplaats, op basis van de CENSUS 2011 en 2021.

(2024). Statbel. [https://bestat.statbel.fgov.be/bestat/crosstable.xhtml?view=134e4ceb-88a7-41d2-](https://bestat.statbel.fgov.be/bestat/crosstable.xhtml?view=134e4ceb-88a7-41d2-b354-d363f916dd32)
[b354-d363f916dd32](https://bestat.statbel.fgov.be/bestat/crosstable.xhtml?view=134e4ceb-88a7-41d2-b354-d363f916dd32)

Interreg, waarover gaat het? (z.d.). Vlaio. Geraadpleegd [https://www.vlaio.be/nl/vlaio-netwerk/efro-](https://www.vlaio.be/nl/vlaio-netwerk/efro-interreg/ontdek-interreg/interreg-waarover-gaat-het)

[interreg/ontdek-interreg/interreg-waarover-gaat-het](https://www.vlaio.be/nl/vlaio-netwerk/efro-interreg/ontdek-interreg/interreg-waarover-gaat-het)



Is Concrete Bad for the Environment? (z.d.). Forta. Geraadpleegd [https://fortacorp.com/resources/news/is-concrete-bad-for-the-](https://fortacorp.com/resources/news/is-concrete-bad-for-the-environment/#:~:text=2,scarcity%20and%20creating%20compounding%20effects)

[environment/#:~:text=2,scarcity%20and%20creating%20compounding%20effects](https://fortacorp.com/resources/news/is-concrete-bad-for-the-environment/#:~:text=2,scarcity%20and%20creating%20compounding%20effects).

Jansen, K. (2021). *Beton niet recyclen maar hergebruiken*. Betonhuis. <https://betonhuis.nl/betonhuis/beton-niet-recyclen-maar-hergebruiken>

Jansen, K. (2025). *Liggers van A9 bij Badhoevedorp doen nu dienst in nieuwe brug Haaksbergen*. Betonhuis. <https://betonhuis.nl/betonhuis/liggers-van-a9-bij-badhoevedorp-doen-nu-dienst-nieuwe-brug-haaksbergen-0>

Jobs & vaardigheden. (z.d.). Vlaanderen Circulair. Geraadpleegd <https://www.vlaanderen-circulair.be/nl/hefbomen/jobs-vaardigheden>

Johannesen, B.-T. (2024). *On Reusing Precast Concrete*. 3XN. [https://3xn.com/news/reusing-precast-concrete#:~:text=The%20\(P\)RECAST%20Pavilion%20was,minimising%20risks%20for%20all%20parties](https://3xn.com/news/reusing-precast-concrete#:~:text=The%20(P)RECAST%20Pavilion%20was,minimising%20risks%20for%20all%20parties).

Kernboringen. (z.d.). Concept ingenieurs. Geraadpleegd <https://conceptingenieurs.nl/diensten/meten-monitoren-beproeven/kernboringen>

Klimaatovereenkomst van Parijs. (2025). Europese Raad. <https://www.consilium.europa.eu/nl/policies/paris-agreement-climate/>

Kolen, olie en gas. (z.d.). Milieu centraal. Geraadpleegd <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/energiebronnen/kolen-olie-en-gas/>

Kraaijvanger, C. (2017). *Romeinse betonnen bouwwerken in zee zijn nu sterker dan toen ze gebouwd werden*. Scientias. <https://scientias.nl/romeinse-betonnen-bouwwerken-zee-nu-sterker-dan-toen-gebouwd-werden/#:~:text=Dus%20waar%20ons%20beton%20aangetast%20wordt%20door,gaan%20wij%20dat%20dan%20ook%20niet%20gebruiken?>



Kwakman, J. (2019). *Het verschil tussen een lineaire en een circulaire economie*. OverCirculair.

<https://aboutcircular.nl/2019/11/18/het-verschil-tussen-een-lineaire-economie-en-een-circulaire-economie/>

Kwalitatieve kernboringen voor betononderzoek. (z.d.). Beton+. Geraadpleegd

<https://www.betonplus.be/kernboringen/>

Largest cement companies by market cap. (2025). Companies Market Cap.

