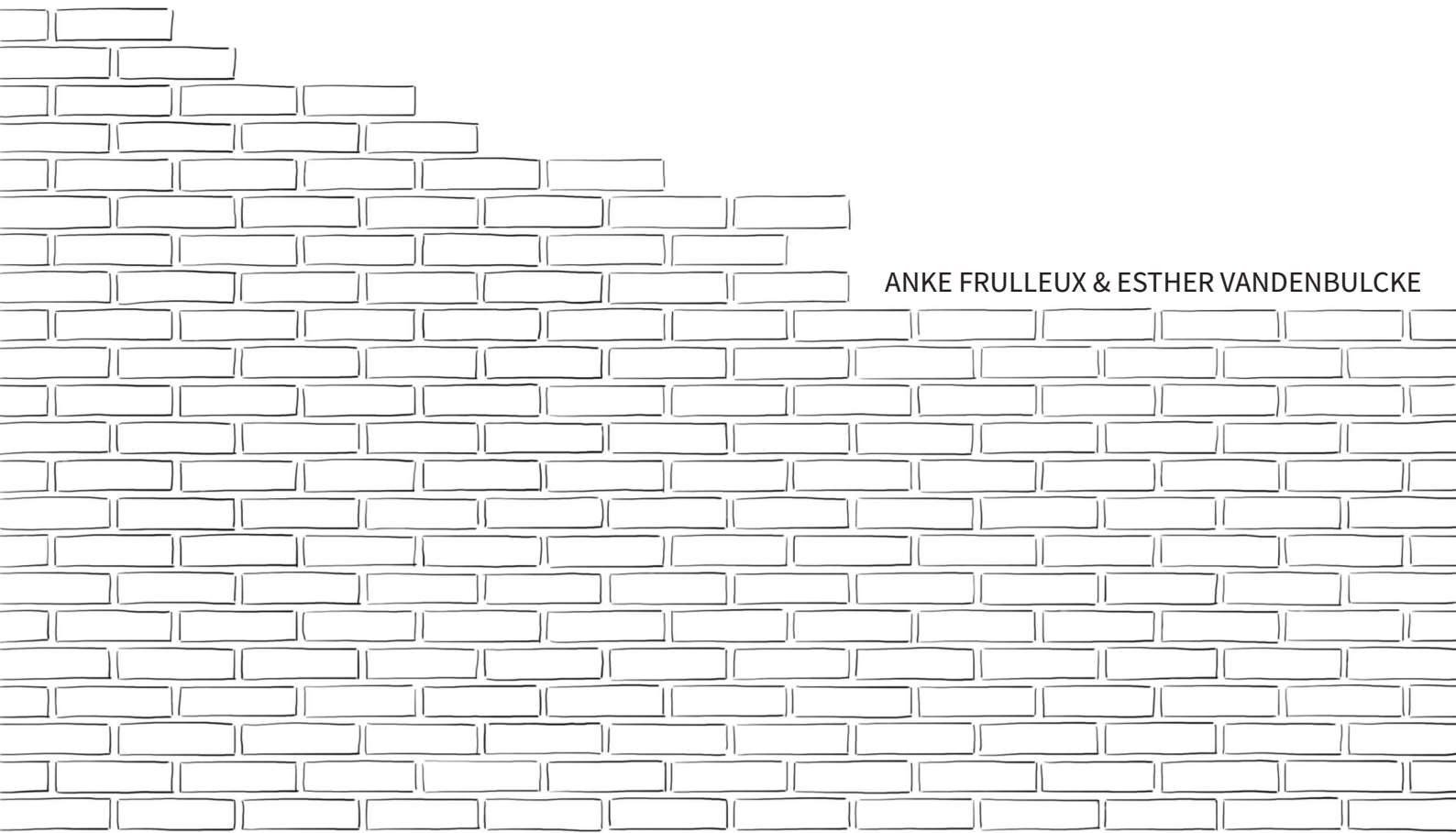


ONDERZOEK NAAR DE MILIEU- IMPACT BIJ HERGERBUIK VAN KERAMISCHE GEVELSTENEN



ANKE FRULLEUX & ESTHER VANDENBULCKE

Onderzoek naar de milieu-impact bij hergebruik van keramische gevelstenen

Anke Frulleux, Esther Vandenbulcke

Studentennummers: 01808534, 01800177

Promotoren: prof. dr. ir. arch. Marijke Steeman, prof. dr. Lionel Devlieger
Begeleider: Katrien Devos

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Master of Science in de ingenieurswetenschappen: architectuur

Academiejaar 2022-2023

VOORWOORD

Circulariteit en duurzaamheid zijn binnen de architectuurwereld zeer actuele thema's. Het topic van hergebruik van bouwmaterialen leek ons daarom niet alleen interessant om aan bij te dragen, het is tevens een mogelijkheid om hier enorm veel uit te leren. Doorheen dit masterproefjaar werden nieuwe inzichten gecreëerd, ideeën opgedaan, contacten gelegd en soms eens gevloekt (op de thesis, niet elkaar), maar er werd vooral een mooi resultaat neergezet. We willen dan ook in dit voorwoord enkele personen bedanken die ons onvoorwaardelijk gesteund hebben het voorbije jaar.

Als eerste willen we onze promotoren, prof. dr. ir.-arch. Marijke Steeman en prof. dr. Lionel Devlieger, bedanken om ons de mogelijkheid te geven aan dit onderwerp te werken. Daarnaast willen we ze ook bedanken voor de constructieve feedbackmomenten en de hulp die ons werd geboden wanneer we vragen hadden. Daarnaast willen we ook onze begeleidster, ir.-arch. Katrien Devos, bedanken voor het uitgebreide advies, waardevolle tips en de betrokkenheid bij onze thesis. We konden steeds terecht bij haar voor vragen, onzekerheden en werden steeds terug gemotiveerd om verder te gaan.

Ook heeft de samenwerking met het Masterproefatelier Circulair Bouwen van de Stadsacademie bijgedragen aan het traject. De input van andere studenten en actoren aanwezig in de workshops was zeer waardevol en maakte het mogelijk onze thesis vanuit een ander perspectief te beoordelen.

Daarnaast willen we ook enkele bedrijven bedanken voor de bezoeken die we mochten brengen en de interessante gesprekken die hieruit volgden: Franck, HuisMus, Van Huele, Westvlaamse Steencentrale, Fryns-Boret, Freddy Verhoye en Recupan. Zonder hen was het maken van deze thesis niet mogelijk geweest. Ook Laurie Dufourni en Christel Van Loock van de Belgische Baksteenfederatie en Armelle Windels van Wienerberger Belgium willen we bedanken voor de nieuwe inzichten die verworven werden in het huidige productieproces van baksteen en duurzame technieken die hierop inspelen.

We willen ook beide ons gezin bedanken om ons te ondersteunen doorheen de vijf jaar durende studie. De interesse die steeds getoond werd, wordt sterk gewaardeerd. Daarnaast wil ik, Anke, ook mijn vriend, Migèl Smolders, bedanken voor de vele mooie momenten, voortdurende aanmoediging en kritische blik op elementen uit de masterproef. Bovendien willen we ook al onze vrienden bedanken. Het dagelijks samen werken in studio C zorgde ervoor dat we de motivatie nooit verloren. Ook de pauzes en nodige afleidingen die hiermee gepaard gingen werden sterk geapprecieerd.

Ten slotte willen we ook elkaar bedanken. Zonder de goede en leuke samenwerking was dit resultaat er nooit geweest. We konden steeds op elkaar rekenen en door het gelach tussendoor was het aangenaam de masterproef te schrijven. Op een mooie noot beëindigen we hiermee onze studententijd.

We wensen iedereen alvast veel leesplezier en willen nogmaals iedereen bedanken, zonder jullie was dit niet mogelijk geweest!

Anke Frulleux & Esther Vandenbulcke

TOELATING TOT BRUIKLEEN

De auteurs geven de toelating 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.

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

In the case of any other use, the limitations of the copyright have to be respected, in particular with regard to the obligation to state expressly the source when quoting results from this master dissertation.

Gent, 22 mei 2023

Anke Frulleux & Esther Vandenbulcke

OVERZICHT

Onderzoek naar de milieu-impact bij hergebruik van keramische gevelstenen

Door: Anke Frulleux
Esther Vandenbulcke

Promotoren: prof. dr. ir.-arch. Marijke Steeman
prof. dr. Lionel Devlieger

Begeleider: ir.-arch. Katrien Devos

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Master of Science in de ingenieurswetenschappen: architectuur

Vakgroep Architectuur en Stedenbouw
Voorzitter: prof. dr. ir.-arch. Johan Lagae
Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur
Universiteit Gent
Academiejaar 2022-2023

Samenvatting

De bouwindustrie heeft een aanzienlijke impact op onze omgeving en zal sterk bijdragen aan de klimaatopwarming. De groeiende markt en vraag naar nieuwe producten zal hier een grote rol in spelen. De grote materialenvoorraad die aanwezig is in de bebouwde omgeving, voornamelijk de keramische gevelstenen aanwezig in het Belgische landschap, is vaak nog in goede conditie, maar wordt doorgaans als afval gezien. De terugwinning en hergebruik van deze materialen vormt een mogelijkheid om de impact op het milieu te doen dalen. Bij deze circulaire strategie worden besparingen gemaakt op effecten voortkomend uit de vervaardiging van materialen en deze gerelateerd aan de afbraak ervan. Het gebrek aan informatie dat in dit discours aanwezig is, de mentaliteit ten opzichte van hergebruik en logistieke moeilijkheden gepaard met de terugwinning, vormen knelpunten die de doorvoering bemoeilijken. Aan de hand van een levenscyclusanalyse wordt een vergelijking gemaakt tussen nieuw geproduceerde en hergebruikte keramische gevelstenen. Data, verworven door middel van gesprekken met specialisten in dit veld, zal de basis vormen voor het in kaart brengen van de terugwinningsprocessen en wordt gebruikt tijdens de berekeningen. Het bekijken van diverse scenario's zal de mogelijkheid geven te onderzoeken welke processen het meeste invloed hebben, hoe deze beïnvloed worden en op welke manier ze in de toekomst verbeterd kunnen worden. Vaststellingen uit dit onderzoek worden aangewend om het hergebruik van materialen te promoten in de circulaire context en hoe hierop kan worden ingespeeld bij toekomstige terugwinning.

Trefwoorden

Keramisch gevelmetselwerk, hergebruik, terugwinning, levenscyclusanalyse, milieu-impact, bakstenen

Investigating the environmental impact of reclaimed ceramic façade masonry

Anke Frulleux & Esther Vandenbulcke

Supervisors: prof. dr. ir.-arch. Marijke Steeman, prof. dr. Lionel Devlieger, ir.-arch. Katrien Devos

Abstract – The building industry has a considerable impact on our environment and consequently contributes to the global warming of the planet. These repercussions are to a great extent the result of a continuously evolving market and a never-ending demand for products. New materials keep on being produced, while at the same time a large stock is available in the built environment. Especially in the Belgian city-scape, recognizable for its countless brick façades, materials often still in good condition are considered as waste. The recovery and reuse of these materials is a way to both reduce the environmental impact related to the production of new materials and to limit effects arising from demolition. However, limited information available to either government agencies or individuals, will create a barrier in implementing this strategy. Through a life cycle assessment, a comparison is made between new produced and reclaimed ceramic façade masonry. By the use of data, received from specialists in the field, recovery processes are mapped out and will be individually studied in this research. The goal is to prove the extent to which reclaimed masonry can lead to significant reductions in the environmental impact and to study where these impacts are located in the recovery and reuse of the bricks. This way, a clear understanding can be developed on how the results have been divided over the processes, where possible interventions can take place and how reuse can be promoted in the context of durability.

Keywords – ceramic façade masonry, reuse, recovery, life cycle analysis, environmental impact, bricks

I. INTRODUCTION

The building sector is a huge polluter and keeps putting an increasing pressure on the environment. The sector, responsible for more than a third of the worldwide greenhouse gas emissions and 36% of CO₂ emissions, is a strong contributor to the climate change [1]. A part with a considerable influence on these problems will be the production of building materials. Not only emissions are a consequence of these processes, this industry will be responsible for most of the energy demand, depletion of raw materials and an increasing amount of demolition waste [2] [3]. It's clear that changes have to be made towards the future. Also in the context of construction, steps have to be taken. The transition to a circular economy, which keeps products and materials as long as possible in a closed cycle, is the main framework in which strategies around sustainability will be implemented. By optimising and controlling scarce resources, emissions are lowered and accordingly, the impact on the climate will be reduced [4]. Besides prevention, reuse of materials is the most efficient way in which these goals are achieved and is accompanied by some advantages. The positive impact on the environment will be the main reason why reuse can be incorporated. In addition, other factors can also be distinguished. Economic benefits will arise by this new market and will generate new job opportunities. An

architectural factor can also be related to the recuperation. Cultural values imbedded in materials will often prove its worth to preserve them. However, in the setting of circularity, reuse is the least applied method. Only 1% of discharged materials are recovered [5]. These barriers, that prevent reuse, can be classified in different categories, all related to multiple subjects. A societal framework represents the missing knowledge available in the discourse together with the hesitant mindset of individuals active in this sector. In addition, uncertainties and logistic problems can be related to organizational imperfections which, together with an unstable market in an economic framework, will hold the most resistance. A last legislative framework will influence all previous frameworks, but the absence of regulations will affect them in a negative way [6] [7]. These difficulties and obstructions weren't always that remarkable. High intensities of reuse and other ways of recuperation existed a long time ago. During the Roman Empire it was common to recuperate architectural elements. All of the materials that were available could be used in new projects. This ideology was continued until the 18th century and seen as a economic interesting activity. Recovered materials would be sold with larger profit compared to the dismantling costs [8].

The ceramic materials were also part of these principles. The bricks, that were introduced by the Romans, spread rapidly across the continent. Between the 16th and 18th century, Flanders was seen as the centre of their production and bricks quickly began dominating the cityscape [9]. Despite the appearance of new materials after the Second World War, Belgium remained a big production centre for the fabrication of ceramic bricks. Throughout history, it is therefore one of the most used building materials. The physical and mechanical properties of the material, especially those for ceramic façade masonry, but also the little maintenance needed and long lifespan, ensure that the material can be reused. For new produced masonry, the production stage will effect the environment in a negative way. During the energy intensive processes such as combustion of fuels, the electricity use and the chemical carbonatation of the raw materials, a significant amount of greenhouse gasses is released [10]. Carbon capture and storage, dematerialisation, heat recovery, green energy and alternative energy sources are all techniques to compensate these effects, originating from this production stage [11]. The focus on reuse, however, can be meaningful in significantly reducing the environmental impact over a whole life cycle.

II. METHODOLOGY

A. Collecting data

Through the website Opalis, specialists on the recovery of ceramic façade masonry were contacted. By visiting these companies, data was collected, necessary for understanding the recovery process and the simulations later on in this research.

However, the data acquired showed discrepancies. Different methods can be used to achieve the same results. Overall the process of recuperation of bricks can be summarized as follows: disassembly of the wall, a first sorting, transport to the company, cleaning of the bricks, a second sorting, stacking on a pallet, storage and transport to the new construction site. First the disassembly can be done manually with hammer and chisel or with the use of a crane. It is important that this is done with care to minimize the loss of material. A first sorting process parts mortar residues and waste from suitable masonry. Not all bricks can be reused, masonry derived from foundations and chimney's are too polluted and need to be separated. Transportation of the acceptable bricks to the company is normally done by truck and can have different values. Distances can range from 10 km, if local construction sites are considered, up to 200 km, when brick are collected just outside of Belgium in neighboring countries. This will influence the overall environmental impact of the recovery process. The cleaning of the individual bricks is one of the most important and most time consuming parts. This can be done manually with a chisel, axe or wire brush or mechanically with vibrating plates of pneumatic chisel. Only small residues of mortar can be tolerated to accommodate further reuse. The duration of this process depends on the type of mortar used in previous applications. Masonry with lime mortar is cleaned more easily compared to cement mortar. This is the result of the hardness and stronger adhesion of cement mortar to the bricks and has cracking of more bricks and thus more waste as a result. A second sorting is usually done simultaneously with this procedure. Bricks that don't have at least one good head and stretch are kept separately. Generally 5-20% of masonry is lost during cleaning and goes to a recycling plant. In addition, bricks are grouped according to size, color and type. These batches are stacked, preferably in a staggered way, and covered with a shrink wrap to make them ready for storage. It is important to protect the masonry from weather conditions to have them dry when used. Lastly the bricks are transported to the new construction site. Again, the distance between the business and location of new use can vary greatly. Transportation to nearby cities, as well as countries like Australia and Israel are possible. [12]

B. Life Cycle Analysis

To determine the environmental impact of the recovery process and it's individual steps, a life cycle assessment (LCA) is carried out. All life cycle stages are considered according to EN 15978, and thus a cradle-to-grave analysis is done [13]. An exception is made with module B, the use stage, that isn't taken into account because of the focus on embedded energy of ceramic façade masonry. To have more profound insights on the different steps taken to recover masonry, the study will be divided in three parts. First, module A1-3, the production stage, is considered with a functional unit of 1 EUR-pallet bricks that is stacked 1 m in height. The dimensions that correspond are 1,2 x 0,8 m. The individual stones correspond to a format called

'Waalformaat' and are 200 x 100 x 50 mm in dimensions. By using this format, 800 bricks fit on a EUR-pallet. This part of the study starts at the transportation of the masonry to a recuperation business. In a second part, the whole life cycle A-C will be looked at. Here a functional unit of 1 m² brick and mortar wall will be considered. By doing so the effect related to production of these mortars will be taken into account. In the last and third part, only module C is included. In this situation, the selective and destructive demolitions is compared. The environmental impact is calculated by the software SimaPro and data is retrieved from the ecoinvent 3.6 database supplemented with the data collected from specialists. The impact assessment used is the ReCiPe 2016-method (Hierarchist), as well as the PEF-method implemented by the use of EF 3.0 Method in SimaPro.

C. Determine scenarios

In the first part of the study, the actual recovery process of the bricks is considered. We start from four scenarios as the basis and make variations on them as we go. These four types come about through combination of two different densities of bricks, respectively 1400 and 1800 kg/m³, and two different types of mortar used in the previous application, respectively cement and lime mortar. To these four scenarios a specific loss is assigned during cleaning. Other elements, such as transportation distance and manner of cleaning are fixed and will be changed in the variations. Here 50 km from demolition to the company and manual cleaning are considered. In these variations, a change to mechanical cleaning and different transportation distances of 10 and 200 km will be looked at.

In the second part, the whole life cycle is taken into account. Two base scenarios, with light and heavy bricks and 10% loss, are the starting point. Again, to form a reference point for further variations, the transportation distance to the new construction site is fixed at 50 km and the mortar used is cement mortar. The manner of demolition at the end-of-life is destructive and 95% of the waste is recycled. The variations of this part focuses at the effect of this transportation distance to the construction site, by changing it to 100 and 1000 km respectively. The type of mortar used is also substituted by lime, gauged and adhesive mortar. In this last part, the normal fractions for bricks and mortar, respectively 0,798 and 0,202, are changed to 0,899 and 0,101 because here the masonry joints are typically much smaller. Lastly, the effect of these mortar fractions is also investigated, by adding an extra amount of 20% to the mortar fraction. This is done, because with reclaimed ceramic façade masonry, irregularities of the stone can be compensated by this extra amount of mortar.

In the last part, only the end-of-life stage is considered. Here, selective demolition is taken as a base. With this method, the masonry can once more be recovered for further use. Like the first part, four scenarios are created through combination of light and heavy bricks and two types of mortar, respectively cement and gauged mortar. Furthermore, a loss rate during demolition is assigned to these types, that is mostly being recycled. These base scenarios are compared to variations that considers destructive demolition.

III. RESULTS

A. Part A1-3

In this first section of the results, the influence of the recovery processes themselves are analyzed. For this stage, four different base scenarios are taken into account, where the individual impact of each process is represented. One of these scenarios, respectively for lime mortar, dense bricks and a distance of 50 km to the business, is represented in the figure below.

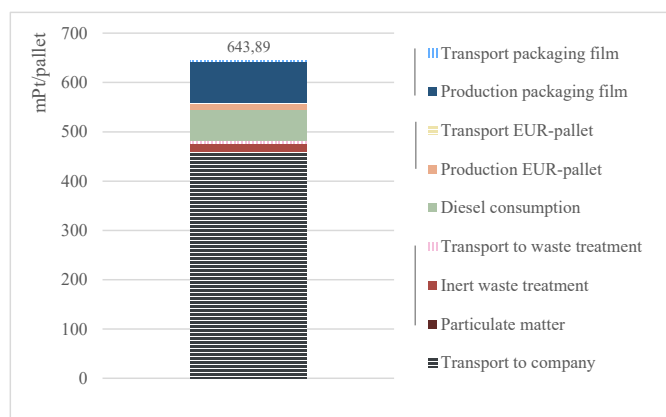


Figure 1: ReCiPe, total score, divided by process for dense stones with lime mortar and 50 km transportation distance.

The ‘Transport to company’ will hold the most environmental impact of all the recovery processes. In addition, ‘Production packaging film’ and ‘Diesel consumption’ will also represent a large part of the total environmental impact. These contributions are related to the combustion or processing of fossil fuels. Besides these, the rest of the procedures will have a considerably lower result. Even ‘Particulate matter’ is so insignificant that it can be neglected. Changes within these initial situations will affect the score. Mechanical cleaning of the bricks, and therefore the addition of electricity used in the processes, will raise the score of this example with 22,12%. Changes in ‘Transport to company’ will also cause discrepancies. Reducing this distance to 10 km, will decrease the total with 57,07%. The opposite will happen when increasing this value. A distance of 200 km will affect the score with an increase of 214,03%. This environmental impact isn’t only represented in one total score. The impact of the different situations can also be examined throughout different environmental indicators. The indicators ‘Climate change’ and two types of ‘Resource use’ have the biggest contribution to this whole score. Overall, compared to the production of new bricks, an average of 85% of the environmental impact can be saved.

B. Part A-C

In a next section the whole life cycle is taken into account and the difference between the modules themselves will be studied. Various scenarios will be compared to the ones where new bricks are implemented.

When looking at the individual modules for recuperated bricks, it can be seen that module A will be the most influential. Module C, responsible for procedures at the end-of-life will be a quarter of the total. The production of mortar, necessary for the construction of a new façade, will have the most impact in module A. Variations in this mortar, going from cement to a

lime, gauged or adhesive mortar will change this total. Even the use of an additional share in quantity will be of importance. Aside of this production of mortar, subsection A4, the transport to the new site will also change according to the scenario. Greater distances will have a negative impact on the total and result in an increase of the overall score.

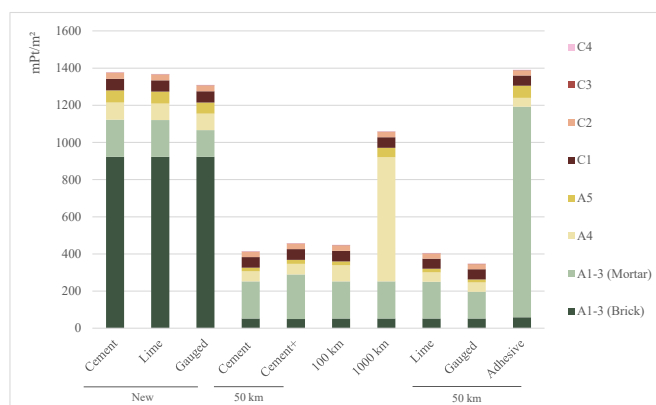


Figure 2: ReCiPe, total score, divided by modules for different scenario's.

When these results are compared to the ones of a façade with new bricks, important differences can be seen. Despite the comparable contribution of module C, the total environmental impact is three times higher. It is mostly the production of the new bricks that makes this increase happen.

C. Part C1-4

In a last section the end-of-life is studied. The impact of destructive as well as selective demolition necessary for reuse in another life cycle, is analyzed.

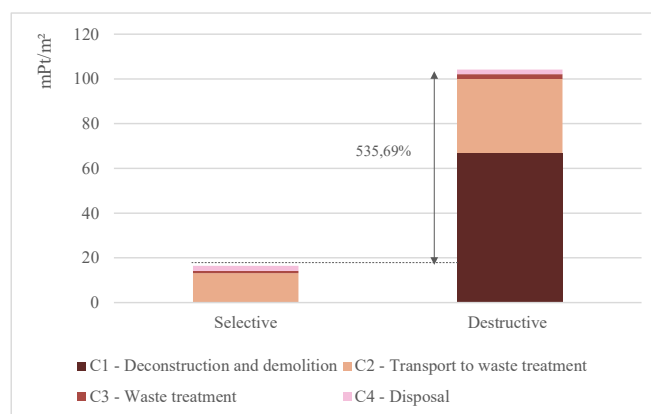


Figure 3: ReCiPe, total score, divided by modules for dense brick with gauged mortar considering selective and destructive demolition.

The impact related to destructive demolition will be at least five times higher than this for selective demolition. Consumption of fuels by machinery, needed for the deconstruction, isn’t present in selective demolition. In this case, everything is taken down manually by hand, which results in savings in C1. Waste and the treatment of it, associated with destructive demolition, will be a lot higher. During selective demolition most of the materials are reused and not considered waste. When a construction is demolished destructively, almost everything is recycled.

D. Sensitivity analysis

During the sensitivity analysis, several assumptions are verified. Because most of the variables used in this study were obtained through conversations with specialists, discrepancies between them are often present. In this section, the most uncertain ones and their impact on the different situations are analyzed. A first factor is the amount of waste generated during the recovery of bricks. A certain amount is assumed for every combination of brick and mortar. When these values are higher, impact related to the management of this waste will also increase. The impact of mechanical cleaning, or the electricity use linked to this, will be measured depending on the time needed to clean. A longer cleaning process will result in larger impacts. In this regard, the electricity mix for the respective country will also be influential. More renewable energy will reduce the impact. The particulate matter, neglectable at first, can be studied. The amount released during cleaning is based on the waste generated. This amount of particulate matter is increased when the calculation is made for the total mass of reclaimed bricks. However, the values obtained are still very low, so an abstraction can be made of their contribution. Two last factors that are inspected are the transport distance to waste treatment and the fuel used in a forklift needed on the site. When increasing the distance, the impact will therefore also rise, but this is only minimal. Other fuels used for combustion in forklifts will also decrease the impact. The options propane and diesel however show minimal differences between themselves, therefore the best option is the use of a battery.

IV. CONCLUSIONS

Throughout the study, it became clear that reuse of ceramic façade masonry can result in significant reductions of the environmental impact. Transportation plays an important role in the overall environmental score of reclaimed masonry. Depending on the transportation distance, this score can change remarkably. For this reason, it's important to rely as much as possible on local construction sites for demolition and local companies for the supply of reclaimed masonry. The use of biofuels or alternatives can also help reduce the impact related to transport. The same phenomena can be found when talking about the use of electricity for cleaning bricks mechanically. The electricity mix used can play an important role on this process, where a mix with more renewable energy can reduce the environmental impact.

This time needed for cleaning and thus the electricity use when done mechanically, is bigger when bricks originate from cement masonry. Besides this longer duration, the type of mortar also instigates the loss rate. Masonry with gauged mortar helps further recovery at the end-of-life stage. Besides, this mortar also has the lowest environmental impact per kg, and thus needs to be recommended in new applications.

Despite these savings in environmental impact and the possibilities to reduce them further, concerns have come forward. The building sector is cost-driven, resulting in production and construction that has to be done as quickly as possible. The labor-intensive processes needed for the recovery of ceramic façade masonry go against this principle. From the demolition, to the cleaning, sorting and stacking of the bricks, everything is mostly done manually. More employees are needed, which will drive up this cost for manpower. Apart from that, the need for resources and fuels for baking and drying, can

be saved. Because of this, the overall cost for reclaimed ceramic façade masonry is often lower than that of new façade masonry. This practice can be found in different regions of Belgium, but also in other countries different methods for the recovery of masonry are used. Cooperation between these actors can help improve the efficiency of the recuperation.

Circular strategies will play an important role in achieving goals around sustainability and the lowering of environmental impact. The recovery of ceramic façade masonry has proven to bring about significant savings in this respect. However, change must occur. Bottlenecks must be overcome and harmonization of recovery processes is recommended. Reuse of ceramic façade masonry has already achieved positive changes, but further steps can be taken.

V. REFERENCES

- [1] I. Bertin, M. Saadé, R. J. L. Roy, J.-M. Jaeger, and A. Feraille, "Environmental impacts of Design for Reuse practices in the building sector," *Journal of Cleaner Production*, vol. 349, p. 131228, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131228.
- [2] C. De Wolf, E. Hoxha, and C. Fivet, "Comparison of environmental assessment methods when reusing building components: A case study," *Sustainable Cities and Society*, vol. 61, p. 102322, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.scs.2020.102322.
- [3] Vlaanderen Circulair, "Urban Mining van gebouwen: Het creëren van waarde via het sluiten van materiaalstromen," Mar. 2021. Accessed: Nov. 07, 2022. [Online]. Available: https://vlaanderen-circulair.be/src/Frontend/Files/userfiles/files/FINAL%20Eindrapport%20Deelopdracht%201_versie%2020210329_hoge%20resolutie.pdf
- [4] VUB Architectural Engineering, "Bouwen voor een circulaire economie: Gebouwen, een dynamische omgeving," Nov. 2019. Accessed: Nov. 12, 2022. [Online]. Available: [https://www.vub.be/arch/files/dynamic_environment/VUB%20Architectural%20Engineering%20-%20Dynamische%20Omgeving%20\(2019.12\).pdf](https://www.vub.be/arch/files/dynamic_environment/VUB%20Architectural%20Engineering%20-%20Dynamische%20Omgeving%20(2019.12).pdf)
- [5] FCRBE, "Een gids voor het identificeren van bouwproducten met potentieel voor hergebruik," Mar. 2020. Accessed: Dec. 03, 2022. [Online]. Available: https://www.nweurope.eu/media/10131/nl-fcrbe_wpt2_d12_een_gids_voor_het_identificeren_van_bouwproducten_met_potentieel_voor_hergebruik.pdf
- [6] K. Knoth, S. M. Fufa, and E. Seilskjær, "Barriers, success factors, and perspectives for the reuse of construction products in Norway," *Journal of Cleaner Production*, vol. 337, p. 130494, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.130494.
- [7] G. Hobbs and K. Adams, "Reuse of building products and materials: Barriers and opportunities," in *Building as Material Banks*, Delft, Netherlands. [Paperpresentation]. Available: <https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2017/07/Reuse-of-building-products-and-materials-barriers-and-opportunities.pdf>
- [8] M. Ghyoot, L. Devlieger, L. Billiet, and A. Warnier, *Déconstruction et réemploi: Comment faire circuler les éléments de construction*. Lausanne, Switzerland: Presses polytechniques et universitaires romandes, 2018.
- [9] J. W. Campbell, *Baksteen: geschiedenis, architectuur, technieken*. Bussum, Netherlands: Thoth, 2003.
- [10] Y. D. Kancheva and R. A. Zaharieva, "End-of-life options for ceramic masonry units – environmental and performance-based perspective," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1276, no. 1, p. 012002, Feb. 2023, doi: 10.1088/1757-899x/1276/1/012002.
- [11] Cerame-Unie, "Ceramic roadmap to 2050," 2021. Accessed: Feb. 18, 2023. [Online]. Available: <https://cerameunie.eu/media/ambd23os/ceramic-roadmap-to-2050.pdf>
- [12] Franck, private communication, Nov. 2022; Fryns-Boret, private communication, Feb. 2023; Van Huele, private communication, Feb. 2023; Westvlaamse Steencentrale, private communication, Feb. 2023.
- [13] CEN, "NBN EN 15978: Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method," Nov. 2011. Accessed: Feb. 24, 2022. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/pdfMeta/RO/429889?l=E>

INHOUDSTAFEL

Deel 1: Literatuuronderzoek.....	1
1. Context.....	2
2. Circulariteit.....	5
2.1. Gebruiksenergie en ingebedde energie van gebouwen.....	5
2.2. De circulaire economie.....	6
2.3. Product en afval.....	10
3. Hergebruik.....	12
3.1. Voordelen van hergebruik.....	12
3.2. Onderscheid met recycling.....	16
3.3. Implementatie van hergebruik.....	17
3.4. Knelpunten.....	20
4. LCA en hergebruik.....	22
4.1. Europees kader.....	22
4.2. TOTEM en hergebruik.....	24
4.3. Vergelijking met andere landen.....	26
4.3.1. Nederland.....	26
4.3.2. Denemarken.....	28
5. De keramische materialen.....	29
5.1. Geschiedenis van de keramische materialen.....	29
5.2. Huidige stand van zaken.....	31
5.2.1. Productie en milieu-impact.....	31
5.2.2. Hergebruik en alternatieve technieken.....	35
Deel 2: Methodologie.....	37
1. Verzamelen van data.....	38
1.1. Opalis.....	38
1.2. Data.....	43
1.3. Terugwinningsprocessen.....	46
2. Levenscyclusanalyse.....	56
2.1. Doel en reikwijdte.....	56
2.1.1. Functionele eenheid.....	57
2.1.2. Systeemgrenzen en allocatiemethode.....	57
2.1.3. Levensduur.....	60
2.2. Levenscyclusinventarisatie (LCI).....	60
2.3. Levenscyclusimpactanalyse (LCIA).....	61
2.3.1. Milieu-impactindicatoren.....	61
2.3.2. Evaluatiemethode.....	62
2.4. Interpretatie.....	64

3. Bepaling scenario's.....	65
3.1. Deel A1-3.....	65
3.1.1. Handmatig en mechanisch kuisen.....	70
3.1.2. Transportafstand sloop naar bedrijf.....	71
3.1.3. Nieuw geproduceerde stenen.....	72
3.2. Deel A-C.....	72
3.2.1. Transportafstand bedrijf naar nieuwe werf.....	75
3.2.2. Soort mortel gebruikt in nieuw project.....	76
3.2.3. Fractie mortel gebruikt in nieuw project.....	79
3.2.4. Gevel met nieuwe stenen.....	79
3.3. Deel C1-4.....	80
Deel 3: Resultaten.....	83
1. Resultaten.....	84
1.1. Deel A1-3.....	84
1.1.1. Handmatig en mechanisch kuisen.....	92
1.1.2. Transportafstand sloop naar bedrijf.....	95
1.1.3. Nieuw geproduceerde stenen.....	100
1.2. Deel A-C.....	107
1.2.1. Transportafstand bedrijf naar nieuwe werf.....	109
1.2.2. Soort mortel gebruikt in nieuw project.....	112
1.2.3. Fractie mortel gebruikt in nieuw project.....	118
1.2.4. Gevel met nieuwe stenen.....	120
1.3. Deel C1-4.....	122
1.3.1. Selectief slopen.....	122
1.3.2. Destructief slopen.....	126
2. Sensitiviteitsanalyse.....	128
2.1. Verliespercentage bij het kuisen.....	128
2.2. Tijdsduur van het mechanisch kuisen.....	131
2.3. Elektriciteitsmix.....	133
2.4. Hoeveelheid fijnstof die vrijkomt tijdens het kuisen.....	138
2.5. Transportafstand van afval naar verwerkingsplaats	140
2.6. Soort brandstof gebruikt bij vorklift.....	142
Conclusie.....	145
Bronnen.....	149
Bijlagen.....	161
Bijlage 1: Waarden en aannames.....	162
Bijlage 2: Input SimaPro scenario's A1-3.....	165
Bijlage 3: Tabellen en figuren afkomstig van <i>Environmental profile of buildings</i> (TOTEM).....	181
Bijlage 4: Input SimaPro processen mortel.....	187

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Toevoer van grondstoffen in de wereld 1970-2019, per materiaalgroep (<i>Visualisation Centre, 2023</i>).....	2
Figuur 2: Toevoer van grondstoffen in Europa 1970-2019, per materiaalgroep (<i>Visualisation Centre, 2023</i>).....	3
Figuur 3: Trend van de <i>Raw Material Consumption</i> (RMC) per capita in 1970-2019, per land/regio (<i>Visualisation Centre, 2023</i>).....	4
Figuur 4: Vergelijking isolatiematerialen in TOTEM (<i>TOTEM, 2023</i>).....	5
Figuur 5: De lineaire en circulaire economie.....	6
Figuur 6: Project VAN VOLXEM (Vlaanderen Circulair, 2017).....	7
Figuur 7: Voorstelling van de functionele lagen.....	8
Figuur 8: Renovatieproject Maison des Associations in Esneux (Vlaanderen Circulair, 2017).....	9
Figuur 9: Ladder van Lansink 2.0.....	10
Figuur 10: Blokken gesneden uit de teruggewonnen gemetselde muur (Ucer et al., 2018).....	13
Figuur 11: (<i>About us / Rotor Deconstruction – Reuse of building materials made easy, 2023</i>).....	14
Figuur 12: Gevel- en interieurfoto van Kamikatz Public House (Castro, 2021).....	15
Figuur 13: Voorbeelden van een open en gesloten recyclage systeem in de bouwsector.....	16
Figuur 14: Relaties tussen de knelpunten bij hergebruik.....	20
Figuur 15: Overzicht van de verschillende levenscyclusfasen en bijhorende systeemgrenzen volgens de Europese standaard EN 15978:2011 (<i>CEN, 2011</i>).....	23
Figuur 16: Milieu-impact van een buitenwand (<i>TOTEM, 2023</i>).....	25
Figuur 17: Luchtfoto Hoffmannovens in Noeveren, Boom (Le Noir, 2017).....	30
Figuur 18: Jaarlijkse baksteenproductie in België (Belgische Baksteenfederatie vzw, 2021).....	31
Figuur 19: Algemeen productieproces van baksteen metselwerk.....	32
Figuur 20: Aandeel per soort emissies die vrijkomen bij de verschillende productieprocessen van baksteen (Cerame-Unie, 2021).....	33
Figuur 21: CO ₂ reductie traject (Cerame-Unie, 2021).....	34
Figuur 22: Maatregelen die bijdragen aan de reductie van emissies gerelateerd aan de verbranding van fossiele brandstoffen (Cerame-Unie, 2021).....	34
Figuur 23: Project Resource Rows, Lendager Group (Lissalde, 2022).....	35
Figuur 24: Het <i>Clickbrick</i> systeem van Wienerberger (Wienerberger, 2023).....	36
Figuur 25: Overzicht terugwinningsprocessen van keramisch gevelmetselwerk.....	43
Figuur 26: Overzicht en data van sorteren.....	44
Figuur 27: Overzicht en data van transport.....	44
Figuur 28: Overzicht en data van terugwinningsprocessen op bedrijf/werf.....	44
Figuur 29: Overzicht terugwinningsprocessen van keramische dakpannen.....	45
Figuur 30: Selectieve sloop van een metselwerk muur met behulp van een hamer en beitel.....	46
Figuur 31: Container met recuperatiestenen.....	47
Figuur 32: Vrachtwagen met een lading recuperatiestenen.....	48
Figuur 33: Loodtoren of Hageltoren in Brussel (Groulard & Circubuild, 2021).....	49
Figuur 34: Handmatig kuisen van de baksteen met een beitel.....	50

Figuur 35: Criko-beitel aangedreven door een compressor voor het mechanisch kuisen.....	50
Figuur 36: Lopende band en palletiseer-machine in het bedrijf Gamle Mursten (Gamle Mursten, 2023a).....	51
Figuur 37: Frontlader met recuperatiestenen.....	52
Figuur 38: <i>Bin bags</i> met halve stenen en drieklezoren.....	52
Figuur 39: Pallet met recuperatiestenen.....	53
Figuur 40: Verspringende stapeling van recuperatiestenen op een pallet.....	53
Figuur 41: Vorklift die instaat voor het verplaatsten van de pallets op het bedrijf.....	54
Figuur 42: Gestapelde pallets met krimphoes.....	54
Figuur 43: Stockage van recuperatiestenen.....	55
Figuur 44: Vrachtwagen met pallets recuperatiestenen.....	55
Figuur 45: Overzicht fasen in een levenscyclusanalyse.....	56
Figuur 46: Overzicht levenscyclusfasen en systeemgrenzen volgens EN 15978:2011 (CEN, 2011).....	58
Figuur 47: Vergelijking module A1-3 nieuwe gevelstenen en gerecupereerde gevelstenen.....	58
Figuur 48: Overzicht <i>cut-off</i> allocatiemethode.....	59
Figuur 49: Overzicht <i>substitution</i> en <i>distributed</i> allocatiemethode.....	60
Figuur 50: Overzicht impact-categorieën gehanteerd in de ReCiPe 2016 methode (European Commission & Business @ Biodiversity, 2021).....	62
Figuur 51: Overzicht impact-categorieën in de ReCiPe 2016 methode samen met hun relatie tot de gebieden van bescherming (European Commission & Business @ Biodiversity, 2021).....	63
Figuur 52: Overzicht modules meegenomen in het eerste deel (A1-3).....	65
Figuur 53: Overzicht naamgeving scenario's in het eerste deel (A1-3).....	66
Figuur 54: Overzicht van de vier beginscenario's met bijhorend verliespercentage (A1-3).....	67
Figuur 55: Overzicht van de vier beginscenario's in het eerste deel (A1-3).....	68
Figuur 56: Overzicht van de beginscenario's en variaties mechanisch kuisen.....	70
Figuur 57: Overzicht van de beginscenario's en variaties transportafstand naar bedrijf.....	71
Figuur 58: Overzicht van het scenario met nieuw geproduceerde stenen.....	72
Figuur 59: Overzicht modules meegenomen in het tweede deel (A-C).....	72
Figuur 60: Overzicht van de twee beginscenario's in het tweede deel (A-C).....	73
Figuur 61: Overzicht naamgeving scenario's in het tweede deel (A-C).....	73
Figuur 62: Overzicht van de beginscenario's en variaties transportafstand bedrijf naar nieuwe werf	75
Figuur 63: Grondstoffen mortels en plaasters (Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007).....	76
Figuur 64: Overzicht van de beginscenario's en variaties soort mortel gebruikt in nieuw project...	78
Figuur 65: Overzicht van de beginscenario's en variaties fractie mortel gebruikt in nieuw project..	79
Figuur 66: Overzicht van de scenario's met nieuw geproduceerde stenen.....	79
Figuur 67: Overzicht modules meegenomen in het derde deel (C1-4).....	80
Figuur 68: Overzicht naamgeving scenario's in het derde deel (C1-4).....	80
Figuur 69: Overzicht van de vier beginscenario's met bijhorend verliespercentage (C1-4).....	81
Figuur 70: Overzicht van de beginscenario's en variaties destructieve sloop.....	82
Figuur 71: Vereenvoudigd overzicht modules meegenomen in het eerste deel (A1-3).....	84
Figuur 72: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor beginscenario's (A1-3).....	85

Figuur 73: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor ZK.50.....	86
Figuur 74: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor beginscenario's (A1-3).....	87
Figuur 75: ReCiPe, <i>endpoint</i> , verdeeld per indicator voor ZK.50.....	88
Figuur 76: ReCiPe, <i>midpoint</i> , verdeeld per aandeel voor ZK.50.....	89
Figuur 77: PEF, <i>midpoint</i> , verdeeld per proces voor ZK.50.....	90
Figuur 78: PEF, <i>midpoint</i> , verdeeld per indicator voor beginscenario's (A1-3).....	91
Figuur 79: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor beginscenario's (A1-3) en variaties mechanisch kuisen.....	92
Figuur 80: ReCiPe, <i>midpoint</i> , verdeeld per indicator voor LK.50 en LK.50.M.....	93
Figuur 81: PEF, <i>midpoint</i> , verdeeld per proces voor beginscenario's (A1-3) en variaties mechanisch kuisen.....	94
Figuur 82: PEF, <i>midpoint</i> , verdeeld per indicator voor variaties mechanisch kuisen.....	95
Figuur 83: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor beginscenario's (A1-3) en variaties transport	96
Figuur 84: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor variaties transport 10 km.....	97
Figuur 85: ReCiPe, <i>midpoint</i> , verdeeld per aandeel voor LK.50 en LK.10.....	98
Figuur 86: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor ZK.200.....	99
Figuur 87: ReCiPe, <i>midpoint</i> , verdeeld per aandeel voor ZK.200.....	100
Figuur 88: ReCiPe, totaalscore, voor alle scenario's.....	101
Figuur 89: ReCiPe, <i>midpoint</i> , verdeeld per aandeel voor alle scenario's.....	102
Figuur 90: ReCiPe, <i>midpoint</i> , <i>Ionizing radiation</i> voor nieuwe stenen en variaties mechanisch kuisen	102
Figuur 91: ReCiPe, <i>midpoint</i> , <i>Terrestrial ecotoxicity</i> voor nieuwe stenen en variaties transport 200 km..	103
Figuur 92: ReCiPe, <i>midpoint</i> , <i>Mineral resource scarcity</i> voor nieuwe stenen en beginscenario's.....	103
Figuur 93: PEF, <i>midpoint</i> , verdeeld per indicator voor nieuwe stenen en ZK.50.....	104
Figuur 94: Vereenvoudigd overzicht modules meegenomen in het tweede deel (A-C).....	107
Figuur 95: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per module voor beginscenario's (A-C).....	108
Figuur 96: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per module voor LK.50 – C.50 en ZC.50 – C.50.....	109
Figuur 97: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per module voor beginscenario's (A-C) en variaties transport	110
Figuur 98: ReCiPe, totaalscore, voor beginscenario's en variaties transport.....	110
Figuur 99: ReCiPe, <i>midpoint</i> , verdeeld per aandeel voor types transport.....	111
Figuur 100: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor mortelsoorten.....	112
Figuur 101: IPCC 2013 GWP 100a, CO ₂ equivalent, verdeeld per proces voor mortelsoorten.....	113
Figuur 102: ReCiPe, totaalscore, voor mortelsoorten.....	114
Figuur 103: ReCiPe, totaalscore, voor mortelsoorten.....	115
Figuur 104: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per module voor beginscenario's (A-C) en variaties mortelsoort	115
Figuur 105: ReCiPe, <i>midpoint</i> , verdeeld per aandeel voor mortelsoorten.....	116
Figuur 106: PEF, <i>midpoint</i> , verdeeld per indicator voor mortelsoorten.....	117
Figuur 107: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per module voor beginscenario's (A-C) en variaties mortelfractie	118
Figuur 108: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per module voor LK.50 – C.50 en LK.50 – C+.50.....	119
Figuur 109: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per module voor alle scenario's.....	120
Figuur 110: Vereenvoudigd overzicht modules meegenomen in het tweede deel (C1-4).....	122
Figuur 111: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per module voor beginscenario's (C1-4).....	123
Figuur 112: PEF, <i>midpoint</i> , voor elektriciteitsverbruik.....	124

Figuur 113: PEF, <i>midpoint</i> , voor hydraulische graafmachine.....	124
Figuur 114: PEF, <i>midpoint</i> , voor sorteerfaciliteit.....	125
Figuur 115: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per module voor beginscenario's (C1-4) en variaties destructief slopen.....	126
Figuur 116: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor sensitiviteit verliespercentage.....	129
Figuur 117: PEF, <i>midpoint</i> , verdeeld per indicatoren voor sensitiviteit verliespercentage.....	130
Figuur 118: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor sensitiviteit tijdsduur mechanisch kuisen.....	131
Figuur 119: PEF, <i>midpoint</i> , verdeeld per indicator voor sensitiviteit tijdsduur mechanisch kuisen.....	132
Figuur 120: ReCiPe, totaalscore, voor sensitiviteit elektriciteitsmix binnen Europa.....	134
Figuur 121: PEF, <i>midpoint</i> , verdeeld per indicator voor sensitiviteit elektriciteitsmix.....	135
Figuur 122: IPCC 2013 GWP 100a, CO ₂ equivalent, voor sensitiviteit elektriciteitsmix.....	136
Figuur 123: ReCiPe, totaalscore, voor sensitiviteit elektriciteitsmix buiten Europa.....	137
Figuur 124: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor sensitiviteit elektriciteitsmix Zweden.....	137
Figuur 125: ReCiPe, totaalscore, voor sensitiviteit fijnstof.....	139
Figuur 126: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor sensitiviteit fijnstof.....	139
Figuur 127: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor sensitiviteit transportafstand.....	140
Figuur 128: PEF, <i>midpoint</i> , verdeeld per indicator voor sensitiviteit transportafstand.....	141
Figuur 129: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor sensitiviteit soort brandstof.....	142
Figuur 130: PEF, <i>midpoint</i> , verdeeld per indicator voor sensitiviteit soort brandstof.....	144

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Resultaten milieu-impact van de isolatiematerialen.....	5
Tabel 2: <i>Endpoint</i> LCA resultaten voor de nieuwe en teruggewonnen muur (Erduran et al., 2020)...	13
Tabel 3: Overzicht van de levenscyclusfasen die worden meegenomen per categorie in TOTEM.....	25
Tabel 4: Input processen en waarden voor 1 kg keramische gevelstenen van het type ZK.50.....	69
Tabel 5: Totaalscore voor beginscenario's, wijzigende processen.....	87
Tabel 6: Totaalscore voor beingscenario's, niet-wijzigende processen.....	87
Tabel 7: Totaalscore voor beginscenario's en variaties mechanisch kuisen.....	92
Tabel 8: Totaalscore voor beginscenario's en variaties transportafstand, transport naar bedrijf.....	96
Tabel 9: Totaalscore voor variaties transport 10 km, wijzigende processen.....	97
Tabel 10: Totaalscores voor verschillende fracties mortel.....	118
Tabel 11: Totaalscores voor selectief en destructief slopen, per module.....	126
Tabel 12: Scores voor impactindicatoren, sensitiviteit verliespercentage.....	130
Tabel 13: Totaalscore voor verbruik elektriciteit.....	131
Tabel 14: Scores voor impactindicatoren, sensitiviteit tijdsduur mechanisch kuisen.....	133
Tabel 15: Totaalscore voor beginscenario's, sensitiviteit elektriciteitsverbruik België en Zweden...	138
Tabel 16: Totaalscore en procentuele verschillen voor basisscenario's, sensitiviteit transportafstand	141
Tabel 17: Totaalscore voor lichte en zware stenen, sensitiviteit soort brandstof.....	143

LIJST MET AFKORTINGEN

RMC	Raw Material Consumption
EPB	Energie Prestatie Binnenklimaat
BEN	Bijna-energieneutraal
TOTEM	Tool to Optimise the Total Environmental impact of Materials
LCA	Levenscyclusanalyse
EPD	Environmental Product Declaration
MMG	Milieugerelateerde Materiaalimpact van Gebouw(element)en
PEF	Product Environmental Footprint
MPG	MilieuPrestatie Gebouwen
ENG	EnergiePrestatieGarantie
MKI	Milieukostindicator
NMD	Nationale Milieudatabase
GWW	Grond-, weg- en waterbouw
RVS	Roestvast staal
LCI	Levenscyclusinventarisatie
LCIA	Levenscyclusimpactanalyse

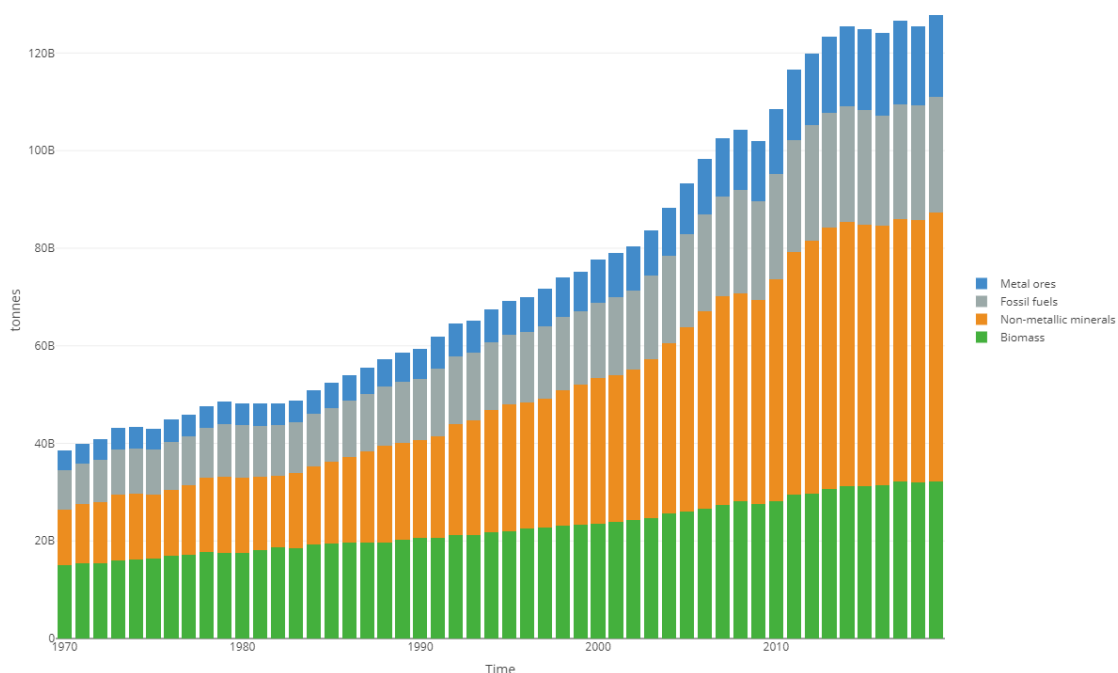
Deel 1

Literatuuronderzoek

1. Context

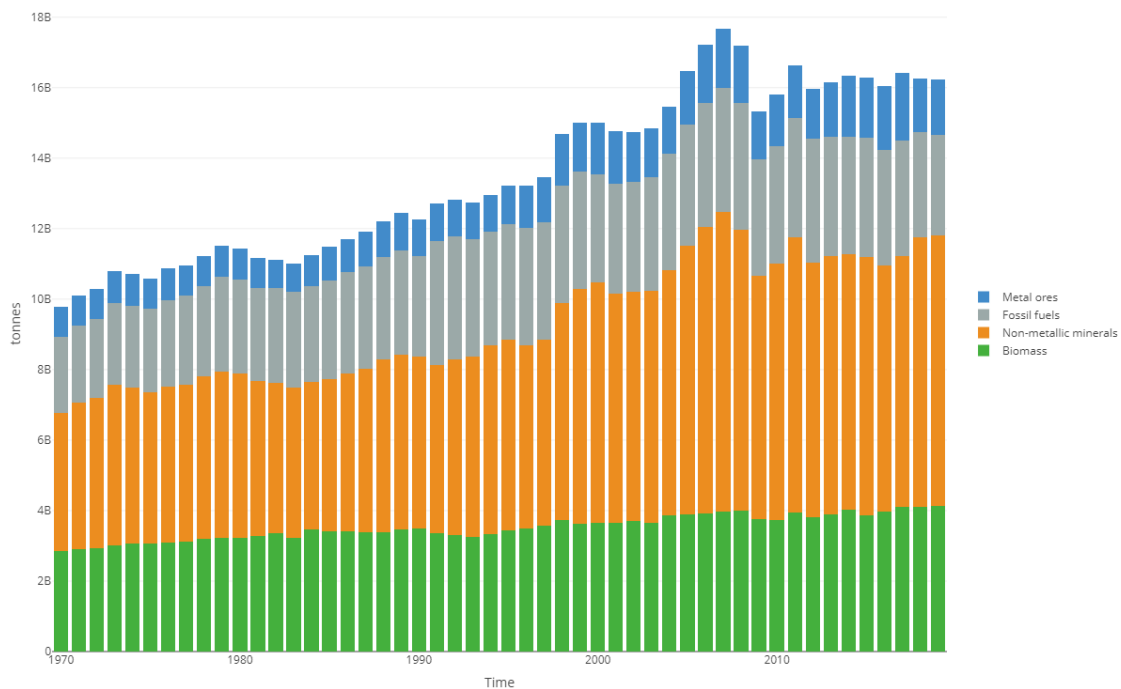
De industrie is een enorme vervuiler en een van de voornaamste oorzaken van onze klimaatverandering. Hierbinnen heeft de bouwsector een grote rol aangenomen die steeds meer druk zet op het milieu. De constante aanwezigheid van deze sector zorgt voor een zekere belasting op de leefomgeving, dewelke in zijn huidige toestand zonder enige tussenkomst niet zal dalen. Zowel op internationaal als Europees vlak is de bouwindustrie verantwoordelijk voor meer dan een derde van de broeikasgassen en wel 36% van de CO₂-emissies (Bertin et al., 2022). Het is een van de meest energie-intensieve sectoren met maar liefst een aandeel van 40% in de energievraag en is in grote mate verantwoordelijk voor de uitputting van grondstoffen (De Wolf et al., 2020). Hiernaast zijn er andere factoren, veroorzaakt door de bouwsector, die een dergelijke invloed hebben op de leefwereld. Zo wordt ook het waterverbruik, de fijnstof emissie en de groeiende afvalberg die goed is voor maar liefst 15 miljoen ton bouw- en sloopafval per jaar in Vlaanderen, meegerekend in de effecten (Vlaanderen Circulair, 2021a).

De productie van bouwmaterialen is in grote mate verantwoordelijk voor de bijdrage die de bouwsector levert in deze waarden. Door de constante afzet van materialen en de wereldwijde globalisering zal deze vraag ernaar alleen maar stijgen. Natuurlijke rijkdommen die eerst gedacht werden onuitputtelijk te zijn, zijn wel degelijk eindig desondanks dat het verbruik ervan steeds stijgt (Vlaanderen circulair, 2017). Deze overconsumpties brengen sociale- en milieulasten met zich mee. Door de stijgende vraag zal ontginning niet alleen duurder worden met andere economische repercussies tot gevolg, ook het vrijkomen van toxische stoffen of de vernieling van vruchtbare grond zal er uiteindelijk toe leiden dat de aarde zijn capaciteit overschrijdt. Hierdoor komen de behoeften van toekomstige generaties in gevaar waarbij materialiteit, direct of indirect, op alle vlakken impact heeft (VUB Architectural Engineering, 2019).



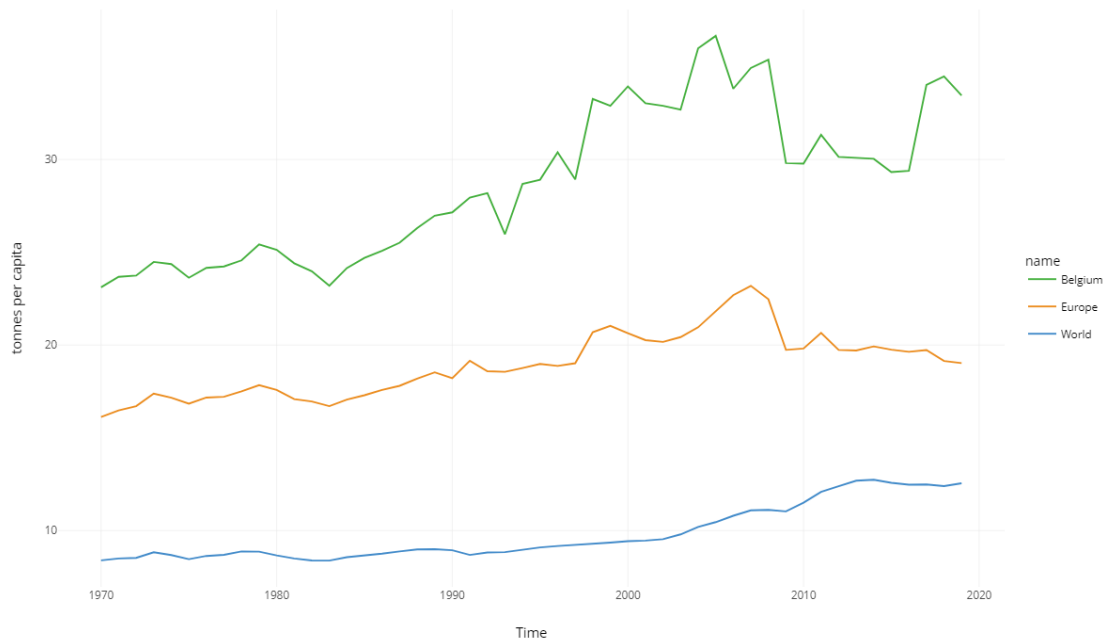
Figuur 1: Toevoer van grondstoffen in de wereld 1970-2019, per materiaalgroep (Visualisation Centre, 2023)

Wereldwijd is de winning van biotische en abiotische grondstoffen tussen 1970 en 2019 met meer dan 210% toegenomen. Deze stijging, te zien in figuur 1, is gelijk verdeeld over de verschillende materiaalgroepen. Geïntensiveerde productieprocessen hebben een groot aandeel in de toename van energie, mineralen en metalen bestemd voor de industrie en bouwsector. De vraag naar infrastructuur speelt een cruciale rol in de delving van niet-hernieuwbare grondstoffen. De ontginning van fossiele brandstoffen zal stijgen om aan de energievraag nodig voor deze processen te voldoen. Het Europees grondstoffenverbruik, weergegeven in onderstaande figuur 2, heeft echter een ander verloop. De verschuiving van materiaalwinning naar andere, goedkopere landen zorgt voor een stagnatie de laatste tien jaar waardoor import een belangrijkere rol speelt (*Global Trends of Material Use*, 2016).



Figuur 2: Toevoer van grondstoffen in Europa 1970-2019, per materiaalgroep (Visualisation Centre, 2023)

De behoefte aan grondstoffen kan ook uitgedrukt worden in de materialenvoetafdruk, ofwel de *Raw Material Consumption* (RMC). Deze waarde kwantificeert de vraag naar materiaalwinning, veroorzaakt door consumptie en schetst een beeld van de globale impact van de behoeften. Zoals eerder aangehaald worden materiaal-intensieve stappen in de productie meer en meer uitbesteed aan het buitenland. De consumptie van grondstoffen zal bijgevolg dalen in Europa, zoals weergegeven in figuur 3, maar kan zich niet ontkoppelen van de materialenvoetafdruk per persoon. Om aan dezelfde behoefte te voldoen, zijn nog steeds evenveel directe en indirecte grondstoffen nodig. In België steeg zelf het gemiddelde, waardoor net meer verbruik van materialen nodig is (Vlaanderen Circulair, 2021b).



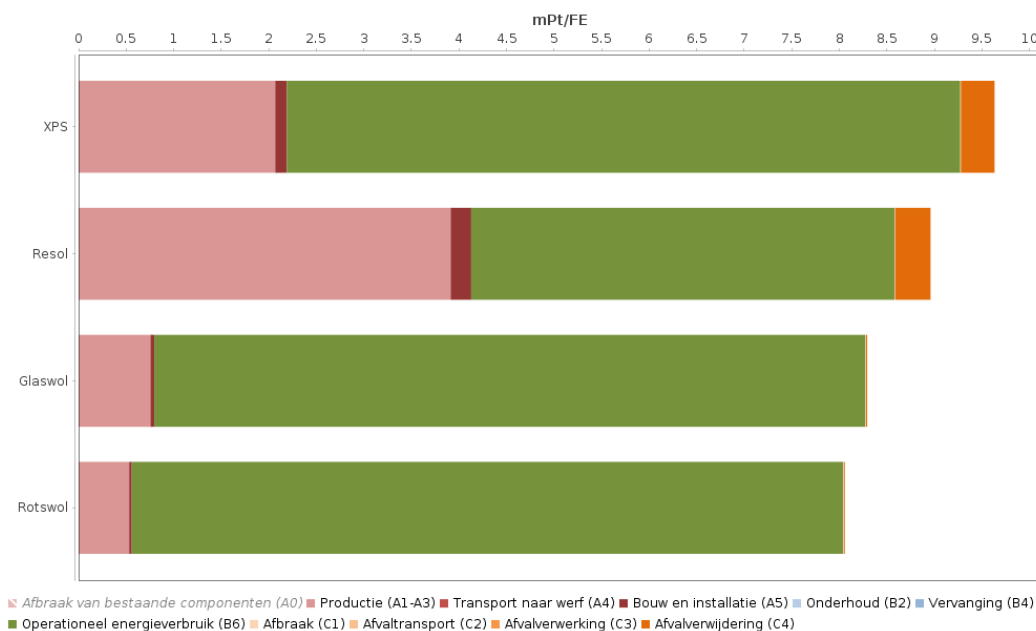
Figuur 3: Trend van de Raw Material Consumption (RMC) per capita in 1970-2019, per land/regio (Visualisation Centre, 2023)

Enkele stappen zijn reeds genomen om een meer duurzame toekomst tegemoet te gaan en te beantwoorden aan het vraagstuk rond materialiteit. Hierbinnen wordt de *Green Deal* als overkoepelend en vooruitstrevend doel beschouwd, zowel in Europa als Vlaanderen. Op Europees niveau wordt dit beleid geïmplementeerd om een moderne economie te vormen die de toenemende klimaatverandering en milieuaantasting moet beletten. Hierbinnen worden maatregelen genomen op elk vlak van de maatschappij om de verschillende toekomstgerichte doelen na te streven. Zo is er de ambitie om tegen 2030 de broeikasgassen met 55% te verminderen tegenover 1990 en is er de wens om tegen 2050 volledig klimaatneutraal te zijn. Deze richtlijnen vormen het algehele streefdoel waarbinnen de verschillende sectoren een aandeel in meespelen (*Een Europese Green Deal*, 2021). Als aanleiding op duurzaamheidskwesties, zoals het eerder vermelde grondstoffen- en energieverbruik, maar ook om andere kwesties zoals de materialenvoetafdruk aan te kaarten wordt er in Vlaanderen de *Green Deal Circulair Bouwen* angewend. Bij dit doel, dat voortbouwt op de *Europese Green Deal*, wordt een transitie gemaakt naar een circulaire economie binnen de bouwsector. Zo worden onderwerpen als omkeerbaarheid, levensduurverlenging en sluiten van de materiaalstromen, maar ook hergebruik aangehaald (Vlaamse Overheid, 2021a). Er is een lange weg te gaan, maar de *Green Deal* heeft een groot potentieel en vormt een basis waarbinnen kleinere strategieën zich kunnen ontplooiën.

2. Circulariteit

2.1. Gebruiksenergie en ingebedde energie van gebouwen

Gebouwen in gebruik vertegenwoordigen een groot deel van de energievraag. Als gevolg van de klimaatopwarming wordt dan ook veel aandacht gegeven aan deze verbruiksenergie of *operational energy*, met de steeds strenger wordende EPB-eisen en het stijgend aandeel BEN-woningen tot gevolg. Hierdoor zal het energieverbruik tijdens de gebruiksfase van een constructie een steeds kleiner aandeel vertegenwoordigen van de totale milieu-impact over de hele levenscyclus van het gebouw (OVAM, 2013). Daarnaast zorgt de regelgeving op energetisch vlak ook voor de productie van nieuwe en meer performante materialen waarbij de milieu-kost van productie vaak hoger ligt ten opzichte van meer traditionele materialen. Door deze ontwikkelingen wordt de milieu-impact van materialen en de *embodied energy* steeds belangrijker (Ibn-Mohammed et al., 2013). In onderstaande figuur 4 wordt een vergelijking gemaakt tussen de materiaalimpact en verbruiksenergie bij vier isolatiematerialen, namelijk XPS, resol, glaswol en rotswol met behulp van het programma TOTEM.



Figuur 4: Vergelijking isolatiematerialen in TOTEM, met als functionele eenheid een dikte van 120 mm isolatie gezien over een levensduur van 60 jaar (TOTEM, 2023)

Tabel 1: Resultaten materiaalimpact, verbruiksenergie en totale impact van de isolatiematerialen

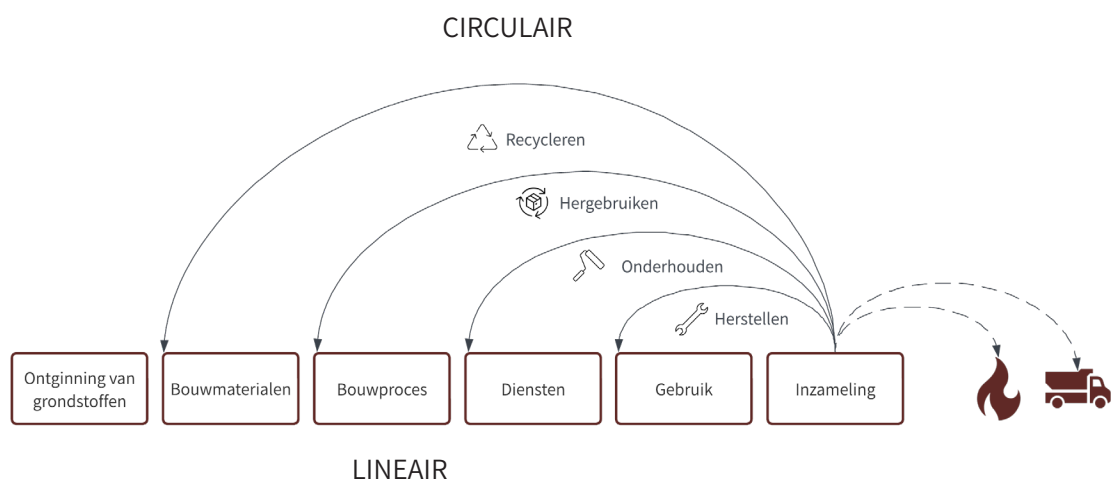
	Materialen [mPt/FE]	Energie [mPt/FE]	Totaal [mPt/FE]
XPS	2,55	7,08	9,63
Resol	4,51	4,45	8,96
Glaswol	0,81	7,48	8,29
Rotswol	0,58	7,48	8,06

Het verkleinen van de impact in de gebruiksfase en het stijgen van de ingebedde energie zorgt ervoor dat materialiteit een zekere betekenis krijgt in het verlagen van de milieu-impact van gebouwen. Het ontwikkelen van een M-peil dat de milieu-impact van materialen in een bouwwerk moet kwantificeren, zorgt ervoor dat de ingebedde energie kan beperkt worden door het stellen van bepaalde grenswaarden. Met de lancering van de *Tool to Optimise the Total Environmental impact of Materials* (TOTEM) in 2018 werd een eerste stap gezet om de materiaalprestatie van gebouwen te bepalen (OVAM, 2021). Deze dient nu verder ontwikkeld en uitgebreid te worden zodat het M-peil kan opgenomen worden in de regelgeving samen met het al bestaande E-peil dat aangeeft hoe energiezuinig een gebouw is (E-peil, 2023).

De verschuiving in aandacht van gebruiksfase naar productiefase brengt, buiten nieuwe tools, ook andere strategieën met zich mee. De belangstelling voor materialen en het beperken van de milieu-impact leidt tot circulaire oplossingen, eveneens aangewend in de context van de *Green Deal*.

2.2. De circulaire economie

Om duurzaamheid te implementeren, wordt overgegaan van een lineaire economie naar een circulaire economie. Bij de klassieke lineaire aanpak worden grondstoffen uit de bodem gehaald om hiermee nieuwe producten te maken. De grondstoffen en materialen worden slechts eenmalig gehanteerd waarna deze, aan het einde van de levenscyclus, verwijderd worden. Een circulaire economie hanteert een gesloten materiaalcyclus. Producten en materialen worden zo lang mogelijk in omloop gehouden binnen het systeem, waardoor de materialenvoetafdruk daalt. Bij beide modellen gaat elke fase in de waardeketen gepaard met energie, grondstoffenverbruik en afvalproductie. Naarmate men er in slaagt om meer producten en materialen te behouden, worden deze bijdragen steeds kleiner. Dit doel wordt bereikt door de kringlopen voor hergebruik zo kort mogelijk te houden. Het implementeren van technieken zoals het herstellen, onderhouden, hergebruiken of recyclen van materialen dragen hieraan bij, waarbij gesteund wordt op ontwikkelingen en interactie tussen economische actoren (Vlaanderen Circulair, 2017). In onderstaande figuur 5, worden deze processen voorgesteld.



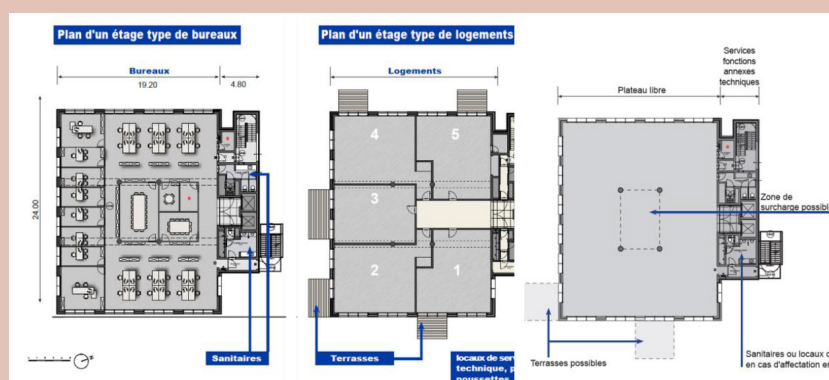
Figuur 5: De lineaire en circulaire economie

Bij de circulaire economie wordt er winst geboekt op een aantal belangrijke vlakken. Zo wordt de druk op schaarse grondstoffen verlaagd en is er een betere beheersing op deze eindige voorraden. Door het optimaliseren van de hulpbronnen en ze met het hoogste nut toe te passen wordt de hoeveelheid broeikasgassen en zodoende de klimaatimpact verminderd (VUB Architectural Engineering, 2019). Ook de effectiviteit van het systeem wordt bevorderd door reststromen en de bijkomende negatieve impact hiervan te beperken. Dit gebeurt allemaal met aandacht voor het nodige energieverbruik en het duurzaam gebruik van materialen. Zo kan er op een proactieve manier nagedacht worden tijdens de productie, door rekening te houden met de mogelijkheden tot herstelling of eenvoudig hergebruik op het einde van de levensduur (Vlaanderen Circulair, 2017). De circulaire economie vormt een overkoepelend geheel waarbinnen de circulaire strategieën vorm krijgen met behulp van voornoemde technieken.

Levensduurverlenging

De wereld wordt gekenmerkt door steeds nieuwe ontwikkelingen op technologisch, functioneel en economisch vlak. Door de steeds veranderende noden en wensen die hiermee gepaard gaan, dreigen gebouwen en materialen verloren te gaan voor het einde van hun technische levensduur. Deze levensduur kan worden gedefinieerd als de periode waarin een systeem, component of materiaal zijn bedoelde functie kan vervullen onder normale gebruiksomstandigheden. Tegenwoordig halen producten echter slechts de economische of functionele levensduur, respectievelijk de periode waarin een systeem, component of materiaal economisch voordelig en competitief gebruikt kan worden en de periode waarin dit product aan de verwachtingen van de gebruikers voldoet.

Het nadenken over deze levensduurverlenging vanaf de ontwerpfase resulteert in polyvalente gebouwen die zich aan de gebruiksveranderingen kunnen aanpassen, zoals ook in het voorbeeld in figuur 6 wordt vermeld. Verschillende gebruikers en activiteiten die elkaar opvolgen kunnen gebruikmaken van dezelfde middelen zonder aanpassingen, waardoor er geen noodzaak voor vervanging is. Bijgevolg moeten andere strategieën zoals hergebruik of recycling ook niet toegepast worden. Door de langere levensduur stijgt het rendement van de gebruikte grondstoffen, daalt het grondstoffenverbruik over de tijd en verlaagt de afvalproductie (VUB Architectural Engineering, 2019).



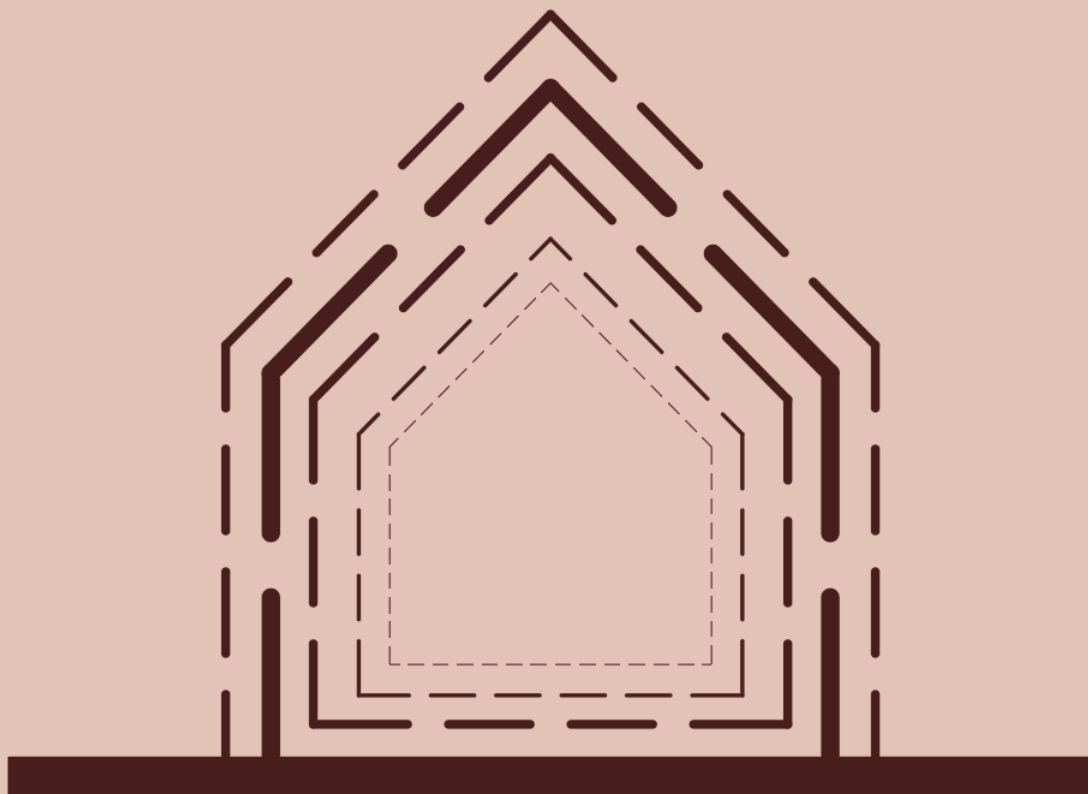
Figuur 6: Project VAN VOLXEM, aanpassingen en flexibiliteit wordt reeds in de ontwerpfase meegenomen en geven de mogelijkheid om het gebouw van kantoorfunctie naar woonfunctie te veranderen (Vlaanderen Circulair, 2017).

Sluiten van materiaalstromen



Een tweede manier om de waarde van componenten in stand te houden is door het volgen van 'kringlopen'. Op het einde van de technische, functionele of economische levensduur dient er herstelling of onderhoud plaats te vinden. Om deze operatie te vereenvoudigen kan er geopteerd worden voor demonteerbaar bouwen. De manier van bevestigen en materiaalkeuze, maar ook de onafhankelijkheid en eenvoud van de componenten zal hierin belangrijk zijn (VUB Architectural Engineering, 2019).

Naast de manier van demonteren moet er ook rekening worden gehouden met de verschillende functionele lagen in een gebouw en hun verschillende (technische) levensduur, zoals te zien in figuur 7. Hierbij moet bij het ontwerpen van een gebouw een duidelijk onderscheid worden gemaakt tussen elementen die een lange levensduur hebben en elementen die veel sneller zullen moeten vervangen worden. De opbouw hiervan moet zo zijn dat er geen onnodig afval wordt geproduceerd bij het vervangen van bijvoorbeeld bekabeling achter een wand (Vlaanderen Circulair, 2017).



Figuur 7: Voorstelling van de functionele lagen, waarbij van binnen naar buiten de volgende lagen worden onderscheiden: meubilair (inrichting met kortste levensduur), ruimtelijke indeling (wanden, bekleding, afwerking), systemen (netwerken voor ventilatie, verwarming, sanitair water), de structuur (dragende laag met langste levensduur) en de bouwschil (gevelelementen en buitenoppervlakten) (Vlaanderen Circulair, 2017).

Urban mining



Het vermijden van afval en optimale gebruik van grondstoffen breng het idee van urban mining naar boven. Bij urban mining wordt de stad gebruikt als materialenbank, waarbij aan de hand van selectieve sloop en demontage zoveel mogelijk waardevolle materialen en producten worden gerecupereerd en voorbereid voor hergebruik of recyclage (Vlaanderen Circulair, 2021a). Door de toenemende verstedelijking en leegstand van gebouwen, zijn er steeds meer reservoirs aan materialen te vinden. Door het opnieuw terugwinnen van deze reservoirs wordt minder druk gezet op de mijnen van natuurlijke/nieuwe grondstoffen, die stilaan uitgeput raken. Bij het zorgvuldig ontmantelen om materialen opnieuw te kunnen gebruiken, dient er voldoende tijd, ruimte en mankracht te worden voorzien opdat dit volgens een correcte manier verloopt (Vlaanderen Circulair, 2017).

Urban mining beperkt zich niet enkel tot gebouwen, maar ook elektrische toestellen, voertuigen en schroot worden vandaag de dag gerecupereerd (Vlaanderen Circulair, 2021a). Deze manier van werken, die vaak als zeer arbeidsintensief wordt beschouwd, kan ook zorgen voor de creatie van nieuwe werkgelegenheden wat een extra stimulus is voor de (lokale) economie (Ghyoot et al., 2018). In figuur 8 wordt een voorbeeld aangehaald.

