

Vergelijkende materiaaltechnische LCA-studie van structurele vloer-balk systemen

Cedric Vennens, Jens Baetens

Promotoren: prof. dr. ir. Wouter De Corte, prof. dr. ir. Veerle Boel

Begeleider: Charlotte Dossche

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Master of Science in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Vakgroep Bouwkundige Constructies

Voorzitter: prof. dr. ir. Luc Taerwe

Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur

Academiejaar 2015-2016



Vergelijkende materiaaltechnische LCA-studie van structurele vloer-balk systemen

Cedric Vennens, Jens Baetens

Promotoren: prof. dr. ir. Wouter De Corte, prof. dr. ir. Veerle Boel

Begeleider: Charlotte Dossche

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Master of Science in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Vakgroep Bouwkundige Constructies

Voorzitter: prof. dr. ir. Luc Taerwe

Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur

Academiejaar 2015-2016



Voorwoord

Via deze weg willen wij graag van de gelegenheid gebruik maken om enkele mensen te bedanken. Ieder van hen heeft een grote bijdrage geleverd in de realisatie van deze thesis.

Eerst en vooral wensen wij onze begeleidster, ing. Charlotte Dossche, te bedanken voor de uitstekende dagelijkse begeleiding van deze masterproef. Zij stond steeds klaar om ons advies te geven omtrent de uitwerking van onze studie. Ook bij problemen hielp ze steeds om een tot een uitgewerkte oplossing te komen.

Verder wensen wij onze promotoren prof. dr. ir. Wouter De Corte en prof. dr. ir. Veerle Boel te bedanken voor de hulp tijdens de begeleidende momenten. De kritische en praktijkgerichte visie waarmee zij onze opvattingen evalueerden, heeft ons geleerd om de resultaten kritisch te bestuderen.

Voorts willen wij Sam De Schepper en Ellen Van den Bremt (studenten van een andere LCA-thesis) bedanken voor de samenwerking gedurende de uitwerking van deze thesis.

Verder willen wij graag ook volgende collega-studenten bedanken: Dimitri Vereecken, Kasper Heyndrickx, Michaël Gaveele, Mathias Marijsse, Josse Billiau en Jesse Houf. Elk van hen had een groot aandeel in de aangename sfeer gedurende dit academiejaar en de talloze werkuren op de campus. Ook onze vrienden verdienen een woord van dank voor de geleverde steun en voor de ontspanning na de schooluren.

Tot slot willen wij graag onze ouders en familie bedanken voor de steun en toeverlaat gedurende de hele opleiding. Zij stonden steeds paraat om ons bij te staan waar nodig. Ook het nalezen van de talloze geschreven werken, namen zij voor hun rekening.

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 beperking van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze masterproef.

Gent, 7 juni 2016

Jens Baetens

Cedric Vennens

Vergelijkende materiaaltechnische LCA-studie van structurele vloer-balk systemen

door
Jens Baetens en Cedric Vennens

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van Master of Science in de
Industriële wetenschappen: bouwkunde

Academiejaar: 2015-2016

Promotor: prof. dr. ir. Wouter De Corte, prof. dr. ir. Veerle Boel
Begeleider: ing. Charlotte Dossche

Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur
Universiteit Gent

Vakgroep Bouwkundige Constructies
Voorzitter: prof. dr. ir. Luc Taerwe

Abstract

Levenscyclusanalyses worden de dag van vandaag steeds belangrijker voor het optimaliseren van productietechnologieën of voor materiaalkeuzes. Hoewel de bouwsector een probleemsector is op vlak van ecologie, wordt dit op gebouw- of op bouwelementniveau slechts beperkt toegepast. Dit onderzoek spits zich toe op de *cradle-to-grave* vergelijking van 26 verschillende structurele vloer-balk systemen, die twee verschillende lengtes overspannen, in de woningbouw.

De functionele eenheid van de verschillende structurele vloer-balk systemen kan beschreven worden als een vloer-balk systeem dat een vaste last van $1,5 \text{ kN/m}^2$ (dekvloer + tegels) en een variabele last van 2 kN/m^2 (woonzone: vloeren) kan dragen. De lengte van de dragende balk wordt vastgelegd op 6 m. Voor de vloeren worden zowel vloeren met een overspanning van 4 m als vloeren met een overspanning van 6 m bekeken.

De verschillende balken worden berekend met behulp van de gepaste Eurocodes. De bepaling van de vloersystemen gebeurt op basis van technische informatie van verscheidene producenten, eventueel aangevuld met handmatige berekeningen.

Uit de resultaten van deze studie blijkt dat de betonnen balk in combinatie met een voorgespannen welfsel dat 4 m of 6 m overspant, aan te raden is. De houten balk in combinatie met een cellenbetonvloer, die 4 m overspant en de houten ligger met naaldhouten balken en OSB-beplating, die 4 m overspannen, worden in deze studie en binnen de gebruikte systeemgrenzen afgeraden.

Kernwoorden: LCA, levenscyclusanalyse, *cradle-to-grave*, SimaPro, structurele vloer-balk systemen, constructiematerialen

Comparative material based life cycle analysis of structural beam-floor systems

Jens Baetens, Cedric Vennens

Supervisor(s): prof. dr. ir. Wouter De Corte, prof. dr. ir. Veerle Boel, ing. Charlotte Dossche

Abstract: Every day, the importance of LCA increases. It is used to optimize production technologies or to facilitate material choices. Although the construction industry is a problem in terms of ecology, LCA is only used for a limited cases of building projects. This study uses a cradle-to-grave analysis of multiple structural beam-floor systems, to compare and analyze the different environmental impacts of each system. By the use of a well-chosen functional unit (Pt/m² floor), it's even possible to compare these systems if they span different floor lengths. In this study, 26 combinations of structural beam-floor systems, spanning two different floor lengths are studied and compared.

Keywords: LCA, cradle-to-grave, SimaPro, structural beam-floor systems, construction materials

I. SHORT INTRODUCTION TO LCA

LCA (Life Cycle Assessment) is a widely used method to determine the environmental impact of a product. The environmental impacts are associated with all the stages of a product's life from raw material extraction through manufacture, use and disposal or recycling.

The LCA process consists of four essential steps [1]:

1. Goal and Scope
2. Life Cycle Inventory Analysis
3. Life Cycle Impact Assessment
4. Interpretation

The goals and scope sets out the context of the study. It includes technical data concerning the functional unit, system boundaries, assumptions and limitations.

LCI analysis involves creating an inventory of inputs from nature (water, energy and raw materials) and outputs to nature (emissions or releases to land, air and water) for a product. The inventory must be related to the functional unit. The input and output data is collected for all life stages within the system boundaries.

LCI assessment evaluates the significance of potential environmental impacts. The inventory is analyzed for environmental impact. Two methods are followed: problem oriented methods (midpoint) and damage oriented methods (endpoint). In the midpoint method, outputs are classified into environmental themes to which they contribute (climate change, photochemical ozone creation,...). The endpoint method models the damage of each environmental theme according to its effect on human health, ecosystem health or damage to resources.

The interpretation is used to check and evaluate the results of the LCI analysis and LCI assessment. It is an evaluation of the completeness and sensitivity of the study. It includes

conclusions, limitations and recommendations.

II. GOAL AND SCOPE

A. Goal

An LCA is used to ecologically compare and analyze different structural beam-floor systems. The goal of this study is to gain a better view on the environmental impact of these beam-floor systems. Based on the results, it will be possible to judge which system is (not) recommended from an ecological point of view.

In Belgium, residential buildings use most of the time concrete (CB), steel (SB) or wooden (WB) beams.

Traditionally, three types of floors are commonly used: wide slab floor (FWS), hollow-core floor (HCF) and beam and block floor (BBF). [2]

Seven additional floors are added in this study: prestressed hollow-core floor (PHCF), autoclaved aerated concrete floor (AACF), steeldeck floor (SDF), combifor floor system with steel plate (CSP), combifor floor system with OSB-plate (COSB), softwood beams with OSB-plate (SOSB), I-joist beams with OSB-plate (IOSB)

The most common used combinations of beam-floor systems in Belgium are used for this study, which are shown in Table 1.

Table 1 Overview of structural beam-floor combinations used in this study.

	FWS	AACF	HCF	IOSB	SOSB	BBF	SDF	CSP	COSB	PHCF
CB										
SB										
WB										

- A commonly used combination; adopted in this study.
 A not used combination; not adopted in this study.

B. Functional unit

The functional unit of the defined structural beam-floor systems can be described as followed: a system which can bear a permanent load equal to the load of a screed and tiles (1,5 kN/m²) and an imposed load which corresponds to domestic and residential activities (2,0 kN/m²).

For the LCA, only the structural parts of the beam-floor systems are accounted for, since the screed and tiles are equal for each system

The load bearing beams have a length of 6 m. For concrete

J. Baetens and C. Vennens are with the faculty of Engineering and Architecture, Ghent University (UGent), Gent, Belgium. E-mail: jenbaete.baetens@UGent.be; cedric.vennens@ugent.be

and wooden (glulam) beams, the other dimensions (width and height) are calculated by using respectively Eurocode 2 and 5. Subsequently, based on these calculated dimensions, the height is set to prefabricated dimensions. Next to this, steel IPE beams are chosen after calculating the maximum section modulus. Every beam has a deflection requirement of $L/300$.

The floor elements can span 4 m or/and 6 m. Technical documentation, provided by different floor producers, are used to determine the height, section, ... of the floors.

C. System boundaries

This study is a cradle-to-grave analysis. In other words, the environmental impact, starting from the extraction of the materials up to the end-of-life stage, is calculated. The construction on site, the use stage and demolition are, because of a shortage of usable data, not included in this study. For some processes an avoided impact has been used to simulate the recycling stage. Transportation to the recycling plant is not included. An overview of the system boundaries can be seen in Figure 1.

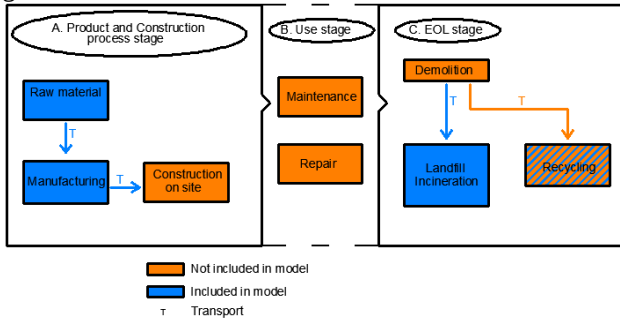


Figure 1 System boundaries

III. LIFE CYCLE INVENTORY ANALYSIS

The second step of an LCA consists of collecting all input and output data. For this study, the data is mostly collected from the Ecoinvent database. Next to this, data from specific product sheets has been used.

Because most data in the databases is typical for Switzerland or for Europe, this data has been adjusted to a Belgian context where possible. These adjustments apply mostly to energy and transport.

For the transport, not only the type of transport, but also the distances have been adjusted to a Belgian context. An assumption is made concerning transport of wooden materials to the fabrication plant, transport of building materials to the site and transport of the construction waste to the end-of-life treatment. These assumptions are predefined in a study by OVAM. [3]

Following material based assumptions are used:

- Cement in in situ concrete contains out of 35% Portland cement and 65% blast furnace slag. [3]
- Cement in prefabricated concrete contains out of 100% Portland cement.
- In autoclaved aerated concrete, 20% of the sand is replaced by recycled autoclaved aerated concrete. [4]
- All steel products are made out of 67,6% virgin steel and 32,4% scrap steel. [5]

Furthermore, the three end-of-life scenarios used in this study (landfill, incineration and recycling) are also based on information of OVAM. [3] An overview of the assumptive

destinations can be seen in Table 2. For some processes an avoided impact has been used to simulate the recycling stage. Heat as a result of incineration is not included.

Table 2 End-of-life destination for all used materials

	Landfill	Incineration	Recycling
Concrete and ceramic	5%	0%	95%
Autoclaved aerated concrete	70%	0%	30%
Steel	5%	0%	95%
Softwood	5%	95%	0%
Composite wood	5%	75%	20%

IV. LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT

SimaPro, a commonly used LCA software, contains a number of impact assessment methods, which are used to calculate impact assessment results. This study makes use of ReCiPe v1.05 Europe H/A. ReCiPe has both midpoint (problem oriented) and endpoint (damage oriented) impact categories. The midpoint characterization factors are multiplied by damage factors, to obtain the endpoint characterization values. At the endpoint level, these mentioned midpoint impact categories are multiplied by damage factors and aggregated into 3 endpoint categories. Finally the 3 endpoint categories are normalized, weighted, and aggregated into a single score. This single score is used to compare all defined systems. [6]

To compare structural beam-floor systems spanning 4 m with structural beam-floor systems spanning 6 m, the results of both will be expressed in Pt/m^2 floor. By the use of this unit, it will be possible to see, for all floors spanning 6 m, if the loss of volume of the beam/ m^2 and the increase of volume of the floor/ m^2 , is sufficiently to become a more ecological floor than the same type of floor, spanning 4 m.

A. Beams

Within the system boundaries, a concrete beam can be assumed as the most ecological solution, as viewed in Figure 2. Life phases concerning transportation have a higher relative part in the total environmental impact because of the high weight (comparing to a wooden or steel beam).

Less ecological is a steel beam. 99% of the environmental impact is attributable to the product stage. The other stages are negligible. The cause for the high impact due to the product stage is because all steel products are, in this study, made out of 67,6% virgin steel and 32,4% scrap steel. [5] The product stage of virgin steel results in a high environmental impact.

A wooden beam is the least ecological solution. The environmental impacts of transportation is equal to those of a steel beam. The high value as a result of the product stage can be explained as followed: the extraction of wood has a very big impact on the midpoint category 'Agricultural land occupation'. ReCiPe Europe attaches much importance to this category (large damage factors). The high value of the end-of-life stage is, in contrast to concrete, not a result of a high transportation impact. It can be related to a difference (relative to concrete and steel) in end-of-life destination: 70% of the autoclaved aerated concrete waste is sent to landfill. This is in contrast to 5% for concrete and ceramic.

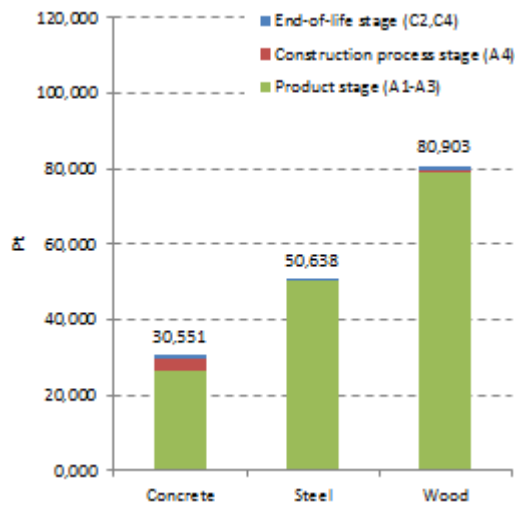


Figure 2 Environmental impact for three types of beams for an equal load.

B. Floors

Floors spanning 4 m

Figure 3 shows that a floor containing softwood beams and an OSB-plate is the least ecological solution. The cause of the high environmental impact is already described for a wooden beam.

An autoclaved aerated floor is also a non-ecological solution. The floor has a large weight and 70% of the waste goes to landfill. Hence the end-of-life stage has a relatively large impact (when compared to other floors).

A wide slab floor has a big environmental impact because of the large amount of concrete and reinforcing steel (when compared to other floors). Especially the production of steel causes a big impact. The transportation of the concrete does as well.

A combifor floor system with OSB-plate and a combifor floor system with steel plate have a negligible environmental impact from the construction process stage and end-of-life stage. The product stage is responsible for nearly 99% of the total environmental impact.

A prestressed hollow-core floor is the most ecological floor solution of all concrete floors. The low impact of the product stage is due to the small volume of reinforcing steel. In comparison with a hollow-core floor, a prestressed hollow-core floor has half the amount of steel. The construction stage is the least ecological construction stage of all floors, because of the large weight of the floor, which leads to large environmental impact due to transportation.

Within these system boundaries, a floor consisting out of I-joist beams and an OSB-plate is the most ecological solution of all defined floors. It has a small volume of needed wood.

Floors spanning 6 m

There is a change in order of preference, if compared to the floors spanning 4 m, as viewed in Figure 4.

A floor consisting out of I-joist beams and an OSB-plate and a prestressed hollow-core floor are still the most ecological floor solutions. A wide slab floor advances in the order of preference. The reason for this upsurge is that the amount of concrete and steel per m² is the same as the wide slab floor spanning 4 m. This phenomenon is only valid for the wide slab floor.

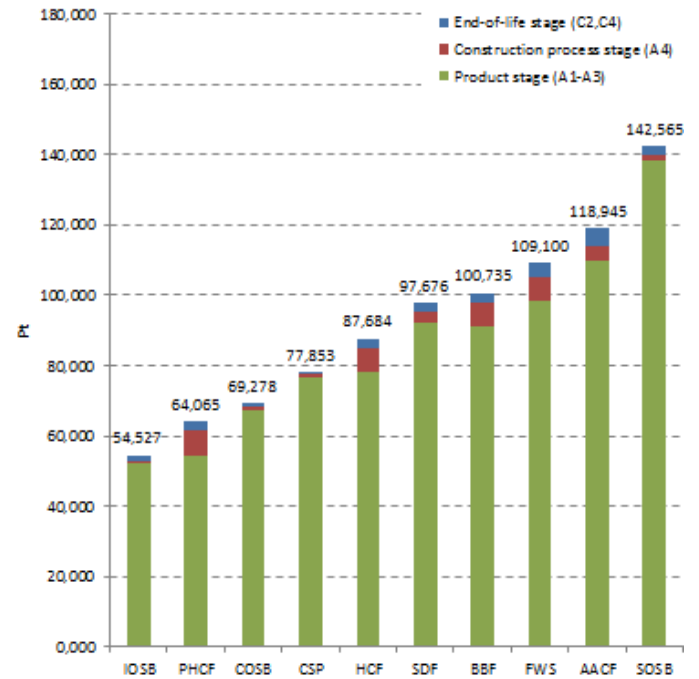


Figure 3 Environmental impact for ten types of floors, spanning 4 m, for an equal load.