<https://companiesmarketcap.com/eur/cement/largest-cement-companies-by-market-cap/>

Marktplaats. (z.d.). [Verkoopswebsite]. Insert. Geraadpleegd <https://marktplaats.insert.nl>

Mega—Open oplegger (plateau). (z.d.). Pacton. Geraadpleegd [https://www.pacton.nl/producten/open-](https://www.pacton.nl/producten/open-oplegger/mega-platform-trailer/)

[oplegger/mega-platform-trailer/](https://www.pacton.nl/producten/open-oplegger/mega-platform-trailer/)

Michel, V. (2024). *Holcim legt eerste steen van ultramoderne GO4ZERO-fabriek in België voor koolstofvrije*

cementproductie. Holcim België. [https://www.holcim.be/nl/holcim-legt-eerste-steen-van-](https://www.holcim.be/nl/holcim-legt-eerste-steen-van-ultramoderne-go4zero-fabriek-in-belgie-voor-koolstofvrije-cementproductie)

[ultramoderne-go4zero-fabriek-in-Belgie-voor-koolstofvrije-cementproductie](https://www.holcim.be/nl/holcim-legt-eerste-steen-van-ultramoderne-go4zero-fabriek-in-belgie-voor-koolstofvrije-cementproductie)

Milgro. (2022). *De R-ladder: Uitleg en betekenis voor uw afval*. <https://www.milgro.eu/blog/de-r-ladder>

Milgro. (2024). *Ladder van Lansink: Uitleg en betekenis voor de circulaire economie*.

[https://www.milgro.eu/blog/https://www.milgro.eu/blog/ladder-van-lansink-bekeken-vanuit-een-](https://www.milgro.eu/blog/https://www.milgro.eu/blog/ladder-van-lansink-bekeken-vanuit-een-circulair-)

[perspectief#:~:text=Wat%20is%20de%20Ladder%20van,1979%20al%20bezig%20met%20afval.](https://www.milgro.eu/blog/https://www.milgro.eu/blog/ladder-van-lansink-bekeken-vanuit-een-circulair-perspectief#:~:text=Wat%20is%20de%20Ladder%20van,1979%20al%20bezig%20met%20afval.)

Milieuprestatie van Bouwwerken. (z.d.). Nationale Milieudatabase. Geraadpleegd

<https://milieudatabase.nl/nl/milieuprestatie/>

Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening. (2025). *MilieuPrestatie Gebouwen—MPG*. Rijksdienst

voor Ondernemend Nederland. [https://www.rvo.nl/onderwerpen/wetten-en-regels-](https://www.rvo.nl/onderwerpen/wetten-en-regels-gebouwen/milieuprestatie-gebouwen-mpg)

[gebouwen/milieuprestatie-gebouwen-mpg](https://www.rvo.nl/onderwerpen/wetten-en-regels-gebouwen/milieuprestatie-gebouwen-mpg)



Mondelaers, T. (z.d.). *Betonnen welfsels*. Livios. Geraadpleegd <https://www.livios.be/nl/artikel/35140/betonnen-welfsels/>

Nobis, R. (2025). *The Long Road to Today's Portland Cement*. World Cement Association.

<https://www.worldcementassociation.org/about-cement/our-history>

Petrografisch onderzoek. (z.d.). Nebest. Geraadpleegd <https://www.nebest.nl/diensten/petrografisch-onderzoek/>

Planning. (z.d.). Buildwise. Geraadpleegd <https://www.buildwise.be/nl/themas/bouwprocessen/planning/>

Polspoel, W. (2022). *Douwe Egberts-site in Grimbergen krijgt circulaire herbestemming tot bedrijventerrein (plusoffice)*. CircuBuild. <https://www.circubuild.be/nl/nieuws/douwe-egberts-site-in-grimbergen-krijgt-circulaire-herbestemming-tot-bedrijventerrein-plusoffice/>

Polspoel, W. (2024). *Hi! Site: Voormalige gebouwen koffiefabrikant herleven als maak-, werk- en recreatieplek*. Architectura. <https://www.architectura.be/nl/nieuws/hi-site-voormalige-gebouwen-koffiefabrikant-herleven-als-maak-werk-en-recreatieplek/>

Prinsenhof. (z.d.). Provincie Gelderland. Geraadpleegd <https://www.gelderland.nl/themas/duurzaamheid/circulaire-economie/prinsenhof?>

Proceq Profoscope. (z.d.). Nawa. Geraadpleegd <https://www.nawa.nl/dekkingsmeter-proceq-profoscope-huren>

PROCERTUS. (2025). *Over Procertus*. <https://www.procertus.be/nl/over/>

Proefbelasting. (2023). Kennisplatform Crow. <https://kennisbank.crow.nl/public/gastgebruiker/INCK/Proefbelasten/Proefbelasting/116508>

ReCreate project. (z.d.). *Finland*. ReCreate. Geraadpleegd <https://recreate-project.eu/project-pilots/finland/>

ReCreate project. (2025). *First elements reclaimed by the Finnish cluster reused in a real-life mini pilot*. ReCreate. <https://recreate-project.eu/2025/02/13/first-elements-reclaimed-by-the-finnish-cluster-reused-in-a-real-life-mini-pilot/>

Redactie Livios. (2023). *Richtprijzen fundering en beton*. Livios. <https://www.livios.be/nl/artikel/23105/richtprijzen-fundering-en-beton/>



Rijkswaterstaat. (2025). *Hergebruik liggers: Vertrouwen en volharden*.