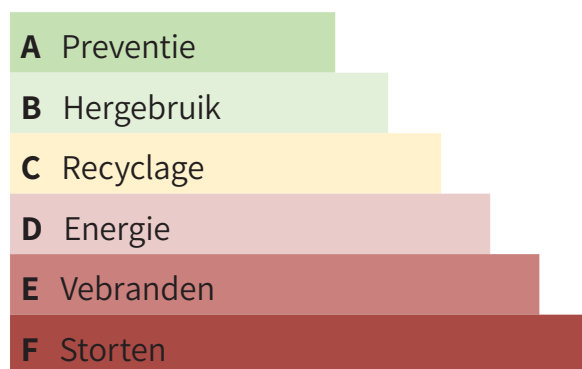


Figuur 8: Renovatieproject Maison des Associations in Esneux, waarbij een zorgvuldige ontmanteling plaatsvond voor alle elementen geschikt voor hergebruik. Deze elementen werden dan opnieuw ter plaatse toegepast (Vlaanderen Circulair, 2017).

2.3. Product en afval

Naast het optimale gebruik van grondstoffen en het behouden van materialen in een cyclus, is het vermijden van afval een van de hoofdzaken binnen circulariteit. De afvalverwerking heeft nadelige effecten door het uitstoten van vervuilende stoffen bij het transport en de verbranding, de aanleg van infrastructuur, maar ook bij het ruimtegebruik en bodemvervuiling op stortplaatsen (FCRBE, 2021a). Afval vermijden is essentieel om deze invloeden tegen te gaan. In de Europese Unie wordt afvalbeheer binnen de Afvalkaderrichtlijn van 2008 georganiseerd. Hierbij wordt de ladder van Lansink gebruikt als hulpmiddel bij afvalbeheer en is het doel ervan de bescherming van het milieu en de menselijke gezondheid (FCRBE, 2021a).

Deze ladder voorgesteld in figuur 9, genoemd naar de Nederlandse politicus Ad Lansink, benoemt en rangschikt zes manieren om met afval om te gaan (Lansink, 2014). Lansink diende in 1979 de ladder in als werkwijze en deze wordt dus sinds 2008 ook als leidraad gebruikt in de Europese wetgeving. Op internationaal niveau wordt er vaak verwezen naar de 'afvalhiërarchie' (VUB Architectural Engineering, 2019). De zes vormen van afvalbeheer zijn als volgt: preventie, hergebruik, recyclage, energie, verbranden en storten (Lansink, 2014). Hierbij is preventie prioritair en moet storten zoveel mogelijk worden vermeden.



Figuur 9: Ladder van Lansink 2.0

Bij preventie wordt de productie van afval vermeden, hergebruik zorgt ervoor dat een product opnieuw ingezet wordt voor hetzelfde of een ander doel en bij recyclage wordt een oud product gebruikt als 'basismateriaal' voor de productie van nieuwe producten (VUB Architectural Engineering, 2019). Energie bedraagt het gebruiken van materialen als brandstof om energie op te wekken of het gebruik ervan als grondstof voor nieuwe brandstof. Zo kan frituurolie bijvoorbeeld worden omgezet naar een biogebaseerde diesel die als volwaardig alternatief kan dienen voor klassieke diesel of erbij worden gemengd (Dhondt, 2022). Daarna komt verbranden van afval, waarbij al dan niet ook energie kan teruggewonnen worden door de warmte die vrijkomt (Kwakman, 2020). Storten van afval op vuilnisbelten is de laatste trap van de ladder en is hiermee dus de minst geliefde optie (VUB Architectural Engineering, 2019).

Om een materiaal of product opnieuw in omloop te brengen, is het belangrijk dat er een onderscheid wordt gemaakt tussen product en afval. Binnen de Europese Unie wordt afval gedefinieerd als “elke stof of elk voorwerp waarvan de houder zich ontdoet, voornemens is zich te ontdoen of zich moet ontdoen” (FCRBE, 2021a). Materialen worden echter niet altijd als afval gezien en de eigenaar heeft niet steeds de intentie zich ervan te ontdoen. In de praktijk is het moeilijk om duidelijke criteria vast te stellen waar de grens zich bevindt en is het onderscheid vaak niet duidelijk. Door deze onzekerheden boden de Europese wetgevers een versoepelde afvalstatus aan voor materialen die bestemd zijn voor andere doeleinden, met name hergebruik. De definitie hiervan geldt als volgt: “‘Vorbereitung voor hergebruik’: elke nuttige toepassing bestaande uit controleren, schoonmaken of repareren, waarbij producten of componenten van producten, die afvalstoffen zijn geworden, worden klaargemaakt zodat ze zullen worden hergebruikt zonder dat verdere voorbehandeling nodig is” (FCRBE, 2021a). Materialen worden dus initieel als afval beschouwd, maar krijgen opnieuw een productstatus zodra het hergebruik ervan verzekerd is.

3. Hergebruik

Onder hergebruik vallen alle handelingen waarbij producten of componenten, die niet geklasseerd zijn als afvalstoffen, opnieuw worden toegepast op dezelfde manier als oorspronkelijk bedoeld (FCRBE, 2021b). Dit komt erop neer dat deze bouwelementen of producten zorgvuldig worden gerecupereerd uit een gebouw tijdens afbraak- of verbouwingswerken. Deze moeten dan zo intact mogelijk blijven om ze opnieuw te gaan gebruiken (FCRBE, 2020a). Er kan geconcludeerd worden dat hergebruik, in de context van circulariteit, het minst aangewend wordt van alle mogelijke strategieën. Minder dan 1% van de afgevoerde materialen wordt effectief hergebruikt (FCRBE, 2020b).

Dit was echter niet altijd het geval. Hoge niveaus van hergebruik, recyclage en andere vormen van terugwinning bestaan al lange tijd. Doordat vroeger transport tijdrovend en afhankelijk was van menselijke en dierlijke krachten, was al het materiaal dat voor handen was welkom (Ghyoot et al., 2018). Deze werkwijze bestond al sinds het Romeinse rijk, waar het gebruikelijk was architectonische elementen te recupereren om andere prestigieuze bouwwerken mee te verfraaien. Verder werd in de 18^e eeuw zorgvuldige demontage en hergebruik ook gezien als een economisch interessante activiteit. Gebouwen en woningen werden te koop aangeboden, waarbij de demontage hiervan de hoogste bieder toebehoorde. Door de gedemonteerde onderdelen dan opnieuw te verkopen werden grote winstmarges geboekt (Ghyoot et al., 2018). Hierbij wordt duidelijk dat de geschatte winst voor de verkoop van de materialen de ontmantelingskosten overstijgt. Dit is een groot verschil met de huidige praktijk waarbij een sloopaannemer betaald wordt voor het afbreken of demonteren op een zo kort mogelijke tijd. Deze omschakeling kwam er rond de 20^e eeuw door een toenemende landdruk en de mechanisering van de sloop. De tijd van het demonteren speelde een steeds grotere rol door de stijgende lonen, maar ook de beschikbare ruimte werd steeds schaarser. Mede door de opkomst van nieuwe technieken zoals de sloopkogel werd het demonteren met zicht op hergebruik steeds minder toegepast (Ghyoot et al., 2018). Praktijken zoals het demonteren van bakstenen, die eerst standaard waren, werden opnieuw in niches geduwd. Ondanks deze veranderingen en het feit dat hergebruik als een intensief proces kan worden gezien, spelen er nog steeds heel wat voordelen mee voor de economie, het milieu en de gemeenschap.

3.1. Voordelen van hergebruik

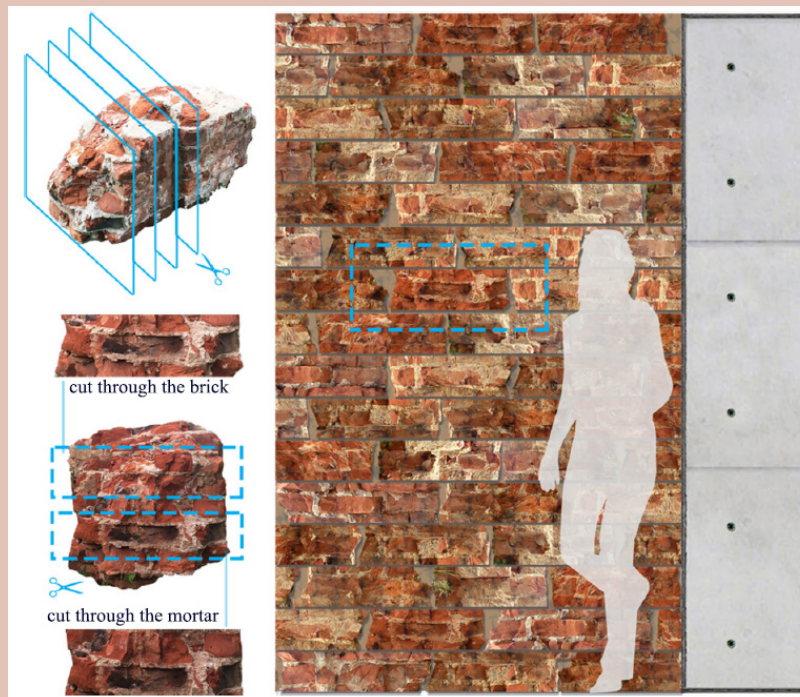
Milieueffecten

Het terugwinnen van materialen en het vervolgens hergebruiken ervan, zorgt ervoor dat heel wat milieueffecten gerelateerd aan het gebruik van nieuwe producten kunnen vermeden worden. Deze voordelen variëren van kleine aandelen naar winsten op grote schaal. Zo kunnen gevolgen die voortkomen uit de fabricage van nieuwe producten, die zich voornamelijk vertalen in de uitstoot, grondstoffenconsumptie en energieverbruik, vermeden worden. Door dit verschil alleen, zal het milieu een minder zware last dragen. Hergebruik vermindert eveneens het sloopafval, aangezien de ontmantelde elementen de kwalificatie van product krijgen en zo terug in omloop worden gebracht. De energie die met deze afvalverwerking gepaard gaat, kan eveneens voorkomen worden (FCRBE, 2020a).

Toch moet de notie van transport aangekaart worden. De daling van de milieu-impact die vermeden wordt in de productiefase, zal het aandeel van transport vergroten in de totale impact van het hergebruikte product. De verplaatsing naar opslagplaatsen of sites blijft aanwezig en mag niet zwaarder doorwegen dan de impact van nieuwe materialen (FCRBE, 2021c). In vergelijking met het gebruik van nieuwe equivalente materialen zal de milieu-impact desondanks vijf tot twintig keer lagen liggen, ondanks het transport (FCRBE, 2020a).

Beoordeling van mogelijke milieueffecten van teruggewonnen metselwerkmuren

In een onderzoek uitgevoerd op historisch metselwerk in Sint Petersburg, werd aan de hand van een levenscyclusanalyse de milieu-impact van het terugwinnen van metselwerkmuren bepaald. Hierbij werden delen van de 60 cm dikke muur gesneden in schijfjes, te zien in figuur 10, die opnieuw werden gebruikt voor het opbouwen van een muur (Erduran et al., 2020). Deze muur van teruggewonnen metselwerk werd in de studie vergeleken met een volledig nieuwe metselwerkmuur.



Figuur 10: Blokken gesneden uit de teruggewonnen gemetselde muur (Ucer et al., 2018)

De resultaten, te vinden in onderstaande tabel 2, tonen een significante daling bij de teruggewonnen muur ten opzichte van de nieuwe muur in alle vijftien impactcategorieën en de vier schade categorieën.

Tabel 2: Endpoint LCA resultaten van de vier schade categorieën voor de nieuwe en teruggewonnen muur (Erduran et al., 2020)

Damage category	Unit	New wall	Reclaimed Wall
Human health	DALY	0.00007	0.00003
Ecosystem quality	PDF × m ² × yr	9.058	3.483
Climate change	kg CO ₂ eq	71.232	19.236
Resources	MJ primary	743.618	249.730

Economische baten

Hergebruiken van materialen is een intensief proces. Hoewel dit als barrière kan gezien worden om het recycleren effectief te implementeren, kan het ook opgevat worden als een gelegenheid deze kansen uit te breiden naar de economische markt. De handelingen, vereist om een product klaar te maken voor hergebruik, zijn niet vanzelfsprekend en worden gezien als arbeidsintensief waardoor ze vaak vermeden worden. Dit levert echter een potentieel op binnen de lokale economie en genereert nieuwe jobs (FCRBE, 2020b). Deze positie binnen de lokale economie kan uitgebreid worden naar de markten die aanwezig zijn voor de verkoop van materialen. Specialististen beschikken over een ruim aanbod aan producten die doorgaans dezelfde kenmerken hebben als nieuwe varianten. Ook de aankooprijzen zijn vaak gelijkaardig of goedkoper, waardoor er slechts een kleine drempel met de nieuwe materialen overblijft (FCRBE, 2020a). Gewoonlijk worden deze materialen dan ook aangekocht om esthetische redenen eerder dan circulaire doeleinden en is het aanbod vaak beperkt. Dit laat ruimte open voor de handel om uit te breiden.

Rotor DC

Rotor Deconstruction is een coöperatief opgericht in 2014 en wil in Brussel een centraal deel vormen van het ecosysteem voor hergebruik van bouwmaterialen. Hun activiteiten bestaan uit het ontmantelen, verwerken en verhandelen van teruggewonnen bouwcomponenten. Bij hun start verkochten ze bijna uitsluitend materialen afkomstig van eigen ontmantelingen, maar nu worden ook materialen verkocht van andere actoren zoals sloopaannemers en vastgoedbedrijven (*About us | Rotor Deconstruction – Reuse of building materials made easy, 2023*).



Figuur 11: (*About us | Rotor Deconstruction – Reuse of building materials made easy, 2023*)

Architecturale meerwaarde

Esthetische redenen kunnen beschouwd worden als een bijkomend aspect tijdens het categoriseren van materialen. Toch hebben deze kwaliteiten een grote waarde binnen de onderbouwing van het belang van recuperatieproducten. De culturele waarden die in de materialen vervat zitten, vormen vaak de reden om het materiaal te hergebruiken in plaats van zich ervan te ontdoen. Zowel deze materiële als immateriële meerwaarde kan meegenomen worden in vooronderzoeken die tot een uiteindelijk ontwerp leiden. De rol van de architect zal hier een belangrijke plaats innemen. Zijn verantwoordelijkheid naar klanten en de maatschappij toe, zal in die mate stijgen wanneer een vernieuwende rol aangenomen wordt. Het is dan ook essentieel om clausules omtrent hergebruik mee te nemen vanaf het begin en deze binnen het bestek te vermelden (VUB Architectural Engineering, 2019).

Kamikatz Public House - Hiroshi Nakamura & NAP

De stad Kamikatsu in Japan streeft ernaar een gemeenschap te worden zonder afval. Bij het maken van een openbaar huis, ook wel *Public House* genoemd, werd uitsluitend materiaal afkomstig van recyclage gebruikt. Om van deze plek een lokaal symbool te maken, werden ramen uit verlaten huizen toegepast om de voorgevel te vormen (Castro, 2021).

We gathered windows that illuminated the town in the past and dedicated our wish that they would serve as a lantern of hope to shine upon the town struggling with a declining population (Hiroshi Nakamura & NAP, 2018).



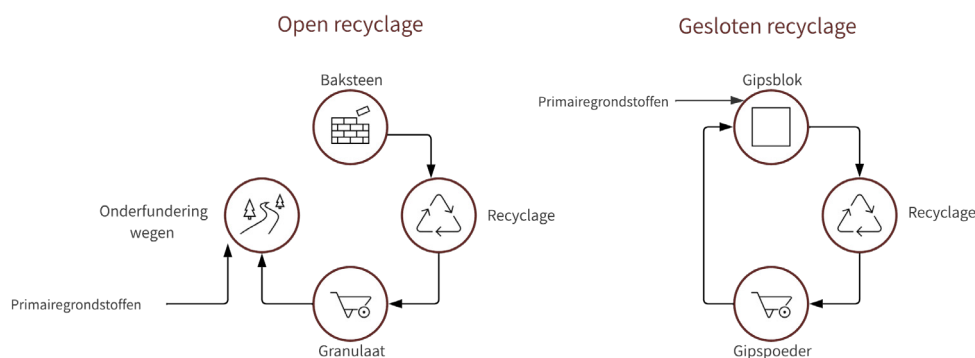
Figuur 12: Gevel- en interieurfoto van Kamikatz Public House - Hiroshi Nakamura & NAP (Castro, 2021)

3.2. Onderscheid met recyclage

Hoewel de twee vaak verward worden, is er wel degelijk een groot verschil tussen hergebruik en recyclage. Naast het feit dat hergebruik afvalpreventief is, hoger staat in de hiërarchie en dus voorrang moet krijgen op recyclage, is er ook een duidelijk verschil te zien in hoe er wordt omgegaan met de materialen. De grens zit vervolgens voornamelijk in de bewerkingshandelingen waarbij waardeverlies of waardevermeerdering bekomen wordt (FCRBE, 2021c). Bij hergebruik wordt een materiaal of product teruggewonnen om opnieuw geïnstalleerd te worden met dezelfde functie als voordien. Hier kunnen een aantal terugwinningsprocessen aan te pas komen, maar deze wijzigen de aard van het product of materiaal niet. Daartegenover staat recyclage, waarbij materialen verwerkt worden tot een grondstof die klaar is om opnieuw een productieproces te ondergaan. Materialen die gerecycleerd worden, ondergaan dus een diepgaandere transformatie (FCRBE, 2021b). Deze handelingen variëren van mechanische tot chemische processen om het element te verwerken tot een grondstof (FCRBE, 2020a). Beide strategieën verminderen de milieu-impact omtrent de ontginning van grondstoffen, maar doorgaans zal de impact van recyclage zwaarder doorwegen. De bekomen grondstoffen vereisen immers nog steeds een productiefase om tot een volwaardig product te komen (FCRBE, 2021c).

Daarnaast moeten grondstoffen van recyclage vaak uiteindelijk toch gecombineerd worden met nieuw ontgonnen grondstoffen om dezelfde normen te bekomen als deze van nieuw vervaardigde producten. Dit zorgt opnieuw voor een stijging in de milieu-impact ten opzichte van hergebruikte producten of materialen (FCRBE, 2021b).

Bij recyclage moet ook een belangrijk onderscheid gemaakt worden tussen een open of gesloten systeem. Bij een open systeem of *open-loop recycling* kan het te recycleren materiaal in de afvalstroom terecht komen of wordt het gebruikt als grondstof voor een toepassing die vaak inferieur is aan het oorspronkelijke gebruik (Deer, 2022). Dit proces, dat gepaard gaat met waardeverlies door een degradatie van het gebruik en vaak ook de materiaaleigenschappen, wordt *downcycling* genoemd (Vlaanderen Circulair, 2017). Een bekend voorbeeld in de bouwsector, weergegeven in figuur 13, is het breken van beton, baksteen, dakpannen... tot granulaten die gebruikt worden in (onder)funderingen van wegen en gebouwen (Vlaanderen Circulair, 2021a). Daartegenover staat een gesloten systeem of *closed-loop recycling* waarbij een materiaal of product wordt gerecycleerd om opnieuw te worden gebruikt voor dezelfde toepassing (Deer, 2022). Hierbij is het recycleren van gips, dat gebruikt wordt voor de productie van nieuw gips, een welbekend voorbeeld (Vlaanderen Circulair, 2017).



Figuur 13: Voorbeelden van een open en gesloten recyclage systeem in de bouwsector

Het fundamentele verschil tussen recyclage en hergebruik ligt dus in het feit dat het gerecycleerd materiaal over het algemeen dichter aanleunt bij de uiteindelijke afvalstatus dan het hergebruikt materiaal. Desondanks, zal recyclage, en voornamelijk het open systeem, vaak de voorkeur genieten boven hergebruik, omdat dit beter past in de industriële modellen die vandaag de dag heersen (FCRBE, 2021b).

3.3. Implementatie van hergebruik

Het doorvoeren van hergebruik wordt belangrijk geacht omtrent de vermindering van de milieu-impact, de ecologische voetafdruk en de materialenvoetafdruk. Daarnaast biedt hergebruik op veel andere vlakken voordelen. Toch is het implementeren ervan niet vanzelfsprekend. Actoren in de bouw zoals architecten, aannemers, bouwheren, etc. moeten het onderwerp zo vroeg mogelijk meenemen in het proces, om duidelijke ambities te definiëren in een ontwerp. Er zijn echter vaak enkele knelpunten die dit tegenhouden (FCRBE, 2020a). De Proeftuin Circulair Bouwen vormt binnen dit kader een doel om, parallel met de *Green Deal Circulair Bouwen*, aanbevelingen te maken gebaseerd op onderbouwde praktijkervaringen en onderzoeksresultaten. Het plan heeft een tweeledig standpunt waarbij deze enerzijds de erfenis aan gebouwen ziet als een kans om meer waarde te creëren. Hierbij is het doel om zoveel mogelijk materiaal voor hergebruik te verzamelen door middel van urban mining. Anderzijds moeten nieuwe kansen gecreëerd worden om zowel te voorzien in de veranderende noden nu en in de toekomst (Vlaanderen Circulair, 2021a).

Door middel van experimenten en het verzamelen van data probeert de onderzoeksgroep van Proeftuin oplossingen of antwoorden te vinden op gerichte vragen, praktijkinzichten te bekomen, actieplannen te verwerven, knelpunten aan te kaarten en dit alles door met doelgerichte methodes te boven te komen. Vertrekkende vanuit de slooppraktijk worden nieuwe modellen gecreëerd die een nieuwe richting in beleidsinstrumenten en regelgevende kaders aankondigen (Vlaanderen Circulair, 2021a). Strategieën die Proeftuin aankaart vanuit verschillende werven kunnen als stappenplan beschouwd worden om de implementatie van hergebruik teweeg te brengen.

Inventaris voor hergebruik

Het toepassen van een sloopopvolgingsplan en de daarbij horende inventaris is in de meeste gevallen verplicht, met uitzondering van eengezinswoningen, en wordt gebruikt bij de sloop of ontmanteling van gebouwen (Sloopopvolgingsplan, 2023). Toch kan de kwaliteit ervan sterk verschillen, waardoor er weinig vertrouwen aan dit document gegeven wordt. Voornamelijk om deze reden is het beschikken erover louter een formaliteit geworden. De inventaris wordt opgemaakt aan de hand van waarnemingen binnen in het gebouw en het bestuderen van bestaande plannen, vergunningen en reeds bestaande inventarissen. Ondanks dat de toepassing ervan eerder gedaald is, is de belangrijkste taak van dit document nog steeds het in kaart brengen van de gevaarlijke stoffen. Ook biedt het sloopopvolgingsplan kansen om selectief slopen nog meer te ondersteunen en is het een grote hulp voor de bestemming van afval (Vlaanderen Circulair, 2021a). Daarnaast bieden deze inventarissen de mogelijkheden om gelinkt te worden met databanken en ook het gebruik van tools zoals BIM-modellen wordt aangewend. Intelligente, geometrische modellen worden hierbij opgemaakt, waarbinnen informatie aan elementen gekoppeld wordt die ook onderling in verband staan. Dit onderdeel binnen hergebruik wordt belangrijker naar de toekomst toe.

Door nieuwe ontwikkelingen in documentatie kunnen nauwkeurigere beelden verworven worden waarbij hergebruik wordt geoptimaliseerd (Vlaanderen Circulair, 2017). Uit deze mogelijkheden is de inventaris voor hergebruik ontstaan. Deze verschilt van de oorspronkelijke sloopinventaris in de manier waarop informatie over de bouwmaterialen verzameld wordt en het niveau van detaillering dat aanwezig is (Vlaanderen Circulair, 2021a). Het document is cruciaal naar het effectief hergebruiken van producten en bouwmaterialen in de bouwsector. De lijst geeft een gedetailleerde weergave en goede inschatting van elementen die in een bepaalde context een sterk potentieel voor hergebruik bieden. Het opmaken ervan is een dynamisch en iteratief proces, dat in tegenstelling tot andere inventarissen, wordt aangepast doorheen het hele verloop van de activiteiten (FCRBE, 2020b). Het vormt dan ook de basis voor alle volgende handelingen uitgevoerd op de materialen.

Vorbereiding tot slopen

Na het opstellen van een inventaris voor hergebruik en het hergebruikpotentieel te hebben onderzocht, kunnen opeenvolgende processen worden uitgevoerd die leiden tot het uiteindelijk hergebruiken van bouwmaterialen. Deze processen, zoals het verwijderen van oppervlaktelagen, zijn in die mate belangrijk, dat ze de kwaliteit van de elementen waarborgen en zijn typerend naargelang de specifieke materiaalgroep. In de inventaris wordt opgesteld welke producten uit een bepaald gebouw behouden worden. Deze moeten op een zorgvuldige manier gedemonteerd worden waarbij de elementen zo intact mogelijk blijven (FCRBE, 2020a). De sloop is echter een klein deel van het bouwproces met vaak weinig voorbereidingstijd. De concurrentiestrijd legt een tijdsdruk op waardoor het proces zo snel mogelijk opgestart moet worden. Bij hergebruik is echter wel een goede en gedetailleerde voorbereiding vereist (Vlaanderen Circulair, 2021a).

Selectief slopen

Selectief slopen is het zorgvuldig weghalen van de afzonderlijke materialen aanwezig in een bouwwerk bestemd voor afbraak en is het startpunt in de waardeketen rond hergebruik. Deze brongerichte aanpak heeft als doel alle materiaalstromen zo zuiver mogelijk te houden, aangezien handelingen in deze fase de mogelijkheden tot hergebruik beïnvloeden (Vlaanderen Circulair, 2021a). Het zuiveren van de fracties zal naast het behouden van materialen in de cyclus ook invloed hebben op het afvalbeheer, waardoor meer gerichte recyclage mogelijk is (OVAM, 2010). Het begrenzen van selectief slopen in een project kan op twee manieren gebeuren. De focus kan liggen op het terugwinnen van zoveel mogelijk materialen, maar er kan eveneens een gedefinieerde waarde afgebakend worden. Documenten, zoals de inventaris tot hergebruik, zullen deze keuzes onderbouwen (FCRBE, 2020a). Het proces van selectief slopen beschikt niet over een controlesysteem opgenomen in de wetgeving, waardoor bij optimalisatie van de implementatie deze fase enige aanpak zal vereisen. Ook zal het enige tijd innemen, maar de ecologische meerwaarde uit het hergebruik van de elementen en het vermijden van het bouwafval wegen hier tegen op (Vlaanderen Circulair, 2021a).

Afvoer van materialen

Na het slopen worden de individuele afvalstromen afgevoerd. Deze fase wordt doorgaans meegerekend in de verwerkingsprocessen, maar wordt hier als afzonderlijke stap beschouwd. Gewoonlijk heeft dit proces een minieme impact, maar bij hergebruik krijgt dit enige relevantie. Hoofdzakelijk wordt het transport gezien als de verplaatsing van de afbraaksite, waar de elementen en materialen worden gerecupereerd, naar opslagplaatsen of plaatsen waar ze behandeld worden. Daarnaast is ook het transport naar de gebruikslocatie en het afvaltransport belangrijk. Hoeveel dit doorweegt is van verschillende factoren afhankelijk zoals hoeveelheden, locatie, verwerkings- en recyclagemogelijkheden, enz. De bestemming waar deze producten uiteindelijk terechtkomen, kunnen meerdere dimensies hebben. Producten kunnen ontmanteld worden met een specifiek doel om ze ergens anders of in een ander ontwerp te hergebruiken. Wanneer er geen specifieke locatie gevonden is, worden deze meestal verkocht door specialisten in het vakgebied. Ook zijn er andere kanalen waar deze materialen kunnen terechtkomen (FCRBE, 2020b).

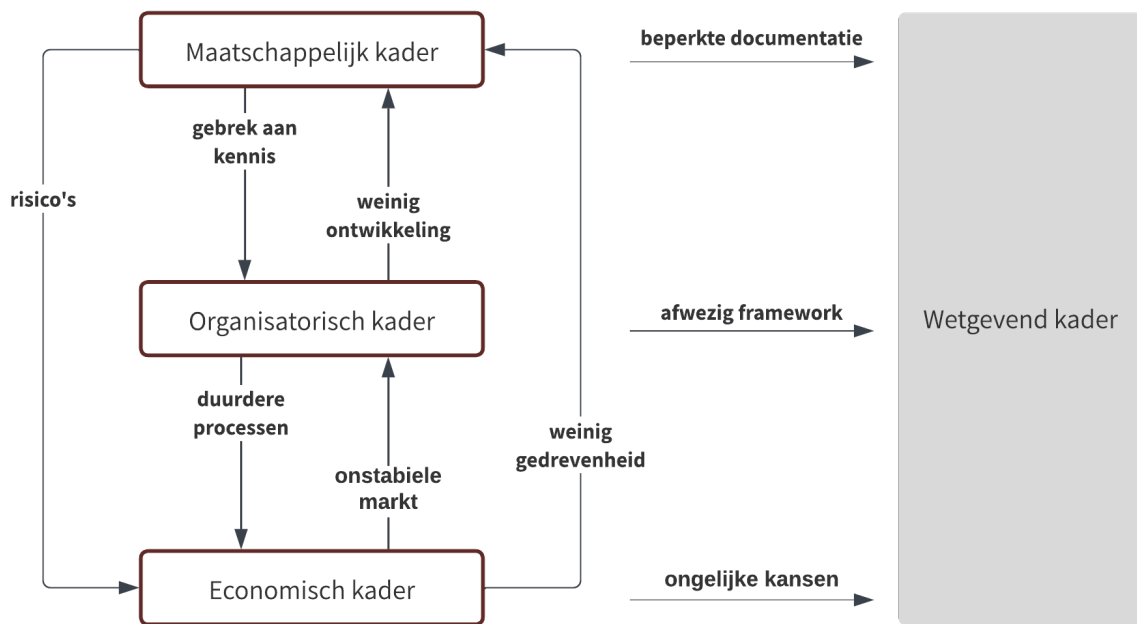
Toepassen van hergebruik

Het effectief hergebruiken van elementen is de laatste fase binnen de implementatie. Deze toepassing is afhankelijk van alle vorige stappen. Zo wordt het potentieel van de materialen in kaart gebracht in de hergebruikinventaris, afhankelijk van de beschikbare markt. Het selectief slopen zal de mogelijkheid tot hergebruik beïnvloeden net zoals de voorbereiding van de elementen. Onder deze voorbereiding voor hergebruik horen alle nuttige toepassingen die onder andere bestaan uit het controleren van de materialen en kunnen zelf zo ver gaan als het schoonmaken, repareren, documenteren en op maat snijden ervan (FCRBE, 2021b). Een laatste fase is vervolgens het transport om de elementen tot de specialisten te brengen, waarna ze hergebruikt kunnen worden. Deze specialisten, die hergebruikte materialen opnieuw op de markt brengen, zijn een essentiële schakel tussen het effectief terugwinnen en het implementeren van de elementen, aangezien ze de mogelijkheid hebben om vraag en aanbod samen te brengen (Vlaanderen Circulair, 2021a).

In elke fase binnen de implementatie van hergebruik zijn obstakels te vinden en naarmate de stappen vorderen, ontstaan er steeds meer onzekerheden. Niet alleen de regelgeving, maar ook technische en praktische uitdagingen belemmeren het potentieel dat aanwezig is.

3.4. Knelpunten

Knelpunten aanwezig in het doorvoeren van circulaire strategieën, met name hergebruik van bouwmaterialen, kunnen in verschillende categorieën opgedeeld worden. Een maatschappelijk, organisatorisch, economisch en regelgevend kader worden onderscheiden. In onderstaande figuur 14 wordt weergegeven hoe deze in relatie staan tot elkaar en waar de beperkingen zich bevinden.



Figuur 14: Relaties tussen de knelpunten bij hergebruik, opgedeeld in de vier categorieën: maatschappelijk kader, organisatorisch kader, economisch kader en wetgevend kader

Een eerste maatschappelijk kader begrenst de knelpunten rondom ontbrekende kennis in het discours van hergebruik en de ingesteldheid van particulieren en/of actoren in de bouw (SERV, 2018). De problemen vertalen zich voornamelijk in de conventionele manier van denken. In de bouwwereld wordt er voornamelijk vertrokken vanuit de individuele belangen, waardoor een gebrek aan samenwerking en vertrouwen een beperkende factor vormt in het verzamelen van kennis. Als gevolg wordt er proefondervindelijk gewerkt met meer tijdsverlies en repercussies op organisatorisch en economisch vlak. Het idee van lagere kwaliteit, minderwaardige esthetiek en verminderde functionaliteit zorgen voor onzekerheid bij het toepassen van materialen. Hergebruik is geen standaardpraktijk waardoor deze ingesteldheid in stand wordt gehouden. Het vermijden van deze risico's laat aannemers en investeerders vaak terugvallen op traditionele bouwoplossingen met nieuwe materialen (Knoth et al., 2022). De afwezige informatie en certificering over geteste prestaties, herkomst of gebruiksduur zal deze obstakels alleen maar in de hand werken (Hobbs et al., 2017).

Ook het organisatorisch kader vormt een grote barrière. De tijd nodig voor deconstructie zal een stuk hoger liggen dan deze voor traditionele destructieve afbraak. Onzekerheden in de planning, waardoor deconstructie langer zal duren, kan economische gevolgen hebben en ook volgende processen beïnvloeden (Knoth et al., 2022). Logistieke redenen zoals het gebrek aan opslagplaats, infrastructuur en voorzieningen ter plaatse doen eveneens de tijd en bijgevolg de kosten oplopen. Een afwezig framework zal hierbij de organisatie bemoeilijken (Hobbs et al., 2017). Het hergebruiken van bouwmaterialen vergt naast meer tijd ook meer mankracht. Om de terugwinningsprocessen enigszins rendabel te maken wordt de verhouding 7:1 aangewend. Hierbij wordt het personeel nodig voor selectieve ontmanteling van bouwelementen vergeleken met deze voor de klassieke sloop. Deze arbeidsintensieve omstandigheden blijken niet aantrekkelijk te zijn (Vlaanderen Circulair, 2017). De bouwwereld evolueert voortdurend en technische ontwikkelingen zorgen constant voor uitdagingen. Er wordt te weinig ontworpen op hergebruik waardoor dit discours moeilijk verloopt en de huidige bouwvoorraad is er niet op voorzien (Hobbs et al., 2017).

Op economisch vlak is de onstabiele markt het grootste knelpunt. Aanbod en vraag moeten op elkaar afgestemd worden, maar de onzekerheid van dit aanbod in de tijd maakt het moeilijk. Producten voor hergebruik komen op zeer onregelmatige momenten en met onregelmatige hoeveelheden vrij (Ghyoot et al., 2018). Deze mismatch kan zowel kwantitatief als kwalitatief parten spelen (Hobbs et al., 2017). Er ontstaan ongelijke kansen voor hergebruikmaterialen tegenover nieuwe varianten. Bedrijven willen geen financiële risico's nemen en hebben weinig gedrevenheid om hierop in te zetten. Nieuwe producten zijn soms goedkoper, worden makkelijker ingezet en de kwaliteit is meer consistent. Het aanpassen van een bedrijfsvoering naar circulaire principes vereist vaak ingrijpende aanpassingen aan structuur. Dit kan kostbaar zijn waardoor fabrikanten vaak het risico niet willen nemen (Knoth et al., 2022).

Een laatste regelgevend kader zal invloed uitoefenen op alle vorige aspecten, maar zal tegelijkertijd ook de meest beperkende factor vormen. Vaak zijn deze kaders niet op elkaar afgestemd, zijn ze ongelijk toegepast over verschillende landen of zelfs niet bestaande (SERV, 2018). De regelgeving is echter een belangrijk ondersteunend instrument om het hergebruik en andere circulaire strategieën te bevorderen. Het vormt de drijfveer voor economie, zal het logistieke aspect organiseren en maatschappelijke ondersteuning bieden binnen de implementatie van hergebruik. Het gebrek aan dit kader zal de voornaamste oorzaak zijn waarom het proces veel langer duurt, er niet voldoende documentatie is en er een terughoudendheid is om hergebruik aan te wenden zowel op maatschappelijk als sociaal vlak (Knoth et al., 2022).

Om de knelpunten aan te pakken binnen hergebruik is een strategie op alle niveaus noodzakelijk, waarbinnen de overheid als accelerator werkt om actoren in de juiste richting te sturen.

4. LCA en hergebruik

Een LCA, of levenscyclusanalyse, is de nauwkeurige evaluatie van de milieu-impact van producten of materialen, maar evenwel van elementen of gebouwen, berekend gedurende de hele levenscyclus. Alle activiteiten ter vervaardiging van het product en daarbuiten worden meegenomen in de berekening, gebaseerd op een inventaris van alle input en output. De levenscyclusanalyse kan gebruikt worden als conceptueel raamwerk of als praktische tool in de transitie naar een ecologische leefwereld (Jensen et al., 1997). Zo worden ook de milieuprestaties van herbruikbare en hergebruikproducten gekwantificeerd. Deze kunnen vergeleken en bestudeerd worden, waardoor de voornaamste factoren van de milieu-impact geïdentificeerd en vervolgens geoptimaliseerd kunnen worden (FCRBE, 2021c). Het concept van een LCA ontstond in de late jaren 60, in de hand gewerkt door de bezorgdheid over milieueffecten van industriële processen. Coca Cola voerde in dit kader een studie uit om de impact van hun verpakking te evalueren, gerelateerd aan grondstoffenverbruik, energie-efficiëntie en ook in mindere mate het verwijderen van afval. Doorheen jaren van optimalisatie kreeg de levenscyclusanalyse een meer prominente rol in het milieubeleid (Jensen et al., 1998). Het concept groeit voortdurend en vormt een omkadering waarbinnen, naast andere circulaire strategieën, bijgevolg ook hergebruik vorm krijgt. Om hergebruik te implementeren wordt de levenscyclusanalyse binnen de regelgeving vastgelegd. Dit gebeurt samen met de ontwikkeling van tools die een verschuiving stimuleren in het gebruik van LCA van een brede, academische wereld naar een toepassing in de maatschappij voor particulieren (Sala et al., 2021).

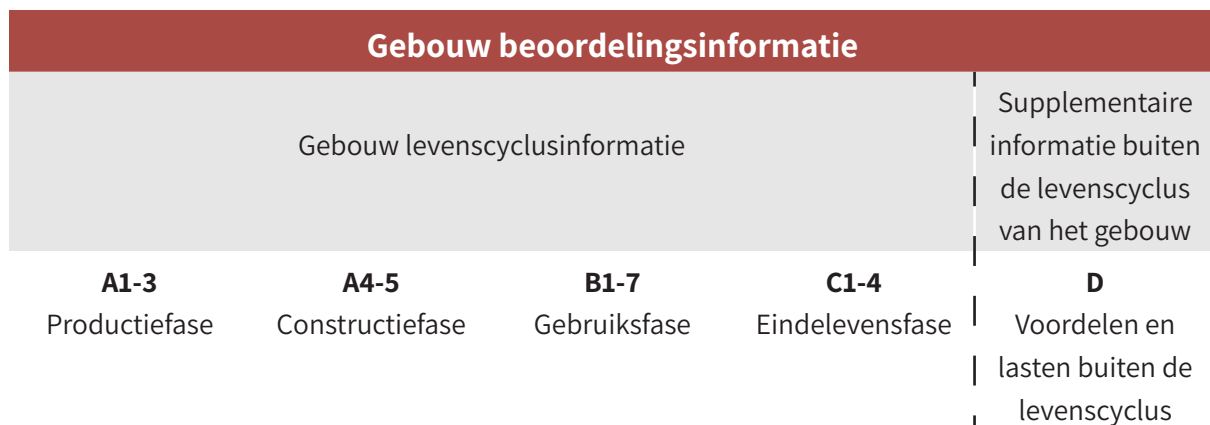
4.1. Europees kader

LCA's worden voornamelijk gebruikt als middelen bij het opmaken van plannen en het omkaderen van ambities binnen overheidsopdrachten (Sala et al., 2021). De *Europese Green Deal* is hierbij een initiatief waarbij levenscyclusanalyses gebruikt worden in het onderzoek naar het verlagen van de emissies en het behalen van de klimaatdoelen. Niet alleen gecertificeerde instanties maken gebruik van LCA's, ook private initiatieven passen dit toe in studies naar een duurzamere leefwereld. De harmonisering van deze werkwijze in een regulerend kader, wordt beschreven in de internationale standaarden ISO 14040 en ISO 14044 (Broer et al., 2022). Binnen deze standaarden worden enerzijds de grote principes en het kader beschreven, toegankelijk voor een breed publiek. Daarnaast worden ook de technische vereisten en richtlijnen voor het uitvoeren van een LCA opgelijst (Finkbeiner et al., 2006). De Europese bouwsector heeft echter specifieke normen. De eerste norm, EN 15804, bevat legislatie rond duurzaamheid van bouwproducten en -materialen, waaronder ook de regels rond de uitwerking van milieuproductverklaringen (Broer et al., 2022).

Deze EPD's, of *Environmental Product Declarations*, verschaffen gekwantificeerde milieu-informatie met behulp van een LCA, over bouwproducten of -activiteiten, op een geharmoniseerde wetenschappelijke basis. Binnen de uitvoering van een LCA worden ze als doelstelling vooropgesteld, vermits ze als basiseenheid worden gebruikt. Deze EPD's, opgesteld door fabrikanten of beroepsorganisaties, zijn in publiek toegankelijke databanken voor verschillende Europese landen terug te vinden. Het gebruik ervan voor hergebruikproducten zou een stap voorwaarts betekenen in de implementatie binnen wetgevende kaders. Toch worden EPD's voornamelijk op nieuw geproduceerde producten toegepast (FCRBE, 2021c).

De specifieke data voor bouwmaterialen en componenten wordt doorgaans uit de Zwitserse ecoinvent database gehaald. Hoewel deze EPD's zeer nauw aansluiten bij de eigen materiaalspecificaties, zijn ze toch niet helemaal conform met België. Het Belgische EPD programma, een wettelijk kader en programma voor de ontwikkeling van milieuproductverklaringen voor bouwproducten, zal het gebruik van B-EPD's invoeren. Deze geven op een gestandaardiseerde manier informatie over de totale impact van bouwproducten, typisch gebruikt in de Belgische context. Ze bieden op een objectieve en zorgvuldig gekwantificeerde manier gegevens en kunnen vervolgens ook geïntegreerd worden op gebouwniveau. Andere landen zijn eveneens bezig met het opstellen van eigen EPD's. De koplopers hiervan zijn Noorwegen, Frankrijk en Duitsland, maar ook Nederland, Spanje en Denemarken zijn volop in ontwikkeling (De Jaegher et al., 2022).

Een volgende norm, EN 15978, staat in voor de milieuprestatie van een geheel gebouw, waarbij de specificaties, voorwaarden en andere gekwantificeerde informatie wordt weergegeven (Broer et al., 2022). De LCA-methodologie wordt onderverdeeld in vier stappen: definiëren van het doel, een gedetailleerde inventaris van de levenscyclusanalyse, beoordeling van de verschillende impacten komend uit grondstofverbruiken uitstoot en als laatste onderdeel is de interpretatie van de resultaten (Sala et al., 2021). Hierbinnen beschrijven de voorgaande normen de verschillende levenscyclusfasen aan de hand van modules A tot C, weergegeven in figuur 15. Deze modules worden geordend van productie en constructie (A), naar gebruiksfase (B) tot het einde van de levenscyclus (C). De modules worden ook onderling opgedeeld in verschillende sub-modules, die elk overeenkomen met een specifieke fase in de levenscyclus. Hier zal later meer aandacht aan worden besteed. In de figuur kan een extra module D opgemerkt worden, toegevoegd om de circulaire economie te stimuleren. Hoewel deze de mogelijkheid tot hergebruik of recyclage in een opeenvolgende levenscyclus zal meenemen, valt deze module buiten de grenzen en wordt ze door de grote onzekerheid in nettowinst als bijkomende informatie beschouwd (FCRBE, 2021c).



Figuur 15: Overzicht van de verschillende levenscyclusfasen en de bijhorende systeemgrenzen volgens de Europese standaard EN 15978:2011 (CEN, 2011)

Het uitvoeren van LCA's biedt een brede kijk op de mogelijkheden van hergebruik. Dit niet alleen op vlak van bijdrage tot de klimaatverandering als equivalente hoeveelheid CO₂, maar ook door middel van verschillende milieu-impactindicatoren wordt een compleet beeld geschetst. De voornaamste oorzaken omtrent milieu-impact bij producten, worden doorheen de levenscyclus geïdentificeerd en kunnen zo ook verkleind worden. De meerwaarde van hergebruikproducten kan op die manier ook vergeleken worden met een nieuw alternatief en er kan nagegaan worden in welke mate hergebruik voordelig is. Toch moet er nagedacht worden over enkele beperkingen en aspecten die niet opgenomen zijn in de LCA-methodologie omtrent duurzaamheid. Zo zal norm EN 15804, die de fasen van een LCA vastlegt, alle materialen die uit een gebouw worden gehaald als afval beschouwen. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen demontage, selectieve ontmanteling of afbraak. De status van afval die aan de producten wordt gegeven, komt dus niet noodzakelijk overeen met de werkelijkheid. Ook LCA-tools op gebouwniveau ontwikkeld door verschillende landen en gebaseerd op norm EN 15978, vertonen beperkingen (FCRBE, 2021c).

4.2. Totem en hergebruik

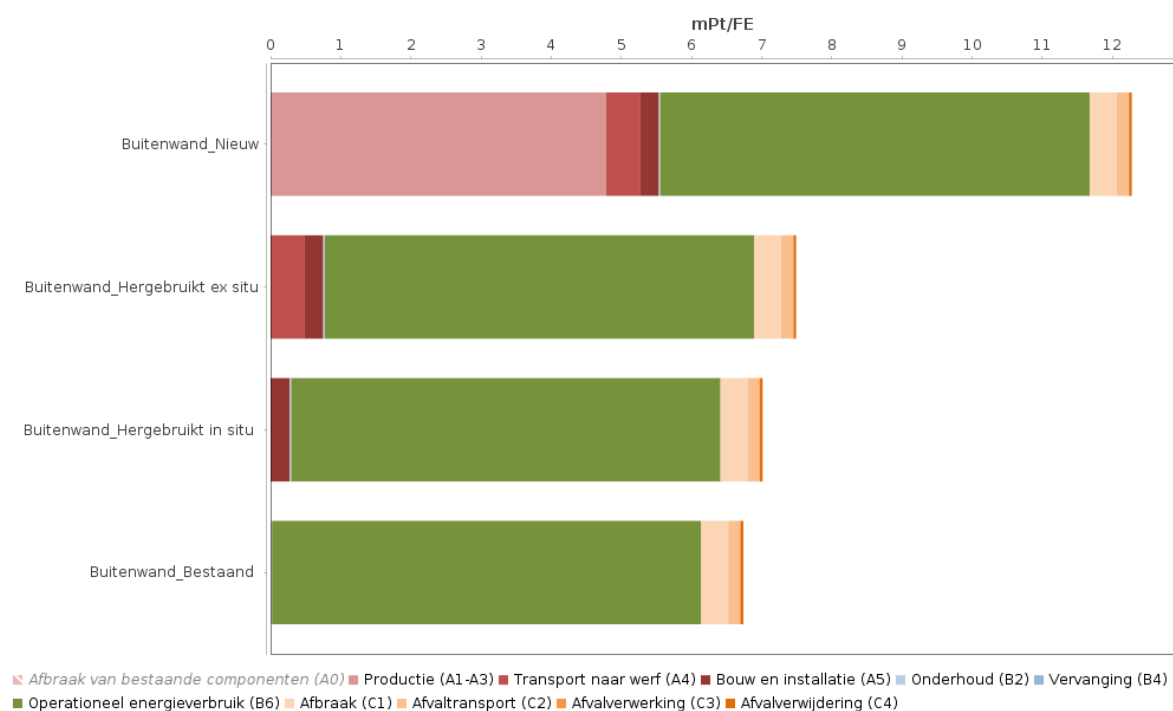
De groeiende impact van materialen en ingebedde energie roept ook de vraag op voor een manier om deze materiaalprestatie van gebouwen te kwantificeren in de Belgische context. In 2018 resulteerde dit in de lancering van de *Tool to Optimize The Environmental impact of Materials* (TOTEM) (OVAM, 2021). Het onderliggende rekenmodel hiervan is het eerder geconstrueerde MMG (Milieugerelateerde Materiaalimpact van Gebouw(element)en) die de Europese standaardisatie en zijn legislatie omtrent LCA's volgt. TOTEM berekent de milieu-last van een gebouw of component als één enkele score. Dit gebeurt op basis van de impact op negentien verschillende milieu-impactindicatoren die worden afgewogen volgens de PEF-wegingsbenadering, die eveneens correleert met de Europese wetgeving. De gegevens die worden gebruikt voor deze berekeningen komen uit de Zwitserse database ecoinvent, maar sinds 2020 bevat TOTEM ook specifieke milieudata van gevalideerde B-EPD's (Chung & Trigaux, 2021).

Hoewel via TOTEM vandaag al een enigszins gedetailleerde analyse over de milieu-impact van materialen kan worden gemaakt, zijn er ook enkele bemerkingspunten te maken. Als er wordt gekeken naar aspecten zoals levensduur, transport en materiaalverlies zijn enkele vereenvoudigingen te vinden. Er wordt een berekening gemaakt over een levensduur van 60 jaar, ondanks dat gebouwen veel langer kunnen meegaan of soms zelf veel vroeger weer worden afgebroken. Daarnaast is transport afhankelijk van specifieke scenario's. Door het ontbreken van de mogelijkheid om deze exacte afstanden in te voeren door het gebruik van EPD's met gemiddelde waarden, treden discrepanties op in de berekening. Verder wordt steeds een verliespercentage van 5% vooropgesteld tijdens de constructiefase, waarbij in werkelijkheid dit ook sterk afhangt van de grootte van de werf, aard van het materiaal en zorg die besteed wordt bij de handelingen (Chung & Trigaux, 2021).

Toch zit de grootste beperking in de integratie van circulariteit. Zoals eerder vermeld bestaat een levenscyclusanalyse uit verschillende modules A, B, C en D, elk met gedefinieerde grenzen. In TOTEM wordt module D niet meegenomen in de berekening, waardoor het potentieel van hergebruik of recyclage verloren gaat. Hierdoor wordt een grote opening gelaten in de mogelijkheden van de tool, waardoor andere programma's aangewend moeten worden ter integratie van deze processen (Chung & Trigaux, 2021). Onrechtstreeks kan hergebruik wel worden geïntegreerd door het invoegen van een hergebruikte variant in of ex situ in plaats van het nieuwe materiaal. Hoewel dit enige oplossing biedt ter interpretatie van de resultaten, worden deze berekeningen sterk vereenvoudigd. Bij hergebruik wordt de productiefase A1-3 gelijkgesteld aan nul, zoals weergegeven in figuur 16, en worden de terugwinningsprocessen nodig om het hergebruik mogelijk te maken niet in rekening gebracht (Chung & Trigaux, 2021). Deze processen zullen wel degelijk een bepaalde milieu-impact hebben waardoor in TOTEM een onderschatting wordt gemaakt en er geen reële vergelijking kan plaatsvinden tussen nieuwe en hergebruikte materialen. Andere vereenvoudigingen, te zien in tabel 3, vinden ook nog plaats bij 'hergebruik in situ' waar het transport niet wordt meegenomen, en 'bestaand' waar naast het transport ook de plaatsing gelijk wordt gesteld aan nul (FCRBE, 2021a).

Tabel 3: Overzicht van de levenscyclusfasen die worden meegenomen per categorie in TOTEM

Levenscyclusfasen die worden meegenomen					
Status	Productie (A1-3)	Transport (A4)	Plaatsing (A5)	Gebruik (B)	Levens einde (C)
Nieuw (//EN 15978)	X	X	X	X	X
Hergebruikt ex situ		X	X	X	X
Hergebruikt in situ			X	X	X
Bestaand				X	X



Figuur 16: Milieu-impact van een buitenwand, afhankelijk van de levenscyclusfasen die worden meegenomen (TOTEM, 2023)

4.3. Vergelijking met andere landen

In tegenstelling tot België hebben andere Europese landen wel al een concrete regelgeving rond het berekenen van de materiaalimpact van constructies. Hierbij moet steeds een levenscyclusanalyse worden aangewend die al dan niet moet ingediend worden bij de bouwaanvraag. Er wordt onderzocht hoe deze landen omgaan met de impact van productie bij de bouwindustrie, hoe dit wordt geïmplementeerd in hun regelgeving en hoe hergebruik hier een plaats in krijgt.

4.3.1. Nederland

Regelgeving

In 2018 voerde Nederland de verplichting in tot het hebben van een Milieuprestatie Gebouwen of MPG bij elke aanvraag voor een omgevingsvergunning. Dit is een maatstaf voor de milieubelasting van de materialen toegepast in een gebouw en volgt uit de berekening van levenscyclusanalyses van deze verschillende materialen. Bij de implementatie van de MPG op 1 januari 2018 werd er een maximale grenswaarde van 1,0 gehanteerd. Deze is sindsdien aangescherpt voor nieuwe woningen tot 0,8 en zou tegen 2030 moeten gehalveerd zijn. De MPG dient samen met de EnergiePrestatieGarantie of EPG in Nederland voor het verminderen van de milieu-impact van gebouwen (*Milieuprestatie Gebouwen - MPG*, 2017). De EPG is hierbij een equivalent voor het Belgische E-peil, waarbij het aangeeft hoe energiezuinig een gebouw is (*E-peil*, 2023). De MPG is een equivalent van het toekomstige M-peil dat de materiaalimpact in kaart brengt.

Aan de hand van EPD's verzameld in de Nationale MilieuDatabase kan de MPG bepaald worden. De opbouw van deze EPD's en de MPG gebeurt op basis van de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken waarbij de norm EN 15804 de basis vormt (Stichting Nationale Milieudatabase, 2022b). Bij deze methode worden levenscyclusanalyses uitgevoerd met als resultaat een milieuprofiel dat sinds 2021 bestaat uit negentien milieu-impactindicatoren en ook is gesynchroniseerd met de PEF-methodiek. Net zoals bij TOTEM wordt op basis van een weging van deze indicatoren één score verkregen die het mogelijk maakt verschillende zaken te vergelijken. Deze score is de Milieukostindicator of MKI en bevat de totale milieubelasting van een bouwwerk gedurende zijn levensduur. In tegenstelling tot TOTEM wordt module D hier ook in beschouwing genomen. Bij Burgerlijke & Utiliteitsbouw wordt deze MKI dan nog omgezet naar de MPG (Stichting Nationale Milieudatabase, 2022a).

Implementatie hergebruik

Volgens de Bepalingsmethode kunnen EPD's in Nederland opgesteld worden voor een productie-eenheid of functionele eenheid, het verschil zit hier in de beschouwing van de systeemgrenzen. Bij een productie-eenheid wordt enkel de productiefase A1-3 in rekening gebracht, terwijl bij een functionele eenheid wel de hele levenscyclus en dus alle modules worden bekeken met uitzondering van B6 en B7, respectievelijk het energie- en waterverbruik tijdens gebruik. De referentielevensduur is bij deze methode ook afhankelijk van de functie en dus verschillend van TOTEM op dit vlak. Voor woningen wordt een referentielevensduur van 75 jaar genomen terwijl deze bij utiliteitsbouw slechts 50 jaar bedraagt en voor GWW-werken 100 jaar. Hierin zitten grote verschillen die ook de uiteindelijke MKI-score aanzienlijk zullen beïnvloeden door de vermeerdering of vermindering in het aantal vervangingen. Deze vervangingen worden berekend door de functieduur te delen door de levensduur min één. Deze manier is anders dan TOTEM aangezien er hier kommagetallen kunnen ingevoerd worden terwijl bij TOTEM een meer genuanceerde aanpak wordt gehanteerd (Stichting Nationale Milieudatabase, 2022a).

Het is mogelijk om EPD's op te stellen voor een hergebruikt product. Hierbij wordt voor het materiaal een kwaliteitsfactor K in rekening gebracht. Deze factor is een maat voor de resterende kwaliteit van een product ten opzichte van het initiële product en wordt uitgedrukt in een percentage van 1 tot 100. Deze factor is enkel van toepassing op de milieubaten buiten het productsysteem. Om deze reden moeten de processen en materialen die noodzakelijk zijn om dit hergebruik mogelijk te maken voor de volle 100% in rekening worden gebracht in module D (Stichting Nationale Milieudatabase, 2022a).

Bij de berekening van een MPG van een bouwwerk is het mogelijk om hergebruik in rekening te nemen door het gebruiken van deze EPD's van hergebruikt materialen. Bij deze manier van werken worden dus ook de terugwinningsprocessen in rekening gebracht die bij TOTEM niet te vinden zijn. Indien het gaat om onvoorzien hergebruik, worden de producten die worden hergebruikt volledig buiten beschouwing gelaten in de milieuprestatieberekening. Dit betekent dat ook de vervangingen, het levenseinde van het product en eventueel onderhoud dus niet worden meegenomen in de levensduur van het bouwwerk (Stichting Nationale Milieudatabase, 2022a). Hierdoor wordt er een onderschatting gemaakt van de werkelijke milieulast. Om dit te verbeteren werden rekenregels ingevoerd voor dit onvoorzien hergebruik. Deze regels omvatten een hergebruikfactor die standaard is vastgelegd op 0,2 en toegepast wordt op een productkaart van het meest representatieve product beschikbaar in de NMD. Dit betekent concreet dat de MKI van module A1-3, C3, C4 en D wordt vermenigvuldigd met 0,2. De milieuprestatie van de overige modules wordt op de gebruikelijke wijze berekend (Stichting Nationale Milieudatabase, 2022a).

4.3.2. Denemarken

Regelgeving

Vanaf 1 januari 2023 zijn in hoofdstuk 11 van de Deense Bouwregelgeving ook eisen vervat voor de totale klimaatimpact van gebouwen. Opmerkelijk hierbij is dat het louter gaat om de klimaatimpact, terwijl bij een levenscyclusanalyse van een gebouw de impact berekend wordt op verschillende milieu-indicatoren, zoals verzuring, klimaatimpact, toxiciteit, etc. De Deense methode die gebaseerd is op EN 15978:2012 verschilt hierin van de Nederlands waarbij wel de negentien milieu-impactindicatoren worden bekeken. Elke nieuwbouw die een vergunning aanvraagt na 1 januari 2023 moet een klimaatimpact van het gebouw documenteren die uitgedrukt wordt in kg CO₂ equivalenten per m² per jaar. De analyse wordt gemaakt voor een bedenktijd van 50 jaar lopend vanaf de oplevering van de constructie. Deze bedenktijd is vastgelegd om de berekening van de klimaatimpact van afzonderlijke gebouwen vergelijkbaar te maken en valt dus niet noodzakelijk samen met de verwachte levensduur van de constructie. Bij de berekening worden module A1-3, B4, B6, C3-4 en ook D in rekening genomen. Indien het gebouw een verwarmde vloeroppervlakte groter dan 1000 m² heeft, dient er ook een grenswaarde nageleefd te worden. Bij de overeenstemming van deze waarde die begrensd is tot 12,0 kg CO₂ equivalenten per m² per jaar, mag module D en de bijhorende klimaatbesparingen niet in rekening worden gebracht (BR18, 2023). Deze waarde wordt in 2025 aangescherpt en zal verplicht worden voor gebouwen met een verwarmd vloeroppervlak kleiner dan 1000 m² (*Klimakrav (LCA) i bygningsreglementet*, 2022). Daarnaast biedt het akkoord in *National strategi for bæredygtigt byggeri* (Landelijke strategie Duurzaam bouwen) de mogelijkheid om te voldoen aan een vrijwillige lage emissie-klasse waarbij de grenswaarde maximaal 8,0 kg CO₂ equivalenten per m² per jaar bedraagt. Deze klasse is van toepassing op alle constructies, ongeacht de grootte van het verwarmde vloeroppervlak en zal door de jaren heen ook worden verstrengd (BR18, 2023). Het doel van deze klasse en de grenswaarden is om een globale CO₂ reductie in de bouw en andere sectoren, te bekomen (*Klimakrav (LCA) i bygningsreglementet*, 2022).

Implementatie hergebruik

Bij de berekening van de klimaatimpact moet voor elk in het gebouw opgenomen materiaal gebruik worden gemaakt van de dataset in bijlage 2 uit de BR18 of van gegevens uit milieuproductverklaringen die uitgevoerd werden in overeenstemming met EN 15804 (BR18, 2023). Hierbij kan hergebruik dus ook worden geïmplementeerd door het invoeren van EPD's van hergebruik materialen.

Naast de Deense Bouwregelgeving bestaat er ook een Vrijwillige Duurzaamheidsklasse of *Bæredygtighedsklassen* (Social-og Boligstyrelsen, 2023). Deze vereist de uitvoering van twee levenscyclusanalyses, één bij de aanvraag van de bouwvergunning en één bij de voltooiing van de bouw (Bounds, 2023). Hierbij is het doel om echt te focussen op de mogelijke klimaatvoordelen van circulair bouwen door het potentieel voor hergebruik, recyclage en terugwinning verplicht mee te nemen in de berekening (Social-og Boligstyrelsen, 2023). Dit verschilt sterk met de berekening voor het behalen van de grenswaarde bij de Bouwregelgeving, waarbij de klimaatvoordelen in Module D niet mogen meegenomen worden (BR18, 2023).

5. De keramische materialen

De verscheidenheid aan materialen binnen de bouwwereld zorgt voor verschillende voordelen omtrent duurzaamheid en mogelijkheden rond hergebruik. Binnen dit discours steken keramische materialen hierboven uit. Doorheen de globale geschiedenis van de mens, maar ook in de Belgische context zijn dit veruit een van de meest gebruikte bouwmaterialen. Niet alleen worden bakstenen, tegels, dakpannen, etc. nog veelvuldig geproduceerd, ook in de bebouwde omgeving is een grote materialenbank aanwezig (Kancheva & Zaharieva, 2023). Deze categorie speelt dan ook een belangrijke rol in de wereldwijde economie, maar ze heeft ook een zekere esthetische waarde binnen erfgoed en het bouwpatrimonium. De mogelijkheid tot hergebruik van deze materialen komt voort uit de gunstige fysische en mechanische eigenschappen, waardoor ook weinig onderhoud nodig is en de materialen over een lange levensduur beschikken (Del Rio et al., 2022). Ondanks de duurzame aspecten van keramische materialen en de potentiële binnen de circulaire economie, wordt aan hergebruik te weinig aandacht gegeven. Tijdens de energie-intensieve productie van nieuwe materialen komt nog steeds een grote hoeveelheid broeikasgassen vrij en ook een beduidende afvalstroom aan het einde van de levenscyclus. De focus op deze materialen bij hergebruik kan vervolgens betekenisvol zijn in het verlagen van de milieu-impact en bijdrage van de bouwsector in de klimaatverandering (Kancheva & Zaharieva, 2023).

5.1. Geschiedenis van de keramische materialen

Het ontstaan en gebruik van keramische bouwmaterialen is terug te traceren tot aan de Romeinen. Het waren dan ook zij die bakstenen en dakpannen introduceerden in het noorden van Europa (Campbell, 2003). Ondanks de intrede van deze materialen, die initieel voornamelijk voor militaire bouwwerken werden toegepast, verdween de kennis na de val van het Romeinse Rijk en werden constructiemethodes van voordien voortgezet. De herintrede van bakstenen en dakpannen in Vlaanderen kwam in 1200 tot stand, samen met de tegelvloeren waarbij sindsdien klei als grondstof wordt aangewend (Baeck, 2013). Deze intrede werd gestimuleerd door religieuze gemeenschappen die het gebruik en de verspreiding van de technieken bevorderden. Als gevolg kende de middeleeuwse bouwindustrie een grote revolutie en werden keramische bouwmaterialen de belangrijkste economische bedrijvigheid van die tijd (De Pauw & De Keuleneer, 1996).

Keramische materialen begonnen meer en meer het stadsgezicht te overheersen en vanaf de 16^e tot de 18^e eeuw werd Vlaanderen gezien als het centrum voor bouwen in metselwerk (Campbell, 2003). De baksteenproductie was een seizoensgebonden bezigheid waarbij veel handenarbeid aan te pas kwam. Zoals ook bij dakpannen het geval was, werden ze met de hand gevormd uit een mengsel van klei en leem, waarna ze te drogen werden gelegd en gebakken in veldovens. De stenen waren echter moeilijk te bewerken waardoor ze onregelmatige vormen kregen en ook het bakproces had een afwijkende warmteverdeling waardoor ongelijke hardheden verkregen werden (De Pauw & De Keuleneer, 1996). Desondanks werden duurzame stenen en pannen verkregen met een lange levensduur. De tegelindustrie kende een ander verloop. De vroege middeleeuwen waren een belangrijke periode voor de productie van keramische tegels in België en in de 16^e eeuw werd Antwerpen gezien als het centrum van deze nijverheid.

Grote hoeveelheden tegels werden uitgevoerd naar Frankrijk en Engeland, maar ook wederzijds waaide de faiencetegel over uit Zuid-Europa. De succesvolle periode eindigde echter bij de val van Antwerpen aan het einde van de 16^e eeuw (Baeck, 2013).



Figuur 17: Luchtfoto genomen tussen 1962 en 1965 van het gehucht Noeveren in Boom. Rechthoekige Hoffmannovens, elk met een capaciteit van 1,2 miljoen stenen, zijn verbonden met een schoorsteen. Om het continue bakproces gaande te houden was per oven 8 à 9 km aan droogloodsen nodig. Op de foto zijn ook enkele klampovens te zien (Le Noir, 2017).

De jaren 1800 en 1900 brachten grote veranderingen met zich mee. Wat voordien uitsluitend handmatig vervaardigd werd, kon steunen op gemechaniseerde processen voortkomend uit de industriële revolutie. Het voorbereiden, vormen en bakken van bakstenen onderging verschillende aanpassingen waarbij sindsdien kleimolens, strengpersen en vormpersen aan te pas kwamen (Campbell, 2003). Uiteindelijk werd ook het droogproces gemechaniseerd, tegelijkertijd met de mechanisering van de dakpanproductie (De Pauw & De Keuleneer, 1996). Het bakproces onderging meerdere veranderingen. Zo werd eerst de klampoven ontwikkeld waarbij kool als brandstof werd gebruikt. De overgang van deze discontinue oven naar een doorlopend bakproces gebeurde met de ringoven of Hoffmann oven, te zien in figuur 17. In een ellipsvormig gebouw werden kamers aangestoken waar achtereenvolgend zowel het drogen van de stenen, het bakken en het afkoelen plaatsvond. Uiteindelijk evolueerde deze techniek naar de tunneloven. Ondanks de vernieuwende systemen was de productie van bakstenen een industrie waar tot voor de Tweede Wereldoorlog vooral handenarbeid primeerde (Campbell, 2003). Ook de tegelindustrie won in deze periode opnieuw aan belang. Naast de traditionele productie werden moderne middelen aangewend om te beantwoorden aan de groeiende vraag (Baeck, 2013).

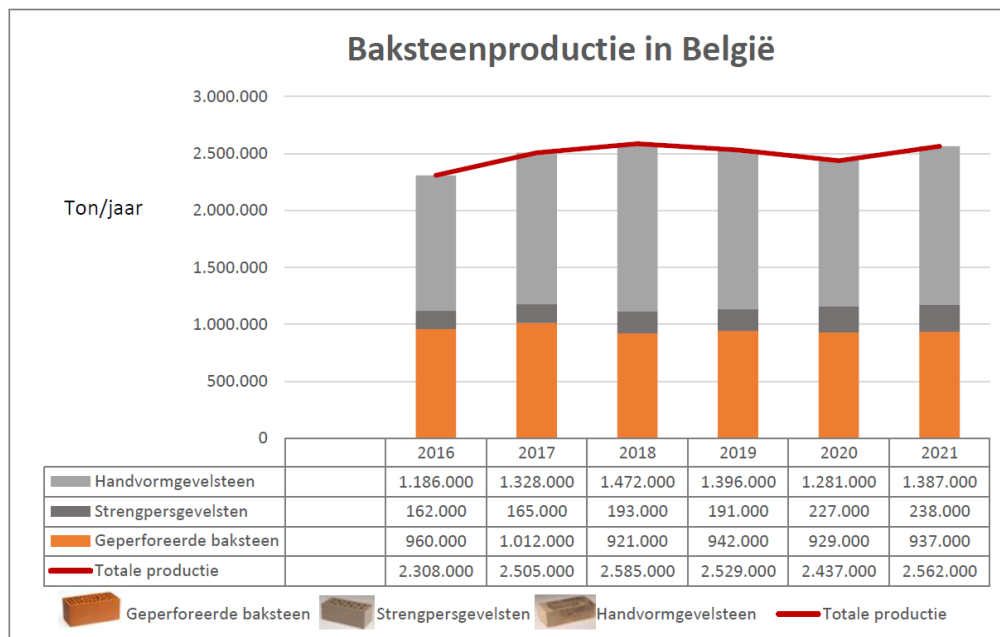
De opkomst van nieuwe behoeften en het veranderende maatschappelijk beeld maakte het de keramische industrie in België steeds moeilijker. De mogelijkheden van de materialen werden pas in het laatste decennium van de 19^e eeuw benut, maar moesten snel wijken voor nieuwe ontwikkelingen binnen de bouwindustrie. De betonfabricage die in België zijn intrede deed vormde concurrentie voor de baksteenindustrie en ook de wereldoorlogen zouden een periode van stilstand betekenen (De Pauw & De Keuleneer, 1996). Het interbellum omvatte een laatste bloeiperiode samen met wederopbouwcampagnes na de Tweede Wereldoorlog, maar toen deze ten einde liepen en financiële crisissen de kop op staken verdween de aandacht naar andere sectoren. Uiteindelijk moest ook de tegelindustrie wijken voor een te groot wordende markt (Baeck, 2013). De keramische industrie, met bijhorende export over de hele wereld, die eens zo groot was verdween voor het merendeel uit het Belgische landschap.

5.2. Huidige stand van zaken

De variëteit aan keramische bouwmaterialen en soorten vandaag op de markt gebracht, maken het moeilijk de volledige groep mee te nemen in het onderzoek. Daarom wordt de focus binnen deze studie gelegd op keramische gevelstenen. Het zijn een van de oudste bouwmaterialen en worden doorheen de geschiedenis het meest benadrukt. Daarnaast zijn ze alomtegenwoordig terug te vinden in de architecturale wereld, niet alleen in historische constructies, maar ook in moderne bouwprojecten van uiteenlopende types. Door de populariteit van het materiaal is er voldoende informatie terug te vinden over de huidige productieprocessen samen met de milieu-impact en innovatieve technieken rondom duurzaamheid die reeds in omloop zijn.

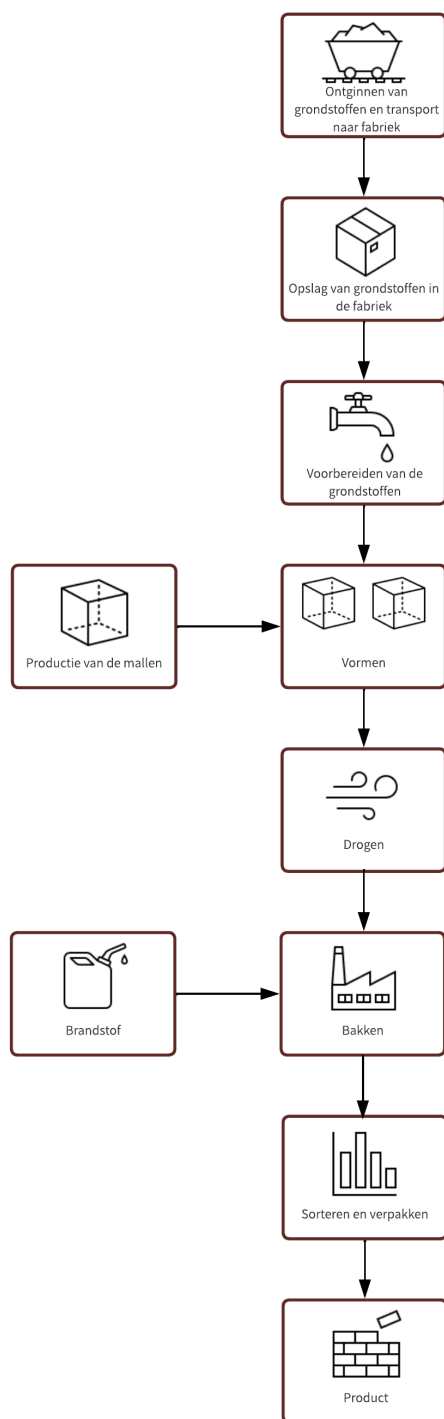
5.2.1. Productie en milieu-impact

Ondanks het dieptepunt na de wederopbouwperiode, blijft in België een groot productiecentra voor baksteen bestaan. Gedurende tientallen jaren groeide deze nijverheid opnieuw uit tot een belangrijke onderneming. Tijdens het jaar 2021 bedroeg de baksteenproductie in België, te zien in figuur 18, alleen al maar liefst 2.562.000 ton, wat een toename is van 5% tegenover het vorige jaar. De uitvoer, ongeveer 41% van deze hoeveelheid, bleef vooral beperkt tot de buurlanden, met het Verenigd Koninkrijk als belangrijkste exportland. De gevelsteenproductie, waar de focus op gevestigd is, bedraagt 1.625.000 ton waarbinnen zowel strengpersgevelstenen als handvormbakstenen worden opgenomen (Belgische Baksteenfederatie vzw, 2021).



Figuur 18: Jaarlijkse baksteenproductie in België, opgedeeld per soort steen (Belgische Baksteenfederatie vzw, 2021)

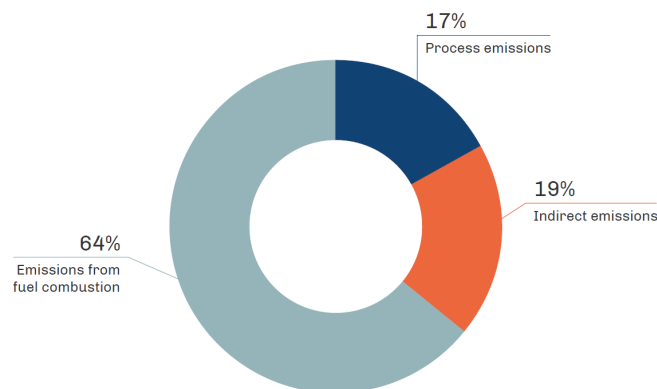
Tijdens de productie van deze enorme hoeveelheid materialen komen er steeds emissies vrij. Het vervaardigen van bakstenen bestaat uit een aantal energie-intensieve processen. Deze vijf stappen, namelijk het ontginnen van de grondstoffen, het voorbereiden van de klei, het vormen, het drogen en het bakken hebben elk een behoefte aan energie waaraan een zekere uitstoot gepaard gaat (Belgische Baksteenfederatie vzw, 2023).



Figuur 19: Algemeen productieproces van baksteen metselwerk

Als eerste stap in het productieproces, weergegeven in figuur 19, wordt klei als primaire grondstof ontgonnen. De samenstelling van dit organisch materiaal en geologische kenmerken zal bepalend zijn voor de karakteristieken van de baksteen. In een volgende stap wordt de klei voorbereid. Het raspen en walsen van de grondstof resulteert in een homogeen mengsel met een zekere plasticiteit door toevoeging van water, nodig voor het vormen in een latere fase. Om een optimale kwaliteit te verkrijgen worden in deze fase ook andere soorten klei toegevoegd en kunnen additieven ingemengd worden om specifieke eigenschappen te verkrijgen. Vervolgens worden de stenen gevormd. Hiervoor wordt tegenwoordig bijna uitsluitend de strengpers gebruikt, waarbij een doorlopende streng klei op bepaalde afstanden wordt doorgesneden. Tijdens het drogen moeten de stenen een aanzienlijk deel van het water verliezen. Ze kunnen kunstmatig gedroogd worden in droogtunnels of kamers waarbij restwarmte van het koelproces wordt gebruikt. In een laatste fase worden de stenen gebakken. De temperatuur wordt gelijkmatig opgevoerd terwijl de bakstenen doorheen een tunneloven geleid worden. Eerst wordt een temperatuur van 450°-600°C bereikt waarmee de kwartsprong gepaard gaat. Daarna loopt deze op tot een temperatuur van 1200°C, ook wel de sintertemperatuur genoemd waarbij de korrels gaan samenklitten en een steenachtige massa gevormd wordt. Hierna worden ze terug op een gelijkmatige manier afgekoeld. Alteraties in dit bakproces kunnen opnieuw de eigenschappen van de stenen sterk beïnvloeden. Zo kan oxiderend of reducerend gebakken worden om een rode of juist donkere kleur te verkrijgen (Belgische Baksteenfederatie vzw, 2023). Daarnaast wordt de kwaliteit ook bepaald door de baktemperatuur. Door de oliecrisis van 1973 en de stijgende brandstofprijs werden fabrikanten gedwongen om hun productiemethode en de hiermee gepaard gaande stooktemperaturen te herzien. Voordien werden stenen geproduceerd zonder al teveel te letten op het energieverbruik, waarbij een zeer hoge kwaliteit van de producten werd gegarandeerd. De veranderingen in het proces zorgden voor een licht kwaliteitsverlies van de nieuwe stenen (Ghyoot et al., 2018). Als laatste stap, wanneer de stenen zijn afgekoeld, worden ze verpakt en zijn ze klaar voor gebruik (Belgische Baksteenfederatie vzw, 2023).

Emissies die uit deze processen voortkomen, worden voornamelijk toegeschreven aan de verbranding van brandstoffen, nodig voor het drogen en bakken van de stenen. Daarnaast dragen indirecte emissies, resulterend uit het gebruik van elektriciteit om de processen in stand te houden, ook bij aan het geheel. Buiten deze twee factoren zal ook de mineralogische transformatie van de klei zelf een groot aandeel hebben. Het bakproces zorgt immers voor een chemische carbonatatie waarbij carbonaten in de grondstof omgezet worden tot CO₂. De hoeveelheid hiervan is afhankelijk van de klei en samenstelling van de geologische grondlaag (Cerame-Unie, 2021).



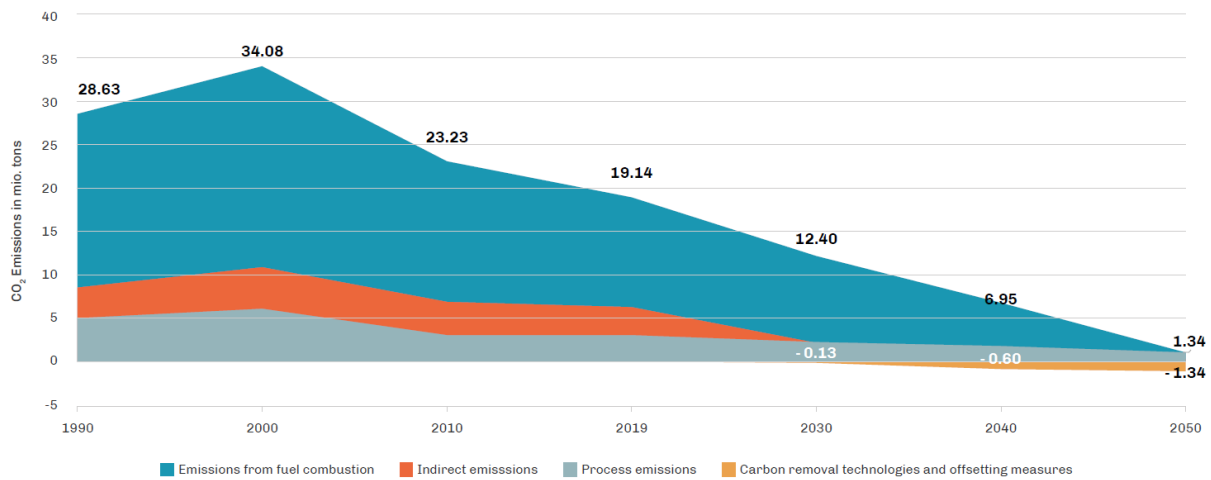
Figuur 20: Aandeel per soort emissies die vrijkomen bij de verschillende productieprocessen van baksteen (Cerame-Unie, 2021)

Om de impact tijdens de productie van bakstenen te verminderen, kan er op drie factoren, weergegeven in figuur 20, ingespeeld worden.