The hollow-core floor becomes less preferred because of the needed additional reinforced concrete slab. Also the steeldeck floor needs more reinforcing concrete (in comparison with a steeldeck floor spanning 4 m).

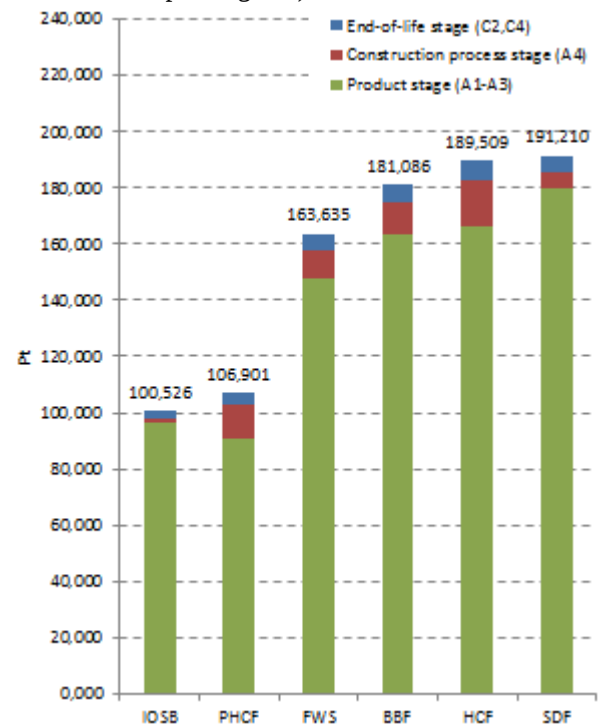


Figure 4 Environmental impact for six types of floors, spanning 6 m, for an equal load.

C. Structural beam-floor systems

Figure 5 shows that in general and within these system boundaries, the product stage is the most critical life stage in terms of environmental impact. On average, the impact score due to the product stage is over 92% of the total environmental impact. Beam floor-systems that consist of a concrete beam have a lower average because of the bigger

relative environmental impact due to the transportation to the site or end-of-life destinations.

On average, 66% of the environmental impact of the product stage is a result of the product stage of the floor. There are only two structural beam-floor systems having a beam with a bigger environmental impact: a wooden beam with I-joist beams and a OSB-plate and a steel beam with a prestressed hollow-core floor. Both structural beam-floor systems are an example of an ecological floor and un-ecological beam.

The construction process stage (transportation to the site) equals, on average, 5% of the total environmental impact. The floor is the determining factor (on average 80% of the environmental impact due to the construction process stage).

On average, the end-of-life stage has an environmental impact equal to 3% of the total environmental impact.

D. Overall list of preference

The average environmental impact value is considered as a structural beam-floor system with a preference ratio of 50%. The preference ratio (PR) of other structural beam-floor systems can be calculated by the use of given formula:

$$PR = 0,5 + \frac{eis - aeis}{aeis} \quad (1)$$

eis = environmental impact score

aeis = average environmental impact score

A high value for the calculated ratio means that the structural beam-floor system is not recommended in terms of ecology. A low value for the calculated ratio means that the structural beam-floor system is recommended in terms of ecology.

All structural beam-floor systems are divided in five groups, based on their preference ratio. It is assumed that the difference in environmental impact between systems of one group is negligible.

As can be seen in Figure 6, two structural beam-floor systems (steel beam with a prestressed hollow-core floor, spanning 4 m and 6 m) have a low value for the calculated ratio and are therefore recommended.

V. INTERPRETATION

A. Sensitivity analysis

There are a few assumptions in this study. By making sensitivity analyzes, the impact of these assumptions on the total environmental impact can be measured. Following sensitivity analyses are made:

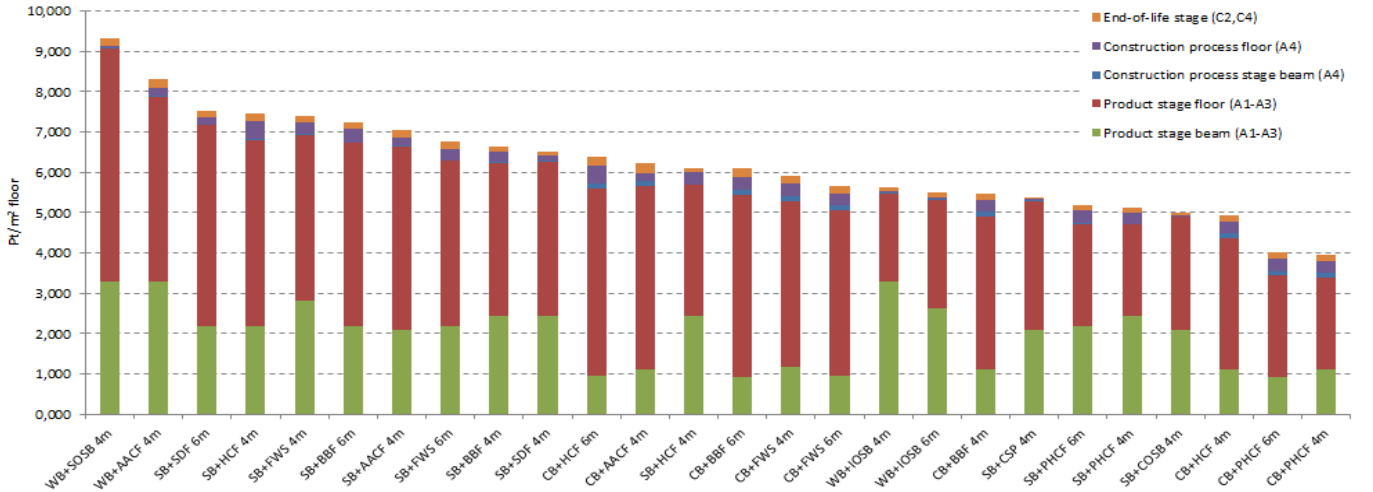


Figure 5 Environmental impact for 26 structural beam-floor systems spanning different lengths, for an equal load

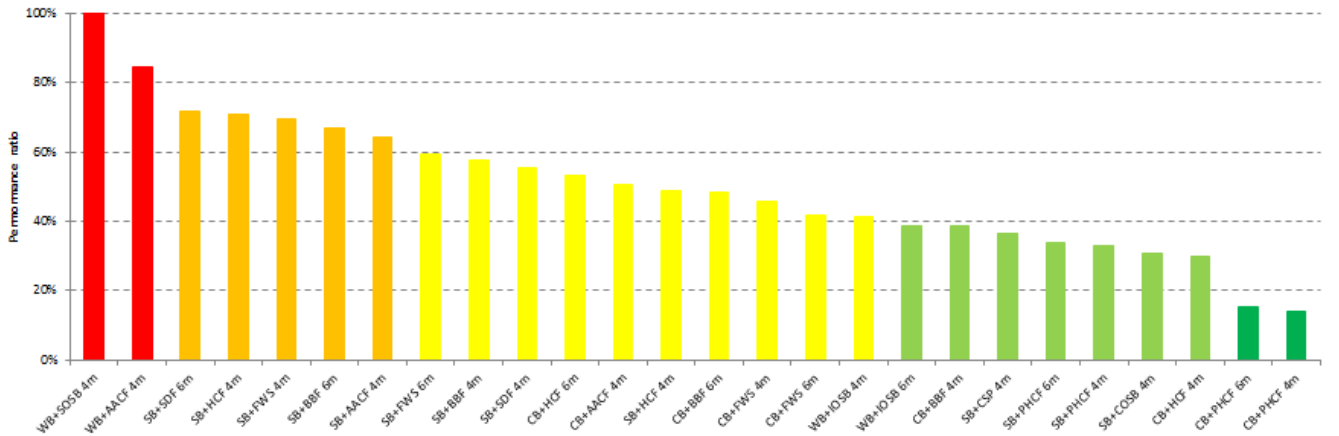


Figure 6 Performance ratio for 26 structural beam-floor systems

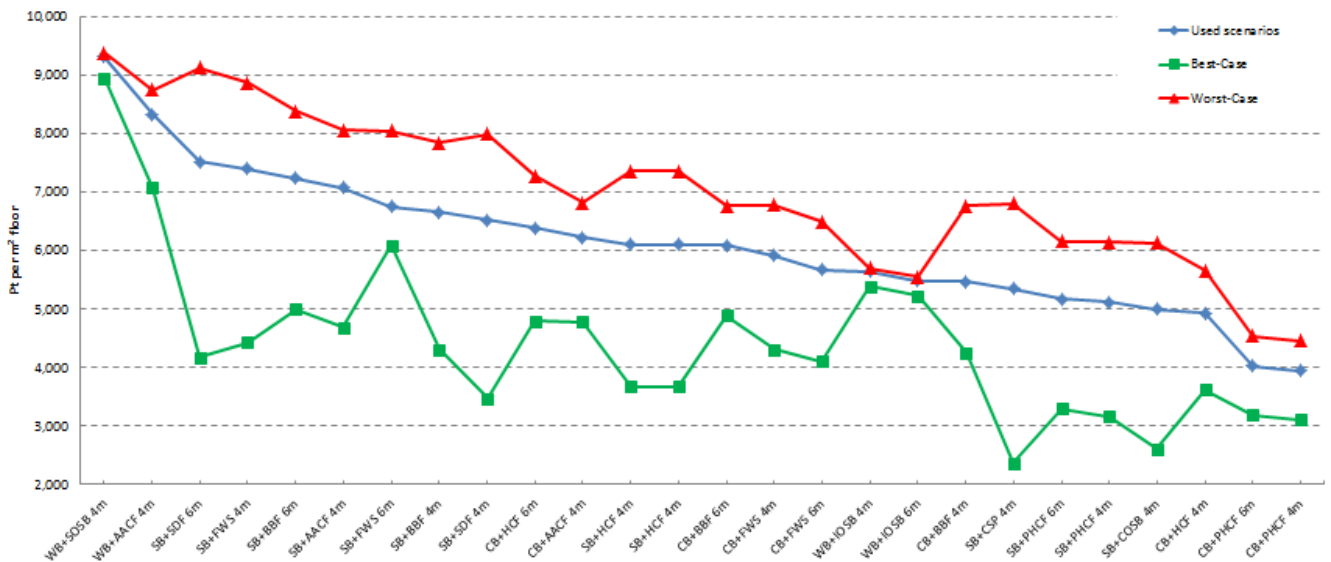


Figure 7 Cumulated environmental impact of all best-case scenarios and all worst-case scenarios.

1. Transportation (distance and transport) of wood to fabrication plant.
2. Transportation (distance and transport) of the structural beam-floor systems to the site.
3. Transportation (distance and transport) to end-of-life destination.
4. Concrete beam: more reinforcing steel, less concrete.
5. The amount of virgin steel and scrap steel in a steel product.
6. The use of autoclaved aerated concrete waste in new autoclaved aerated concrete.
7. The use of recycled gravel in concrete.

For analyzes 1,2,3 and 6, a best and worst-case scenario is created. 5 and 7 are made out of a few new scenarios with better or worse alternatives. The cumulated impact of all best-cases and all worst cases can be seen in Figure 7.

The first, fourth, sixth and seventh sensitivity analyzes shows that the impact of the described assumptions are negligible.

The consequences of assumptions concerning transportation of the structural beam-floor systems to the site (sensitivity analysis 2) or transportation to the end-of-life destination (sensitivity analysis 3) are noticeable. The environmental impact of systems, consisting out of heavy building materials (concrete beam in combination with a wide slab floor, a hollow-core floor, a prestressed hollow-core floor or a beam and block floor), can change up to 4,50%.

Assumptions concerning the amount of virgin steel and scrap steel in a steel product have a huge impact on the total environmental impact of a structural beam-floor system. On average, the use of 100% scrap steel leads to a decrease in environmental impact of 28,78%. The worst-case scenario (0% scrap steel) leads to an increase of the environmental impact by 14,40%. Structural beam-floor systems, consisting out of a steel beam, can have an decrease of 37,10% (best-case, on average) or decrease (worst-case, on average) of 18,38%. There is a change in order of preference under those

circumstances.

B. Limitations

A big limitation of this study is the excluding of the construction on site and the demolition. The environmental impact because of this stages will differ for light or heavy structural floor-beam systems. Nor is a coating for steel or wooden beams included.

A next limitation concerns the floors. Floors are not calculated by hand, They are selected by using technical documentation, provided by different floor producers. When more than one floor type was available, there is chosen for the lightest design. The lightest design does not necessarily reflect the most ecological model. An ecological optimization concerning the choice of the type of floor would be able to give a more accurate view on the final results.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to acknowledge the suggestions of many people.

REFERENCES

- [1] ISO 14040. (2006). *Environmental Management – Life cycle assessment – Principles and framework*. Genève: International Organisation for Standardisation.
- [2] Soorten welfsels of vloerelementen. 25/05/2016. available at <http://www.livios.be/nl/bouw/informatie/ruwbouw/beton/welfsels/soort-en-welfsels-of-vloerelementen/>
- [3] Debacker, W., Allacker, K., De Troyer, F., Janssen, A., Delem, L., Peeters, K., De Nocker, L., Spirinckx, C. & Van Dessel, J. (2012). Milieugerelateerde materiaalprestatie van gebouwelementen. Mechelen: OVAM
- [4] Vrijders, J., Nielsen, P. & Quaghebeur, M. (2009). Onderzoek naar hoogwaardige toepassingen van cellenbetonafval. OVAM. Mechelen
- [5] Steel Statistical yearbook 2015. (2015). Brussel: Worldsteel association
- [6] ReCiPe Characterisation (2008). Recipe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level, Report I: Characterisation. Nederland: Ruimte en Milieu.

Inhoudstabel

Voorwoord	i
Toelating tot bruikleen	ii
Abstract	iii
Inhoudstabel	ix
Lijst van figuren	xiv
Lijst van tabellen	xxiii
Lijst met afkortingen	xxvii
Lijst met symbolen	xxix
Hoofdstuk 1: Inleiding.....	1
Hoofdstuk 2: Literatuurstudie.....	3
2.1 Levenscyclusanalyse	3
2.1.1 LCA Algemeen.....	3
2.1.2 Korte geschiedenis.....	4
2.1.3 Toepassingen van LCA	4
2.1.4 Methodologisch kader	5
2.1.5 Beperkingen van LCA.....	17
2.2 Materiaalonderzoek	18
2.2.1 Beton	18
2.2.2 Staal	25
2.2.3 Hout	29
2.2.4 Cellenbeton.....	36
Hoofdstuk 3: Voorafgaande berekeningen en onderzoek.....	38
3.1 Opgelegde randvoorwaarden.....	38
3.2 Vloer-balk combinaties	38
3.3 Bepaling vloertypes	40
3.3.1 Breedplaatvloer.....	40
3.3.2 Cellenbetonvloer.....	40
3.3.3 Gewapende welfsels	41
3.3.4 I-Joist met OSB-plaat	42
3.3.5 Naalddhouten balken met OSB-plaat	43

3.3.6	Potten en balken	43
3.3.7	Staalplaatbetonvloer	44
3.3.8	Systeenvloer 1	45
3.3.9	Systeenvloer 2	45
3.3.10	Voorgespannen welfsels	45
3.3.11	Overzicht	47
3.4	Berekening balk/ligger	48
3.4.1	Betonnen balk.....	48
3.4.2	Stalen ligger.....	49
3.4.3	Houten glulam balk	50
3.4.4	Overzicht	51
Hoofdstuk 4:	Modellering in SimaPro	53
4.1	Doel en reikwijdte studie.....	53
4.2	Werkwijze SimaPro.....	54
4.3	Scenario's	55
4.3.1	Processen aangepast naar Belgische context	55
4.3.2	Scenario's aangaande transport	56
4.3.3	Scenario's aangaande de eindverwerkingsfase.....	60
4.4	Inhoud gebruikte processen.....	61
4.4.1	Stortbeton	61
4.4.2	Prefabbeton.....	62
4.4.3	Vulbeton/vulmortel.....	63
4.4.4	Dekvloer	63
4.4.5	Cellenbeton.....	64
4.4.6	Gebakken aarde	65
4.4.7	Warmgewalst staal.....	65
4.4.8	Koudgevormd staal.....	66
4.4.9	Wapeningsstaal.....	67
4.4.10	Glulam	68
4.4.11	OSB	68
4.4.12	Naaldhout	69
4.4.13	LVL	70
4.4.14	I-joist	71
4.5	Opbouw assemblages en levenscyclussen	73

4.5.1	Parameters en naamcoderingen	73
4.5.2	Assemblages balken	74
4.5.3	Assemblages vloeren	78
4.5.4	Modellering afval-/af dankscenario	97
Hoofdstuk 5:	Resultaten	100
5.1	Rekenmethode	100
5.2	Materiaalresultaten	100
5.2.1	Stortbeton	103
5.2.2	Prefabbeton	105
5.2.3	Vulbeton/vulmortel	108
5.2.4	Dekvloer	110
5.2.5	Cellenbeton	111
5.2.6	Gebakken aarde	113
5.2.7	Warmgewalst staal	115
5.2.8	Koudgevoormd staal	117
5.2.9	Wapeningsstaal	118
5.2.10	Glulam	120
5.2.11	OSB	122
5.2.12	Naaldhout	124
5.2.13	LVL	125
5.2.14	I-Joist	127
5.3	Balkresultaten	130
5.3.1	Betonnen balk	131
5.3.2	Stalen ligger	133
5.3.3	Houten balk	133
5.3.4	Overzicht	134
5.4	Vloerresultaten	137
5.4.1	Vloeren die 4 m overspannen	137
5.4.2	Vloeren die 6 m overspannen	143
5.5	Algemene resultaten	148
5.5.1	Voorkeursvolgorde	148
5.5.2	Algemene tendens	150
5.5.3	Vergelijking met literatuur	154
Hoofdstuk 6:	Gevoeligheidsanalyses	156