<https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/archief/2025/01/hergebruik-liggers-vertrouwen-en-volharden>

R-ladder en Ladder van Lansink. (2024). Green Matter. <https://greenmatter.nl/alles/r-ladder-en-ladder-van-lansink/>

Rotor DB & DC. (z.d.). Library of Reuse. Geraadpleegd <https://library-of-reuse.ch/pioneers/rotor-aprba>

Russell, R. (2019). *Net-zero by 2050: What does it mean?* DW. <https://www.dw.com/en/net-zero-by-2050-what-does-it-mean/a-48958487>

Schäfer, S. (2010). *Wie ein gut abgehangener Schinken*. Süddeutsche Zeitung.

<https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/recycling-wie-ein-gut-abgehangener-schinken-1.563557?>

Schmidthamermetingen. (z.d.). Nebest. Geraadpleegd <https://www.nebest.nl/diensten/schmidthamermetingen/>

Slonimskiy, L., Kitaev, A., & Merin, G. (2025). *Forced Reuse: Rethinking Building Conventions Through Crises*. E-Flux Architecture. <https://www.e-flux.com/architecture/framing-renovation/668032/forced-reuse-rethinking-building-conventions-through-crises>

Structural Xploration Lab. (z.d.). EPFL. Geraadpleegd <https://www.epfl.ch/labs/sxl/>

Suchorzewski, J. (z.d.-a). *Quality assurance of concrete elements for reuse*. RI.SE. Geraadpleegd

<https://www.ri.se/en/construction/concrete-and-cement/service/quality-assurance-of-concrete-elements-for-reuse>

Suchorzewski, J. (z.d.-b). *Recycled concrete builds cities of the future*. RI.SE. Geraadpleegd

<https://www.ri.se/en/construction/concrete-and-cement/story/recycled-concrete-builds-cities-of-the-future>

Taking a pioneering approach to re-using concrete decks. (2020). Skanska.

<https://group.skanska.com/media/articles/taking-a-pioneering-approach-to-re-using-concrete-decks/>

Test Pricing. (z.d.). Concrete Research & Testing. Geraadpleegd <https://www.concretetesting.com/test-pricing/>



The European Green Deal. (z.d.). European Commission. Geraadpleegd https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

The Week Staff. (2023). *Why is the world running out of sand?*The Week. <https://theweek.com/news/science-health/960931/why-is-the-world-running-out-of-sand>

Top 15 Largest Cement Companies Powering the Global Construction Industry. (2024). Building Radar. <https://www.buildingradar.com/construction-blog/top-15-largest-cement-companies-powering-the-global-construction-industry>

Types of programmes. (z.d.). Interreg. Geraadpleegd <https://interreg.eu/about/types-of-programmes/>

Van Acker, A., & Maas, S. (2021). *HISTORICAL DEVELOPMENT OF HOLLOW CORE SLABS*. International Prestressed Hollowcore Association. <https://hollowcore.org/historical-development-hollow-core-slabs/>

Van de Voorde, S. (2016). *Magnel, Gustave (1889-1955)* [Universiteitswebpagina]. UGentMemorie. <https://www.ugentmemorie.be/personen/magnel-gustave-1889-1955>

van den Berg, W. (z.d.). *Closing The Loop—Het eerste hergebruikte viaduct van Nederland*. Nebest. Geraadpleegd <https://www.nebest.nl/closing-the-loop-het-eerste-hergebruikte-viaduct-van-nederland/>

van Rijnbach, M. (2023). *Project / Betonelementen voormalig provinciehuis hergebruikt in nieuwbouw*. Aannemer. <https://www.aannemervak.nl/bouwpraktijk/bouwplaats/betonelementen-voormalig-provinciehuis-hergebruikt-in-nieuwbouw/>

Veilig monteren van prefab vloeren – Deel 1. (2017). Beton. <https://beton.febe.be/2017/03/22/veilig-monteren-van-prefab-vloeren/>

Vickers hardheidsmeting volgens ISO 6507 / ASTM E384. (z.d.). Zwick Roell. Geraadpleegd <https://www.zwickroell.com/nl/branches/metalen/metaalnormen/vickers-test-iso-6507/>

Vigren, O. (2025). *Is reuse of concrete elements economically feasible?* ReCreate. <https://recreate-project.eu/2025/06/12/is-reuse-of-concrete-elements-economically-feasible/>



Vissering, C. (z.d.). *Ontwerpen met bestaande betonelementen in nieuwbouw kenniscentrum*. Tektoniek.