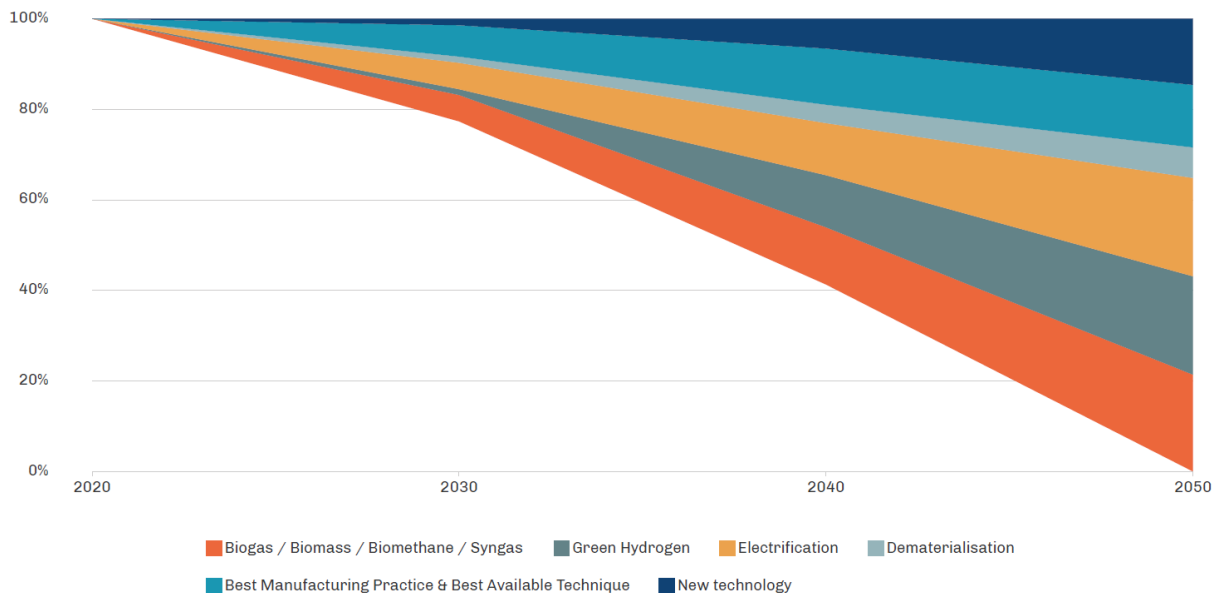
Het gebruik van grondstoffen is noodzakelijk, waardoor CO₂ bij de procesemissie een onvermijdbaar bijproduct wordt. De ontginning van deze grondstoffen bevindt zich in de meeste gevallen aanpalend aan de productiecentra, waardoor lokaal beschikbare middelen worden gebruikt en een groot aandeel transport vermeden kan worden. Verder wordt bij Wienerberger Belgium ook een aandeel van deze primaire grondstoffen vervangen door secundaire grondstoffen in de vorm van gerecycleerd keramiek (A. Windels, persoonlijke communicatie, 3 maart 2023). Daarnaast zijn technieken als het opvangen en opslaan van CO₂ en dematerialisatie mogelijkheden om de milieu-impact te verminderen. Dit laatste wordt aangewend om het gebruik van grondstoffen te verminderen en resulteert in dunnere bakstenen. Hierbij wordt naast het verlagen van de emissies gerelateerd aan het productieproces, ook de hoeveelheid restproducten, bestemd voor recyclage of hergebruik, aan het einde van de levenscyclus verminderd (L. Dufourni & C. Van Loock, persoonlijke communicatie, 2023). In de context van dematerialisatie neemt ook de populariteit van baksteenstrips toe. Deze worden op een stabiele ondergrond met een laagje cementlijm aangebracht (*Steenstrips plaatsen*, 2023).

Andere technieken die worden toegepast hebben betrekking op de verbranding van brandstoffen. Het verminderen van energieverbruik, warmtebesparing en de terugwinning van warmte resulteren in een grote besparing, maar ook groene stroom en alternatieve energiebronnen dragen hieraan bij. Zo worden technieken als biogas, biomassa, groene waterstof en andere diverse technologieën geïmplementeerd om de klassieke fossiele brandstoffen te vervangen (Cerame-Unie, 2021).

Sinds 1990 is het de sector gelukt een reductie van reeds 33% in de emissies te bekomen, deze is weergegeven in figuur 21. In het kader van de *Europese Green Deal* moet deze dalende trend behouden blijven. Doorvoeren van innovatieve technieken, te zien in figuur 22, en het intensief implementeren ervan in de industrie, zal een reductie in CO₂ bewerkstelligen. Zo wordt de klimaatneutrale ambitie binnen de keramische industrie en productie van gevelsteen nagestreefd.



Figuur 21: CO₂ reductie traject (Cerame-Unie, 2021)



Figuur 22: Maatregelen die bijdragen aan de reductie van emissies gerelateerd aan de verbranding van fossiele brandstoffen (Cerame-Unie, 2021)

5.2.2. Hergebruik en alternatieve technieken

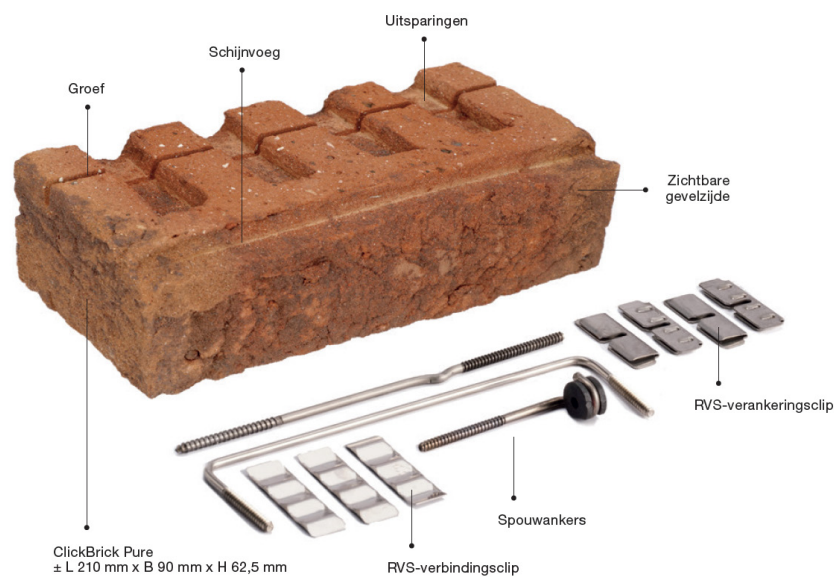
Naast methoden gericht op het verminderen van de milieu-impact tijdens het productieproces van gevelstenen, zijn er ook benaderingen die in andere fases ingrijpen. Hergebruik heeft, buiten het vermijden van afbraak en afval, de hoogste prioriteit binnen de ladder van Lansink. Het is de meest voor de hand liggende methode om de impact gerelateerd aan het verwerken van afval na afbraak, maar ook impact gerelateerd aan de productie ervan in een volgende levensfase, te vermijden. Het recupereren van individuele bakstenen ter vervanging van nieuwe bakstenen is hierbij het voornaamste voorbeeld, maar ook het maken van steenstrips van deze recuperatiestenen behoort tot de mogelijkheden.

Verder wordt geëxperimenteerd met andere technieken die kunnen worden toegepast op het einde van de levenscyclus van gevelmetselwerk. Deze onderzoeken gaan over het hergebruik van gevelelementen als modules, waarbij volledige stukken muur worden gerecupereerd. Hierbij is minder mortel nodig ten opzichte van afzonderlijke gevelstenen, waardoor de milieu-impact gerelateerd aan de productie hiervan zal dalen. Desondanks zullen andere verwerkingsprocessen de kost van de terugwinningsprocessen doen stijgen. Zo moeten de modules uitgesneden worden om in het nieuwe ontwerp te passen en zijn mechanische testen noodzakelijk om de originele mortelverbindingen te controleren (Erduran et al., 2019). Het idee van werken met modules werd geïmplementeerd door Anders Lendager in het project Resource Rows nabij Kopenhagen, te zien in figuur 23. Metselwerk van leegstaande huizen werd uitgesneden en bevestigd op prefab betonelementen, waarna een patchwork van verschillende elementen in de gevel werd verkregen (Schoof, 2021).



Figuur 23: Foto van het uitsnijden van metselwerkmodules voor het project Resource Rows met ernaast een foto van het project zelf van Lendager Group (Lissalde, 2022)

De eerder vermelde arbeidsintensieve terugwinningsprocessen en de beschikbare markt vormen echter vaak barrières voor deze methoden, waardoor het implementeren van hergebruik moeizaam verloopt. Toch zijn reeds stappen genomen met alternatieve technieken om duurzaamheid binnen het discours te brengen en te anticiperen op hergebruik in de toekomst. In dit kader worden droogstapelsystemen op de markt gebracht. Dit zijn modulaire of demonteerbare systemen waarbij geen mortel of lijm gebruikt wordt bij de bevestiging van de stenen. Het gebruik van een ‘droge’ stapelingsmethode maakt de terugwinning een stuk makkelijker en minder arbeidsintensief, maar ook de impact gerelateerd aan de productie van mortel of lijm kan uitgespaard worden (L. Dufourni & C. Van Loock, persoonlijke communicatie, 2023). Hierbij is het *Clickbrick* systeem, door Wienerberger op de markt gebracht en weergegeven in figuur 24, een van de eerste in zijn soort. De stenen worden met behulp van RVS-clips aan elkaar gezet en aan de achterliggende constructie verbonden met spouwankers. Hoewel alle systeemcomponenten herbruikbaar zijn, kan dit niet oneindig gebeuren, waarna recyclage eveneens nodig is. De VUB (Vrije Universiteit Brussel) voerde een studie uit, waaruit blijkt dat na een levensduur van 30 jaar bij demontage de *Clickbrick* gevel nog reeds 70% van zijn waarde behoudt en kan ingezet worden in een volgend bouwproject. Bij een levensduur van 50 jaar daalt deze waarde naar 56% (Wienerberger, 2023).



Figuur 24: Het *Clickbrick* systeem van Wienerberger met alle bijhorende componenten (Wienerberger, 2023)

Verder vormen demonteerbare gevelpanelen ook een mogelijkheid die inzet op hergebruik in latere levenscycli. Demonteerbare gevelpanelen met baksteenstrips combineren hierbij dematerialisatie met een demonteerbaar systeem. Net zoals het *Clickbrick* systeem worden de panelen droog verankerd aan de draagstructuur, waardoor ze eenvoudig kunnen worden gerecupereerd (L. Dufourni & C. Van Loock, persoonlijke communicatie, 2023).

Deel 2

Methodologie

1. Verzamelen van data

1.1. Opalis

De website Opalis werd in 2011 opgericht door Rotor vzw, een vereniging actief rond het hergebruik van bouwmaterialen en de materiële omgeving. Door middel van studies en onderzoeken worden kritische posities ingenomen binnen het gebied van architectuur en interieur. Ook samenwerkingen met andere actoren worden bij Rotor op de voorgrond geplaatst. In dit kader biedt de website Opalis een mogelijkheid om het gebruik van hergebruikmaterialen in bouw- en renovatieprojecten te vergemakkelijken (Vlaanderen circulair, 2023). Zo wordt de site georganiseerd in verschillende rubrieken. In een eerste deel is een overzicht te vinden van de professionele operatoren in België, Nederland en Frankrijk, gespecialiseerd in de terugwinning en verkoop van gerecupereerde bouwmaterialen. Een volgende rubriek bevat informatie omtrent recente realisaties waarbij hergebruikmaterialen op een succesvolle manier zijn toegepast. Daarnaast is ook technische documentatie te vinden in de vorm van materiaalfiches over de meest voorkomende bouwproducten op de hergebruikmarkt. Als laatste is er een gedeelte waar nuttige documenten en links worden verzameld (*Over / Opalis*, 2023).

Voor dit onderzoek werd gebruik gemaakt van Opalis om in contact te komen met operatoren die actief zijn in de markt van hergebruikte keramische bouwmaterialen. Tijdens bevestigingen met deze specialisten werd data en informatie verworven omtrent de processen die het hergebruik van keramisch gevelmetselwerk mogelijk maken. Dit staat namelijk slechts beperkt in de literatuur neergeschreven. De gesprekken maken het mogelijk een blik te werpen op de huidige organisatie van de terugwinningsprocessen en vormen een basis waarop verdere berekeningen doorgevoerd worden. Uit een selectie van meerdere bedrijven, gebaseerd op specialisatie, materialen, diensten en locatie kwamen enkele operatoren naar boven waaraan een bezoek werd gebracht. Uiteindelijk werden vier bedrijven behouden voor de studie van keramisch gevelmetselwerk, die in onderstaande fiches worden voorgesteld.



Franck

Het familiebedrijf Franck werd in 1973 opgericht in de afbraak- en recuperatiesector, met als specialisatie het hergebruik van bakstenen. Vandaag zijn ze een vaste waarde geworden in de handel van dakpannen, nieuwe- en recuperatiegevelstenen. Naast particulieren, werken ze ook samen met professionals en treden ze op als adviseur bij pilootprojecten. Hierbij worden de grenzen van hergebruik verlegd en wordt er steeds verder aan de toekomst gewerkt. Voor hun inspanningen, waarbij ze in 2020 alleen al 6000 ton bakstenen opnieuw in omloop brachten, ontvingen ze de circubuild-award.



Materialen	Bakstenen, dakpannen, klinkers
Specialisatie baksteen	Beerse/Boomse stenen, klampstenen, paepstenen, veldovenstenen
Diensten	Demontage, transport
Productbewerking	Sorteren, reinigen, stockeren
Grootte bedrijf	Groot
Bron	(<i>Franck Opalis, 2023</i>) (<i>Franck Bricks, 2023</i>)



Al meer dan 20 jaar biedt Fryns-Boret een gevarieerd gamma aan kwaliteitsvolle materialen, stuk voor stuk met een uniek verhaal. De voorbije decennia is er een uitgebreide verzameling antieke en rustieke bouwmaterialen aangelegd, waarbij authenticiteit voorop staat. Ook het actief recupereren en schoonmaken van baksteen behoort toe aan de specialiteiten. Daarnaast nemen ze in de showroom, een stuk antiek op zichzelf, ook ontwerpen van vakmannen op, vervaardigd uit oude materialen.



Materialen	Bakstenen, architecturaal antiek
Specialisatie baksteen	Polderstenen
Diensten	Demontage, transport
Productbewerking	Sorteren, reinigen, stockeren
Grootte bedrijf	Middel
Bron	(Fryns-Boret / Opalis, 2023) (Fryns - Boret Antieke & Rustieke Bouwmaterialen, 2023)

Van Huele

oude bouwmaterialen

Al meer dan dertig jaar biedt het familiebedrijf Van Huele een grote variëteit aan verschillende soorten recuperatiematerialen. Na jaren ervaring in uitsluitend gerecupereerde bouwmaterialen uit de afbraak, is een ruime stock en expertise opgebouwd. Hoge kwaliteit samen met originele en authentieke materialen staan centraal waarbij, door samenwerking met zeer bekwame vakmannen, producten op maat afgeleverd worden.



Materialen	Bakstenen, stenen platen, dakpannen, leisteen, natuurstenen elementen, tegels
Specialisatie baksteen	Paepesteen, klampsteen, poldersteen, Brugse moefen, scheldesteen
Diensten	Transport, plaatsing
Productbewerking	Sorteren, reinigen, stockeren
Grootte bedrijf	Groot
Bron	(Van Heule / Opalis, 2023) (Van Huele, 2023)



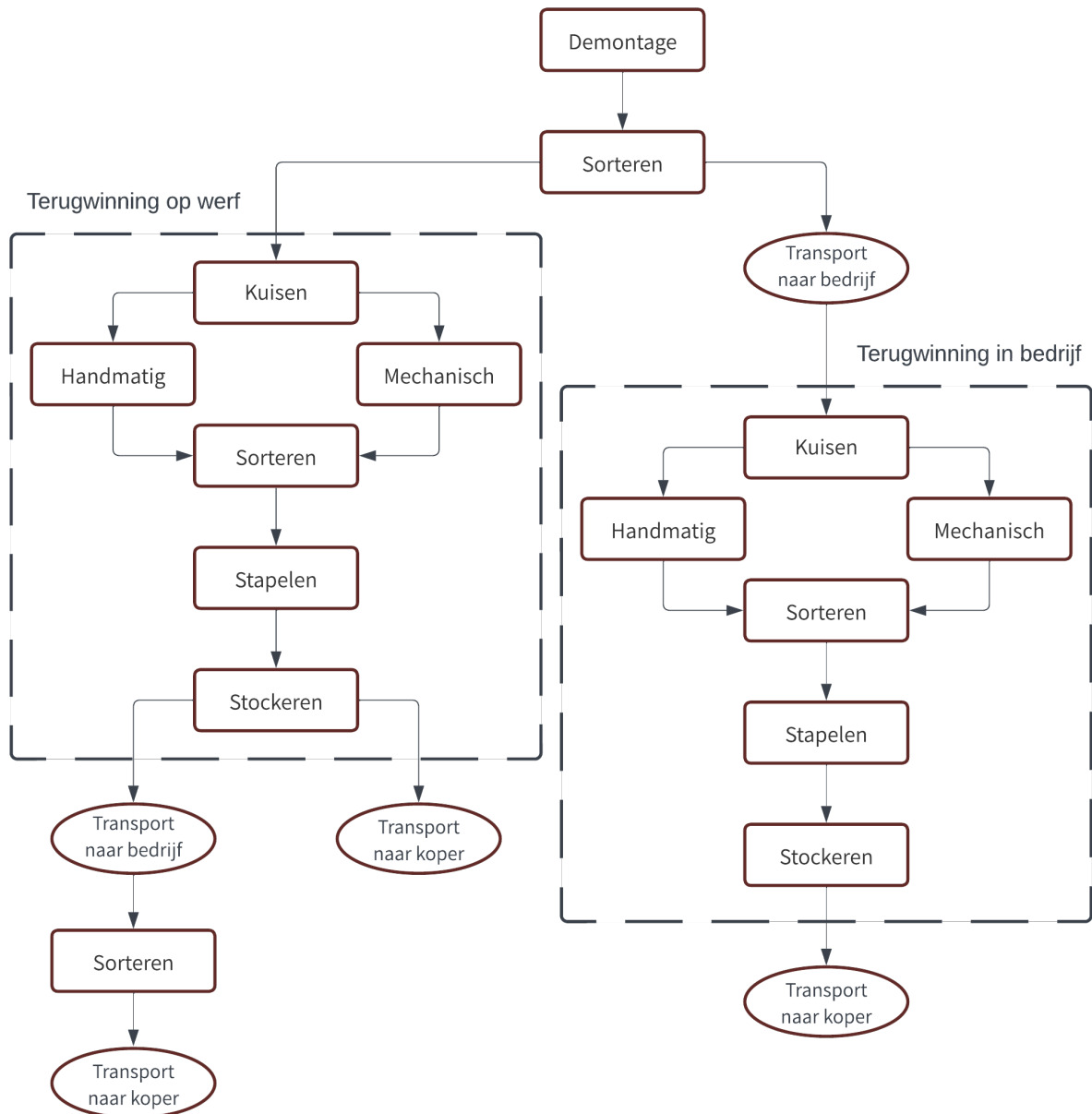
De Westvlaamse Steencentrale werd in 1948 opgericht en stond symbool voor hoogstaande kwalitatieve gevelstenen. Later werden ze de specialist in exclusieve gevelstenen, geïmporteerd en verkocht over heel Europa. De productlijn is uitgebreid met andere materialen en dit ook de laatste vijftien jaar met recuperatiematerialen. De stock bevat vooral kleinere partijen van uit de handel verdwenen, handgevormde stenen met zeldzame afmetingen. De opgebouwde kennis over lokaal toegepaste bakstenen samen met hun afkomst bezorgde de Westvlaamse Steencentrale vervolgens al enige faam in binnen- en buitenland.



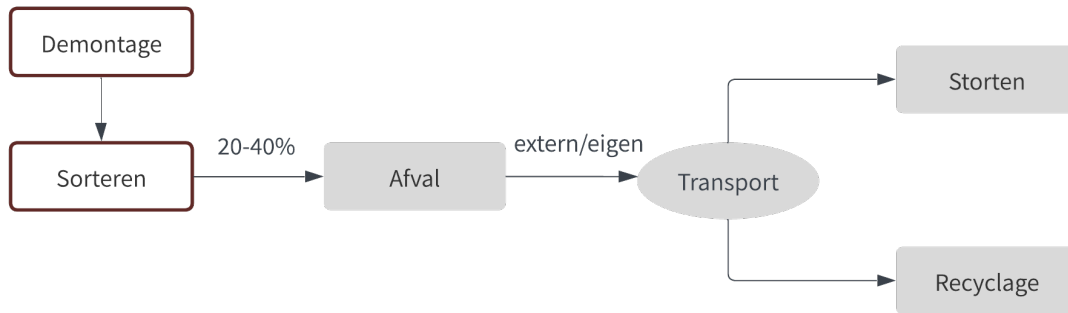
Materialen	Bakstenen, dakpannen, leistenen, tegels, stenen platen
Specialisatie baksteen	Zeldzame, handgevormde bakstenen
Diensten	Transport
Productbewerking	Sorteren, reinigen, stockeren, verzagen
Grootte bedrijf	Groot
Bron	(Westvlaamse Steencentrale Nv / Opalis, 2023) (Westvlaamse Steencentrale, 2023)

1.2. Data

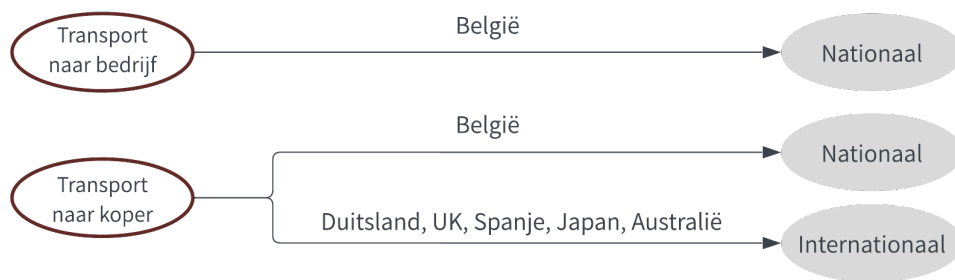
Data verkregen van specialisten tijdens de gesprekken blijkt niet eenduidig te zijn. Van bedrijf tot bedrijf zijn er verschillen in hoe er precies met hergebruik wordt omgegaan. Aangezien er ook niet één juiste manier voor recuperatie bestaat, zal de data discrepanties vertonen. Om het overzicht te bewaren wordt deze data schematisch weergegeven in onderstaande figuren, gekoppeld aan de organisatie van de terugwinning.



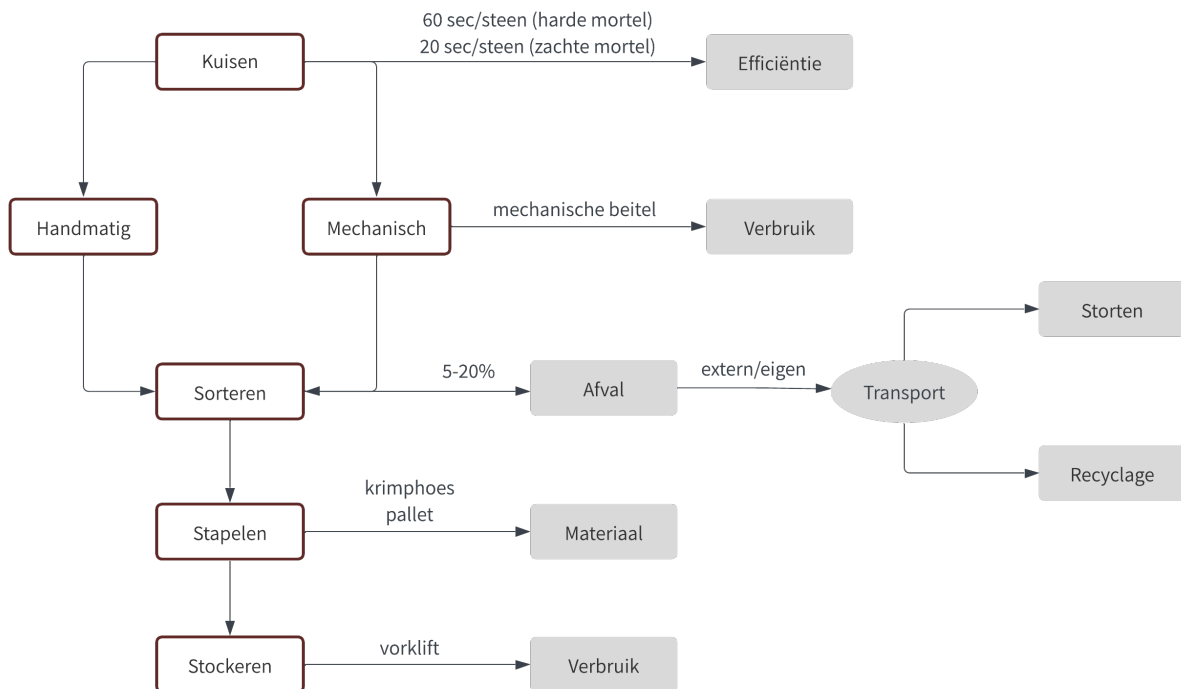
Figuur 25: Overzicht terugwinningsprocessen van keramisch gevelmetselwerk met opdeling terugwinning op werf en terugwinning in bedrijf



Figuur 26: Overzicht en data van sorteren



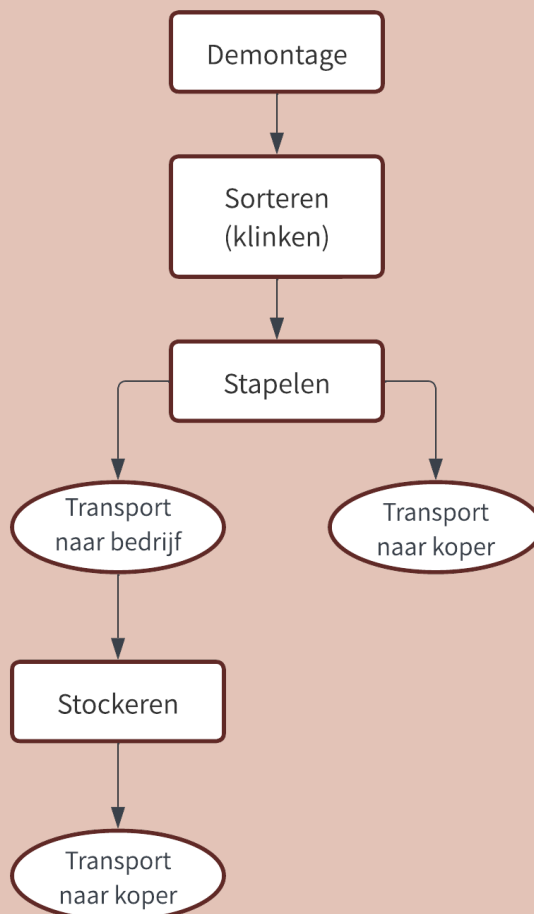
Figuur 27: Overzicht en data van transport



Figuur 28: Overzicht en data van terugwinningsprocessen op bedrijf/werf

Vergelijking met terugwinning van keramische dakpannen

Tijdens de bezoeken aan de handelaars werd ook info verzameld over de nodige terugwinningsprocessen bij hergebruik van keramische dakpannen. Deze is schematisch terug te vinden in onderstaande figuur 29. Opmerkelijk is de grootte van dit schema ten opzichte van dit bij keramisch gevelmetselwerk. Door het wegvallen van het reinigingsproces, verkleint het schema aanzienlijk. Opvallend is ook het feit dat de terugwinningsprocessen zich voornamelijk op de werf bevinden. Na het ontmantelen van de dakpannen worden deze uitgeklonken om de kwaliteit en helderheid te verzekeren (F. Verhoye, persoonlijke communicatie, 23 februari 2023; Recupan, persoonlijke communicatie, 9 maart 2023; Van Huele, persoonlijke communicatie, 14 februari 2023; Westvlaamse Steencentrale, persoonlijke communicatie, 17 februari 2023). Verder wordt louter gecontroleerd op de maat en intacte neus en hoeken (Van Huele, persoonlijke communicatie, 14 februari 2023). Het kuisen van de pannen kan wel eventueel plaatsvinden na de plaatsing op het nieuwe dak, maar dit wordt niet standaard toegepast (Recupan, persoonlijke communicatie, 9 maart 2023).



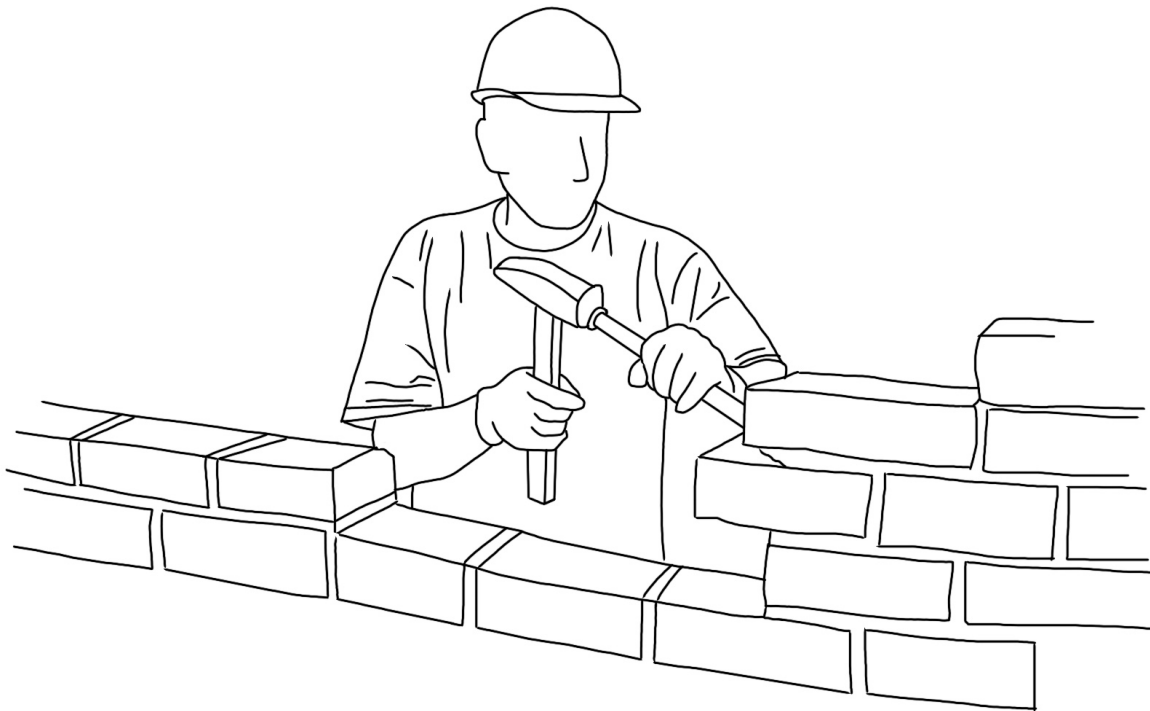
Figuur 29: Overzicht terugwinningsprocessen van keramische dakpannen

1.3. Terugwinningsprocessen

Na het verzamelen van de data, kan er meer ingegaan worden op de specifieke terugwinningsprocessen.

Demontage

De demontage of selectieve sloop kan zowel volledig manueel, met hamer en beitel, of met behulp van een grijpkraan gebeuren. Bij dit laatste wordt alles met behulp van een kraan op de grond gelegd, waarna met een breekhamer de afzonderlijke stenen worden losgemaakt (Franck, persoonlijke communicatie, 14 november 2022). Het is belangrijk dat de demontage met enige zorg gebeurt opdat het verliespercentage tot een minimum beperkt wordt. Bakstenen die perfect bruikbaar zijn, kunnen namelijk tijdens het demonteren al door een kleine val breken (FCRBE, 2021d). De efficiëntie en de hoeveelheid afval die vrijkomt van deze selectieve sloop hangt sterk af van de gebruikte mortel en de densiteit van de stenen. De komst van cementmortel rond 1970 heeft de terugwinning van de bakstenen bemoeilijk ten opzichte van muren met kalkmortel, met een groter verliespercentage tot gevolg (FCRBE, 2021d). Door het gebruik van bastaardmortel, waarbij zowel kalk als cement aanwezig is, wordt de terugwinning opnieuw eenvoudiger (Franck, persoonlijke communicatie, 14 november 2022).

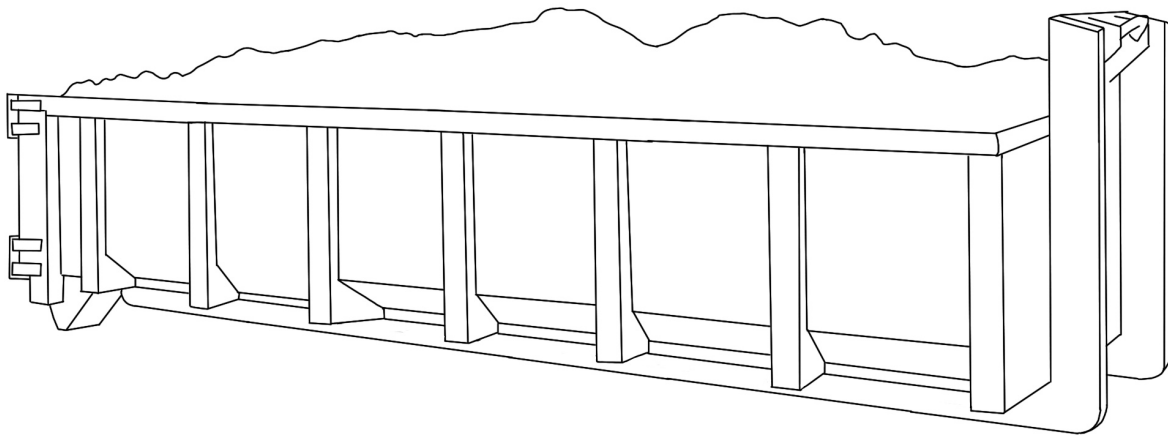


Figuur 30: Selectieve sloop van een metselwerk muur met behulp van een hamer en beitel

Voorafgegaan aan deze selectieve sloop dienen eventuele oppervlaktebekledingen zoals gipsbepoetsing of pleisterwerk mechanisch verwijderd te worden (FCRBE, 2021d). De aanwezigheid van verfsporen op metselwerk weerhoudt de terugwinning hiervan ook niet en kan als esthetische kwaliteit ingezet worden bij nieuwe projecten.

Sorteren

Een eerste sortering gebeurt meestal op de werf zelf. Hierbij worden mortelresten en afval gescheiden van te recupereren bakstenen, die afzonderlijk in een container worden gelegd (Franck; persoonlijke communicatie, 14 november 2022; Van Huele, persoonlijke communicatie, 14 februari 2023). Ook stenen die niet kunnen worden hergebruikt worden aan de kant gehouden. Het gaat hier onder andere over stenen die spontaan breken of verpulveren tijdens de demontage en bakstenen afkomstig van vervuilde plaatsten zoals funderingen, stallen en schoorstenen. De stenen afkomstig van deze laatste plaats worden ook wel zoetstenen genoemd (Franck, persoonlijke communicatie, 14 november 2022). Een gemiddeld afvalpercentage van 20-40% wordt voor deze fractie beschouwd (Franck, persoonlijke communicatie, 14 november 2022; Fryns-Boret, persoonlijke communicatie, 24 februari 2023; Van Huele, persoonlijke communicatie, 14 februari 2023; Westvlaamse Steencentrale, persoonlijke communicatie, 17 februari 2023).

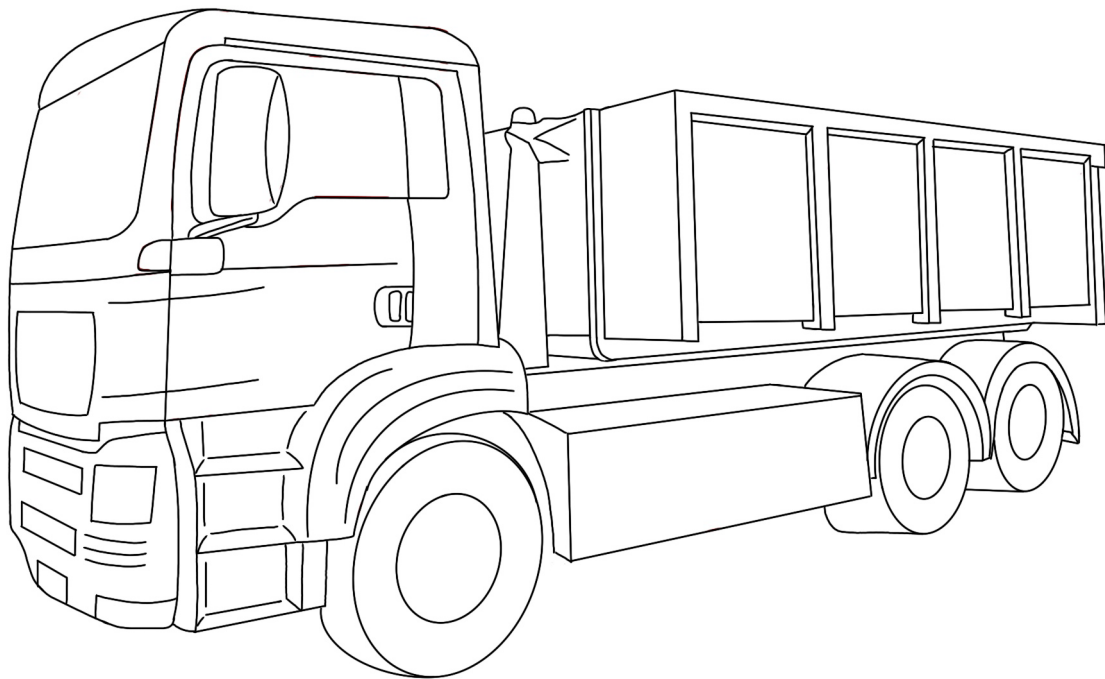


Figuur 31: Container met recuperatiestenen

Het grootste aandeel steenpuin wordt vervoerd naar recyclagebedrijven. Hierdoor kunnen deze fracties gebruik worden bij de aanleg van wegen. Slechts een klein deel van het afval wordt gestort (Franck, persoonlijke communicatie, 14 november 2022; Fryns-Boret, persoonlijke communicatie, 24 februari 2023; Van Huele, persoonlijke communicatie, 14 februari 2023; Westvlaamse Steencentrale, persoonlijke communicatie, 17 februari 2023).

Transport

Transport komt op verschillende momenten voor, uitgevoerd door derden of de specialisten zelf. De afstand tussen de demontagewerven en specialisten zal variëren, maar dit transport blijft voornamelijk binnen België. Toch kan een onderscheid gemaakt worden tussen lokale werven, degene op een zekere afstand en deze net buiten de landsgrenzen. Ook na het sorteren zal transport nodig zijn om het afval, bestemd voor storten en recyclage, weg te brengen (Franck, persoonlijke communicatie, 14 november 2022; Fryns-Boret, persoonlijke communicatie, 24 februari 2023; Van Huele, persoonlijke communicatie, 14 februari 2023; Westvlaamse Steencentrale, persoonlijke communicatie, 17 februari 2023).



Figuur 32: Vrachtwagen met een lading recuperatiestenen

Er bestaat echter ook de mogelijkheid om de stenen te kuisen en palletiseren op de afbraakwerf zelf. Dit kan gunstig zijn indien het metselwerk snel breekt, aangezien het verliespercentage tijdens transport kan worden gereduceerd (FCRBE, 2021d). Ook de impact van transport naar het bedrijf kan vermeden worden. Dit vergt echter meer organisatie vooraf en voldoende capaciteit op de werf, waardoor terugwinning op de werf vrijwel nooit zal voorkomen. Het kuisen van stenen op de werf zelf zal wel een meerwaarde leveren, indien de stenen opnieuw in-situ hergebruikt worden.

Loodtoren - Jaques Delens SA

Bij het omvormen van de verlaten gieterij tot een cultuur- en sportcentrum was het behoud van het gebouw en het hergebruik van de bouwmaterialen prioritair. Ze slaagden er bij dit project in om bijna 60 m³ bakstenen af te breken, reinigen en opnieuw ter plaatste te gebruiken. Op deze manier moest geen enkele baksteen van buitenaf worden aangevoerd. Een moeilijkheid in het project bestond erin de bakstenen op te slaan. Door een algemeen gebrek aan opslagruimte op Brusselse werven, moesten de stenen naar externe opslagplaatsen worden getransporteerd, waar ze werden gereinigd en gestockeerd. Op deze manier konden de werken op de werf zelf blijven doorgaan (Be Circular & Dawans, 2019). Naast de bakstenen werden negen balken van elk 9,5 m lang gedemonteerd om herwerkt te worden tot banken en een buitenbar. Ook verschillende blokken arduinsteen vonden een nieuwe bestemming in de buitenaanleg (Groulard & Circubuild, 2021).



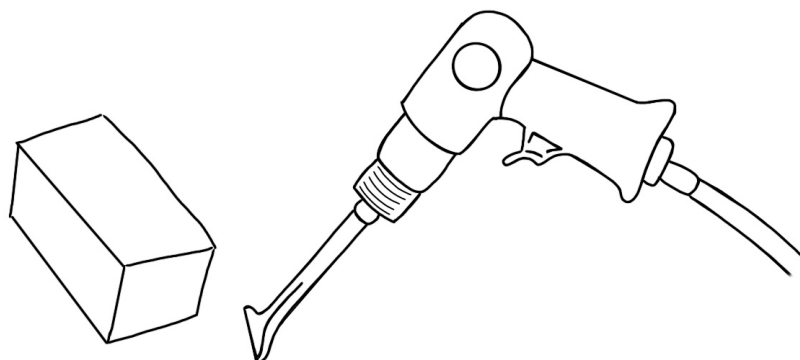
Figuur 33: Loodtoren of Hageltoren in Brussel (Groulard & Circubuild, 2021)

Kuisen

De belangrijkste en ook een van de meest tijdrovende/arbeidsintensieve processen bij de terugwinning bestaat uit het kuisen van de individuele stenen. Hierbij worden vuil en mortelresten verwijderd, waarbij slechts lichte sporen van oppervlaktmortel worden aanvaard om het hergebruik van de bakstenen te vergemakkelijken (FCRBE, 2021d). Dit reinigen kan zowel handmatig met een beitel, bij of staalborstel of mechanisch door middel van een vibrerende beitel of platen (FCRBE, 2021d; Franck, persoonlijke communicatie, 14 november 2022; Fryns-Boret, persoonlijke communicatie, 24 februari 2023; Van Huele, persoonlijke communicatie, 14 februari 2023).



Figuur 34: Handmatig kuisen van de baksteen met een beitel



Figuur 35: Criko-beitel aangedreven door een compressor voor het mechanische kuisen

Gamle Mursten

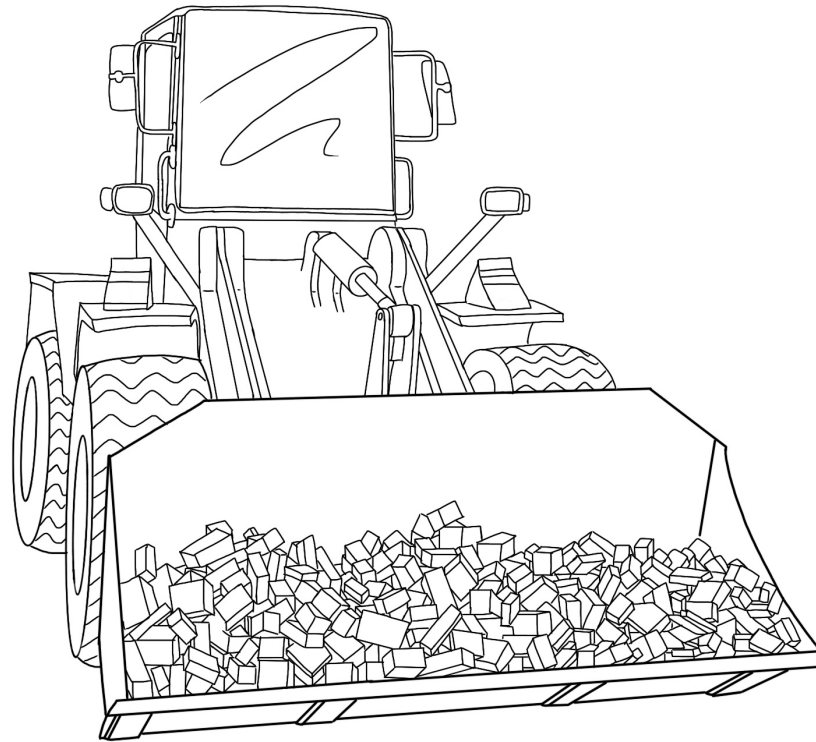
Het Deense bedrijf Gamle Mursten past een door hen gepatenteerd systeem toe met trilplaten dat instaat voor het kuisen van de bakstenen (Gamle Mursten, 2023a). Dit bedrijf is met hun REBRICK project het eerste in Europa dat een CE-markering bezit voor hun gerecupereerde stenen en er een LCA heeft op uitgevoerd. Door het gebruik van hun bakstenen wordt 0,5 kg CO₂ uitgespaard per steen ten opzichte van een nieuw geproduceerde equivalent (Gamle Mursten, 2023b).

Door het automatiseren van de nodige stappen zoals sorteren en kuisen wordt het leveren van recuperatiestenen op grote schaal mogelijk (Gamle Mursten, 2023a). Er moet hier echter een kanttekening bij worden gemaakt: enkel stenen afkomstig van metselwerk met kalkmortel worden gerecupereerd.



Figuur 36: Lopende band en palletiseer-machine in het bedrijf Gamle Mursten (Gamle Mursten, 2023a)

Afhankelijk van de densiteit van de steen en de gebruikte mortel bij het oorspronkelijk gebouw, zal er meer of minder afval vrijkomen. Hierbij breken stenen gemetst met kalkmortel en een hogere densiteit minder snel dan stenen afkomstig uit metselwerk met cementmortel en een lagere densiteit (Westvlaamse Steencentrale, persoonlijke communicatie, 17 februari 2023). Zoals eerder vermeld, verloopt de terugwinning met cementmortel moeizamer ten opzichte van kalkmortel. Door een sterkere hechting met de baksteen en de hardheid van de mortel duurt de verwijdering ervan langer en is er een grotere kans op breuken en barsten (Franck, persoonlijke communicatie, 14 november 2022). Het kuisen van één afzonderlijke steen met cementmortel kan tot drie keer langer duren dan een steen met kalkmortel (Westvlaamse Steencentrale, persoonlijke communicatie, 17 februari 2023). Naast deze langere tijd voor het kuisen verloopt deze stap echter op dezelfde wijze voor verschillende mortelsoorten (Franck, persoonlijke communicatie, 14 november 2022; Fryns-Boret, persoonlijke communicatie, 24 februari 2023; Van Huele, persoonlijke communicatie, 14 februari 2023; Westvlaamse Steencentrale, persoonlijke communicatie, 17 februari 2023).



Figuur 37: Frontlader met recuperatiestenen

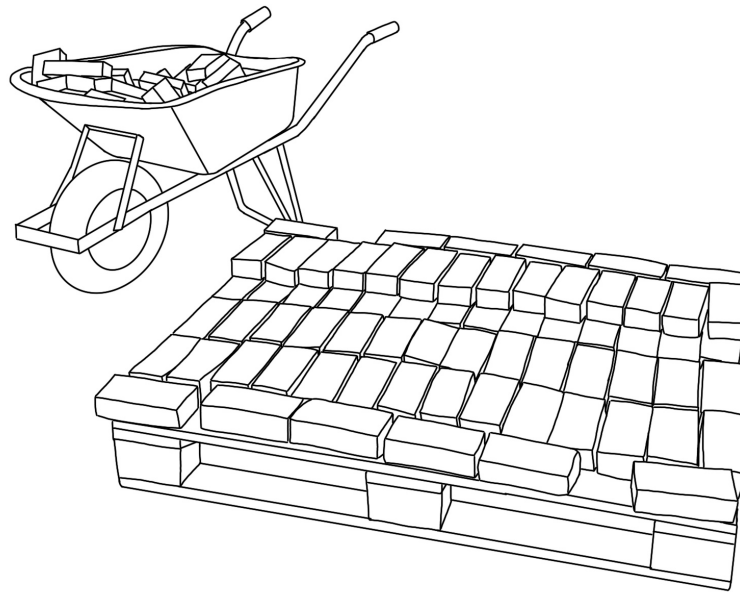
Sorteren

Het sorteren gebeurt gelijktijdig met het kuisen. Hierbij worden stenen die niet minstens één goede kop en strek hebben apart gehouden voor recyclage. Deze hoeveelheden worden geschat op 5-20% van het aantal stenen dat op het bedrijf toekomt (Franck, persoonlijke communicatie, 14 november 2022; Fryns-Boret, persoonlijke communicatie, 24 februari 2023; Van Huele, persoonlijke communicatie, 14 februari 2023; Westvlaamse Steencentrale, persoonlijke communicatie, 17 februari 2023). Halve stenen en drieklezoren worden ook afzonderlijk verzameld. Deze kunnen worden gebruikt bij bepaalde metselwerkverbanden zoals kruis- en wildverband (Franck, persoonlijke communicatie, 14 november 2022; Fryns-Boret, persoonlijke communicatie, 24 februari 2023; Westvlaamse Steencentrale, persoonlijke communicatie, 17 februari 2023). Naast sortering op eventuele schade, kwaliteit en grootte worden de stenen ook geschift op kleur en model (FCRBE, 2021d).



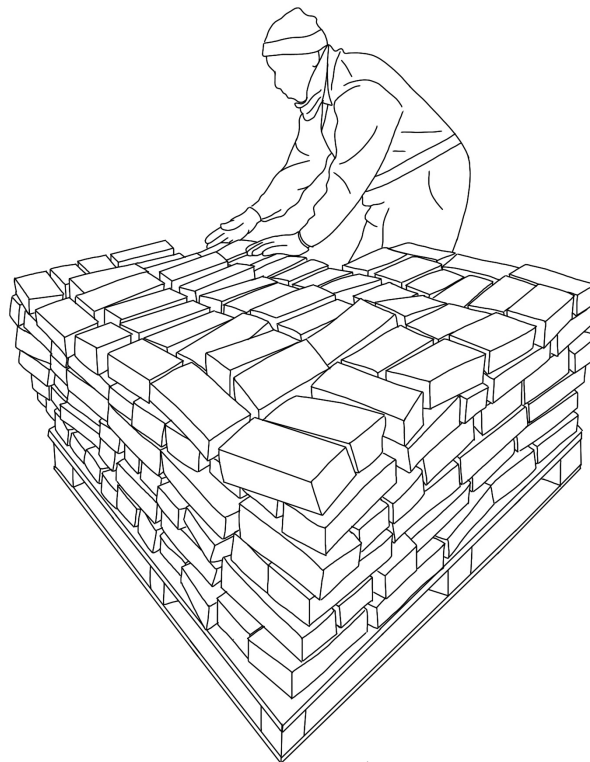
Figuur 38: Bin bags met halve stenen en drieklezoren

Stapelen



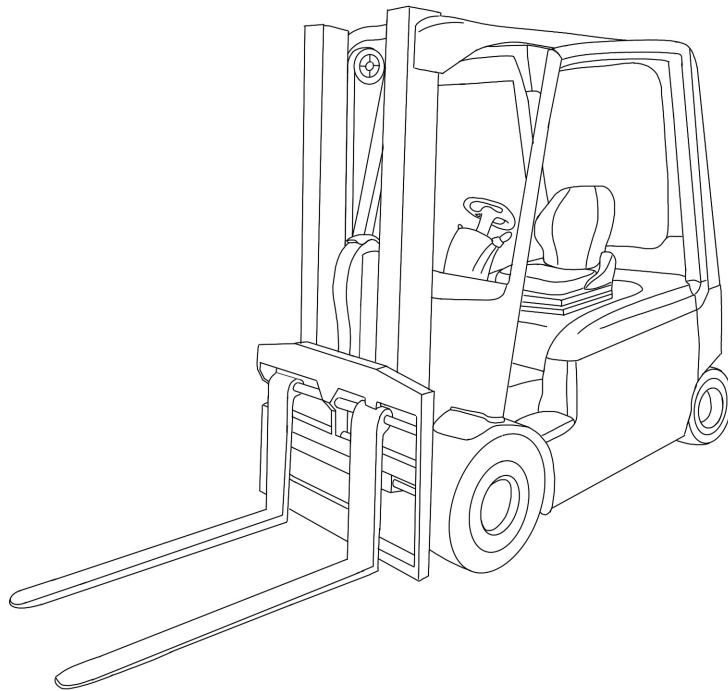
Figuur 39: Pallet met recuperatiestenen

Het stapelen van de bakstenen gebeurt bij voorkeur verspringend op pallets. Het aantal stuks per pallet kan uiteenlopen naargelang het formaat, en gaat typisch van 500 tot 1000 stenen/pallet (FCRBE, 2021d).



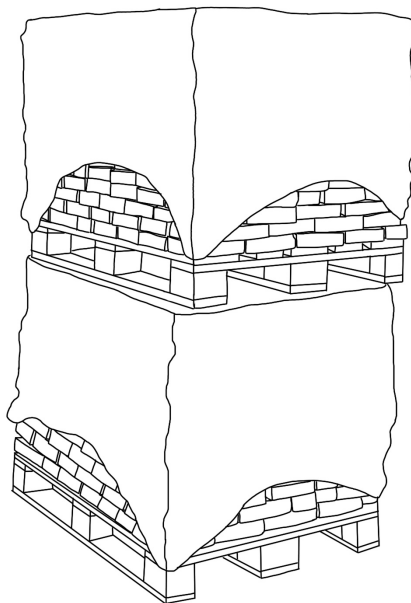
Figuur 40: Verspringende stapeling van recuperatiestenen op een pallet

Stockeren

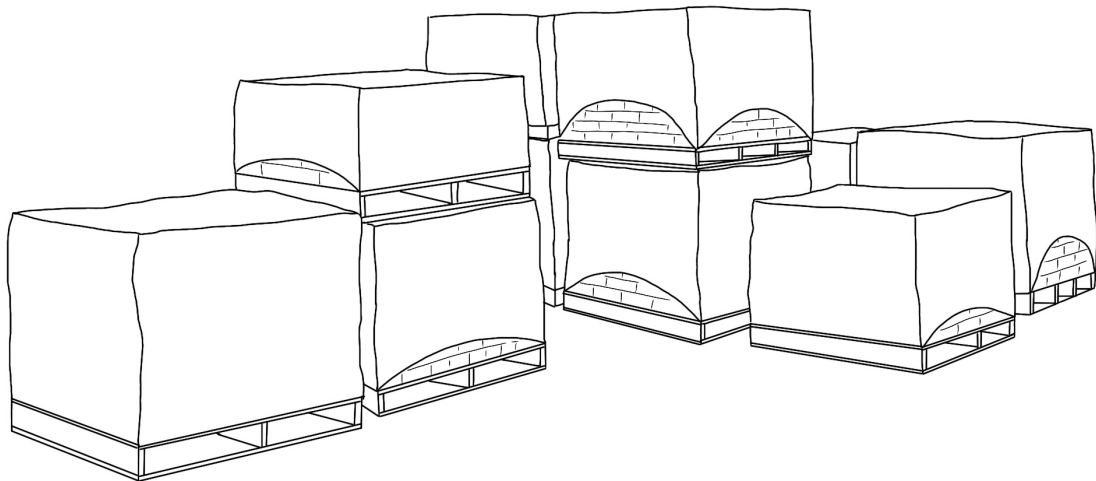


Figuur 41: Vorklift die instaat voor het verplaatsen van de pallets op het bedrijf

De stockage gebeurt dikwijls op het bedrijf zelf en wordt voorafgegaan door het aanbrengen van een krimphoes uit PE-folie (Franck, persoonlijke communicatie, 14 november 2022; Van Huele, persoonlijke communicatie, 14 februari 2023). Deze zorgt enerzijds voor de stabiliteit van het pallet tijdens transport en anderzijds voor de beschutting van de stenen tegen weersinvloeden tijdens stockage. Naast regen dient het metselwerk ook beschermd te worden tegen opstijgend vocht van de grond, aangezien de stenen droog moeten zijn bij de plaatsing ervan (FCRBE, 2021d).



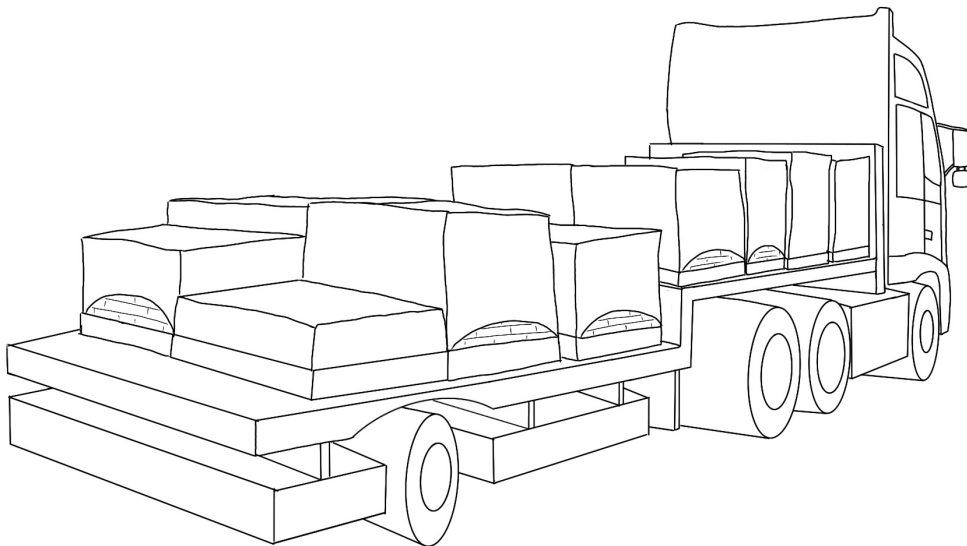
Figuur 42: Gestapelde pallets met krimphoes



Figuur 43: Stockage van recuperatiestenen

Transport

Tot slot dienen de gevelstenen nog getransporteerd te worden tot de werf van hun nieuwe bestemming. Uit de bezoeken blijkt dat de locatie en afstand hiervan sterk kan variëren, gaande van België tot een afzet in Duitsland, Spanje, het Verenigd Koninkrijk en zelfs Japan en Australië (Franck, persoonlijke communicatie, 14 november 2022; Fryns-Boret, persoonlijke communicatie, 24 februari 2023; Van Huele, persoonlijke communicatie, 14 februari 2023; Westvlaamse Steencentrale, persoonlijke communicatie, 17 februari 2023). Deze afstanden zullen de specifieke impact van transport in de volledige terugwinning sterk bepalen.

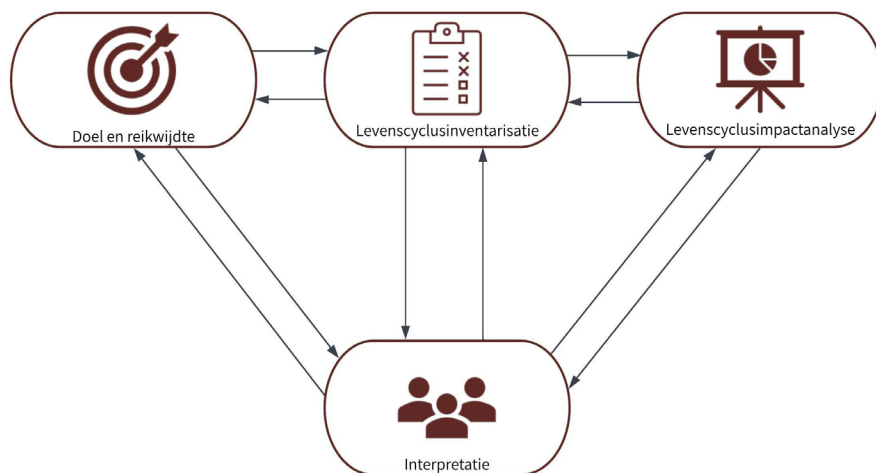


Figuur 44: Vrachtwagen met pallets recuperatiestenen

2. Levenscyclusanalyse

De levenscyclusanalyse of LCA, zoals eerder aangehaald in het literatuuronderzoek, wordt gedefinieerd als een methode om de totale milieu-impact van een product of element te berekenen gedurende zijn volledige levenscyclus (Goedkoop et al., 2016). In dit methodologisch kader wordt er meer ingegaan op de werkelijke uitvoering van een LCA, meer specifiek voor de software SimaPro. De vier fasen van een LCA vormen hierbij het overkoepelende kader (Sala et al., 2021).

- I. Bepaling van het doel en de reikwijdte
- II. Levenscyclusinventarisatie (LCI)
- III. Levenscyclusimpactanalyse (LCIA)
- IV. Interpretatie van de studie



Figuur 45: Overzicht van de verschillende fasen in een levenscyclusanalyse

2.1. Doel en reikwijdte

Het vooraf vastleggen van een doel en reikwijdte van de studie zal noodzakelijk zijn om een zo gedetailleerd mogelijk onderzoek uit te voeren, waarbij consequent gewerkt kan worden. Door het uitschrijven van een doel, wordt het onderzoek zo uitgebreid mogelijk beschreven, met name wat er precies onderzocht wordt, hoe dit gedaan wordt en wat de te verwachten uitkomsten teweeg brengen (Goedkoop et al., 2016).

In het geval van de keramische gevelstenen is het doel om aan de hand van een LCA de milieu-impact bij hergebruik te berekenen en deze te vergelijken met het gebruik van een nieuwe variant. Hierbij worden de verschillende processen die nodig zijn om dit hergebruik mogelijk te maken in detail bekeken. Op deze manier kan er een beter beeld gevormd worden van de recuperatiepraktijk op zich en het potentieel dat ermee gepaard gaat voor het milieu.

Het bepalen van een reikwijdte zal nodig zijn om een juiste analyse te kunnen maken en beschrijft grotendeels het methodologisch kader waarbinnen gewerkt wordt. Het gaat hier specifiek over de keuze van de functionele eenheid en systeembegrenzing samen met het allocatieprincipe en andere data zoals de levensduur.

2.1.1. Functionele eenheid

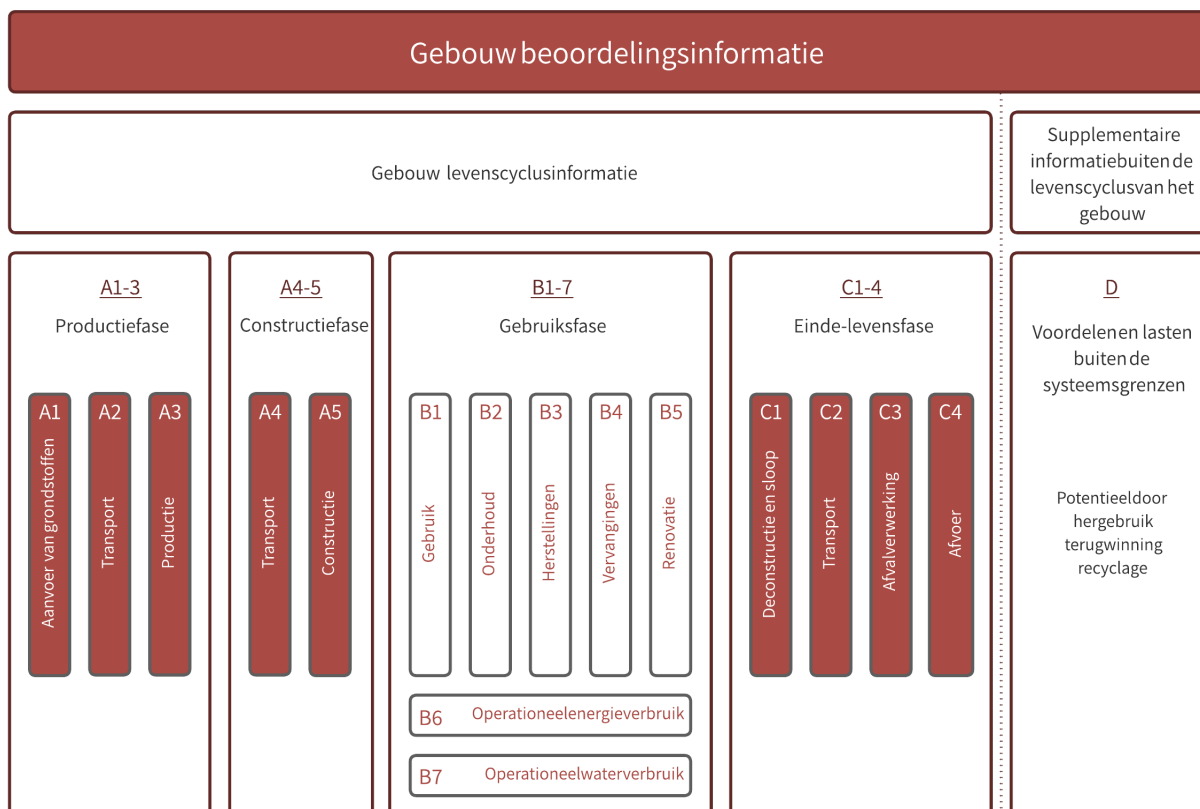
Het vastleggen van een functionele eenheid zal noodzakelijk zijn in het onderzoek, aangezien deze als vergelijkingsbasis optreedt. Alle data verzameld, zal gerelateerd zijn tot deze functionele eenheid en op die manier kunnen alle elementen op een eerlijke manier met elkaar vergeleken worden (Jensen et al., 1998).

Het kiezen van een functionele eenheid zal afhankelijk zijn van het materiaal waarmee gewerkt wordt. In het geval van keramische gevelstenen kan deze dan ook op verschillende manieren beschouwd worden, afhankelijk van de aannames in de studie. Wanneer in de studie losse on-gemetselde stenen worden onderzocht, wordt 1 pallet stenen beschouwd. Hiervoor wordt een EUR-pallet gekozen met afmetingen van 0,8 x 1,2 meter waarbij de stenen 1 meter hoog gestapeld zijn. Hierdoor wordt een volume van 0,96 m³ gevelstenen verkregen. Voor de individuele gevelstenen wordt gewerkt met een afmeting van 210 x 100 x 50 mm, ook wel het Waalformaat genoemd. Door het gebruik van deze maat stenen passen er 800 stuks op een pallet, wat tussen de typische waarden van 500 tot 1000 stenen per pallet valt. Wanneer de stenen echter in een gemetste muur beschouwd worden, wordt een functionele eenheid van 1 m² muur beschouwd. Het Waalformaat is een vaak voorkomend formaat van gevelstenen en resulteert bij de berekeningen van een gemetste muur in een van de meest 'nadelige' situaties, omdat een grotere fractie mortel wordt bekomen. Op deze manier wordt met een zekere marge gewerkt bij de vergelijking van een muur opgebouwd uit nieuwe stenen.

2.1.2. Systeemgrenzen en allocatiemethode

Volgens de Europese standaard EN 15978:2011 wordt de levenscyclus van een product of gebouw opgedeeld in vier fasen, namelijk de productiefase, de constructiefase, de gebruiksfase en de eindelevensfase. Deze fasen worden opnieuw onderverdeeld in verschillende modules zoals aangegeven op onderstaande figuur 46 (TOTEM, 2021).

De eerste module, A, bestaat uit zowel de productie- als constructiefase. Hierbij neemt de productiefase (A1-3) de winning van grondstoffen, hun transport van ontginning tot fabriek en de effectieve productie in de fabriek in rekening. De constructiefase (A4-5) neemt het transport van de fabriek tot de werf en de installatie in rekening. Hierbij wordt telkens rekening gehouden met een bepaald materiaalverlies dat wordt vastgelegd op 5%. Module B omvat de gebruiksfase (B1-7) met onder andere het onderhoud, herstel en vervanging van materialen, maar ook het operationeel energie- en waterverbruik zit hierin vervat. Daarna komt module C die de eindelevensfase (C1-4) in rekening neemt. Dit slaat op de ontmanteling of afbraak samen met het transport van het afval dat vrijkomt. De materialen worden ofwel gestort, verbrand, gerecycleerd en/of hergebruikt. Tot slot is er module D, deze bevat alle voordelen en nadelen die gepaard gaan met het hergebruik of de recyclage van het materiaal na de eerste levenscyclus (TOTEM, 2021). Het bepalen van de systeemgrenzen zal de omvang van de studie vastleggen, waarbinnen alle input en output gedefinieerd kan worden. De grenzen op een consequente manier vastleggen zal belangrijk zijn om te weten welke processen in de beoordeling worden meegenomen zodat op een duidelijke manier een vergelijking kan worden gemaakt met andere resultaten in de studie (*Wat is een LCA? Een korte inleiding*, 2023).



Figuur 46: Overzicht van de verschillende levenscyclusfasen en de bijhorende systeemsgrenzen volgens de Europese standaard EN 15978:2011 (CEN, 2011). De delen ingekleurd in rood, worden meegenomen in het onderzoek.

De studie zal opgedeeld worden in drie delen met verschillende systeemsgrenzen. Als eerst wordt de productiefase A1-3 voor de recuperatie van keramische gevelstenen bekeken. Hierbij vormt het transport van de gevelstenen naar het recuperatiebedrijf, dat onder sub-module A2 valt, de start. De demontage van de stenen wordt niet meegenomen, omdat deze toebehoort tot een vorige levenscyclus. Hierbij wordt de functionele eenheid van een EUR-pallet recuperatiestenen gebruikt.

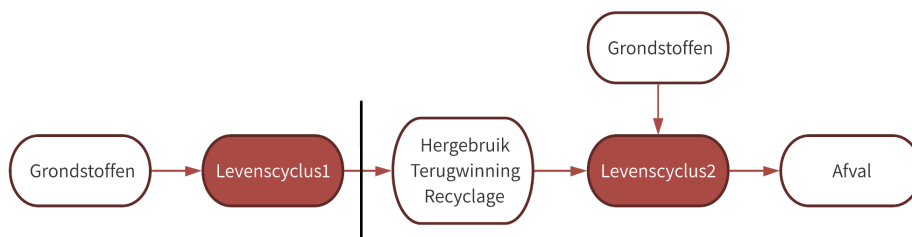
Nieuw geproduceerde stenen		Gerecupereerde stenen	
A1	Aanvoer van grondstoffen	A1	-
A2	Transport	A2	Transport stenen van sloop naar bedrijf
A3	Productie	A3	Terugwinningsprocessen
Verpakkingsfolie en EUR-pallet			
A1	Aanvoer van grondstoffen		
A2	Transport		
A3	Productie		

Figuur 47: Vergelijking module A1-3 bij productie van nieuwe gevelstenen en terugwinning van gerecupereerde gevelstenen. In beide situaties is ook module A1-3 voor verpakkingsfolie en EUR-pallet, nodig om een afgedekt pallet stenen te bekomen, weergegeven.

In het tweede deel worden de modules A1-3, A4-5 en C1-4 meegenomen in de berekening met als functionele eenheid 1 m² gemetste muur. De gebruiksfase B1-7 wordt buiten beschouwing gelaten aangezien in dit onderzoek gefocust wordt op de ingebedde energie van gevelstenen. Vervanging, onderhoud, herstel, etc. die wel een grote impact kunnen hebben over een hele levenscyclus, worden niet bekeken en zijn irrelevant in deze studie. Als laatste wordt module C1-4 apart bekeken, eveneens voor 1 m² muur, waarbij destructieve sloop met selectieve sloop wordt vergeleken. Module D wordt in alle drie de gevallen niet meegenomen aangezien deze gaat over de milieubelastingen en -voordelen buiten de levenscyclus. Aangezien deze studie over de werkelijke impact van recuperatie gaat en niet het potentieel dat er in de toekomst mee verworven kan worden, wordt deze fase buiten beschouwing gelaten.

Naast het bepalen van de systeemgrenzen is ook de allocatiemethode een belangrijke keuze die gemaakt moet worden. Allocatie is het principe waarbij de milieu-impact moet verdeeld worden over verschillende systemen of producten. In het geval van deze studie gaat het voornamelijk over de milieu-impact van recycleerbare of herbruikbare producten die moet verdeeld worden over de opeenvolgende levenscycli waarbinnen ze toegepast worden. Daarnaast is allocatie ook nodig indien een productieproces meerdere producten voortbrengt (Van Den Heede & De Belie, 2012). De gekozen methode kan de resultaten van de LCA-studie beïnvloeden, waardoor het belangrijk is deze zorgvuldig te overwegen (*Wat is een LCA? Een korte inleiding*, 2023). Degene vooropgesteld in de Europese standaard EN 15804 en ook in deze studie gebruikt, komt overeen met de 100:0 methode, ook de *cut-off* methode genoemd. Hierbij worden alle effecten van productie tot einde-leven tot de eerste levenscyclus gerekend, en behoren de voordelen en nadelen door toekomstig hergebruik of recyclage aan de volgende toe (FCRBE, 2021a).

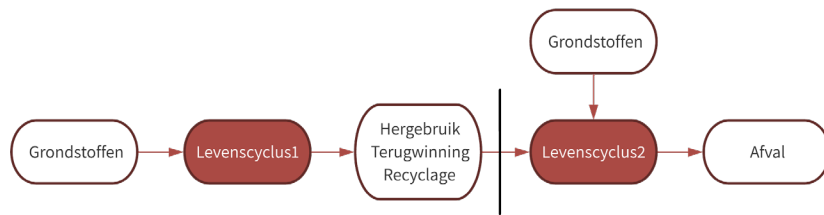
100:0 methode



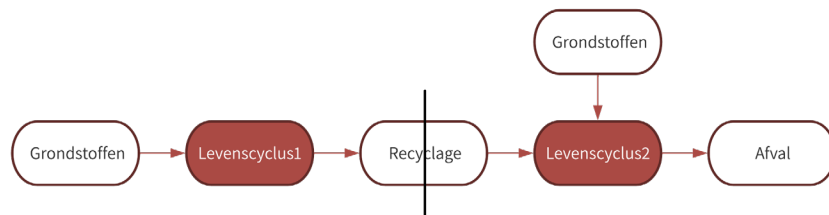
Figuur 48: Overzicht cut-off allocatiemethode

Daarnaast zijn er nog andere allocatiemethodes om een vergelijkend perspectief te bieden. Zo is er de 0:100 benadering, ook de *substitution* methode genoemd, waarbij voordelen en/of lasten van recyclage en hergebruik tot de eerste levenscyclus worden gerekend. Als laatste is er ook de 50:50 methode of *distributed* methode. Hier worden de voordelen en nadelen gelijk verdeeld over de twee levenscycli (FCRBE, 2021a).

0:100 methode



50:50 methode



Figuur 49: Overzicht substitution (bovenaan) en distributed (onderaan) allocatiemethode

2.1.3. Levensduur

Bij afwezigheid van duidelijke informatie, wordt de levensduur van materialen en elementen doorgaans genomen als 60 jaar. Dit zal echter afhangen van product tot product. Terwijl sommige veel minder lang zullen meegaan, zal de meerderheid een stuk langer kunnen meegaan (TOTEM, 2021).

Module B wordt niet meegenomen, waardoor herstellingen of vervangingen buiten beschouwing worden gelaten. De bepaalde levensduur beïnvloedt doorgaans voornamelijk deze module, waardoor in deze studie een abstractie wordt gemaakt van de beschouwde levensduur. Daarnaast overschrijdt de technische levensduur van keramisch gevelmetselwerk in de meeste gevallen de werkelijke levensduur. Er wordt uitgegaan dat de stenen aan het einde van hun levenscyclus worden afgebroken of gedemonteerd.

2.2. Levenscyclusinventarisatie (LCI)

Een van de meest belangrijke stappen in een LCA is het verzamelen van data. Deze data kan enerzijds bekomen worden vanuit specifieke bedrijven of anderzijds vanuit beschikbare databases en moet in relatie staan tot de functionele eenheid (Goedkoop et al., 2016).

Er wordt zo veel mogelijk gewerkt met data en informatie verworven uit gesprekken met specialisten in het hergebruik van keramische gevelstenen. Deze werden eerder aangehaald en schematisch voorgesteld. Toch is deze informatie eerder beperkt als het gaat om het uitvoeren van een uitgebreide studie en zal bijkomende informatie of het maken van aannames noodzakelijk zijn. Bijkomende informatie wordt gevonden in externe literatuur, die met bron te vinden is in de bijlage aan het einde van dit verslag.

Deze verworven data wordt toegepast binnen de LCA software. In dit onderzoek wordt de software SimaPro gebruikt, een tool waarmee complexe situaties op een systematische en transparante wijze gemodelleerd worden. Op deze manier wordt de milieu-impact van producten en elementen doorheen de gehele levenscyclus berekend, waarbij in elke fase aangegrepen kan worden (*SimaPro*, 2022). Binnen deze software bevindt zich de databank ecoinvent. Inhoudelijk zijn er meer dan 18 000 datasets beschikbaar, die verschillende processen en activiteiten modelleren en informatie bieden op basis van verschillende sectoren. Zo worden natuurlijke hulpbronnen, effecten die vrijkomen tijdens de productie en het geproduceerde afval allemaal meegenomen in de berekening (*ecoinvent*, 2022).

De software biedt ook enige flexibiliteit waardoor in dit onderzoek aan de hand van de verworven data, de beschikbare datasets aangepast konden worden.

2.3. Levenscyclusimpactanalyse (LCIA)

Tijdens de levenscyclusimpactanalyse wordt de effectieve beoordeling uitgevoerd. Dit gebeurt aan de hand van twee vereiste stappen, namelijk de selectie van impactcategorieën en de methode waarmee de impact wordt gemodelleerd. Gebruikmakend van vorige inventarisatie, worden de milieueffecten geëvalueerd aan de hand van relevante categorieën. Hierbij vormen het doel en de reikwijdte de belangrijkste begrenzings. Daarnaast moeten deze effecten kwantitatief worden gemodelleerd, waarbij de impact wordt uitgedrukt in een milieuscore, toegepast op de milieu-indicatoren. Verschillende modellen kunnen voor deze fase aangewend worden, waarbij de meest gebruikte de ReCiPe-methode is (European Union, 2010).

2.3.1. Milieu-impactindicatoren

De verschillende effecten voortkomend uit de input en output, worden beoordeeld aan de hand van verschillende milieu-impactindicatoren. Deze categorieën variëren van milieueffecten tot gevolgen bij de uitstoot van emissies, maar hebben evengoed betrekking op de menselijke gezondheid. Het is dan ook evident dat de ingevoerde data en bekomen resultaten niet uitsluitend op één categorie impact zullen hebben, maar er eerder over een verspreide invloed gesproken wordt (*Wat is een LCA? Een korte inleiding*, 2023).

In SimaPro, en de gehanteerde ReCiPe-methode, wordt een vergelijking gemaakt van de volgende achttien milieu-impactindicatoren, voorgesteld in figuur 50. In de berekening wordt de klimaatverandering en het waterverbruik nogmaals opgedeeld in drie subcategorieën, namelijk *Human health*, *Terrestrial ecosystems* en *Freshwater of Aquatic ecosystems* (PRÉ Sustainability, 2020).