6.1	Transportmiddelen en -afstanden van houtgrondstoffen naar de fabriek	156
6.1.1	Bepaling van <i>best-case</i> en <i>worst-case</i> scenario	156
6.1.2	Impact op de resultaten.....	157
6.2	Transportmiddelen en -afstanden van balk en vloerelementen naar de werf	157
6.2.1	Bepaling van <i>best-case</i> en <i>worst-case</i> scenario.....	157
6.2.2	Impact op de resultaten.....	158
6.3	Transportmiddelen en -afstanden van sloopafval naar de verwerkingssite	160
6.3.1	Bepaling van <i>best-case</i> en <i>worst-case</i> scenario.....	160
6.3.2	Impact op de resultaten.....	160
6.4	Berekende hoogte van de betonnen balk	162
6.4.1	Bepaling van de scenario's.....	162
6.4.2	Impact op de resultaten.....	163
6.5	Samenstelling van het staal	164
6.5.1	Bepaling van de scenario's.....	164
6.5.2	Impact op de resultaten.....	164
6.6	Gebruik van cellenbetonsloopafval in nieuw cellenbeton	167
6.6.1	Bepaling van <i>best-case</i> en <i>worst-case</i> scenario.....	167
6.6.2	Impact op de resultaten.....	167
6.7	Gebruik van gerecycleerde granulaten in de productie van stortklaar beton.....	168
6.7.1	Bepaling van <i>best-case</i> en <i>worst-case</i> scenario.....	168
6.7.2	Impact op de resultaten.....	168
6.8	Globale gevoeligheidsanalyse	169
6.8.1	Bepaling van het best- en <i>worst-case</i> scenario	169
6.8.2	Impact op de resultaten.....	169
Hoofdstuk 7:	Conclusies.....	172
7.1	Nabespreking onderzoek	172
7.2	Algemene resultaten	172
7.3	Verder onderzoek	175
Referentielijst		176
Bijlagen		183
Bijlage A:	Berekeningen vloer	183
Bijlage B:	Berekening balken.....	192

Bijlage C: Materiaalhoeveelheden 225

Lijst van figuren

Figuur 1: Overzicht van de levenscyclus van een bouwproduct, element of gebouw (Levenscyclusanalyse of LCA, 2013)	3
Figuur 2: Overzicht vier stappen in een levenscyclusanalyse (ISO 14040, 2006)	5
Figuur 3: Impact van kapitaalgoederen. Zwart: kapitaalgoederen moeten opgenomen worden in de LCA. Grijs: er is nader onderzoek/bewijs nodig voor het al dan niet opnemen van kapitaalgoederen in de LCA. Wit: kapitaalgoederen moeten niet opgenomen worden in de LCA. (Frischknecht et al., 2007)	6
Figuur 4: Verschillende levenscyclusfasen in informatie modules (EN 15804, 2012)	9
Figuur 5: Overzicht werkwijze LCIA (ISO 14040, 2006).....	11
Figuur 6: Verband tussen Midpoint indicatoren en Endpoint indicatoren (ReCiPe, 2008).....	13
Figuur 7: Weighting factoren gebruikt in ReCiPe. Hierbij is de hierarchist-methode aangeraden (Huppel & van Oers, 2011). Voor berekeningen worden de tabelwaarden vermenigvuldigd met 1000.	16
Figuur 8: Karakteristieke waarden voor enkele midpoint indicatoren	16
Figuur 9: Resultaten voor enkele midpoint indicatoren na normalisatie	16
Figuur 10: Resultaten na omrekening van enkele karakteristieke midpoint waarden naar endpoint waarden	17
Figuur 11: Resultaten voor enkele endpoint indicatoren na normalisatie	17
Figuur 12: Enkele bijdrages van endpoint indicatoren, uitgedrukt in Pt, aan de totale impactscore. Deze resultaten zijn bekomen na omrekenen van de genormaliseerde endpoint indicatoren.	17
Figuur 13: Bijdrage processen aan milieubelasting betonproductie (Schoormans, Rouwette & Vonk, 2003).....	18
Figuur 14: EPD voor productie stortbeton (EPD Ready-mix concrete, 2006).....	19
Figuur 15: Grondstoffen voor de productie van 1 kg cement (Josa et al., 2003)	19
Figuur 16: Energieverbruik voor de productie van 1 kg cement (Josa et al., 2003).....	20
Figuur 17: De voornaamste emissies bij de productie van 1 kg cement (Josa et al., 2003)	21
Figuur 18: Importstromen van zand in Vlaanderen in 2011 (Delporte, 2015)	22
Figuur 19: Gebruik natuurlijke granulaten in België 1973-2004 (Janssen & Van Dessel, 2006)	23

Figuur 20: Totale hoeveelheid gerecycleerde granulaten in 2014 in België (Activiteitenrapport 2014, 2014).....	23
Figuur 21: Primaire en secundaire productiemethodes staal (Pardo, Moya & Vatopoulos, 2012)	25
Figuur 22: Overzicht van de in- en outputs voor de productie van ijzer en staal in de EU (Remus et al., 2013).....	27
Figuur 23: EPD voor productie en einde levenscyclus constructiestaal Vademecum van de staalproducten (Vademecum staal, 2013).....	27
Figuur 24: EPD voor productie en einde levenscyclus constructiestaal CELSA Barcelona (EPD Structural Steel, 2011).....	28
Figuur 25: Input primaire energie CELSA Barcelona (EPD Structural Steel, 2011).....	28
Figuur 26: EPD voor productie wapeningsstaal (de Rijk & Simons, 2015).....	29
Figuur 27: Productie glulam (Productie glulam, z.j.).....	30
Figuur 28: Percentages verschillende processen bij totale milieu-impact glulam (LCA glulam, 2012)31	
Figuur 29: EPD productie en eind levenscyclus naaldhout (EPD softwood, 2014).....	32
Figuur 30: Grondstoffen voor OSB-productie (Wilson, 2006)	33
Figuur 31: Energie voor OSB-productie (Wilson, 2006)	33
Figuur 32: Grondstoffen voor I-Joist productie (LCA I-Joist, 2013).....	34
Figuur 33: Kunsthars voor I-Joist productie (LCA I-Joist, 2013)	34
Figuur 34: Energie voor de I-Joist productie (LCA I-Joist, 2013).....	34
Figuur 35: Milieu-impact van de I-Joist productie (LCA I-Joist, 2013)	34
Figuur 36: Overzicht houtafval in Vlaanderen (Uitvoeringsplan houtafval, 2004).....	35
Figuur 37: Verwerkingswijze van houtafval in Vlaanderen (Uitvoeringsplan houtafval, 2004)	35
Figuur 38: Overzicht inzamel- en verwerkingsstructuur van houtafval in Vlaanderen (Uitvoeringsplan houtafval, 2004).....	36
Figuur 39: Grondstoffen voor de productie van cellenbeton (Saiyed et al., z.j.).....	36
Figuur 40: Milieu-impact van cellenbetonproductie (EPD autoclaved aerated concrete, 2012).....	37
Figuur 41: Principetekening I-joist met OSB-plaat.....	39
Figuur 42: Systeemvloer bestaande uit Combifor-profielen met zwaluwstaartplaat. Op deze figuur is eveneens een dekvloer en tegels te zien (Combifor vloersysteem, 2012)	39

Figuur 43: Overspanningsgrafiek breedplaatvloer (Van Herwijnen et al, 2010)	40
Figuur 44: Overspanning cellenbetonvloer (Dakplaten en Vloerplaten, 2015).....	41
Figuur 45: Vergelijking gewapende welfsels voor eenzelfde belasting	42
Figuur 46: Overspanning I-Joist (Eurabo I-Joist, 2015).....	43
Figuur 47: Overspanning naalddhouten balken (WTCB naalddhout, 2013).....	43
Figuur 48: Vergelijking potten en balken voor eenzelfde belasting.....	44
Figuur 49: Hart-op-hart afstand Combifor-profielen (Combifor vloersysteem, 2012)	45
Figuur 50: Vergelijking voorgespannen welfsels voor eenzelfde belasting	46
Figuur 51: Overzicht systeemgrenzen	53
Figuur 52: In rekening gebracht structureel vloer-balk systeem in het SimaPro model (donkergrijs gedeelte)	54
Figuur 53: Opbouw model in SimaPro.....	55
Figuur 54: Opbouw proces stortbeton	61
Figuur 55: Opbouw proces prefabbeton	62
Figuur 56: Opbouw proces vulbeton/vulmortel	63
Figuur 57: Opbouw proces dekvloer	64
Figuur 58: Opbouw proces cellenbeton.....	65
Figuur 59: Opbouw proces gebakken aarde	66
Figuur 60: Opbouw proces warmgewalst staal	66
Figuur 61: Opbouw proces koudgevormd staal.....	67
Figuur 62: Opbouw proces wapeningsstaal.....	67
Figuur 63: Opbouw proces glulam	68
Figuur 64: Opbouw proces OSB	69
Figuur 65: Opbouw proces naalddhout	70
Figuur 66: Opbouw proces LVL	71
Figuur 67: Opbouw proces I-joist 4 m	72
Figuur 68: Opbouw proces I-joist 6 m	73
Figuur 69: Opbouw assemblage betonnen balk.....	75

Figuur 70: Opbouw assemblage productie betonnen balk.....	75
Figuur 71: Opbouw assemblage transport naar werf van betonnen balk.....	75
Figuur 72: Gewichtsparemeters voor betonnen balken	76
Figuur 73: Opbouw assemblage stalen ligger	76
Figuur 74: Opbouw assemblage productie stalen ligger	76
Figuur 75: Opbouw assemblage transport naar werf van stalen ligger	77
Figuur 76: Gewichtsparemeters voor stalen liggers	77
Figuur 77: Opbouw assemblage houten balk	77
Figuur 78: Opbouw assemblage productie houten balk	78
Figuur 79: Opbouw assemblage transport naar werf van houten balk	78
Figuur 80: Gewichtsparemeters voor houten balken.....	78
Figuur 81: Opbouw assemblage breedplaatvloer 4 m	79
Figuur 82: Opbouw assemblage breedplaatvloer 6 m	79
Figuur 83: Opbouw assemblage productie breedplaatvloer 4 m	79
Figuur 84: Opbouw assemblage productie breedplaatvloer 6 m	80
Figuur 85: Opbouw assemblage transport naar werf van de breedplaatvloer 4 m	80
Figuur 86: Opbouw assemblage transport naar werf van de breedplaatvloer 6 m	81
Figuur 87: Opbouw assemblage cellenbetonvloer 4 m	81
Figuur 88: Opbouw assemblage productie cellenbetonvloer 4 m	81
Figuur 89: Opbouw assemblage transport naar werf van cellenbetonvloer 4 m	82
Figuur 90: Opbouw assemblage gewapend welfsel 4 m	82
Figuur 91: Opbouw assemblage gewapend welfsel 6 m	83
Figuur 92: Opbouw assemblage productie gewapend welfsel 4 m	83
Figuur 93: Opbouw assemblage productie gewapend welfsel 6 m	84
Figuur 94: Opbouw assemblage transport naar werf van gewapend welfsel 4 m	84
Figuur 95: Opbouw assemblage transport naar werf van gewapend welfsel 6 m	84
Figuur 96: Opbouw assemblage I-Joist in combinatie met OSB-beplating 4 m	85
Figuur 97: Opbouw assemblage I-Joist in combinatie met OSB-beplating 6 m	85

Figuur 98: Opbouw assemblage productie I-Joist in combinatie met OSB-beplating 4 m	85
Figuur 99: Opbouw assemblage productie I-Joist in combinatie met OSB-beplating 6 m	86
Figuur 100: Opbouw assemblage transport naar werf van I-Joist in combinatie met OSB-beplating 4 m	86
Figuur 101: Opbouw assemblage transport naar werf van I-Joist in combinatie met OSB-beplating 6 m	86
Figuur 102: Opbouw assemblage naaldhout in combinatie met OSB-beplating 4 m.....	87
Figuur 103: Opbouw assemblage productie naaldhout in combinatie met OSB-beplating 4 m.....	87
Figuur 104: Opbouw assemblage transport naar werf van naaldhout in combinatie met OSB-beplating 4 m.....	87
Figuur 105: Opbouw assemblage potten en balken 4 m.....	88
Figuur 106: Opbouw assemblage potten en balken 6 m.....	88
Figuur 107: Opbouw assemblage productie potten en balken 4 m.....	89
Figuur 108: Opbouw assemblage productie potten en balken 6 m.....	89
Figuur 109: Opbouw assemblage transport naar werf van potten en balken 4 m.....	89
Figuur 110: Opbouw assemblage transport naar werf van potten en balken 6 m.....	90
Figuur 111: Opbouw assemblage staalplaatbetonvloer 4 m.....	90
Figuur 112: Opbouw assemblage staalplaatbetonvloer 6 m.....	90
Figuur 113: Opbouw assemblage productie staalplaatbetonvloer 4 m.....	91
Figuur 114: Opbouw assemblage productie staalplaatbetonvloer 6 m.....	91
Figuur 115: Opbouw assemblage transport naar werf van staalplaatbetonvloer 4 m.....	92
Figuur 116: Opbouw assemblage transport naar werf van staalplaatbetonvloer 6 m.....	92
Figuur 117: Opbouw assemblage systeemvloer met zwaluwstaart-beplating 4 m.....	92
Figuur 118: Opbouw assemblage productie systeemvloer met zwaluwstaart-beplating 4 m.....	93
Figuur 119: Opbouw assemblage transport naar werf van systeemvloer met zwaluwstaart-beplating 4 m.....	93
Figuur 120: Opbouw assemblage systeemvloer met OSB-beplating 4 m	94
Figuur 121: Opbouw assemblage productie systeemvloer met OSB-beplating 4 m	94
Figuur 122: Opbouw assemblage transport naar werf van systeemvloer met OSB-beplating 4 m	94

Figuur 123: Opbouw assemblage voorgespannen welfsel 4 m	95
Figuur 124: Opbouw assemblage voorgespannen welfsel 6 m	95
Figuur 125: Opbouw assemblage productie voorgespannen welfsel 4 m	95
Figuur 126: Opbouw assemblage productie voorgespannen welfsel 6 m	96
Figuur 127: Opbouw assemblage transport naar werf van voorgespannen welfsel 4 m	96
Figuur 128: Opbouw assemblage transport naar werf van voorgespannen welfsel 6 m	96
Figuur 129: Afvalscenario in SimaPro	97
Figuur 130: Landfill afvalscenario	98
Figuur 131: Incineration afvalscenario.....	99
Figuur 132: Milieu-impactscore van 1 m ³ stortbeton, 1 m ³ prefabbeton, 1 m ³ vulbeton/vulmortel, 1 m ³ dekvloer, 1 m ³ cellenbeton en 1 m ³ gebakken aarde. Van elk materiaal wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan iedere milieucategorie weergegeven.	101
Figuur 133: Milieu-impactscore van 1 m ³ warmgewalst staal, 1 m ³ koudgevoormd staal en 1 m ³ wapeningsstaal. Van elk materiaal wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan iedere milieucategorie weergegeven.....	102
Figuur 134: Milieu-impactscore van 1 m ³ glulam, 1 m ³ naaldhout, 1 m ³ OSB en 1 m ³ LVL. Van elk materiaal wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan iedere milieucategorie weergegeven.	103
Figuur 135: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m ³ stortbeton.....	104
Figuur 136: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m ³ prefabbeton.....	106
Figuur 137: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m ³ vulbeton/vulmortel.....	108
Figuur 138: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m ³ dekvloer.....	111
Figuur 139: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m ³ cellenbeton	113
Figuur 140: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m ³ gebakken aarde.....	114
Figuur 141: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m ³ warmgewalst staal	116

Figuur 142: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m ³ koudgevoormd staal	118
Figuur 143: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m ³ wapeningsstaal	119
Figuur 144: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m ³ glulam.....	121
Figuur 145: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m ³ OSB	123
Figuur 146: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m ³ naaldhout	124
Figuur 147: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m ³ LVL	126
Figuur 148: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 kg I-Joist gebruikt voor een overspanning van 4 m.....	128
Figuur 149: Milieu-impactscore van de productfase 1 kg I-joist 4 m en 1 kg I-joist 6 . Van elk wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan iedere milieucategorie weergegeven.	129
Figuur 150: Vergelijking balken voor eenzelfde belasting (cellenbetonvloer 4 m overspanning). Van elke balk wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan de milieu-impact van de verschillende levensfasen weergegeven.....	131
Figuur 151: Vergelijking van de milieu-impactscore van de balken voor eenzelfde belasting (cellenbetonvloer 4 m overspanning). Voor elke balk wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan iedere milieucategorie weergegeven.	132
Figuur 152:Overzicht van de verschillende gebruikte types balken. Van elke balk wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan de milieu-impact van de verschillende levensfasen weergegeven	135
Figuur 153: Overzicht van de verschillende gebruikte types balken. Voor elke balk wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan iedere milieucategorie weergegeven.	136
Figuur 154: Vergelijking van de milieu-impactscore van vloeren, die 4 m overspannen, voor eenzelfde belasting (1,5 kN/m ² vaste belasting en 2 kN/m ² nuttige last). Van elke vloer wordt de bijdrage van de verschillende levensfasen weergegeven	137
Figuur 155: Vergelijking van de milieu-impactscore van vloeren, die 4 m overspannen, voor eenzelfde belasting (1,5 kN/m ² vaste belasting en 2 kN/m ² nuttige last). Voor elke vloer wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan iedere milieu-impactcategorie weergegeven.	138