Geraadpleegd <https://tektoniek.nl/ontwerpen-bestaande-betonelementen-nieuwbouw/>

Vlaams Betonakkoord in de maak. (2022). [Nieuwspagina]. Embuild Vlaanderen.

<https://www.embuildvlaanderen.be/press-room/vlaams-betonakkoord-in-de-maak/>

Vliegias. (z.d.). VVM Cement. Geraadpleegd <https://www.vvmcem.be/product/cementtypes/vliegias/>

Voorgespannen welfsels (holle welfsels) voor grote overspanningen en extra draagkracht. (z.d.). Van Thuyne.

Geraadpleegd <https://www.gewelven.be/nl/betonnen-welfsels/voorgespannen-betonnen-welfsels#:~:text=Voorgespannen%20welfsels%2C%20ook%20wel%20holle,vloeroplossing%20voor%20woningen%20en%20utiliteitsgebouwen.>

Waarom we beton en cement beter vermijden + alternatieven. (2025). Ecobouwers.

[https://www.ecobouwers.be/duurzaam-bouwen/artikels/waarom-we-beton-en-cement-beter-vermijden-](https://www.ecobouwers.be/duurzaam-bouwen/artikels/waarom-we-beton-en-cement-beter-vermijden-alternatieven#:~:text=In%20plaats%20van%20cement%20worden,voor%20funderingen%20en%20dragende%20structuren.)

[alternatieven#:~:text=In%20plaats%20van%20cement%20worden,voor%20funderingen%20en%20dragende%20structuren.](https://www.ecobouwers.be/duurzaam-bouwen/artikels/waarom-we-beton-en-cement-beter-vermijden-alternatieven#:~:text=In%20plaats%20van%20cement%20worden,voor%20funderingen%20en%20dragende%20structuren.)

Wallenius, D. (2024). *25 puretusta rakennuksesta irrotettua elementtiä asennettiin uuteen kerrostaloon*

Tampereella – "Ei näkynyt työmaalla oikeastaan lainkaan". Rakennuslehti.

<https://www.rakennuslehti.fi/2024/11/25-puretusta-rakennuksesta-irrotettua-elementtia-asennettiin-uuteen-kerrostaloon-tampereella-ei-nakynyt-tyomaalla-oikeastaan-lainkaan/>

Wapening scannen. (z.d.). Concept ingenieurs. Geraadpleegd [https://conceptingenieurs.nl/diensten/meten-](https://conceptingenieurs.nl/diensten/meten-monitoren-beproeven/wapening-scannen)

[monitoren-beproeven/wapening-scannen](https://conceptingenieurs.nl/diensten/meten-monitoren-beproeven/wapening-scannen)

Wat is gerecycled beton? (z.d.). AJansen. Geraadpleegd <https://www.ajansenbv.com/wat-is-gerecycled-beton/>

What is Interreg. (z.d.). Interreg. Geraadpleegd <https://interreg.eu/about/what-is-interreg/>

Your Europe. (2026). *Opstellen van technische documentatie*. https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/compliance/preparing-technical-documentation/index_nl.htm



Yrjölä, J. (2022). *Pilot project proves that the dismantling and reuse of concrete elements is realistic and economical*. Peikko. <https://www.peikko.com/blog/pilot-project-proves-that-the-dismantling-and-reuse-of-concrete-elements-is-realistic-and-economical/>



8.8. Afbeeldingen

51N4E. (z.d.). *Metropolitan Hybrids* [Foto]. Geraadpleegd <https://51n4e.com/projects/zin/>

Kwakkel. (z.d.). *[Diamantboring]* [Foto]. Geraadpleegd <https://www.kwakkelbv.nl/betonboren/>

Armorsil. (2023). *[Betonschade door wapeningscorrosie carbonatatiegerelateerd]* [Foto].
<https://armorsilwa.com/articles/what-is-concrete-spalling/>

Befimmo. (z.d.). *Where life and work come together in innovative and sustainable ways* [Foto]. Geraadpleegd
<https://www.befimmo.be/en/buildings/zin>

Beton+. (z.d.). *[Drukproef in labo]* [Foto]. Geraadpleegd <https://www.betonplus.be/laboproeven/>

Beton & staalbouw. (2025). *Aan de slag met hergebruikte liggers!* [Foto].
<https://betonenstaalbouw.nl/algemeen/aan-de-slag-met-hergebruikte-liggers/>