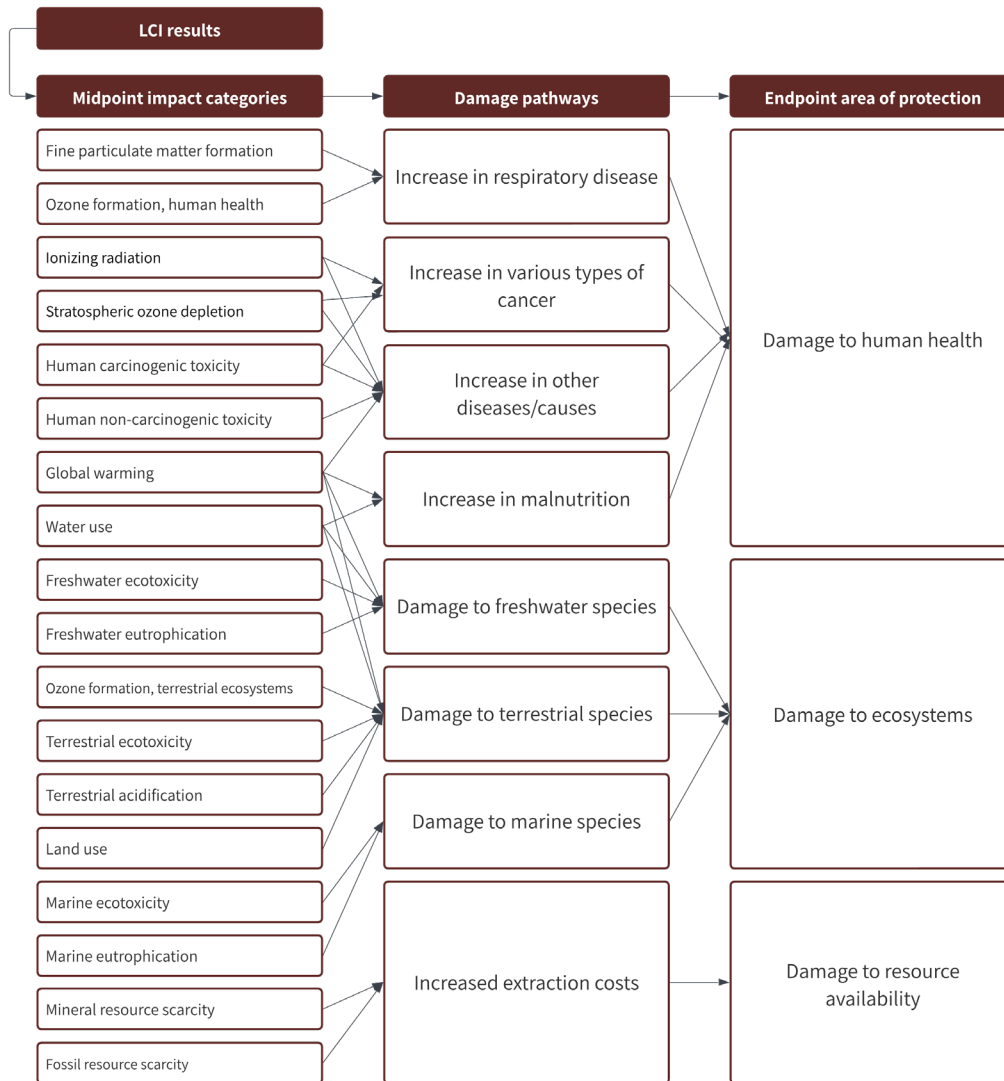
1. Global warming	10. Terrestrial ecotoxicity
2. Stratospheric ozone depletion	11. Freshwater ecotoxicity
3. Ionizing radiation	12. Marine ecotoxicity
4. Ozone formation, human health	13. Human carcinogenic toxicity
5. Fine particulate matter formation	14. Human non-carcinogenic toxicity
6. Ozone formation, terrestrial ecosystems	15. Land use
7. Terrestrial acidification	16. Mineral resource scarcity
8. Freshwater eutrophication	17. Fossil resource scarcity
9. Marine eutrophication	18. Water use

Figuur 50: Overzicht van de achttien milieu-impactindicatoren gehanteerd in de ReCiPe 2016 methode (European Commission & Business @ Biodiversity, 2021)

2.3.2. Evaluatiemethode

ReCiPe 2016 is de meest recente en ge-updatete evaluatiemethode binnen SimaPro en wordt dus ook binnen deze studie aangewend. Het model bekijkt de milieu-impact op twee verschillende niveaus. Als eerste worden de achttien milieu-impactindicatoren, met elke een afzonderlijke eenheid bekeken. Deze *midpoint* categorieën kunnen aan de hand van normalisatie vergeleken worden met elkaar. Dit gebeurt door het delen van de waarden door een normalisatiefactor (Goedkoop et al., 2016). Door het samennemen van deze achttien milieu-impactindicatoren kunnen drie impactcategorieën beschouwd worden, ook wel de *endpoint* categorieën genoemd.

Het harmoniseren van deze *midpoint* (probleemgerichte) en *endpoint* (schadegerichte) categorieën zal zorgen voor een consistent kader, waarbij enerzijds kan gekeken worden naar een breed vergelijkend kader en waarbij anderzijds een algemene analyse mogelijk is. Voor dit laatste worden alle effecten samengebracht naar respectievelijk *Damage to human health*, *Ecosystems* en *Resource availability* weergegeven in figuur 51 (European Commission & Business @ Biodiversity, 2021).



Figuur 51: Overzicht van de milieu-impactindicatoren gehanteerd in de ReCiPe 2016 methode samen met hun relatie tot de gebieden van bescherming (European Commission & Business @ Biodiversity, 2021)

Het is duidelijk dat bij de omgevingsmechanismen en schademodellen enkele onzekerheden naar boven komen. Tijdens het omzetten van de achttien *midpoint* indicatoren naar de drie *endpoint* categoriën wordt dan ook een zekere weging gebruikt in de berekening naar een meer vatbare, enkele score, waarbij de vermenigvuldigingsfactor afhankelijk is van het belang van de milieu-impactindicator (Goedkoop et al., 2016). Binnen de ReCiPe methode kunnen drie verschillende perspectieven aangewend worden die gelijke soorten aannames en keuzes groeperen. In SimaPro staat het *hierarchist* standpunt met gemiddelde weging als standaard ingesteld. Deze is gebaseerd op de meest gangbare beleidsuitgangspunten met betrekking tot tijdsbestek en andere zaken. Daarnaast wordt ook het *individualist* en *egalitarian* standpunt onderscheiden. Hierbij heeft de eerste respectievelijk betrekking op het kortetermijnbelang met impacttypes die onbetwist zijn en heeft de tweede hier het perspectief met de meeste voorzorg. Deze houdt rekening met het langste tijdsbestek en de impacttypes waarvoor er slechts enige indicatie beschikbaar is (PRé Sustainability, 2020). De uiteindelijke score wordt na normalisatie uitgedrukt in milieupunten (Pt) zodat elementen op een eenvoudige manier vergeleken kunnen worden (European Commission & Business @ Biodiversity, 2021).

Naast de ReCiPe-methode wordt in deze studie ook de PEF-methode of *Product Environmental Footprint* gehanteerd. De berekeningsmethode, een initiatief van de Europese Commissie, past een meer geharmoniseerde en strengere regelgeving toe voor het uitvoeren van LCA's. Op deze manier wordt een kader gecreëerd waarbinnen de vergelijkbaarheid van verschillende producten eenvoudiger wordt. De methode hanteert een enkele effectenbeoordeling uitgaande van *midpoint* karakteriseringsfactoren, gelijkaardig aan de milieu-indicatoren door de ReCiPe-methode gebruikt. De resultaten verworven door de PEF-methode worden allemaal volgens eenzelfde eenheid van milieupunten uitgedrukt, waardoor een vergelijking tussen de verschillende categorieën onderling mogelijk is. *Midpoint* indicatoren bij de ReCiPe-methode worden in verschillende eenheden uitgedrukt wat een proportionele vergelijking tot gevolg zal hebben. De PEF-methode wordt steeds belangrijker. Zo wordt de benadering reeds aangewend in de TOTEM-tool, waardoor het aanhalen van resultaten via deze aanpak belangrijk is. In SimaPro wordt dit geïmplementeerd door het gebruik van de *EF 3.0 Method* (Pré Sustainability, 2022).

2.4. Interpretatie

De vierde en laatste fase van een LCA is de interpretatie. Op een systematische wijze wordt de kwaliteit van de resultaten nagegaan en worden de resultaten uit de LCI en LCIA gecontroleerd volgens het vooropgesteld doel en reikwijdte. Aangezien deze fase afhankelijk is van de vorige drie fasen, zal herhaaldelijke terugkoppeling noodzakelijk zijn. Het doel is hierbij om de verkregen resultaten te begrenzen tot de belangrijkste uitkomst, waaruit een duidelijke conclusie kan worden opgemaakt (Jensen et al., 1998).

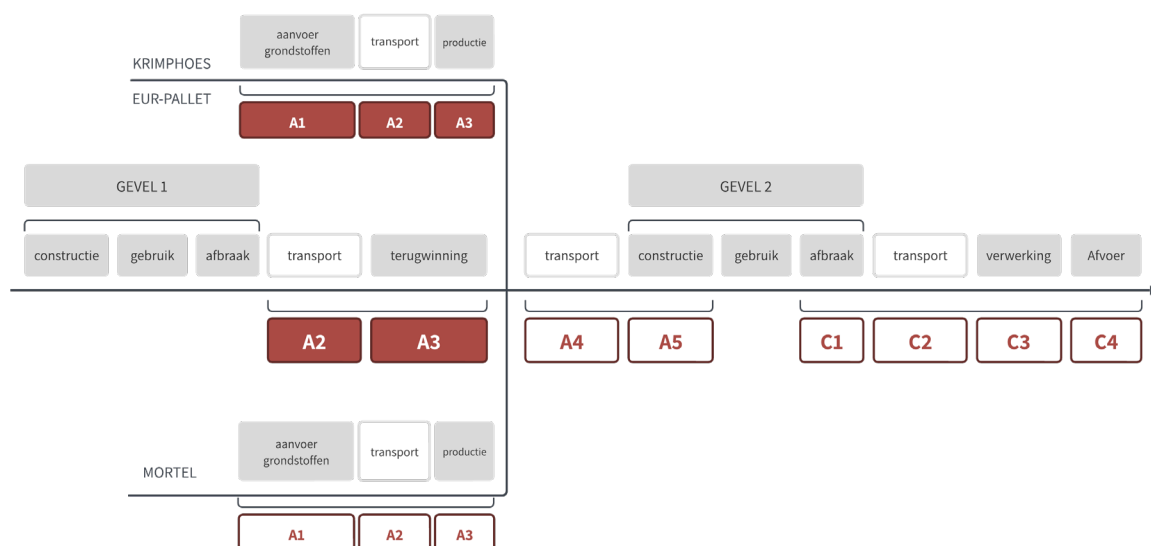
De gemaakte conclusies moeten ondersteund worden door de resultaten, maar de verschillen in data kunnen hier voor differentiaties zorgen. Een sensitiviteitsanalyse zal gemaakte keuzes en aannames in data onderzoeken, samen met het effect dat ze hebben op de resultaten. Op deze manier wordt het mogelijk te begrijpen welke keuzes een dergelijk impact hebben in het onderzoek (Goedkoop et al., 2016).

3. Bepaling scenario's

Zoals eerder vermeld, wordt het onderzoek opgedeeld in drie secties om meer gedetailleerd te werk te kunnen gaan. Hierbij wordt eerst gekeken naar de productiefase A1-3 om dieper te kunnen ingaan op de milieu-impact van de afzonderlijke terugwinningsprocessen. Nadien wordt er gekeken op grotere schaal naar de volledige levenscyclus van module A tot en met C, met uitzondering van module B, de gebruiksfase. En tot slot wordt de einde-levensfase C1-4 afzonderlijk onderzocht om de impact van selectieve sloop ten opzichte van mechanische destructieve sloop te bekijken. Elke sectie wordt bekeken met een afzonderlijke, gepaste functionele eenheid.

3.1. Deel A1-3

Zoals voorgesteld in onderstaande tijdslijn, figuur 52, wordt in dit deel module A1-3 bekeken. Deze module heeft betrekking op het transport en de effectieve terugwinningsprocessen om de stenen klaar te maken voor hergebruik. Alle waarden en aannames die volgen, kunnen in tabel 1 en 2 in bijlage 1 teruggevonden worden.



Figuur 52: Overzicht modules meegenomen in het eerste deel (A1-3)

Als startpunt worden vier beginsituaties gemaakt, waarbij de functionele eenheid bestaat uit een pallet van 800 gestapelde bakstenen op een EUR-pallet. Aangezien er vandaag een grote variatie aan stenen op de markt is en er ook vroeger een grote verscheidenheid aan gevelmetselwerk bestond gerelateerd aan de regio, is het niet mogelijk om al deze soorten te modelleren. Tevens zal de soort steen weinig invloed hebben op de terugwinning ervan, maar zullen de fysische eigenschappen van het oorspronkelijke bakproces belangrijker zijn. Daarom wordt een onderscheid gemaakt tussen zacht en hard gebakken stenen, met respectievelijk een soortelijk gewicht ρ van 1400 en 1800 kg/m³. Daarnaast wordt ook een onderscheid gemaakt tussen stenen afkomstig uit een project waarbij kalkmortel of cementmortel werd gebruikt, waardoor ouder en recenter metselwerk ook met elkaar worden vergeleken. De data wordt in de software SimaPro ingegeven voor de productie van 1 kg stenen, waarna deze in de resultaten wordt herleid naar de respectievelijke functionele eenheid.

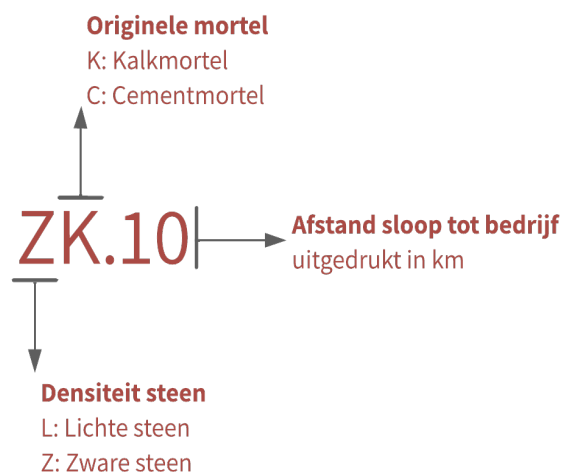
Door het combineren van het soortelijk gewicht en type mortel, worden vier beginsituaties gecreëerd, met elk een afzonderlijk verliespercentage. Deze waarden werden ingeschat op basis van de data verkregen via de Opalis handelaars, afhankelijk van de keuze in soort steen en mortel. De verwerking en transport van dit afval word door middel van de volgende processen in SimaPro meegerekend:

Inert waste, for final disposal {CH}| treatment of inert waste, inert material landfill
| Cut-off, S

Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER}| transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 | Cut-off, S

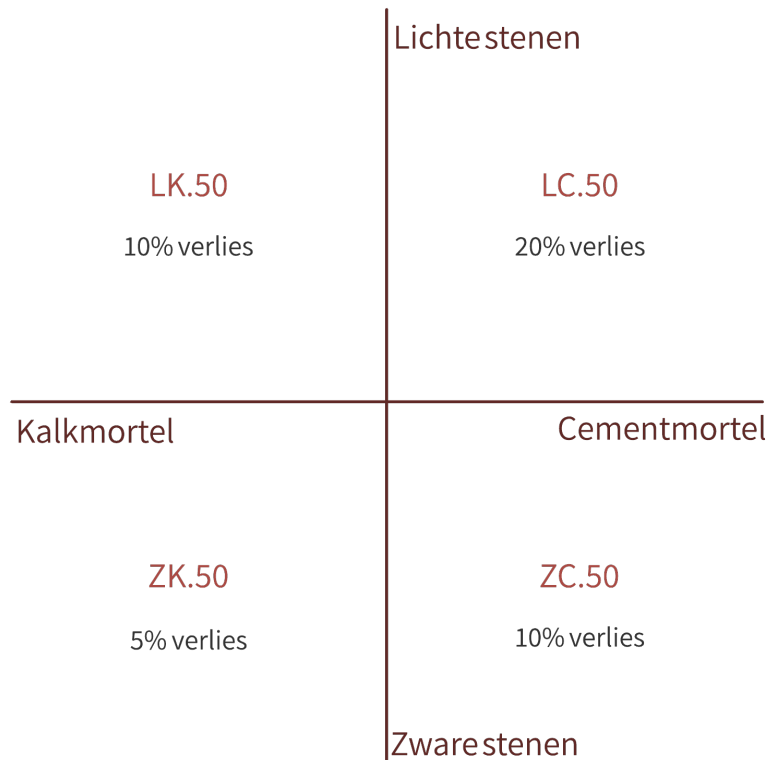
Uit bevestigingen wordt hier uitgegaan van een gemiddelde afstand van 10 km tot de dichtstbijzijnde maalderij voor steenpuin. Aan dit verliespercentage wordt ook een uitstoot van fijnstof gekoppeld, waarbij verondersteld wordt dat 80 mg fijnstof of *particulate matter* vrijkomt bij 1 kg afval tijdens het reinigen van de stenen (Erduran et al., 2020). De uitstoot van fijnstof is niet als afzonderlijk proces te vinden in SimaPro, waardoor een nieuw aangepast proces werd gecreëerd om deze emissies mee te rekenen. Hierbij wordt een verdeling fijnstof < 2,5 µm, fijnstof > 2,5 µm en < 10 µm en tot slot fijnstof > 10 µm gehanteerd op basis van de hoeveelheid fijnstof die vrijkomt bij de productie van nieuwe bakstenen. De exacte hoeveelheden zijn te vinden in tabel 1 tot 16 in bijlage 2.

In onderstaande figuur 54 worden de vier situaties schematisch voorgesteld.



Figuur 53: Overzicht naamgeving scenario's in het eerste deel (A1-3)

De benaming van de verschillende types, uitgelegd in figuur 53, wordt met codes opgebouwd uit twee letters, gevolgd door een getal. Hierbij staat de eerste letter voor de densiteit van de steen, met L en Z voor respectievelijk lichte (1400 kg/m³) en zware stenen (1800 kg/m³). De tweede letter staat voor de gebruikte mortel bij de gedemonteerde wand waarvan de recuperatiestenen afkomstig zijn. Hierbij staan de letters K en C voor respectievelijk kalk- en cementmortel. Het getal dat volgt staat voor de transportafstand van de afbraakwerf naar het bedrijf.



Figuur 54: Overzicht van de vier beginscenario's met bijhorend verliespercentage in het eerste deel (A1-3)

Bij de basistypes worden enkele aspecten vastgezet zodat eerst de invloed van de hardheid van de steen en de mortel kan worden bekeken. Er wordt verondersteld dat de gevelstenen handmatig worden gekuist en dat de transportafstand van de plaats van demontage naar het bedrijf 50 km bedraagt. Dit gebeurt volgens bevindingen via een vrachtwagen van 16-32 ton met emissienorm Euro 5. Hiervoor wordt volgend proces ingerekend :

Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER}| transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 | Cut-off, S

Het verliespercentage zal ook dit transport naar het bedrijf beïnvloeden. Afhankelijk van het verlies bij het kuisen, zal een grotere hoeveelheid stenen moeten worden aangevoerd, zodat op het einde nog steeds één volledige pallet stenen wordt bekomen.

Tijdens de processen op de werf, zal er gebruik worden gemaakt van kleine machines en vorkliften om de stenen en afgewerkte pallets te verplaatsen. Er wordt een ruime schatting gemaakt dat met een pallet stenen in totaal tien minuten (of 0,17 uur) rondgereden wordt. Afhankelijk van het gewicht kan zo het verbruik van diesel berekend worden, waarvoor het volgend proces wordt meegenomen:

Diesel, burned in building machine {GLO}| market for | Cut-off, S

Verder dient steeds de productie en het transport van een krimphoes en EUR-pallet in rekening te worden gebracht. Ook het volume op de pallet zal niet volledig ingenomen worden door stenen door onvolmaakte stapeling. Deze fractie gevelstenen en lucht wordt vastgelegd op respectievelijk 0,875 en 0,125. Nu het volume, de dichtheid en de fractie geweten zijn, kan de effectieve massa van een pallet stenen berekend worden. Een pallet zware stenen (1800 kg/m^3) zal 1512 kg wegen en een pallet lichte stenen (1400 kg/m^3) zal een massa hebben van 1176 kg.

De krimphoes, EUR-pallet en fractie stenen worden niet gewijzigd in de verschillende scenario's. Voor deze eerste twee worden de volgende processen aangenomen:

Packaging film, low density polyethylene {RER}| production | Cut-off, S

Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER}| transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 | Cut-off, S

EUR-flat pallet {RER}| production | Cut-off, S

Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER}| transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 | Cut-off, S

Ook hier worden aannames gemaakt voor de afstanden van het bijhorende transport van deze materialen. Hiervoor wordt een afstand van 100 km aangenomen voor de plastic folie en een afstand van 50 km voor de EUR-pallet naar het bedrijf.

Aan de hand van de vorige data worden volgende beginsituaties gecreëerd, weergegeven in onderstaande figuur 55.



Figuur 55: Overzicht van de vier beginsituaties in het eerste deel (A1-3)

Scenario ZK.50 wordt als voorbeeld weergegeven in onderstaande tabel 4, waarbij de input van zowel de processen als de berekeningen van bijhorende waarden worden voorgesteld. Input voor de overige scenario's en deze voor de variaties, zijn te vinden in bijlage 2 aan het einde van het document.

Tabel 4: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg keramische gevelstenen van het type ZK.50

INPUT ZK.50 VOOR 1KG STENEN			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Packaging film, low density polyethylene {RER} production Cut-off, S	0,00048178	kg	Productie verpakkingsfolie voor 1kg stenen = $(0,000542 \text{ kg} \cdot 1344 \text{ kg}) / 1512 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,048178	kgkm	Transport verpakkingsfolie met aanname van 100 km = $0,0004818 \cdot 100 \text{ km}$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	52,5	kgkm	Transport demontage naar bedrijf met aanname van 50 km en 5% afval = $1,05 \text{ kg} \cdot 50 \text{ km}$
EUR-flat pallet {RER} production Cut-off, S	1,43E-05	p	Pallets nodig bij productie van 1 kg stenen = $(1,61E-05 \cdot 1344 \text{ kg}) / 1512 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	1,79E-02	kgkm	Transport pallets met aanname van 50 km en 25 kg = $1,43E-05 \cdot 25 \text{ kg} \cdot 50 \text{ km}$
Energieverbruik			
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	0,00917925	MJ	Verbruik diesel bij productie van 1 kg nieuwe stenen = $(0,17 \text{ h} \cdot 1,68 \text{ kg/h} \cdot 44 \text{ MJ/kg} \cdot 1 \text{ kg}) / (1344 \text{ kg} + 25 \text{ kg})$
Emissies			
Particulate Matter	0,000004	kg	Uitstoot van fijn stof bij kuisen van de stenen met aanname van 80 mg bij 1 kg afval = $0,00008 \text{ kg} \cdot 0,05$
Afval naar verwerking			
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	0,05	kg	Afval tijdens het kuisen met aanname van 5% = $1 \text{ kg} \cdot 0,05$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,5	kgkm	Transport afval naar verwerking met aanname van 10 km = $0,05 \text{ kg} \cdot 10 \text{ km}$

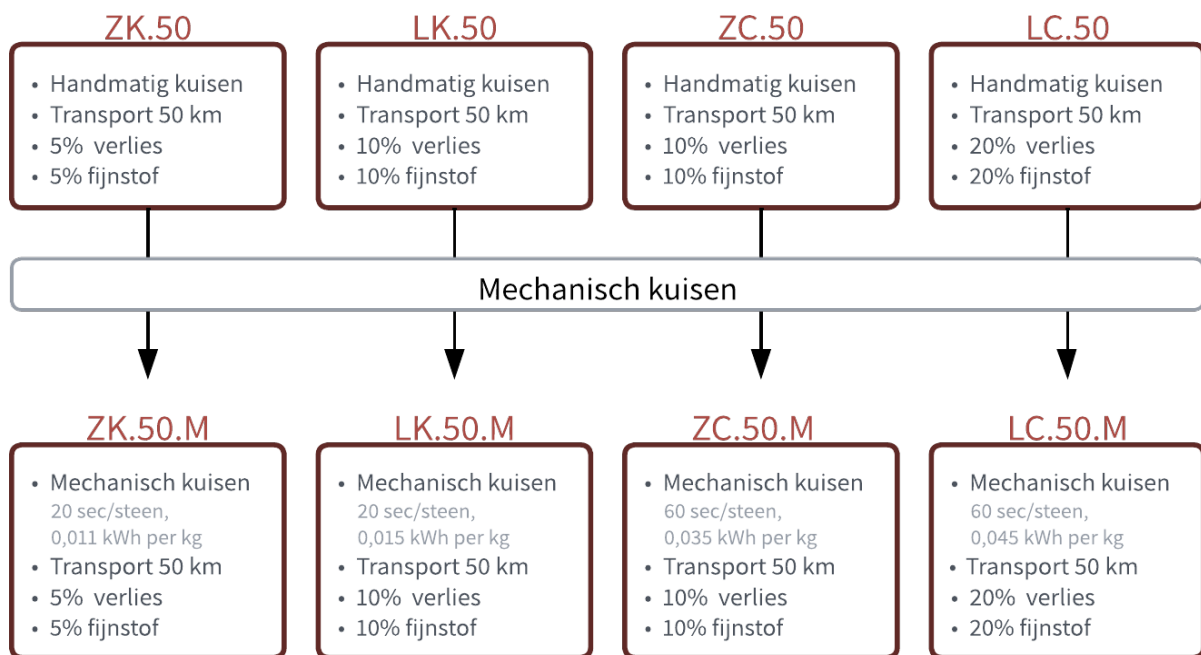
Waarden en aannames gebruikt in de berekeningen kunnen teruggevonden worden in tabel 1 en 2 in bijlage 1.

3.1.1. Handmatig en mechanisch kuisen

In een volgend type wordt de invloed van een gemechaniseerd kuisproces bekeken ten opzichte van de traditioneel handmatige manier. Een gemechaniseerde beitel wordt tot trillen gebracht door middel van een compressor. Hierbij moet een hoeveelheid elektriciteit in rekening worden genomen voor de aandrijving van deze compressor. Het verbruik van elektriciteit wordt door middel van volgend proces meegenomen in de berekening:

Electricity, low voltage {BE}| market for | Cut-off, S

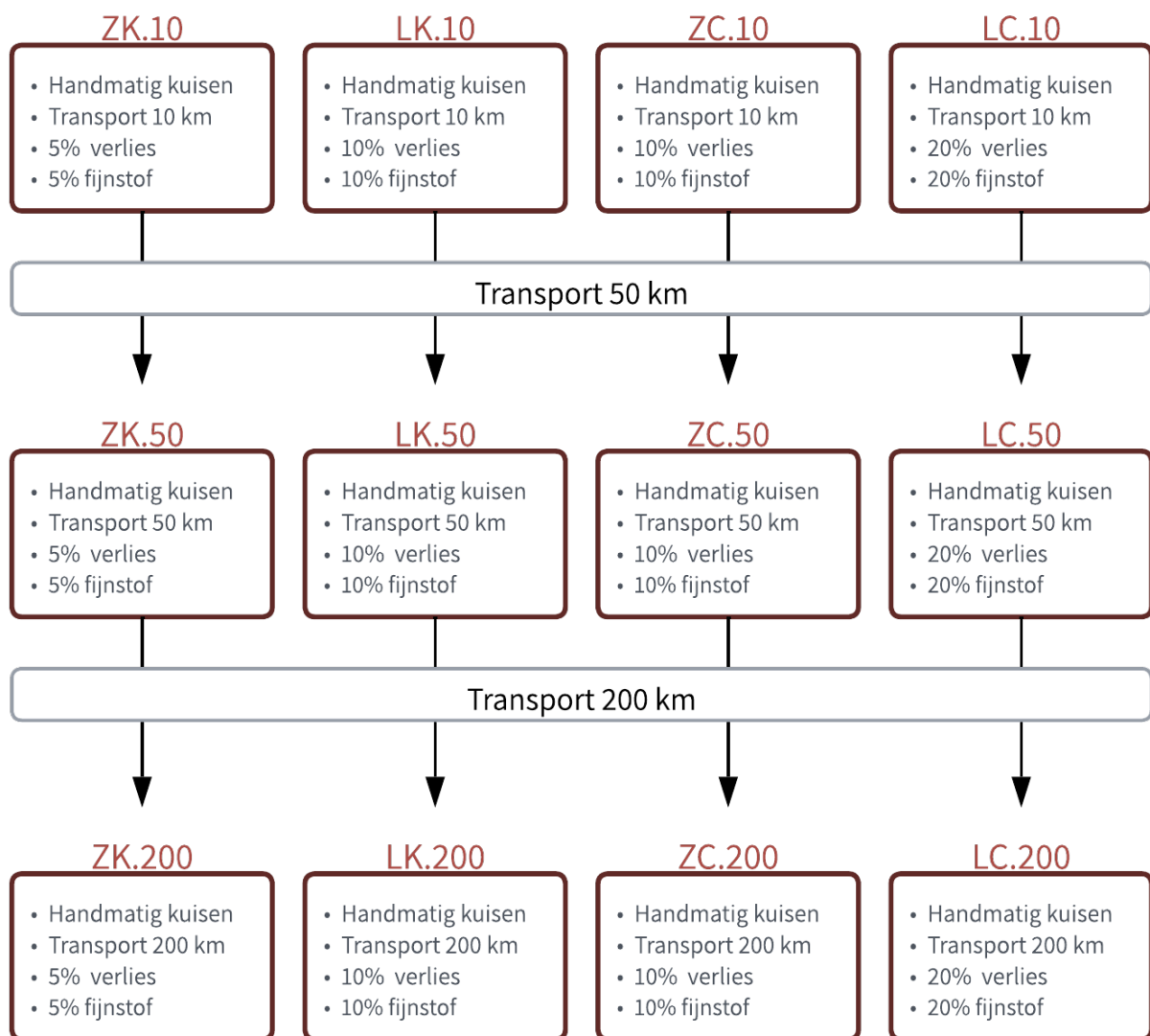
Op basis van de verkregen data van handelaars wordt uitgegaan dat het kuisen van een steen afkomstig uit metselwerk met kalkmortel 20 seconden duurt, terwijl dit bij een steen afkomstig uit metselwerk met cementmortel 60 seconden duurt. De gebruikte compressor wordt verondersteld 4 kW te verbruiken per uur. Uit deze informatie kon de totale verbruiksenergie per pallet en per kg stenen bepaald worden.



Figuur 56: Overzicht van de vier beginscenario's en variaties mechanisch kuisen

3.1.2. Transportafstand sloop naar bedrijf

Ten slotte wordt in deze sectie de invloed van de transportafstand van afbraak naar het bedrijf waar de stenen worden gereinigd, bekeken. Hierbij worden drie afstanden onderzocht die overeenstemmen met situaties beschreven door de handelaars. De kortste afstand van 10 km stemt overeen met een situatie waarbij de stenen worden verkregen via lokale sloopaannemers en werven. De afstand van 50 km, die bij de beginsituaties als standaard wordt gebruikt, gaat over stenen die nog steeds in België worden gerecupereerd, maar strekt zich uit over verschillende provincies. De verste afstand, 200 km, dekt de stenen die net voorbij de grens in het buitenland worden gehaald, zoals Duitsland, Frankrijk... Dit proces voor transport van sloop naar bedrijf is reeds ingegeven in SimaPro, waardoor alleen de waarden aangepast moeten worden.



Figuur 57: Overzicht van de vier beginscenario's en variaties transportafstand naar bedrijf

3.1.3. Nieuw geproduceerde stenen

Om de uiteindelijke milieu-impact van deze baksteentypes beter te kunnen inschatten, wordt deze vergeleken met de milieu-impact van nieuw geproduceerde gevelstenen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het volgende proces uit de ecoinvent 3.0 database:

Clay brick {RER}| production | Cut-off, S

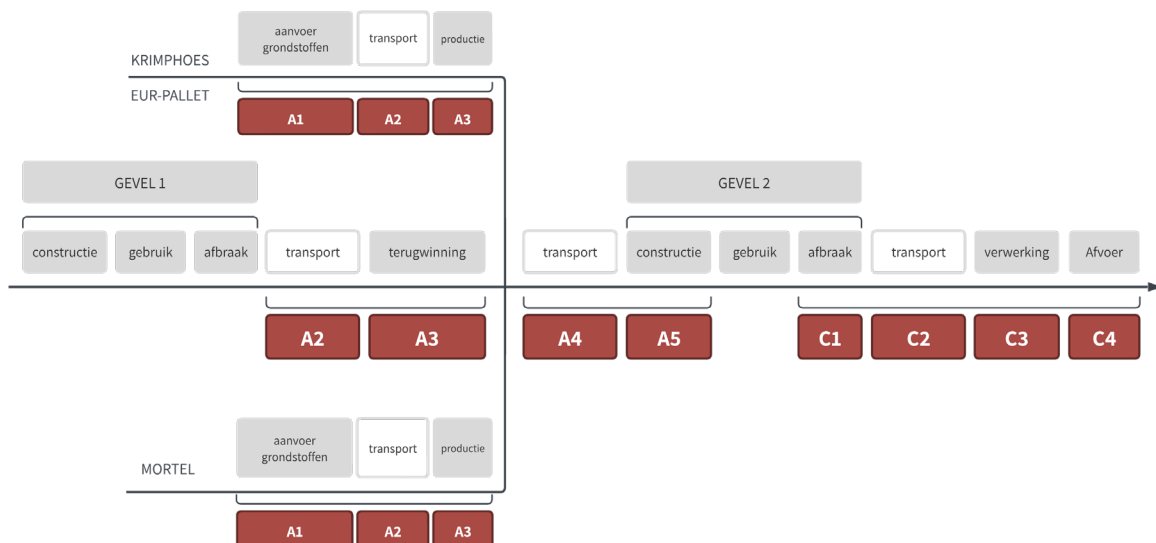
Het soortelijk gewicht ρ van deze stenen is vastgelegd op 1600 kg/m^3 . Deze waarde is terug te vinden in bijlage 1 en ligt tussen de twee waarden van het soortelijk gewicht ρ van de hergebruikte gevelstenen. Ook de fractie lucht en gevelstenen, namelijk 0,125 voor lucht en 0,875 voor gevelstenen, blijft hetzelfde als deze van de hergebruikte stenen aangezien hetzelfde formaat en aantal stenen wordt beschouwd. Hierdoor komt de uiteindelijke massa van een pallet nieuwe stenen op 1344 kg.



Figuur 58: Overzicht van het scenario met nieuw geproduceerde stenen

3.2 Deel A-C

In het tweede deel van de studie worden modules A en C samen bekeken. Bij het vorige gedeelte (A1-3) worden dus de delen A4-5 en C1-4 toegevoegd. Deze hebben enerzijds betrekking op het transport naar de nieuwe werf met constructie van de nieuwe gevel en anderzijds alle processen die met de afbraak van de gevel op het einde van de levenscyclus gepaard gaan. Op een gelijkaardige manier als het eerste deel van de studie, worden de verschillende scenario's opgebouwd. Alle waarden en aannames worden ook opnieuw in tabel 1 en 2 in bijlage 1 weergegeven.



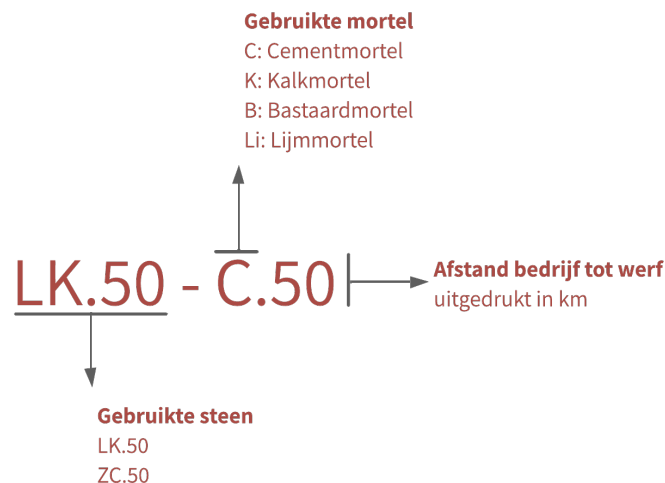
Figuur 59: Overzicht modules meegenomen in het tweede deel (A-C)

In dit gedeelte wordt overgegaan van een functionele eenheid van een pallet stenen, naar 1 m² gemetste muur waardoor ook de productie van mortel ingerekend wordt. De twee basistypes, LK.50 en ZC.50, uit het gedeelte A1-3 worden als uitgangspunt genomen waarop volgende fasen aansluiten. Het verschil in deze twee muurtypes zit in de beschouwde baksteen: bij de eerste soort wordt een lichte baksteen LK.50 gebruikt en bij de tweede soort een zware baksteen ZC.50. Door het kiezen van deze twee types kan het verschil tussen een lichte en zware stenen worden waargenomen met steeds eenzelfde verliespercentage bij het kuisen van 10%. Verder wordt voor deze basistypes een afstand van 50 km aangenomen van het bedrijf naar de werf van het nieuwe project en wordt cementmortel gebruikt voor het metselen van de nieuwe gevel. Vervolgens wordt voor deze m² muur verondersteld dat er 76 stenen met Waalformaat in passen. Dit komt neer op een fractie 0,798 voor het metselwerk en 0,202 voor de mortel. Als laatste wordt in module C een destructieve aanpak aan het einde-leven beschouwd.



Figuur 60: Overzicht van de twee beginscenario's in het tweede deel (A-C)

Voor de benaming wordt opnieuw gewerkt met codes, waarbij het eerste deel staat voor de gebruikte baksteen uit vorig deel, respectievelijk LK.50 en ZC.50, gevolgd door een letter en cijfer. De letter achter de streep staat hierbij voor het gebruikte proces van mortel in SimaPro. Dit kan C, K, B en Li zijn voor respectievelijk cement-, kalk-, bastaard- en lijm mortel. Het cijfer achteraan stelt opnieuw een afstand voor uitgedrukt in km, deze keer voor de afstand van het bedrijf naar de werf van het nieuwe project.



Figuur 61: Overzicht naamgeving scenario's in het tweede deel (A-C)

In A4 wordt voor het transport van de hergebruikte gevelstenen naar de werf een vrachtwagen als transportmiddel aangenomen met een laadvermogen tussen 16 en 32 ton die voldoet aan de emissienorm Euro 5. Het volgende proces in SimaPro wordt aangehaald in de berekeningen:

Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} | transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 | Cut-off, S

De impact van dit proces wordt vermenigvuldigd met de aangenomen afstand tot de werf van het nieuwe project. Voor de manier van transport en de bijhorende afstanden van de mortel, wordt gekeken naar tabel 1 uit *Environmental profile of buildings* in bijlage 3 in de categorie *Bulk materials for structural work*. Hierbij wordt de impact uit de volgende processen vermenigvuldigd met de respectievelijke afstand uit de tabel:

Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER}| transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 | Cut-off, S

Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER}| transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 | Cut-off, S

Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 {RER}| transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 | Cut-off, S

Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER}| transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 | Cut-off, S

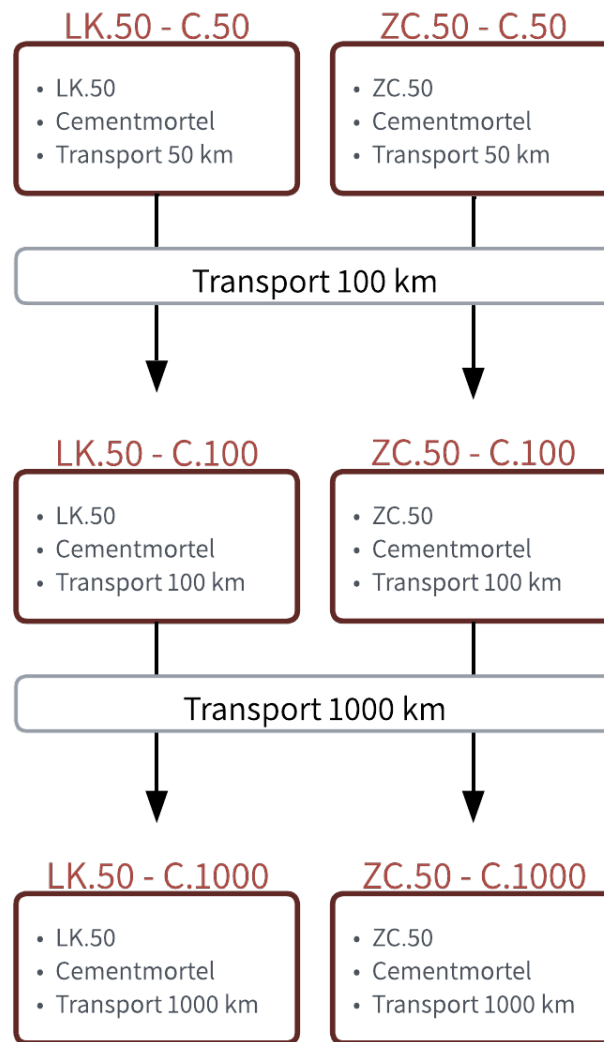
In A5 wordt het materiaalverlies doorheen de andere fasen ingerekend. Deze milieu-impact komt tot stand door 5% van de andere fasen (A1-3, A4, C2, C3 en C4) samen te nemen. De afvalverwerking van de verpakkingsfolie wordt ook in dit deel beschouwd. Hierbij worden fracties van tabel 3 uit *Environmental profile of buildings* in bijlage 3 gehanteerd voor de verschillende mogelijkheden van afvalverwerking. De folie valt hierbij in categorie *Polyolefins (PP, PE)*. De berekening van deze impact gebeurt aan de hand van methoden gebruikt in module C, uitgelegd in onderstaande tekst.

In module C worden opnieuw fracties afkomstig van tabel 2 uit bijlage 3 gehanteerd voor de afvalverwerking. Hierbij behoort het metselwerk tot de categorie *Stony & glass; Brick, roof tiles* en de mortel tot de categorie *Stony & glass; Other stony waste*. In C1 wordt bij een destructieve sloop het gebruik van bouwmachines veronderstelt, waardoor fijnstof vrijkomt. De exacte waarden die hiervoor bij de afbraak worden gehanteerd komen uit figuur 1 gebaseerd op *Environmental profile of buildings* in bijlage 3. De gebruikte waarden voor de transportafstand naar de verschillende soorten afvalverwerking zijn ook te vinden in figuur 2 in bijlage 3. Het gebruik van een vrachtwagen met tonnage tussen 16 en 32 ton die voldoet aan Euro 5 wordt opnieuw aangenomen. In C3 wordt aan de fractie recyclage die buiten de site wordt gesorteerd, een impact toegekend. De processen die hiervoor gebruikt worden, zijn te vinden in figuur 3 in bijlage 3. Tot slot worden diezelfde processen, te vinden in figuur 4 in bijlage 3, ook gebruikt bij de fractie bestemd voor storten en verbranden.

De som van deze resultaten wordt opgeteld bij deze uit het vorig deel, waarna de totale impact van module A-C bekomen wordt.

3.2.1. Transportafstand bedrijf naar nieuwe werf

Bij de eerste varianten op de basistypes wordt de invloed van transport bestudeerd. Er worden opnieuw drie verschillende afstanden bekeken, gebaseerd op de data verkregen van de handelaars. Hierbij stemmen 50 en 100 km overeen met werven in België, terwijl 1000 km gaat over export ver buiten ons land.



Figuur 62: Overzicht van de twee beginscenario's en variaties transportafstand bedrijf naar nieuwe werf

3.2.2. Soort mortel gebruikt in nieuw project

Door het gebruik van een functionele eenheid van 1 m² gemetste muur, zal ook de productie van mortel en de hoeveelheid ervan een zekere invloed hebben op de resultaten. De beschikbare processen in de ecoinvent 3.0 database voor mortel zijn:

Cement mortar {CH}| production | Cut-off, S

Lime mortar {CH}| production | Cut-off, S

Light mortar {CH}| production | Cut-off, S

Adhesive mortar {CH}| production | Cut-off, S

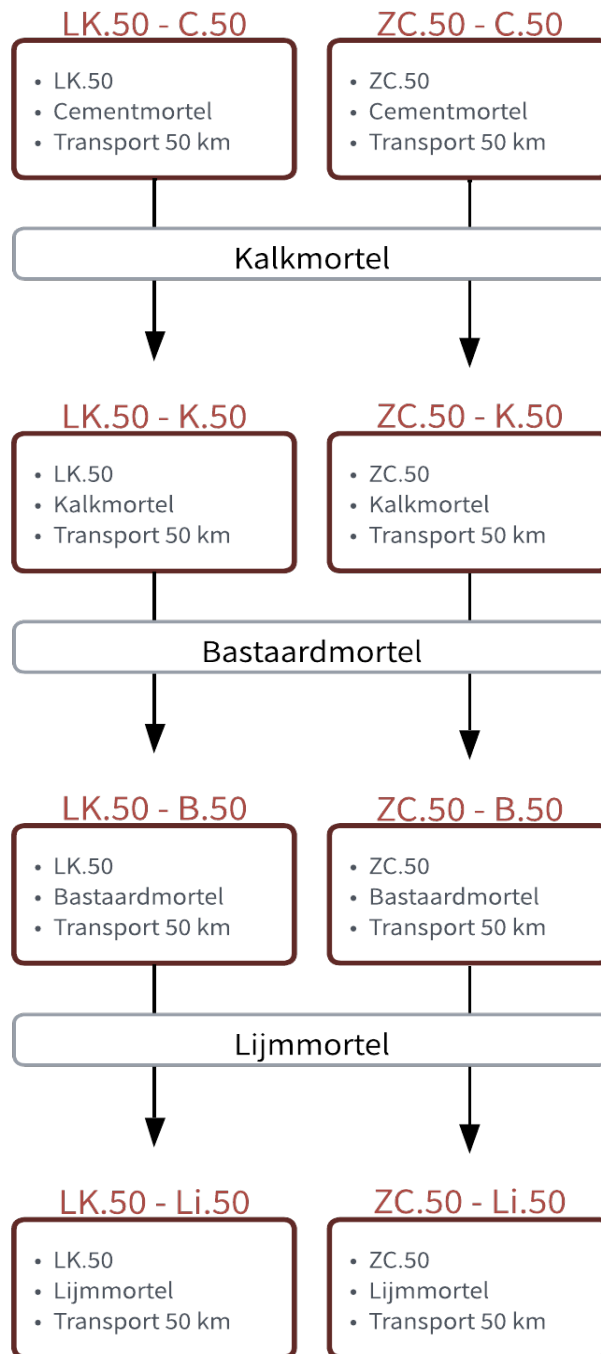
Uit onderstaande figuur 63 van *Life Cycle Inventories of Building Products* wordt de precieze samenstelling van deze mortels weergegeven. Hieruit blijkt dat het proces *Lime mortar* niet eenduidig kan vertaald worden naar ‘kalkmortel’. Naast kalk bevat *Lime mortar* ook cement en is dit aandeel hiervan bijna drie keer zo groot als dit bij *Cement mortar*. De verhoudingen van een bastaardmortel, die bestaat uit zowel kalk als cement, liggen ook in heel andere grootteordes. Waarbij in (volume) verhouding typisch één aandeel kalk, één aandeel cement en zes aandelen zand worden gebruikt (Het MOT, 2023). In vergelijking bevat het proces *Lime mortar* onder andere ook te weinig zand. *Cement mortar* heeft wel verhoudingen die typisch gehanteerd worden voor cement groep III (Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007).

Type of mortar or plaster	Raw materials (weight kg product)	Minimum amount of water needed for mixing [kg]
Cement mortar	Sand (0.800 kg) and cement, (0.200 kg)	0.080
Lime mortar	Sand (0.290 kg), cement (0.560 kg), lime hydraulic (0.105 kg), lime hydrated (0.043 kg) and additives (0.002 kg)	0.037
Light mortar	Sand (0.187 kg), cement (0.342 kg), lime hydrated (0.026 kg), expanded clay (0.444 kg) and additives (0.001 kg)	0.137
Base plaster	Sand (0.772 kg), cement (0.205 kg), lime hydrated (0.023 kg) and additives (0.0002 kg)	0.082
Organic cover coat	Sand (0.888 kg), organic binder (0.110 kg), solvent (0.001 kg) and additives (0.001 kg)	Not needed
Mineral cover coat	Sand (0.244 kg), stucco (0.743 kg), lime hydrated (0.013 kg) and additives (0.00008 kg)	0.138
Thermal plaster	Sand (0.285 kg), cement (0.523 kg), lime hydraulic (0.107 kg), lime hydrated (0.033 kg), expanded polystyrene (0.048 kg) and additives (0.004 kg)	0.246
Clay plaster	Sand (0.550 kg), clay, (0.250 kg) and water (0.200 kg)	Included in mixture
Acrylic filler	Sand (0.690 kg), acrylic binder, (0.150 kg), water (0.100 kg), pigment (0.020 kg) and ancillary products (0.040 kg)	Included in mixture
Anhydrite floor	Sand (0.732 kg), binding agent (0.260 kg), different reagents (0.006 kg) and an additive (0.002 kg)	0.048
Adhesive mortar	Limestone powder (0.473 kg), cement (0.106 kg), water (0.047 kg), acrylate dispersion (0.310 kg) and diverse other products (0.064 kg)	Included in mixture

Figuur 63: Grondstoffen van de bestudeerde mortels en plaasters inclusief de minimum hoeveelheid water nodig voor het mengen (Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007)

Om een beter idee te hebben van de werkelijke impact van een kalkmortel, werd dit proces zelf gemodelleerd onder de naam 'Kalkmortel | market for | Cut-off, S'. De exacte samenstelling en gebruikte delen uit ecoinvent zijn te vinden in bijlage 4. Daarnaast werd het proces *Cement mortar {CH}* production | Cut-off, S ook aangepast om beter te correleren met het zelfgemaakte proces voor de kalkmortel. Dit proces 'Cementmortel | market for | Cut-off, S' kwam tot stand door de Zwitserse elektriciteitsmix te veranderen naar een Belgische. Tot slot werd ook een proces voor een bastaardmortel gecreëerd, 'Bastaardmortel | market for | Cut-off, S'. Hierbij werden de eerdervermelde (volume)verhouding van 1:1:6 gehanteerd voor respectievelijk gehydrateerde kalk, Portlandcement en silica zand. Bij ieder van deze mortels werd bij een hoeveelheid van 1 kg een aandeel water ingerekend om de impact van een natte mortel te verkrijgen. Bij kalk- en bastaardmortel maakt dit 17,5% uit van de totale massa, terwijl dit bij cementmortel slechts 8% is.

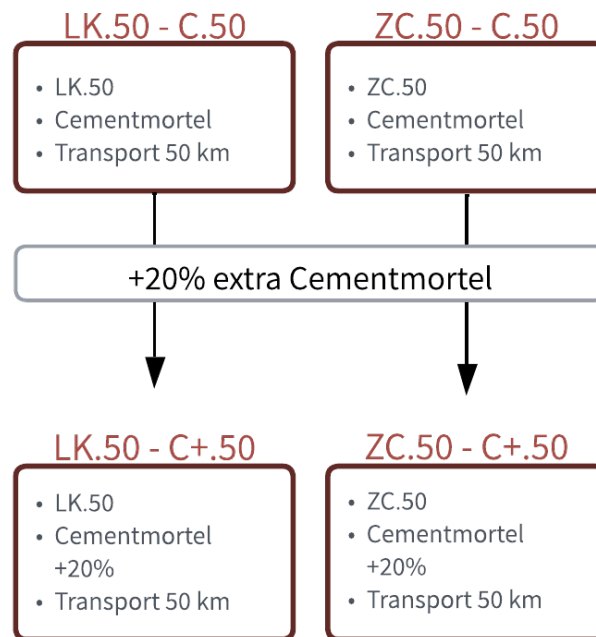
In de studie vergelijken we deze drie zelfgemaakte processen met de lijm-mortel uit ecoinvent. Bij deze laatste soort wordt de fractie mortel gehalveerd aangezien de voegen hierbij typisch slechts 1/2 of 1/3 van de dikte hebben van 'normaal' metselwerk. Het gebruik van lijm- en dunbedmortel bij recuperatiestenen is mogelijk, maar is niet ideaal indien de stenen een te grote onregelmatigheid vertonen (Franck, persoonlijke communicatie, 14 november 2022). De fracties metselwerk en mortel die hierbij horen zijn respectievelijk 0,899 en 0,101. Bij de cement-, kalk- en bastaardmortel worden de eerder vermelde fracties gehanteerd, respectievelijk 0,798 voor bakstenen en 0,202 voor de mortel.



Figuur 64: Overzicht van de twee beginscenario's en variaties soort mortel gebruikt in nieuwe project

3.2.3. Fractie mortel gebruikt in nieuw project

Tot slot wordt de invloed van de fractie mortel bestudeerd, door een scenario te simuleren met 20% extra cementmortel, weergegeven in figuur 65. Het gebruik van extra mortel is wenselijk indien de stenen een te grote onregelmatigheid vertonen. Door de extra mortel kunnen deze verschillen in hoogte en breedte worden opgevangen in het metselwerk. De fracties metselwerk en mortel die hierbij horen zijn respectievelijk 0,758 en 0,242.



Figuur 65: Overzicht van de twee beginscenario's en variaties fractie mortel gebruikt in nieuwe project

3.2.4. Gevel met nieuwe stenen

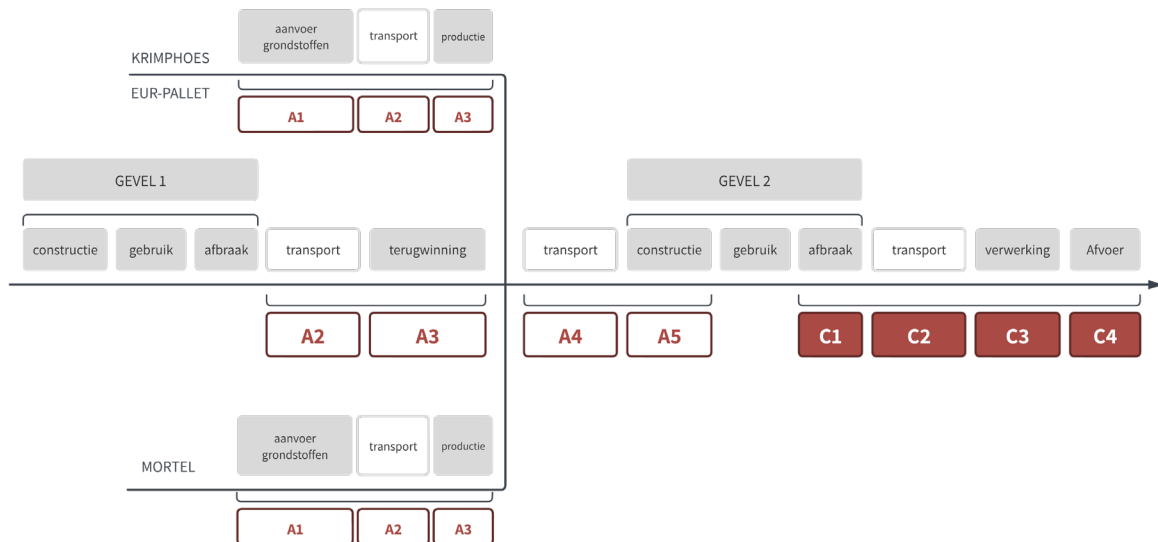
In dit deel van de studie worden ook opnieuw muurtypes bekeken met nieuw geproduceerde gevelstenen. Er wordt naast een muur met cementmortel ook een optie met kalk- en bastaardmortel bekeken. Voor de transportafstand van de gevelstenen naar de nieuwe werf wordt opnieuw gekeken naar tabel 1 uit bijlage 3 in de categorie *Loose products*.



Figuur 66: Overzicht van de scenario's met nieuw geproduceerde stenen

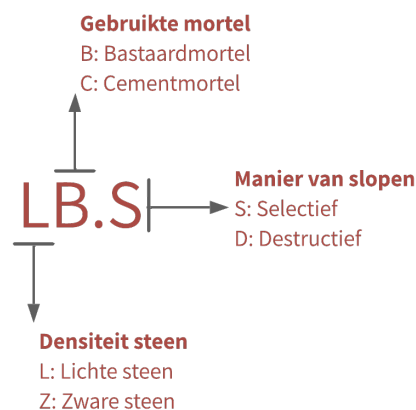
3.3. Deel C1-4

In het laatste deel van de studie wordt enkel module C bekeken. Met opnieuw een functionele eenheid van 1 m² gemetste muur wordt de impact van selectieve sloop bekeken. Hierbij wordt de deconstructie, transport, verwerking en afvoer meegenomen. Ook hier kan terug naar tabel 1 en 2 in bijlage 1 verwezen worden voor alle waarden en aannames.



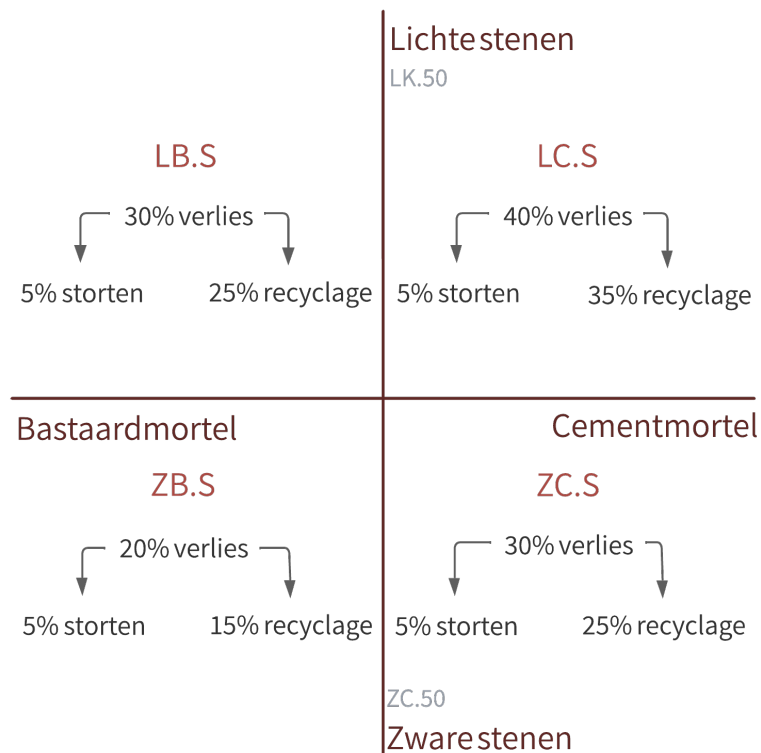
Figuur 67: Overzicht modules meegenomen in het derde deel (C1-4)

Verskillende verliespercentages worden toegekend op basis van de mortel bij de muur en de dichtheid van het metselwerk gebruikt in de gevel. Het gebruik van bastaardmortel zal de demontage vergemakkelijken met een kleiner verlies tot gevolg. Net zoals in vorige types levert ook metselwerk met een hogere dichtheid een lager verliespercentage op. Voor lichte en zware stenen wordt net zoals in voorgaande delen het soortelijk gewicht ρ vastgelegd op 1400 kg/m³ en 1800 kg/m³. Door het samenvoegen van deze elementen worden opnieuw vier combinaties gemaakt, te vinden in onderstaande figuur 69.



Figuur 68: Overzicht naamgeving scenario's in het derde deel (C1-4)

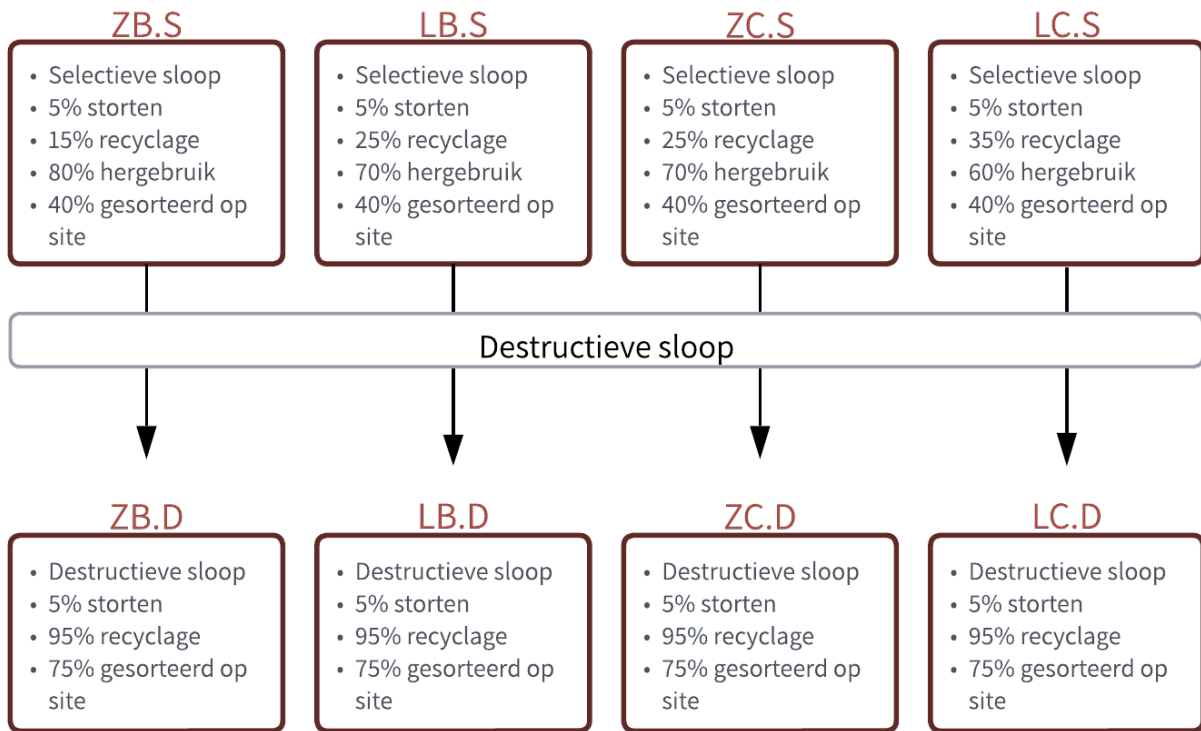
De benaming bestaat uit gelijkaardige codes als voorheen, met opnieuw twee letters gevolgd door een derde letter achter de punt. De eerste letter staat voor de dichtheid van de steen, de tweede letter voor de gebruikte mortel. De laatste letter van de code staat hier voor de manier van slopen, met respectievelijk S en D voor selectief en destructief slopen.



Figuur 69: Overzicht van de vier beginscenario's met bijhorend verliespercentage in het derde deel (C1-4)

De fracties voor de verschillende afvalverwerkingsopties verschillen van deze voor destructieve sloop, aangezien het grootste aandeel nu naar hergebruik gaat. Ook de fractie voor sortering op site is kleiner en zakt naar 40% voor het metselwerk. Voor deze waarden wordt gesteund op de verworven data bij de verschillende handelaars. Bij selectieve en niet-destructieve sloop wordt in figuur 1 uit bijlage 3 vertrouwd op volledig manuele handelingen. Het gebruik van occasionele grijpkranen en mechanische breekhamers wordt dus vereenvoudigd en niet in rekening gebracht. Op deze manier wordt de waarde voor C1 gelijk gesteld aan nul. De delen C2-4 worden op dezelfde manier verwerkt als in deel A-C van de studie.

Selectieve sloop wordt in dit deel ook vergeleken met destructieve sloop, waarbij er op dezelfde manier tewerk wordt gegaan als deel A-C en dus andere fracties bij de afvalverwerking worden gehanteerd. De vergelijking wordt ook schematisch weergegeven in onderstaande figuur 70.



Figuur 70: Overzicht van de vier beginscenario's en variaties destructieve sloop

Deel 3

Resultaten

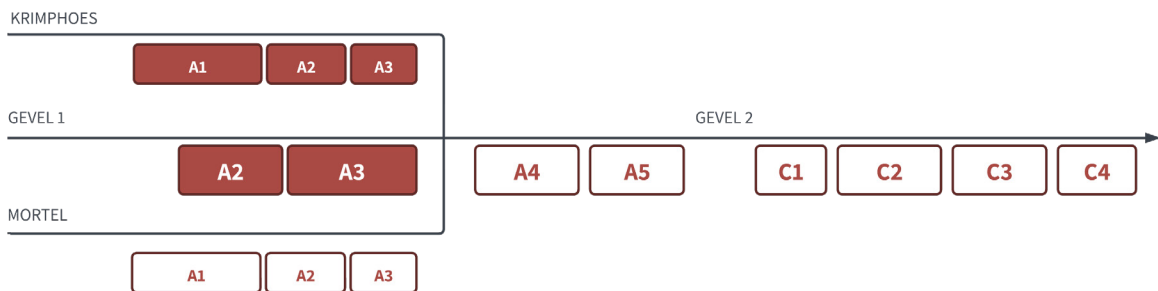
1. Resultaten

1.1. Deel A1-3

Na het opbouwen van de verschillende scenario's, worden simulaties gemaakt in SimaPro. Module A1-3 wordt hiervoor bij dit deel in beschouwing genomen, waarna verschillende onderzoeksvragen worden nagegaan.

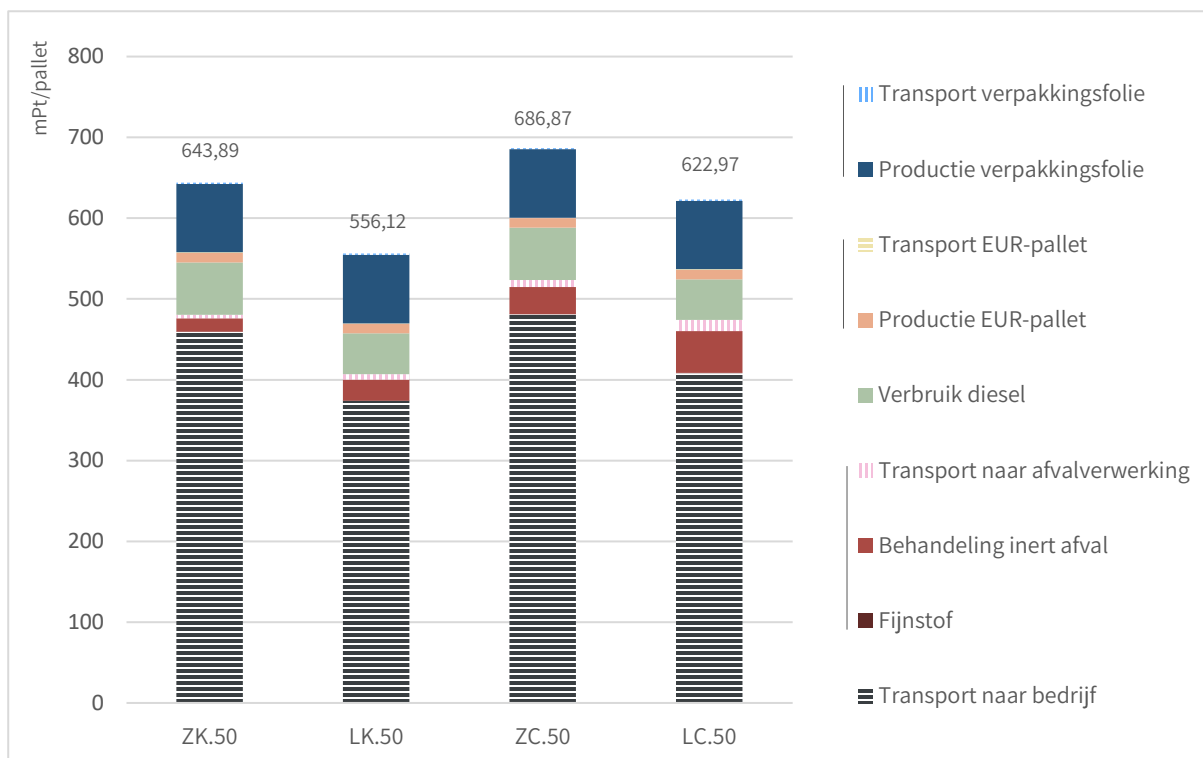
Welke milieu-impact kan toegekend worden aan de verschillende terugwinningsprocessen en welke fase zal hier de grootste rol in spelen? In welke mate hebben ze een invloed op de verschillende milieu-indicatoren en hoe spelen de soorten stenen hierin mee?

Welke verschillen brengen een verandering van een handmatig kuisproces naar een mechanisch teweeg in relatie tot milieueffecten? Spelen de transportafstanden van sloop naar het bedrijf een rol in de duurzaamheid van hergebruik? Welke discrepanties vertonen de terugwinningsprocessen met de productie van nieuwe gevelstenen?



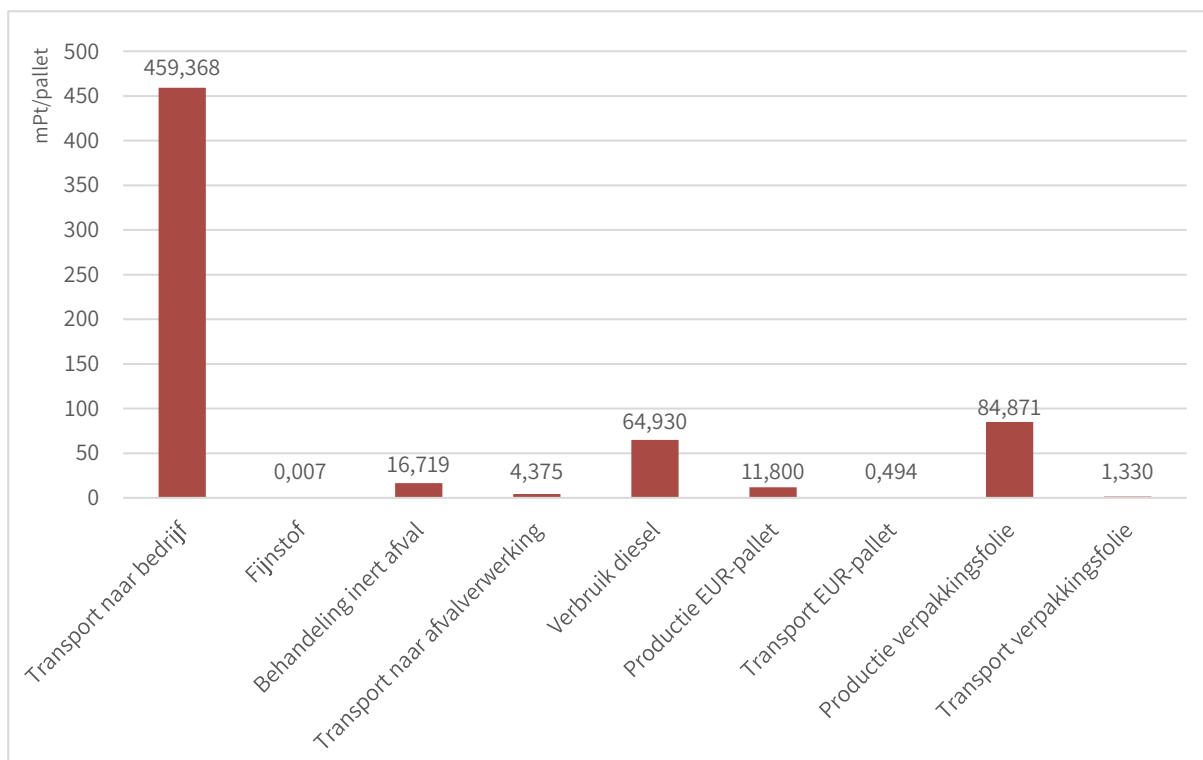
Figuur 71: Vereenvoudigd overzicht modules meegenomen in het eerste deel (A1-3)

Een eerste analyse wordt uitgevoerd op de vier basisscenario's. In figuur 72 wordt de impact van de respectievelijke processen in SimaPro weergegeven, waarbij een eerste set veronderstellingen kan worden gemaakt.



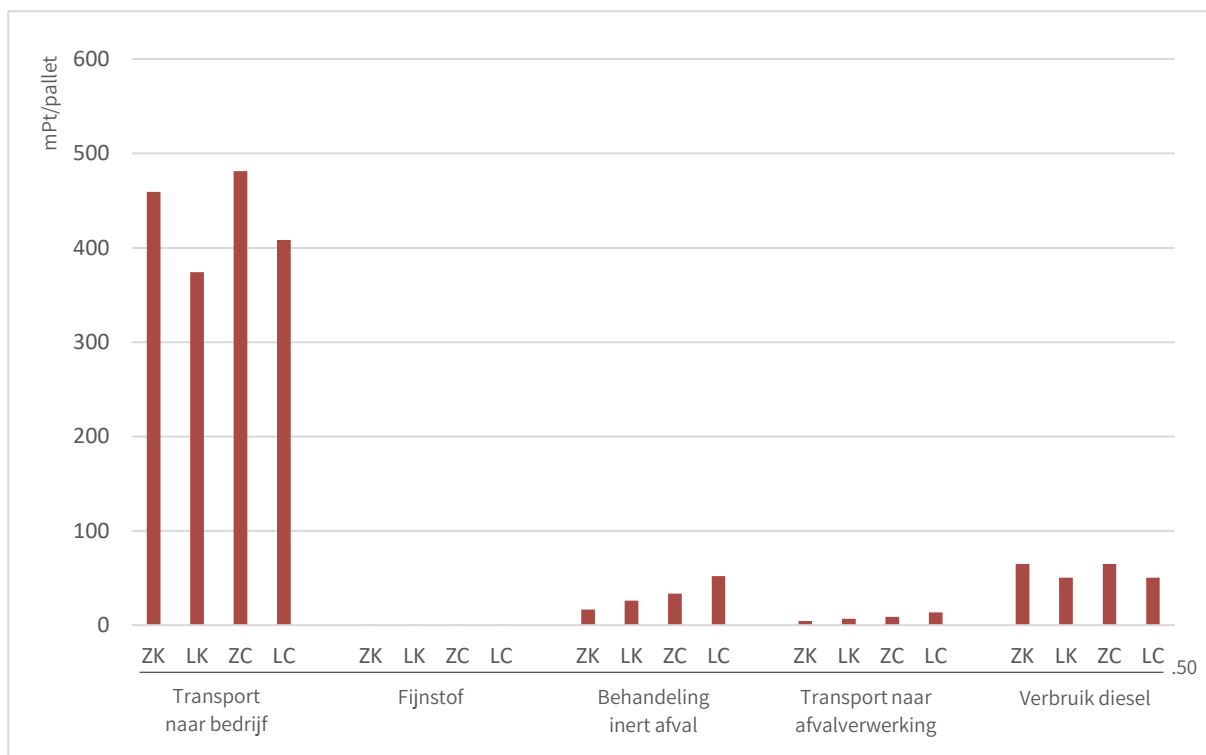
Figuur 72: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor beginscenario's (A1-3). Transportprocessen zijn steeds aangeduid met een arcering

Meteen is te zien dat transport van de sloop naar het bedrijf de grootste rol zal spelen in alle situaties. De verschillen tussen de scenario's corresponderen grotendeels met het type steen, namelijk licht of zwaar. Een hogere massa aan producten zal resulteren in een hoger verbruik van brandstof, waardoor het transport van de zware stenen een hogere milieu-impact heeft. Ook dit effect zal plaatsvinden bij het verbruik van diesel door vorkliften op het bedrijf zelf. Daarnaast is er ook een verschil op te merken in het inert afval en bijkomstig het transport hiervan. Zoals verondersteld bij de specialisten zal de combinatie van het soort steen en de type mortel de hoeveelheid afval uitwijzen. Een combinatie van lichte stenen met cementmortel zal resulteren in meer verlies en afval tijdens het kuisen door het bros karakter van de stenen en de sterkte van de mortel. De processen gerelateerd aan de verpakkingsfolie en EUR-pallet hebben over de scenario's heen eenzelfde score, aangezien de productie en het transport van deze nevenproducten gelijk zal zijn voor de beschouwde functionele eenheid.



Figuur 73: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor ZK.50

Het scenario ZK.50 wordt als voorbeeld genomen in figuur 73 om de impact van de processen op een meer gedetailleerde manier te bekijken. Hieruit is opnieuw waar te nemen dat transport met 71,34% het overgrote deel van de milieuscore uitmaakt. Ook is waar te nemen dat de uitstoot van fijnstof een bijna verwaarloosbare impact heeft. De impact van transport van de EUR-pallet, verpakingsfolie en afval is evenzeer miniem in vergelijking met het transport van de werf naar het bedrijf. Dit kan te wijten zijn aan de kleine hoeveelheden van dit materiaal nodig om een pallet stenen te verpakken of het kleine afvalpercentage in deze situatie. Daarnaast heeft het verbruik van diesel en de verpakingsfolie enige impact, respectievelijk 10,08% en 13,18% van het totaal. Deze impact, vermoedelijk te wijten aan het gebruik van fossiele brandstoffen, kan tegenover het transport naar het bedrijf nog steeds als ondergeschikt worden beschouwd.



Figuur 74: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor beginscenario's (A1-3)

Tabel 5: Totaalscore voor beginscenario's, wijzigende processen

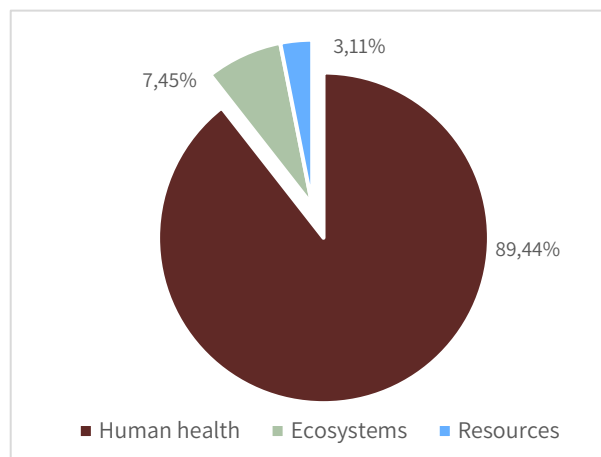
Proces					
Scenario	Transport naar bedrijf	Fijnstof	Behandeling inert afval	Transport naar afvalverwerking	Verbruik diesel
	[mPt/pallet]	[mPt/pallet]	[mPt/pallet]	[mPt/pallet]	[mPt/pallet]
ZK.50	459,37	0,007	16,72	4,37	64,93
LK.50	374,30	0,011	26,01	6,81	50,50
ZC.50	481,24	0,015	33,44	8,75	64,93
LC.50	408,33	0,023	50,01	13,61	50,50

Tabel 6: Totaalscore voor beginscenario's, niet-wijzigende processen

Proces			
Productie EUR-pallet	Transport EUR-pallet	Productie verpakkingsfolie	Transport verpakkingsfolie
[mPt/pallet]	[mPt/pallet]	[mPt/pallet]	[mPt/pallet]
11,80	0,49	84,87	1,33

Voor de afzonderlijke processen kan ook een vergelijking gemaakt worden tussen de vier types. Hierbij wordt de productie van de verpakingsfolie en EUR-pallet samen met het transport ervan buiten beschouwing gelaten, aangezien deze met 98,49 mPt/pallet steeds hetzelfde zijn over de verschillende situaties. Opnieuw kan het effect van het gewicht van de stenen duidelijk waargenomen worden bij 'Transport naar bedrijf' en 'Verbruik diesel', waarbij lichtere stenen een lagere impact kennen. Ook kan het effect van de verschillende afvalfracties worden gezien, waar de score stijgt in verschillende onderdelen naarmate de steen en mortel ongunstiger worden.

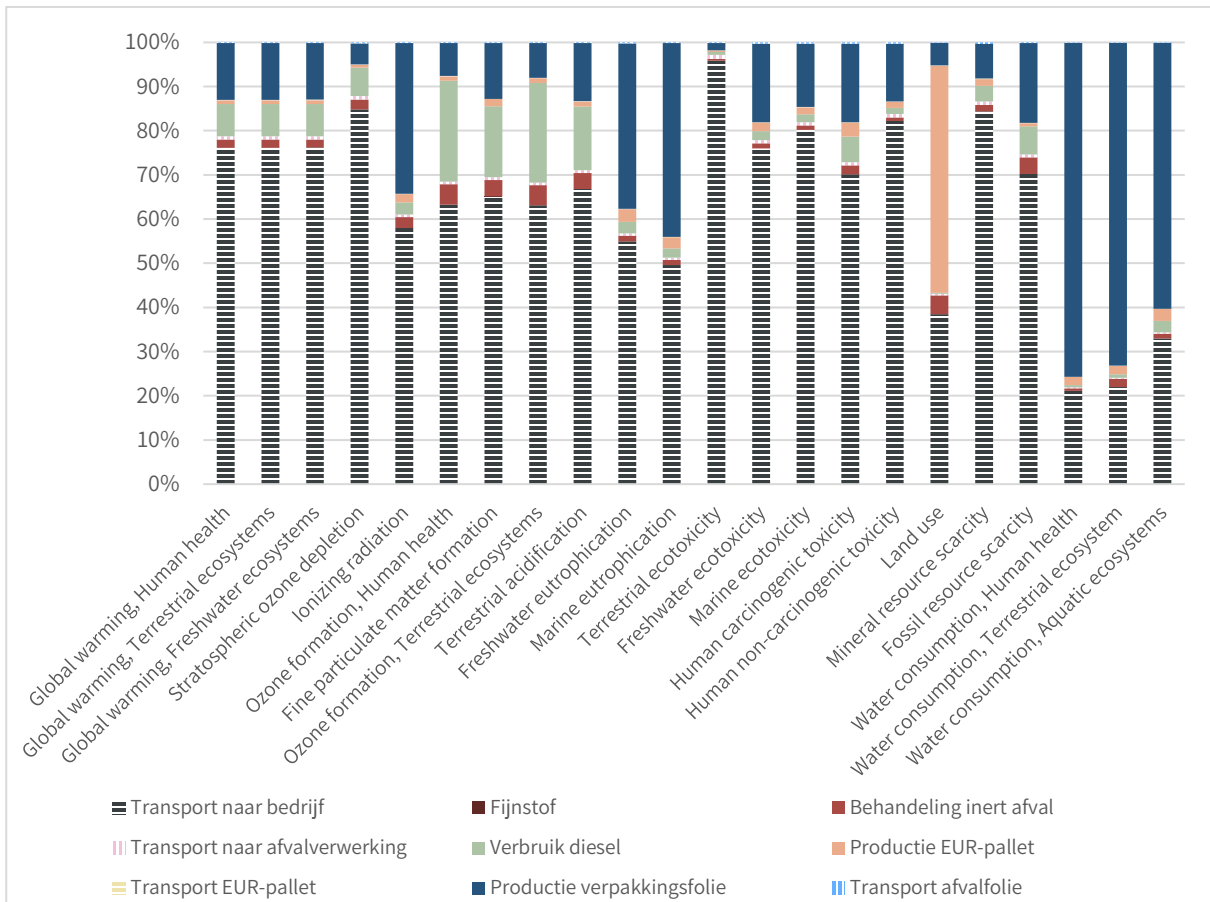
Deze totale scores kunnen ook opgedeeld worden in de drie *endpoint* categorieën, namelijk *Human health*, *Ecosystems* en *Resources*. Om de impact hiervan te beoordelen, wordt in onderstaande figuur 75 de procentuele verhouding weergegeven. Aangezien deze verhoudingen slechts beperkt variëren over de verschillende types, wordt ZK.50 opnieuw als voorbeeld genomen. *Ecosystems* en *Resources* hebben een minimale invloed. Samen zullen ze 10,56% van de totale score uitmaken, waardoor de grootste score met 89,44% aan *Human health* kan worden toegeschreven. Door deze beperkte impact, wordt hiervoor geen opdeling gemaakt in volgende resultaten.