Figuur 156: Vergelijking van de milieu-impactscore van vloeren, die 6 m overspannen, voor eenzelfde belasting (1,5 kN/m ² vaste belasting en 2 kN/m ² nuttige last). Van elke vloer wordt de bijdrage van de verschillende levensfasen weergegeven	144
Figuur 157: Vergelijking van de milieu-impactscore van vloeren, die 6 m overspannen, voor eenzelfde belasting (1,5 kN/m ² vaste belasting en 2 kN/m ² nuttige last). Voor elke vloer wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan iedere milieu-impactcategorie weergegeven.	145
Figuur 158: Aantal vloer-balk systemen per interval van 1 Pt per m ² vloer	148
Figuur 159: Beoordeling van de verschillende vloer-balk systemen. Een groene kleur geeft aan dat het systeem aan te raden is. Een rode kleur geeft aan dat het systeem af te raden is.	149
Figuur 160: Verschil in milieu-impactscore wanneer de vloeroverspanning wijzigt van 4 m naar 6 m	151
Figuur 161: Vergelijking van de milieu-impactscore van de verschillende voer-balk systemen, voor eenzelfde belasting (1,5 kN/m ² vaste belasting en 2 kN/m ² nuttige last). Van elk systeem wordt de bijdrage van de verschillende levensfasen weergegeven. De impactscores zijn uitgedrukt per m ² vloer.	152
Figuur 162: Vergelijking van de milieu-impactscore van de verschillende voer-balk systemen, voor eenzelfde belasting (1,5 kN/m ² vaste belasting en 2 kN/m ² nuttige last). Voor elk systeem wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt per m ² vloer, aan iedere milieu-impactcat	153
Figuur 163: Systeemgrenzen De Schepper & Van den Brecht (2016).....	155
Figuur 164: Impact van de transportmiddelen en -afstanden van de houtgrondstoffen naar de fabriek op de relevante vloer-balksystemen.	157
Figuur 165: Impact van de transportmiddelen en -afstanden van bouwmaterialen naar de werf.....	159
Figuur 166: Impact van de transportmiddelen en -afstanden van sloopafval naar de verwerkingssite	161
Figuur 167: Gewichtsparementen voor betonnen balken met minimale hoogte	162
Figuur 168: Impact van de parameter β op de berekeningen van betonnen balken	163
Figuur 169: Verloop van de milieu-impactscore, uitgedrukt in Pt per m ² vloeroppervlak, van best-case naar worst-case	165
Figuur 170: Impact samenstelling staal op de relevante balk-vloersystemen	166
Figuur 171: Impact hergebruik van cellenbetonsloopafval in nieuw cellenbeton op de relevante balk-vloersystemen.....	167
Figuur 172: Impact hergebruik van gerecycleerde granulaten in de productie van stortklaar beton op de relevante balk-vloersystemen	169

Figuur 173: Gemiddelde spreiding, uitgedrukt in %, van de verschillende best- en worst- cases ten opzichte van het basisscenario (100%).....	170
Figuur 174: Impact globale gevoeligheidsanalyse	171
Figuur 175: Voorkeursratio van de verschillende structurele vloer-balk systemen.	172
Figuur 176: Wijziging in milieu-impactscore wanneer de vloeroverspanning verandert	174
Figuur 177: Gemiddelde spreiding, uitgedrukt in %, van de verschillende best- en worst- cases ten opzichte van het basisscenario (100%).....	174

Lijst van tabellen

Tabel 1: Overzicht van Milieueffecten ReCiPe 2008 (ReCiPe Characterization, 2008).....	12
Tabel 2: Normalisatiefactor voor de verschillende midpoint-categorieën (ReCiPe Characterization, 2008).....	14
Tabel 3: Characterization factors Q_{em} voor het omzetten van midpoint indicatoren naar endpoint indicatoren. De tabel wordt gelezen als: Om een midpoint indicator voor Climate change (in kg) om te zetten naar een endpoint indicator voor Human health (in jaar) (individualist methode), moet vermenigvuldigd worden met $1,19 \cdot 10^{-6}$ jaar/kg. (ReCiPe Characterization, 2008)	15
Tabel 4: Overzicht van de verschillende balk-vloer combinaties.....	39
Tabel 5: Vergelijking gewapende welfsels voor eenzelfde belasting ($1,5 \text{ kN/m}^2$ vaste last en 2 kN/m^2 nuttige last). (Gewapend welfsel Pauli Beton, z.j.) (Gewapend welfsel Doubeton, 2014) (Gewapend welfsel Fingo, 2013) (Gewapend welfsel Van Thuyne-Ide bvba, z.j.).....	41
Tabel 6: Vergelijking potten en balken voor eenzelfde belasting ($1,5 \text{ kN/m}^2$ vaste last en 2 kN/m^2 nuttige last). (Staltonvloer met potten en balkjes, 2014) (Rector gebakken aarde, z.j.).....	44
Tabel 7: Vergelijking voorgespannen welfsels voor eenzelfde belasting ($1,5 \text{ kN/m}^2$ vaste last en 2 kN/m^2 nuttige last). (Voorgespannen welfsel Van Thuyne-Ide bvba, z.j.) (Voorgespannen welfsel Megaton, 2011) (Voorgespannen welfsel Echobel, z.j.) (Voorgespannen welfsel Fingo, 2015) (Voorgespannen welfsel Structo, z.j.)	46
Tabel 8: Overzicht van de verschillende vloertypes.....	47
Tabel 9: Berekende volumes voor elke balk met lengte 6m die een vloer met overspanning 4m draagt	52
Tabel 10: Berekende volumes voor elke balk met lengte 6m die een vloer met overspanning 6m draagt	52
Tabel 11: Lijst van gebruikte materiaaldichtheden	55
Tabel 12: Aangepaste processen naar Belgische context	57
Tabel 13: Transportscenario hout (Debacker et al., 2012)	58
Tabel 14: Gemiddelde transportafstanden en vervoersmiddelen voor stortbeton, prefab-producten en losse producten voor de ruwbouw	59
Tabel 15: Gemiddelde transportafstanden en vervoersmiddelen voor de eindverwerking van een bouwproduct (geldig voor alle materialen)	60

Tabel 16: Aangenomen bestemmingen van het afval voor verschillende afvalcategorieën (Debacker et al., 2012).....	60
Tabel 17: Nodige hoeveelheden OSB en LVL voor een I-joist met lengte = 4 m en lengte = 6 m.....	71
Tabel 18: Massaresultaten als input voor SimaPro. De resultaten voor de nodige massa LVL en OSB is de bruto-massa. Zaagselverliezen zijn dus inbegrepen.	72
Tabel 19: Codering vloersystemen.....	74
Tabel 20: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 m ³ stortbeton	105
Tabel 21: Vergelijking met literatuur voor productfase van 1 m ³ prefabbeton	107
Tabel 22: Vergelijking met literatuur voor productfase van 1 ton prefabbeton, voorzien van wapening	107
Tabel 23: Vergelijking betonsamenstelling met De Schepper & Van den Brecht (2016)	108
Tabel 24: Vergelijking met literatuur voor productfase van 34 kg vulmortel	109
Tabel 25: Vergelijking met literatuur voor productfase van 1 kg vulmortel	110
Tabel 26: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 kg dekvloer	111
Tabel 27: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 m ³ cellenbeton	112
Tabel 28: Vergelijking met literatuur voor de productfase 1 ton gebakken aarde	115
Tabel 29: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 kg warmgewalst staal	116
Tabel 30: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 ton koudgevoormd staal	117
Tabel 31: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 ton koudgevoormd staal	118
Tabel 32: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 kg wapeningsstaal	120
Tabel 33: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 m ³ glulam	122
Tabel 34: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 m ³ OSB.....	123
Tabel 35: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 m ³ OSB.....	124
Tabel 36: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 m ³ naaldbout.....	125
Tabel 37: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 m ³ LVL.....	127
Tabel 38: Vergelijking met literatuur van de productfase van 10 m I-Joist	130
Tabel 39: Type/afmetingen en massa van de balken voor eenzelfde belasting (cellenbetonvloer 4 m overspanning)	130
Tabel 40: Overzicht van alle gebruikte types/afmetingen van balken.....	134

Tabel 41: Beoordelingsmethode vloer-balk systemen.....	149
Tabel 42: Vergelijking van de in deze studie onderzochte structurele vloer-balk systemen (BB + GW 4m en BB + GW 6m)met het door De Schepper & Van den Brecht (2016) onderzocht vloer-balk systeem.	154
Tabel 43: Scenario's voor de gevoeligheidsanalyse van de transportafstanden van de houtgrondstoffen naar de fabriek (Debacker et al., 2012)	156
Tabel 44: Scenario's voor de gevoeligheidsanalyse van de transportafstanden van de bouwmaterialen naar de werf (Debacker et al., 2012)	158
Tabel 45: Scenario's voor de gevoeligheidsanalyse van de transportafstanden van het slooppafval naar de verwerkingssite (Debacker et al., 2012)	160
Tabel 46: Scenario's voor de gevoeligheidsanalyse van de samenstelling van staal.....	164
Tabel 47: Scenario's voor de gevoeligheidsanalyse van de recyclage van cellenbetonafval	167
Tabel 48: Scenario's voor de gevoeligheidsanalyses van de recyclage van betongranulaten.....	168
Tabel 49: Materiaalhoeveelheden beton en cementmortel van systemen met betonnen balk (minimale hoogte) in combinatie met breedplaatvloeren of gewapende welfsels.	225
Tabel 50: Materiaalhoeveelheden staal van systemen met betonnen balk (minimale hoogte) in combinatie met breedplaatvloeren of gewapende welfsels.	226
Tabel 51: Materiaalhoeveelheden beton en keramiek van systemen met betonnen balk (minimale hoogte) in combinatie met voorgespannen welfsels, potten en balken of een cellenbetonvloer	227
Tabel 52: Materiaalhoeveelheden cementmortel en cellenbeton van systemen met betonnen balk (minimale hoogte) in combinatie met voorgespannen welfsels, potten en balken of een cellenbetonvloer	228
Tabel 53: Materiaalhoeveelheden staal van systemen met betonnen balk (minimale hoogte) in combinatie met voorgespannen welfsels, potten en balken of een cellenbetonvloer	229
Tabel 54: Materiaalhoeveelheden beton en cementmortel van systemen met betonnen balk (economische hoogte) in combinatie met breedplaatvloeren of gewapende welfsels.....	230
Tabel 55: Materiaalhoeveelheden staal van systemen met betonnen balk (economische hoogte) in combinatie met breedplaatvloeren of gewapende welfsels.	231
Tabel 56: Materiaalhoeveelheden beton en keramiek van systemen met betonnen balk (economische hoogte) in combinatie met voorgespannen welfsels, potten en balken of een cellenbetonvloer	232

Tabel 57: Materiaalhoeveelheden cementmortel en cellenbeton van systemen met betonnen balk (economische hoogte) in combinatie met voorgespannen welfsels, potten en balken of een cellenbetonvloer	233
Tabel 58: Materiaalhoeveelheden staal van systemen met betonnen balk (economische hoogte) in combinatie met voorgespannen welfsels, potten en balken of een cellenbetonvloer	234
Tabel 59: Materiaalhoeveelheden beton en staal van systemen met stalen ligger in combinatie met breedplaatvloeren of gewapende welfsels	235
Tabel 60: Materiaalhoeveelheden keramiek, cementmortel en cellenbeton van systemen met stalen ligger in combinatie met breedplaatvloeren of gewapende welfsels	236
Tabel 61: Materiaalhoeveelheden beton en staal van systemen met stalen ligger in combinatie met voorgespannen welfsels, potten en balken of een cellenbetonvloer	237
Tabel 62: Materiaalhoeveelheden keramiek, cementmortel en cellenbeton van systemen met stalen ligger in combinatie met voorgespannen welfsels, potten en balken of een cellenbetonvloer	238
Tabel 63: Materiaalhoeveelheden beton en staal van systemen met stalen ligger in combinatie met staalplaatbetonvloeren of systeemvloeren	239
Tabel 64: Materiaalhoeveelheden keramiek, cementmortel en cellenbeton van systemen met stalen ligger in combinatie met staalplaatbetonvloeren of systeemvloeren	240
Tabel 65: Materiaalhoeveelheden van systemen met houten balk	241
Tabel 66: Materiaalhoeveelheden van systemen met houten balk	242

Lijst met afkortingen

AD	Abiotic depletion
ALO	Agricultural land occupation
AP	Acidication potential
BB	Betonnen balk
BOF	Basic oxygen furnace
BP	Breedplaatvloer
CB	Cellenbetonvloer
CC	Climate change
E	Egalitarian
EAF	Electric arc furnace
ED	Ecosystem diversity
EOL	End-of-life
EP	Eutrophication potential
EPD	Environmental Product Declaration
FD	Fossil fuel depletion
FE	Freshwater eutrophication
FET	Freshwater ecotoxicity
Glulam	Glued laminated timber
GW	Gewapend welfsel
GWP	Global warming potential
H	Hierarchist
HB	Houten balk
HH	Human health
HT	Human toxicity
I	Individualist
IJOSE	I-Joist balken met OSB-beplating
ILCD	International reference Life Cycle Data system
IR	Ionising radiation
ISO	International Organization for Standardization
LCA	Life cycle assessment (levenscyclusanalyse)
LCI	Life cycle inventory (levenscyclusinventarisatie)
LCIA	Life cycle impact assessment
LVL	Laminated veneer lumber
ME	Marine eutrophication
MET	Marine ecotoxicity
MRD	Mineral resource depletion
MUF	Melamine urea formaldehyde
NHOSB	Naaldhouten balken met OSB-beplating
NLT	Natural land transformation
OD	Ozone depletion
ODP	Ozone depletion potential
OHF	Open hearth furnace
OSB	Oriented strand board

PB	Potten en balken
PMDI	Polymeric Methylene Diphenylene Diiscocyanate
PMF	Particular matter formation
POCP	Photochemical oxident formation potential
POF	Photochemical oxident formation
Pt	Punten
RA	Resource availability
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
S	System proces
SB	Stalen balk
SD	Staalplaatbetonvloer
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SV	Systeemvloer
SVOSB	Systeemvloer met OSB-beplating
SVZS	Systeemvloer met zwaluwstaartplaat
TA	Terrestrial acidification
TET	Terrestrial ecotoxicity
U	Unit proces
ULO	Urban land occupation
UNEP	United Nations Environment Programme
USLCI	U.S. Life Cycle Inventory
VW	Voorgespannen welfsel
WD	Water depletion

Lijst met symbolen

M_g	Buigend-moment onder permanente belasting	kNm
M_q	Buigend-moment onder nuttige belasting	kNm
M_d	Buigend-moment (UGT)	kNm
d	Werkzame hoogte	m
b	Breedte van de balk/ligger	m
A_s	Theoretische wapeningssectie	mm ²
ζ	z/d	[-]
z	Hefboomsarm van het inwendig koppel	m
f_{yd}	Elasticiteitsgrens van het staal	N/mm ²
h	Hoogte van de balk/ligger	m
d_1	Afstand van het zwaartepunt van de getrokken of minst gedrukte langswapening tot de getrokken of minste gedrukte betonvezel	m
c	Betondekking op de wapening	m
$\emptyset$	Diameter van de wapening	mm
$\emptyset^*$	Maximum diameter van de wapening	mm
V_d	Dwarskracht (UGT)	kN
V_g	Dwarskracht onder permanente belasting	kN
V_q	Dwarskracht onder nuttige belasting	kN
W	Weerstandsmoment	m ³
f_y	Vloeigrens van het staal	N/mm ²
γ_m	Veiligheidsfactor	[-]
a	Doorbuiging	mm
E	Elasticiteitsmodulus	m ⁴
I	Traagheidsmoment	N/mm ²
$\sigma_{m,d}$	Ontwerpspanning	N/mm ²
$f_{m,d}$	Ontwerp buigsterkte	N/mm ²
k_{mod}	Factor die het effect van de duur van de belasting en vochtgehalte in rekening brengt	[-]
$f_{m,k}$	Buigsterkte	N/mm ²
$\tau_{v,d}$	Schuifspanning thv oplegging	N/mm ²
$f_{v,d}$	Ontwerp afschuifsterkte	N/mm ²
$f_{v,k}$	Afschuifsterkte	N/mm ²

Hoofdstuk 1: Inleiding

LCA (*Life Cycle Assessment*) is een veel gebruikte methode om het milieueffect van een product te bepalen. De dag van vandaag worden ze steeds belangrijker voor het optimaliseren van productietechnologieën of voor materiaalkeuzes. Hoewel de bouwsector een probleemsector is op vlak van ecologie, wordt dit op gebouw- of op bouwelementniveau slechts beperkt toegepast.

Deze milieuscore kan gebruikt worden om verschillende materialen te vergelijken, zodat componenten of gebouwen reeds in het ontwerpstadium ecologisch kunnen worden geoptimaliseerd. Deze vergelijking is enkel mogelijk wanneer de materialen technisch of structureel gelijkwaardig zijn en eenzelfde toepassing hebben.

Dit onderzoek spitst zich toe op de *cradle-to-grave* vergelijking van 26 verschillende structurele vloer-balk systemen in de woningbouw. Hierbij worden zowel vloeroverspanningen van 4 m als 6 m bekenen.

In ‘Hoofdstuk 2: Literatuurstudie’ wordt de werking (vier fasen in een levenscyclusanalyse), toepassingen en beperkingen van een LCA-studie besproken. Een literatuurstudie wordt uitgevoerd naar de in deze studie gebruikte materialen. De milieu-impact ten gevolge van de productie en de eindverwerking van de verschillende materialen wordt besproken.

In België worden voornamelijk balken gebruikt welke gemaakt zijn van hout, staal of gewapend beton. Voorgespannen betonnen balken worden in België ook frequent toegepast, maar in mindere mate in de woningbouw omwille van de te kleine overspanningen. De drie populairste vloeren in België zijn de gewapende welfsels, de potten en balken en de breedplaatvloeren (Soorten vloerelementen, z.j.). Deze vloersystemen worden nog aangevuld met voorgespannen welfsels, staalplaatbetonvloeren, I-Joist-liggers met OSB-beplating, naalddhouten-balken met OSB-beplating, systeemvloeren met OSB-beplating, systeemvloeren met zwaluwstaartbeplating en cellenbetonvloeren.