Bremen Bouwadviseurs. (z.d.). *Superlocal, Kerkrade* [Foto]. Geraadpleegd
<https://bremenba.nl/project/superlocal-kerkrade/>

BROZE, P. (2022). *Rotor DC in Evere 2022* [Foto]. <https://rotordb.org/en/projects/rotor-dc-reuse-made-easy>

Brütting, J. (z.d.). *Re:create footbridge prototype* [Foto]. Geraadpleegd <https://janbruetting.com/projects/recreate/>

Cepezed. (2022). *Dynamisch ontwerpproces met geoogste materialen leidt tot circulair centrum* [Foto].
<https://www.cepezed.nl/actueel/dynamisch-ontwerpproces-met-geoogste-materialen-leidt-tot-circulair-centrum/>

Falborg Pedersen, H. (2024). *Reuse of Concrete Element slabs in Terraced Houses in Gellerup* [Foto].
<https://cae.au.dk/en/currently/news/show/artikel/reuse-of-concrete-element-slabs-in-terraced-houses-in-gellerup>

Grangeot, M. (2025). *[De assemblage van de Re:bble Tower]* [Foto].

Haskoning. (2024). *Hergebruik prefab liggers viaducten is duurzaam, veilig en haalbaar* [Foto].
<https://www.haskoning.nl/nl-nl/nieuws/nieuwsberichten/2024/eindrapport-hergebruik-prefab-liggers-viaducten>



Hoving Bouwontwerp. (z.d.). *[Voorbeeld van een oude plannenset]* [Ingescand bouwplan]. Geraadpleegd

<https://www.hovingbouwontwerp.nl/handig-om-alvast-bij-de-hand-te-hebben/>

Innovative Engineering. (z.d.). *Uitvoeren van een chlorideproef* [Foto]. Geraadpleegd [https://www.ieiusa.com/iei-](https://www.ieiusa.com/iei-portfolio/emory-summit-parking-structure/)

[portfolio/emory-summit-parking-structure/](https://www.ieiusa.com/iei-portfolio/emory-summit-parking-structure/)

Interreg. (z.d.). *[Logo van Interreg]* [Logo]. Geraadpleegd <https://interreg.eu>

Kärcher. (z.d.). *[Wapeningsstaven vrijmaken met hydrojet]* [Foto]. Geraadpleegd

<https://www.kaercher.com/be/professional/professional-knowhow/betonreparatie.html>

Karst, E. (2024). *Waarom Nederland met z'n mooie wegennet stokoude "tweedehands" viaducten neerzet*

[Foto]. <https://topgear.nl/autonieuws/tweedehands-viaduct-in-nederland/>

Meetinstrumenten Verhuur. (z.d.). *Proceq Schmidthamer type LR* [Foto]. Geraadpleegd

<https://www.meetinstrumenten-verhuur.nl/verhuur/bouw-weg-en-waterbouw/betonhardheidsmeter-huren/proceq-schmidthamer-type-lr/>

mpa. (2025). *(P)recast* [Foto]. [https://www.concretecentre.com/Specification/Innovative-concrete/\(P\)RECAST.aspx](https://www.concretecentre.com/Specification/Innovative-concrete/(P)RECAST.aspx)

Nebest. (z.d.-a). *[Visualisatie van het viaduct Daelderweg]* [Visualisatie]. Geraadpleegd

<https://www.nebest.nl/closing-the-loop-krijgt-go-van-rijkswaterstaat/>

Nebest. (z.d.-b). *Wapeningsconfiguratie* [Foto]. Geraadpleegd

<https://www.nebest.nl/diensten/wapeningsconfiguratie/>

Plusoffice. (2025). *Plusoffice transformeert productietoren Douwe Egberts tot modulaire kmo-hal* [Illustratie].

<https://www.architectura.be/nl/nieuws/plusoffice-transformeert-productietoren-douwe-egberts-tot-modulaire-kmo-hal/>

Poels, P. (2022). *Sloop en bouw A1 viaduct Hoog Burel, Ughelen* [Foto]. [https://paulpoelsfotografie.nl/a1-viaduct-](https://paulpoelsfotografie.nl/a1-viaduct-hoog-burel/)

[hoog-burel/](https://paulpoelsfotografie.nl/a1-viaduct-hoog-burel/)



Polspoel, W. (2025). *Hi! Site voorziet in productie-, kantoor- en logistieke ruimte*. [Foto].