Figuur 75: ReCiPe, endpoint, verdeeld per indicator voor ZK.50

Hierna wordt ingezoomd op de achttien *midpoint* indicatoren. In het algemeen kan een aanzienlijk deel van 'Transport naar bedrijf' waargenomen worden, met in het bijzonder bij de indicator *Terrestrial Ecotoxicity*. Deze indicator heeft betrekking op alle chemicaliën die gedurende de levenscyclus in het milieu terecht kunnen komen en zo een negatieve invloed uitoefenen op de ecosystemen (IndEcol, 2019a). Emissies die gepaard gaan met het verbruik van brandstof tijdens transport hebben hier daadwerkelijk een grote invloed op. De productie voor verpakingsfolie is ook een belangrijke factor, die onder andere het meeste bijdraagt aan processen gerelateerd aan *Water consumption*.

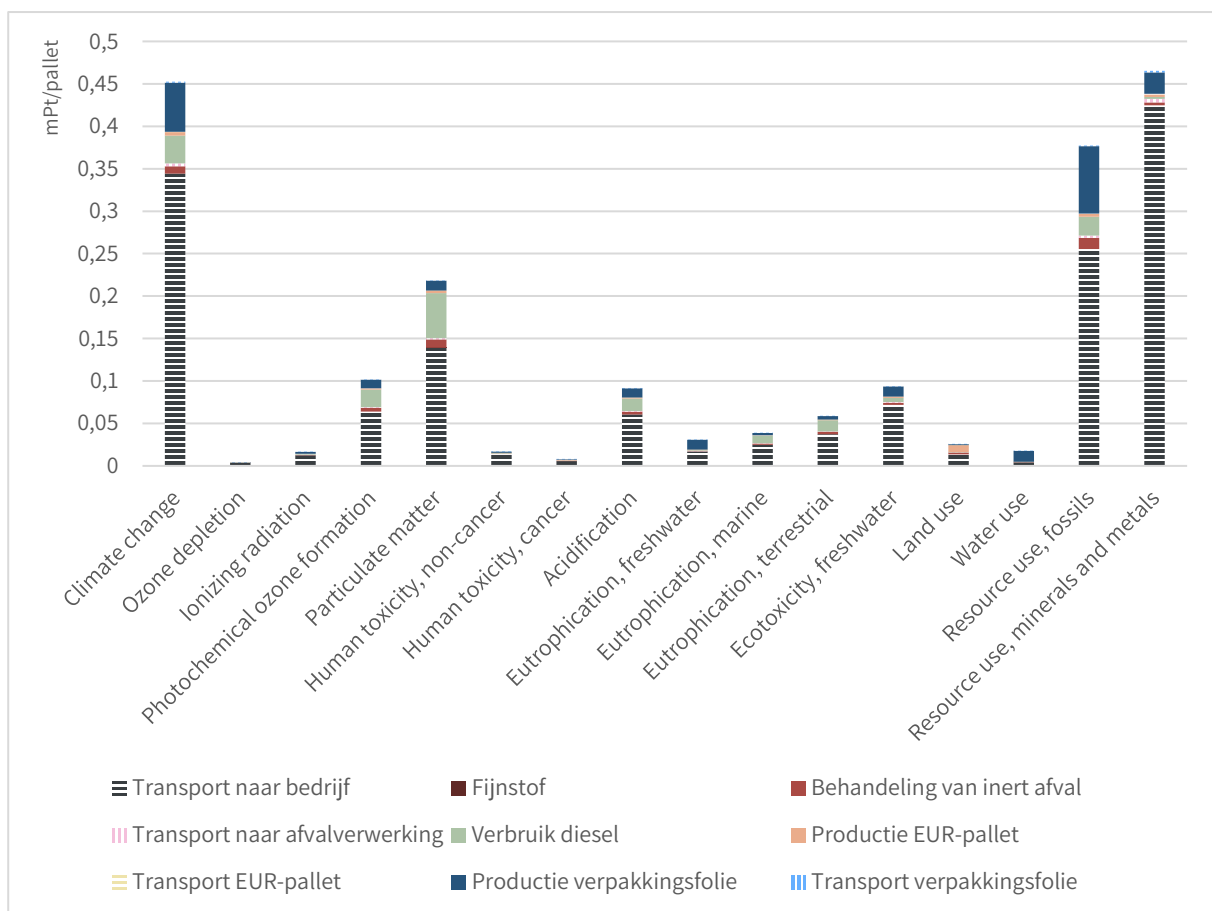
Ook andere indicatoren zoals *Ionizing radiation* en *Marine en Freshwater eutrophication*, bestaan voor meer dan een derde uit 'Productie verpakingsfolie'. Deze eerste indicator heeft betrekking op straling die vrijkomt bij verbruiksgoederen zoals de olie waaruit de verpakking geproduceerd is (IndEcol, 2019b). *Marine en Freshwater eutrophication* is gerelateerd aan een impact door onvoldoende zuivering van afvalwater (IndEcol, 2019c). De productie van de EUR-pallet heeft voornamelijk een impact op *Land use*, afkomstig van het gebruik van hout voor dit product. Tot slot kan het verbruik van diesel voor vorkliften ook duidelijk worden waargenomen in indicatoren gerelateerd aan *Ozone formation*, *Fine particulate matter formation* en *Terrestrial acidification*, afkomstig van de verbranding van brandstoffen.



Figuur 76: ReCiPe, midpoint, verdeeld per aandeel voor ZK.50. Transportprocessen zijn steeds aangeduid met een arcering

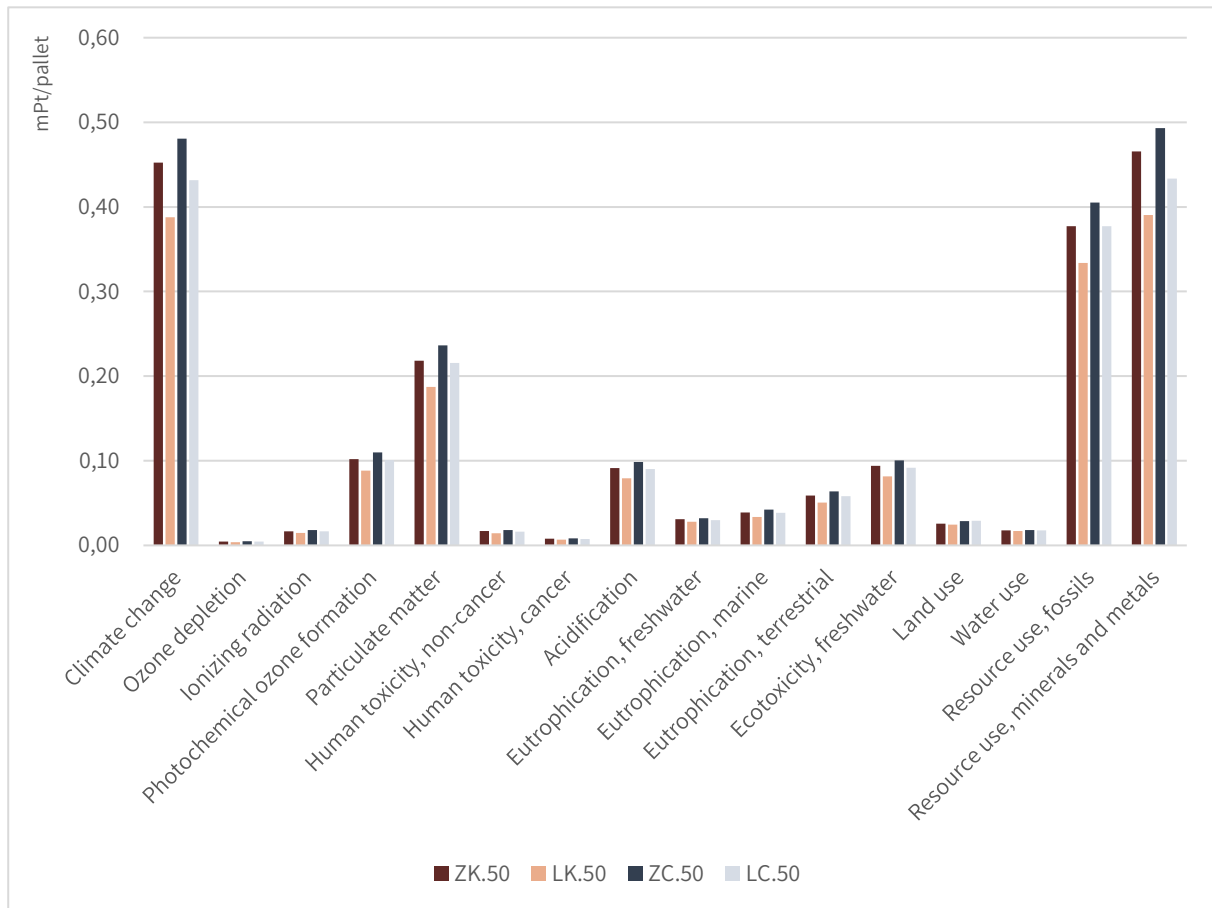
Via de PEF-methode kunnen ook de milieuscores berekend worden, dit voor zestien verschillende milieueffecten, te zien in onderstaande figuur 77. Hoewel een andere weging en berekening gebruikt wordt om deze resultaten te bekomen, zijn de procentuele verhoudingen in de verschillende onderdelen zo goed als gelijk. Hierdoor kan er door het bekijken van de PEF-methode uitgemaakt worden welke indicatoren het meest beïnvloed worden en door welke factoren.

Vanuit de vorige berekeningsmethode, ReCiPe, wordt vermoed dat alle processen gerelateerd aan transport, het verbruik van brandstoffen en de productie van verpakkingsmaterialen de grootste bijdragers zullen zijn in de totale milieuscore. Deze processen, die een groot deel uitmaken van de terugwinning, zullen namelijk nog steeds gebruik maken van fossiele- of andere grondstoffen. Het gebruik van deze grondstoffen, ter vervaardiging van producten of de verbranding ervan, zullen emissies uitstoten en bijgevolg de klimaatverandering in negatieve zin beïnvloeden. Dit kan bevestigd worden indien gekeken wordt naar figuur 77. ‘Transport naar bedrijf’ omvat nog steeds het grootste aandeel in de totale milieuscore met voornamelijk hoge waarden in *Climate Change* en de twee indicatoren gerelateerd aan *Resource use*. Deze indicatoren worden ook het meest beïnvloed door de verpakkingsfolie. In figuur 76 kon nog opgemaakt worden dat deze folie het belangrijkste was bij *Water consumption*. Dit is nog steeds het geval, maar in figuur 77 wordt nu duidelijk dat deze impact van *Water use* minimeert is ten opzichte van de andere indicatoren. *Particulate matter* is ondanks het feit dat de uitstoot ervan bij het kuisen zo klein is, de vierde grootste bijdrager door de verschillende transport gerelateerde onderdelen en ‘Verbruik diesel’.



Figuur 77: PEF, midpoint, verdeeld per proces voor ZK.50. Transportprocessen zijn steeds aangeduid met een arcering

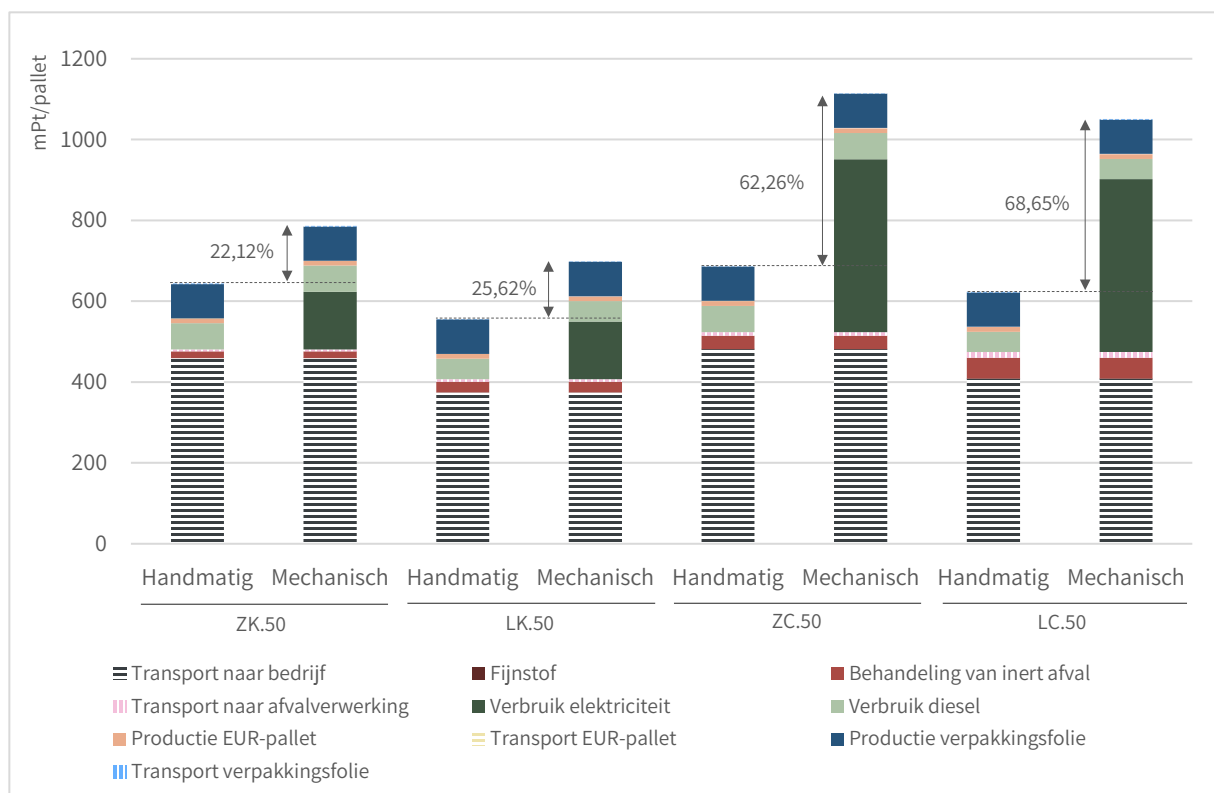
In figuur 78, kan de vergelijking gemaakt worden tussen de vier basistypes. De algemene verdeling van de indicatoren bij ZK.50 kan teruggevonden worden bij de andere drie scenario's. *Climate change* en de indicatoren gerelateerd aan *Resource use* omvatten samen met gemiddeld 63,89% het overgrote deel van milieu-impact. *Particulate matter* omvat gemiddeld 10,89%. Overige milieueffecten zijn ook belangrijk om te beschouwen, maar deze zullen samen slechts maximaal een vierde bedragen van de totale milieuscore. Voornamelijk *Ozon depletion*, *Ionizing radiation* en de indicatoren gerelateerd aan *Human toxicity* dragen beperkt bij aan het totaal.



Figuur 78: PEF, midpoint, verdeeld per indicator voor basiscenario's (A1-3)

1.1.1. Handmatig en mechanisch kuisen

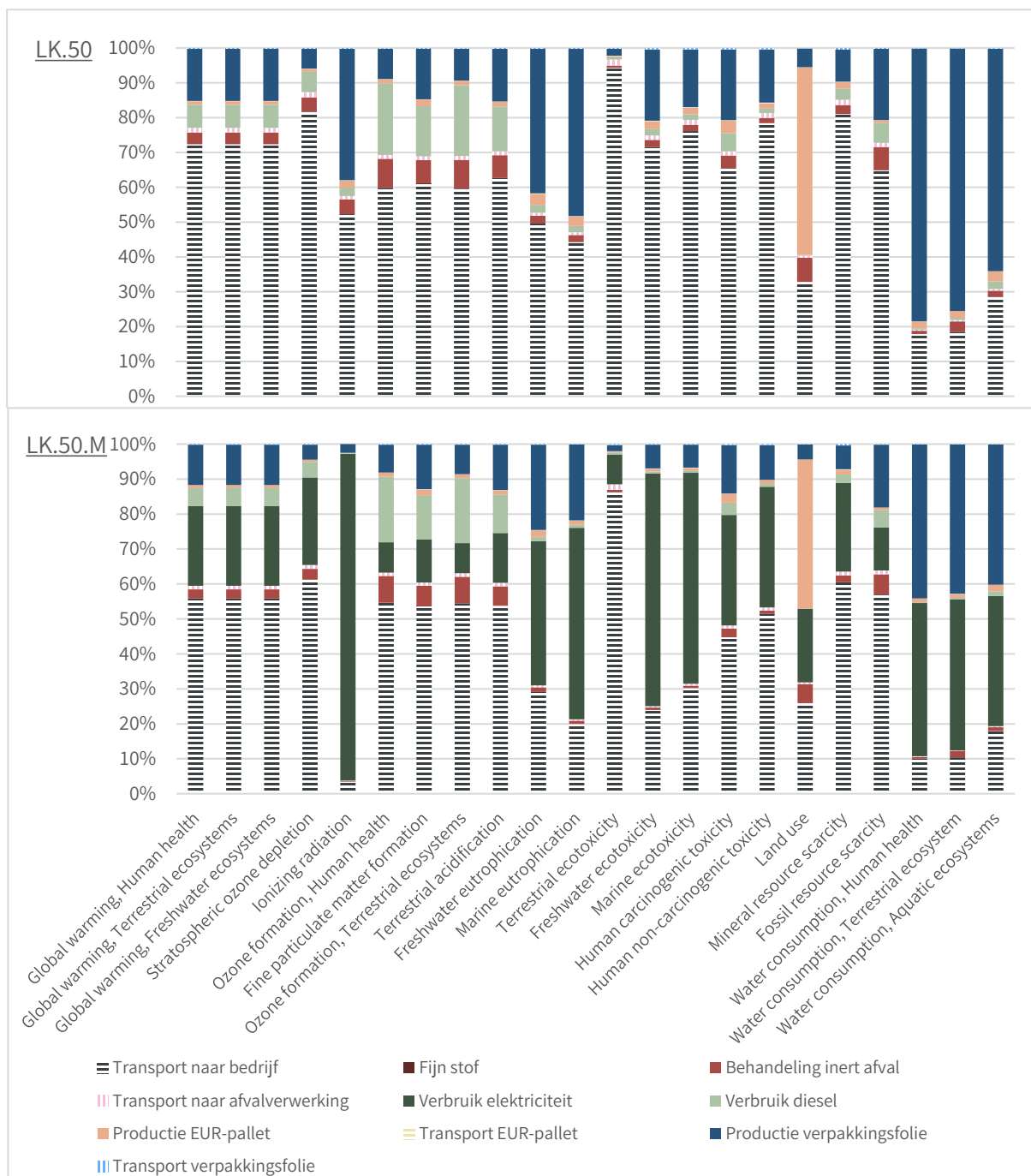
Indien het kuisen van de stenen mechanisch gebeurt, wordt een hoeveelheid elektriciteit in rekening gebracht om de mechanische beitel aan te drijven. De tijd voor het kuisen van één individuele steen hangt af van de gebruikte mortel in de vorige toepassing van het gevelmetselwerk. Hoewel de massa verschillend is voor een pallet van 800 stenen, blijft het elektriciteitsverbruik voor lichte en zware stenen hetzelfde, als dezelfde mortel wordt beschouwd. Het grootste verschil zit in het kuisen van stenen met cementmortel, waarbij het kuisen van één individuele steen drie keer langer zal duren en het elektriciteitsverbruik dus ook verdrievoudigt wordt. Dit effect kan duidelijk waargenomen worden in onderstaande figuur 79, waarbij het mechanisch kuisen resulteert in een procentuele stijging van 62,26% bij zware stenen en 68,65% bij lichte stenen. Dit is aanzienlijk meer dan het aandeel voor elektriciteitsverbruik bij stenen afkomstig uit metselwerk met kalkmortel. Hierbij is een stijging van 22,12% en 25,62% te vinden bij respectievelijk zware en lichte stenen.



Figuur 79: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor beginscenario's (A1-3) en variaties mechanisch kuisen. Transportprocessen zijn steeds aangeduid met een arcering

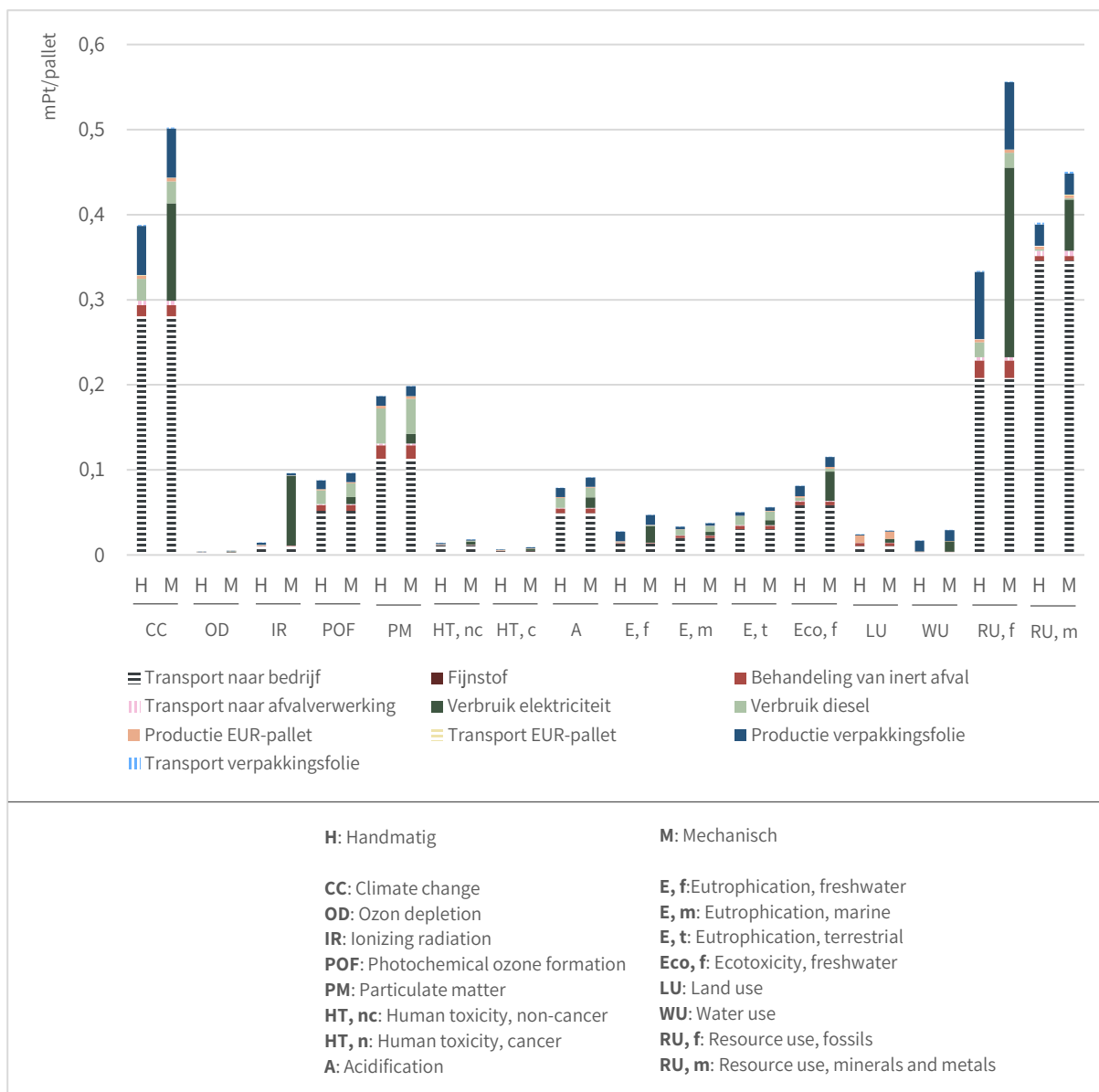
Tabel 7: Totaalscore voor beginscenario's en variatie mechanisch kuisen

		Scenario							
Totaal		ZK.50	ZK.50.M	LK.50	LK.50.M	ZC.50	ZC.50.M	LC.50	LC.50.M
[mPt/pallet]		643,89	786,34	556,12	698,57	686,87	1114,54	622,97	1050,64



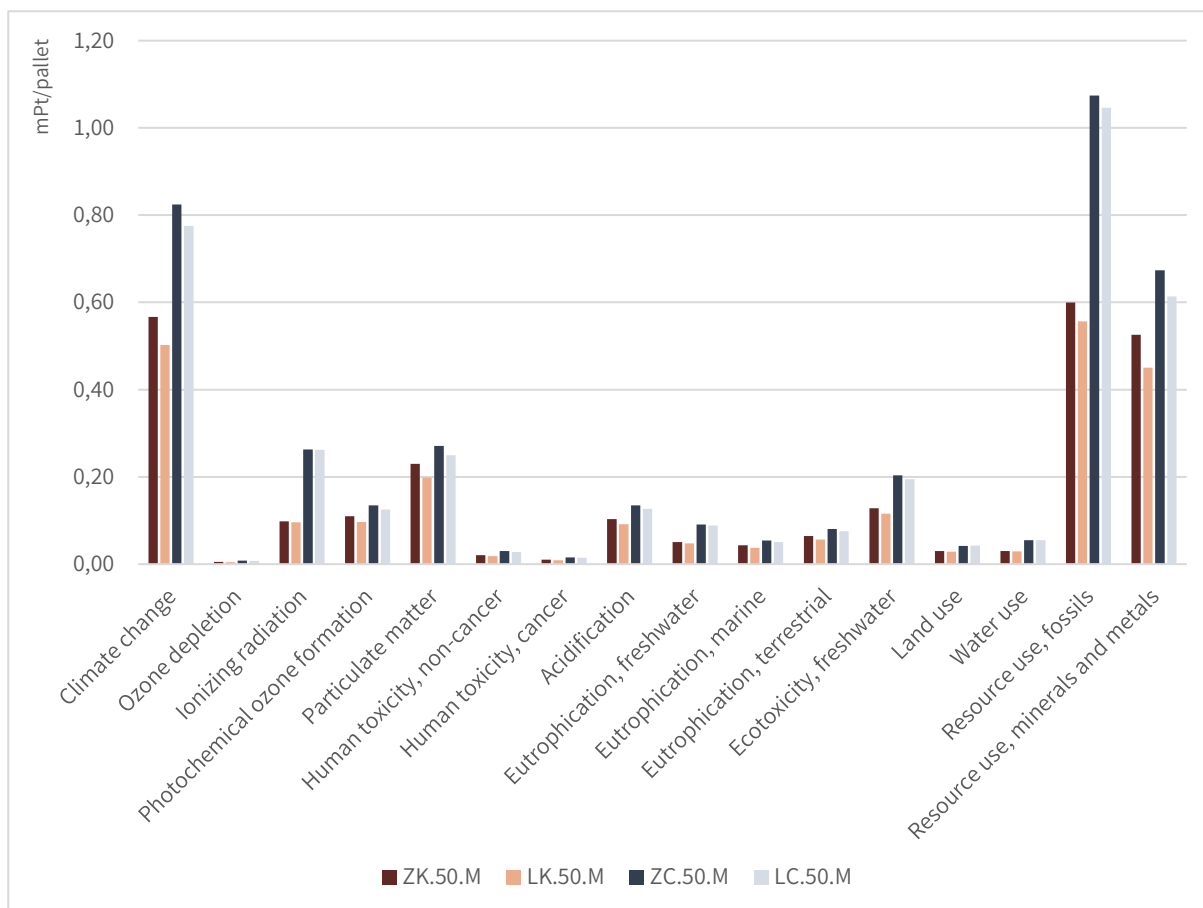
Figuur 80: ReCiPe, midpoint, verdeeld per indicator voor LK.50 en LK.50.M. Transportprocessen zijn steeds aangeduid met een arcering

Er wordt verder ingezoomd op de achttien impactindicatoren in figuur 80, voor een situatie met kalkmortel. Als er gekeken wordt naar de *midpoint* indicatoren, zien we dat dit extra aandeel ‘Verbruik elektriciteit’ in meerdere indicatoren domineert. *Ionizing radiation*, dat voordien nog voornamelijk werd opgebouwd uit ‘Productie verpakkingsfolie’, bestaat nu bijna uitsluitend uit ‘Verbruik elektriciteit’. Ook in andere indicatoren neemt het mechanisch kuisen bijna de helft in van de totale score. Dit is voornamelijk te zien bij zaken zoals *Marine* en *Freshwater eutrophication* en *ecotoxicity* en de drie indicatoren gerelateerd aan *Water consumption*.



Figuur 81: PEF, midpoint, verdeeld per proces voor beginscenario's (A1-3) en variaties mechanisch kuisen. Transportprocessen zijn steeds aangeduid met een arcering

Gevolgen van het mechanisch kuisen zullen ook in de PEF-benaderingsmethode verschillen teweeg brengen. Over het algemeen kan uit bovenstaande figuur 81 opgemaakt worden dat de meeste verhoudingen tussen de indicatoren gelijk blijven. De grootste stijging is te vinden bij *Resource use, fossils* die nu de hoogste impact heeft ten opzichte van het totaal, met 23,80%. Ook bij de andere twee indicatoren die voor het handmatig kuisen het grootst waren, is een stijging te zien gerelateerd aan het verbruiken van elektriciteit voor het aandrijven van de compressor. Het verschil bij de manier van kuisen is voornamelijk te merken in *Ionizing radiation*, die ten opzichte van handmatig kuisen bijna zeven keer groter is. Hoewel dit soms moeilijk te zien is, zullen de scores over de zestien indicatoren gestegen zijn door de toevoeging van het elektriciteitsverbruik.

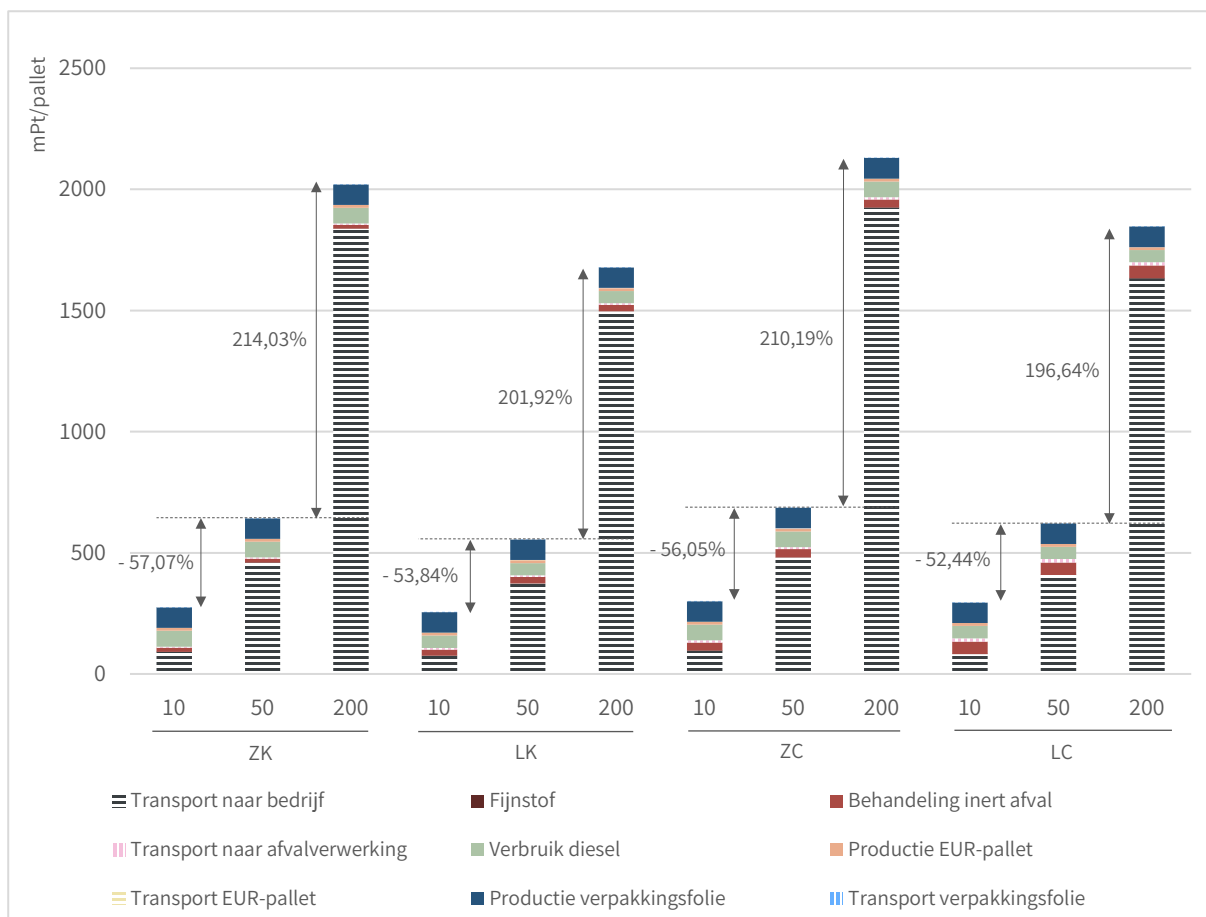


Figuur 82: PEF, midpoint, verdeeld per indicator voor variaties mechanisch kuisen

In figuur 82 worden de verschillende scenario's voor mechanisch kuisen bekeken. De verschillen in milieu-impact tussen het verwijderen van kalkmortel en cementmortel zijn prominent aanwezig. Het kuisen van bakstenen oorspronkelijk bevestigd met cementmortel zal langer duren, waardoor er ook meer elektriciteitsverbruik is. De bijkomende impact afkomstig van het mechanisch kuisen zal dan ook signifikanter te zien zijn bij ZC.50.M en LC.50.M.

1.1.2. Transportafstand sloop naar bedrijf

De transportafstand van de sloopplaats naar het bedrijf waar de stenen verwerkt worden, kan grote variaties vertonen. Hierdoor verschilt de bijhorende impact ook sterk afhankelijk van de situatie. De totale impact van A1-3 kan door een afstand van 10 km een daling van meer dan 50% vertonen. In tegenstelling kan bij een grotere transportafstand van 200 km de totale impact met wel 200% stijgen. Deze verschillen, te zien in figuur 83, zijn steeds meer uitgesproken bij zware stenen, waarbij een vrachtwagen een grotere massa moet transporteren met een groter brandstofgebruik tot gevolg.

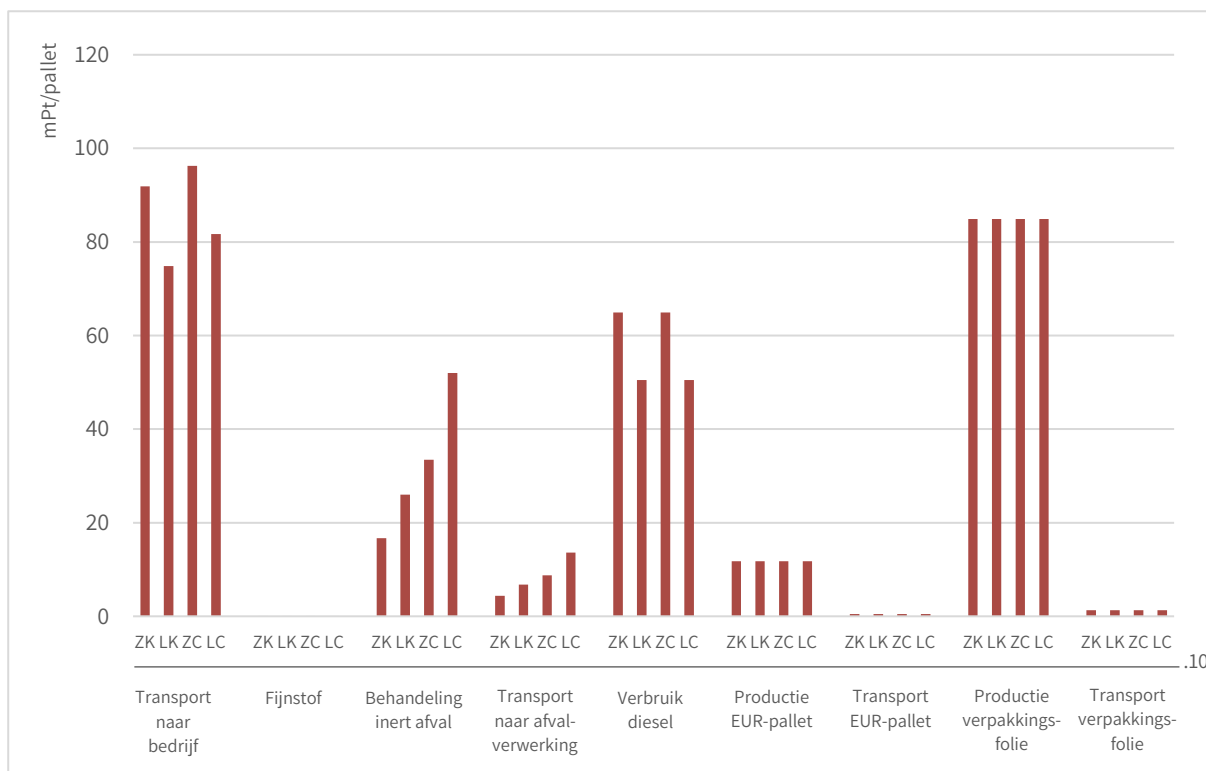


Figuur 83: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor beginscenario's (A1-3) en variaties transport. Transportprocessen zijn steeds aangeduid met een arcering

Tabel 8: Totaalscore voor beginscenario's en variaties transportafstand, transport naar bedrijf

		Scenario					
Transport naar bedrijf		ZK.10	ZK.50	ZK.200	LK.10	LK.50	LK.200
[mPt/pallet]		91,87	459,37	1837,47	74,86	374,30	1497,2
Transport naar bedrijf		ZC.10	ZC.50	ZC.200	LC.10	LC.50	LC.200
[mPt/pallet]		96,25	481,24	1924,97	81,67	408,33	1633,31

Indien we kijken naar de impact van de verschillende processen voor een situatie met kleinere transportafstand in figuur 84, zien we dat de algemene verdeling meer uniformiteit vertoont. Voornamelijk de productie voor plastic folie en het diesilverbruik spelen een steeds belangrijkere rol in de totale impact. Bij lichte stenen afkomstig uit metselwerk met cementmortel, waarbij er 20% verlies is bij het kuisen, maakt de behandeling van inert afval ook 17,55% uit van de totale milieuscore.

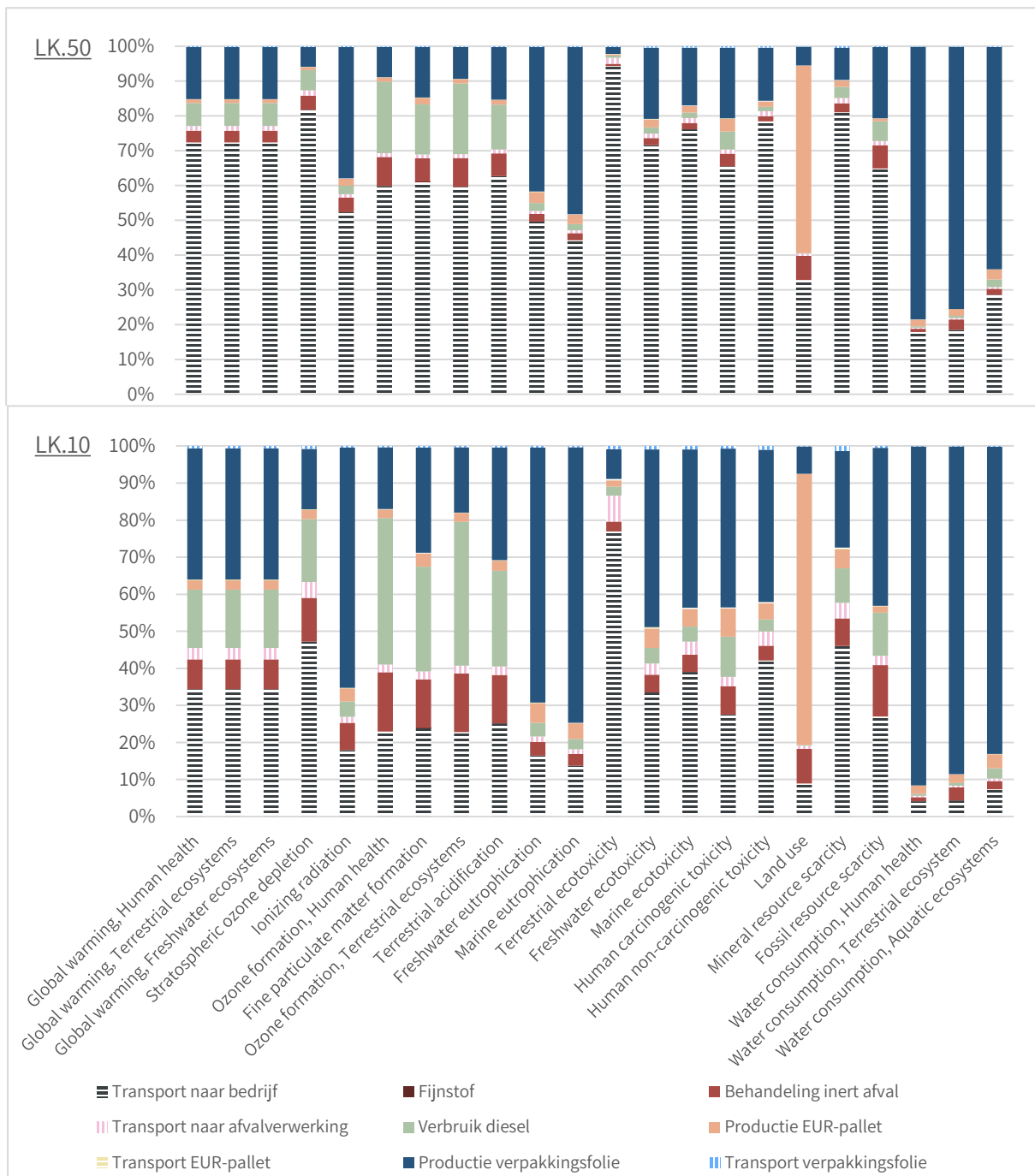


Figuur 84: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor variaties transport 10 km

Tabel 9: Totaalscore voor variatie transport 10 km, wijzigende processen

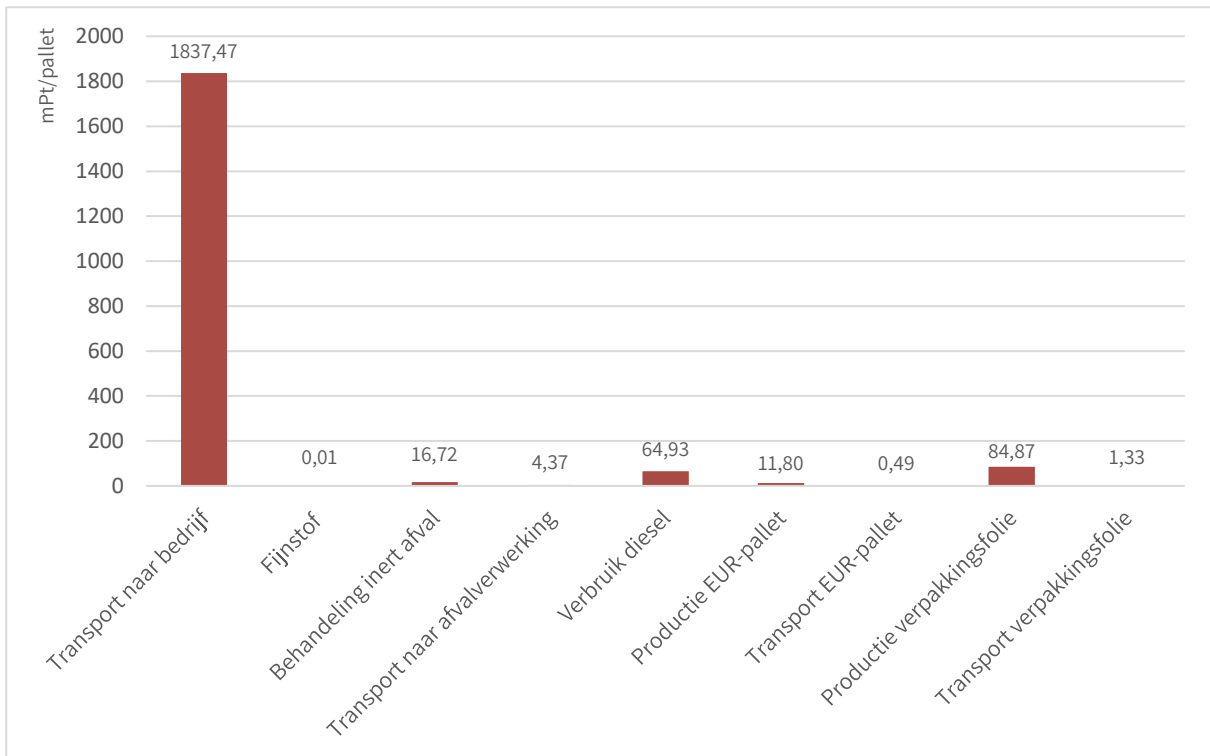
Scenario	Proces				
	Transport naar bedrijf [mPt/pallet]	Fijnstof [mPt/pallet]	Behandeling inert afval [mPt/pallet]	Transport naar afvalverwerking [mPt/pallet]	Verbruik diesel [mPt/pallet]
ZK.10	91,87	0,007	16,72	4,37	64,93
LK.10	74,86	0,011	26,01	6,81	50,50
ZC.10	96,25	0,015	33,44	8,75	64,93
LC.10	81,67	0,023	50,01	13,61	50,50

Hetzelfde kan worden waargenomen in de verhouding van de processen over de verschillende impactindicatoren in figuur 85. Processen die voordien slechts een beperkte bijdrage leverden, kunnen nu duidelijk worden waargenomen. Zo wordt vooral een stijging in aandeel waargenomen voor 'Productie verpakkingstofolie' in diverse indicatoren. De meest opmerkelijke hierbij zijn *Global warming*, *Ionizing radiation* en onderverdelingen van *Eutrophication* en *Ecotoxicity*. Ook 'Verbruik diesel' nodig voor de vorklift, zal een invloed hebben op *Ozone formation* en *Fine particulate matter formation*. De indicatoren waar transport in aandeel zal verlagen, worden voornamelijk overgenomen door de productie van de plastic folie en het gebruik van een vorklift aangezien ze ook op fossiele brandstoffen gebaseerd zijn.



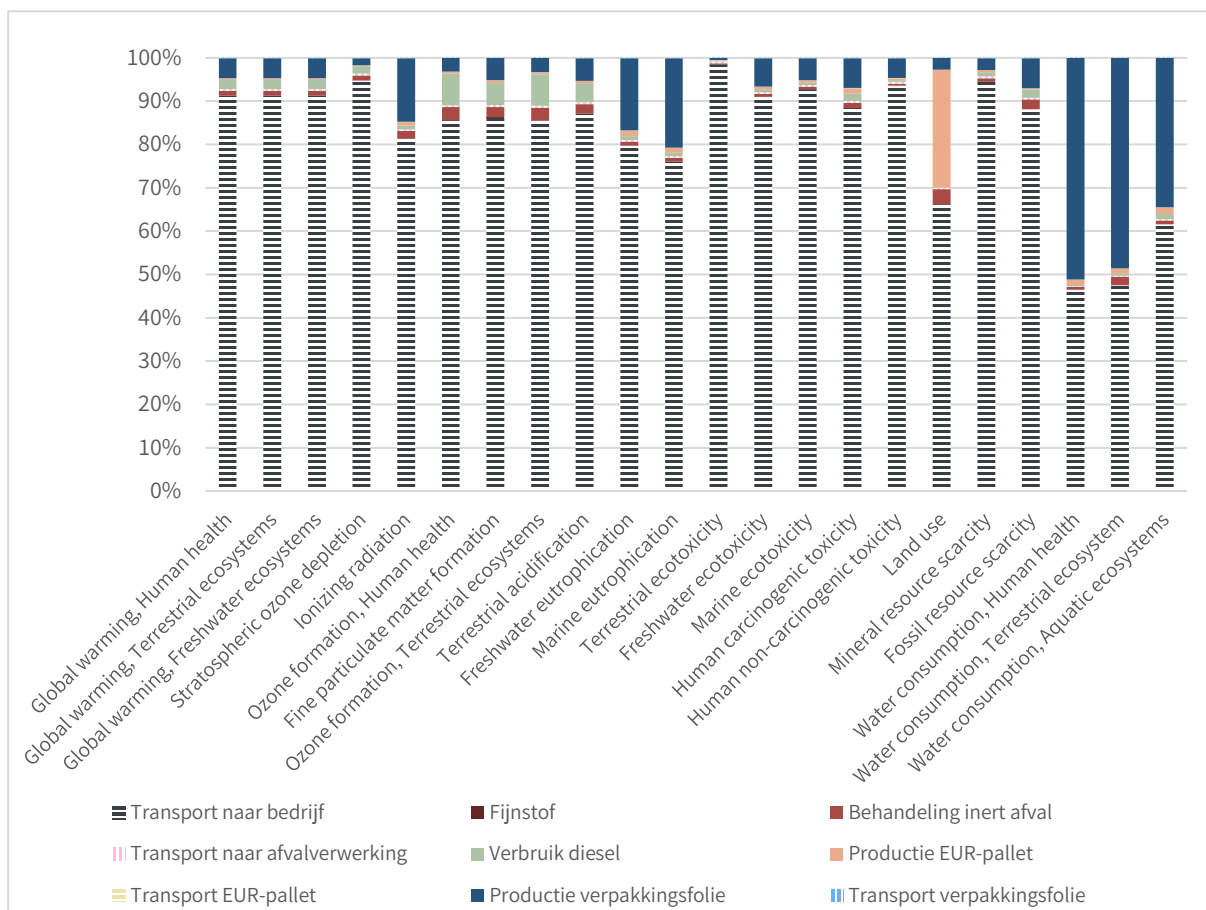
Figuur 85: ReCiPe, midpoint, verdeeld per aandeel voor LK.50 en LK.10. Transportprocessen zijn steeds aangeduid met een arcering

Het omgekeerde zal ook plaatsvinden wanneer een langere transportafstand wordt bekeken in figuur 86. Het aandeel 'Transport naar bedrijf' neemt het overgrote deel van de totale milieuscore in, met een gemiddelde van 90%.



Figuur 86: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor ZK.200

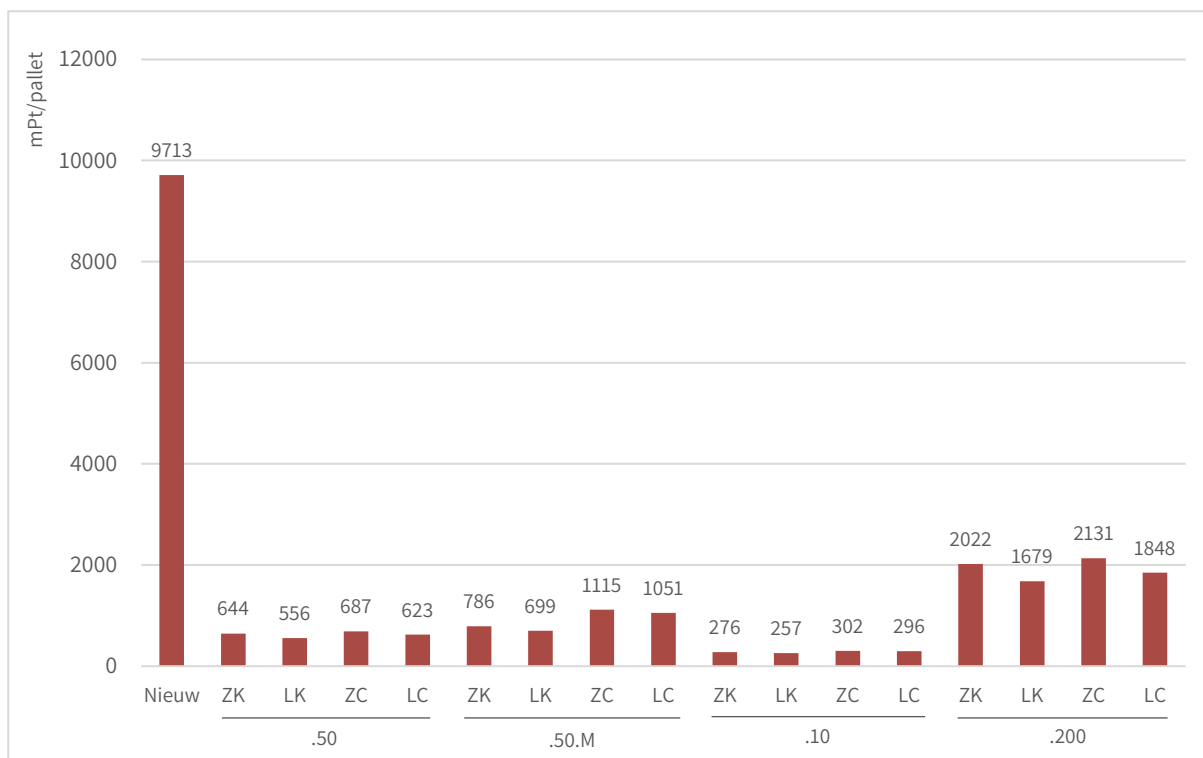
Ook bij de achttien *midpoint* indicatoren zal 'Transport naar bedrijf' nog sterker domineren. Toch kunnen enkele uitzonderingen worden waargenomen, bij *Land use* is de productie van de EUR-pallet nog steeds een belangrijke factor. Ook de productie van de plastic folie blijft voor bijna de helft verantwoordelijk in de indicatoren van *Water Consumption*.



Figuur 87: ReCiPe, midpoint, verdeeld per aandeel voor ZK.200. Transportprocessen zijn steeds aangeduid met een arcering

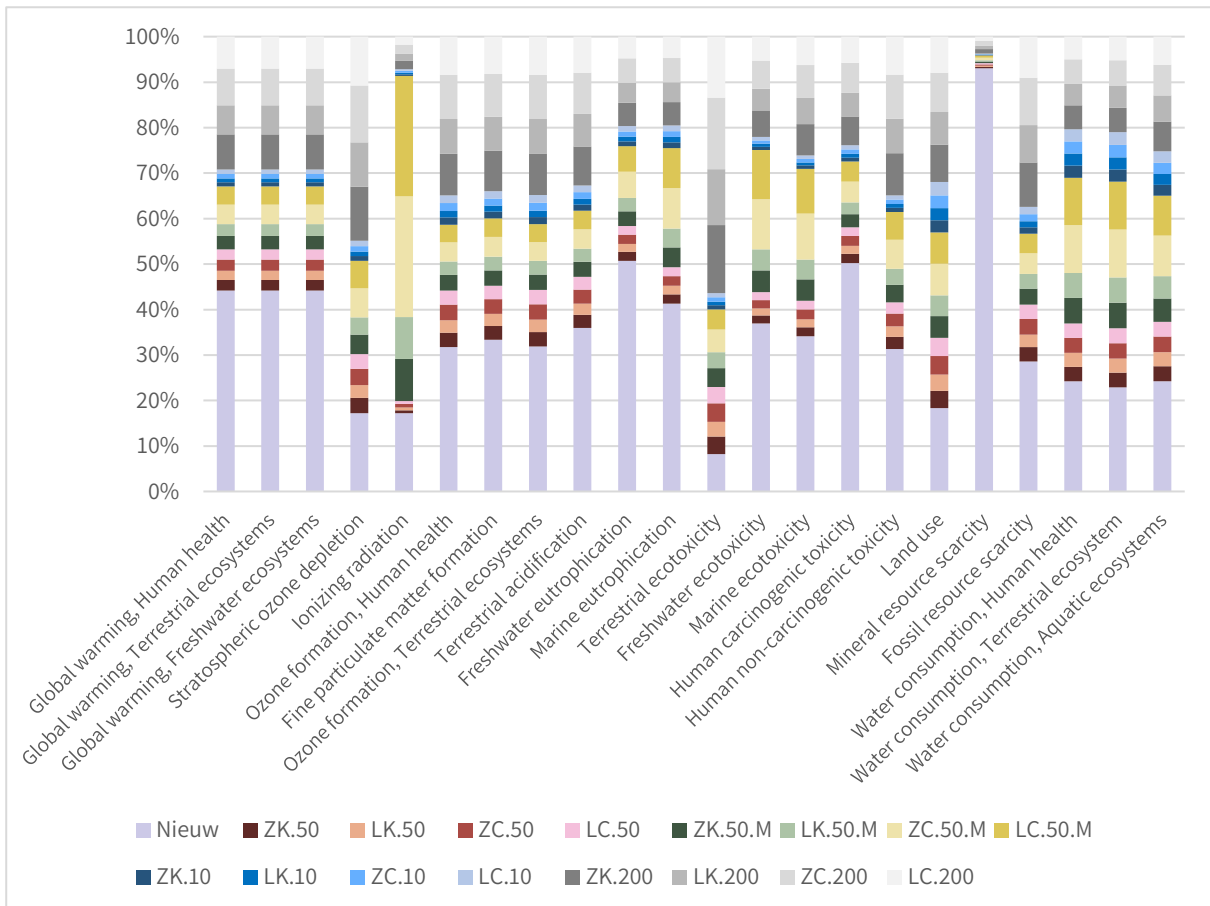
1.1.3. Nieuw geproduceerde stenen

Om een beter idee te krijgen van de milieu-impact verkregen door de terugwinning van gerecupereerde gevelstenen, wordt de vergelijking gemaakt met nieuw geproduceerde keramische stenen in figuur 88. Door de nood aan nieuwe grondstoffen en een hoog energieverbruik bij het bakken en drogen van de stenen, ligt deze milieu-impact van een pallet nieuw geproduceerde gevelstenen veel hoger. Afhankelijk van de transportafstand en de manier van kuisen, kan door het hergebruik van keramische gevelstenen een besparing van 97,36% tot 78,26% worden bereikt in deze studie.



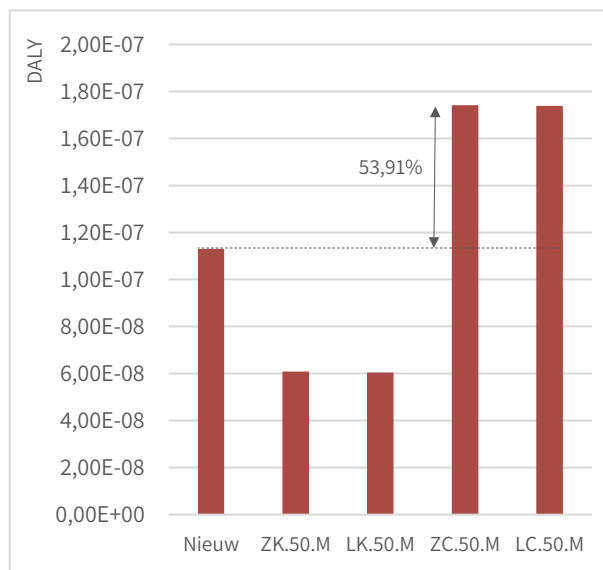
Figuur 88: ReCiPe, totaalscore, voor alle scenario's

Indien gekeken wordt naar de impact van de situaties op de achttien impactindicatoren in figuur 89, is voornamelijk een significante besparing te merken bij *Mineral resource scarcity*. Dit is te wijten aan het feit dat de noodzaak aan grondstoffen sterk wordt gereduceerd. Bij slechts twee indicatoren wordt geen verbetering waargenomen. Dit is enerzijds zo bij *Ionizing radiation*, waarbij het mechanisch kuisen, en meer specifiek bij stenen afkomstig van cementmetselwerk, zorgt voor een grotere impact. Anderzijds wordt bij *Terrestrial ecotoxicity* ook een verhoging van de impact bekomen indien een transportafstand van de sloop naar het bedrijf van 200 km wordt gehanteerd. Buiten deze indicatoren wordt over het algemeen een significante reductie waargenomen, met gemiddeld over alle situaties heen 83,41%.



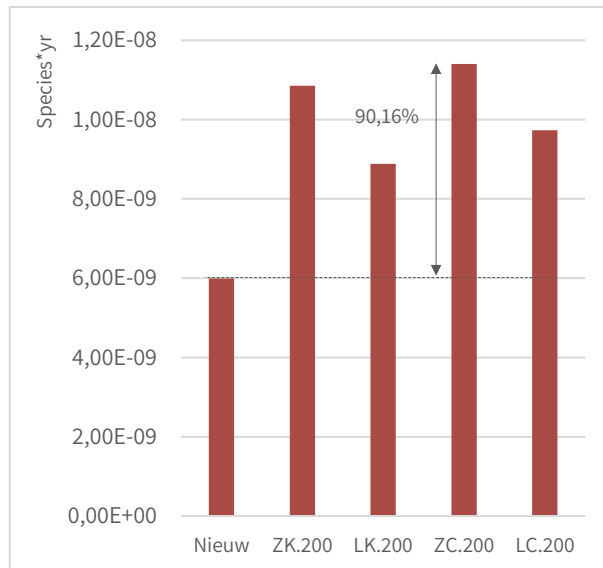
Figuur 89: ReCiPe, midpoint, verdeeld per aandeel voor alle scenario's

Op enkele *midpoint* indicatoren wordt nog dieper ingegaan. Dit doen we eerst bij *Ionizing radiation*, waarbij het mechanisch kuisen hoofdzakelijk bijdraagt aan deze impact. Indien stenen afkomstig uit een muur met cementmortel worden gekuisd, overstijgt de waarde voor deze indicator de waarde die nieuwe stenen toebehoort. De langere duur nodig voor het reinigen van de stenen zorgt voor een stijging van 53,91%, te zien in figuur 90.



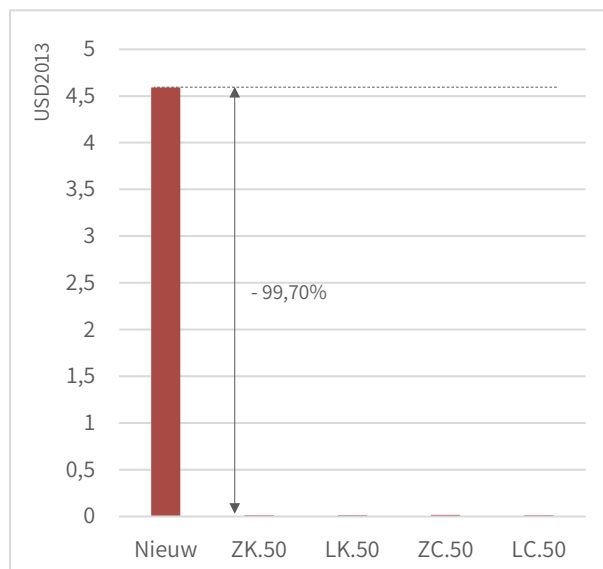
Figuur 90: ReCiPe, midpoint, Ionizing radiation voor nieuwe stenen en variaties mechanisch kuisen

Als er gekeken wordt naar welk proces de meeste invloed heeft op *Terrestrial ecotoxicity*, blijkt het 'Transport naar bedrijf' hier bijna uitsluitend verantwoordelijk voor te zijn. Dit verklaart waarom net bij de situaties met 200 km transportafstand, de waarde voor nieuw geproduceerde stenen overschreden wordt in figuur 91.



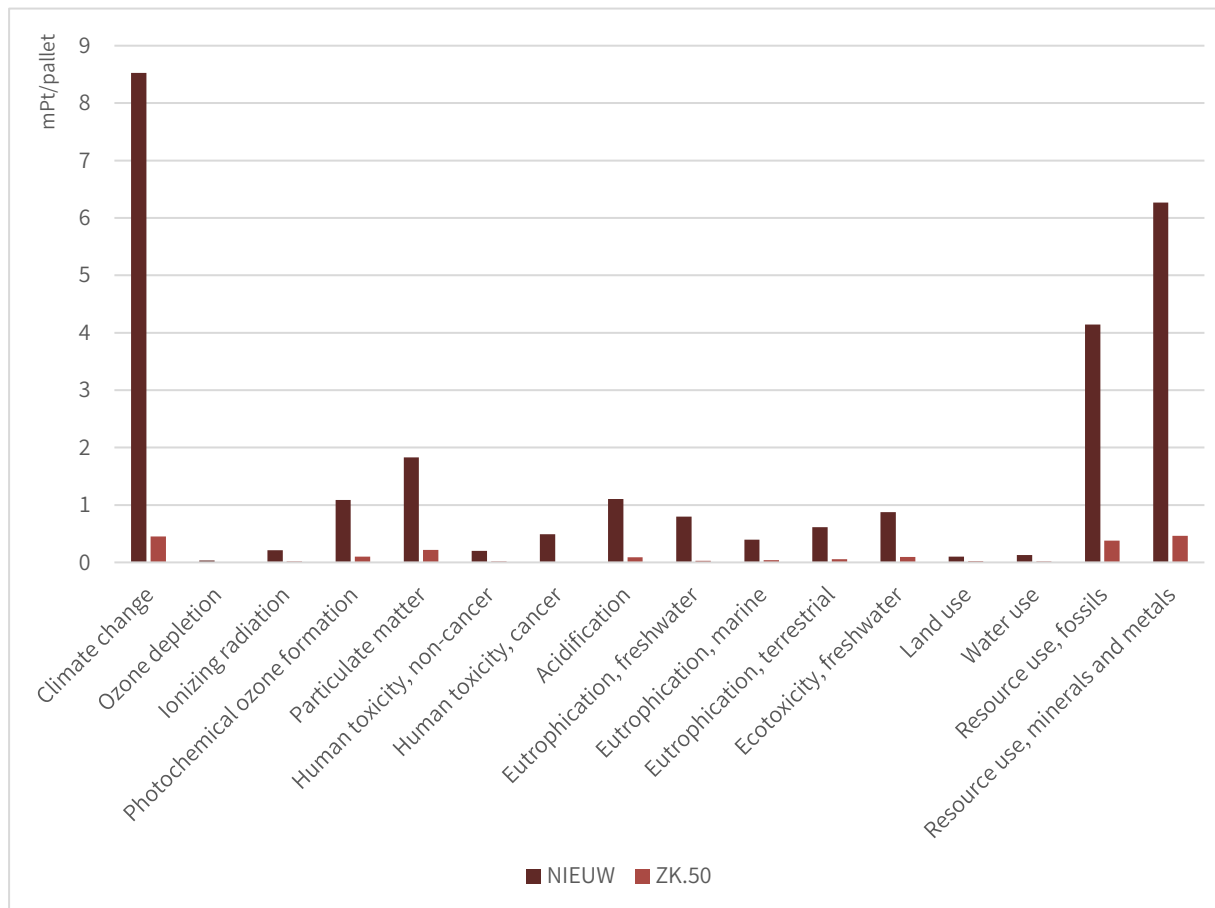
Figuur 91: ReCiPe, midpoint, *Terrestrial ecotoxicity* voor nieuwe stenen en variaties transport 200 km

Zoals gezegd kan de grootste besparing gevonden worden bij *Mineral resource scarcity*, met meer dan 99%, te zien in figuur 92.



Figuur 92: ReCiPe, midpoint, *Mineral resource scarcity* voor nieuwe stenen en beginscenario's

Ook nieuwe gevelstenen kunnen met de PEF-methode voorgesteld worden. De grootteorde van deze waarden ligt meteen een stuk hoger dan deze van hergebruikte bakstenen met een totaal van 26,28 mPt/palletten opzichte van 2,02 mPt/pallet bij ZK.50. Belastende productieprocessen en de bijhorende emissies dragen in grote mate bij tot *Climate change*. De noodzaak aan grondstoffen en brandstoffen om deze productie aan te sturen zijn niet aanwezig bij het terugwinnen van bakstenen, waardoor bij nieuwe stenen ook *Resource use* een grotere waarde zal aannemen. De andere indicatoren, ondanks dat ze een gelijkaardige verhouding onderling hebben, scoren tevens een tienvoud hoger, eveneens veroorzaakt door het productieproces voor nieuwe stenen.



Figuur 93: PEF, midpoint, verdeeld per indicator voor nieuwe stenen en ZK.50

CONCLUSIE

De milieu-impact, toegekend aan het terugwinnen van gevelstenen, wordt grotendeels toegeschreven aan het 'Transport naar bedrijf'. Deze fase heeft met 65,55–71,34% veruit de grootste contributie in de totale score en draagt sterk bij in de verschillende milieueffecten. Strategieën omtrent het verlagen van de milieu-impact van hergebruikstenen zullen bijgevolg ook best aangrijpen in de transportfase. Het veranderen van de transportafstanden zal deze bevinding nog meer benadrukken. Het verkleinen van de afstand van 50 km naar 10 km zal de totale impact met minstens de helft doen dalen, waardoor er een meer evenwichtige verdeling is tussen alle processen. Transport zal niet meer in dezelfde mate verantwoordelijk zijn voor effecten op het milieu. Wanneer de afstand vergroot, heeft dit het tegenovergestelde effect en zullen de overige processen slechts een minimale impact hebben. Deze dalingen en toenames in milieu-impact zijn niet recht evenredig met de aanpassingen in transportafstand, doordat de overige processen vervat zijn in de totale score. Het aanpakken van deze fase in de levenscyclus, zal de milieu-impact derhalve sterk doen dalen.

Het verbruik van brandstoffen bij het transport, maar ook bij de verplaatsingen op de werf zelf, zal de impact beïnvloeden. Dit zal afhankelijk zijn van de transportafstanden, maar ook de keuze van de soort steen zal hier een rol in spelen. Een grotere massa resulteert in een groter verbruik en zal ook de bijhorende emissies verhogen. Het type steen zal echter niet alleen op het transport een invloed hebben. Het gebruik van kalk- of cementmortel en lichte of zware stenen zal belangrijk blijken voor afval gerelateerde processen. Naarmate het afvalpercentage stijgt, zal logischerwijs de impact van deze processen ook stijgen. Deze hoeveelheden verlies zullen zodoende zo klein mogelijk gehouden moeten worden. Ondanks de impact die stijgt bij het fijnstof, afkomstig van het kuisen, zal deze verwonderlijk steeds een verwaarloosbare invloed hebben. Echter door andere processen gerelateerd aan transport, zal de impactindicator *Particulate matter* toch een aanzienlijk deel van de totale score uitmaken.

Het geheel van nevenproducten, namelijk het transport en de productie van de verpakkingsfolie en de EUR-pallet, hebben samen naast 'Transport naar bedrijf' de hoogste invloed met 14,34–17,71%. Deze som zal echter gelijk blijven en is onafhankelijk van de situaties. Meer duurzame verpakkingsmethodes kunnen worden ingezet om een afname teweeg te brengen in deze onderdelen.

Bij een verandering naar mechanisch kuisen wordt een extra milieu-impact ingerekend, te wijten aan het elektriciteitsverbruik. De hoeveelheid hiervan zal afhankelijk zijn van de duur van het kuisproces, waar de soort mortel een grote invloed op heeft. Cementmortel is een stuk harder dan de kalkmortel, waardoor de terugwinning langer zal duren en er bijgevolg meer elektriciteit verbruikt wordt. Bijgevolg zal het elektriciteitsverbruik 18,12–40,71% van de totale score omvatten. De impact die met het elektriciteitsverbruik gepaard gaat, zal ook een enorm gevolg hebben voor de milieu-impactindicatoren. Voornamelijk *Ionizing radiation* kent procentueel de grootste stijging. Overstappen naar meer duurzame energiebronnen zou hier een oplossing kunnen bieden.

Tussen de productie van nieuwe gevelstenen en de terugwinning van te hergebruiken stenen zit een enorm groot verschil. Deze discrepanties in de milieuscore ontstaan vooral door de ontginning van minerale grondstoffen en effecten die hiermee gepaard gaan. Ook de productieprocessen worden vervangen door de terugwinningsprocessen die aanzienlijk minder belastend zijn.

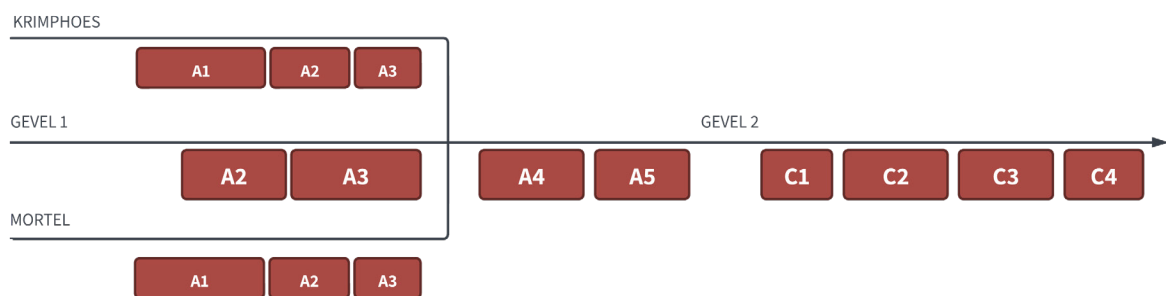
Louter het bekijken van module A1-3 zal uitwijzen dat het overwegen van hergebruik zeker de moeite loont. Op vlak van milieu-impact kunnen er sterke reducties gemaakt worden zowel algemeen als op de verschillende indicatoren. Ook de PEF-methode zal uitwijzen op welke aspecten de productie van nieuwe stenen en de terugwinning ervan enige invloed heeft op het milieu. Door deze twee te vergelijken kunnen de grootste besparingen worden terug gevonden. Keuzes in de terugwinning zullen aanzienlijke verschillen teweeg brengen bij de uiteindelijke milieuscore. Hierdoor moet er op een aandachtige manier omgegaan worden met hergebruik.

1.2. Deel A-C

Na de winning van grondstoffen, het transport en de productie van de stenen bekeken te hebben in module A1-3, komen modules A4-5 en C1-4 er bij. Het gaat niet alleen meer over de terugwinning, ook het hergebruiken van gevelstenen in nieuwe constructies wordt bij de volgende resultaten in rekening gebracht. Ook hier kunnen vervolgens enkele onderzoeksvragen vooropgesteld worden.

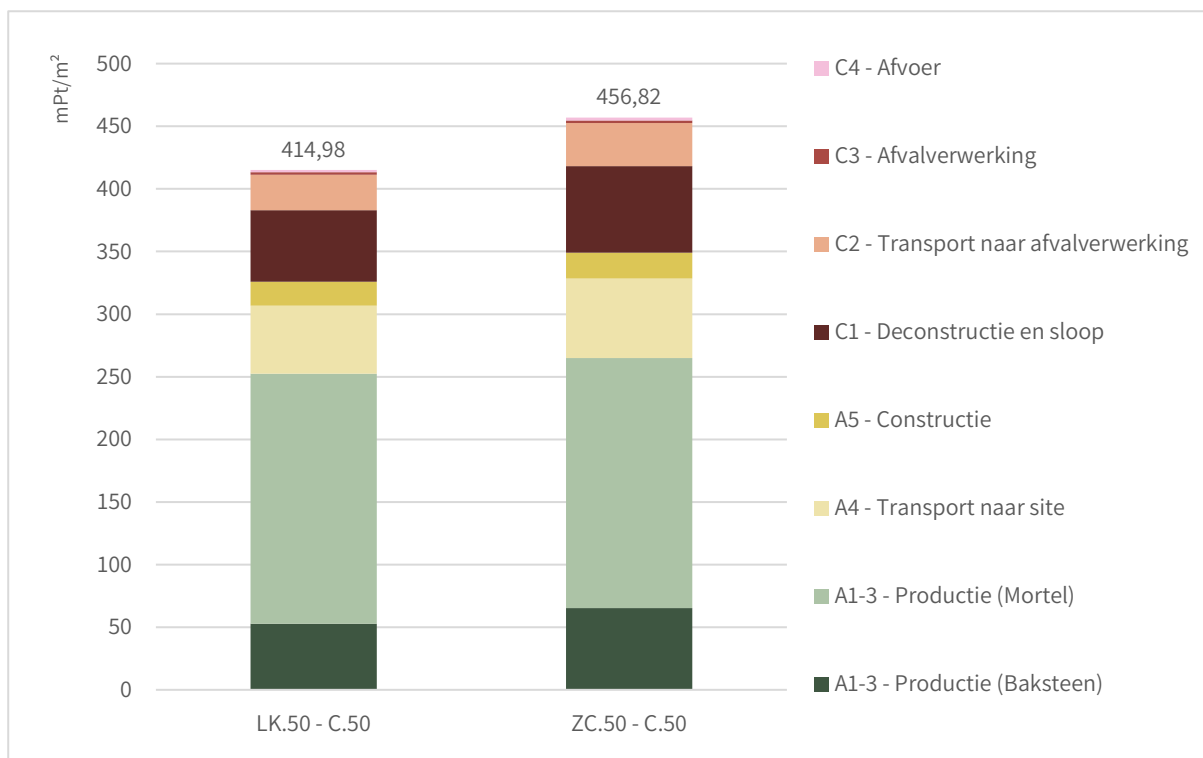
Welke module zal de grootste impact leveren binnen de levenscyclus en bijgevolg het belangrijkst zijn? Is de keuze in steen belangrijk voor de impact op de gehele levenscyclus?

Welke invloed heeft de transportafstand naar de nieuwe werf? Heeft de keuze in mortel en bijgevolg de productie ervan een belangrijke invloed op de milieu-impact en bijhorende milieueffecten? Speelt de hoeveelheid mortel waarmee de stenen bevestigd worden enige rol in deze berekening? Is er voor de gehele cyclus een verschil met de constructie van een muur met nieuwe stenen?



Figuur 94: Vereenvoudigd overzicht modules meegenomen in het tweede deel (A-C)

Opnieuw worden de beginscenario's voor dit onderdeel als basis genomen, eerst besproken en weergegeven. Daarna worden alteraties op deze types ook gesimuleerd, waarna ze eveneens besproken worden.

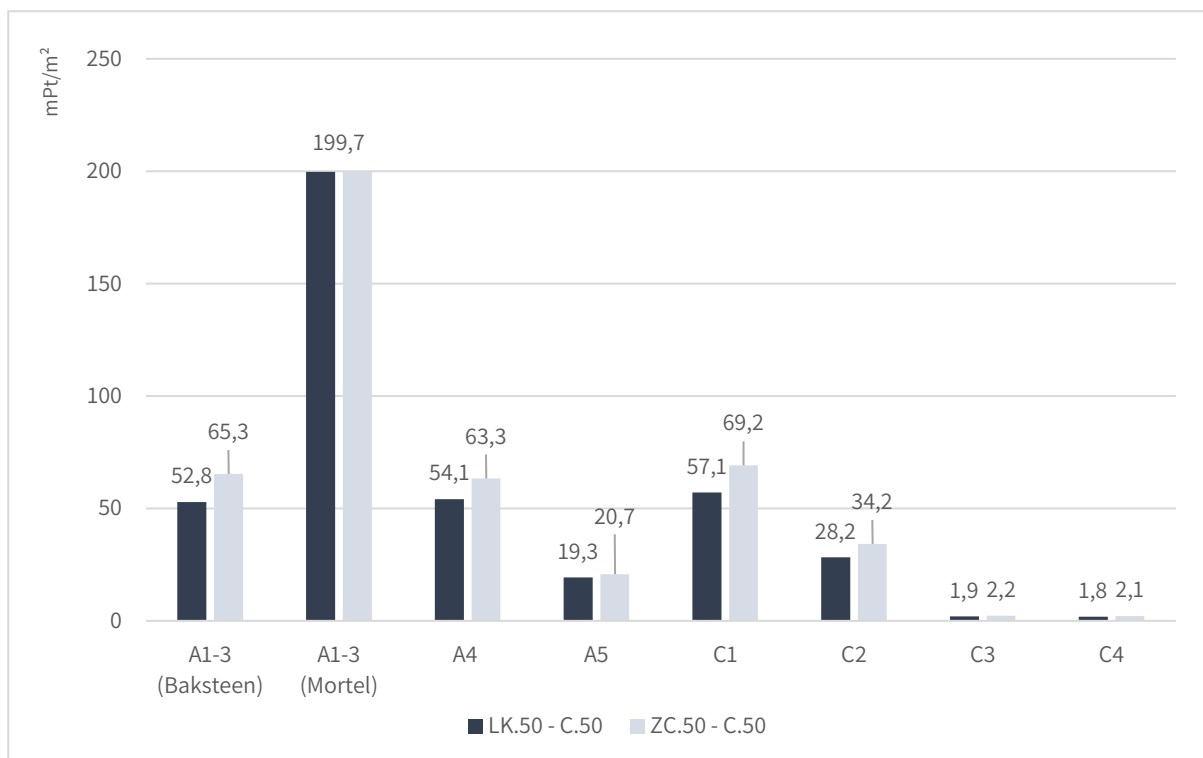


Figuur 95: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per module voor beginscenario's (A-C)

Teruggewonnen lichte en zware stenen worden hergebruikt in een nieuwe constructie met cementmortel. In de simulatie wordt een milieuscore van respectievelijk 414,98 mPt/m² voor de lichte stenen en 456,82 mPt/m² voor de zware stenen berekend. In eerste instantie kan opgemerkt worden dat de terugwinning van de stenen (A1-3), de berekening uit het vorig deel, slechts een klein aandeel zal hebben in de volledige cyclus. Deze bijdrage is respectievelijk 12,73% en 14,28% voor LK.50 en ZC.50. Toch begrenst de complete module A een groot segment zoals in figuur 95 te zien is. In beide gevallen draagt de module bij benadering 80% bij aan de totale milieuscore. De meest duidelijke oorzaak is de bijdrage die de productie van mortel levert.