In ‘Hoofdstuk 3: Voorafgaande berekeningen en onderzoek’ worden de handmatige berekening van de verschillende balken uitgevoerd aan de hand van de gepaste eurocodes. De bepaling van de vloersystemen gebeurt op basis van technische informatie van verscheidene producenten, eventueel aangevuld met handmatige berekeningen. Indien er meerdere producenten van eenzelfde vloertype zijn, wordt een vergelijkende studie uitgevoerd. Hierbij wordt het lichtste vloerelement gekozen. Aangezien hout en staal, in tegenstelling tot gewapend beton, geen composiet materialen zijn, komt het lichtste element overeen met de meeste ecologische oplossing. Om deze lijn door te trekken wordt ook bij betonnen elementen het lichtste gekozen, ook al is dit niet in se de meest ecologische oplossing.

De functionele eenheid van de verschillende structurele vloer-balk systemen kan beschreven worden als een vloer-balk systeem dat een vaste last van 1,5 kN/m² (dekvloer + tegels) en een variabele last van 2 kN/m² (woonzone: vloeren) kan dragen. De lengte van de dragende balk wordt vastgelegd op 6

m. Voor de vloeren worden zowel vloeren met een overspanning van 4 m als vloeren met een overspanning van 6 m bekeken. De vloeren worden scharnierend opgelegd, waardoor de belastingen gelijkmatig verdeeld worden over de dragende balken. De balk wordt ondersteund door twee scharnierende steunpunten op de uiteinden

Het vierde hoofdstuk, Hoofdstuk 4: Modelleren in SimaPro, behandelt de uitwerking van de verschillende systemen in de software SimaPro. Van deze structurele vloer-balk systemen wordt een *cradle-to-grave* analyse uitgevoerd, waarbij de gebruikte processen zoveel mogelijk gerelateerd worden aan de Belgische context. De productfase wordt volledig opgenomen binnen de systeemgrenzen. Ook het transport van de producten naar de werf maakt deel uit van deze levenscyclusanalyse. De montage op de werf, de gebruiksfase en de sloop worden, door een gebrek aan gegevens voor alle bouwelementen, niet in rekening gebracht. Transport naar de eindverwerking en het storten of verbranden van het afval is eveneens opgenomen binnen de systeemgrenzen. In beperkte mate wordt rekening gehouden met recyclage van materialen door het gebruik van een *avoided impact*. Hierbij wordt de vermeden impact, bij het gebruik van gerecycleerd materiaal bij de productie van nieuw materiaal, reeds in rekening gebracht in het productieproces van nieuw materiaal. Er worden beredeneerde aannames gemaakt van de recyclagepercentages. Dit geldt eveneens voor gegevens betreffende transportafstanden en –middelen, materiaalsamenstellingen,...

In Hoofdstuk 5: Resultaten worden de resultaten van de levenscyclusanalyses uitgebreid besproken. Om de geloofwaardigheid van de bekomen resultaten na te gaan, worden vergelijkingen met de literatuur gemaakt. Er worden verbanden gelegd tussen de materialen aanwezig in het vloer-balk systeem en de bijhorende milieuscore. Deze verbanden worden gelegd voor de verschillende balken, belast met eenzelfde belasting en voor de verschillende vloeren. Er worden voorkeurs categorieën opgesteld op basis van een gemiddelde waarde.

In het laatste hoofdstuk, Hoofdstuk 6: Gevoeligheidsanalyses, wordt aan de hand van gevoeligheidsanalyses gekeken wat de impact, op de totale milieu-impactscores, is van verschillende aannames, die tijdens de studie zijn gebruikt. Van elke aanname wordt een *best-case*, *worst-case* en/of meerdere tussenscenario's opgesteld. Tot slot wordt een globale gevoeligheidsanalyse opgesteld om de gecumuleerde invloed van de aannames op de totale score na te gaan.

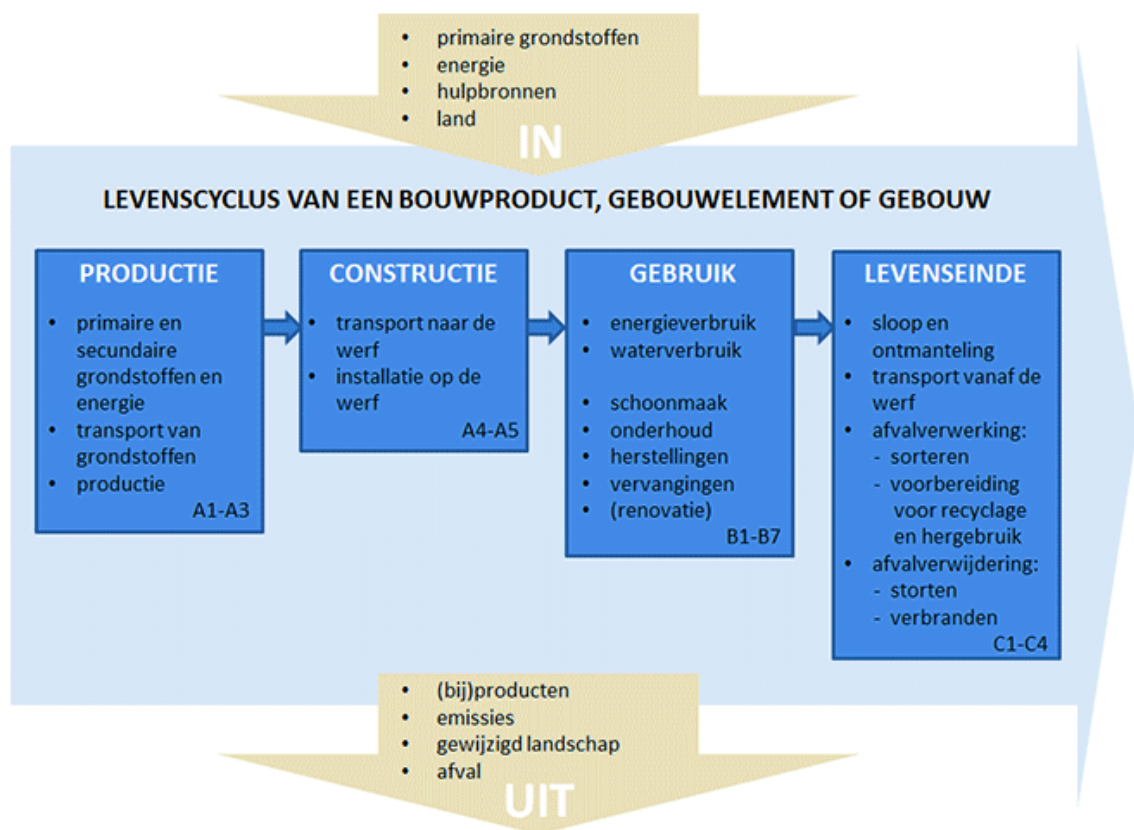
Hoofdstuk 2: Literatuurstudie

2.1 Levenscyclusanalyse

2.1.1 LCA Algemeen

LCA (*Life Cycle Assessment*) is een techniek om de totale impact op het milieu in kaart te brengen, en dit van de gehele of gedeeltelijke levenscyclus van een product (waarbij in deze studie de focus ligt op de bouwsector). Dit houdt in dat de impact wordt bepaald vanaf grondstofontginning via productie tot afgewerkt product en recyclage of eindverwerking. Deze vorm van duurzaamheidsanalyse kan de impact van het product beschrijven op drie verschillende niveaus: de sociale-, de economische- en omgevingsimpact. (Finnveden et al., 2009)

Een levenscyclus van een gebouw of constructie kan opgedeeld worden in vier opeenvolgende fasen (zie Figuur 1):



Figuur 1: Overzicht van de levenscyclus van een bouwproduct, element of gebouw (Levenscyclusanalyse of LCA, 2013)

- De productie: zowel de winning, verwerking als transport van de grondstoffen naar de fabriek/verwerking en de hiervoor gebruikte materialen.
- De constructie: de installatie op de werf, inclusief het transport van de fabriek tot op de werf.

- Het gebruik: het energie- en waterverbruik, schoonmaak, onderhoud, herstellingen en vervangingen tijdens het bestaan op de site.
- Levens einde: deze fase bestaat uit de sloop en ontmanteling enerzijds en de finale afvalverwerking, (storten, verbranden, hergebruik en recyclage, inclusief het transport vanaf de werf en het sorteren in een sorteerbedrijf) anderzijds.

Hierbij worden alle wijzigingen aan het leefmilieu en hun positieve en negatieve effecten bestudeerd.

2.1.2 Korte geschiedenis

De eerste vormen van onderzoek naar de milieu-impact van producten gaat terug naar de jaren 1960 en 1970. Deze studies waren beperkt tot louter energieleeranalyses. Later werden ze uitgebreid met emissie-studies en het afvalgebruik. De jaren '90 kenden een opmerkelijke groei in het gebruik van LCA, wat zich uitte in een aantal verschillende handleidingen, zoals SETAC¹ workshops en ISO² normen. SETAC streefde naar de ontwikkeling van verschillende methodes, terwijl ISO streefde naar de standaardisatie van de methodes en procedures omtrent een LCA. LCA werd meer en meer onderdeel van politieke twistpunten en wetten. (Guinée et al., 2011)

Sinds de 21^{ste} eeuw stijgt de aandacht voor LCA. In 2002 gingen UNEP³ en SETAC een verbond aan, bekend als de *Life Cycle Initiative*. Dit verbond had als doel om in de praktijk meer LCA-gericht te denken. Verder wilde het de beschikbare middelen voor dergelijke onderzoeken verbeteren en uitbreiden. (Guinée et al., 2011)

In 2010 is het ILCD⁴ handbook gepubliceerd door the Institute for Environment and Sustainability en the Environment DG⁵. Het handboek is een bundeling van technische richtlijnen die alle stappen bevat voor het opmaken en het juist uitvoeren van een LCA. (ILCD handbook, 2014)

Hoewel tegenwoordig de vraag naar LCA blijft stijgen, staat het gebruik van LCA nog niet op punt. Dit is hoofdzakelijk doordat de ISO nooit de standaardisatie van de verschillende methodes tot in detail heeft uitgewerkt en omdat er geen algemene norm is omtrent de interpretatie van een LCA.

2.1.3 Toepassingen van LCA

Guinée et al (2002) geven aan dat volgende zaken de voornaamste toepassingen van LCA zijn:

- Het analyseren van problemen en hun oorzaken bij de productie van een bepaald product.
- Het vergelijken van verschillende manieren of productieprocessen voor verbetering van een bestaand product.

¹ Society of Environmental Toxicology and Chemistry

² International Organization for Standardization

³ United Nations Environment Programme

⁴ International reference Life Cycle Data system

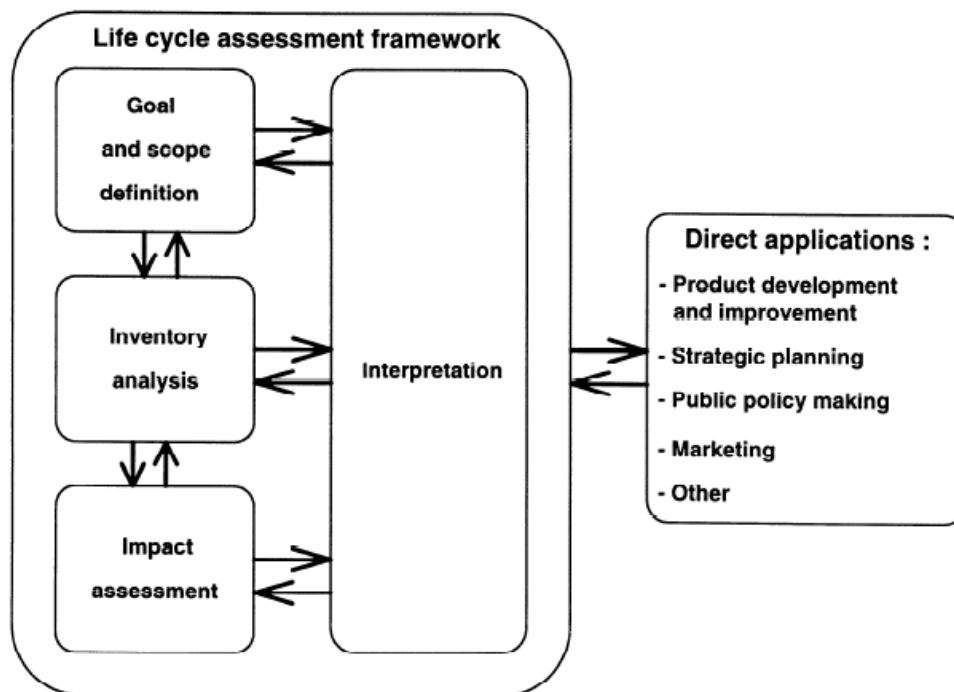
⁵ Environment Directorate-General

- Het ontwerpen (met het gebruik van een optimale methode) van nieuwe producten.
- Het beredeneerd keuzes maken tussen producten met een zelfde toepassing.

2.1.4 Methodologisch kader

De norm ISO 14040 beschrijft LCA als een iteratief proces waarbij er vier stappen ondernomen dienen te worden (zie Figuur 2):

- De doelbepaling en reikwijdte (Goal and Scope).
- De inventarisatie (Life Cycle Inventory Analysis).
- De impactanalyse (Life Cycle Impact Assessment).
- De interpretatie (Interpretation).



Figuur 2: Overzicht vier stappen in een levenscyclusanalyse (ISO 14040, 2006)

2.1.4.1 Doelbepaling en reikwijdte

Het doel omvat de vraagstelling en de reden van de uitvoering van de studie. Het beschrijft eveneens de doelgroep of belanghebbenden, de opdrachtgever en het beoogde gebruik van de LCA resultaten. Hierbij kan het zowel gaan over de individuele analyse van de milieu-impact van één enkel bouwproduct, element of gebouw maar ook de onderlinge vergelijking van meerdere vergelijkbare alternatieven. (ISO 14040, 2006)

De reikwijdte beschrijft de systeemgrenzen. Er wordt informatie gegeven over het tijdsbestek, het geografische en technologische bereik en het nauwkeurighedsniveau van het onderzoek. Er wordt een

functionele eenheid vastgelegd. Bovendien wordt er beschreven welke levenscyclustfasen in rekening worden gebracht of welk type levenscyclus wordt gebruikt. (Guinée et al., 2002)

Systeemgrenzen

Om met behulp van een LCA studie verschillende producten te vergelijken zijn er systeemgrenzen vereist. Deze systeemgrenzen bepalen welke elementen wel of niet worden opgenomen in de LCA. Dit is echter vaak een subjectieve keuze. Er zijn verschillende types systeemgrenzen:

- **Geografische plaats:** Geografie kan een rol spelen in een LCA door het feit dat verschillende onderdelen van producten elders in de wereld geproduceerd zijn. Ook de gevoeligheid voor verontreinigde stoffen verschilt van regio tot regio. Er is bovendien een verschil in gewoontes en regelgeving. Tot slot verschillen de elektriciteitsproductie, afvalbeleid en transportsystemen in elk land. (Tillman et al., 1993)
- **Tijdshorizon:** LCA's worden opgesteld vanwege de bezorgdheid voor de hedendaagse of toekomstige milieu-impact van hedendaagse producten. Daardoor moet een LCA meer de hedendaagse en toekomstige impact benaderen, dan de impact die reeds heeft plaats gevonden. De tijdshorizon is afhankelijk van de levensduur. (Tillman et al., 1993)
- **Kapitaalgoederen:** Het wel of niet opnemen van kapitaalgoederen (vb. machines voor productie) hangt af van situatie tot situatie. Figuur 3 geeft aan hoe groot het belang, inzake milieu-impact, is van kapitaalgoederen in verschillende sectoren. (Frischknecht et al., 2007)

	Land use	Mineral resources	Non-renewable CED	Climate change	Acidification / eutrophication	Toxicity and ecotoxicity
Fossil energy	major	major	minor	minor	minor	minor ^a
Nuclear energy	major	substantial	minor	substantial	substantial	substantial
Biomass energy	minor	major	substantial	substantial	minor	substantial
Renewable energy, nec	major	major	major	major	major	major
Metals	substantial	minor	minor	minor	minor	minor
Mineral construction materials	substantial	major	minor	minor	minor	substantial
Wood products	minor	major	substantial	minor	minor	substantial
Agricultural products	minor	major	substantial	minor	minor	substantial ^b
Transport services	major	major	substantial	substantial	substantial	substantial
Waste incineration	substantial	major	substantial	minor	minor	minor ^c
Landfilling	substantial	major	substantial	substantial	substantial	minor ^c
Wastewater treatment	major	major	major	major	substantial	substantial

^a substantial with natural gas; ^b minor regarding terrestrial ecotoxicity; ^c substantial regarding terrestrial ecotoxicity; CED: Cumulative Energy Demand; nec: not else covered (hydro, wind, solar)

Figuur 3: Impact van kapitaalgoederen. Zwart: kapitaalgoederen moeten opgenomen worden in de LCA. Grijs: er is nader onderzoek/bewijs nodig voor het al dan niet opnemen van kapitaalgoederen in de LCA. Wit: kapitaalgoederen moeten niet opgenomen worden in de LCA. (Frischknecht et al., 2007)

- **Grenzen tussen het bestudeerde product en andere producten:** Zoals een LCA van een product kan begrensd worden door een geografische plaats of gedurende een bepaalde tijdsspanne, kan het ook begrensd worden door een bepaalde productietechnologie. Aangezien er echter vaak verschillende eindproducten uit één productieproces kunnen komen, moet nageetrokken worden welke zaken (afvalrecyclage, afval, ...) gerelateerd zijn aan elk product. Hiervoor zijn drie verschillende methodes: (Tillman et al., 1993)

- *Process tree.*
- *Technological whole system.*
- *Socio-economic whole system.*

In deze studie wordt enkel gebruik gemaakt van de *Process tree* methode. Deze methode omvat enkel productieprocessen en transport die in directe lijn kunnen gerelateerd worden aan de productie, de hulpstoffen en productiemachines. Elke tak van de *process tree* kan opwaarts gevolgd worden tot de verwerving van grondstoffen. Wanneer meer dan één product wordt geproduceerd, worden de milieu-impacts verdeeld over de verschillende producten volgens bepaalde allocatieregels.