<https://www.architectura.be/nl/nieuws/hi-site-voormalige-gebouwen-koffiefabrikant-herleven-als-maak-werk-en-recreatieplek/>

R. McDermott, M., & Z. Dymond, B. (2020). *Typical web-shear crack in a hollow-core slab*. [Foto].

https://www.pci.org/PCI_Docs/Publications/PCI%20Journal/2020/March-April/19-0008_McDermott_MA20.pdf

ReCreate project. (z.d.). *[Logo van het onderzoeksproject ReCreate]* [Logo]. Geraadpleegd <https://recreate-project.eu>

Rijkswaterstaat. (2025). *De betonnen liggers* [Foto].

<https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/archief/2025/01/betonnen-balken-uit-weg-voor-het-eerst-hergebruikt-bij-project-buiten-rijkswaterstaat>

RI.SE. (2025). *Nytt centrum ska göra återbruk tryggt, lönsamt och storskaligt i byggbranschen* [Foto].

<https://www.ri.se/sv/nyheter/nytt-centrum-ska-gora-aterbruk-tryggt-lonsamt-och-storskaligt-i-byggbranschen>

Rotor. (z.d.). *[Logo van Rotor]* [Logo]. Geraadpleegd <https://rotordb.org/en>

Royal Wagenborg. (z.d.). *Modulaire testopstelling voor circulaire liggers* [Foto]. Geraadpleegd

<https://www.wagenborgnedlift.nl/media/g53ltw2v/2025-wnl-infra-10-digitaal.pdf>

Ruault, P. (2019). *Grand Parc Bordeaux* [Foto]. <https://www.architectura.be/nl/nieuws/dan-toch-geen-belgische-winnaar-mies-van-der-rohe-award/>

Ruault, P. (2025). *Transformation of 530 dwellings / Lacaton & Vassal + Frédéric Druot + Christophe Hutin architecture* [Foto]. <https://www.archdaily.com/1035900/the-role-of-architects-is-shifting-from-solitary-visionaries-to-collective-activists>

SGS. (z.d.). *Alkali-Silica Reaction (ASR)* [Foto]. Geraadpleegd <https://www.tecservices.com/testing/petrography-concrete-laboratory-petrograph/>



Sika. (z.d.). *Protective impregnations* [Foto]. Geraadpleegd <https://qbr.sika.com/en/construction/concrete-repair/concrete-protection/hydrophobic-impregnations.html>

Southeast Asia Construction. (z.d.). *The new W 100 HR can be set to mill at three different drum speeds*. [Foto].

Geraadpleegd <https://seac.tradelinkmedia.biz/publications/7/news/3825>

STATS Australia. (z.d.). *Concrete pull off test* [Foto]. Geraadpleegd <https://www.statsaustralia.com.au/asset-management-services/field-tests-non-destructive/>

Techbank. (2025). *Open dagen op 12 en 13 september 2025* [Foto]. <https://techbank.nl/open-dagen-op-12-en-13-september-2025/>

Van Elburg, A. (2022). *[Circulaire ontmanteling holle welfsels uit het Prinsenhof Arnhem]* [Foto].

<https://circulairebouweconomie.nl/interview/circulair-slopen-is-een-omgekeerd-bouwproces/>

WE Architecture. (2018). *Gellerup Masterplan* [Visualisatie]. <https://www.we-a.dk/urban-planning-landscaping/gellerup-masterplan>

Zuyd. (z.d.). *Superlocal* [Foto]. Geraadpleegd <https://surd.nl/project/superlocal/>

9. Bijlagen





9.1. Bijlage A: Model e-mail naar architecten- en ingenieursbureaus

Van: Gilles Vandenbussche (givdnbus.vandenbussche@ugent.be)

Naar: [...]

Onderwerp: Masterproef hergebruik betonelementen

Beste [...],

Ik ben Gilles Vandenbussche, masterstudent Burgerlijk Ingenieur Architectuur, en ben momenteel aan het werken aan een masterproef over het hergebruiken van betonelementen.

Mijn interesse in het hergebruiken van bouwelementen is gedurende mijn opleiding gegroeid naar een interesse in het hergebruiken van beton. Sinds beton, en met name structureel beton, het meeste opgeslagen energie bezit, zit er een enorm potentieel in het hergebruiken ervan op ecologisch vlak. Maar liefst 45% van de gebouwde massa is beton, wat het hergebruikverhaal nog belangrijker maakt. Gebouwen die noodgedwongen afgebroken moeten worden, worden vaak verpulverd. In het beste geval kunnen de betongranulaten opnieuw verwerkt worden in gerecycleerd beton. Ik geloof in het rechtstreeks hergebruiken van de elementen zelf.

Zouden jullie lopende of opgeleverde projecten hebben/kennen die gebruik maken van hergebruikte betonelementen? Ik zou graag enkele projecten opvolgen/inkijken om de moeilijkheden van het hergebruikverhaal in kaart te brengen. Op deze manier zal het duidelijk worden waarom in Belgische context deze aanpak bijna niet gebruikt wordt, maar toch populair wordt in andere landen. Alle info is welkom!