Een meer gedetailleerd overzicht wordt in onderstaande figuur 96 gegeven, waarbij de individuele modules vergeleken worden. Ook hier is duidelijk te bemerken dat de productie van cementmortel de grootste impact zal hebben uit alle fasen met 199,7 mPt/m². Module A4 heeft, naast de eerder berekende module A1-3, ook enige impact. Deze fase, die betrekking heeft op het transport naar de nieuwe site, zal afhankelijk zijn van de soort steen die getransporteerd wordt, aangezien zwaardere stenen de impact op een negatieve manier beïnvloeden. A5 heeft vervolgens een lagere impact, aangezien deze het materiaalverlies uit alle fasen inrekenet.

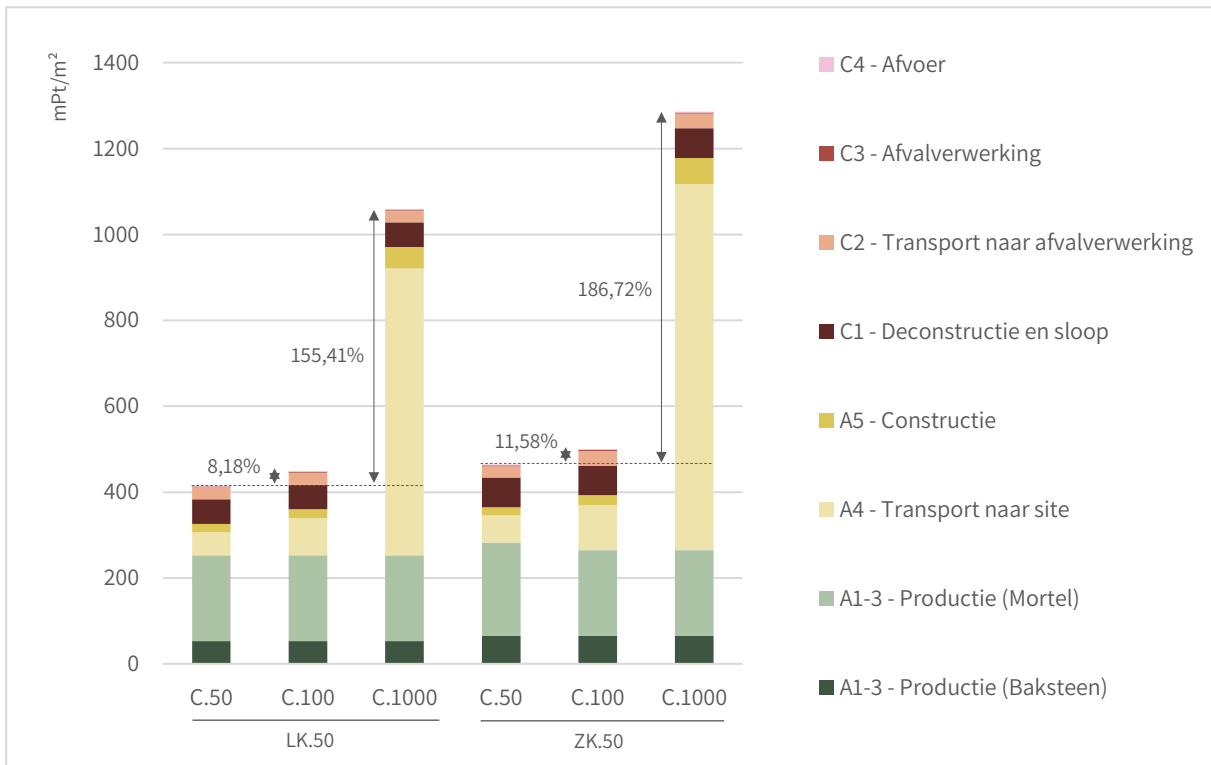
C1 heeft de grootste impact voor module C in zijn geheel. Hierbinnen wordt niet alleen het verbruik van brandstof voor afbraakmachines ingerekend, maar ook het fijnstof dat tijdens deze fase vrijkomt. Daardoor zal deze een dubbele impact kennen tegenover C2, waarbij alleen transport van afval naar verwerking wordt ingerekend. C3 en C4, die te maken hebben met de afvalverwerking zelf, zullen een minieme impact hebben tegenover de rest. Het grootste deel wordt namelijk gerecycleerd en slechts een zeer klein aandeel gestort.



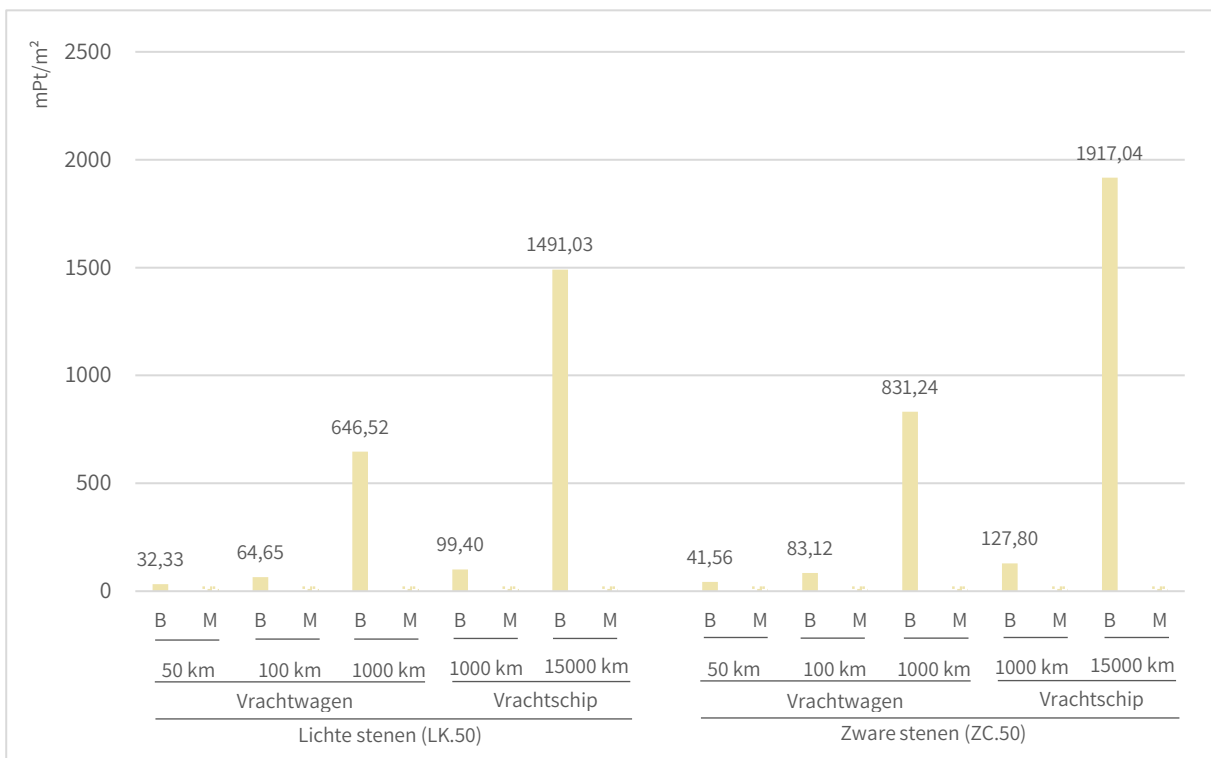
Figuur 96: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per module voor LK.50 – C.50 en ZC.50 – C.50

1.2.1. Transportafstand bedrijf naar nieuwe werf

Variaties in transportafstanden, gerelateerd aan module A4, zullen zeker effect hebben op de totale milieuscore. Gelijkaardig aan variaties in transportafstand voor module A1-3, zal het vergroten van de afstanden leiden tot een stijging in de milieuscore. Deze is voornamelijk te vinden bij A4 zelf, maar ook in sub-module A5 die hiermee in verband staat. Aangezien voor onderstaande situaties alleen de afstand zal stijgen onafhankelijk van module C, zal module A nog steeds het grootste aandeel van de score vertegenwoordigen.



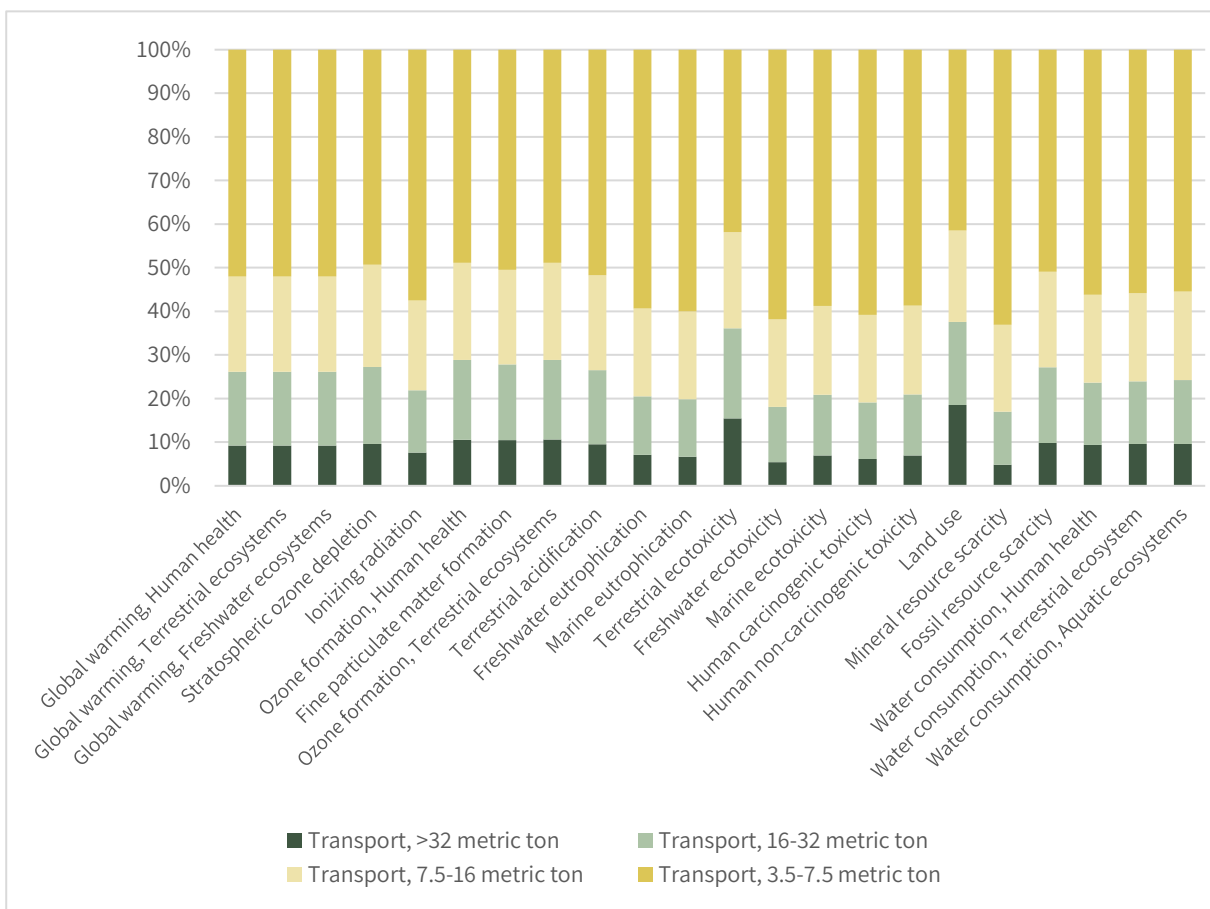
Figuur 97: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per module voor beginscenario's (A-C) en variaties transport



Figuur 98: ReCiPe, totaalscore, voor beginscenario's en variaties transport

In bovenstaande figuur 98 wordt een diepere vergelijking van de transportafstanden voorgesteld. Hierbij wordt eveneens een opdeling gemaakt tussen het transport van de stenen en het transport van de mortel. De mortel, nodig voor de constructie, wordt steeds lokaal aangevoerd, waardoor deze afstanden voor de verschillende situaties gelijk blijven. De transportafstand voor de gevelstenen varieert echter wel. We bekijken transport door middel van een vrachtwagen en vrachtschip. De stijging van de afstand staat in lineair verband met de stijging van de milieuscore. Het verdubbelen van de transportafstand zal bijgevolg een verdubbeling in impact veroorzaken. Bij de vergelijking van transport door middel van een alternatief vervoersmiddel, namelijk een vrachtschip, gaat dit meteen over grotere afstanden. Er valt meteen op dat het transport via vrachtschip wel 84,63% lager ligt dan deze met een vrachtwagen voor eenzelfde afstand. Dit is voornamelijk te wijten aan het marine transport dat veel efficiënter geregeld is dan transport over land. Vrachtschepen kunnen ook een enorme hoeveelheid producten tegelijk vervoeren, terwijl dit over land niet het geval is. Ook in deze figuur kan een opdeling gemaakt worden tussen lichte en zware stenen.

Hoewel er bij het transport van de stenen telkens maar één soort vervoersmiddel ingerekend wordt, is dit bij mortel niet het geval. Hierbij wordt een verdeling gebruikt die vier soorten vrachtwagens bekijkt. De keuze van dit soort transport zal echter ook een belangrijke invloed hebben op de milieu-impact, aangekaart in onderstaande figuur 99 met bijhorende milieu-indicatoren.

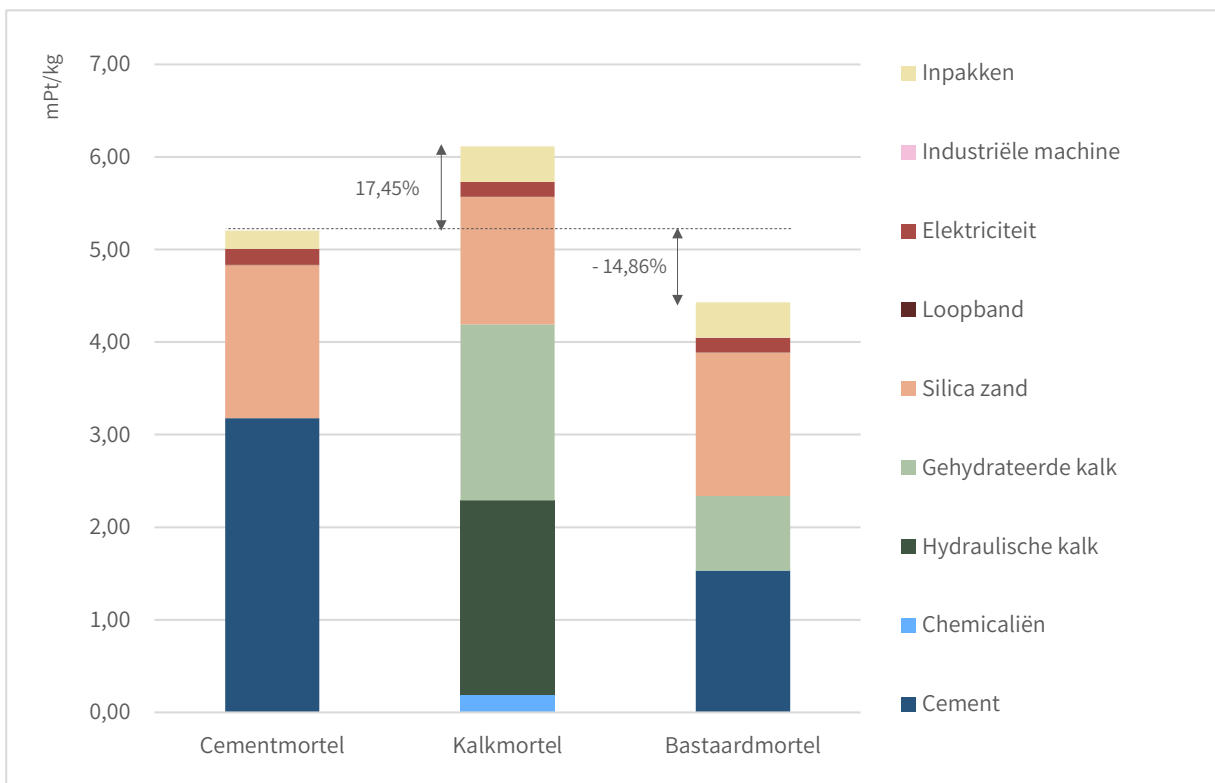


Figuur 99: ReCiPe, midpoint, verdeeld per aandeel voor types transport

Het transport met de lichtst beladen vrachtwagen zal de grootste impact hebben over alle milieu-impactindicatoren. Voor eenzelfde hoeveelheid producten zal deze vrachtwagen meerdere keren over hetzelfde traject moeten rijden of worden meerdere voertuigen ingezet. Naarmate het laadvermogen stijgt, zal deze impact dalen tot het hoogste laadvermogen die bijgevolg ook de laagste impact heeft.

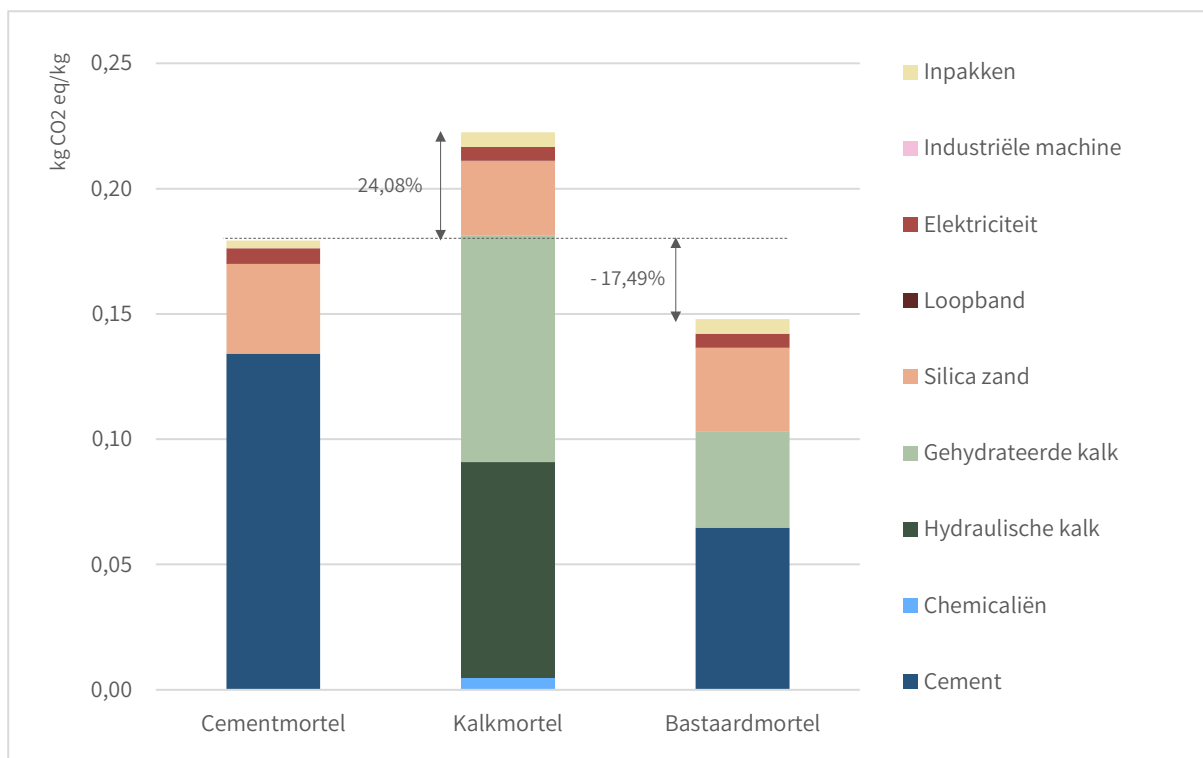
1.2.2. Soort mortel gebruikt in nieuw project

Zoals eerder vermeld zijn er grote verschillen op te merken tussen de mortels beschikbaar in de ecoinvent database. Om deze reden werden reeds zelf drie processen gemaakt voor de cement-, kalk- en bastaardmortel gebruikt in de studie, waarvan de impact van de verschillende onderdelen in onderstaande figuur 100 voorgesteld wordt. Er valt onmiddellijk te zien dat de bastaardmortel per kg de laagste impact heeft. Dit mengsel bevat meer zand dan de kalkmortel en heeft met 130,26 gram per kg natte mortel het laagste aandeel kalk en cement. Hierdoor zal ook de milieu-impact het laagst zijn. Cement- en kalkmortel hebben een stuk hogere impact. De hoeveelheid cement en kalk, respectievelijk 18,40% en 20,56% van de massa, zal hier deze bijdrage leveren in de score. Ook chemicaliën, toegevoegd aan de kalkmortel, leveren een zekere bijdrage.



Figuur 100: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor mortelsoorten

De waarden voor deze mortels werden ook berekend aan de hand van de IPCC 2013 GWP 100a V1.03 methode, waarbij het aardopwarmingsvermogen wordt uitgedrukt in kg CO₂ equivalent. Hierbij zijn de verhoudingen van de verschillende processen licht anders, te zien in figuur 101. De impact gerelateerd aan het zand en inpakken van de droge mortel kennen een aanzienlijke daling, terwijl deze gerelateerd aan cement en de kalksoorten stijgen. Ook de totale waarden van de mortels ten opzichte van elkaar zijn anders. Kalkmortel kende volgens de ReCiPe methode een stijging van 17,45% ten aanzien van cementmortel, terwijl deze bij IPCC 2013 GWP 100a 24,08% is. Dit ligt aan het feit dat de hydraulische en gehydrateerde kalk een zwaardere impact toegewezen krijgen.



Figuur 101: IPCC 2013 GWP 100a, CO₂ equivalent, verdeeld per proces voor mortelsoorten

Deze impact gerelateerd aan hydraulische en gehydrateerde kalk is voornamelijk te wijten aan decarbonatatie, waarbij CaCO_3 wordt omgezet in CaO en CO_2 . 60% van de totale CO_2 uitstoot tijdens productie is hieraan te danken, de overige 40% is afkomstig van het gebruik van brandstoffen (Laveglia, 2023). Er moet echter wel opgemerkt worden dat tijdens de levensduur van kalk deze CO_2 opnieuw wordt opgenomen bij de carbonatatie. Deze opname wordt in de simulaties niet ingerekend en kan significante reducties teweegbrengen in de totale milieu-impact. Bij een kalkplaster kan het aardopwarmingsvermogen in kg CO_2 equivalenten van de totale productie gereduceerd worden tot de helft door het inrekenen van de CO_2 -heropname (Laveglia, 2023).

Deze mortels worden verder vergeleken met enerzijds zelfgemaakte processen van cement- en kalkmortel met betrekking op wereldwijde data en anderzijds processen beschikbaar in de ecoinvent database.

Een eerste vergelijking komt tot stand door Europese of lokale processen in de zelfgemaakte cement- en kalkmortel te vervangen door wereldwijde varianten. Hierdoor worden respectievelijk Cementmortel {RoW} en Kalkmortel {RoW} gecreëerd. De exacte samenstelling van deze mortels en gebruikte onderdelen voor de simulatie zijn te vinden in bijlage 4. Hiermee gaat een stijging van de milieuscore gepaard, die vermoedelijk te maken heeft met grotere transportafstanden. Dit toont aan dat indien voor elk proces in de zelfgemaakte lokale varianten een Europees proces voor handen was, de totale milieu-impact lager zou zijn.

Een tweede vergelijking gebeurt aan de hand van de processen beschikbaar in de ecoinvent database. De exacte benamingen van deze processen worden hieronder opgelijst.

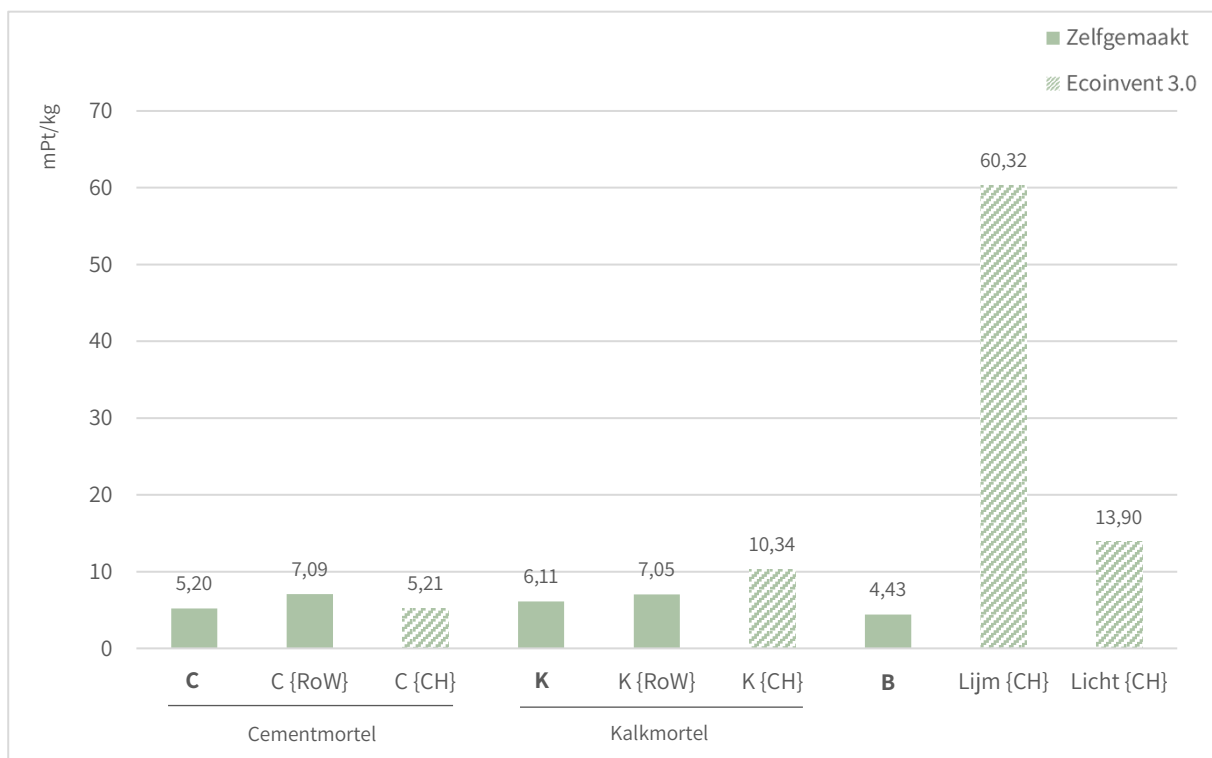
Cement mortar {CH}| production | Cut-off, S

Lime mortar {CH}| production | Cut-off, S

Light mortar {CH}| production | Cut-off, S

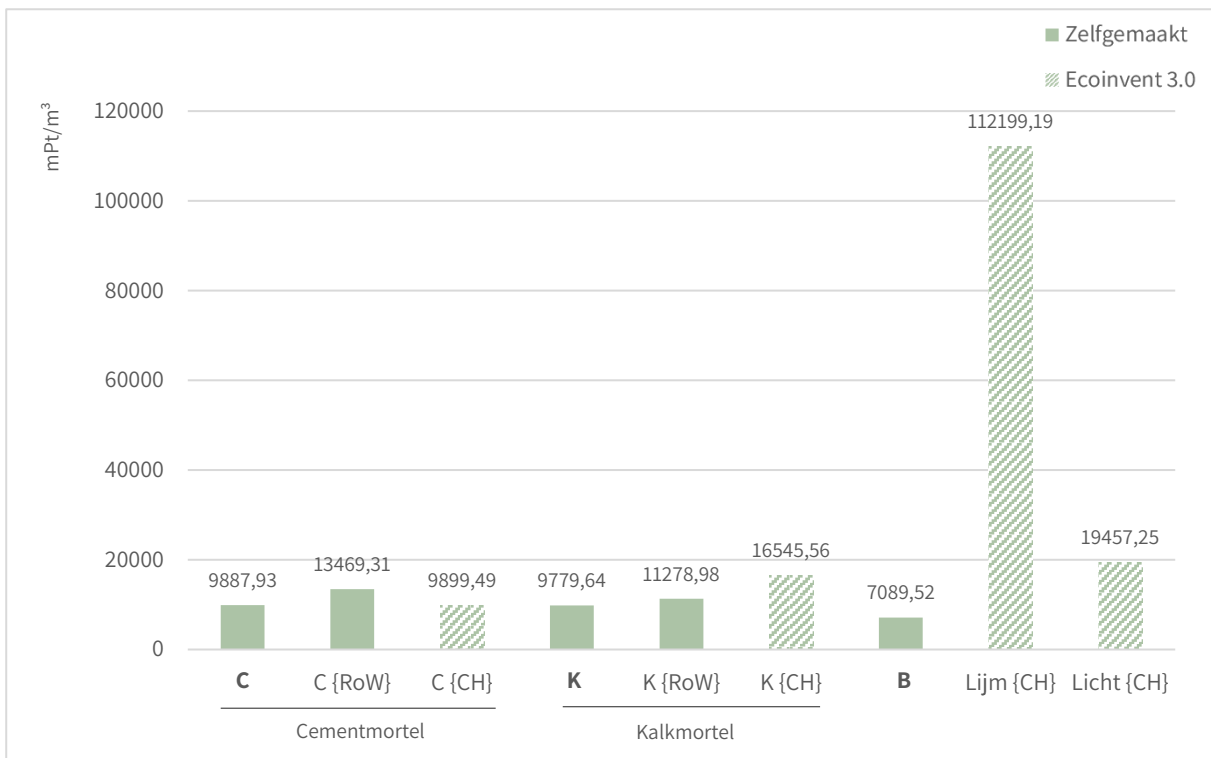
Adhesive mortar {CH}| production | Cut-off, S

Zoals reeds aangehaald in de methodologie bevat het proces *Lime mortar* meer cement dan de effectieve *Cement mortar*, met een kleiner aandeel zand tot gevolg. Hierdoor zal in figuur 102 ook de totale milieuscore bij het proces voor kalkmortel in de database een grotere waarde vertegenwoordigen, namelijk 10,34 mPt/kg ten opzichte van 5,21 mPt/kg bij de cementmortel uit de database. Daarnaast is ook een lijm mortel en lichte mortel te vinden in ecoinvent 3.0, waarbij deze laatste gebruikt wordt om een betere isolatiewaarde te verkrijgen bij de buitenmuur. Voornamelijk de lijm mortel kent een significante impact van 60,32 mPt/kg, maar ook de lichte mortel heeft een hogere score dan de twee andere processen voor cement- en kalkmortel beschikbaar in de database.

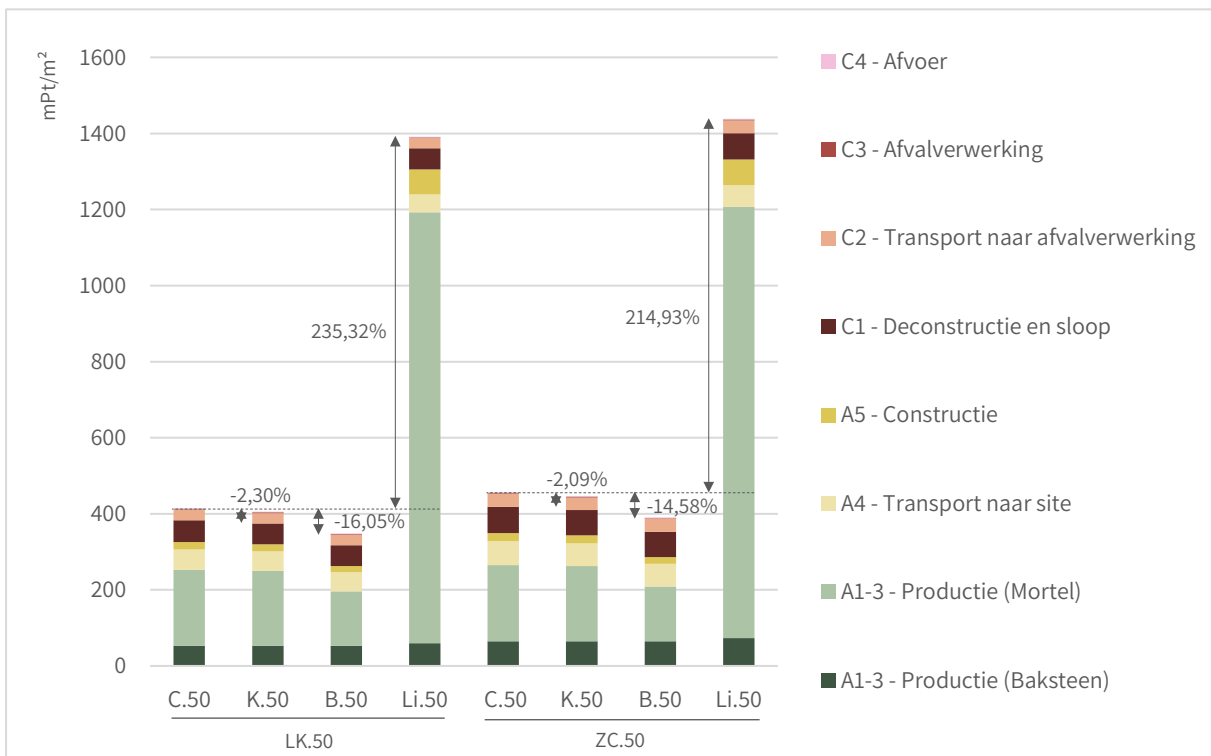


Figuur 102: ReCiPe, totaalscore, voor mortelsoorten. Zelfgemaakte processen zijn steeds aangeduid met een volle kleur en processen uit ecoinvent met een arcering

Aangezien er ook tussen de densiteiten van de mortels verschillen op te merken zijn, wordt ook de impact per m³ bekeken in figuur 103. Waarbij voordien de impact van de zelfgemaakte kalkmortel K en K {RoW} nog hoger was dan de zelfgemaakte cementmortel C en C {RoW}, is nu het omgekeerde het geval. Door het lagere soortelijk gewicht van kalkmortel is er meer uniformiteit te zien bij de waarden.



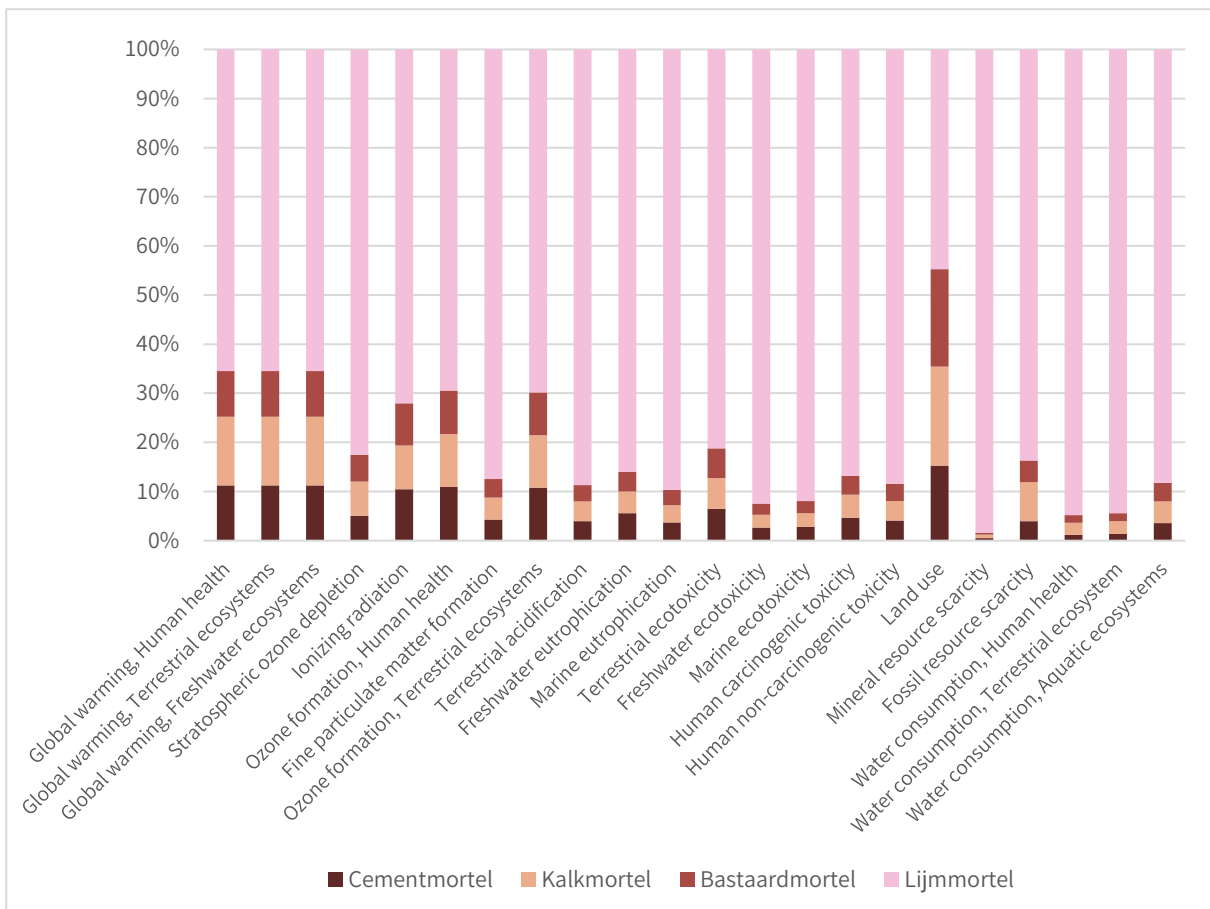
Figuur 103: ReCiPe, totaalscore, voor mortelsoorten. Zelfgemaakte processen zijn steeds aangeduid met een volle kleur en processen uit ecoinvent met een arcering



Figuur 104: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per module voor beginscenario's (A-C) en variaties mortelsoort

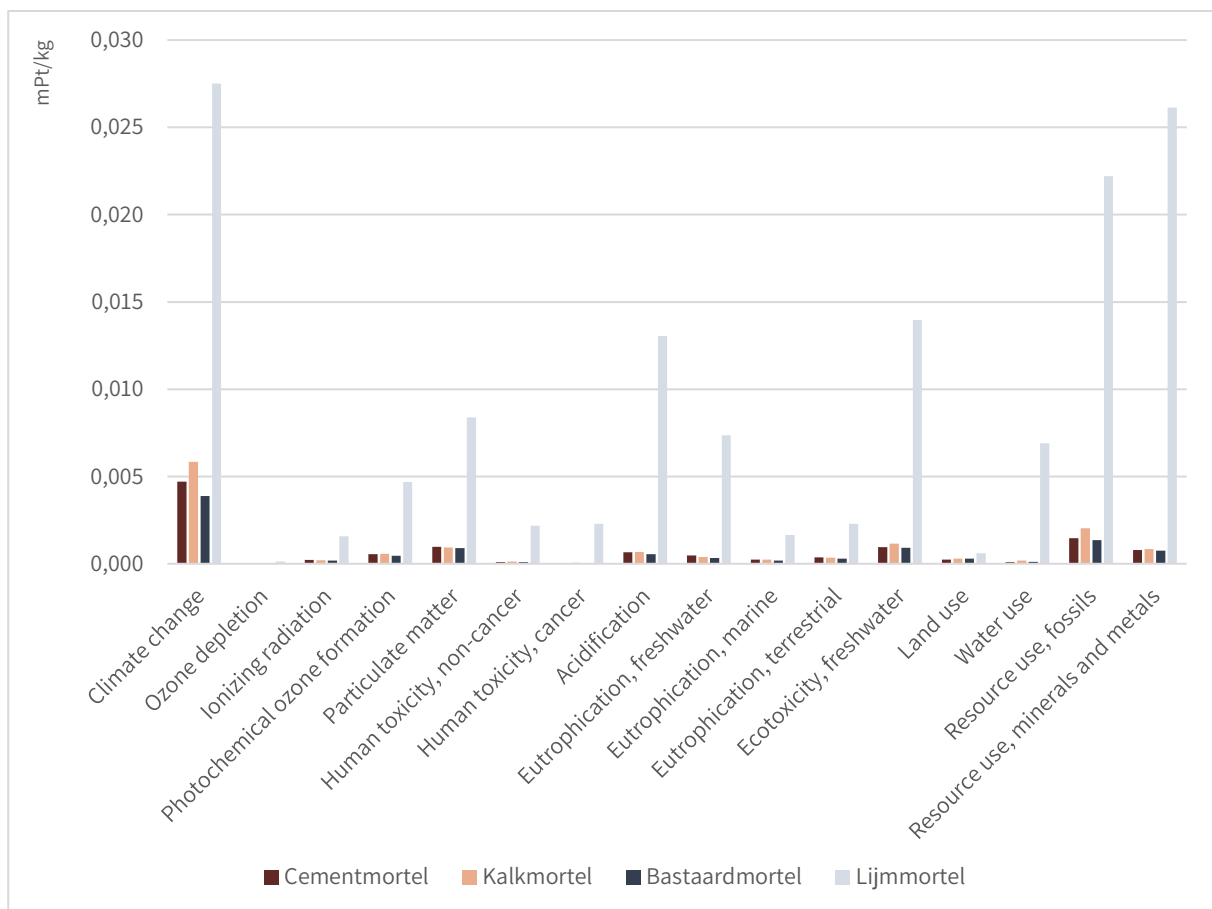
De impact van mortel wordt ook bekeken over een hele levenscyclus van een m² muur, weergegeven in figuur 104. Dit doen we voor de zelfgemaakte cement-, kalk- en bastaardmortel en de lijm mortel uit de ecoinvent database. Zoals eerder berekend zal de productie van mortel een grote impact hebben. Niet alleen binnen module A zal dit aandeel het grootste zijn, maar ook over de gehele levenscyclus neemt deze het grootste aandeel in. Afhankelijk van de soort mortel zal hier echter ook een verschil in zitten. De samenstelling van cementmortel en kalkmortel heeft een vergelijkbare impact met respectievelijk 199,74 mPt/m² en 197,55 mPt/m² voor de productie. De toepassing van bastaardmortel resulteert opnieuw in de laagste impact, respectievelijk 16,34% minder voor lichte stenen en 14,86% minder voor zware stenen ten opzichte van cementmortel. Daarnaast zorgt het gebruik van lijm mortel, ondanks de kleinere fractie en dunnere voegen, voor een flinke stijging in de totale milieu-impact, goed voor 220% tot 240%. Ook processen gerelateerd aan de mortel, zoals het transport ervan (A4) en constructie (A5), zullen stijgen naarmate de impact van productie (A1-3) stijgt.

Ook de milieu-impactindicatoren kunnen voor deze vier mortelsoorten bekeken worden in figuur 105. Zoals de lijm mortel de grootste milieu-impact heeft, zal deze hier ook het grootste aandeel hebben in alle categorieën. Voornamelijk *Mineral resource scarcity* bestaat bijna uitsluitend uit de lijm mortel. De categorie *Land use* is meer verspreid over de vier soorten, vermoedelijk door ontginning in groeven voor grondstoffen die bij iedere soort noodzakelijk is.



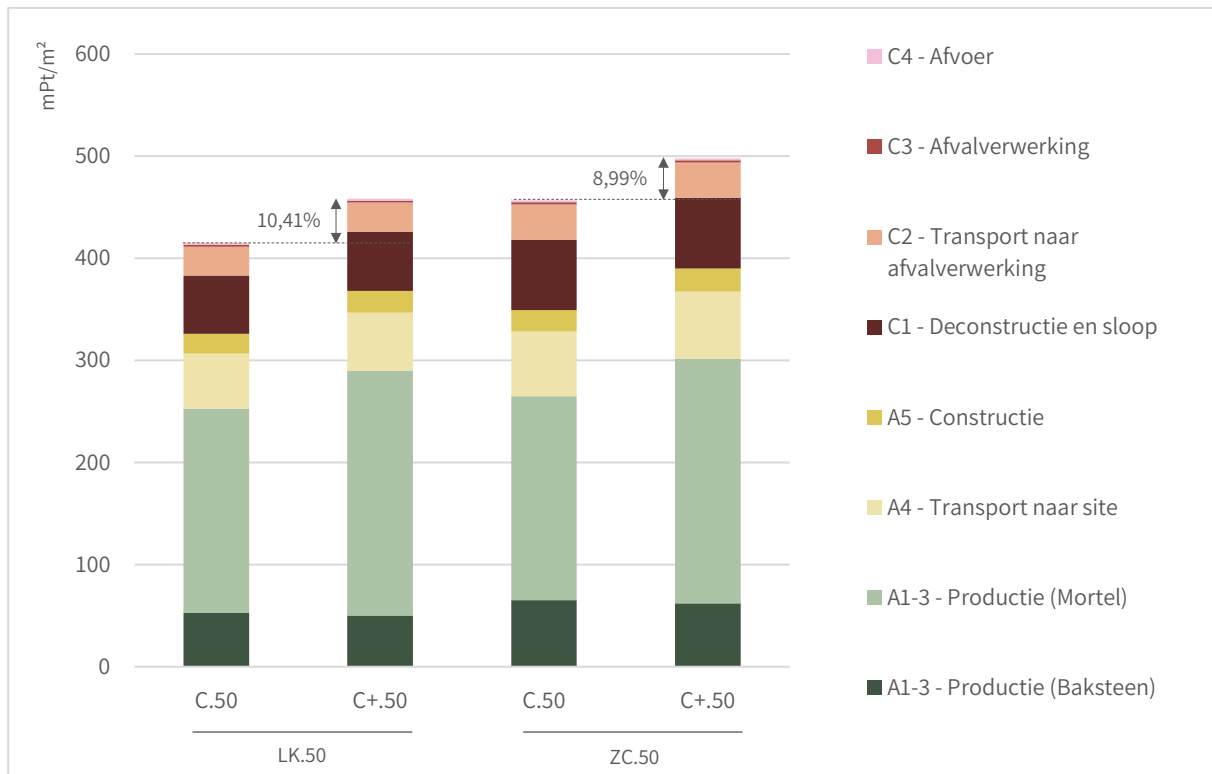
Figuur 105: ReCiPe, midpoint, verdeeld per aandeel voor mortelsoorten

De indicatoren kunnen vervolgens via de PEF-methode geanalyseerd worden. Hierbij valt meteen op dat voor bijna alle indicatoren de lijm mortel een enorm grote impact zal hebben tegenover de andere soorten. Dit is voornamelijk te wijten aan de samenstelling en het productieproces van lijm mortel. Tegenover de meer klassieke mortelsoorten, zal lijm mortel een meer chemisch proces ondergaan met meer additieven uit deze industrie. Dit gaat gepaard met een grotere impact, ook in de indicatoren waar cement-, kalk- en bastarmortel nauwelijks een invloed op hebben. De lijm mortel buiten beschouwing gelaten, zullen de overige soorten mortel een invloed hebben op gelijkaardige indicatoren. Dit vooral bij *Climate change*, door effecten en emissies gepaard met de productie zoals de uitstoot van CO₂. Ook het ontginnen van grondstoffen nodig voor de productie van deze materialen zal een invloed hebben.



Figuur 106: PEF, midpoint, verdeeld per indicator voor mortelsoorten

1.2.3. Fractie mortel gebruikt in nieuw project



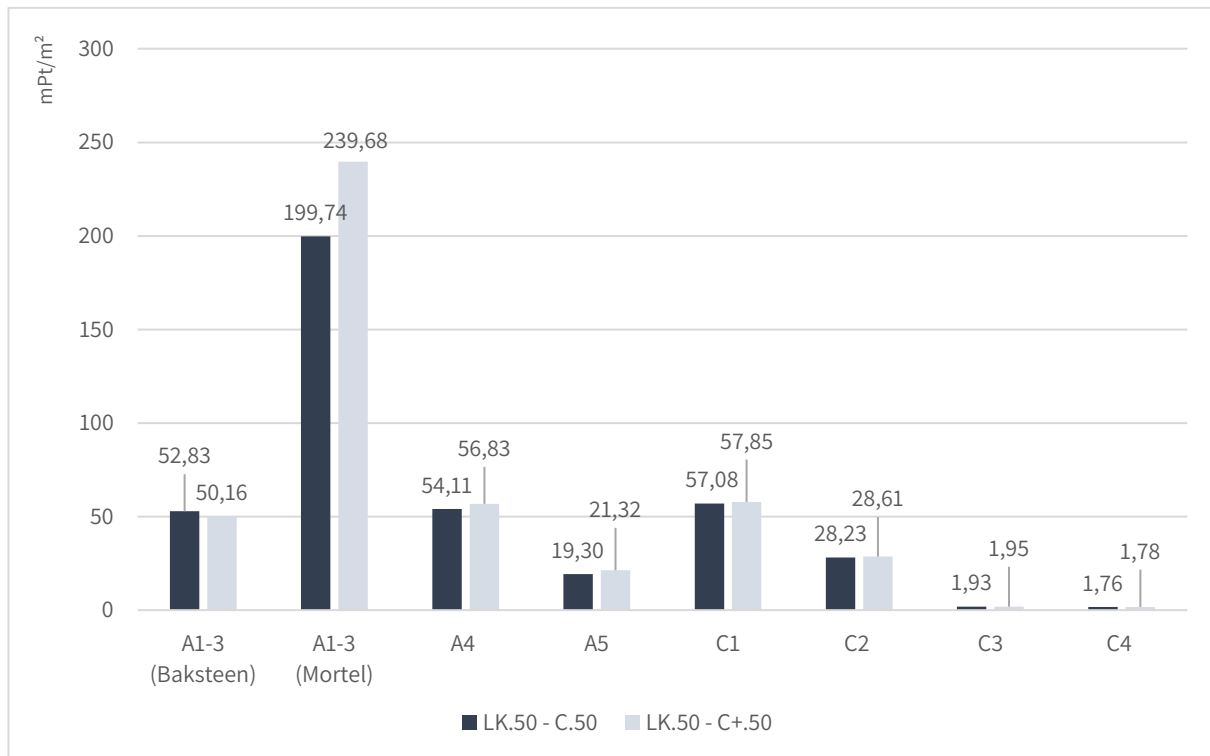
Figuur 107: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per module voor beginscenario's (A-C) en variaties mortelfractie

De impact gerelateerd aan de hoeveelheid mortel wordt weergegeven in bovenstaande figuur 107. Bij een extra hoeveelheid van 20% cementmortel gaat gemiddeld een stijging van 10% gepaard in de totale milieu-impact. Deze stijging zal steeds signifikanter zijn indien een grotere milieuscore wordt toegekend aan de mortel per kg. Het gebruiken van gerecupereerde gevelstenen zal vaak een brede voeg vereisen. Onregelmatigheden in de stenen afkomstig van mortelresten of andere oorzaken zullen hierdoor weggewerkt worden. Samen met een grotere hoeveelheid mortel, gaat ook de milieu-impact omhoog. De daling in A1-3 gerelateerd aan een kleinere fractie bakstenen is verwaarloosbaar.

Tabel 10: Totaalscores voor verschillende fracties mortel

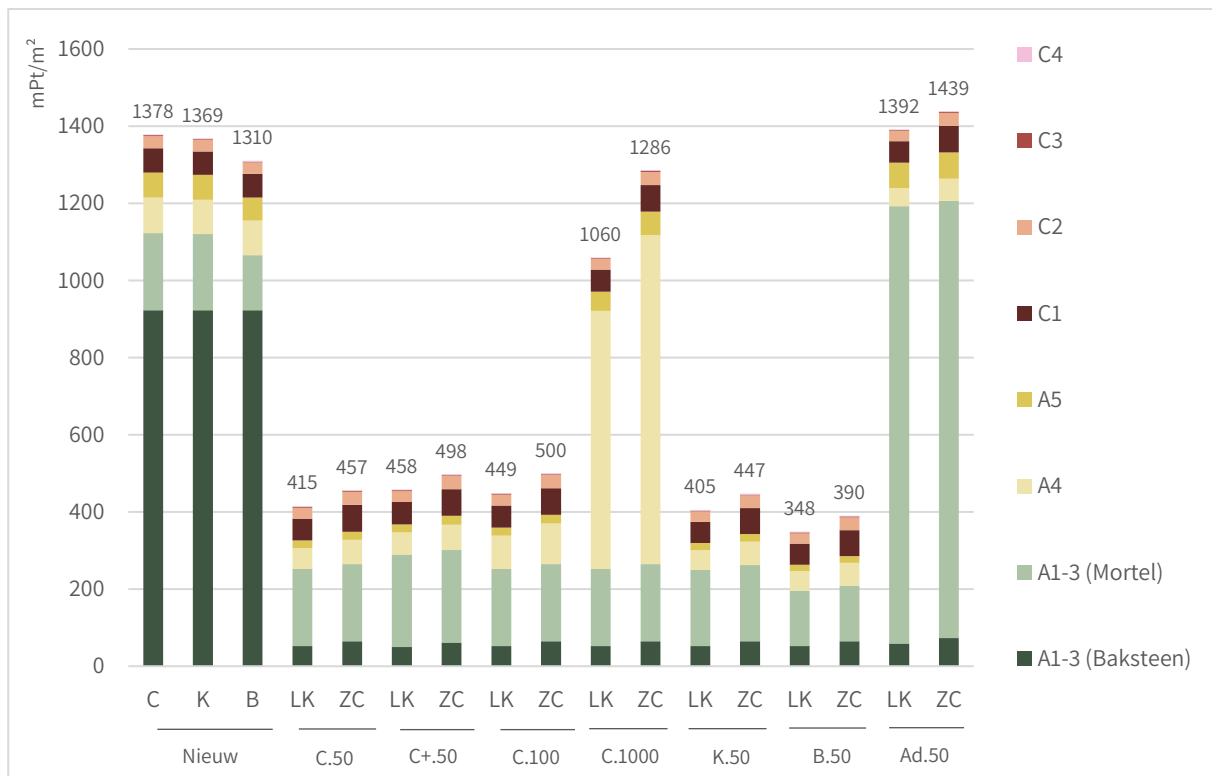
Scenario				
Totaal	LK.50 - C.50	LK.50 - C+.50	ZC.50 - C.50	ZC.50 - C+.50
[mPt/pallet]	414,98	458,18	456,82	497,90

Het bekijken van de individuele modules in figuur 108 zal deze veronderstelling beamen. Tussen de twee scenario's is voornamelijk een verschil bij de impact van mortel te zien. In volgende modules zullen de gevolgen van het gebruik van extra mortel minimaal te zien zijn. Zo zal de impact van transport en constructie iets hoger liggen, maar ook het afbreken van de muur aan het einde van de levenscyclus stijgt door het extra vrijkomen van fijnstof en een grotere hoeveelheid afval.



Figuur 108: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per module voor LK.50 - C.50 en LK.50 - C+.50

1.2.4. Gevel met nieuwe stenen



Figuur 109: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per module voor alle scenario's

Uiteindelijk kunnen de vorige situaties worden vergeleken met de constructie van een nieuwe gevel, gecombineerd met cement-, kalk- en bastaardmortel. Bij deze constructies zal de productie van de nieuwe gevelstenen alle overige sub-modules overtreffen. Bij deze scenario's zal voornamelijk de productie de milieu-impact beïnvloeden, terwijl bij de teruggewonnen stenen het tegenovergestelde van kracht is. Hierbij heeft de 'productie' of terugwinning een kleine impact en zullen de overige modules het overgrote deel van de score omvatten. De impact gerelateerd aan de productie van nieuwe stenen zal ook opmerkelijk hoger liggen en vormt meer dan het dubbele van de gehele cyclus van de meeste scenario's voor hergebruikte stenen. Over het algemeen kan door het recuperezen van keramisch gevelmetselwerk een impact bekomen worden die slechts een derde is van deze bij nieuw geproduceerde gevelstenen over een hele levenscyclus.

Enkele situaties van hergebruik kunnen hier echter uit gehaald worden. Wanneer export van teruggewonnen stenen naar andere landen zal plaatsvinden en de transportafstanden hier een grotere waarde aannemen, komt de impact toch in de buurt van de nieuwe stenen. Ook het gebruik van lijm mortel bij teruggewonnen stenen zal de impact zodanig doen stijgen dat de optie voor nieuwe stenen met een alternatieve mortel beter is. Toch moet hier een opmerking bij gemaakt worden. Wanneer nieuwe stenen gecombineerd worden met lijm mortel, zal ook deze impact stijgen en 2400 mPt/m² naderen.

Overige processen uit module C, die te maken hebben met het einde van de levenscyclus, kunnen als gelijkaardig beschouwd worden voor zowel de nieuwe gevel als deze met gerecupereerde stenen.

CONCLUSIE

In de gehele levenscyclus zal module A de grootste impact hebben, waarbinnen dit vooral aan de productie van mortel toegewezen kan worden. De keuze van mortel speelt hier echter ook een rol in. Verschillende soorten werden vergeleken waaruit blijkt dat bastaardmortel de kleinste impact zal hebben, waarna cement- en kalkmortel volgen. Kalkmortel zal in de toekomst vaak niet meer aangewend worden, met uitzondering voor restauratieprojecten. Cementmortel daarentegen wordt alomtegenwoordig gebruikt, maar heeft naast zijn milieu-impact ook fysische eigenschappen die nadelig kunnen zijn omtrent het hergebruiken van bakstenen. Bastaardmortel vormt hiervoor een oplossing. De verminderde impact en de makkelijkere terugwinning naar de toekomst toe zorgen ervoor dat dit type steeds meer aangewend wordt. Het gebruik van extra mortel nodig bij deze onregelmatige stenen, zal echter de impact met een bepaalde waarde doen stijgen. Ook lijm mortel werd in deze vergelijking opgenomen, ondanks dat dit uitzonderlijk zal zijn in combinatie met gerecupereerde stenen. De enorm hoge impact die dit proces zal teweeg brengen, oppert om deze soort mortel niet aan te wenden.

Transport van de stenen naar de nieuwe werf zal opnieuw een belangrijk aspect vormen. Milieueffecten als gevolg van de uitstoot van emissies zullen alleen maar stijgen naarmate deze afstand groter wordt. Het type baksteen heeft hier nogmaals invloed op, maar in deze fase komt ook het transport van de mortel er bij. Transport over grote afstanden, naar andere landen, zal de duurzaamheid van teruggewonnen stenen ondermijnen. Deze fase A4 stijgt in die mate dat ze de som van alle overige modules en de gehele milieuscore van nieuw geproduceerde stenen evenaart. Hierdoor is geen meerwaarde meer terug te vinden door het implementeren van hergebruik.

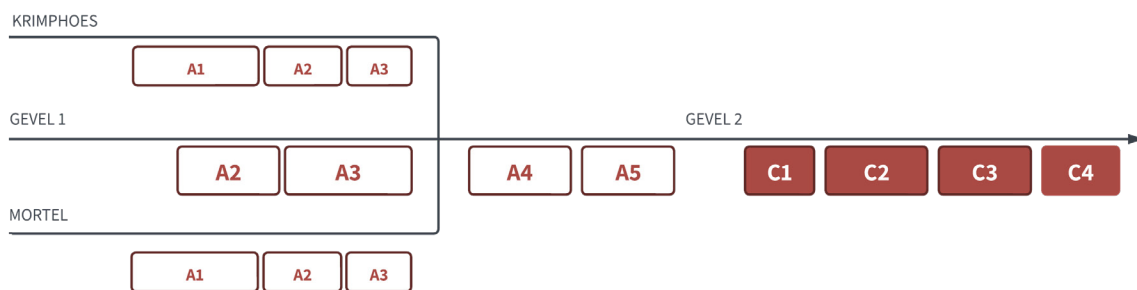
Impact gerelateerd aan module C zal voornamelijk volgen uit de afbraak zelf en transport naar afvalverwerking. De soort steen en gebruikte mortel zal ook hier een invloed op hebben. Deze delen zullen slechts een klein deel van het totaal vertegenwoordigen en variëren ook niet zodanig over de verschillende situaties.

Het verschil met nieuwe stenen over de volledige levenscyclus is echter beduidend. Alleen al de productie van nieuwe stenen zal een stuk hoger liggen dan de volledige cyclus bij hergebruikte stenen. Opnieuw zijn de keuzes hier echter belangrijk. Algemeen kan gesteld worden dat de keuze voor hergebruik, over een volledige levenscyclus en in beschouwing tot duurzaamheid, wel degelijk een strategie kan vormen om de milieu-impact van een constructie te verminderen.

1.3. Deel C1-4

In dit laatste deel wordt uitsluitend module C bekeken, waarbij zowel de impact afkomstig van selectieve en destructieve sloop wordt nagegaan aan de hand van volgende onderzoeksvragen:

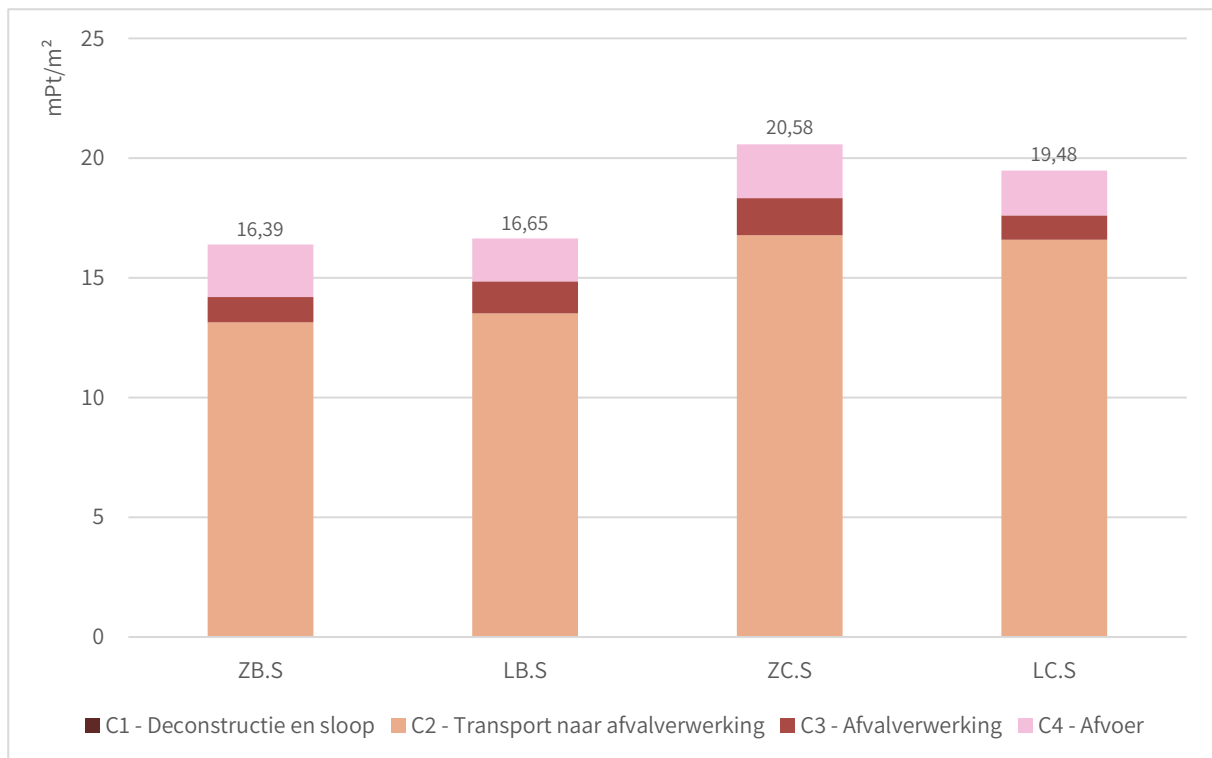
Welke milieu-impact gaat gepaard met selectieve sloop, waarbij opnieuw geopteerd wordt voor hergebruik in een volgende levenscyclus? Welke sub-modules zijn hiervoor verantwoordelijk en zullen het grootste aandeel in de score vertegenwoordigen? Zijn er belangrijke verschillen met destructieve sloop op te merken?



Figuur 110: Vereenvoudigd overzicht modules meegenomen in het tweede deel (C1-4)

1.3.1. Selectief slopen

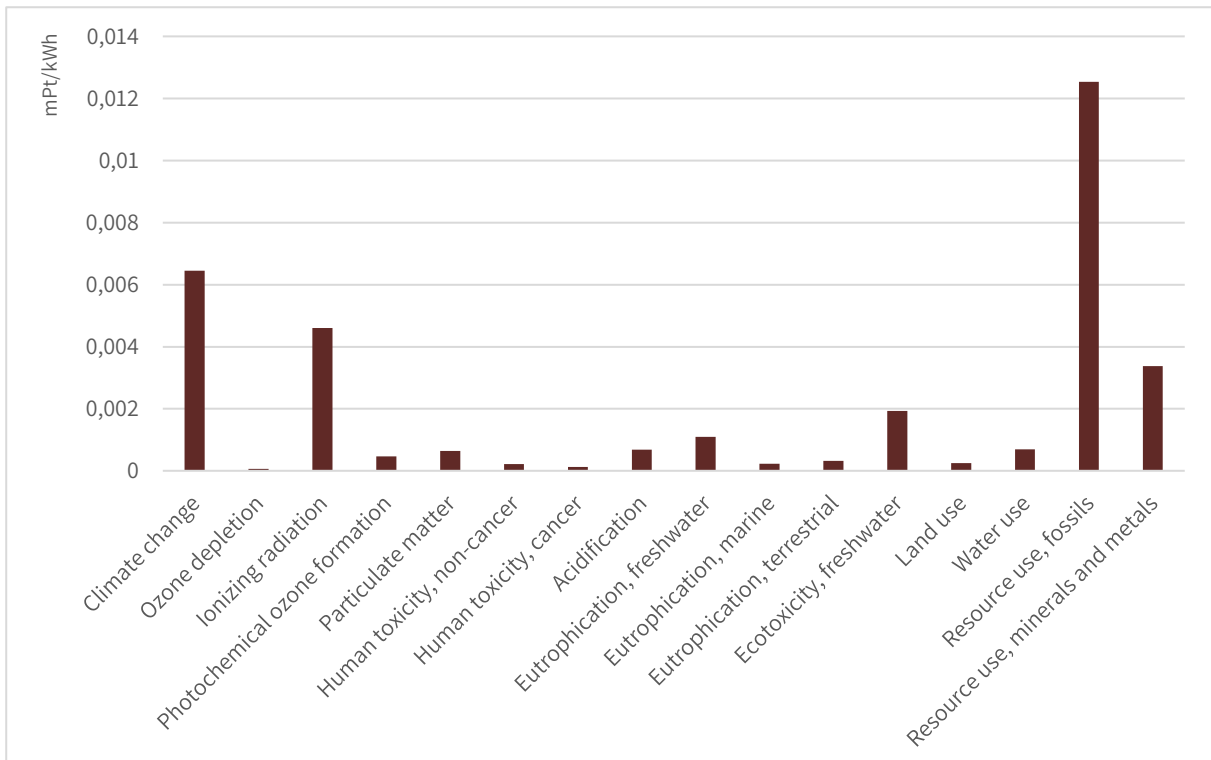
Door het selectief slopen van een constructie kan het merendeel van het keramisch gevelmetselwerk opnieuw hergebruikt worden in een volgende levenscyclus. Bij deze situaties worden andere verhoudingen gehanteerd voor de verschillende manieren van afvalverwerking, eerder weergegeven in figuur 70. In figuur 1 in bijlage 3 wordt verondersteld dat selectieve sloop uitsluitend gebeurd aan de hand van manuele handelingen, zonder machines. Dit betekent dat C1 (Deconstructie en sloop) gelijkgesteld wordt aan nul. De impact van de drie overige onderdelen zijn te zien in onderstaande figuur 111.



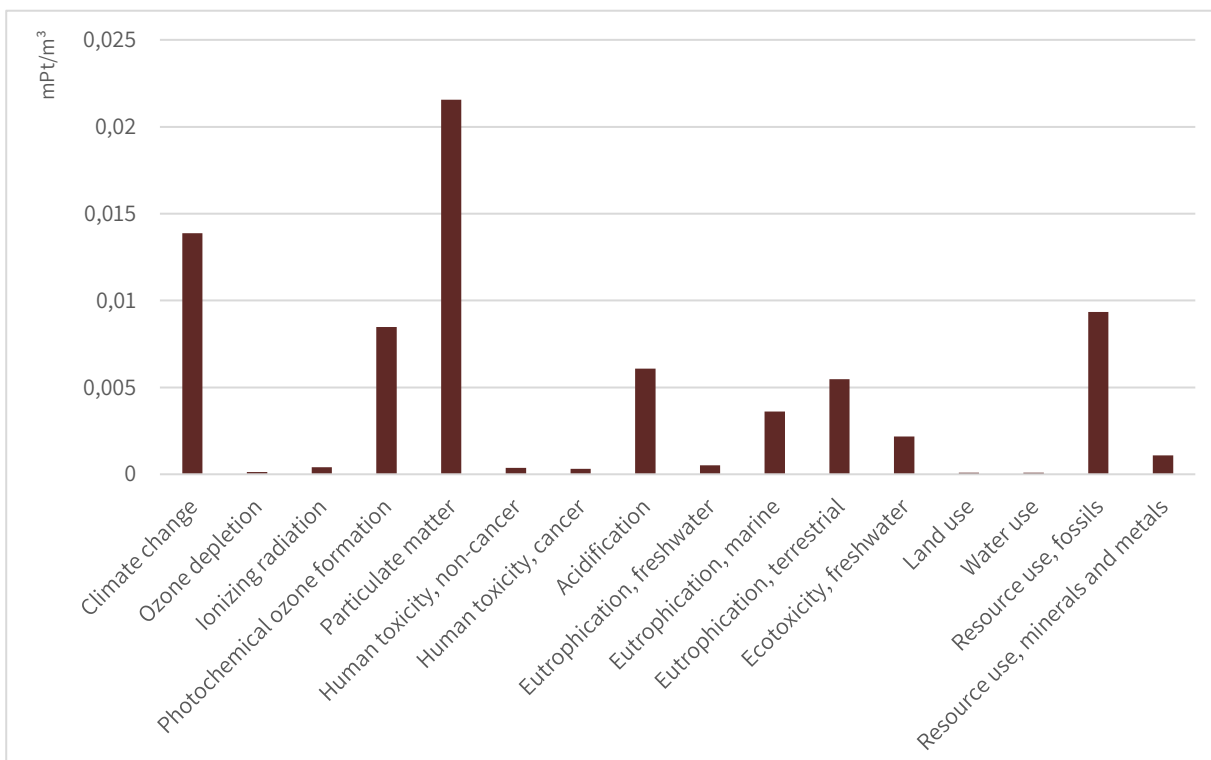
Figuur 111: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per module voor beginscenario's (C1-4)

In bovenstaande figuur 111 zijn de verschillende milieuscores voor selectieve sloop terug te vinden, waarin de sub-modules elk hun aandeel hebben. C1 zal geen onderdeel spelen wanneer over selectieve sloop gesproken wordt en is dus ook niet weergegeven in de grafiek. Binnen de overige drie processen zal 'Transport naar afvalverwerking' met een gemiddeld aandeel van 82% de grootste impact hebben. Deze categorie brengt het transport van de fracties afval in rekening bestemd voor recyclage en storten. Het transport voor hergebruik wordt hier gelijkgesteld aan nul en valt net zoals bij het begin van de studie onder de nieuwe levenscyclus. Het storten zelf zal hierbinnen echter een laag aandeel in hebben, omdat het grootste deel van het afval gerecycleerd kan worden. De combinatie mortel en steen zal hier een dergelijke impact op hebben. Zo zal het gebruik van cementmortel meer afval teweeg brengen. Tevens zal de massa van deze mortelresten de milieu-impact nadelig beïnvloeden. Daarnaast wordt impact gerelateerd aan lichte en zware stenen hoofdzakelijk uitgebalanceerd door de lagere afvalpercentages bij deze zwaardere stenen.

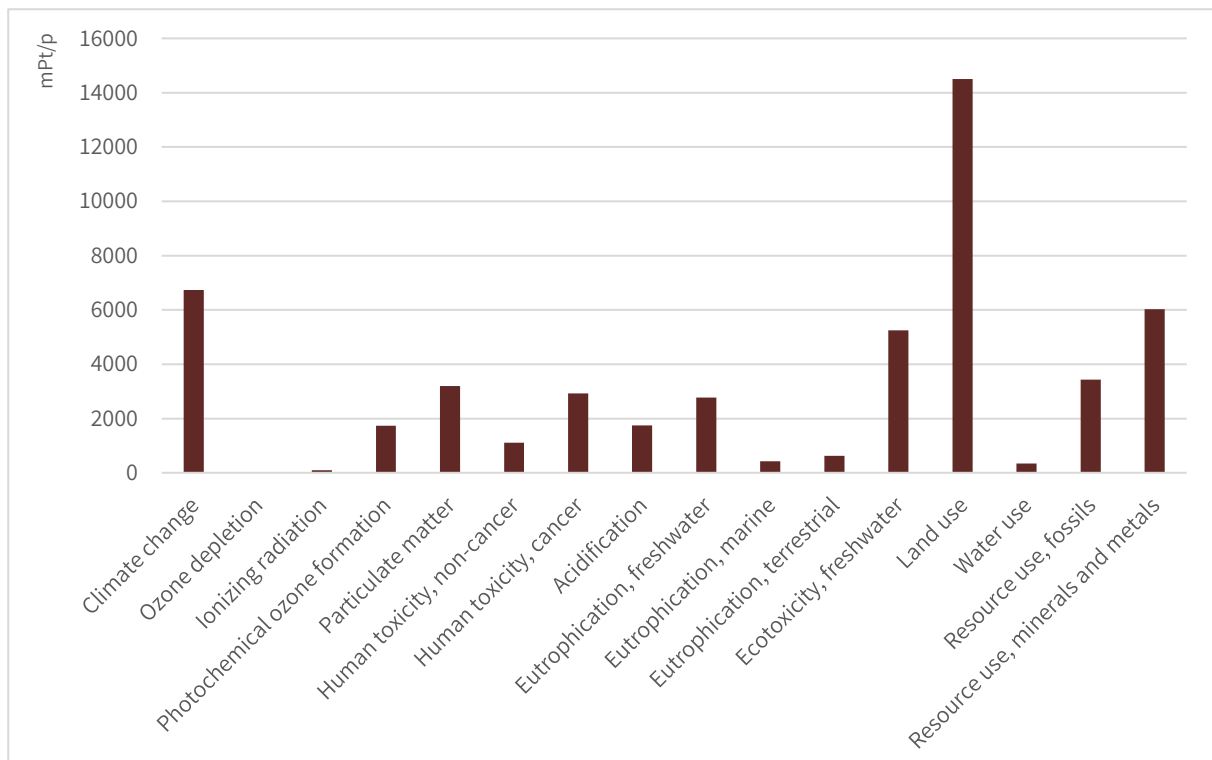
De afvalverwerking (C3) en afvoer (C4) hebben een aandeel van respectievelijk 7% en 11% in de totale score. Onder deze modules wordt het gebruik van een hydraulische graafmachine ingerekend. Ook een proces met betrekking tot een sorteerfaciliteit wordt meegenomen. De impact hiervan zal een beperkt aandeel vertegenwoordigen omdat bij hergebruik slechts een kleiner aandeel gerecycleerd en gestort wordt. De impact van deze afzonderlijke processen worden in onderstaande figuren via de PEF-methode weergegeven.



Figuur 112: PEF, midpoint, voor elektriciteitsverbruik



Figuur 113: PEF, midpoint, voor hydraulische graafmachine



Figuur 114: PEF, midpoint, voor sorteerfaciliteit

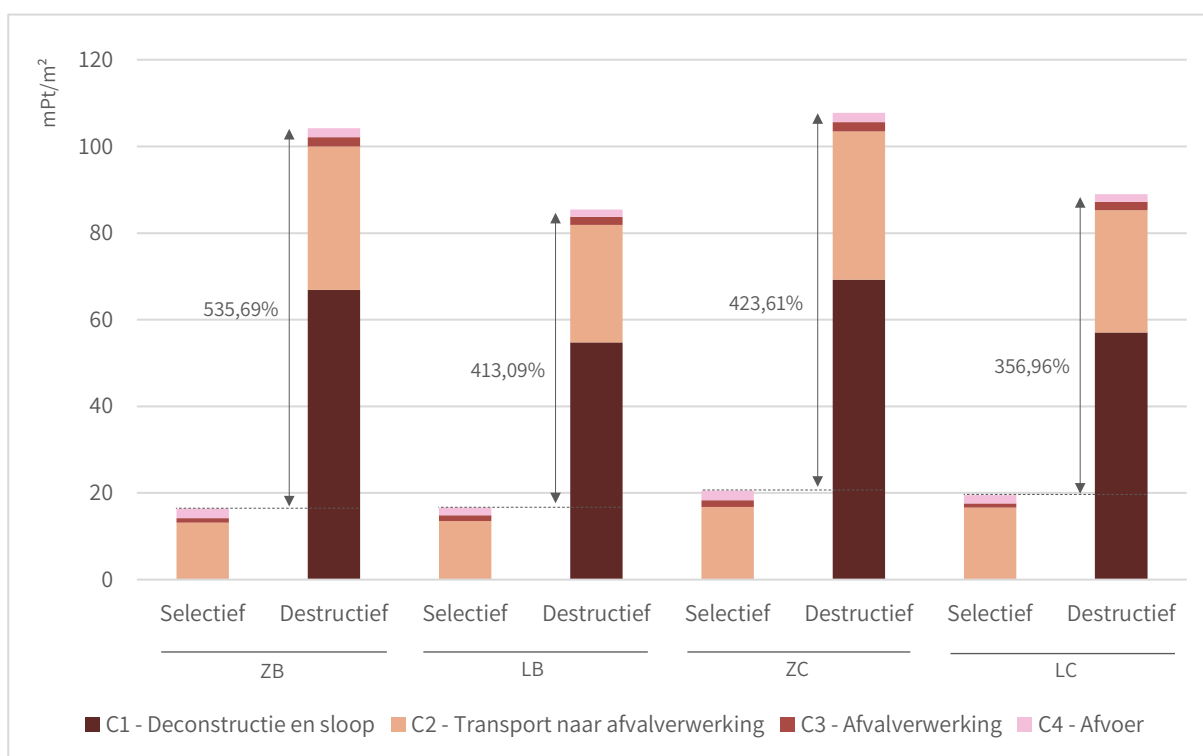
Aangezien de bovenstaande processen berekend zijn voor verschillende eenheden, kunnen ze niet eenduidig vergeleken worden. Door ze afzonderlijk te beschouwen kan toch een analyse gemaakt worden om inzicht te krijgen in welke milieu-impactindicatoren het meest beïnvloed worden. Het elektriciteitsverbruik zal vooral impact hebben op de categorie *Resource use, fossils*. De elektriciteitsmix waar België van gebruik maakt, zal nog steeds een deel gebaseerd zijn op fossiele grondstoffen. Deze emissies zullen vervolgens een impact hebben op *Climate change*.

Bij de hydraulische graafmachine zal ook vooral het brandstofgebruik gerelateerd zijn aan een dergelijke impactindicator. Daarnaast zal ook *Particulate matter* en *Photochemical ozone formation* als gevolg uit deze toepassing enige impact hebben. Deze verschillende effecten zijn enerzijds direct gerelateerd aan alle activiteiten op constructiesites en anderzijds onrechtstreeks aan chemische processen in verbranding.