Functionele eenheid

De functionele eenheid is een referentie-eenheid die toelaat om twee technologieën, producten of diensten met elkaar te vergelijken (Functionele eenheid, 2013). Bij het bepalen van de functionele eenheid dient er dus uitgegaan te worden van gelijke functies, in plaats van gelijke hoeveelheden. Zo kan een thermische isolatie van 0.75 K.m²/W voor 1 m² buitenwand tijdens een levensduur van 50 jaar bereikt worden met verschillende isolatiematerialen met elk een eigen karakteristieke dikte. (ISO 14040, 2006)

Levenscyclusfasen

EN 15804 (2012) verdeelt de verschillende levenscyclusfasen in *information modules*: (zie Figuur 4)

Product stage (A1-A3):

- A1: Ontginning en verwerking grondstoffen. Hergebruik van materialen of producten, afkomstig uit andere productieprocessen. Verwerking van secundaire materialen, waarbij de productieprocessen van deze materialen buiten beschouwing worden gelaten.
- A2: Transport naar fabrikant.
- A3: Productie van ondergeschikte producten (pre-producten). Fabricage van het product en bijproducten (co-producten). Fabricage verpakking.

Elke van deze modules bevat de voorziening van alle materialen, producten, energie en afvalwerking.

Construction process stage (A4-A5):

- A4: Transport van het product van de fabriek naar de werf. Opslag van het product op de werf, waarbij rekening wordt gehouden met eventuele verwarming, koeling, ...
- A5: Installatie van het product op de werf, waarbij rekening wordt gehouden met het gebruik en transport van materialen/producten, energie en water, nodig voor deze installatie. Ook in-situ aanpassing aan het product worden in deze module opgenomen.

Use stage (B1-B7):

Deze fase omvat de modules die van toepassing zijn gedurende de periode tussen de oplevering van een constructie en de afbraak of deconstructie ervan. De duur van deze fase kan verschillen van de opgestelde levensduur van de constructie. Module B2 tot B4 omvatten een combinatie van alle technische (en administratieve) acties gedurende de levensduur van het product.

- B1: Gebruik van het geïnstalleerd product.
- B2: Onderhoud van het geïnstalleerd product. Het bevat eveneens de productie en transport van producten nodig voor dit onderhoud (kuisproducten) en transport van afval afkomstig van het onderhoud.
- B3: Herstel van het geïnstalleerd product. Deze module omvat bovendien ook de productie en transport van herstelonderdelen voor het product en transport van afval afkomstig van het herstelproces
- B4: Vervanging⁶ van het product.
- B5: Renovatie.

Met betrekking tot het algemene leefklimaat binnen het gebouw, worden nog twee andere modules gedefinieerd.

- B6: Energiegebruik (bijvoorbeeld voor verwarming of andere technieken).
- B7: Watergebruik.

Elk van deze modules bevat de voorziening en transport van nodige materialen, energie, water en afvalverwerking. Ook eventuele zaken afkomstig van verliezen tijdens deze fase worden in rekening gebracht.

End-of-life stage (C1-C4):

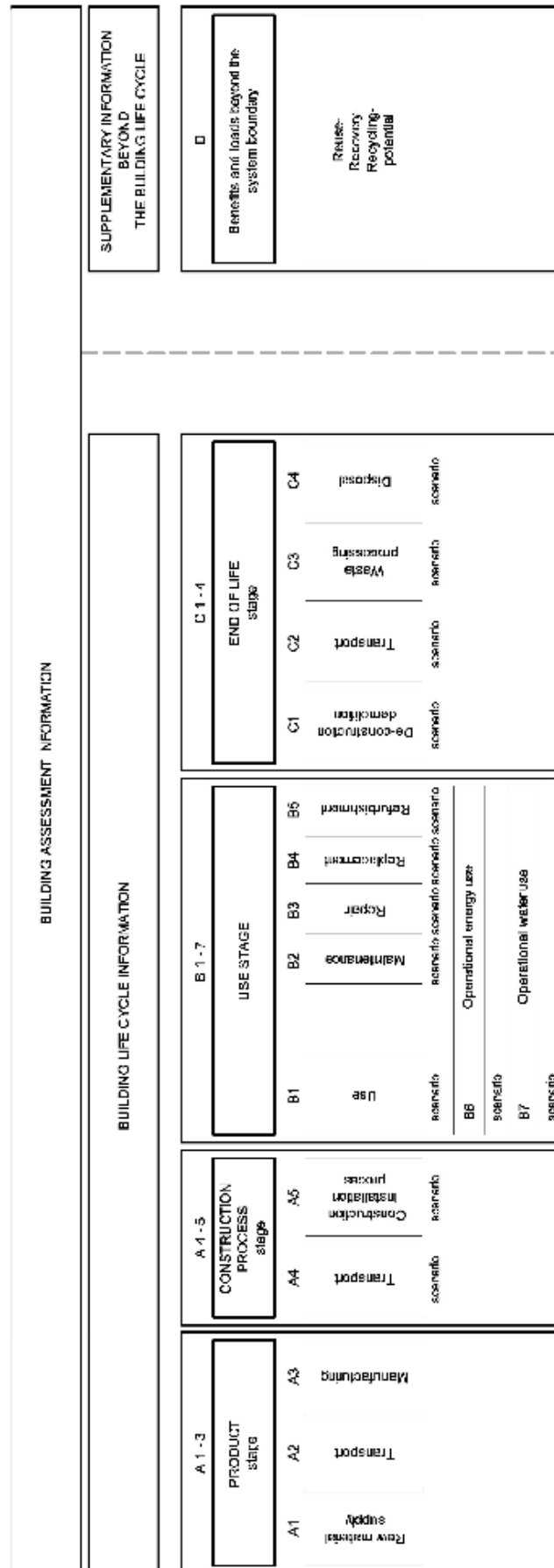
- C1: Afbraak en sloop.
- C2: Transport naar afvalverwerkingsbedrijf.
- C3: Afvalverwerking voor hergebruik, recyclage.
- C4: Stortafval.

Elk van deze modules bevat de voorziening en transport van nodige materialen, energie en water.

Benefits and loads beyond the system boundary (D):

Deze module bevat de milieu-impacten en milieu-opbrengsten ten gevolge van het hergebruik van producten, recycleren van materiaal of energiewinsten uit bijvoorbeeld verbranding van materiaal.

⁶ Het vervangen van een kapot onderdeel als gevolg van schade wordt als “herstel” beschouwd. Het vervangen van het gehele element wordt als “vervangen” beschouwd.



Figuur 4: Verschillende levenscyclusfasen in informatie modules (EN 15804, 2012)

Type levenscyclus

De levenscyclusfasen die in de LCA gebruikt worden, worden voor de studie vastgelegd. Voor bouwproducten zijn er vier types levenscyclussen die gebruikt kunnen worden (EN 15804, 2012):

- *Cradle to gate*: Deze levenscyclus beschrijft enkel de productiefase. Het bevat de aanvoer van grondstoffen, transport, fabricage en bijhorende processen.
- *Cradle to gate with options*: Deze levenscyclus beschrijft de productfase en enkele verdere fases, zoals bijvoorbeeld transport naar de werf, installatie op de werf, ...
- *Cradle to grave*: Deze levenscyclus beschrijft de productiefase, constructiefase, gebruiksfase en end-of-life fase.
- *Cradle to cradle*: Deze levenscyclus beschrijft een materiaal of product dat gerecycleerd wordt in een nieuw product zodat er geen afval is.

2.1.4.2 Inventarisatie

De LCI-stap (*Life Cycle Inventory Analysis*) bestaat uit de verzameling van alle detailgegevens nodig voor het uitvoeren van de LCA-studie. Hiervoor wordt het beschouwde productsysteem opgedeeld in verschillende fasen en worden per fase de inputs en outputs bepaald. Voorbeelden van *inputs* zijn de grondstoffen, het landgebruik, de benodigde energie, Emissies naar lucht, bodem en water zijn voorbeelden van *outputs*. Deze *inputs* en *outputs* worden dan aan de in de analyse beschouwde functionele eenheid gerelateerd.

Men kan ervoor kiezen om generieke data uit openbare LCI-databanken te nemen. Voorbeelden van dergelijke databanken zijn Ecoinvent⁷, USLCI⁸, ... Er kan ook geopteerd worden om meer specifieke data voor een welbepaalde productgroep of welbepaald product te gebruiken. De gekozen databanken dienen steeds duidelijk gecommuniceerd te worden.

Het is belangrijk om bij deze fase rekening te houden met de allocatieproblematiek. Eén proces brengt verschillende producten voort zodat de milieubelasting van de verschillende *inputs* en *outputs* over meerdere producten moet worden verdeeld. Deze verdeling gebeurt op basis van gedefinieerde wegingsfactoren. Dit is een verschijnsel dat zoveel mogelijk moet vermeden worden. (Levenscyclusanalyse of LCA, 2013)

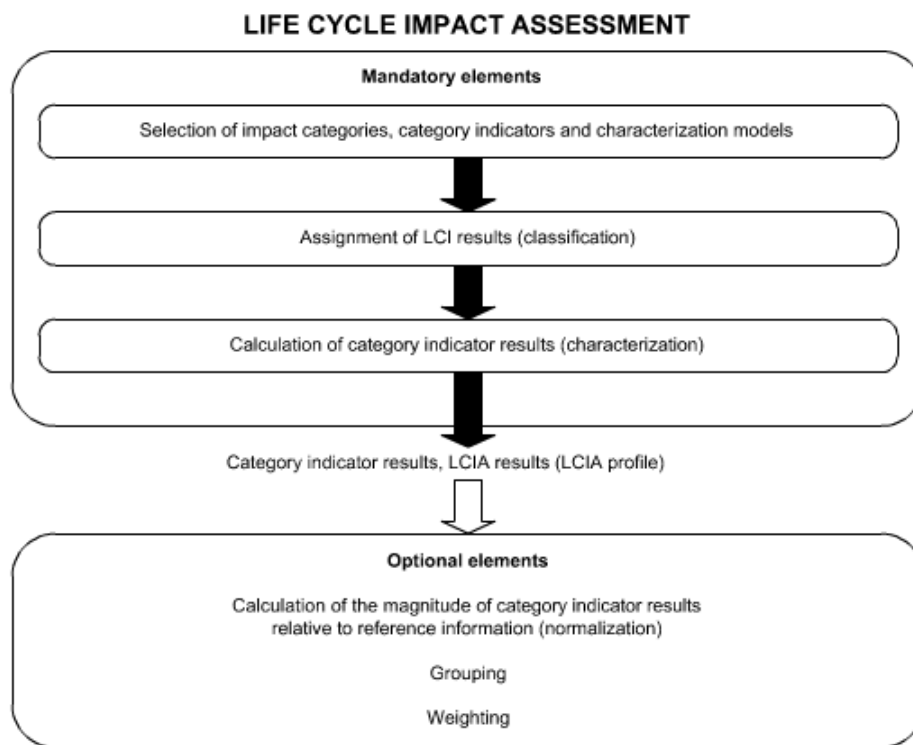
⁷ Ecoinvent is opgesteld door The Swiss Centre for Life Cycle Inventories, met als doel een verzameling aan LCI-data van hoge kwaliteit te voorzien. De gegevens zijn voornamelijk onderzocht voor Zwitserse en West-Europese omstandigheden. (Ecoinvent report No.1, 2007)

⁸ De U.S. Life Cycle Inventory (USLCI) is opgesteld door de National Renewable Energy Laboratory (NREL) en zijn partners. De database voorziet gate-to-gate, cradle-to-gate en cradle-to-grave gegevens over de energie- en materiaalstromen die gebruikt worden bij de productie van een materiaal in de U.S. (USLCI, 2013)

2.1.4.3 Impactanalyse

De LCIA-stap (*Life Cycle Impact Assessment*) evalueert de omvang en de betekenis van de mogelijke milieueffecten van het geanalyseerde product gedurende zijn gehele levenscyclus. Deze fase kan volgende stappen bevatten: (Ortiz, Castells & Sonnemann, 2009)

- Keuze impactcategorieën en impactindicatoren.
- Classificatie.
- Karakterisering.
- Normalisatie.



Figuur 5: Overzicht werkwijze LCIA (ISO 14040, 2006)

Milieu-impactcategorieën en milieueffecten

De inventarisatiegegevens worden opgedeeld in milieu-impactcategorieën naargelang hun impact op het leefmilieu. De keuze van de categorieën is afhankelijk van de doelstellingen van de LCA. Voorbeelden van dergelijke milieu-impactcategorieën zijn verzuring van bodem en water, vermesting, afbraak van de ozonlaag, uitputting van primaire grondstoffen, ... De impacts die deze categorieën aanduiden kunnen het gevolg zijn van emissies naar bodem, lucht en water, alsook van de ontginning van grondstoffen en het gebruik van land.

Er bestaan verschillende methodes voor het berekenen van de milieueffecten welke meestal verschillende milieu-impactcategorieën in acht nemen. Op basis van het gedefinieerde doel en reikwijdte dient op voorhand een keuze gemaakt te worden welke duidelijk geargumenteed wordt.

Voorbeelden van methodes voor het berekenen van de milieueffecten zijn ReCiPe⁹, CML¹⁰, ... In deze studie wordt voor de bepaling van de milieu-impact score gebruikt gemaakt van Europe ReCiPe.

Het doel van de ReCiPe methode is het omvormen van de lange lijst van LCI-outputs naar een beperkte lijst met indicatorscores. ReCiPe onderscheidt twee types indicatoren: 18 *Midpoint* indicatoren en 3 *Endpoint* indicatoren.

Huppes en van Oers (2011) beschrijven de *Midpoint* indicatoren als zijnde de “milieuproblemen”. Om tot de *Endpoint* indicatoren te komen, zijn deze milieuproblemen samengevoegd tot 3 indicatoren, de “beschermingsgebieden”. Een overzicht van de *Mid-* en *Endpoint* indicatoren is te zien in Tabel 1.

Het gebruik van deze *Endpoint* indicatoren kan verklaard worden doordat het grote aantal *Midpoint* indicatoren moeilijk te interpreteren zijn. Dit enerzijds omdat er zo veel zijn, uitgedrukt in een andere eenheid, en anderzijds omdat ze een abstracte betekenis hebben. (ReCiPe, 2008)

Tabel 1: Overzicht van Milieueffecten ReCiPe 2008 (ReCiPe Characterization, 2008)

<i>Midpoint</i> indicatoren	<i>Endpoint</i> indicatoren
• climate change (CC) • ozone depletion (OD) • terrestrial acidification (TA) • freshwater eutrophication (FE) • marine eutrophication (ME) • human toxicity (HT) • photochemical oxidant formation (POF) • particulate matter formation (PMF) • terrestrial ecotoxicity (TET) • freshwater ecotoxicity (FET) • marine ecotoxicity (MET) • ionising radiation (IR) • agricultural land occupation (ALO) • urban land occupation (ULO) • natural land transformation (NLT) • water depletion (WD) • mineral resource depletion (MRD) • fossil fuel depletion (FD)	• damage to human health (HH) • damage to ecosystem diversity (ED) • damage to resource availability (RA)

Classificatie, karakterisering, normalisatie, groepering en weging

Bij de classificatie worden de inventarisatiegegevens gegroepeerd volgens en toegeschreven aan de milieu-impactcategorieën. (Levenscyclusanalyse of LCA, 2013)

Bij de karakterisering wordt de bijdrage van de verschillende *inputs* en *outputs* aan de totale milieu-impact berekend en uitgedrukt in functie van een referentie-eenheid. Het komt er op neer de impact van een bepaalde stof om te rekenen naar het equivalent.

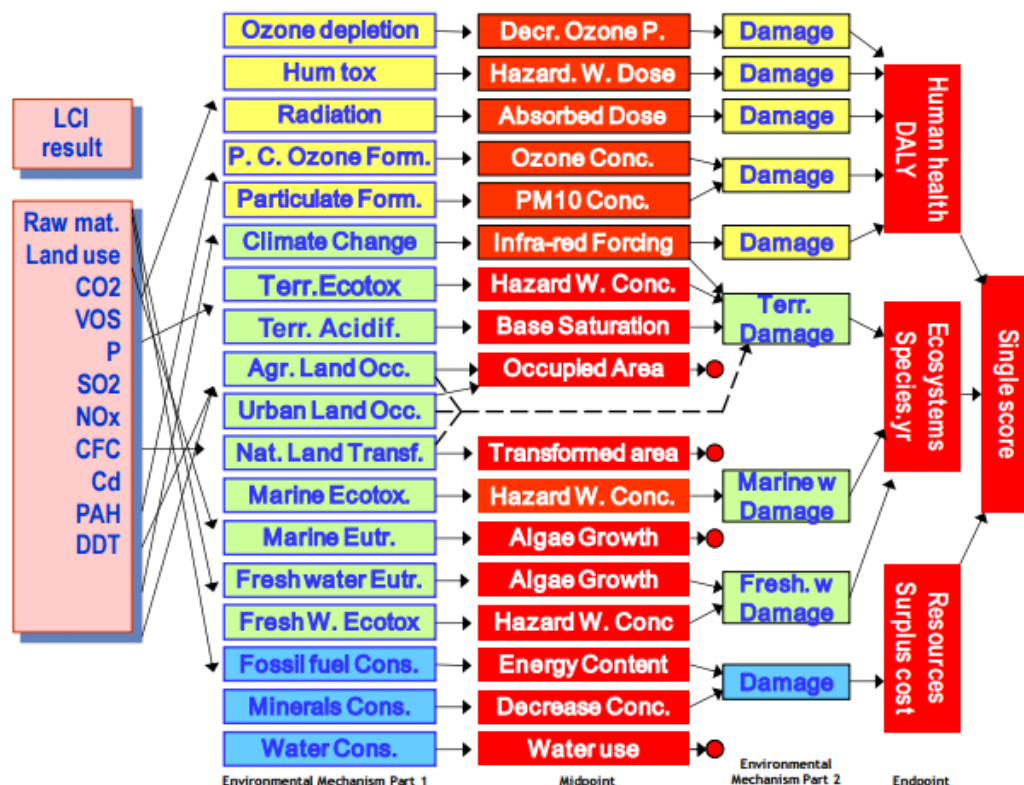
Ter illustratie wordt het CO₂-equivalent bij broeikasgassen besproken. De emissie van 1 kg methaan komt overeen met een emissie van 25 kg CO₂, daarom krijgt methaan een equivalente waarde van 25

⁹ ReCiPe is ontworpen door RIVM, CML, Pré Consultants en Radboud Universiteit Nijmegen.