Alvast bedankt,

Met vriendelijke groeten,

Gilles Vandenbussche

2^{de} Master Ingenieurswetenschappen: Architectuur

Universiteit Gent



9.2. Bijlage B: Model e-mail naar sloopbedrijven

Van: Gilles Vandenbussche (givdnbus.vandenbussche@ugent.be)

Naar: [...]

Onderwerp: Masterproef hergebruik betonelementen

Beste [...],

Ik ben Gilles Vandenbussche, masterstudent Burgerlijk Ingenieur Architectuur, en ben momenteel aan het werken aan een masterproef over het hergebruiken van betonelementen.

Mijn interesse in het hergebruiken van bouwelementen is gedurende mijn opleiding gegroeid naar een interesse in het hergebruiken van beton. Sinds beton, en met name structureel beton, het meeste opgeslagen energie bezit, zit er een enorm potentieel in het hergebruiken ervan op ecologisch vlak. Maar liefst 45% van de gebouwde massa is beton, wat het hergebruikverhaal nog belangrijker maakt. Gebouwen die noodgedwongen afgebroken moeten worden, worden vaak verpulverd. In het beste geval kunnen de betongranulaten opnieuw verwerkt worden in gerecycleerd beton. Ik geloof in het rechtstreeks hergebruiken van de elementen zelf.

Zouden jullie lopende of gerealiseerde ontmantelingswerken hebben waarin betonelementen worden gerecupereerd? Ik zou graag enkele projecten opvolgen/inkijken om de moeilijkheden van het hergebruikverhaal in kaart te brengen. Op deze manier zal het duidelijk worden waarom in Belgische context deze aanpak bijna niet gebruikt wordt, maar toch populair wordt in andere landen. Alle info is welkom!

Alvast bedankt,

Met vriendelijke groeten,

Gilles Vandenbussche

2^{de} Master Ingenieurswetenschappen: Architectuur

Universiteit Gent



9.3. Bijlage C: Gecontacteerde instanties

Bureau	Type	Status betonhergebruik
B2Ai	Architect en ingenieur	Niet
Alheembouw	Ingenieur	Niet
Util	Ingenieur	Niet
BC	Architect en ingenieur	Uitgevoerd
LDSRa	Architect	Niet
360 Architecten	Architect	Geprobeerd
Ergon	Ingenieur	Niet
Willy Naessens	Ingenieur	Niet
51N4E	Architect	Niet
Bovenbouw	Architect	Niet
BLAF	Architect	Niet
Enjoy Concrete	Ingenieur	Niet
De Meuter	Sloop	Niet
Circular Concrete	Ingenieur	Niet
Mourik	Sloop	Niet
ARGV	Sloop	Niet
Sanacon	Ingenieur	Niet
SGS	Certificatie	Niet
SBE	Ingenieur	Niet
Sweco	Ingenieur	Niet
Babini Geysen	Architect	Gewonnen wedstrijdvoorstel
TEN	Architect	Gewonnen wedstrijdvoorstel
Jan de Nul	Ingenieur	Niet
Bureau Bouwtechniek	Ingenieur	Niet
Baukunst	Architect	Verloren wedstrijdvoorstel
VVV	Architect	Niet
Terwecoren Verdickt	Architect	Niet
VK	Architect en ingenieur	Niet
Dierendonck Blancke	Architect	Niet
Renotec	Bouw	Niet
De Nys	Aannemer	Niet
Artes	Bouw	Niet
Abcis Architecten	Architect	Niet
Havana	Architect	Niet
Archipl	Architect	Niet
Abetec	Architect en ingenieur	Niet
Monument Group	Bouw	Niet
Marie José van hee	Architect	Niet
Houben	Bouw	Niet