Als laatste zal de sorteerfaciliteit een enorm grote impact hebben. Dit is echter gerelateerd aan de eenheid waarmee gewerkt wordt. Hierbij wordt namelijk één volledige faciliteit bekeken tegenover de overige processen die op kleinere eenheden gebaseerd zijn. In dit opzicht steekt *Land use* dan ook uit boven alle andere indicatoren. Deze volledige voorziening zal namelijk enige ruimte innemen. Buiten de effecten gerelateerd aan het gebruik van brandstof zal hier ook *Ecotoxicity, freshwater* en *Resource use, minerals and metals* een zekere waarde aannemen. Deze processen zijn gerelateerd aan het verwerken van puin tot recycleerbare materialen. In relatie tot het hergebruik zal het aandeel van deze processen echter klein zijn, waardoor ook de impact op het milieu onder deze indicatoren beperkt blijft.

1.3.2. Destructief slopen

Na het bestuderen van selectieve sloop, kan een vergelijking met destructieve sloop gemaakt worden waarbij het gevelmetselwerk niet kan worden hergebruikt. Het gebruik van machines is hierbij wel van toepassing, waardoor C1 aanzienlijke waarden aanneemt door het verbruik van diesel. Ook de andere onderdelen van module C kennen een stijging te zien in onderstaande figuur 115, maar in mindere mate. Hoofdzakelijk door het gebruik van machines kent de totale impact van module C een stijging van meer dan 350%. De grootste stijging is te zien bij zware stenen toegepast met bastaardmortel. Dit komt door het feit dat bij selectief slopen hier het kleinste verliespercentage te vinden is. De waarden voor transport zullen bij destructieve sloop ook verdubbelen, aangezien veel meer materiaal afgevoerd wordt voor recyclage. De overige modules C3 en C4, zullen slechts minimaal stijgen.



Figuur 115: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per module voor beginscenario's (C1-4) en variaties destructief slopen

Tabel 11: Totaalscores voor selectief en destructief slopen, per module

		Modules			
[mPt/m²]		C1	C2	C3	C4
ZB	Selectief	0	13,14	1,06	2,19
	Destructief	66,91	33,09	2,14	2,06
LB	Selectief	0	13,51	1,34	1,80
	Destructief	54,77	27,09	1,88	1,69
ZC	Selectief	0	16,78	1,55	2,26
	Destructief	69,22	34,23	2,19	2,13
LC	Selectief	0	19,59	1,01	1,87
	Destructief	57,08	28,23	1,93	1,76

CONCLUSIE

Waarden gerelateerd aan destructieve sloop en selectieve sloop vertonen aanzienlijke verschillen. Het gebruik van machines tijdens de effectieve afbraak zal hiervoor verantwoordelijk zijn. Ook de emissies uitgestoten tijdens de sloop brengen verschillende milieueffecten teweeg. Deze sub-module C1 kan volledig weggecijferd worden bij selectief sloop, aangezien hier van een manuele ontmanteling uitgegaan wordt. Het opteren voor hergebruik zal dus niet alleen in de productiefase een beduidend verschil teweeg brengen. Ook aan het einde van de levenscyclus zal deze keuze een grote invloed hebben op het milieu.

Transport naar de afvalverwerking zal in dit deel afhankelijk zijn van het verliespercentage. Hoe meer afval geproduceerd wordt, hoe groter deze impact zal zijn. Zo zal dus ook een verschil opgemerkt worden tussen selectieve en destructieve sloop. De afvalhoeveelheid die gepaard gaat met destructieve sloop zal zeer hoog zijn, maar wordt voornamelijk gerecycleerd. Slechts een kleine fractie wordt gestort.

2. Sensitiviteitsanalyse

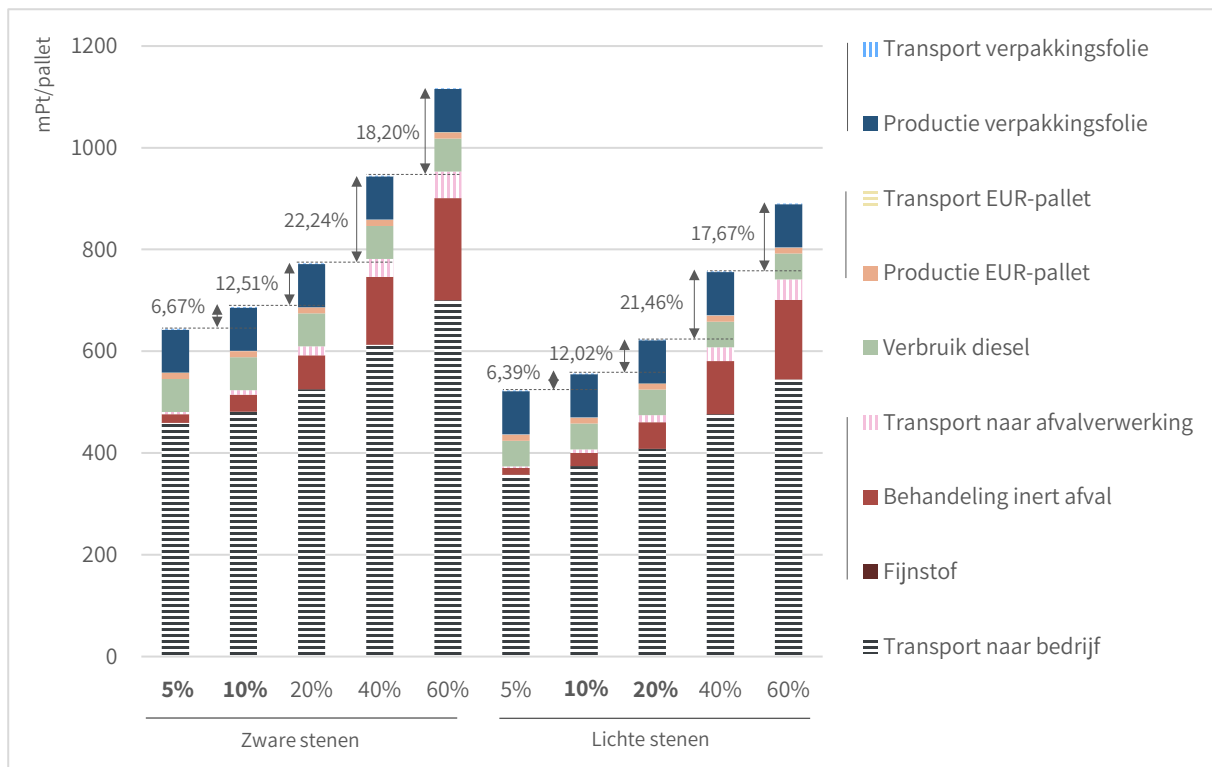
Bepaalde aannames kunnen de resultaten van het onderzoek sterk beïnvloeden. In dit deel, zal aan de hand van deelonderzoeken waarbij veranderingen opzettelijk worden aangebracht, de robuustheid van de resultaten worden nagegaan. Met deze methode kan worden achterhaald aan welke variabelen de LCA-resultaten gevoelig zijn en of deze verschillen dermate significant zijn. Zes verschillende sensitiviteitsanalyses worden uitgevoerd: het verliespercentage bij het kuisen, de tijdsduur van het mechanisch kuisen, de elektriciteitsmix, de hoeveelheid fijnstof die vrijkomt tijdens het kuisen, de transportafstand van afval naar de verwerkingsplaats en de soort brandstof bij een vorklift.

Dit zijn voornamelijk factoren die in de productiefase, of in dit geval terugwinningsfase, van de stenen zullen plaatsvinden. Het is dan ook deze fase waar de meeste onzekerheden zitten en waar nog steeds weinig concrete data over beschikbaar is.

2.1. Verliespercentage bij het kuisen

In een eerste analyse wordt de impact van de verliespercentages bekeken. Voor de zware stenen werd reeds 5 en 10% afval gesimuleerd, waarbij nu ook 20, 40 en 60% wordt bekeken. Deze laatste twee situaties zijn hoogst onwaarschijnlijk door de hardheid van de stenen. Bij lichte stenen werd reeds een verliespercentage van 10 en 20% geanalyseerd. Hierbij komt nu 5, 40 en 60%. Opnieuw is deze laatste situatie onwaarschijnlijk, mede door het feit dat wanneer een groot verlies wordt ingeschat het niet meer rendabel is de stenen te recupereren. In deze situaties wordt het materiaal als puin afgevoerd met recyclage als doel.

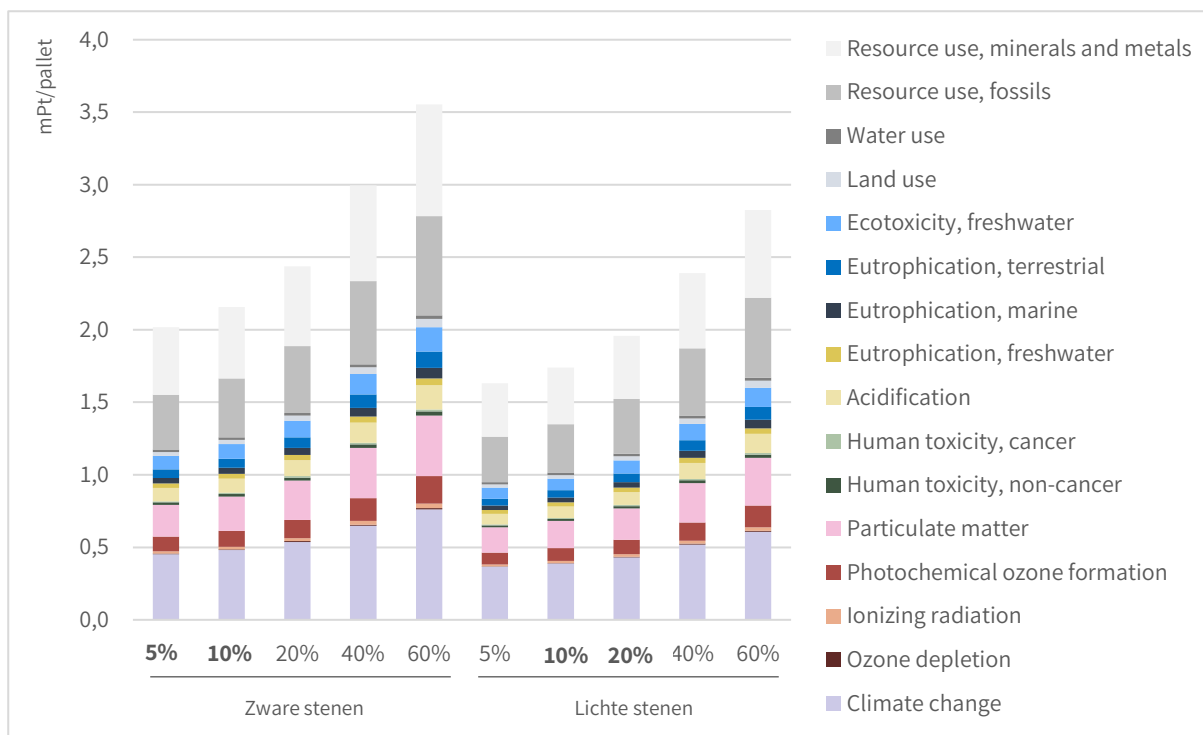
In onderstaande figuur 116 valt op te merken dat zodra het afvalpercentage hoger is, de milieuscore in zijn geheel aanzienlijk zal stijgen. Deze stijging zal zich uitdrukken in de fasen 'Transport naar bedrijf', 'Fijnstof', 'Behandeling inert afval' en 'Transport naar afvalverwerking', aangezien ze allemaal in relatie staan tot dit afval. Hoewel er bij meer afval ook een extra hoeveelheid fijnstof zal vrijkomen, is dit voor alle gevallen nog steeds te verwaarlozen. Voor gelijke afvalpercentages kan ook een verschil tussen zware stenen en lichte stenen opgemerkt worden, waarbij deze laatste steeds de kleinste impact kent. Het gewicht van het afval zal aldus een rol spelen in de genoemde fasen.



Figuur 116: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor sensitiviteit verliespercentage. Transportprocessen zijn steeds aangeduid met een arcering. Vetgedrukte onderschriften corresponderen met de originele situaties.

De PEF-methode wordt hier ook aangehaald om de verliespercentages te analyseren. Naarmate de hoeveelheid afval stijgt, zullen ook enkele indicatoren stijgen in milieuscore. Zo zal *Climate change* een van deze factoren zijn die het meest stijgt. Door een groter verliespercentage moet meer transport worden ingezet om eenzelfde hoeveelheid goede stenen te verkrijgen na het kuisen. Daarnaast moet ook meer afval verwerkt worden, waarbij ook opnieuw brandstof wordt verbruikt. Beide factoren beïnvloeden dus sterk de indicator *Climate Change*. Daarnaast zal ook *Particulate Matter* stijgen wanneer de afvalhoeveelheden groter worden. Niet alleen het creëren van dit afval, maar voornamelijk de verwerking ervan achteraf, zal het fijnstof in de atmosfeer doen stijgen.

Naast deze overduidelijke stijgingen kan er ook bij andere effecten een stijging waargenomen worden die minder duidelijk is. Naargelang het afvalpercentage stijgt, zal *Ecotoxicity, freshwater* een grotere waarde aannemen. Naarmate meer afval wordt geproduceerd, zal er een groter risico ontstaan op zoetwaterverontreiniging wat niet alleen effect heeft op het milieu, maar ook de menselijke gezondheid (IndEcol, 2019d). Daarnaast zal *Resource use* ook toenemen. Dit kan alweer gerelateerd worden aan het brandstofgebruik en de fossiele grondstoffen die nodig zijn.



Figuur 117: PEF, midpoint, verdeeld per indicatoren voor sensitiviteit verliespercentage. Vetgedrukte onderschriften corresponderen met de originele situaties.

Tabel 12: Scores voor impactindicatoren, sensitiviteit verliespercentage

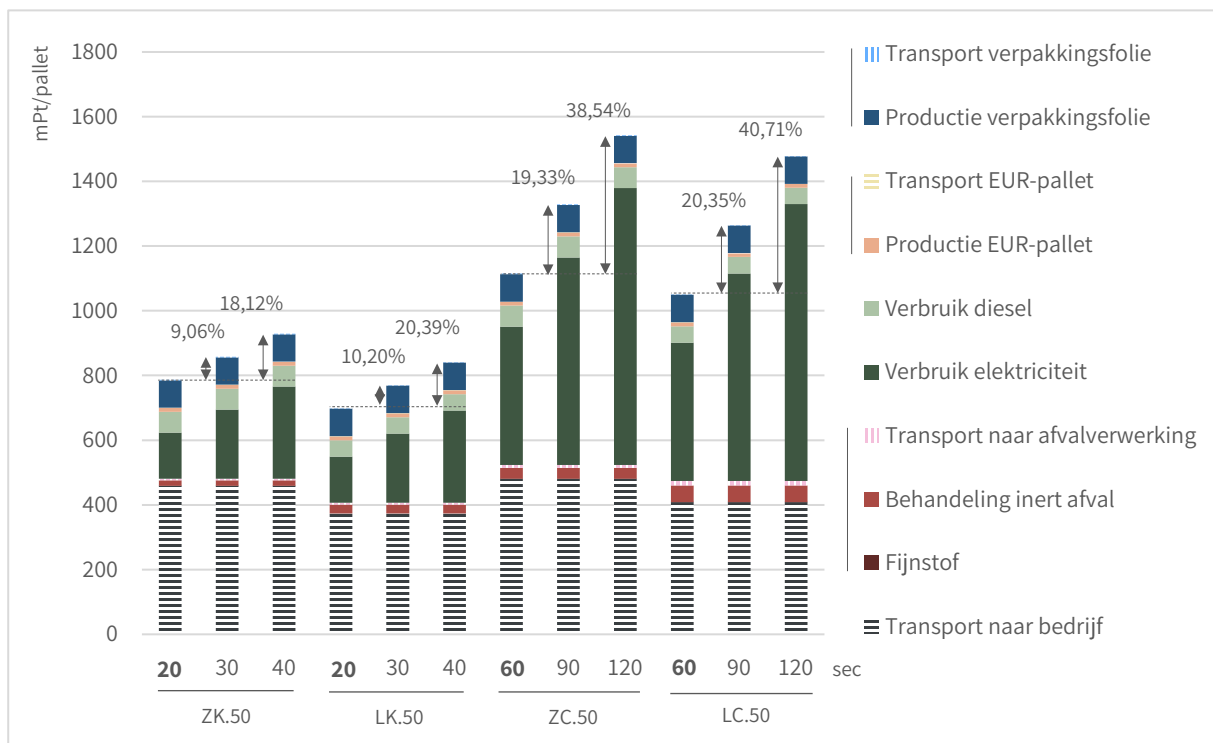
Verliespercentages										
Milieu-indicator [mPt/pallet]	Zware stenen					Lichte stenen				
	5%	10%	20%	40%	60%	5%	10%	20%	40%	60%
Climate change	0,45	0,48	0,54	0,65	0,76	0,37	0,39	0,43	0,52	0,61
Particulate matter	0,22	0,24	0,27	0,34	0,42	0,17	0,19	0,22	0,27	0,33
Ecotoxicity, freshwater	0,09	0,10	0,11	0,14	0,17	0,08	0,08	0,09	0,11	0,13
Resource use, fossils	0,38	0,41	0,46	0,57	0,68	0,31	0,33	0,38	0,46	0,55
Resource use, minerals and metals	0,47	0,49	0,55	0,66	0,77	0,37	0,39	0,43	0,52	0,61

De hoeveelheid afval die zal vrijkomen tijdens het terugwinnen van gevelstenen zal een sterke invloed hebben op de milieuscore. Afval gerelateerde processen, en voornamelijk het brandstofverbruik ervan, worden voor deze stijging verantwoordelijk gesteld. Hoewel bepaalde situaties onwaarschijnlijk zijn, kunnen de verschillen als significant beschouwd worden.

2.2. Tijdsduur van het mechanisch kuisen

Voor het mechanisch kuisen wordt het elektriciteitsverbruik berekend aan de hand van de tijd nodig om een steen te kuisen. Dit zal ook de tijd zijn gedurende de compressor aan staat om de mechanische beitel aan te sturen. De kalkmortel, die makkelijk te verwijderen is, zal het mogelijk maken een steen in gemiddeld 20 seconden te kuisen. Het kuisen van een steen bevestigd met cementmortel zal meer tijd vereisen, waardoor van een tijd van 60 seconden wordt uitgegaan. Er wordt onderzocht hoe de milieuscore zal veranderen wanneer deze tijdsduur, en daarmee gepaard het elektriciteitsverbruik, groter wordt. Voor kalkmortel worden hiervoor twee extra situaties van 30 en 40 seconden onderzocht. Voor cementmortel zijn dit respectievelijk situaties van 90 en 120 seconden.

Variaties in deze waarden zullen echter alleen een invloed hebben op het elektriciteitsverbruik, zoals in onderstaande figuur 118 te zien is. Zo zal wanneer de tijd verdubbeld, in het geval van kalkmortel de score met wel 20% en voor cementmortel met wel 40% stijgen. Verschillen in de milieuscores van 'Verbruik elektriciteit' zullen enkel tussen de soorten mortel waar te nemen zijn. Het type steen, licht of zwaar, zal hier geen rol in spelen.



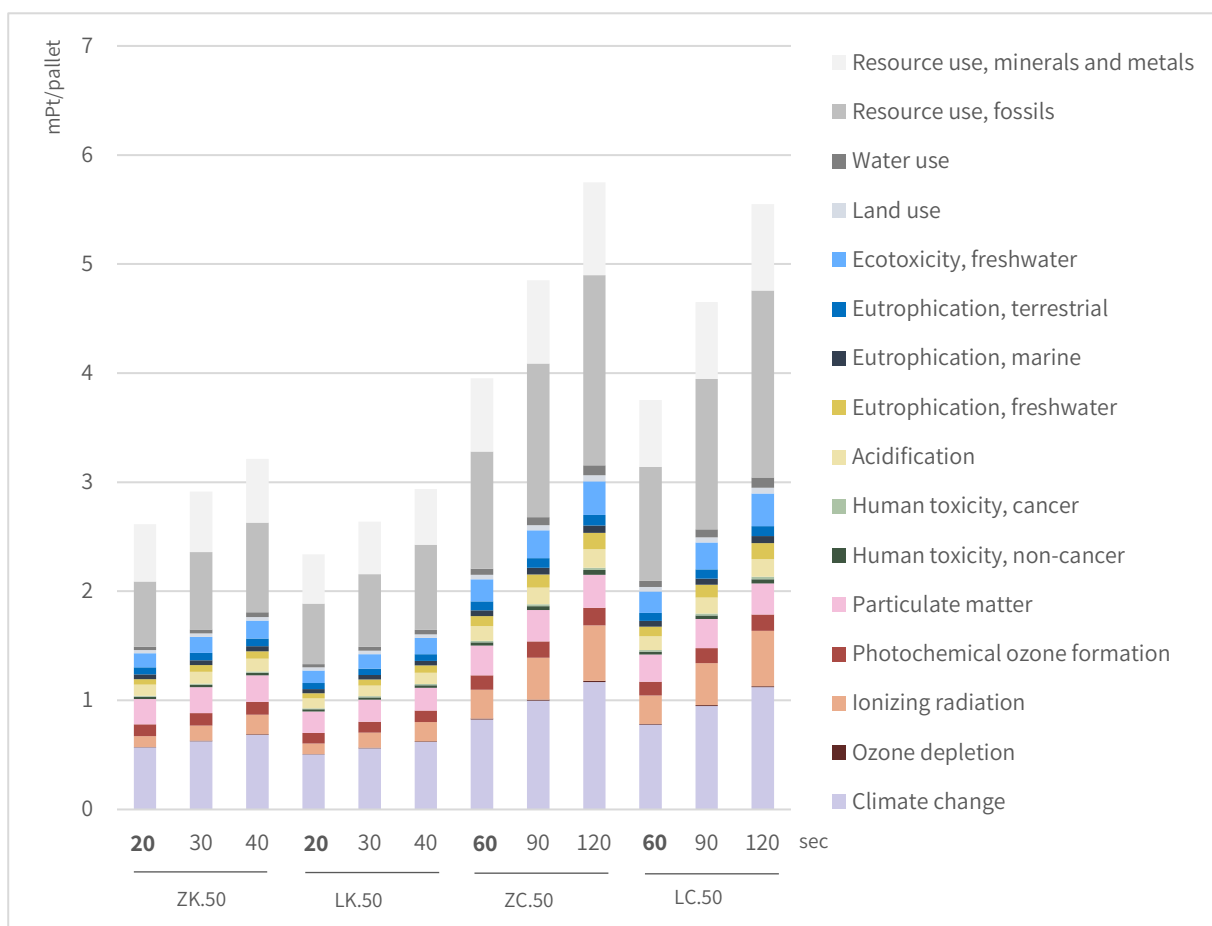
Figuur 118: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor sensitiviteit tijdsduur mechanisch kuisen. Transportprocessen zijn steeds aangeduid met een arcering. Vetgedrukte onderschriften corresponderen met de originele situaties.

Tabel 13: Totaalscore voor verbruik elektriciteit

	Soort mortel					
	Stenen met kalkmortelresten			Stenen met cementmortelresten		
Seconden nodig voor het kuisen [sec]	20	30	40	60	90	120
Verbruik elektriciteit [mPt/pallet]	142,45	213,68	284,90	427,67	641,51	855,35

Aangezien enkel het elektriciteitsverbruik zal veranderen in de milieuscore voor de verschillende situaties, kan via de PEF-methode bekeken worden welk effect dit proces zal hebben op de milieu-impactindicatoren. De voornaamste stijgingen zijn te zien bij de indicatoren *Climate change*, *Ionizing radiation* en *Resource use, fossils*.

Voor het simuleren van dit elektriciteitsverbruik, zal een standaardverdeling gebruikt worden van verschillende soorten opwekking toegepast in België. Deze mix bevat kernenergie, duurzame energiebronnen, maar ook energie op basis van fossiele grondstoffen. Naarmate het elektriciteitsverbruik stijgt, zal dit proces ook het verbruik van dit soort grondstoffen beïnvloeden. Daarnaast zullen processen die gepaard gaan met de energieopwekking in elektriciteitscentrales, ioniserende straling teweeg brengen die samenhangt met de indicator *Ionizing radiation*. Dit alles draagt eveneens bij aan de klimaatverandering en dus de impact-indicator *Climate Change*.



Figuur 119: PEF, midpoint, verdeeld per indicator voor sensitiviteit tijdsduur mechanisch kuisen. Transportprocessen zijn steeds aangeduid met een arcering. Vetgedrukte onderschriften corresponderen met de originele situaties.

Tabel 14: Scores voor impactindicatoren, sensitiviteit tijdsduur mechanisch kuisen

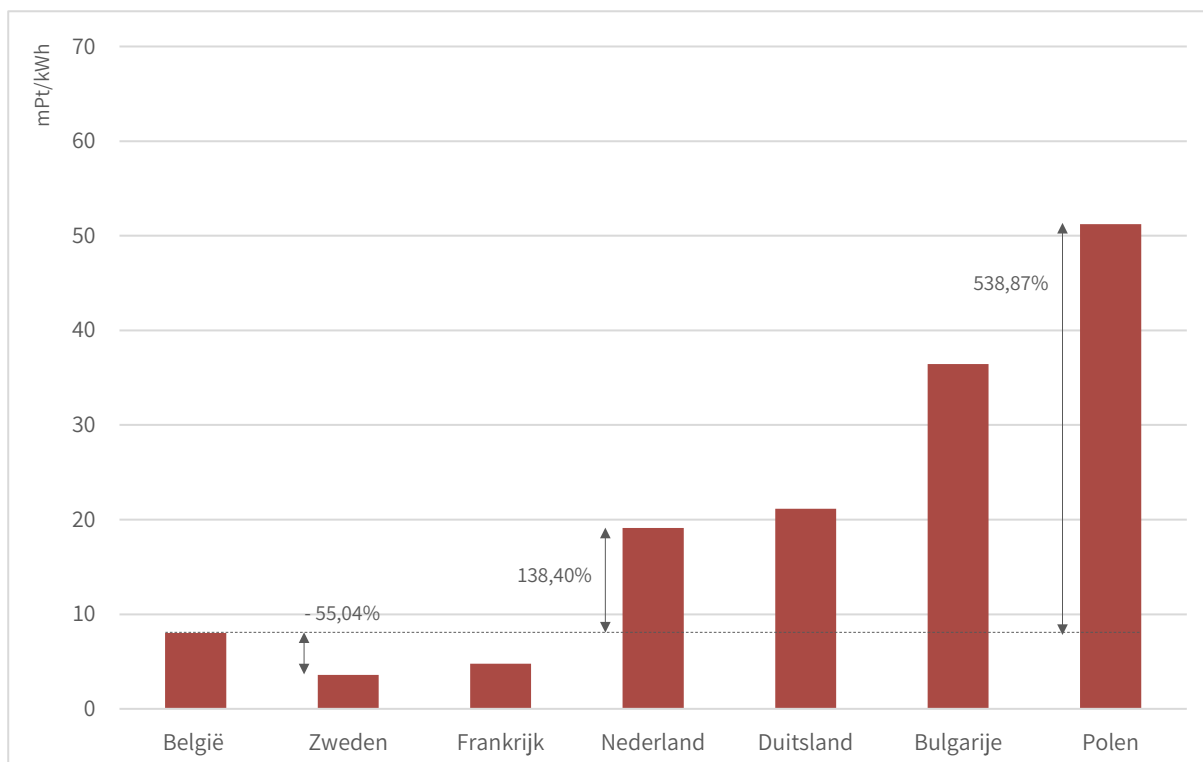
Tijdsduur mechanisch kuisen						
Milieu-indicator [mPt/pallet]	ZK.50			ZC.50		
	20	30	40	60	90	120
<i>Climate change</i>	0,57	0,62	0,68	0,82	1,00	1,17
<i>Ionizing radiation</i>	0,10	0,14	0,18	0,26	0,39	0,51
<i>Resource use, fossils</i>	0,60	0,71	0,82	1,07	1,41	1,74

Het vergroten van de tijdsduur nodig voor het kuisen van de stenen en daarmee ook het elektriciteitsverbruik, zal een stijging in de milieuscore veroorzaken. Vanaf een toevoeging van 20-30 seconden aan dit proces, zal een significant verschil bekomen worden. Naast een langere tijd voor het kuisen kan ook het niet uitzetten van de compressor tussen het kuisen door resulteren in een groter energieverbruik. Indien de compressor lange tijd draait zonder gebruikt te worden zal dit ook resulteren in een overbodige stijging in milieu-impact. Door het berekenen van deze extra tijd kan de impact hiervan ook worden ingeschat.

2.3. Elektriciteitsmix

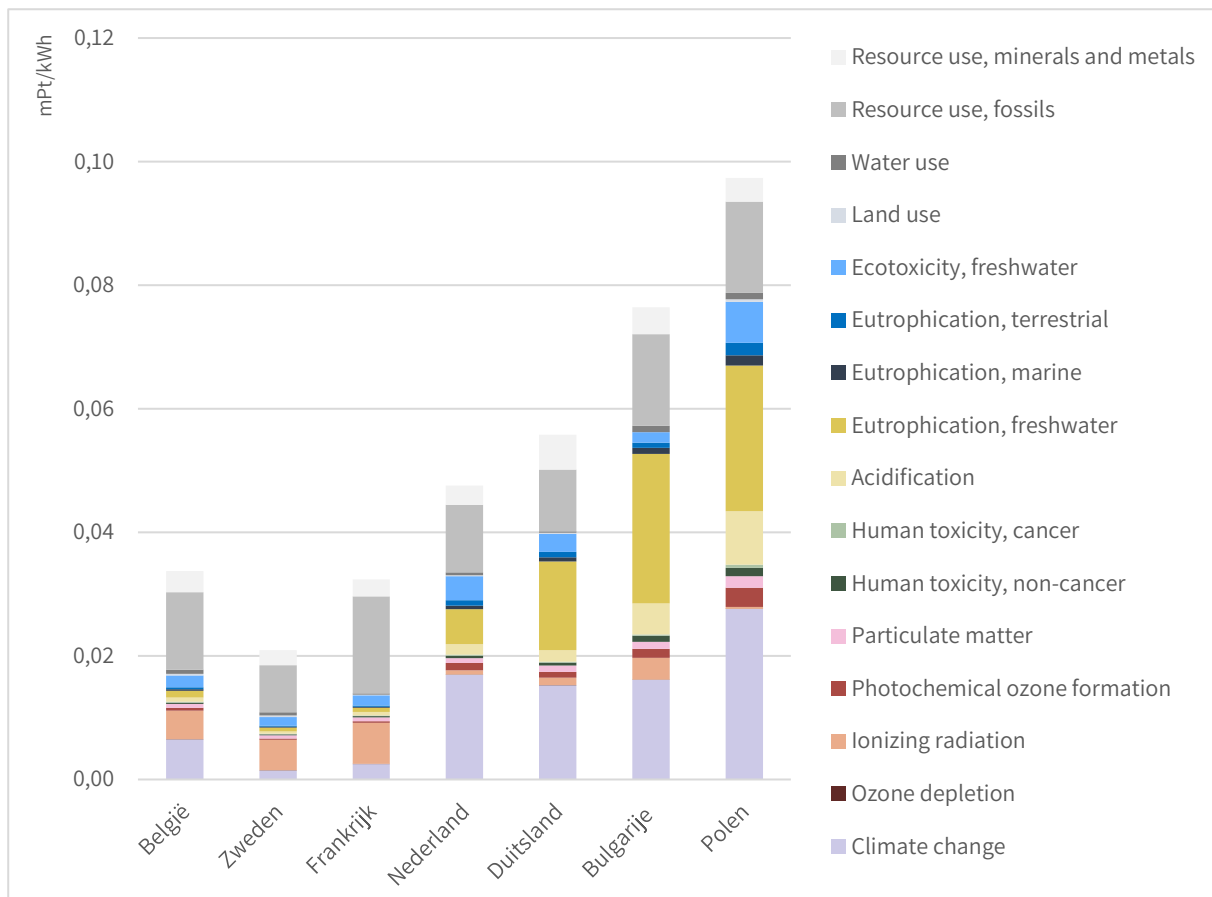
Bij het simuleren van elektriciteit werd een standaard verdeling gebruikt voor huishoudens in België, met een respectievelijk aandeel groene stroom, stroom afkomstig van fossiele brandstoffen, kernenergie.... Deze laatste bedraagt 59% van de Belgische elektriciteitsmix in ecoinvent. Dit gebruikte proces in SimaPro werd opgesteld in 2014 en werd verondersteld representatief te zijn tot 2019. Dit einde is momenteel al vier jaar verstreken, waardoor de elektriciteitsmix niet meer volledig representatief is. Door de geplande uitfasering van kernenergie zal deze bijdrage steeds kleiner worden. In 2022 bedroeg dit aandeel nog 47,3%, met op de tweede plaats gas, goed voor 26,9% (Elia Group, 2023). Indien in de toekomst meer wordt ingezet op hernieuwbare energie aan de hand van zonnepanelen, windmolens etc., kan de milieu-impact van het mechanisch kuisen veranderen en lager worden.

Er wordt gekeken naar de milieu-impact van 1 kWh in Zweden om het resultaat van meer hernieuwbare energie in te schatten, aangezien in Scandinavische landen typisch meer duurzame energiebronnen worden gebruikt. In 2021 bestond de elektriciteitsmix voor Zweden het grootste deel uit energie afkomstig van waterkracht met 43%. De tweede grootste bijdrager was opnieuw kernenergie met 31% (Statista, 2023a). Verder worden ook andere landen in Europa bekeken om de verschillen aan te kaarten.



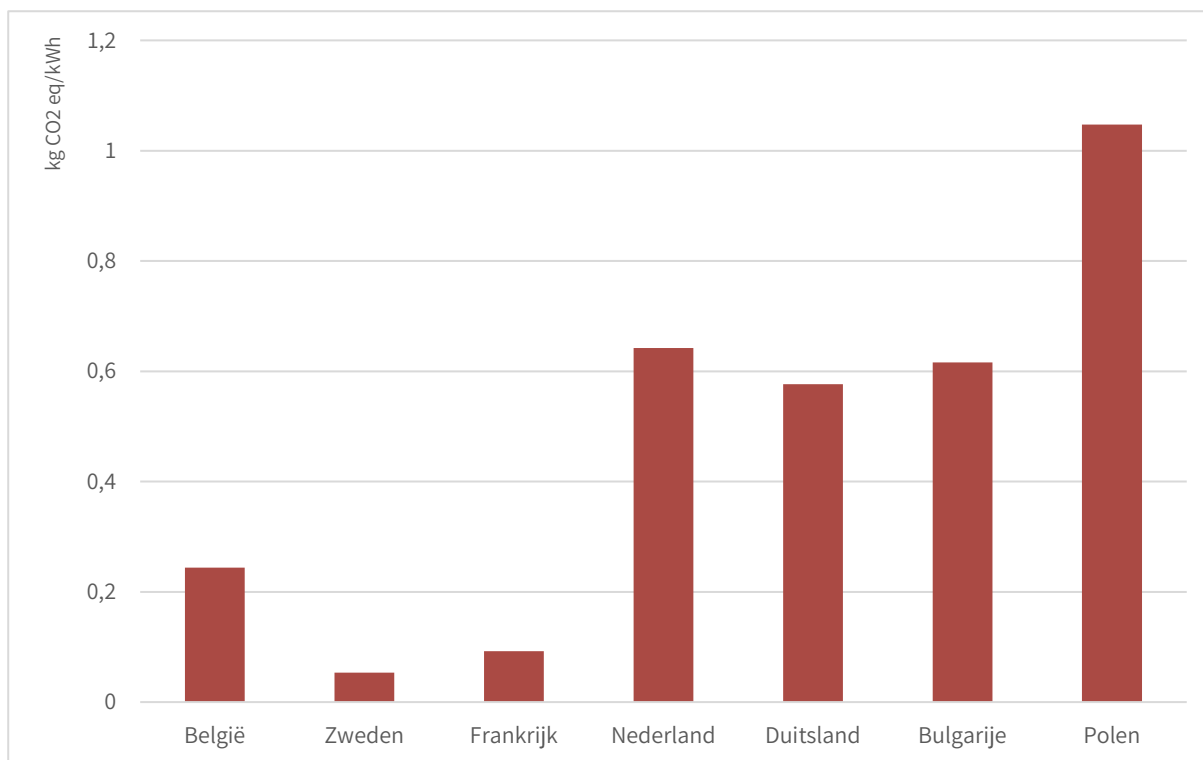
Figuur 120: ReCiPe, totaalscore, voor sensitiviteit elektriciteitsmix binnen Europa

In figuur 120 kan worden waargenomen dat de milieu-impact per kWh kan halveren indien een andere elektriciteitsverdeling wordt gehanteerd. Zoals werd vermoed is de impact voor 1 kWh in Zweden lager met een daling van 55,04%. Dit is voornamelijk te wijten aan het grote aandeel waterkracht. In Frankrijk ligt deze milieuscore ook aanzienlijk lager ten opzichte van België, waarbij het mechanisch kuisen in dit land ook een kleiner aandeel zal vertegenwoordigen in alle terugwinningprocessen. Verder zijn ook grote verschillen te bemerken, waarbij buurlanden Nederland en Duitsland een milieu-impact hebben per kWh die twee keer zo groot is als België. Deze impact komt doordat in Nederland de elektriciteitsmix voor 47% afkomstig is van gas (European Commission, 2022a). De hogere impact in Duitsland is desondanks het aandeel van 44,0% hernieuwbare bronnen in 2022, voornamelijk te wijten aan bruinkool en steenkool die samen 31,3% representeren (Destatis, 2023). Gas en beide soorten kool worden gezien als meer vervuilende bronnen. Dit toont aan dat indien een meer belastende manier van energieopwekking wordt gebruikt, het zeer negatieve gevolgen kan hebben. Dit is ook het geval in Bulgarije en Polen, waar het aandeel voor mechanisch kuisen significant zal stijgen.



Figuur 121: PEF, midpoint, verdeeld per indicator voor sensitiviteit elektriciteitsmix

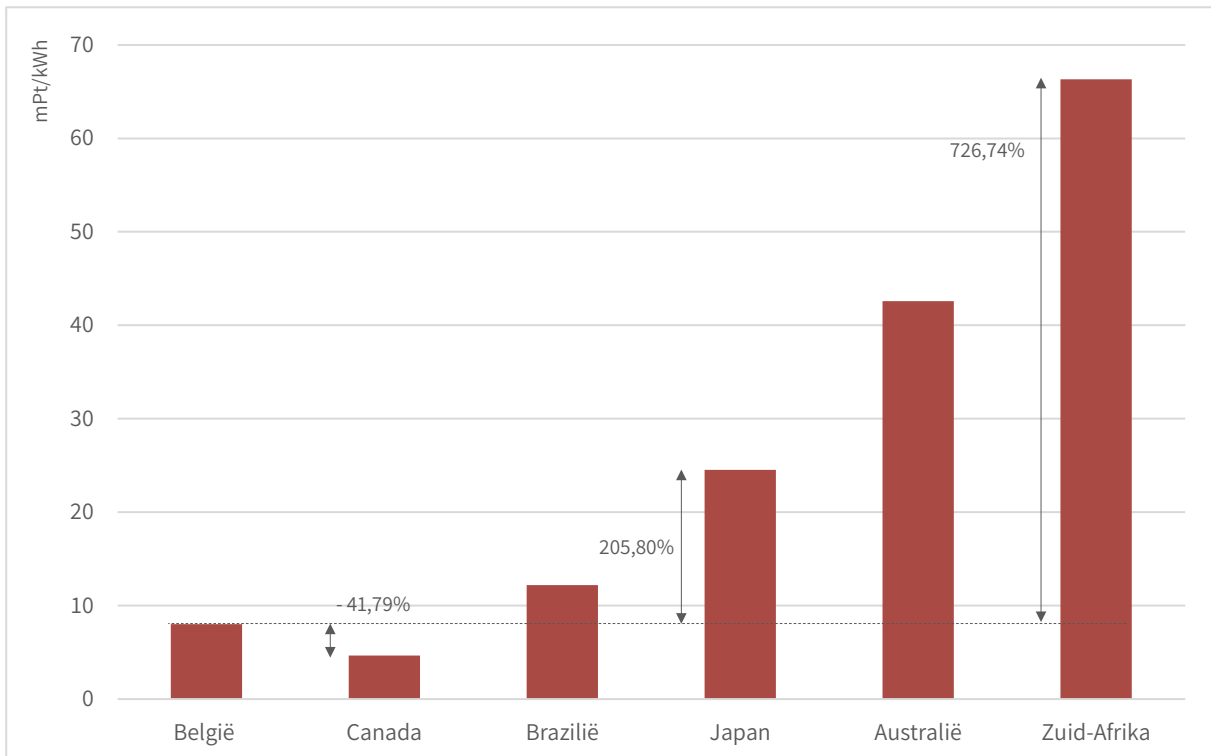
Indien naar deze landen gekeken wordt met de PEF-methode worden over het algemeen dezelfde verschillen waargenomen. De impact van *Climate change* daalt aanzienlijk bij Frankrijk en Zweden terwijl deze in de andere landen sterk gestegen is. Opvallend is ook dat *Eutrophication, freshwater* bij deze laatste vier landen een enorm aandeel zal vertegenwoordigen, terwijl dit slechts een fractie representeert bij België en meer duurzame landen. Dit proces is mogelijks veroorzaakt door industriële afvalproducten voortkomend uit bruin- en steenkoolinstallaties. Omgekeerd is in België, Zweden en Frankrijk een aanzienlijk deel *Ionizing radiation* te vinden dat in de andere landen minimaal is. Ook dit is gerelateerd aan de processen voortkomend uit verbranding van brandstoffen en in mindere mate de straling gepaard aan nucleaire brandstoffen (IndEcol, 2019b).



Figuur 122: IPCC 2013 GWP 100a, totaalscore, voor sensitiviteit elektriciteitsmix

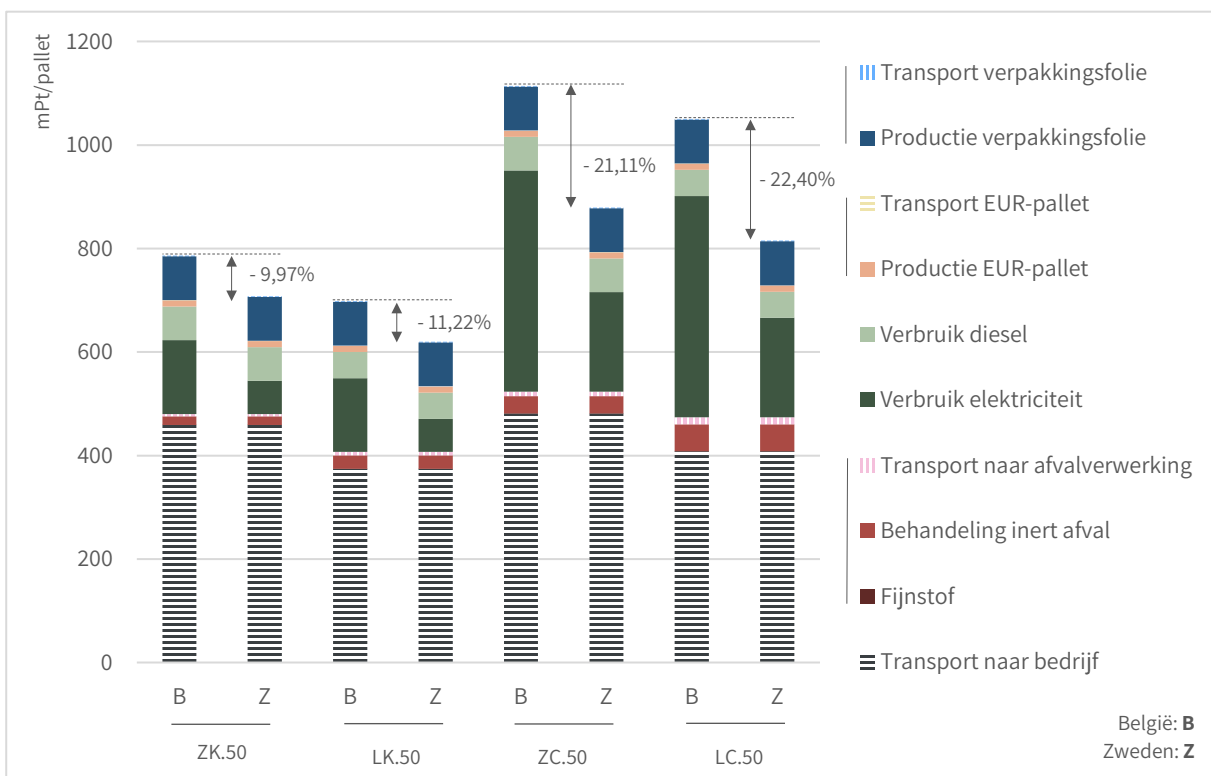
De impact van het elektriciteitsverbruik kan evengoed voorgesteld worden in een CO₂ equivalent. Voor elk land en hun respectievelijke elektriciteitsmix wordt via de IPCC 2013 GWP 100a-methode het aardopwarmingsvermogen bekeken voor 1 kWh verbruik. De verhoudingen tussen deze scores zijn gelijkaardig met deze van de milieu-impact, berekend volgens de ReCiPe-methode. Een uitzondering is te vinden bij Nederland en Duitsland. Het gebruik van gas als opwekkingsmethode zal naast de milieu-impact ook een hoge uitstoot veroorzaken. In het geval van Nederland is hier dubbel zo veel gebruik van gemaakt in vergelijking met België. De score bij Duitsland en een nog hogere bij Polen zal veroorzaakt worden door het gebruik van bruin- en steenkool (International trade administration, 2022). Bulgarije maakt echter meer gebruik van de verbranding van fossiele brandstoffen (European Commission, 2022b). Het resultaat dat bij België, Zweden en Frankrijk een stuk lager zal liggen, is te wijten aan een andere elektriciteitsmix. Voornamelijk door het gebruik van nucleaire opwekking, zal de milieuscore in deze landen lager liggen. In Frankrijk was deze opwekking in 2022 goed voor 63% van de totale elektriciteitsmix (Statista, 2023b).

Indien we enkele landen bekijken over de hele wereld kan hetzelfde worden waargenomen. Grote verschillen over de landen heen zijn op te merken, waarbij aan Canada 4,65 mPt/kWh kan worden toegeschreven terwijl dit bij Zuid-Afrika met 66,31 mPt/kWh veertien keer groter is.



Figuur 123: ReCiPe, totaalscore, voor sensitiviteit elektriciteitsmix buiten Europa

Tot slot worden de situaties van mechanisch kuisen aangepast naar een elektriciteitsmix van Zweden, om in verhouding tot de andere terugwinningsprocessen de daling waar te nemen. Bij het kuisen van bakstenen afkomstig uit een toepassing met kalkmortel, kan een daling van 10% worden opgemerkt. Voor stenen met cementmortel, is deze winst twee keer zo groot met meer dan 20%.



Figuur 124: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor sensitiviteit elektriciteitsmix Zweden. Transportprocessen zijn steeds aangeduid met een arcering. Vetgedrukte onderschriften corresponderen met de originele situaties.

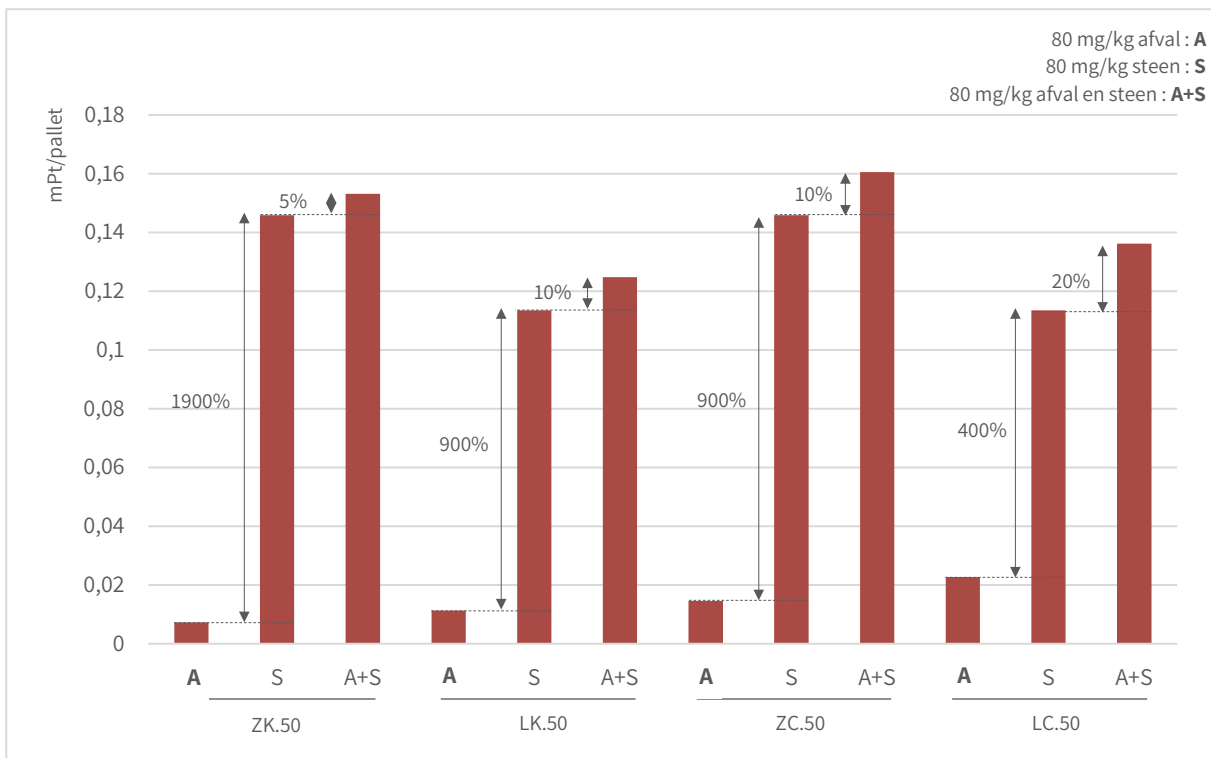
Tabel 15: Totaalscore voor beginscenario's, sensitiviteit elektriciteitsverbruik België en Zweden

Elektriciteitsmix	Scenario's			
	ZK.50	LK.50	ZC.50	LC.50
België [mPt/pallet]	786,34	698,57	1114,54	1050,64
Zweden [mPt/pallet]	707,95	620,17	879,17	815,27

De oorsprong van elektriciteit kan significante verschillen teweeg brengen in de impact ervan. Indien meer hernieuwbare bronnen worden gebruikt kan de extra impact afkomstig van het aandrijven van een compressor sterk gereduceerd worden. Zodoende wordt het verschil in milieuscore bij stenen afkomstig van kalkmortel en cementmortel ook steeds kleiner. Dit kan in de toekomst het gebruik van een mechanische reinigingstechniek bevorderen indien het economisch interessanter blijkt voor de handelaar.

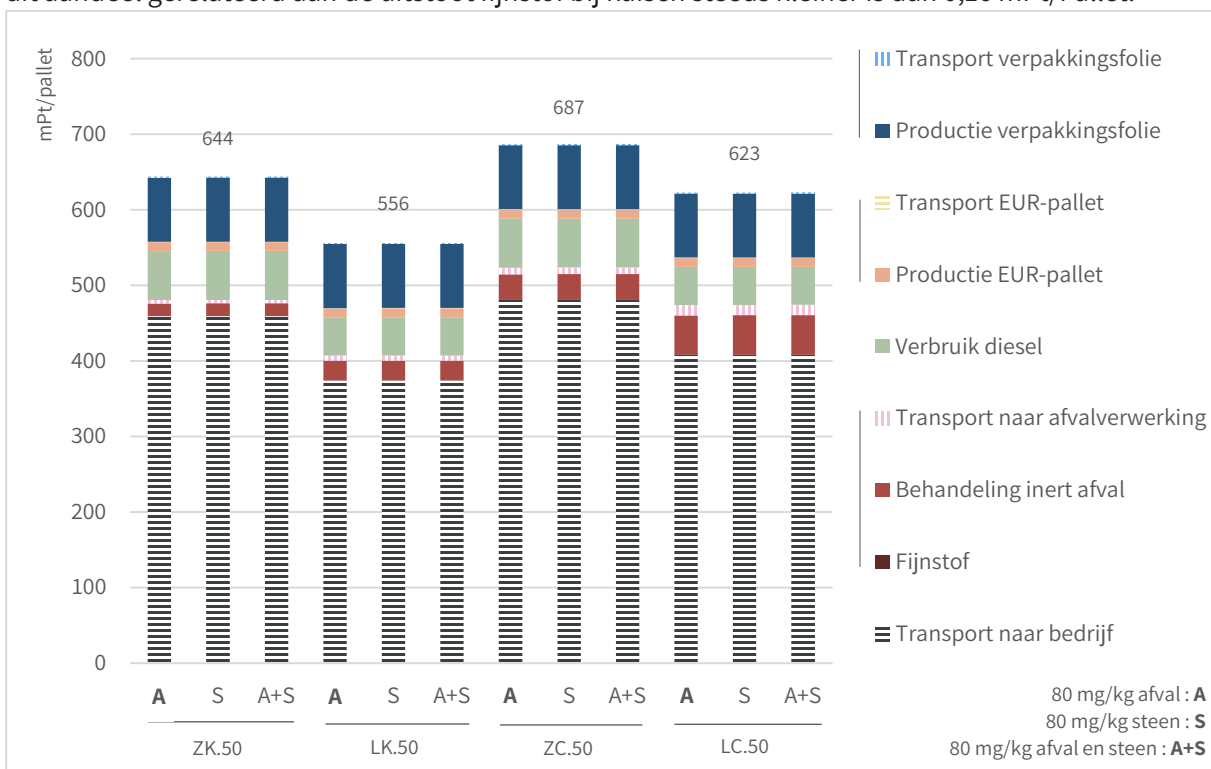
2.4. Hoeveelheid fijnstof die vrijkomt tijdens het kuisen

In de studie werd de hoeveelheid fijnstof die vrijkomt bij het reinigen enkel toegekend aan het percentage afval, afhankelijk van de verschillende types. Hierbij werd verondersteld dat 80 mg fijnstof uitgestoten wordt per kg afval. In dit deel wordt bekeken hoeveel verandering er teweeg wordt gebracht door deze uitstoot toe te kennen aan de volledige massa stenen die gereinigd worden. Deze manier zorgt ervoor dat de uitstoot fijnstof dus gelijk is indien dezelfde densiteit wordt bekeken. Als derde optie wordt ook een situatie bekeken die de vorige twee combineert, namelijk 80 mg fijnstof die vrijkomt per kg van de volledige massa stenen met bovenop nog 80 mg fijnstof per kg afval. Hierbij is de uitstoot fijnstof dus opnieuw afhankelijk van het verliespercentage. De hoeveelheden fijnstof die correleren met deze situaties zijn te vinden in figuur 125.



Figuur 125: ReCiPe, totaalscore, voor sensitiviteit fijnstof. Vetgedrukte onderschriften corresponderen met de originele situaties.

In de originele situatie was de uitstoot fijnstof verwaarloosbaar en niet te zien in de totale milieuscore die steeds meer dan 550 mPt/pallet bedraagt. Ondanks de grotere uitstoot ervan in de twee gewijzigde situaties is dit nog steeds het geval. Op de totale milieu-impact is weinig verschil te merken doordat dit aandeel gerelateerd aan de uitstoot fijnstof bij kuisen steeds kleiner is dan 0,16 mPt/Pallet.



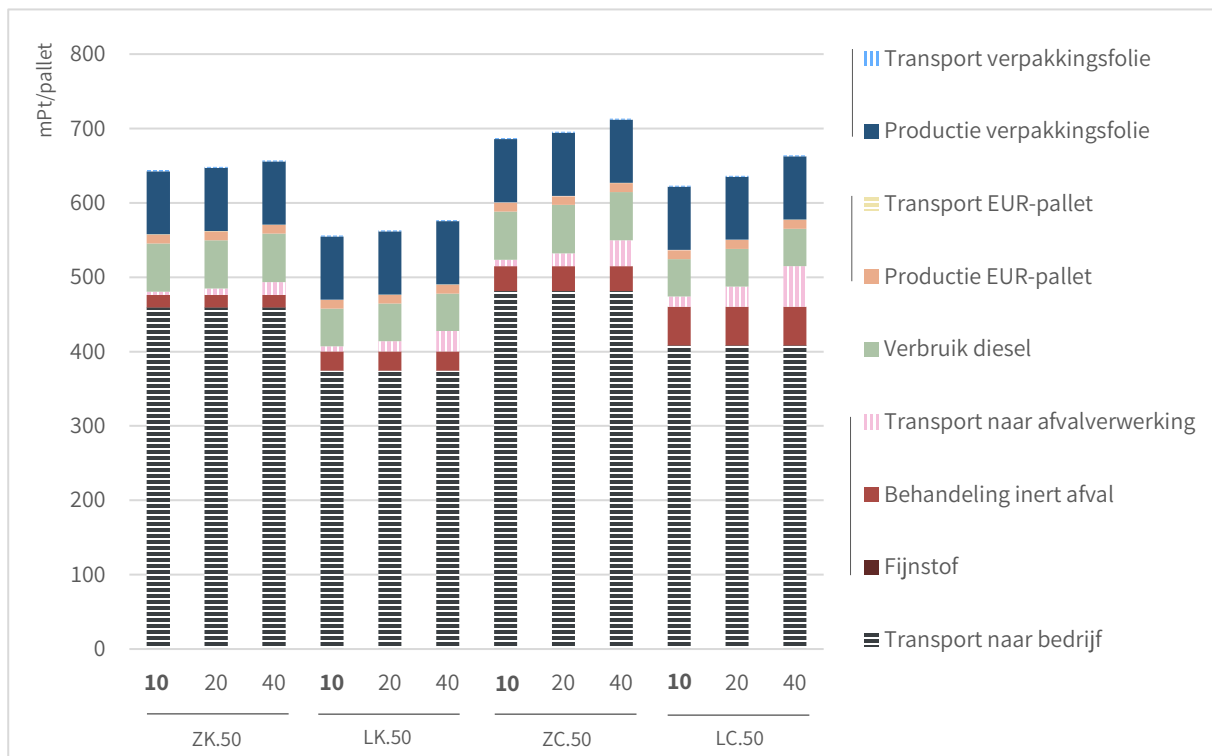
Figuur 126: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor sensitiviteit fijnstof. Transportprocessen zijn steeds aangeduid met een arcering. Vetgedrukte onderschriften corresponderen met de originele situaties.

Ondanks dat het aandeel fijnstof vrijgekomen bij het kuisen van de stenen minstens 400% zal stijgen, blijft het een verwaarloosbaar aandeel in de totale milieu-impact. Zoals eerder vermeld omvat de impactcategorie *Particulate Matter* wel een aanzienlijk deel in de totale milieuscore, maar deze komt niet voort uit het handmatig kuisen van de stenen.

2.5. Transportafstand van afval naar verwerkingsplaats

In het onderzoek wordt bij A1-3 een afstand van 10 km gehanteerd voor het transport van steenpuin naar een maalderij voor afvalverwerking. In tegenstelling wordt bij C2 voor het transport van afval bestemd voor recyclage een afstand van 30 km vooropgesteld aan de hand van figuur 2 in bijlage 3. In dit deel wordt nagegaan of deze afstand van 10 km in het eerste deel van de studie een sterke daling veroorzaakt in de waarde of dat de impact beperkt is. Deze analyse komt tot stand door ook 20 km en 40 km te simuleren voor de transportafstand naar de verwerkingsplaats.

Deze aanpassingen resulteren uitsluitend in veranderingen bij ‘Transport naar afvalverwerking’, die steeds een grotere waarde heeft naargelang een grote afstand wordt bekeken. Ook is bij een grotere densiteit van de stenen of een groter verliespercentage deze stijging beter waar te nemen.



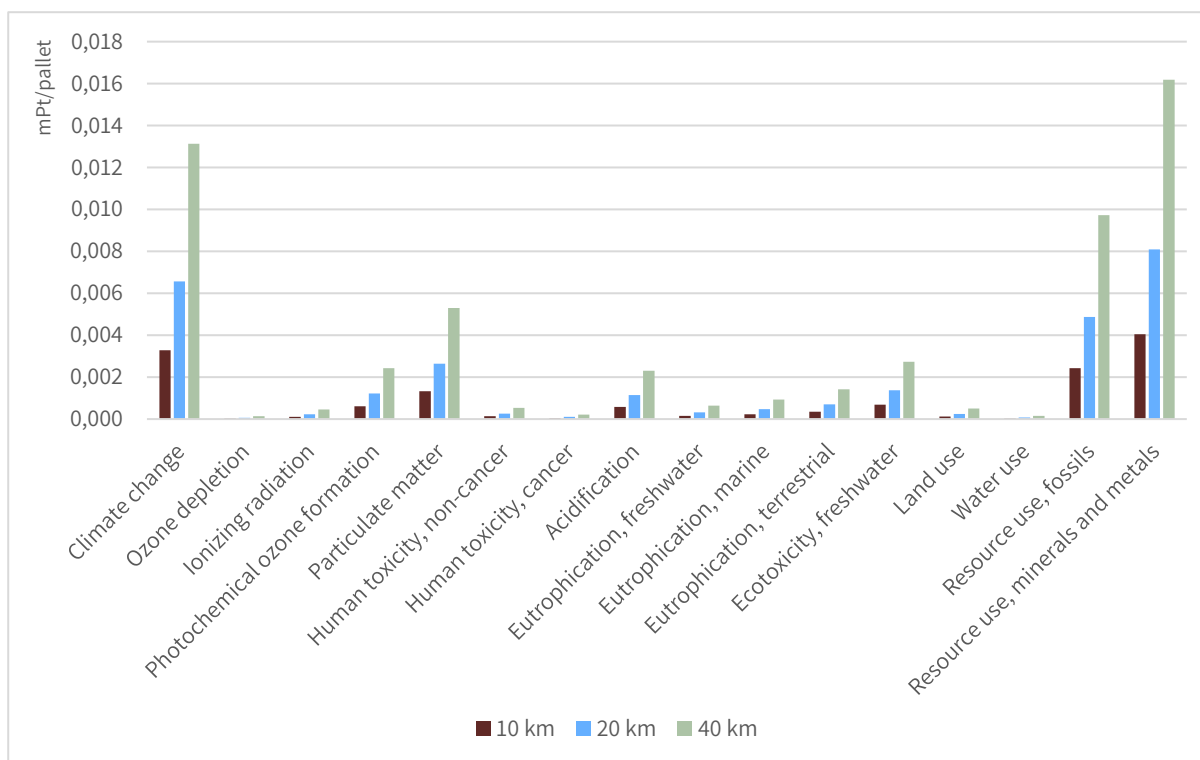
Figuur 127: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor sensitiviteit transportafstand. Transportprocessen zijn steeds aangeduid met een arcering. Vetgedrukte onderschriften corresponderen met de originele situaties.

Tabel 16: Totaalscore en procentuele verschillen voor basisscenario's, sensitiviteit transportafstand

Scenario's								
[mPt/pallet]	ZK.50		LK.50		ZC.50		LC.50	
Transportafstand								
10 km		643,89		556,12		686,87		622,92
20 km	+0,68%	648,27	+1,22%	562,92	+1,27%	695,62	+2,18%	636,58
40 km	+2,04%	657,02	+6,67%	576,54	+3,87%	713,12	+6,55%	663,80

Over het algemeen is deze stijging minimaal, waarbij enkel voor LC.50 met 40 km een stijging van meer dan 5% te vinden is. Er kan aldus geconcludeerd worden dat het aannemen van 10 km in A1-3 niet resulteert in significante onderschattingen. België is dan ook een dichtbebouwd land, waarbij een maalterij steeds relatief dichtbij te vinden is.

De impact-indicatoren kunnen vervolgens bekeken worden volgens de PEF-methode. Dit gebeurt voor de drie afstanden met in beschouwing een pallet zware stenen. Meteen is te zien dat de scores recht evenredig zijn met de transportafstanden. Logischerwijs zal wanneer de afstand verdubbelt, ook de scores van de verschillende indicatoren verdubbelen. Effecten gerelateerd aan het brandstofverbruik zullen hier de hoogste waarden in nemen.



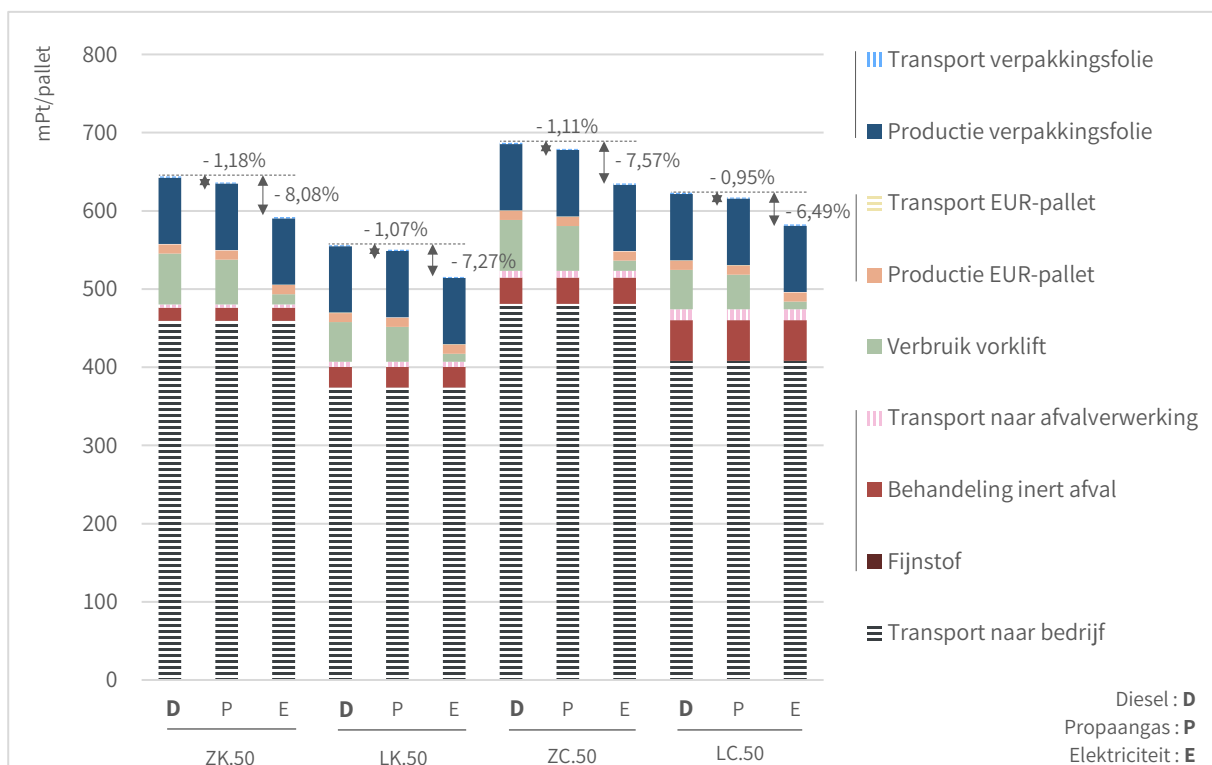
Figuur 128: PEF, midpoint, verdeeld per indicator voor sensitiviteit transportafstand

Ondanks dat bij de indicatoren een zekere stijging kan waargenomen worden naarmate de transportafstand groter wordt, is deze stijging in de totale waarde beperkt. De verschillen hierdoor teweeg gebracht zullen als niet-significant beschouwd worden.

2.6. Soort brandstof gebruikt bij vorklift

Verschiede methoden kunnen worden aangewend om een vorklift aan te drijven. Zowel diesel als propaangas kunnen als brandstof worden gebruikt, maar ook een vorklift met batterij bestaat tot de mogelijkheden. Bij dit laatste wordt de batterij steeds opgeladen aan de hand van elektriciteit. De berekening van de verbruikte hoeveelheid propaangas en elektriciteit voor 10 minuten rondrijden met een vorklift zijn te vinden in tabel 3 in bijlage 1. Deze drie opties worden vergeleken in onderstaande figuur 129.

Opnieuw resulteert deze aanpassing enkel in veranderingen in één fase van de terugwinning, in dit geval 'Verbruik vorklift'. Deze categorie heette voordien in de studie steeds 'Verbruik diesel', maar werd hier hernoemd om beter te correleren met de verschillende ingegeven processen.



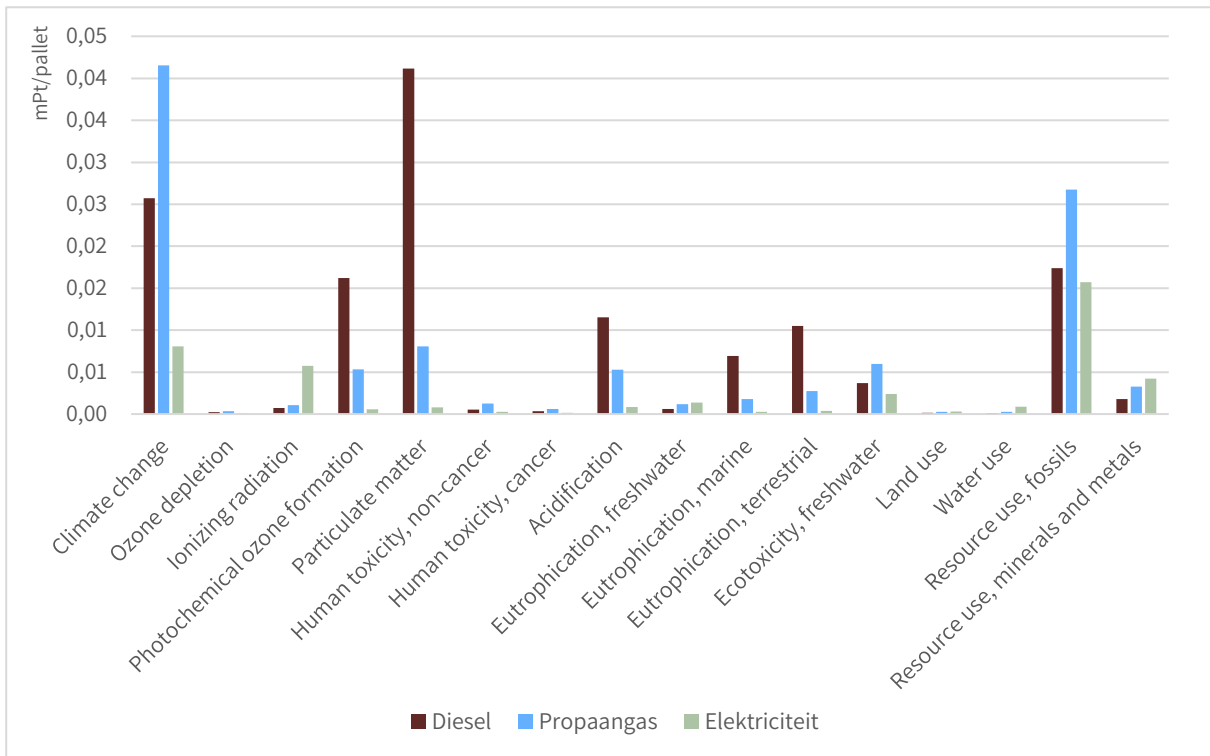
Figuur 129: ReCiPe, totaalscore, verdeeld per proces voor sensitiviteit soort brandstof. Transportprocessen zijn steeds aangeduid met een arcering. Vetgedrukte onderschriften corresponderen met de originele situaties.

Tabel 17: Totaalscore voor lichte en zware stenen, sensitiviteit soort brandstof

	Soort brandstof/aandrijving		
[mPt/pallet]	Diesel	Propaangas	Elektriciteit
Soort stenen			
Lichte stenen	50,50	44,57	10,05
Zware stenen	64,93	57,30	12,92

In tabel 17 is te zien dat een vorklift met diesel de grootste milieuscore teweeg brengt. Deze is steeds afhankelijk van de densiteit van de stenen. Het gebruik van een vorklift met propaangas brengt een reductie teweeg in de totale milieuscore, maar deze is miniem met maar 1%. De grootste besparing kan echter gevonden worden bij een vorklift met batterij en zorgt voor een impact die slechts een vijfde is van deze afkomstig van een vorklift met diesel. Het gebruik van elektriciteit kan dus bij ‘Verbruik vorklift’ al een significante reductie veroorzaken met gemiddeld 80,01%.

Voor deze drie opties bij ‘Verbruik vorklift’ wordt ook gekeken naar de PEF-methode. In figuur 130 valt opnieuw te zien dat voornamelijk bij diesel en propaangas de grootste waarden zitten. Dit is niet verwonderlijk aangezien deze totale milieuscores ver uitsteken boven de optie met elektriciteit. Vooral *Particulate matter* wordt sterk beïnvloed door diesel, terwijl deze waarde bij propaangas en voornamelijk elektriciteit beperkt is. Het gebruik van propaangas heeft op zijn beurt de grootste impact bij de indicator *Climate Change*, die in verhouding even groot is als deze van diesel op *Particulate matter*. Het verbruik van elektriciteit zorgt voor een bijna even grote impact op de indicator *Resource use, fossils* als diesel, maar opnieuw neemt propaangas hier de bovenhand. Dit aandeel door het gebruik van elektriciteit voor het opladen van een batterij kan verklaard worden door het gebruik van vervuilende grondstoffen bij het opwekken van elektriciteit in de Belgische elektriciteitsmix. Naast deze indicator steekt een vorklift met batterij ook uit in enkele andere indicatoren, zoals *Ionizing radiation*, *Water use* en *Resource use, minerals and metals*. Deze aandelen zijn echter miniem ten opzichte van deze in andere categorieën door diesel en propaangas.



Figuur 130: PEF, midpoint, verdeeld per indicator voor sensitiviteit soort brandstof

Het onderzoeken van verschillende mogelijkheden bij een vorklift toont aan dat er aanzienlijke besparingen kunnen worden gemaakt bij het verbruik ervan. De resultaten tonen aan dat een vorklift met batterij de beste optie blijkt om de laagste milieu-impact te bekomen. Deze impact kan opnieuw nog verder dalen indien een meer hernieuwbare elektriciteitsmix wordt gebruikt.

CONCLUSIE

Het doel van deze masterproef bestond erin de terugwinningsprocessen nodig om het hergebruik van keramisch gevelmetselwerk mogelijk te maken, te onderzoeken en de milieu-impact die ermee gepaard gaat in kaart te brengen. Om een beter idee te hebben van deze waarden, werd ook de vergelijking gemaakt met nieuw geproduceerde stenen. Aangezien er weinig informatie beschikbaar is over de hergebruikmarkt, werd op basis van bezoeken aan handelaars in deze sector data verzameld. Op deze manier konden de terugwinningsprocessen en de discrepanties hiertussen bij de specialisten onderzocht worden. Door middel van een levenscyclusanalyse, aan de hand van de software SimaPro, kon de milieu-impact die aan deze processen gekoppeld is worden berekend. De studie werd opgedeeld in drie onderdelen waarbij steeds andere systeemgrenzen werden beschouwd. Zodoende kon dieper ingegaan worden op de afzonderlijke modules. Het eerste deel keek naar de terugwinning van de stenen zelf in modules A1-3, met als start het transport van de stenen naar het bedrijf dat instaat voor de terugwinning. Een tweede deel nam de hele levenscyclus in beschouwing van module A tot en met C, met uitzondering van de gebruiksfase B. Tot slot werd ook deze laatste module C nog apart genomen om de impact van selectieve sloop, die de basis kan vormen voor hergebruik in een volgende levenscyclus, te vergelijken met destructieve sloop.

Doorheen de studie werd duidelijk dat de keuze naar hergebruik toe, een enorm grote invloed zal hebben op de verworven milieu-impact en hieraan gerelateerde effecten. Over de verschillende modules heen werd een sterke reductie in de milieu-impact bij de resultaten waargenomen wanneer het hergebruiken van gevelstenen werd vergeleken met een nieuwe variant. Het implementeren van hergebruik bij keramische gevelstenen moet om deze redenen steeds gestimuleerd worden. Wanneer dieper ingegaan werd op de respectievelijke impact van de afzonderlijke modules in de levenscyclus, kon deze gekoppeld worden aan de verschillende terugwinningsprocessen.

Uit het onderzoek kwam voort dat transport een enorm grote rol speelt in alle fasen. Afhankelijk van de afstand die de stenen afleggen naar het bedrijf of de nieuwe werf, kan de milieuscore hieraan gekoppeld sterk dalen of stijgen. Het is om deze reden aan te raden zoveel mogelijk beroep te doen op lokale werven en bedrijven. Het afleggen van 1000 km zorgt er immers voor dat de winst geboekt door het gebruik van gerecupereerde stenen teniet gaat. Het gebruik van biobrandstof of andere duurzamere alternatieven kan deze impact reduceren, maar zorgt voor een grotere financiële kost. Hetzelfde fenomeen kan ook toegepast worden op het verbruik van elektriciteit voor mechanisch kuisen en voor andere machines. De manier waarop deze elektriciteit wordt opgewekt kan de impact positief beïnvloeden indien meer hernieuwbare bronnen worden gebruikt. Deze effecten zijn gerelateerd aan het soort steen en de toepassing waarbinnen deze gebruikt zijn. Zo zullen zwaardere stenen meer brandstof verbruiken bij transport tegenover lichte en zal het gebruiken van cementmortel de tijdsduur nodig voor het reinigen vergroten in vergelijking met kalkmortel.

Deze mortelsoort, gebruikt in een nieuw project, heeft enkele gevolgen. Door een groter aandeel cement in cementmortel ten opzichte van bastaardmortel is de milieu-impact hiervan groter. Daarnaast zorgt cementmortel er ook voor dat de terugwinning van de stenen later bemoeilijkt wordt. Indien aannemers merken dat het ontmantelen van de stenen bij selectieve sloop te laborieus is, zal het niet rendabel zijn deze operatie verder uit te voeren. Het gebruik van bastaardmortel daarentegen, maakt dit opnieuw eenvoudiger. Deze mortelsoort heeft eigenschappen die dichter aanleunen bij het metselwerk zelf, waardoor een meer homogeen geheel wordt bekomen. Daarnaast is bastaardmortel

ook elastischer en vertoont het minder krimp ten opzichte van cementmortel (het MOT, 2023b). Het is dan ook aangeraden deze mortelsoort te gebruiken in nieuwe toepassingen. Het enige nadeel hierbij is de langere verhardingstijd (het MOT, 2023b).

Naast de verschillen in productie en terugwinning, kunnen er toch overeenkomstige processen gevonden worden bij nieuwe en hergebruikte stenen. Zo zal de invloed die verpakkingsmaterialen hebben, respectievelijk pallets en folie, sterk doorwegen in de totaalscore bij gerecupereerde stenen. Alhoewel pallets hergebruikt kunnen worden, is dit niet het geval voor de folie. De productie uit fossiele brandstoffen en afvalverwerking na gebruik zullen nadelige gevolgen hebben voor het milieu. Door gebruik van duurzame en herbruikbare verpakkingsmethodes kan deze invloed gereduceerd worden

Ondanks de besparing in milieu-impact en mogelijkheden om deze binnen de individuele terugwinningsprocessen verder te doen dalen, moeten er binnen de hergebruiksector enkele bedenkingen gemaakt worden. De volledige bouwindustrie is een kosten-gedreven sector. Alles wordt zo goedkoop en zo snel mogelijk uitgevoerd. Arbeidsintensieve processen nodig voor de terugwinning van bouwmaterialen en specifiek deze voor keramische gevelstenen, gaan hier tegenin. Vanaf de sloop, naar het sorteren en kuisen, tot het stapelen van de stenen zal alles grotendeels manueel verlopen. Dit betekent dat er meer personeel nodig is, wat de kosten voor deze mankracht zal opdrijven. Niet elk bedrijf heeft deze inspanning er voor over. Afgezien daarvan kan bij het hergebruik van stenen de ontginning van grondstoffen en het gebruik van brandstof voor het bakken van de stenen in ovens worden vermeden. Hierdoor ligt de uiteindelijke prijs van deze gerecupereerde keramische gevelstenen vaak onder deze van nieuw geproduceerde stenen. In de huidige samenleving zijn reeds een zekere hoeveelheid bedrijven te vinden die zich toespitsen op het vlak van hergebruik. Niet alleen in België, maar ook hierbuiten worden verschillende technieken toegepast voor het terugwinnen van keramische gevelstenen. Samenwerkingen tussen deze actoren en het uitwisselen van informatie kan leiden tot een meer uniforme manier van terugwinning, waardoor ook het hergebruik vlotter zal verlopen. Desondanks is er veel concurrentie tussen deze actoren.