¹⁰ Center of Environmental Science of Leiden University

kg CO₂ equivalent per kg methaan. Door de verschillende bijdragen tot een impactcategorie om te rekenen en op te tellen kan de totale milieu-impact van de categorie bepaald worden. (Levenscyclusanalyse of LCA, 2013)

Doordat de verschillende milieu-impactcategorieën allemaal een verschillende eenheid hebben, kunnen de resultaten onderling moeilijk vergeleken worden. Door middel van normalisatie worden de categorieën uitgedrukt ten opzichte van een gemeenschappelijke referentie. Hierna kunnen deze resultaten opgesplitst worden in groepen, op nominale basis (bijvoorbeeld globale of lokale effecten) of op basis van een vooropgestelde hiërarchie (bijvoorbeeld hoge of lage prioriteit). Tot slot kunnen deze groepen samengesteld worden zodat er één globale impactscore ontstaat. (ISO 14040, 2006)



Figuur 6: Verband tussen Midpoint indicatoren en Endpoint indicatoren (ReCiPe, 2008)

Verband tussen *midpoint*, *endpoint*, impactscore

Voor de omzetting naar *endpoint* indicatoren, zijn er twee types *characterisation factors* nodig: De eerste zet een karakterisering om naar een *midpoint* indicator (normalisatiefactor, zie Tabel 2), de tweede zet een *midpoint* indicator om naar een *endpoint* indicator (*characterisation factor* Q_{em} , zie Tabel 3). (ReCiPe Characterisation, 2008)

Tabel 2: Normalisatiefactor voor de verschillende midpoint-categorieën (ReCiPe Characterization, 2008)

	Impact categorie	Eenheid	ReCiPe Midpoint (I) Individualist			ReCiPe Midpoint (H) Hierarchist			ReCiPe Midpoint (E) Egalitarian		
			Europe	Europe	World	Europe	Europe	World	Europe	Europe	World
Midpoint	Climate change	kg CO2 eq/p/yr	1,41E+04	1,12E+04	9,66E+03	9,49E+03	6,89E+03	5,53E+03			
	Ozone depletion	kg CFC-11 eq/p/yr	2,20E-02	2,20E-02	2,20E-02	3,76E-02	3,76E-02	3,76E-02			
	Terrestrial acidification	kg SO2 eq/p/yr	3,23E+01	3,44E+01	3,84E+01	3,57E+01	3,82E+01	4,21E+01			
	Freshwater eutrophication	kg P eq/p/yr	4,15E-01	4,15E-01	4,15E-01	2,90E-01	2,90E-01	2,90E-01			
	Marine eutrophication	kg N eq/p/yr	1,01E+01	1,01E+01	1,01E+01	7,34E+00	7,34E+00	7,34E+00			
	Human toxicity	kg 1,4-DB eq/p/yr	3,49E+02	6,27E+02	4,47E+03	2,12E+02	3,26E+02	1,45E+03			
	Photochemical oxidant formation	kg NMVOC/p/yr	5,68E+01	5,68E+01	5,68E+01	5,67E+01	5,67E+01	5,67E+01			
	Particulate matter formation	kg PM10 eq/p/yr	1,49E+01	1,49E+01	1,49E+01	1,41E+01	1,41E+01	1,41E+01			
	Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq/p/yr	8,23E+00	8,25E+00	1,40E+01	5,92E+00	5,93E+00	8,15E+00			
	Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq/p/yr	1,10E+01	1,10E+01	1,17E+01	4,30E+00	4,30E+00	4,55E+00			
	Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq/p/yr	7,61E+00	8,73E+00	2,53E+03	2,10E+00	2,46E+00	6,76E+02			
	Ionising radiation	kg U235 eq/p/yr	2,06E+03	6,26E+03	6,26E+03	4,33E+02	1,32E+03	1,32E+03			
	Agricultural land occupation	m2a/p/yr	4,52E+03	4,52E+03	4,52E+03	5,42E+03	5,42E+03	5,42E+03			
	Urban land occupation	m2a/p/yr	4,07E+02	4,07E+02	4,07E+02	7,75E+02	7,75E+02	7,75E+02			
	Natural land transformation	m2/p/yr	1,61E-01	1,61E-01	1,61E-01	1,20E+01	1,20E+01	1,20E+01			
	Water depletion	m3/p/yr	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			
	Metal depletion	kg Fe eq/yr	7,13E+02	7,13E+02	7,13E+02	4,45E+02	4,45E+02	4,45E+02			
	Fossil depletion	kg oil eq/p/yr	1,56E+03	1,56E+03	1,56E+03	1,29E+03	1,29E+03	1,29E+03			
	Ecosystems	species.yr/p/yr	1,86E-04	1,81E-04	2,75E-04	8,00E-04	9,17E-04	2,48E-03			
Endpoint	Human health	DALY/p/yr	2,10E-02	2,02E-02	4,11E-02	1,51E-02	1,36E-02	2,42E-02			
	Resources	\$/p/yr	1,31E+02	3,08E+02	3,08E+02	9,85E+01	2,45E+02	2,45E+02			

Tabel 3: Characterization factors Q_{em} voor het omzetten van midpoint indicatoren naar endpoint indicatoren. De tabel wordt gelezen als: Om een midpoint indicator voor Climate change (in kg) om te zetten naar een endpoint indicator voor Human health (in jaar) (individualist methode), moet vermenigvuldigd worden met $1,19 \cdot 10^{-6}$ jaar/kg. (ReCiPe Characterization, 2008)

Midpoint impact category	Eenheid	Human health (DALY)			Ecosystems (species.yr)			Resources (\$)		
		Hierarchical		Egalitarian	Hierarchical		Egalitarian	Hierarchical		Egalitarian
		HH_I	HH_H	HH_E	ED_I	ED_H	ED_E	RA_I	RA_H	RA_E
Climate change	kg CO ₂ eq	1,19E-06	1,40E-06	3,51E-06	7,93E-09	7,93E-09	1,87E-08			
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	/	/	/						
Terrestrial acidification	kg SO ₂ eq				1,52E-09	5,80E-09	1,42E-08			
Freshwater eutrophication	kg P eq				4,44E-08	4,44E-08	4,44E-08			
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	7,00E-07	7,00E-07	7,00E-07						
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	3,90E-08	3,90E-08	3,90E-08						
Particulate matter formation	kg PM ₁₀ eq	2,60E-04	2,60E-04	2,60E-04						
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq				1,51E-07	1,51E-07	1,51E-07			
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq				8,61E-10	8,61E-10	8,61E-10			
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq				1,76E-10	1,76E-10	1,76E-10			
Ionising radiation	kg U235 eq	1,64E-08	1,64E-08	1,64E-08						
Agricultural land occupation	m ² a				/	/	/			
Urban land occupation	m ² a				/	/	/			
Natural land transformation	m ²				/	/	/			
Fossil depletion	kg oil eq							5,17E-02	1,65E-01	1,65E-01
Metal depletion	kg Fe eq							7,15E-02	7,15E-02	7,15E-02

Voor de globale impactscore (uitgedrukt in Pt) maakt ReCiPe gebruik van wegingsfactoren (zie Figuur 7), die vermenigvuldigd worden met een bepaalde *endpoint* waarde. Deze factoren worden opgesteld voor drie perspectieven (ReCiPe Characterisation, 2008):

- *Individualist*: Deze methode hecht het meeste belang aan *human health* en is gebaseerd op een interesse op korte termijn
- *Egalitarian*: Deze methode hecht het meeste belang aan *ecosystem quality* en houdt rekening met milieu-impacten op lange termijn.
- *Hierarchist*: Deze methode hecht eveneens, maar in mindere mate, het meeste belang aan *ecosystem quality*. Het bevindt zich op vlak van termijn tussen *Individualist* en *Egalitarian*

Endpoint	indicator	unit	Weighting factor				unit
			average	individualist	egalitarian	hierarchist	
Human health	DALY	yr	0.4	0.55	0.3	0.3	dimensionless
Ecosystem quality	PDF	% plant species m2.yr	0.4	0.25	0.5	0.4	dimensionless
Resources	Surplus energy	MJ surplus energy	0.2	0.2	0.2	0.3	dimensionless

Figuur 7: Weighting factoren gebruikt in ReCiPe. Hierbij is de hierarchist-methode aangeraden (Huppes & van Oers, 2011). Voor berekeningen worden de tabelwaarden vermenigvuldigd met 1000.

Bovenstaande omrekenmethodes worden verduidelijkt met behulp van onderstaand voorbeeld. De emissies voor de verschillende midpoint indicatoren (*hierarchist*) ten gevolge van de productie van 1 kg staal zijn te zien in Figuur 8. Om de verschillende resultaten met elkaar te vergelijken, worden ze genormaliseerd door ze te vermenigvuldigen met een normalisatiefactor (zie Tabel 2) (zie Figuur 9).

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Climate change	kg CO2 eq	1,72	1,72
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	7,48E-8	7,48E-8
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	1,39	1,39

Figuur 8: Karakteristieke waarden voor enkele midpoint indicatoren

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Climate change		0,000153	0,000153
Ozone depletion		3,4E-6	3,4E-6
Human toxicity		0,00235	0,00235

Figuur 9: Resultaten voor enkele midpoint indicatoren na normalisatie

Om tot een globale impactscore te komen, kunnen de karakteristieke *midpoint* waarden omgezet worden naar *endpoint* resultaten met behulp van de *characterisation factor* Q_{em} (zie Tabel 3) (zie Figuur 10). Nadat deze resultaten genormaliseerd zijn met behulp van een normalisatiefactor uit Tabel 2 (zie Figuur 11), kan de globale impactscore berekend worden. Dit gebeurt door de genormaliseerde resultaten te vermenigvuldigen met de gepaste *weighting* factoren (zie Figuur 12).

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Climate change Human Health	DALY	2,41E-6	2,41E-6
Ozone depletion	DALY	1,96E-10	1,96E-10
Human toxicity	DALY	9,76E-7	9,76E-7

Figuur 10: Resultaten na omrekening van enkele karakteristieke midpoint waarden naar endpoint waarden

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Climate change Human Health		0,000119	0,000119
Ozone depletion		9,72E-9	9,72E-9
Human toxicity		4,84E-5	4,84E-5

Figuur 11: Resultaten voor enkele endpoint indicatoren na normalisatie

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Totaal	Pt	0,212	0,212
Climate change Human Health	Pt	0,0358	0,0358
Ozone depletion	Pt	2,92E-6	2,92E-6
Human toxicity	Pt	0,0145	0,0145

Figuur 12: Enkele bijdrages van endpoint indicatoren, uitgedrukt in Pt, aan de totale impactscore. Deze resultaten zijn bekomen na omrekenen van de genormaliseerde endpoint indicatoren.

2.1.4.4 Interpretatie

Op basis van de resultaten uit vorige stappen kan de operationele LCA-vraag, opgesteld in de *Goal and Scope*, beantwoord worden. Het bekomen antwoord kan op zijn beurt tot nieuwe vragen leiden, daarom is het belangrijk dat de resultaten besproken en geïnterpreteerd worden.

2.1.5 Beperkingen van LCA

Een LCA studie meet de bijdrage van een product aan een beperkt aantal milieuproblemen. Toch wordt niet alles in rekening gebracht. Volgende zaken worden niet in rekening gebracht in een levenscyclusanalyse:

- Sociale aspecten zoals arbeidsomstandigheden, werkgelegenheid, ...
- Plaatselijke impacten zoals geur, stofvorming, ...
- De gevolgen van het risico op rampen zoals bijvoorbeeld bij de productie van kernenergie

Een volgende beperking ligt in de beschikbaarheid van gegevens. Hoewel de verschillende databases gestandaardiseerd zijn, zijn de gegevens vaak verouderd of onbekend.

De levenscyclusanalyse is een steeds evoluerende methode waardoor er steeds meer milieueffecten in acht kunnen worden genomen. Toch blijft het slechts een analytisch instrument. Het levert informatie op die ter ondersteuning van een te nemen beslissing kan worden gebruikt. Het kan echter nooit het besluitvormingsproces vervangen. (Guinée et al., 2002)

2.2 Materiaalonderzoek

2.2.1 Beton

Met een gemiddelde productie van 25 miljoen ton wereldwijd per jaar, is beton het tweede meest gebruikte materiaal, na water. Dit hoge verbruik is te wijten aan de grote duurzaamheid en de talloze toepassingen als bouw materiaal in de constructie van onder andere gebouwen. (Recycling concrete, 2009)

Schuurmans, Rouwette & Vonk (2003) beschrijven dat de milieubelasting, horende bij de volledige betonproductie, voornamelijk beïnvloed wordt door volgende processen (zie Figuur 13):

- De winning van de granulaten.
- Het transport van grondstoffen naar de productiesite.
- De productie van cement (energie + transport grondstoffen + uitstoot CO₂).
- Het produceren van het beton (het samenbrengen en mengen van de grondstoffen).

	Transport grondstoffen voor beton	Productie cement ¹⁵	Winning zand ¹⁵	Winning grind ¹⁵	Betonmortel- productie*
<i>LCA-2 thema's¹⁶</i>					
Emissie- gerelateerde thema's	15-66%	25-80%	1-9%	1-5%	1-4%
Grondstof- uitputting	26%	65%	4%	2%	3%
<i>Milieumaten</i>					
Energie	23%	69%	3%	2%	2%
Afval	3%	87%	1%	1%	8%
<i>Landgebruik-thema's, genormaliseerde waarden (positieve waarde = milieubelasting; negatieve waarde = milieuwinst)¹⁷</i>					
Bezet houden – biodiversiteit	0,4 E-10	-1,7 E-10	1,3 E-10	-6,2 E-10	0,9 E-10
Verandering biodiversiteit	4,4 E-10	2,0 E-10	5,2 E-10	-31 E-10	0,1 E-10
Bezet houden life support	1,1 E-10	0,49 E-10	-0,039 E-10	-3,1 E-10	2,6 E-10
Verandering life support	6,6 E-10	2,8 E-10	3,0 E-10	-4,3 E-10	13 E-10

¹⁵ Het landgebruik bij productie cement, winning zand en winning grind is inclusief herinrichting na winning van de grondstoffen.

¹⁶ Uit normalisatie (zie bijlage C) blijken de emissie-gerelateerde thema's 'smog', 'verzuring' en 'broeikaseffect' het meest bij te dragen aan de totale Nederlandse milieubelasting. De bijdrage van grondstofuitputting is aanzienlijk kleiner.

¹⁷ Uit normalisatie (zie bijlage C) blijken de verandering biodiversiteit en verandering life support de grootste bijdragen te leveren aan de Nederlandse milieubelasting.

Figuur 13: Bijdrage processen aan milieubelasting betonproductie (Schuurmans, Rouwette & Vonk, 2003)

Buzzi Unicem S.p.A (EPD Ready-mix concrete, 2006) heeft een *Cradle-to-Gate* LCA laten uitvoeren van stortbeton. Het omvat de cementproductie, ontginning en productie van granulaten en additieven, transport van deze componenten naar de productielocatie, stockage, productie en distributie van het stortbeton.

Het grootste aandeel op vlak van milieu-impact wordt geleverd door de productie van de bestanddelen, met name klinker voor cement.