Acasus	Onderzoek	Niet
Tomas Ooms	Architect	Niet
Van Den Braembussche	Betonleverancier	Niet
NU Architectuuratelier	Architect	Niet
Maker Architecten	Architect	Niet
Tectum group	Expertise	Niet
Mouton	Ingenieur	Niet
Solusio	Onderhoud	Niet
Power construct	Sloop	Niet
Sloopwerken Robin	Sloop	Niet
De Boeck Sloopwerken	Sloop	Niet
Joachim Vandebelde	Sloop	Niet
Afpraak Antwerpen	Sloop	Niet
Afpraakwerken Van Kempen	Sloop	Niet
Grondwerken groep	Sloop	Niet
Johan Janssens	Sloop	Niet
Gebroeders Dielis	Sloop	Niet
Baldewijns	Aannemer	Niet
Jan de Vylder	Architect	Uitgevoerd
UR Architects	Architect	Niet
AgWA	Architect	Niet
Jasper Eysers	Architect	Niet
Dhooge & Meganck	Architect	Niet
BACK architecten	Architect	Niet
FEBE	Vereniging	Niet
Buildwise	Vereniging	Niet
Ouest	Architect	Niet
Callebaut Architecten	Architect	Niet
Furnibo	Aannemer	Niet
Denys	Aannemer	Niet
Democo	Bouw	Uitgevoerd
Valcke	Prefab beton	Niet
Coliseum	Circulair bouw	Niet
Cric	Onderzoek	Niet
Barta Construct	Aannemer	Niet
Sybo	Aannemer	Niet
Hyboma	Aannemer	Niet
Abotec	Aannemer	Niet
ACO bouwteam	Aannemer	Niet
Alcasa woningbouw	Aannemer	Niet
Herweyers	Aannemer	Niet
Scherpereel	Aannemer	Niet



Vanhoutven	Aannemer	Niet
Dekoninck	Aannemer	Niet
Sadones	Aannemer	Niet
Keppens	Aannemer	Niet
Groep Versluys	Aannemer	Niet
Vandebaets	Aannemer	Niet
Dewaele	Aannemer	Niet
Bouwen en verbouwen Ivo	Aannemer	Niet
Bouillon bouw	Aannemer	Niet
Eribo	Aannemer	Niet
Debrabant	Aannemer	Niet
Vanhove	Aannemer	Niet
Milliau	Aannemer	Niet
Kiekens	Aannemer	Niet
Bouwteam 2000	Aannemer	Niet
Bouwwerken Debuck	Aannemer	Niet
Peter Maes	Aannemer	Niet
Schockaert	Aannemer	Niet
Spillebeen	Aannemer	Niet
Taelman	Aannemer	Niet
Verstraete	Aannemer	Niet
Build2	Aannemer	Niet
Builthings	Aannemer	Niet
Buyseprojects	Aannemer	Niet
Clarus	Aannemer	Niet
Groep Cnudde	Aannemer	Niet
Corpus	Aannemer	Niet
Damme bouw	Aannemer	Niet
De Baets	Aannemer	Niet
DCV Laarne	Aannemer	Niet
Pelsmaecker	Aannemer	Niet
Schamphelaire	Aannemer	Niet
Degraeve	Aannemer	Niet
Debra	Aannemer	Niet
Danilith	Aannemer	Niet
Demeestere	Aannemer	Niet
Marc Demeulenaere	Aannemer	Niet
Dero	Aannemer	Niet
Detrac	Aannemer	Niet
Tom dsvh	Aannemer	Niet
d'Huyvetter beton	Aannemer	Niet
Dirk Bradt	Aannemer	Niet



DSK bouw	Aannemer	Niet
FDK	Aannemer	Niet
Simoen	Aannemer	Niet
Govaere	Aannemer	Niet
Het Bouwteam	Aannemer	Niet
Huysman bouw	Aannemer	Niet
ICS bouwservice	Aannemer	Niet
Ipes	Aannemer	Niet
K-construct	Aannemer	Niet
Lerno	Aannemer	Niet
Erwin Lippens	Aannemer	Niet
Vulsteke	Aannemer	Niet
Olivier construct	Aannemer	Niet
Penl	Aannemer	Niet
Revanbouw	Aannemer	Niet
RLR construct	Aannemer	Niet
Thomas Deleyn	Aannemer	Niet
Tradibo	Aannemer	Niet
ITB project	Aannemer	Niet



9.4. Bijlage D: verantwoord gebruik van artificiële intelligentie

Bij de totstandkoming van deze masterproef is gebruikgemaakt van artificiële intelligentie (AI), specifiek het taalmodel Google Gemini. Deze ondersteuning heeft zich hoofdzakelijk beperkt tot taalkundige aspecten, zoals het verbeteren van de zinsbouw, grammatica en algemene leesbaarheid van de tekst. Daarnaast is de tool ingezet voor technische bijstand binnen specifieke softwareapplicaties zoals Microsoft Word en Excel, en voor het genereren van kleurenpaletten ten behoeve van de visuele vormgeving.

Bij elke interactie is de gegenereerde output telkens onderworpen aan een kritische zelfreflectie en handmatig bijgestuurd. Alle inhoudelijke analyses, het onderzoek, de bouwtechnische aspecten, de berekeningen en de achterliggende denkpatronen zijn bijgevolg volledig zelfstandig en zonder inhoudelijke tussenkomst van artificiële intelligentie gegenereerd.



17