Circulaire strategieën zullen een belangrijke rol innemen om toekomstige doelstellingen omtrent duurzaamheid en het verlagen van de milieu-impact te behalen. De recuperatie en het hergebruik van gevelstenen, heeft bewezen hierbinnen een belangrijke besparing teweeg te brengen. Dit is bijgevolg een zeer efficiënte manier om op deze effecten, zoals het verminderen van afval, in te spelen. Toch moet er een verandering optreden binnen dit discours. Knelpunten, die verdere implementatie tegenhouden, moeten worden overwonnen en ook het harmoniseren van terugwinningsprocessen wordt aangeraden. Hergebruik van gevelstenen heeft reeds een lange weg ondergaan, waarbij positieve veranderingen zijn gerealiseerd, maar hierin kunnen zeker nog extra stappen genomen worden.

BRONNEN

- About us / Rotor Deconstruction – Reuse of building materials made easy.* (2023). Rotor Deconstruction scl. <https://rotordc.com/aboutus-1>
- Baeck, M. (2013). De Belgische industriële vloer- en wandtegel: een kleurrijk stukje geschiedenis. *Polycaro Nationaal vaktijdschrift voor natuursteen, keramiek & kwartscomposiet*, 42, 32–38. https://www.academia.edu/4314125/De_Belgische_industri%C3%ABle_vloer_en_wandtegel_een_kleurrijk_stukje_geschiedenis
- Be Circular, & Dawans, A. D. (2019, 27 maart). *60m³ bakstenen die ter plaatse worden hergebruikt – Project Loodtoren, Arnaud Dawans.* Be Circular. Geraadpleegd op 27 april 2023, van <https://www.circulareconomy.brussels/60m3-de-briques-reutilisees-sur-site-projet-tour-a-plomb-arnaud-dawans/?lang=nl>
- Belgische baksteenfederatie vzw. (2021). *Jaarverslag, de Belgische baksteenindustrie in 2021.* Geraadpleegd op 11 april 2023, van <https://www.baksteen.be/media/2347/2021-jaarverslag-bbf-publieke-versie.pdf>
- Belgische baksteenfederatie vzw. (2023). *Baksteenfabricage* [Brochure]. Geraadpleegd op 11 april 2023, van <https://www.baksteen.be/downloads/baksteenfabricage/>
- Bertin, I., Saadé, M., Roy, R. J. L., Jaeger, J., & Feraille, A. (2022). Environmental impacts of Design for Reuse practices in the building sector. *Journal of Cleaner Production*, 349, 131228. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131228>
- 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. Geraadpleegd op 20 december 2022, van <https://www.bpie.eu/wp-content/uploads/2022/01/SPIPA-LCA-2022FINAL.pdf>
- Bounds, L. (2023, 3 maart). *Bæredygtighedsklassen: a new measure to decarbonise construction in Denmark.* One Click LCA® software. Geraadpleegd op 21 maart 2023, van <https://www.oneclicklca.com/baeredygtighedsklassen-low-carbon-targets-for-denmark-construction/>
- BR18.* (2023). Bygningsreglementet. Geraadpleegd op 21 maart 2023, van <https://bygningsreglementet.dk/>
- Campbell, J. W. (2003). Baksteen: geschiedenis, architectuur, technieken.
- Castro, F. (2021). Kamikatz Public House / Hiroshi Nakamura & NAP. *ArchDaily*. <https://www.archdaily.com/892767/kamikatz-public-house-hiroshi-nakamura-and-nap>

- CEN. (2011). NBN EN 15978: Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method. In *MyNBN*. Geraadpleegd op 24 februari 2022, van <https://edu.mynbn.be/pdfMeta/RO/429889?l=E>
- Centen Bouwmaterialen BV. (2023). *Metsel benodigdheden*. [onlinebakstenenkopen.nl](https://www.onlinebakstenenkopen.nl). Geraadpleegd op 18 maart 2023, van <https://www.onlinebakstenenkopen.nl/metselbenodigdheden>
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2023). *Gewichtseenheden energie*. Geraadpleegd op 10 maart 2023, van <https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/begrippen/gewichtseenheden-energie?fbclid=IwAR1NHxOP4ODTeolevmR1lyJb4SteYzM3W3W0gpG2VtJjBsKTPQ9BxWz3ads#:~:text=%2D%20Gas%2D%2C%20diesel%2D%20en,liter%20%3D%200%2C88%20kilogram>
- Cerame-Unie. (2021). *Ceramic roadmap to 2050*. Geraadpleegd op 18 februari 2023, van <https://cerameunie.eu/media/ambd23os/ceramic-roadmap-to-2050.pdf>
- De Jaegher, A., Spirinckx, C., Damen, L., Plancke, L., De Lathauwer, D., & De Leye, J. (2022). *Milieproductverklaringen (EPD's)*. B-EPD. Geraadpleegd op 12 februari 2023, van https://www.health.belgium.be/sites/default/files/uploads/fields/fpshealth_theme_file/bepd-gids-nl.pdf
- De Pauw, M. & De Keuleneer, E. (1996). *De baksteen, een Belgische traditie*. Brussel, België: Centraal Bureau voor Hypothecair Krediet.
- De Wolf, C., Hoxha, E., & Fivet, C. (2020). Comparison of environmental assessment methods when reusing building components: A case study. *Sustainable Cities and Society*, *61*, 102322. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102322>
- Deer, R. (2022, 7 februari). *What Does Closed-Loop Recycling Mean?*. Roadrunner. Geraadpleegd op 19 maart 2023, van <https://www.roadrunnerwm.com/blog/what-does-it-mean-to-close-the-loop>
- Del Rio, D. D. F., Sovacool, B. K., Foley, A., Griffiths, S., Bazilian, M., Kim, J., & Rooney, D. (2022). Decarbonizing the ceramics industry: A systematic and critical review of policy options, developments and sociotechnical systems. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, *157*, 112081. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112081>
- Destatis. (2023, februari). *Gross electricity production in Germany*. Destatis.de. Geraadpleegd op 13 mei 2023, van <https://www.destatis.de/EN/Themes/Economic-Sectors-Enterprises/Energy/Production/Tables/gross-electricity-production.html>

Dhondt, E. D. (2022, 29 maart). *Frituurolie en -vet*. IVAGO. Geraadpleegd op 19 maart 2023, van <https://www.ivago.be/nl/particulier/afval/gids/frituurolie-en-vet>

ecoinvent. (2022, 15 december). *ecoinvent Database*. ecoinvent. Geraadpleegd op 20 april 2023, van <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/#>

Een Europese Green Deal. (2021, 14 juli). Europese Commissie. Geraadpleegd op 18 maart 2023, van https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_nl

Elia Group. (2023, 6 januari). *Elektriciteitsmix voor België in 2022: toename hernieuwbare productie en hoge beschikbaarheid nucleaire park zorgen opnieuw voor netto-export*. Elia.be. Geraadpleegd op 13 mei 2023, van https://www.elia.be/nl/nieuws/persberichten/2023/01/20230106_energymix2022

EPAL Nederland. (2019, 28 oktober). *Informatie over Europallets?*. Geraadpleegd op 18 maart 2023, van <https://epalnl.nl/europallet-informatie/>

E-peil. (2023). Vlaanderen. Geraadpleegd op 21 maart 2023, van <https://www.vlaanderen.be/e-peil>

Erduran, D. Ü., Özkan, S. T. E., & Ulybin, A. (2020). Assessing potential environmental impact and construction cost of reclaimed masonry walls. *International Journal of Life Cycle Assessment, 25(1)*, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01662-2>

European Commission. (2022a). NETHERLANDS Energy Snapshot. In *Europa.eu*. Geraadpleegd op 13 mei 2023, van https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-10/NL_2022_Energy_Snapshot.pdf

European Commission. (2022b). *BULGARIA energy snapshot*. Geraadpleegd op 14 mei 2023, van <https://www.nweurope.eu/projects/project-search/fcrbe-facilitating-the-circulation-of-reclaimed-building-elements-in-northwestern-europe/#tab-3>

European Commission & Business @ Biodiversity. (2021). Biodiversity Measurement Approaches – Summary descriptions: Version January 2021. In *Europa.eu*. Geraadpleegd op 7 april 2023, van <https://ec.europa.eu/environment/biodiversity/business/assets/pdf/tool-descriptions/RECiPe%20and%20BioScope%20summary%20description.pdf>

European Union. (2010). *ILCD Handbook: Analysing of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment*. Geraadpleegd op 11 april 2023, van <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-LCIA-Background-analysis-online-12March2010.pdf>

- FCRBE. (2020a). *Een gids ter bevordering van de integratie van gerecupereerde bouwmaterialen in grootschalige projecten en overheidsopdrachten*. Geraadpleegd op 20 november 2022, van <https://www.nweurope.eu/projects/project-search/fcrbe-facilitating-the-circulation-of-reclaimed-building-elements-in-northwestern-europe/#tab-3>
- FCRBE. (2020b). *Een gids voor het identificeren van bouwproducten met potentieel voor hergebruik*. Vlaanderen circulair. Geraadpleegd op 3 december 2022, van <https://aankopen.vlaanderen-circulair.be/nl/publicaties/download->
- FCRBE. (2021a). *Reuse in environmental impact assessment tools*. Geraadpleegd op 17 november 2022, van https://www.nweurope.eu/media/15802/reuse_in_environmental_impact_assessment_tools_2021.pdf
- FCRBE. (2021b). *Product of afval? Status van hergebruikmaterialen*. Geraadpleegd op 22 november 2022, van https://www.nweurope.eu/media/15816/bookletfcrbenl-4_product_afval.pdf
- FCRBE. (2021c). Milieuvoordelen (impact) van hergebruik in de bouwsector. Geraadpleegd op 4 december 2022, van https://www.nweurope.eu/media/15815/bookletfcrbenl-1_milieuvoordelen_impact.pdf
- FCRBE. (2021c). *Milieuvoordelen (impact) van hergebruik in de bouwsector*. Geraadpleegd op 4 december 2022, van https://www.nweurope.eu/media/15815/bookletfcrbenl-1_milieuvoordelen_impact.pdf
- FCRBE. (2021d). Reuse toolkit: Volle keramische baksteen. In *FCRBE*. Geraadpleegd op 27 april 2023, van <https://www.nweurope.eu/projects/project-search/fcrbe-facilitating-the-circulation-of-reclaimed-building-elements-in-northwestern-europe/news/reuse-toolkit-material-sheets/>
- Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R. B. H., Christiansen, K., & Klüppel, H. (2006). The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(2), 80–85. <https://doi.org/10.1065/lca2006.02.002>
- Franck Bricks*. (2023). Geraadpleegd op 23 april 2023, van <https://www.franck.be/over-ons>
- Franck | Opalis*. (2023). Opalis. Geraadpleegd op 23 april 2023, van <https://opalis.eu/nl/handelaars/franck>
- Fryns - Boret Antieke & Rustieke Bouwmaterialen*. (2023). Fryns - Boret Antieke & Rustieke Bouwmaterialen. Geraadpleegd op 23 april 2023, van <http://fryns-boret.be/>
- Fryns-Boret | Opalis*. (2023). Opalis. Geraadpleegd op 23 april 2023, van <https://opalis.eu/nl/handelaars/fryns-boret>

- Gamle Mursten. (2023a). *THE REBRICK PROJECT*. Geraadpleegd op 27 april 2023, van <http://www.gamlemursten.eu/>
- Gamle Mursten. (2023b). *Gamle Mursten*. Geraadpleegd op 27 april 2023, van <http://gamlemursten.dk/>
- Gavilán, A. B. R., Cuesta, A., Iglesias, M. J., Perez, M. J., Olea, M. J. A., & Valdizán, J. C. (2018). Experimental Study of the Mechanical Behaviour of Bricks from 19th and 20th Century Buildings in the Province of Zamora (Spain). *Infrastructures*, 3(3), 38. <https://doi.org/10.3390/infrastructures3030038>
- Ghyoot, M., Devlieger, L., Billiet, L., & Warnier, A. (2018). *Déconstruction et réemploi: Comment faire circuler les éléments de construction*. Lausanne, Zwitserland: Presses polytechniques et universitaires romandes
- Global trends of material use*. (2016, 10 mei). Materialflows. Geraadpleegd op 18 maart 2023, van <https://www.materialflows.net/global-trends-of-material-use/>
- Goedkoop, M., Oele, M., Leijting, J., Ponsioen, T., Meijer, E. (2016). *Introduction to LCA with SimaPro*. PRé. Geraadpleegd op 20 april 2023, van <https://pre-sustainability.com/legacy/download/SimaPro8IntroductionToLCA.pdf>
- Groulard, O. G. & Circubuild. (2021, 30 december). Casestudy: Loodtoren, Brussel. *Circubuild*. Geraadpleegd op 27 april 2023, van <https://www.circubuild.be/nl/nieuws/casestudy-loodtoren-brussel/>
- Het MOT. (2023a). *Berekenen van de hoeveelheid mortel*. Geraadpleegd op 28 april 2023, van <https://www.mot.be/nl/opzoeken/bakovens/bouw-zelf-je-oven/hoeveelheden/mortel>
- Het MOT. (2023b). *Bindmiddelen en verschralingsmiddelen*. Geraadpleegd op 14 mei 2023, van <https://www.mot.be/nl/opzoeken/bakovens/meer-weten/bindmiddelen>
- Hobbs, G., & Adams, K. (2019, 21-23 juni). *Reuse of building products and materials – barriers and opportunities* [Paperpresentatie]. International HISER Conference on Advances in Recycling and Management of Construction and Demolition Waste, Delft, Nederland. Geraadpleegd op 15 april 2023, van <https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2017/07/Reuse-of-building-products-and-materials-barriers-and-opportunities.pdf>
- Ibn-Mohammed, T., Greenough, R., Taylor, S., Ozawa-Meida, L., & Acquaye, A. (2013). Operational vs. embodied emissions in buildings—A review of current trends. *Energy and Buildings*, 66, 232–245. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.026>

- IndEcol. (2019a). *Ecosystems quality. Terrestrial Ecotoxicity*. LC-Impact. Geraadpleegd op 14 mei 2023, van https://lc-impact.eu/EQterrestrial_ecotoxicity.html
- IndEcol. (2019b). *Human Health. Ionising radiation*. LC-Impact. Geraadpleegd op 14 mei 2023, van https://lc-impact.eu/HHionising_radiation.html
- IndEcol. (2019c). *Ecosystems quality. Marine Eutrophication*. LC-Impact. Geraadpleegd op 14 mei 2023, van https://lc-impact.eu/EQmarine_eutrophication.html
- IndEcol. (2019d). *Ecosystems quality. Freshwater Ecotoxicity*. LC-Impact. Geraadpleegd op 16 mei 2023, van https://lc-impact.eu/EQfreshwater_ecotoxicity.html
- International trade administration. (2022). *Poland country commercial guide*. Geraadpleegd op 14 mei 2023, van <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/poland-energy-sector>
- Jensen, A. (1998). Life cycle assessment (LCA) : a guide to approaches, experiences and information sources. European Environment Agency , *Office for Official Publications of the European Communities eBooks*. <https://ci.nii.ac.jp/ncid/BA3528516X>
- Jungheinrich AG. (2023). *Heftruck diesel*. Jungheinrich. Geraadpleegd op 10 maart 2023, van https://www.jungheinrich.be/producten/nieuwe-heftrucks/vorkheftrucks/heftruck-diesel?fbclid=IwAR1Fd3Ugkv_lySySdwIw-lhliAnPO-20kEKkn86J3drdV5XU-pAlvPGd2RQ#:~:text=Wat%20is%20het%20brandstofverbruik%20van,u%2C%20afhankelijk%20van%20het%20model
- Kancheva, Y. D., & Zaharieva, R. A. (2023). End-of-life options for ceramic masonry units – environmental and performance-based perspective. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1276(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1276/1/012002>
- Klimakrav (LCA) i bygningsreglementet. (2022, 19 oktober). *bolig og planstyrelsen*. Geraadpleegd op 21 maart 2023, van <https://bpst.dk/da/Byggeri/Baeredygtigt-byggeri/NY-Klimakrav-i-bygningsreglementet#introduktion>
- Knoth, K., Fufa, S. M., & Seilskjær, E. (2022). Barriers, success factors, and perspectives for the reuse of construction products in Norway. *Journal of Cleaner Production*, 337, 130494. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130494>
- Kwakman, A. J. (2020, 18 februari). *Ladder van Lansink (1979)*. Geraadpleegd op 16 maart 2023, van <https://aboutcircular.nl/2020/02/18/ladder-van-lansink-1979/>
- LandbouwMechanisatie. (2014). *LandbouwMechanisatie april 2014* *LandbouwMechanisatie april 2014* 44 45 *Teks* *T Henk Beunk foTo's Albert van der Horst en Henk Beunk Heftruck op diesel, gas of elektrisch? : Wie van de drie*. Geraadpleegd op 8 mei 2023, van <https://edepot.wur.nl/302880>

- Lansink, A. L. (2014, 5 juni). *Ad Lansink's Website*. Ad Lansink's Website. Geraadpleegd op 16 maart 2023, van <https://www.adlansink.nl/>
- Laveglia, A. L. (2023). *Cradle-to-cradle life cycle assessment in lime based materials* [Presentatieslides; Powerpoint].
- Le Noir, L. L. N. (2017). *Materialen en technieken in historische metselwerkconstructies tussen 1830 en 1945* [Masterscriptie]. Universiteit Gent.
- Lissalde. (2022, 25 oktober). *Resource Rows - Lendager*. Lendager. Geraadpleegd op 22 april 2023, van <https://lendager.com/project/resource-rows/>
- MilieuPrestatie Gebouwen - MPG*. (2017, 1 juni). Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. Geraadpleegd op 22 december 2022, van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/wetten-en-regels-gebouwen/milieuprestatie-gebouwen-mpg>
- OVAM. (2010). *Selectief slopen en ontmantelen van gebouwen*. Geraadpleegd op 16 maart 2023, van <https://www.vlaanderen.be/publicaties/selectief-slopen-en-ontmantelen-van-gebouwen>
- OVAM. (2013). *Materiaalbewust bouwen in kringlopen: Preventieprogramma duurzaam materialenbeheer in de bouwsector 2014-2020*. Geraadpleegd op 20 februari 2023, van <https://publicaties.vlaanderen.be/view-file/16987>
- OVAM. (2021). *Op weg naar circulair bouwen: Beleidsprogramma 2022-2030*. Geraadpleegd op 20 februari 2023, van www.ovam.vlaanderen.be
- Over Opalis*. (2023). Opalis. Geraadpleegd op 8 april 2023, van <https://opalis.eu/nl/over>
- PRé Sustainability. (2020). *SimaPro database manual Methods library*. Geraadpleegd op 11 april 2023, van <https://simapro.com/wp-content/uploads/2020/10/DatabaseManualMethods.pdf>
- PRé Sustainability. (2022). *Impact assessment in the PEF initiative*. Geraadpleegd op 9 mei 2023, van <https://pre-sustainability.com/articles/pef-series-impact-assessment-in-the-pef-approach/>
- PRé Sustainability. (2023). *About SimaPro*. Simapro. Geraadpleegd op 21 april 2023, van <https://simapro.com/about/>
- Sala, S., Amadei, A. M., Beylot, A. & Ardente, F. (2021). The evolution of life cycle assessment in European policies over three decades. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(12), 2295–2314. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01893-2>
- Schoof, J. (2021, 1 juni). Brick Patchwork for the Climate's Sake: Resource Rows in Copenhagen. *Detail*. Geraadpleegd op 13 april 2023, van https://www.detail.de/de/de_de/brick-patchwork-for-the-climates-sake-resource-rows-in-copenhagen

- SERV. (2018). *Nota: Overzicht barrières bij de transitie naar een circulaire economie*. Geraadpleegd op 18 april 2023, van https://www.serv.be/sites/default/files/documenten/SERV_20180403_CE-barri%C3%A8res_NOT.pdf
- SimaPro. (2023). *SimaPro HelpCenter: Perspectives and weighing approach in ReCiPe method*. support.simapro.com. https://support.simapro.com/s/article/Perspectives-and-weighing-approach-in-ReCiPe-method?fbclid=IwAR1HCiv_32ZOsJGtqWdu5_zyX6VWarTdEvlqSMizFzJWsPYGHsuW1MNTiak
- Sloopopvolgingsplan. (2023). Vlaanderen. Geraadpleegd op 23 maart 2023, van <https://www.vlaanderen.be/sloopopvolgingsplan>
- Social-og Boligstyrelsen. (2023). *Den frivillige bæredygtighedsklasse*. Geraadpleegd op 21 maart 2023, van <https://xn--bredygtighedsklasse-lxb.dk/>
- Statista. (2023a, 25 januari). *Distribution of electricity generation in Sweden in 2021, by source*. Geraadpleegd op 13 mei 2023, van <https://www.statista.com/statistics/1013726/share-of-electricity-production-in-sweden-by-source/>
- Statista. (2023b, 27 februari). *France: electricity produced share by source 2022 | Statista*. Geraadpleegd op 16 mei 2023, van <https://www.statista.com/statistics/1263322/electrical-production-by-sector-france/>
- Steenstrips plaatsen. (2023). Vandersanden. Geraadpleegd op 19 april 2023, van https://www.vandersanden.com/nl-be/steenstrips-plaatsen?fbclid=IwAR03xpvQoxbVd-Nw_7ag6QuuQICLaUqStwmWCURlsjTg9wQSX8SvOdqceSU
- Stichting Nationale Milieudatabase. (2022a). *Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken*. Nationale Milieudatabase. Geraadpleegd op 22 december 2022, van <https://milieudatabase.nl>
- Stichting Nationale Milieudatabase. (2022b, 11 april). *Bepalingsmethode*. Nationale Milieudatabase. Geraadpleegd op 22 december 2022, van <https://milieudatabase.nl/milieuprestatie/bepalingsmethode/>
- Swiss Centre for Life Cycle Inventories. (2007). *Life Cycle Inventories of Building Products: Data v2.0 (2007)*. In *Ecoinvent*. Geraadpleegd op 25 april 2023, van https://db.ecoinvent.org/reports/07_BuildingProducts.pdf?area=463ee7e58cbf8
- TOTEM. (2021). *Environmental profile of buildings*. Geraadpleegd op 20 april 2023, van <https://www.totem-building.be/>
- TOTEM. (2023). Geraadpleegd op 10 april 2023, van <https://www.totem-building.be/>

- Ucer, D., Ulybin, A., Zubkov, S., & Elias-Ozkan, S. T. (2018). Analysis on the mechanical properties of historical brick masonry after machinery demolition. *Construction and Building Materials*, *161*, 186–195. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.090>
- Uniebouw B.V. - Bouwbestel. (2022, 23 augustus). *Soortelijk gewicht metselwerk*. bouwbestel.nl. Geraadpleegd op 5 maart 2023, van <https://www.bouwbestel.nl/blog/soortelijk-gewicht-metselwerk.html>
- Van Den Heede, P., & De Belie, N. (2012). Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and ‘green’ concretes: Literature review and theoretical calculations. *Cement & Concrete Composites*, *34*(4), 431–442. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.01.004>
- Van Huele. (2023). Van Huele – oude bouwmaterialen. Geraadpleegd op 23 april 2023, van <http://www.vanhuele.be/>
- Van Huele / Opalis. (2023). Opalis. Geraadpleegd op 23 april 2023, van <https://opalis.eu/nl/handelaars/van-huele>
- Visualisation Centre. (2023). Materialflows. Geraadpleegd op 20 april 2023, van <https://www.materialflows.net/visualisation-centre/>
- Vlaamse Overheid. (2021a). *‘Vlaanderen circulair’ een stuwende kracht naar een circulaire economie in Vlaanderen*. Geraadpleegd op 17 november 2022, van https://ewi-vlaanderen.be/sites/default/files/nota_circulaire_economie.pdf
- Vlaanderen Circulair. (2017). *Circulair bouwen: Naar een circulaire economie in de bouwsector*. Geraadpleegd op 17 november 2022, van <https://bouwen.vlaanderen-circulair.be/nl/bibliotheek>
- Vlaanderen Circulair. (2020). *Informatiebrochure gerichte call projecten circulaire bouweconomie*. Geraadpleegd op 16 april 2023, van <https://vlaanderen-circulair.be/src/Frontend/Files/userfiles/files/Gerichte%20Call%202020.pdf>
- Vlaanderen circulair. (2021a). *Urban Mining van gebouwen: Het creëren van waarde via het sluiten van materiaalstromen*. Geraadpleegd op 7 november 2022, van <https://vlaanderen-circulair.be/src/Frontend/Files/userfiles/files/Samenvatting%20Rapport%20Urban%20Mining.pdf>
- Vlaanderen Circulair. (2021b, 21 november). *Materialenvoetafdruk van de Vlaamse consumptie (RMC)*. CE monitor. Geraadpleegd op 18 maart 2023, van <https://cemonitor.be/indicator/effecten/materialen/materialenvoetafdruk-van-de-vlaamse-consumptie-rmc/>

Vlaanderen circulair. (2023). *Opalis*. Vlaanderen Circulair. Geraadpleegd op 8 april 2023, van <https://vlaanderen-circulair.be/nl/doeners-in-vlaanderen/detail-2/opalis>

volumieke massa, dichtheid. (2023). joostdevree.nl. Geraadpleegd op 8 maart 2023, van https://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/volumieke_massa.htm

volumieke massa, dichtheid. (2023). joostdevree.nl. Geraadpleegd op 8 maart 2023, van https://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/volumieke_massa.htm

VUB Architectural Engineering. (2019). *Bouwen voor een circulaire economie: Gebouwen, een dynamische omgeving*. Vrije Universiteit Brussel. Geraadpleegd op 12 november 2022, van <https://bouwen.vlaanderen-circulair.be/nl/bibliotheek>

Wat is een LCA? Een korte inleiding. (2023). Hedgehog Company. Geraadpleegd op 20 april 2023, van <https://nl.hhc.earth/knowledge-base/lca-life-cycle-assessment>

Westvlaamse Steencentrale. (2023). Westvlaamse Steencentrale. Geraadpleegd op 23 april 2023, van <https://www.w-v-s.be/nl>

Westvlaamse Steencentrale Nv / Opalis. (2023). Opalis. Geraadpleegd op 23 april 2023, van <https://opalis.eu/nl/handelaars/westvlaamse-steencentrale-nv>

Wienerberger. (2022, 7 juli). *Afmetingen van Terca gevelstenen – Wienerberger aanbod*. Wienerberger.be. Geraadpleegd op 18 maart 2023, van <https://www.wienerberger.be/gevel/inspiratie/Baksteenformaten.html>

Wienerberger. (2023). *ClickBrick Pure, een doorbraak in circulair bouwen* [Brochure]. Geraadpleegd op 9 april 2023, van <https://www.wienerberger.be/gevel/systemen/clickbrick/clickbrick-pure.html>

World nuclear association. (2023). *Heat values of various fuels*. Geraadpleegd op 12 maart 2023, van <https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/heat-values-of-various-fuels.aspx>

BIJLAGEN

Bijlage 1: Waarden en aannames

Tabel 1: Waarden gebruikt voor simulaties SimaPro

Beschrijving	Waarde	Eenheid	Bron
Soortelijk gewicht lichte stenen	1400	kg/m ³	(Gavilán et al., 2018)
Soortelijk gewicht zware stenen	1800	kg/m ³	(Gavilán et al., 2018)
Soortelijk gewicht nieuwe stenen	1600	kg/m ³	(volumieke massa, dichtheid, 2023)
Soortelijk gewicht cementmortel	1900	kg/m ³	(Uniebouw B.V. - Bouwbestel, 2022)
Soortelijk gewicht kalkmortel	1600	kg/m ³	(volumieke massa, dichtheid, 2023)
Soortelijk gewicht bastaardmortel	1600	kg/m ³	(Uniebouw B.V. - Bouwbestel, 2022)
Massa EUR-pallet	25	kg	(EPAL Nederland, 2019)
Hoeveelheid fijnstof vrijgekomen bij 1 kg afval	80	mg	(Erduran et al., 2020)
Massa verpakkingsfolie nodig voor 1 kg nieuwe stenen	0,000542	kg	(ecoinvent, 2022)
Pallets nodig voor 1 kg nieuwe stenen	1,61E-05	-	(ecoinvent, 2022)
Verbruik van diesel bij gebruik van een vorklift	2	l/h	(Jungheinrich AG, 2023)
Verbruik van propaangas bij gebruik van een vorklift	0,0215	kg/MJ	(ecoinvent, 2022)
Verbruik van elektriciteit bij gebruik van een vorklift met batterij	8,58	kWh	(LandbouwMechanisatie, 2014)
Energie-inhoud van diesel per kg	44	MJ/kg	(World nuclear association, 2023)
Massa diesel per liter	0,84	kg	(Centraal Bureau voor de Statistiek, 2023)
Massa propaangas verbruikt per uur	2,68	kg/h	(LandbouwMechanisatie, 2014)
Afmetingen EUR-pallet	0,8x1,2x0,144	m	(EPAL Nederland, 2019)
Afmetingen Waalformaat	210x100x50	mm	(Wienerberger, 2022)
Aantal stenen met Waalformaat in 1 m ²	76	stuks	(Centen Bouwmaterialen BV, 2023)

Tabel 2: Aannames gebruikt voor simulaties SimaPro

Beschrijving	Waarde*	Eenheid
Fractie gevelstenen (pallet)	0,875	-
Fractie lucht (pallet)	0,125	-
Massa pallet lichte stenen	1176	kg
Massa pallet zware stenen	1512	kg
Massa pallet nieuwe stenen	1344	kg
Afstand naar maalterij voor steenpuin	10	kg
Afstand demontage naar bedrijf (kort)	10	km
Afstand demontage naar bedrijf (middel)	50	km
Afstand demontage naar bedrijf (lang)	200	km
Tijdsduur transport op werf	0,17	h/pallet
Afstand transport verpakkingsfolie	100	km
Afstand transport EUR-pallet	50	km
Aantal stenen op pallet	800	stuks
Afstand bedrijf naar werf nieuw project (binnenland middel)	50	km
Afstand bedrijf naar werf nieuw project (binnenland lang)	100	km
Afstand bedrijf naar werf nieuw project (buitenland)	1000	km
Fractie stenen in m ² (normale morteldikte)	0,798	-
Fractie mortel in m ² (normale morteldikte)	0,202	-
Fractie stenen in m ² (dunbed- of lijm mortel)	0,899	-
Fractie mortel in m ² (dunbed- of lijm mortel)	0,101	-
Fractie stenen in m ² (extra mortel)	0,756	-
Fractie mortel in m ² (extra mortel)	0,244	-
Type compressor	4	kW
Tijd nodig om een steen mechanisch te kuisen (kalkmortel)	0,006	h
Tijd nodig om een steen mechanisch te kuisen (cementmortel)	0,017h	h

*Aannames uit deze tabel worden gekozen aan de hand van bevestigingen in de sector (Franck, persoonlijke communicatie, 14 november 2022; Fryns-Boret, persoonlijke communicatie, 24 februari 2023; Van Huele, persoonlijke communicatie, 14 februari 2023; Westvlaamse Steencentrale, persoonlijke communicatie, 17 februari 2023)

Tabel 3: Berekeningen verbruik vorklift sensitiviteitsanalyse

Aandrijving vorklift	Berekening
Diesel	$\frac{0,17 \text{ h} * 1,68 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 44 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} * 1 \text{ kg}}{(1344 \text{ kg} + 25 \text{ kg})}$
Propaangas	$\frac{0,17 \text{ h} * 2,68 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 1 \text{ kg}}{0,0215 \frac{\text{kg}}{\text{MJ}} * (1344 \text{ kg} + 25 \text{ kg})}$
Elektriciteit batterij	$\frac{8,58 \text{ kWh} * 0,17 * 1 \text{ kg}}{(1344 \text{ kg} + 25 \text{ kg})}$

Bijlage 2: Input SimaPro scenario's A1-3

Tabel 1: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg keramische gevelstenen van het type ZK.50

INPUT ZK.50 VOOR 1KG STENEN			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Packaging film, low density polyethylene {RER} production Cut-off, S	0,00048178	kg	Productie verpakkingsfolie voor 1kg stenen = $(0,000542 \text{ kg} * 1344 \text{ kg}) / 1512 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,048178	kgkm	Transport verpakkingsfolie met aanname van 100 km = $0,0004818 * 100 \text{ km}$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	52,5	kgkm	Transport demontage naar bedrijf met aanname van 50 km en 5% afval = $1,05 \text{ kg} * 50 \text{ km}$
EUR-flat pallet {RER} production Cut-off, S	1,43E-05	p	Pallets nodig bij productie van 1 kg stenen = $(1,61E-05 * 1344 \text{ kg}) / 1512 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	1,79E-02	kgkm	Transport pallets met aanname van 50 km en 25 kg = $1,43E-05 * 25 \text{ kg} * 50 \text{ km}$
Energieverbruik			
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	0,00917925	MJ	Verbruik diesel bij productie van 1 kg nieuwe stenen = $(0,17 \text{ h} * 1,68 \text{ kg/h} * 44 \text{ MJ/kg} * 1 \text{ kg}) / (1344 \text{ kg} + 25 \text{ kg})$
Emissies			
Particulate Matter	0,000004	kg	Uitstoot van fijn stof bij kuisen van de stenen met aanname van 80 mg bij 1 kg afval = $0,00008 \text{ kg} * 0,05$
Afval naar verwerking			
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	0,05	kg	Afval tijdens het kuisen met aanname van 5% = $1 \text{ kg} * 0,05$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,5	kgkm	Transport afval naar verwerking met aanname van 10 km = $0,05 \text{ kg} * 10 \text{ km}$

Tabel 2: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg keramische gevelstenen van het type LK.50

INPUT LK.50 VOOR 1KG STENEN			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Packaging film, low density polyethylene {RER} production Cut-off, S	0,0006194	kg	Productie verpakkingsfolie voor 1kg stenen = $(0,000542 \text{ kg} \cdot 1344 \text{ kg}) / 1176 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,061943	kgkm	Transport verpakkingsfolie met aanname van 100 km = $0,00061943 \cdot 100 \text{ km}$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	55	kgkm	Transport demontage naar bedrijf met aanname van 50 km en 10% afval = $1,1 \text{ kg} \cdot 50 \text{ km}$
EUR-flat pallet {RER} production Cut-off, S	1,84E-05	p	Pallets nodig bij productie van 1 kg stenen = $(1,61E-05 \cdot 1344 \text{ kg}) / 1176 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	2,30E-02	kgkm	Transport pallets met aanname van 50 km en 25 kg = $1,84E-05 \cdot 25 \text{ kg} \cdot 50 \text{ km}$
Energieverbruik			
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	0,00917925	MJ	Verbruik diesel bij productie van 1 kg nieuwe stenen = $(0,17 \text{ h} \cdot 1,68 \text{ kg/h} \cdot 44 \text{ MJ/kg} \cdot 1 \text{ kg}) / (1344 \text{ kg} + 25 \text{ kg})$
Emissies			
Particulate Matter	0,000008	kg	Uitstoot van fijn stof bij kuisen van de stenen met aanname van 80 mg bij 1 kg afval = $0,00008 \text{ kg} \cdot 0,10$
Afval naar verwerking			
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	0,1	kg	Afval tijdens het kuisen met aanname van 10% = $1 \text{ kg} \cdot 0,10$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	1	kgkm	Transport afval naar verwerking met aanname van 10 km = $0,1 \text{ kg} \cdot 10 \text{ km}$

Tabel 3: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg keramische gevelstenen van het type ZC.50

INPUT ZC.50 VOOR 1KG STENEN			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Packaging film, low density polyethylene {RER} production Cut-off, S	0,00048178	kg	Productie verpakkingsfolie voor 1kg stenen = (0,000542 kg*1344 kg)/1512 kg
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,048178	kgkm	Transport verpakkingsfolie met aanname van 100 km = 0,0004818*100 km
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	55	kgkm	Transport demontage naar bedrijf met aanname van 50 km en 10% afval = 1,1 kg*50 km
EUR-flat pallet {RER} production Cut-off, S	1,43E-05	p	Pallets nodig bij productie van 1 kg stenen = (1,61E-05*1344 kg)/1512 kg
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	1,79E-02	kgkm	Transport pallets met aanname van 50 km en 25 kg = 1,43E-05*25 kg*50 km
Energieverbruik			
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	0,00917925	MJ	Verbruik diesel bij productie van 1 kg nieuwe stenen = (0,17 h*1,68 kg/h*44 MJ/kg*1 kg)/(1344 kg + 25 kg)
Emissies			
Particulate Matter	0,000008	kg	Uitstoot van fijn stof bij kuisen van de stenen met aanname van 80 mg bij 1 kg afval = 0,00008 kg*0,10
Afval naar verwerking			
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	0,1	kg	Afval tijdens het kuisen met aanname van 10% = 1 kg*0,10
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	1	kgkm	Transport afval naar verwerking met aanname van 10 km = 0,1 kg*10 km

Tabel 4: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg keramische gevelstenen van het type LC.50

INPUT LC.50 VOOR 1KG STENEN			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Packaging film, low density polyethylene {RER} production Cut-off, S	0,0006194	kg	Productie verpakkingsfolie voor 1kg stenen = (0,000542 kg*1344 kg)/1176 kg
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,061943	kgkm	Transport verpakkingsfolie met aanname van 100 km = 0,00061943*100 km
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	60	kgkm	Transport demontage naar bedrijf met aanname van 50 km en 20% afval = 1,2 kg*50 km
EUR-flat pallet {RER} production Cut-off, S	1,84E-05	p	Pallets nodig bij productie van 1 kg stenen = (1,61E-05*1344 kg)/1176 kg
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	2,30E-02	kgkm	Transport pallets met aanname van 50 km en 25 kg = 1,84E-05*25 kg*50 km
Energieverbruik			
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	0,00917925	MJ	Verbruik diesel bij productie van 1 kg nieuwe stenen = (0,17 h*1,68 kg/h*44 MJ/kg*1 kg)/(1344 kg + 25 kg)
Emissies			
Particulate Matter	0,000016	kg	Uitstoot van fijn stof bij kuisen van de stenen met aanname van 80 mg bij 1 kg afval = 0,00008 kg*0,20
Afval naar verwerking			
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	0,2	kg	Afval tijdens het kuisen met aanname van 20% = 1 kg*0,20
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	2	kgkm	Transport afval naar verwerking met aanname van 10 km = 0,2 kg*10 km

Tabel 5: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg keramische gevelstenen van het type ZK.50.M

INPUT ZK.50.M VOOR 1KG STENEN			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Packaging film, low density polyethylene {RER} production Cut-off, S	0,00048178	kg	Productie verpakkingsfolie voor 1kg stenen = $(0,000542 \text{ kg} \cdot 1344 \text{ kg}) / 1512 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,048178	kgkm	Transport verpakkingsfolie met aanname van 100 km = $0,0004818 \cdot 100 \text{ km}$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	52,5	kgkm	Transport demontage naar bedrijf met aanname van 50 km en 5% afval = $1,05 \text{ kg} \cdot 50 \text{ km}$
EUR-flat pallet {RER} production Cut-off, S	1,43E-05	p	Pallets nodig bij productie van 1 kg stenen = $(1,61E-05 \cdot 1344 \text{ kg}) / 1512 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	1,79E-02	kgkm	Transport pallets met aanname van 50 km en 25 kg = $1,43E-05 \cdot 25 \text{ kg} \cdot 50 \text{ km}$
Energieverbruik			
Electricity, low voltage {BE} market for Cut-off, S	0,01174603	kWh	Verbruik elektriciteit bij mechanisch kuisen = $(800 \cdot 0,00555 \text{ h} \cdot 4 \text{ kW}) / 1512 \text{ kg}$
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	0,00917925	MJ	Verbruik diesel bij productie van 1 kg nieuwe stenen = $(0,17 \text{ h} \cdot 1,68 \text{ kg/h} \cdot 44 \text{ MJ/kg} \cdot 1 \text{ kg}) / (1344 \text{ kg} + 25 \text{ kg})$
Emissies			
Particulate Matter	0,000004	kg	Uitstoot van fijn stof bij kuisen van de stenen met aanname van 80 mg bij 1 kg afval = $0,00008 \text{ kg} \cdot 0,05$
Afval naar verwerking			
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	0,05	kg	Afval tijdens het kuisen met aanname van 5% = $1 \text{ kg} \cdot 0,05$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,5	kgkm	Transport afval naar verwerking met aanname van 10 km = $0,05 \text{ kg} \cdot 10 \text{ km}$

Tabel 6: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg keramische gevelstenen van het type LK.50.M

INPUT LK.50.M VOOR 1KG STENEN			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Packaging film, low density polyethylene {RER} production Cut-off, S	0,0006194	kg	Productie verpakkingsfolie voor 1kg stenen = $(0,000542 \text{ kg} \cdot 1344 \text{ kg}) / 1176 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,061943	kgkm	Transport verpakkingsfolie met aanname van 100 km = $0,00061943 \cdot 100 \text{ km}$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	55	kgkm	Transport demontage naar bedrijf met aanname van 50 km en 10% afval = $1,1 \text{ kg} \cdot 50 \text{ km}$
EUR-flat pallet {RER} production Cut-off, S	1,84E-05	p	Pallets nodig bij productie van 1 kg stenen = $(1,61E-05 \cdot 1344 \text{ kg}) / 1176 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	2,30E-02	kgkm	Transport pallets met aanname van 50 km en 25 kg = $1,84E-05 \cdot 25 \text{ kg} \cdot 50 \text{ km}$
Energieverbruik			
Electricity, low voltage {BE} market for Cut-off, S	0,01510204	kWh	Verbruik elektriciteit bij mechanisch kuisen = $(800 \cdot 0,00555 \text{ h} \cdot 4 \text{ kW}) / 1176 \text{ kg}$
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	0,00917925	MJ	Verbruik diesel bij productie van 1 kg nieuwe stenen = $(0,17 \text{ h} \cdot 1,68 \text{ kg/h} \cdot 44 \text{ MJ/kg} \cdot 1 \text{ kg}) / (1344 \text{ kg} + 25 \text{ kg})$
Emissies			
Particulate Matter	0,000008	kg	Uitstoot van fijn stof bij kuisen van de stenen met aanname van 80 mg bij 1 kg afval = $0,00008 \text{ kg} \cdot 0,10$
Afval naar verwerking			
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	0,1	kg	Afval tijdens het kuisen met aanname van 10% = $1 \text{ kg} \cdot 0,10$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	1	kgkm	Transport afval naar verwerking met aanname van 10 km = $0,1 \text{ kg} \cdot 10 \text{ km}$

Tabel 7: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg keramische gevelstenen van het type ZC.50.M

INPUT ZC.50.M VOOR 1KG STENEN			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Packaging film, low density polyethylene {RER} production Cut-off, S	0,00048178	kg	Productie verpakkingsfolie voor 1kg stenen = $(0,000542 \text{ kg} * 1344 \text{ kg}) / 1512 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,048178	kgkm	Transport verpakkingsfolie met aanname van 100 km = $0,0004818 * 100 \text{ km}$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	55	kgkm	Transport demontage naar bedrijf met aanname van 50 km en 10% afval = $1,1 \text{ kg} * 50 \text{ km}$
EUR-flat pallet {RER} production Cut-off, S	1,43E-05	p	Pallets nodig bij productie van 1 kg stenen = $(1,61E-05 * 1344 \text{ kg}) / 1512 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	1,79E-02	kgkm	Transport pallets met aanname van 50 km en 25 kg = $1,43E-05 * 25 \text{ kg} * 50 \text{ km}$
Energieverbruik			
Electricity, low voltage {BE} market for Cut-off, S	0,0352646	kWh	Verbruik elektriciteit bij mechanisch kuisen = $(800 * 0,0166625 \text{ h} * 4 \text{ kW}) / 1512 \text{ kg}$
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	0,00917925	MJ	Verbruik diesel bij productie van 1 kg nieuwe stenen = $(0,17 \text{ h} * 1,68 \text{ kg/h} * 44 \text{ MJ/kg} * 1 \text{ kg}) / (1344 \text{ kg} + 25 \text{ kg})$
Emissies			
Particulate Matter	0,000008	kg	Uitstoot van fijn stof bij kuisen van de stenen met aanname van 80 mg bij 1 kg afval = $0,00008 \text{ kg} * 0,10$
Afval naar verwerking			
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	0,1	kg	Afval tijdens het kuisen met aanname van 10% = $1 \text{ kg} * 0,10$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	1	kgkm	Transport afval naar verwerking met aanname van 10 km = $0,1 \text{ kg} * 10 \text{ km}$

Tabel 8: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg keramische gevelstenen van het type LC.50.M

INPUT LC.50.M VOOR 1KG STENEN			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Packaging film, low density polyethylene {RER} production Cut-off, S	0,0006194	kg	Productie verpakkingsfolie voor 1kg stenen = $(0,000542 \text{ kg} \cdot 1344 \text{ kg}) / 1176 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,061943	kgkm	Transport verpakkingsfolie met aanname van 100 km = $0,00061943 \cdot 100 \text{ km}$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	60	kgkm	Transport demontage naar bedrijf met aanname van 50 km en 20% afval = $1,2 \text{ kg} \cdot 50 \text{ km}$
EUR-flat pallet {RER} production Cut-off, S	1,84E-05	p	Pallets nodig bij productie van 1 kg stenen = $(1,61E-05 \cdot 1344 \text{ kg}) / 1176 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	2,30E-02	kgkm	Transport pallets met aanname van 50 km en 25 kg = $1,84E-05 \cdot 25 \text{ kg} \cdot 50 \text{ km}$
Energieverbruik			
Electricity, low voltage {BE} market for Cut-off, S	0,04534014	kWh	Verbruik elektriciteit bij mechanisch kuisen = $(800 \cdot 0,0166625 \text{ h} \cdot 4 \text{ kW}) / 1176 \text{ kg}$
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	0,00917925	MJ	Verbruik diesel bij productie van 1 kg nieuwe stenen = $(0,17 \text{ h} \cdot 1,68 \text{ kg/h} \cdot 44 \text{ MJ/kg} \cdot 1 \text{ kg}) / (1344 \text{ kg} + 25 \text{ kg})$
Emissies			
Particulate Matter	0,000016	kg	Uitstoot van fijn stof bij kuisen van de stenen met aanname van 80 mg bij 1 kg afval = $0,00008 \text{ kg} \cdot 0,20$
Afval naar verwerking			
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	0,2	kg	Afval tijdens het kuisen met aanname van 20% = $1 \text{ kg} \cdot 0,20$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	2	kgkm	Transport afval naar verwerking met aanname van 10 km = $0,2 \text{ kg} \cdot 10 \text{ km}$

Tabel 9: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg keramische gevelstenen van het type ZK.10

INPUT ZK.10 VOOR 1KG STENEN			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Packaging film, low density polyethylene {RER} production Cut-off, S	0,00048178	kg	Productie verpakkingsfolie voor 1kg stenen = $(0,000542 \text{ kg} * 1344 \text{ kg}) / 1512 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,048178	kgkm	Transport verpakkingsfolie met aanname van 100 km = $0,0004818 * 100 \text{ km}$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	10,5	kgkm	Transport demontage naar bedrijf met aanname van 10 km en 5% afval = $1,05 \text{ kg} * 100 \text{ km}$
EUR-flat pallet {RER} production Cut-off, S	1,43E-05	p	Pallets nodig bij productie van 1 kg stenen = $(1,61E-05 * 1344 \text{ kg}) / 1512 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	1,79E-02	kgkm	Transport pallets met aanname van 50 km en 25 kg = $1,43E-05 * 25 \text{ kg} * 50 \text{ km}$
Energieverbruik			
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	0,00917925	MJ	Verbruik diesel bij productie van 1 kg nieuwe stenen = $(0,17 \text{ h} * 1,68 \text{ kg/h} * 44 \text{ MJ/kg} * 1 \text{ kg}) / (1344 \text{ kg} + 25 \text{ kg})$
Emissies			
Particulate Matter	0,000004	kg	Uitstoot van fijn stof bij kuisen van de stenen met aanname van 80 mg bij 1 kg afval = $0,00008 \text{ kg} * 0,05$
Afval naar verwerking			
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	0,05	kg	Afval tijdens het kuisen met aanname van 5% = $1 \text{ kg} * 0,05$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,5	kgkm	Transport afval naar verwerking met aanname van 10 km = $0,05 \text{ kg} * 10 \text{ km}$

Tabel 10: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg keramische gevelstenen van het type LK.10

INPUT LK.10 VOOR 1KG STENEN			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Packaging film, low density polyethylene {RER} production Cut-off, S	0,0006194	kg	Productie verpakkingsfolie voor 1kg stenen = (0,000542 kg*1344 kg)/1176 kg
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,061943	kgkm	Transport verpakkingsfolie met aanname van 100 km = 0,00061943*100 km
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	11	kgkm	Transport demontage naar bedrijf met aanname van 10 km en 10% afval = 1,1 kg*10 km
EUR-flat pallet {RER} production Cut-off, S	1,84E-05	p	Pallets nodig bij productie van 1 kg stenen = (1,61E-05*1344 kg)/1176 kg
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	2,30E-02	kgkm	Transport pallets met aanname van 50 km en 25 kg = 1,84E-05*25 kg*50 km
Energieverbruik			
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	0,00917925	MJ	Verbruik diesel bij productie van 1 kg nieuwe stenen = (0,17 h*1,68 kg/h*44 MJ/kg*1 kg)/(1344 kg + 25 kg)
Emissies			
Particulate Matter	0,000008	kg	Uitstoot van fijn stof bij kuisen van de stenen met aanname van 80 mg bij 1 kg afval = 0,00008 kg*0,10
Afval naar verwerking			
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	0,1	kg	Afval tijdens het kuisen met aanname van 10% = 1 kg*0,10
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	1	kgkm	Transport afval naar verwerking met aanname van 10 km = 0,1 kg*10 km

Tabel 11: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg keramische gevelstenen van het type ZC.10

INPUT ZC.10 VOOR 1KG STENEN			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Packaging film, low density polyethylene {RER} production Cut-off, S	0,00048178	kg	Productie verpakkingsfolie voor 1kg stenen = $(0,000542 \text{ kg} \cdot 1344 \text{ kg}) / 1512 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,048178	kgkm	Transport verpakkingsfolie met aanname van 100 km = $0,0004818 \cdot 100 \text{ km}$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	11	kgkm	Transport demontage naar bedrijf met aanname van 10 km en 10% afval = $1,1 \text{ kg} \cdot 10 \text{ km}$
EUR-flat pallet {RER} production Cut-off, S	1,43E-05	p	Pallets nodig bij productie van 1 kg stenen = $(1,61E-05 \cdot 1344 \text{ kg}) / 1512 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	1,79E-02	kgkm	Transport pallets met aanname van 50 km en 25 kg = $1,43E-05 \cdot 25 \text{ kg} \cdot 50 \text{ km}$
Energieverbruik			
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	0,00917925	MJ	Verbruik diesel bij productie van 1 kg nieuwe stenen = $(0,17 \text{ h} \cdot 1,68 \text{ kg/h} \cdot 44 \text{ MJ/kg} \cdot 1 \text{ kg}) / (1344 \text{ kg} + 25 \text{ kg})$
Emissies			
Particulate Matter	0,000008	kg	Uitstoot van fijn stof bij kuisen van de stenen met aanname van 80 mg bij 1 kg afval = $0,00008 \text{ kg} \cdot 0,10$
Afval naar verwerking			
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	0,1	kg	Afval tijdens het kuisen met aanname van 10% = $1 \text{ kg} \cdot 0,10$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	1	kgkm	Transport afval naar verwerking met aanname van 10 km = $0,1 \text{ kg} \cdot 10 \text{ km}$

Tabel 12: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg keramische gevelstenen van het type LC.10

INPUT LC.10 VOOR 1KG STENEN			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Packaging film, low density polyethylene {RER} production Cut-off, S	0,0006194	kg	Productie verpakkingsfolie voor 1kg stenen = (0,000542 kg*1344 kg)/1176 kg
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,061943	kgkm	Transport verpakkingsfolie met aanname van 100 km = 0,00061943*100 km
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	12	kgkm	Transport demontage naar bedrijf met aanname van 10 km en 20% afval = 1,2 kg*10 km
EUR-flat pallet {RER} production Cut-off, S	1,84E-05	p	Pallets nodig bij productie van 1 kg stenen = (1,61E-05*1344 kg)/1176 kg
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	2,30E-02	kgkm	Transport pallets met aanname van 50 km en 25 kg = 1,84E-05*25 kg*50 km
Energieverbruik			
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	0,00917925	MJ	Verbruik diesel bij productie van 1 kg nieuwe stenen = (0,17 h*1,68 kg/h*44 MJ/kg*1 kg)/(1344 kg + 25 kg)
Emissies			
Particulate Matter	0,000016	kg	Uitstoot van fijn stof bij kuisen van de stenen met aanname van 80 mg bij 1 kg afval = 0,00008 kg*0,20
Afval naar verwerking			
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	0,2	kg	Afval tijdens het kuisen met aanname van 20% = 1 kg*0,20
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	2	kgkm	Transport afval naar verwerking met aanname van 10 km = 0,2 kg*10 km

Tabel 13: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg keramische gevelstenen van het type ZK.200

INPUT ZK.200 VOOR 1KG STENEN			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Packaging film, low density polyethylene {RER} production Cut-off, S	0,00048178	kg	Productie verpakkingsfolie voor 1kg stenen = (0,000542 kg*1344 kg)/1512 kg
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,048178	kgkm	Transport verpakkingsfolie met aanname van 100 km = 0,0004818*100 km
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	210	kgkm	Transport demontage naar bedrijf met aanname van 200 km en 5% afval = 1,05 kg*200 km
EUR-flat pallet {RER} production Cut-off, S	1,43E-05	p	Pallets nodig bij productie van 1 kg stenen = (1,61E-05*1344 kg)/1512 kg
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	1,79E-02	kgkm	Transport pallets met aanname van 50 km en 25 kg = 1,43E-05*25 kg*50 km
Energieverbruik			
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	0,00917925	MJ	Verbruik diesel bij productie van 1 kg nieuwe stenen = (0,17 h*1,68 kg/h*44 MJ/kg*1 kg)/(1344 kg + 25 kg)
Emissies			
Particulate Matter	0,000004	kg	Uitstoot van fijn stof bij kuisen van de stenen met aanname van 80 mg bij 1 kg afval = 0,00008 kg*0,05
Afval naar verwerking			
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	0,05	kg	Afval tijdens het kuisen met aanname van 5% = 1 kg*0,05
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,5	kgkm	Transport afval naar verwerking met aanname van 10 km = 0,05 kg*10 km

Tabel 14: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg keramische gevelstenen van het type LK.200

INPUT LK.200 VOOR 1KG STENEN			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Packaging film, low density polyethylene {RER} production Cut-off, S	0,0006194	kg	Productie verpakkingsfolie voor 1kg stenen = $(0,000542 \text{ kg} \cdot 1344 \text{ kg}) / 1176 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,061943	kgkm	Transport verpakkingsfolie met aanname van 100 km = $0,00061943 \cdot 100 \text{ km}$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	220	kgkm	Transport demontage naar bedrijf met aanname van 200 km en 10% afval = $1,1 \text{ kg} \cdot 200 \text{ km}$
EUR-flat pallet {RER} production Cut-off, S	1,84E-05	p	Pallets nodig bij productie van 1 kg stenen = $(1,61E-05 \cdot 1344 \text{ kg}) / 1176 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	2,30E-02	kgkm	Transport pallets met aanname van 50 km en 25 kg = $1,84E-05 \cdot 25 \text{ kg} \cdot 50 \text{ km}$
Energieverbruik			
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	0,00917925	MJ	Verbruik diesel bij productie van 1 kg nieuwe stenen = $(0,17 \text{ h} \cdot 1,68 \text{ kg/h} \cdot 44 \text{ MJ/kg} \cdot 1 \text{ kg}) / (1344 \text{ kg} + 25 \text{ kg})$
Emissies			
Particulate Matter	0,000008	kg	Uitstoot van fijn stof bij kuisen van de stenen met aanname van 80 mg bij 1 kg afval = $0,00008 \text{ kg} \cdot 0,10$
Afval naar verwerking			
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	0,1	kg	Afval tijdens het kuisen met aanname van 10% = $1 \text{ kg} \cdot 0,10$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	1	kgkm	Transport afval naar verwerking met aanname van 10 km = $0,1 \text{ kg} \cdot 10 \text{ km}$

Tabel 15: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg keramische gevelstenen van het type ZC.200

INPUT ZC.200 VOOR 1KG STENEN			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Packaging film, low density polyethylene {RER} production Cut-off, S	0,00048178	kg	Productie verpakkingsfolie voor 1kg stenen = $(0,000542 \text{ kg} \cdot 1344 \text{ kg}) / 1512 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,048178	kgkm	Transport verpakkingsfolie met aanname van 100 km = $0,0004818 \cdot 100 \text{ km}$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	220	kgkm	Transport demontage naar bedrijf met aanname van 200 km en 10% afval = $1,1 \text{ kg} \cdot 200 \text{ km}$
EUR-flat pallet {RER} production Cut-off, S	1,43E-05	p	Pallets nodig bij productie van 1 kg stenen = $(1,61E-05 \cdot 1344 \text{ kg}) / 1512 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	1,79E-02	kgkm	Transport pallets met aanname van 50 km en 25 kg = $1,43E-05 \cdot 25 \text{ kg} \cdot 50 \text{ km}$
Energieverbruik			
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	0,00917925	MJ	Verbruik diesel bij productie van 1 kg nieuwe stenen = $(0,17 \text{ h} \cdot 1,68 \text{ kg/h} \cdot 44 \text{ MJ/kg} \cdot 1 \text{ kg}) / (1344 \text{ kg} + 25 \text{ kg})$
Emissies			
Particulate Matter	0,000008	kg	Uitstoot van fijn stof bij kuisen van de stenen met aanname van 80 mg bij 1 kg afval = $0,00008 \text{ kg} \cdot 0,10$
Afval naar verwerking			
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	0,1	kg	Afval tijdens het kuisen met aanname van 10% = $1 \text{ kg} \cdot 0,10$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	1	kgkm	Transport afval naar verwerking met aanname van 10 km = $0,1 \text{ kg} \cdot 10 \text{ km}$

Tabel 16: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg keramische gevelstenen van het type LC.200

INPUT LC.200 VOOR 1KG STENEN			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Packaging film, low density polyethylene {RER} production Cut-off, S	0,0006194	kg	Productie verpakkingsfolie voor 1kg stenen = $(0,000542 \text{ kg} \cdot 1344 \text{ kg}) / 1176 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	0,061943	kgkm	Transport verpakkingsfolie met aanname van 100 km = $0,00061943 \cdot 100 \text{ km}$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S	240	kgkm	Transport demontage naar bedrijf met aanname van 200 km en 20% afval = $1,2 \text{ kg} \cdot 10 \text{ km}$
EUR-flat pallet {RER} production Cut-off, S	1,84E-05	p	Pallets nodig bij productie van 1 kg stenen = $(1,61E-05 \cdot 1344 \text{ kg}) / 1176 \text{ kg}$
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, S	2,30E-02	kgkm	Transport pallets met aanname van 50 km en 25 kg = $1,84E-05 \cdot 25 \text{ kg} \cdot 50 \text{ km}$
Energieverbruik			
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, S	0,00917925	MJ	Verbruik diesel bij productie van 1 kg nieuwe stenen = $(0,17 \text{ h} \cdot 1,68 \text{ kg/h} \cdot 44 \text{ MJ/kg} \cdot 1 \text{ kg}) / (1344 \text{ kg} + 25 \text{ kg})$
Emissies			
Particulate Matter	0,000016	kg	Uitstoot van fijn stof bij kuisen van de stenen met aanname van 80 mg bij 1 kg afval = $0,00008 \text{ kg} \cdot 0,20$
Afval naar verwerking			
Inert waste, for final disposal {CH} treatment of inert waste, inert material landfill Cut-off, S	0,2	kg	Afval tijdens het kuisen met aanname van 20% = $1 \text{ kg} \cdot 0,20$
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, S		kgkm	Transport afval naar verwerking met aanname van 10 km = $0,2 \text{ kg} \cdot 10 \text{ km}$

Bijlage 3: Tabellen en figuren afkomstig van *Environmental profile of buildings* (TOTEM)

Tabel 1: Standaard scenario's voor het transport van bouwmaterialen van fabriek naar werf (TOTEM, 2021)

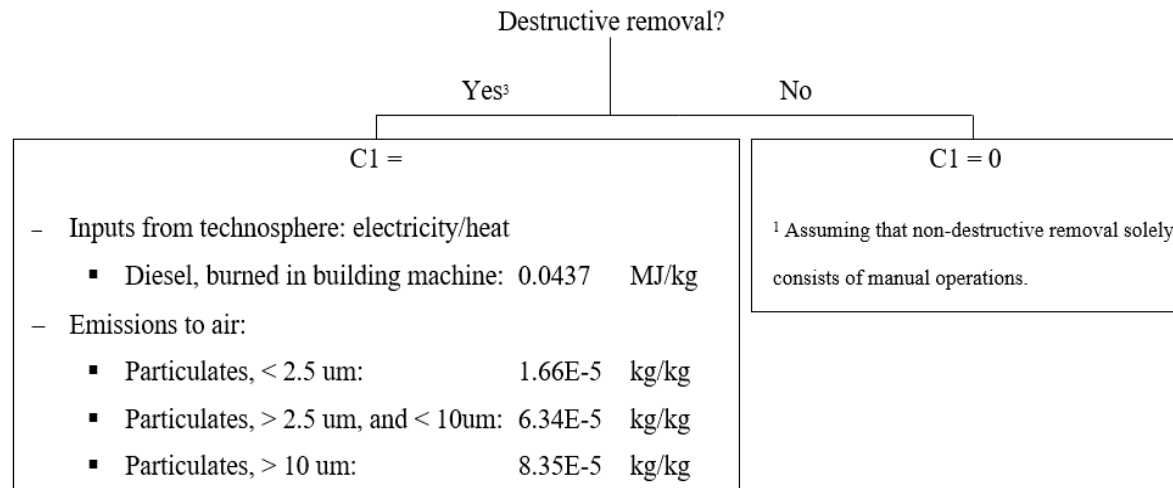
Product group/ Material category	Transport route		Means of transport from							Average transport distance from		
	% directly from factory to site	% via an intermediary supplier	factory to site			factory to supplier	supplier to site			factory to site [km]	factory to supplier [km]	supplier to site [km]
			Lorry 16-32 ton (EURO 5)	Lorry 7.5-16 ton (EURO 5)	Lorry 3.5-7.5 ton (EURO 5)	Lorry >32 ton (EURO 5)	Lorry 16-32 ton (EURO 5)	Lorry 7.5-16 ton (EURO 5)	Lorry 3.5-7.5 ton (EURO 5)			
Bulk materials for structural work (e.g. cement, sand, gravel, ...)	75%	25%	100%	0%	0%	100%	90%	10%	0%	100	100	35
Poured concrete	100%	0%	100%	0%	0%	n/a	n/a	n/a	n/a	100	100	35
Prefabricated products for structural work (e.g. beams, columns, ...)	100%	0%	100%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	100	100	35
Loose products (e.g. blocks, bricks, roof tiles, plasterboard, ...)	40%	60%	100%	0%	0%	100%	85%	15%	0%	100	100	35
Insulation	40%	60%	100%	0%	0%	100%	85%	15%	0%	100	100	35
Finishing products: floor coverings (e.g. carpet, linoleum, ceramic tiles, ...)	10%	90%	90%	10%	0%	100%	90%	10%	0%	100	100	35
Finishing products: plasters (e.g. gypsum plaster, external plaster, ...)	40%	60%	50%	50%	0%	100%	50%	50%	0%	100	100	35
Finishing products: cabinet work (e.g. window frames, stairs, ...)	90%	10%	50%	45%	5%	100%	40%	50%	10%	100	100	35
Finishing products: paints and varnishes	10%	90%	0%	100%	0%	100%	0%	80%	20%	100	100	35
Installations (e.g. heating boiler, radiators, ventilation, ...)	0%	100%	n/a	n/a	n/a	100%	0%	80%	20%	100	100	35

Tabel 2: Afvalscenario's voor 37 afvalcategorieën beschouwd in B-PCR (TOTEM, 2021)

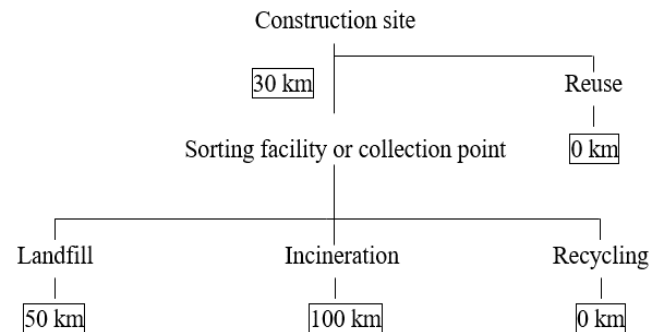
Main category	Waste category	Landfill	Incineration ^a	Reuse	Recycling	Sorted on building site ^b
Stony & glass	Bricks, roof tiles	5%	0%	0%	95%	75%
	Bulk materials (e.g. sand, gravel, expanded clay grains)	5%	0%	95%	0%	90%
	Concrete	5%	0%	0%	95%	75%
	Flat glass	5%	0%	0%	95%	70%
	Other stony waste (e.g. tiles, natural stone, slates, sand-lime blocks)	5%	0%	0%	95%	75%
	Porcelain and ceramics (e.g. toilet, bath, washbasin)	15%	0%	0%	85%	75%
Wood	Chemically treated, impregnated wood (e.g. railway sleepers, wood used for carports, outdoor playsets, garden screens)	0%	100%	0%	0%	40%
	Composite wood products (e.g. fibreboards (like plywood, chipboard, OSB, MDF), veneer, laminate)	0%	95%	0%	5%	40%
	Surface treated, solid wood (e.g. painted or varnished (like window frames, solid parquet))	0%	85%	0%	15%	40%
	Untreated, uncontaminated wood (e.g. roofs, structures, formworks, auxiliary timber)	0%	25%	0%	75%	40%
Metals	Metals: iron, steel, non-ferro (copper, brass, aluminium, lead, zinc, tin)	5%	0%	0%	95%	85%
Packaging (on construction site) ^c	EPS packaging	10%	30%	0%	60%	50%
	Pallets	0%	40%	20%	40%	50%
	Paper and cardboard packaging	0%	5%	0%	95%	50%
	Plastic films packaging	5%	60%	0%	35%	50%
Insulation materials	Mineral insulation materials (e.g. stone wool, glass wool)	50%	50%	0%	0%	0%
	Organic insulation materials (e.g. vegetable fibres (like wood, coconut, hemp, flax), cellulose (in bulk or blankets), sheep wool, cork (in bulk or boards))	5%	95%	0%	0%	0%
	Synthetic insulation materials (e.g. polyurethane (PUR), polyisocyanurate (PIR), extruded polystyrene (XPS), phenolic foam, expanded polystyrene (EPS))	5%	95%	0%	0%	0%
Fibre cement products	Fibre cement products (e.g. fibre cement slabs or slates)	100%	0%	0%	0%	75%

Tabel 3: Afvalscenario's voor 37 afvalcategorieën beschouwd in B-PCR (TOTEM, 2021)

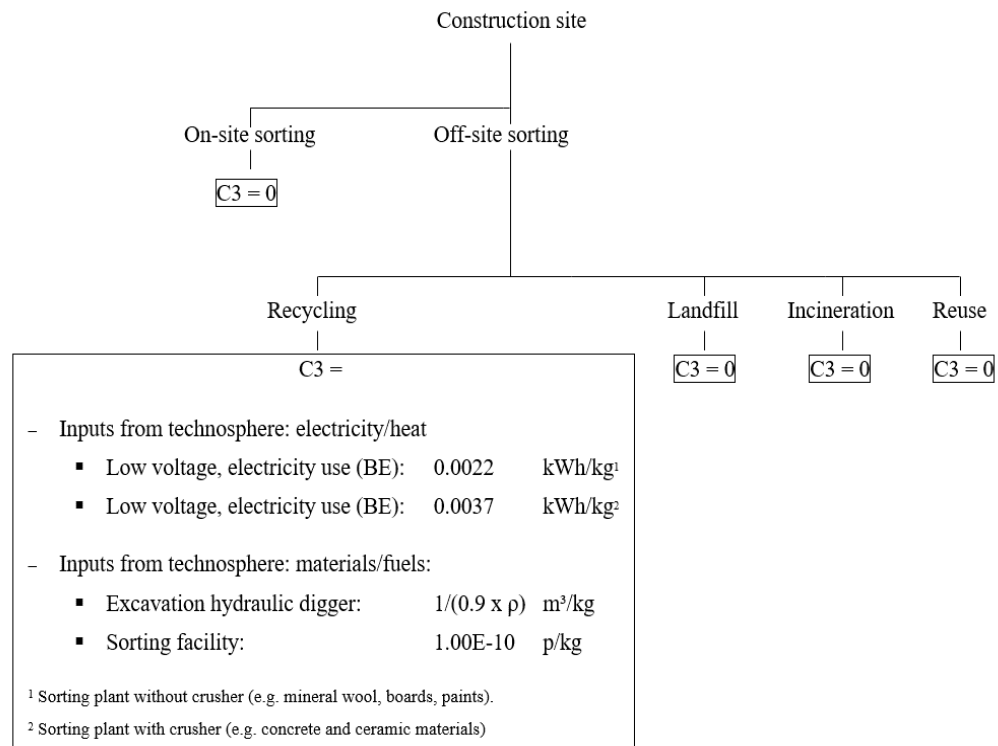
Main category	Waste category	Landfill	Incineration ^a	Reuse	Recycling	Sorted on building site ^b
Gypsum elements	Gypsum elements (e.g. gypsum blocks, gypsum (fibre/plaster)boards)	80%	0%	0%	20%	50%
Aerated / cellular concrete	Aerated autoclaved concrete (e.g. elements, blocks)	70%	0%	0%	30%	30%
Bitumen	Bitumen (e.g. bituminous roofing, vapour barrier, waterproofing membrane)	85%	5%	0%	10%	0%
Polyolefins (PP, PE)	Polyolefins (PP, PE) (e.g. kraft paper or polyethylene (PE) vapour barrier, ducts), excluding packaging	10%	85%	0%	5%	0%
Elastomers	Elastomers (e.g. EPDM roofing)	90%	0%	0%	10%	0%
PVC	PVC cabling (e.g. electric cables and wire insulation)	10%	40%	0%	50%	0%
	PVC pipes (e.g. for sewerage) ^c	10%	30%	0%	50%	0%
	PVC profiles (e.g. window frames)	10%	45%	0%	45%	0%
	PVC sheets (e.g. PVC roofing, waterproofing membranes (like for swimming pools))	20%	65%	0%	15%	0%
Supple flooring	Supple flooring (e.g. linoleum, fixed carpet, vinyl)	0%	95%	0%	5%	0%
Finishing layers ^d	Finishing layer fixed to stony waste (e.g. plaster (like gypsum plaster, calcareous plaster, loam plaster), paint, coatings, adhesives)	5%	0%	0%	95% ^e	0%
	Finishing layer fixed to wood, plastic or metal (e.g. paint, coatings, adhesives)	0%	100% ^f	0%	0%	0%
Remaining waste	Combustible remaining waste	0%	100%	0%	0%	0%
	Non-combustible remaining waste	100%	0%	0%	0%	75%
Other hazardous waste	Aerosols and kits (e.g. PU foam, silicones)	0%	100%	0%	0%	100%
	Asbestos (bounded, unbounded)	100%	0%	0%	0%	100%
	Fluorescent lamps	30%	0%	0%	70%	100%
	Liquid construction site waste (e.g. paints, adhesives, resins, form mould oil, white spirit)	0%	75%	0%	25%	100%



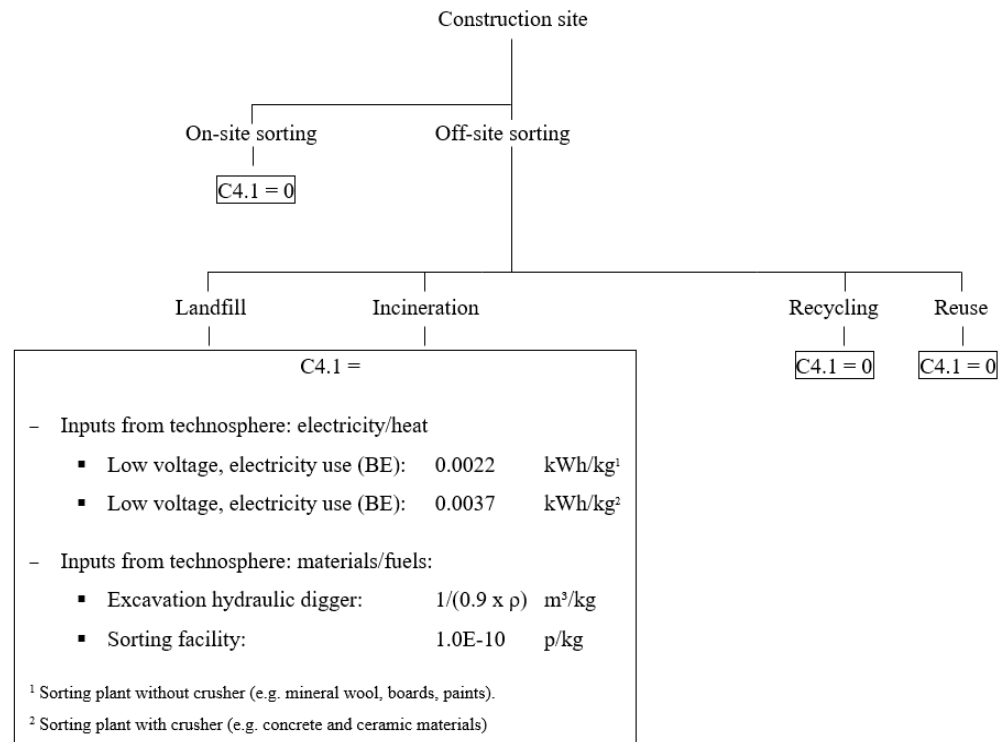
Figuur 1: Input C1 voor selectieve en destructieve sloop



Figuur 2: Transportafstand naar de verschillende afvalscenario's



Figuur 3: Input C3 bij afval bestemd voor recyclage



Figuur 4: Input C4 bij afval bestemd voor storten en verbranden

Bijlage 4: Input SimaPro processen mortel

Tabel 1: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg natte cementmortel

INPUT Cementmortel market for Cut-off, S VOOR 1KG MORTEL			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Cement, Portland {CH} market for Cut-off, S	0,184	kg	Hoeveelheid Portlandcement = 0,200 kg*0,92
Silica sand {GLO} market for Cut-off, S	0,736	kg	Hoeveelheid fijn zand = 0,800 kg*0,92
Energieverbruik			
Conveyor belt {GLO} market for Cut-off, S	3,06E-08	m	Gebruik loopband = 3,33E-08 m*0,92
Electricity, medium voltage {BE} market for Cut-off, S	0,025576	kWh	Elektriciteit nodig bij productie van 1 kg natte mortel = 0,0278 kWh*0,92
Industrial machine, heavy, unspecified {RER} market for industrial machine, heavy, unspecified Cut-off, S	6,14E-06	kg	Gebruik industriële machines = 6,67E-06 kg*0,92
Verwerking			
Packing, cement {CH} processing Cut-off, S	0,92	kg	Verpakken van de droge mortel = 1 kg*0,92

Tabel 2: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg natte cementmortel {RoW}

INPUT Cementmortel {RoW} market for Cut-off, S VOOR 1KG MORTEL			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Cement, Portland {RoW} market for Cut-off, S	0,184	kg	Hoeveelheid Portlandcement = 0,200 kg*0,92
Silica sand {GLO} market for Cut-off, S	0,736	kg	Hoeveelheid fijn zand = 0,800 kg*0,92
Energieverbruik			
Conveyor belt {GLO} market for Cut-off, S	3,06E-08	m	Gebruik loopband = 3,33E-08 m*0,92
Electricity, medium voltage {GLO} market group for Cut-off, S	0,025576	kWh	Elektriciteit nodig bij productie van 1 kg natte mortel = 0,0278 kWh*0,92
Industrial machine, heavy, unspecified {RoW} market for industrial machine, heavy, unspecified Cut-off, S	6,14E-06	kg	Gebruik industriële machines = 6,67E-06 kg*0,92
Verwerking			
Packing, cement {RoW} processing Cut-off, S	0,92	kg	Verpakken van de droge mortel = 1 kg*0,92

Tabel 3: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg natte kalkmortel

INPUT Kalkmortel market for Cut-off, S VOOR 1KG MORTEL			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Chemical, organic {GLO} market for Cut-off, S	0,002475	kg	Hoeveelheid Portlandcement = 0,003 kg*0,875
Lime, hydraulic {RER} market for lime, hydraulic Cut-off, S	0,102795	kg	Hoeveelheid hydraulische kalk = 0,1246 kg*0,875
Lime, hydrated, packed {RER} market for lime, hydrated, packed Cut-off, S	0,102795	kg	Hoeveelheid gehydrateerde kalk = 0,1246 kg*0,875
Silica sand {GLO} market for Cut-off, S	0,616935	kg	Hoeveelheid fijn zand = 0,7478 kg*0,875
Energieverbruik			
Chemical, organic {GLO} market for Cut-off, S	2,75E-08	m	Gebruik loopband = 3,33E-08 m*0,875
Lime, hydraulic {RER} market for lime, hydraulic Cut-off, S	0,022935	kWh	Elektriciteit nodig bij productie van 1 kg natte mortel = 0,0278 kWh*0,875
Lime, hydrated, packed {RER} market for lime, hydrated, packed Cut-off, S	5,50E-06	kg	Gebruik industriële machines = 6,67E-06 kg*0,875
Verwerking			
Packing, lime product {CH} processing Cut-off, S	0,875	kg	Verpakken van de droge mortel = 1 kg*0,875

Tabel 4: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg natte kalkmortel {RoW}

INPUT Kalkmortel {RoW} market for Cut-off, S VOOR 1KG MORTEL			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Chemical, organic {GLO} market for Cut-off, S	0,002475	kg	Hoeveelheid Portlandcement = 0,003 kg*0,875
Lime, hydraulic {RoW} market for lime, hydraulic Cut-off, S	0,102795	kg	Hoeveelheid hydraulische kalk = 0,1246 kg*0,875
Lime, hydrated, packed {RoW} market for lime, hydrated, packed Cut-off, S	0,102795	kg	Hoeveelheid gehydrateerde kalk = 0,1246 kg*0,875
Silica sand {GLO} market for Cut-off, S	0,616935	kg	Hoeveelheid fijn zand = 0,7478 kg*0,875
Energieverbruik			
Conveyor belt {GLO} market for Cut-off, S	2,75E-08	m	Gebruik loopband = 3,33E-08 m*0,875
Electricity, medium voltage {GLO} market group for Cut-off, S	0,022935	kWh	Elektriciteit nodig bij productie van 1 kg natte mortel = 0,0278 kWh*0,875
Industrial machine, heavy, unspecified {RoW} market for industrial machine, heavy, unspecified Cut-off, S	5,50E-06	kg	Gebruik industriële machines = 6,67E-06 kg*0,875
Verwerking			
Packing, lime product {RoW} processing Cut-off, S	0,875	kg	Verpakken van de droge mortel = 1 kg*0,875

Tabel 5: Input processen en bijhorende waarden in SimaPro voor 1 kg natte bastaardmortel

INPUT Bastaardmortel market for Cut-off, S VOOR 1KG MORTEL			
Input	Kwantiteit	Eenheid	Beschrijving
Grondstoffen en bijhorend transport			
Cement, Portland {CH} market for Cut-off, S	0,086842	kg	Hoeveelheid Porlandcement = (200/1900) kg*0,875
Lime, hydrated, packed {RER} market for lime, hydrated, packed Cut-off, S	0,043421	kg	Hoeveelheid gehydrateerde kalk = (100/1900) kg*0,875
Silica sand {GLO} market for Cut-off, S	0,694737	kg	Hoeveelheid fijn zand = (1600/1900) kg*0,875
Energieverbruik			
Conveyor belt {GLO} market for Cut-off, S	2,75E-08	m	Gebruik loopband = 3,33E-08 m*0,875
Electricity, medium voltage {BE} market for Cut-off, S	0,022935	kWh	Elektriciteit nodig bij productie van 1 kg natte mortel = 0,0278 kWh*0,875
Industrial machine, heavy, unspecified {RER} market for industrial machine, heavy, unspecified Cut-off, S	5,50E-06	kg	Gebruik industriële machines = 6,67E-06 kg*0,875
Verwerking			
Packing, lime product {RoW} processing Cut-off, S	0,875	kg	Verpakken van de droge mortel = 1 kg*0,875