1 m ³ OF READY-MIX CONCRETE	MEASUREMENT UNITS	RESOURCES PRODUCTION	RESOURCES TRANSPORT	READY-MIX CONCRETE PROCESS	AVERAGE READY-MIX CONCRETE
Global warming - GWP	kg CO ₂ eq.	212.45	17.53	1.06	231.04
Ozone depletion - ODP	kg CFC-11 eq.	0.000003	0.00000001	0.0000000005	0.000003
Acidification - AP	kg SO ₂ eq.	0.62	0.15	0.01	0.78
Eutrophication - NP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	0.07	0.02	0.00	0.09
Photochemical oxidant formation - POCP	kg C ₂ H ₄ eq.	0.04	0.01	0.00	0.06
Renewable resources with energy content [termic]	MJ	76.55	0.11	1.61	78.27
Non renewable resources with energy content [termic]	MJ	1,547.01	238.20	15.50	1,800.71
Total resources with energy content	MJ	1,623.57	238.31	17.11	1,878.98
Electric energy [direct]	MWh	0.000	0.000	0.0013	0.0013

Figuur 14: EPD voor productie stortbeton (EPD Ready-mix concrete, 2006)

2.2.1.1 Cement

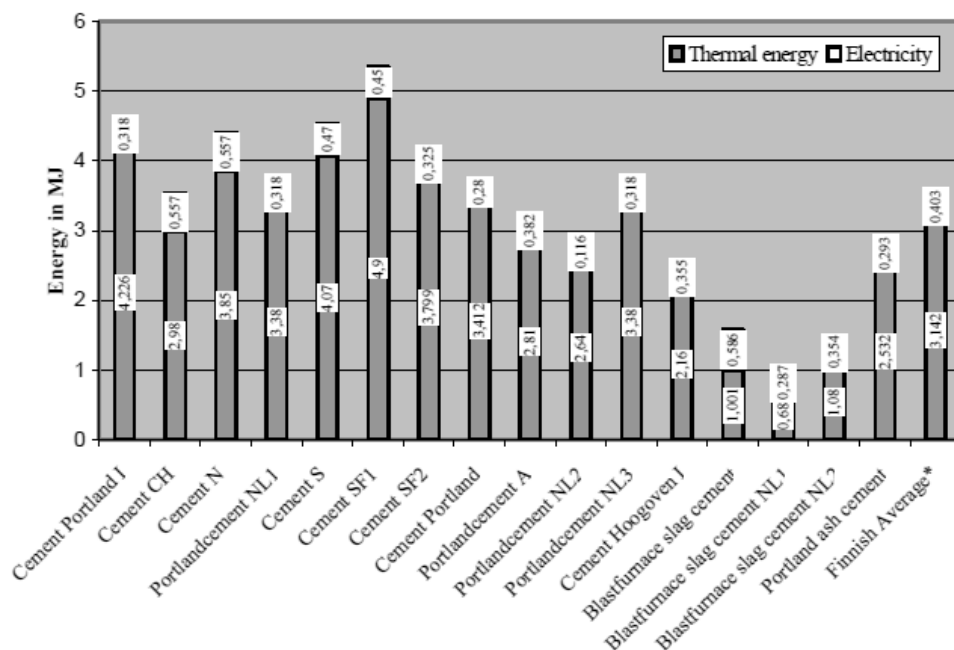
Met een gemiddeld verbruik van 577 kg/inwoner verbruikt de Belg aanzienlijk meer cement dan zijn burens. De drie grote cementproducenten in België, CBR, Holcim België en CCB realiseren aan de hand van de zeven productiesites een jaarlijks verbruik van ongeveer 6 miljoen ton cement. (De Belgische cementindustrie, 2012)

Original Nomenclature	Raw material consumption (kg)									
	Clinker production							Cement production		
	Water	Limestone	Loam/marl	Clay	Chalk	Iron oxides	Other	Clinker	Slag	Fly ashes
Cement Portland I	--	--	1,600	--	--	--	0,270	0,940	--	--
Cement Portland	--	--	1,610	0,057	0,047	0,019	--	0,950	0,109	0,09
Cement Hoogoven I	--	--	0,510	--	--	--	0,066	0,300	0,640	--
Blastfurnace slag cement	--	--	0,425	0,015	0,012	0,005	--	0,250	0,729	0,024
Portland ash cement	--	--	1,190	0,042	0,035	0,014	--	0,700	0,081	0,317
Cement CH	--	1,150	0,346	--	--	--	--	--	--	0,030
Cement N	--	1,640	--	--	--	--	--	--	--	0,050
Portlandcement NL1	1,410	1,600	--	--	--	--	--	--	--	0,060
Cement S	--	1,360	--	--	0,046	0,009	--	--	--	0,046
Cement SF1	--	1,200	--	--	--	--	--	--	--	--
Cement SF2	--	1,550	--	--	--	--	--	--	--	--
Portlandcement A	0,190	1,200	--	--	--	--	0,017	--	0,122	0,027
Portlandcement NL2	1,071	--	1,045	0,028	0,066	0,019	0,047	--	0,095	0,076
Portlandcement NL3	1,325	--	1,316	0,056	0,047	0,014	--	--	0,108	0,089
Blastfurnace slag cement NL1	0,532	--	0,287	0,007	0,017	0,005	0,025	--	0,700	0,020
Blastfurnace slag cement NL2	0,423	--	0,420	0,018	0,015	0,004	--	--	0,675	0,285
'Yleis' cement	--	0,066	--	--	--	0,004	--	0,822	0,067	--
'Rapid' cement	--	0,042	--	--	--	0,005	--	0,906	0,020	--
'Pika' cement	--	0,026	--	--	--	0,004	--	0,863	--	--
'Mega' cement	--	0,030	--	--	--	0,005	--	0,907	--	--
'SR' cement	--	0,020	--	--	--	0,005	--	0,834	--	--

Figuur 15: Grondstoffen voor de productie van 1 kg cement (Josa et al., 2003)

Voor de productie van 1 ton cement is er ongeveer 1,6 ton aan grondstoffen nodig. Deze hoeveelheid is voornamelijk te wijten aan de verbranding van calciumcarbonaat. Figuur 15 geeft een overzicht van de benodigde grondstoffen voor de productie van verschillende cementsoorten. De hoeveelheid kalksteen en de omzettingsgraad tijdens de klinkerproductie zijn de bepalende factoren omdat de CO₂ productie hierdoor voornamelijk wordt beïnvloed. (Josa et al., 2003)

Niet alleen de grote hoeveelheid aan grondstoffen is typerend voor de cementproductie, ook het hoge energieverbruik van de productiesite valt op. Bij dit verbruik wordt er onderscheid gemaakt tussen thermische energie en elektriciteit. In Figuur 16 is te zien dat cementsoorten met een laag klinkergehalte een lager energieverbruik hebben. Dit fenomeen is te verklaren doordat 90% van het totale energieverbruik nodig is voor de klinkerproductie. (Josa et al., 2003)



Figuur 16: Energieverbruik voor de productie van 1 kg cement (Josa et al., 2003)

Bij de vergelijking van de verschillende cementsoorten op basis van de emissie in Figuur 17 wordt verwezen naar volgende emissies: CO₂, NO_x, SO₂ en fijn stof. De CO₂-emissie is voornamelijk afkomstig van de chemische reacties in de klinkeroven, de verbranding van brandstoffen gedurende de klinkerproductie en de energie verbruikt tijdens de cementproductie. De emissie afkomstig van de winning en transport van de grondstoffen vormt slechts 1% tot 3% van de totale emissie. (Josa et al., 2003)

De NO_x-emissie verwijst zowel naar de uitgestoten NO₂ als NO-waarde. Deze uitstoot is vooral te wijten aan het gebruik van brandstoffen tijdens de klinker- en cementproductie. De SO₂-emissie is voornamelijk afkomstig van de chemische reactie in de klinkeroven te wijten aan het zwavelgehalte in de klei en andere grondstoffen en de verbranding van zwavel aanwezig in de fossiele brandstoffen, zowel tijdens de klinker- als cementproductie. Uit proeven blijkt dat 70% tot 95% van de

geproduceerde SO₂ wordt opgenomen als gevolg van de alkaliniteit¹¹ van de klinkers. De fijn stof-emissie in Figuur 17 is afkomstig van de elektrische energie en de fossiele brandstoffen gebruikt in de cementproductie. Om realistische resultaten te verkrijgen dient de fijn stof-emissie, veroorzaakt door de winningsmachine, ook in rekening gebracht te worden.

Type	Original	Emissions to air (grams)			
	Nomenclature	CO ₂	NO _x	SO ₂	Dust
I	Cement Portland I	355,00	0,96	0,43	10,00
	Cement CH	810,00	2,00	0,60	0,30
	Cement N	813,00	2,09	0,67	0,18
	Portlandcement NL1	853,00	2,58	0,09	7,50
	Cement S	805,00	1,94	0,45	0,16
	Cement SF1	780,00	3,70	0,63	0,39
	Cement SF2	812,70	2,95	1,33	0,32
II	Portland Cement	918,30	3,11	1,16	0,24
	Portlandcement A	586,00	1,57	0,12	0,17
	Portlandcement NL2	807,00	2,95	0,09	0,19
	Portlandcement NL3	289,00	0,71	0,98	79,60
III	Blastfurnace slag cement	221,70	0,51	0,51	10,00
	Cement Hoogoven I	334,00	1,11	0,58	0,08
	Blastfurnace slag cement NL1	212,00	0,85	0,03	0,14
	Blastfurnace slag cement NL2	134,00	0,40	0,43	88,60
IV	Portland ash cement	692,90	2,33	0,90	0,18
I and II	Finnish Average ¹	738,00	2,17	0,17	0,14
Varies	UK Plant ²	850,00	3,55	2,06	0,27
Varies	Danish Average ³	973,0	3,70	0,60	0,10

¹Values correspond to Finland's two cement plants; they are thus representative of the national average

²Average emissions from a typical UK Portland Cement manufacturer [21]

³Values correspond to the only cement plant in Denmark [22]; they are thus representative of the national average

Figuur 17: De voornaamste emissies bij de productie van 1 kg cement (Josa et al., 2003)

De laatste jaren voert de Belgische cementindustrie een uitgebreid milieubeleid omtrent de productie van cement. Hierbij worden zowel stroomopwaartse (exploitatie van de groeves) als stroomafwaartse (uitstoot van gassen, recyclage van afval) acties ondernomen. Om bijvoorbeeld de impact van het hoge energieverbruik gedurende de productie te reduceren kan afval gebruikt worden ter vervanging van fossiele brandstoffen. Momenteel kan afval 40% tot 60% van de energiebehoefte van de industrie afdekken. Een bijkomend pluspunt is dat het gebruik van bijproducten zoals hoogovenslag of vliegas in de cementfabrieken geen enkele negatieve vloed heeft op de kwaliteit van het geproduceerde cement. (De Belgische cementindustrie, 2012)

Om het grondstoffenverbruik te reduceren worden er nevenproducten gebruikt welke de kwaliteit van het cement niet wijzigen. Ter vervanging van klei wordt er vliegas, afkomstig uit de thermische kolencentrales gebruikt. Een ander voorbeeld is het gebruik van hoogovenslak uit de staalnijverheid als vervangstof voor klinker. De Belgische cementindustrie behoort tot de Europese top betreffende het gebruik van deze toeslagstoffen. Hierdoor wordt er beduidend minder CO₂ geproduceerd. Door het gebruik van deze nevenproducten worden er cementsoorten gemaakt met bijzondere fysisch-chemische eigenschappen. (De Belgische cementindustrie, 2012)

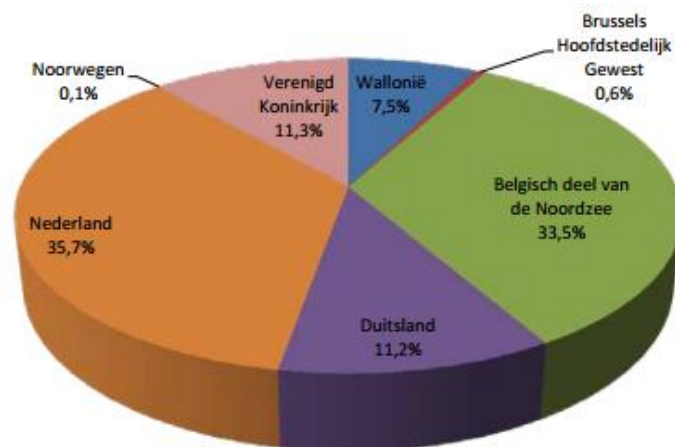
¹¹ Alkaliniteit is de capaciteit van water om een zuur te neutraliseren. (Alkaliniteit, 2016)

2.2.1.2 Granulaten

Binnen de betonsector kan er onderscheid gemaakt worden tussen fijne granulaten ($\emptyset < 2 \text{ mm}$), zoals rivierzand, en grove granulaten ($2 \text{ mm} \leq \emptyset < 80 \text{ mm}$), zoals grind en steenslag. Bij de grove granulaten kan er onderscheid gemaakt worden tussen natuurlijke en gerecycleerde granulaten. (Vansteenkiste, 2007)

Zand

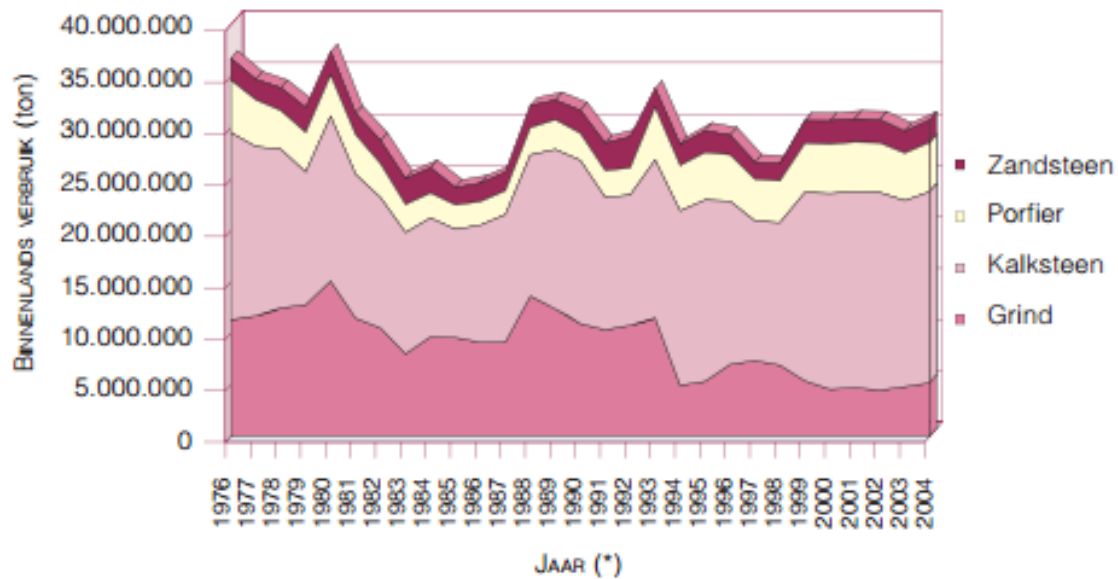
In België zijn er vier voornamelijk bevoorradingsbronnen om aan de zandbehoefte te voldoen: het land en de rivieren, het buitenland, secundaire grondstoffen (gerecycleerde- of bijproducten) en de Noordzee (Figuur 18). Als gevolg van de ruimtelijke planning en het milieubeleid is zandwinning op het land in België steeds moeilijker te vinden. Daarom is sinds de jaren '60 en '70 de vraag naar zeezand aanzienlijk gestegen, met als bijkomend pluspunt de lagere kostprijs dan rivierzand. (Delporte, 2015) Met zo'n 3.000.000 ton jaarlijks is de bouwsector een belangrijke afnemer van het Belgisch zeezand. Ook de betonsector is de laatste jaren overgeschakeld van het rivierzand uit Duitsland en Nederland naar het zeezand, voornamelijk het middelgroot zand. Andere toepassingen in de bouwsector zijn de wegenbouw, draineerzand, ophogingszand, funderingszand en metselmortels. Deze toepassingen gebruiken voornamelijk Belgisch zeezand als gevolg van volgende twee eigenschappen: ten eerste de zuiverheid waardoor het zand quasi onbehandeld kan worden gebruikt en ten tweede de constantheid waardoor de producent van beton en asfalt een constante kwaliteit kan garanderen. (Delporte, 2015)



Figuur 18: Importstromen van zand in Vlaanderen in 2011 (Delporte, 2015)

Grove granulaten

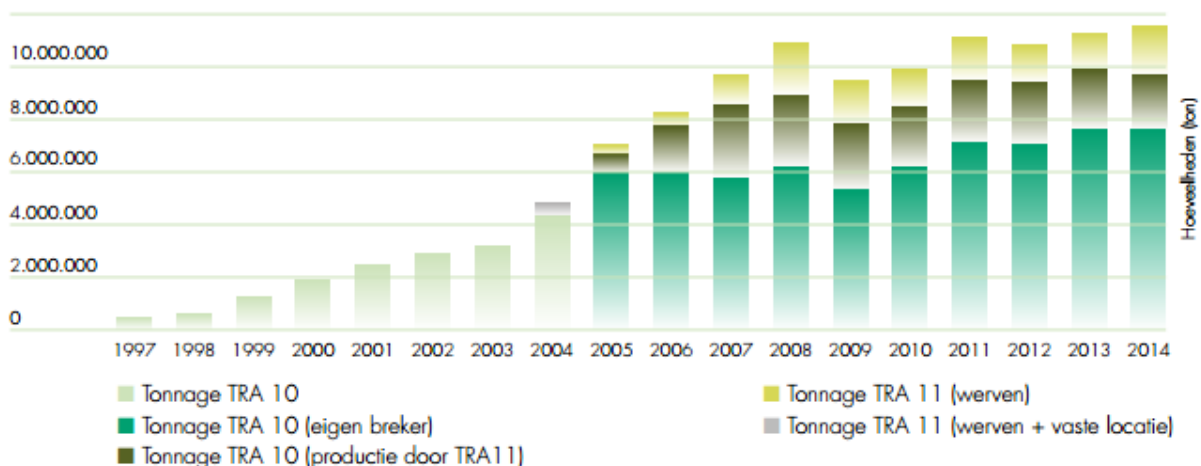
Janssen & Van Dessel (2006) hebben reeds onderzoek gedaan naar het granulaatverbruik in België. Op jaarbasis wordt ongeveer 30 miljoen ton aan granulaten gebruikt. Hierbij is Wallonië, met ongeveer 83%, de belangrijkste leverancier van vooral zandsteen, porfier en kalksteen. Zoals te zien in Figuur 19, bedraagt het verbruik van Limburgs grind (in Figuur 19 weergegeven door “Grind”) ongeveer 16% van het totale granulaatverbruik.



Figuur 19: Gebruik natuurlijke granulaten in België 1973-2004 (Janssen & Van Dessel, 2006)

Als gevolg van het Grinddecreet van 1993 is het grindgebruik de laatste jaren sterk afgenomen, met een stijging van het verbruik van de Waalse granulaten tot gevolg. De meeste bedrijven zijn dan ook overgeschakeld van grind op steenslag, ondanks de zware impact op het productieproces. Enkel in de Antwerpse betoncentrales heeft er een succesvolle overstap van riviergrind naar zeegrind plaatsgevonden. (Janssen & Van Dessel, 2006)

Zoals zichtbaar in Figuur 20 wordt er jaarlijks ongeveer 11,5 miljoen ton aan bouwafval gerecycled in België. Het merendeel van deze gerecycleerde granulaten worden momenteel hergebruikt in de wegenbouw. Toch is er vanuit de puinverwerkende sector een oproep om hoogwaardig recyclagemateriaal zoals betonpuin (ongeveer 4,5 miljoen ton/jaar) te hergebruiken als granulaat in structureel beton. Er wordt geschat dat momenteel 5% van het gerecycleerd betonpuin wordt hergebruikt in structureel beton. (Vrijders & Desmyter, 2008)



Figuur 20: Totale hoeveelheid gerecycleerde granulaten in 2014 in België (Activiteitenrapport 2014, 2014)

Op Belgisch niveau worden er in de norm NBN B15-001 duidelijke afspraken gemaakt omtrent het gebruik van gerecycleerde granulaten. Zo wordt het maximaal vervangingspercentage van grove granulaten door gerecycleerde granulaten vastgelegd op 20%. Gerecycleerde granulaten mogen gebruikt worden in milieuklassen X0 en XC1 en in de omgevingsklassen E0 en EI. De druksterkteklasse van het beton in deze milieu- en omgevingsklassen is beperkt tot en met C25/30. Van deze voorwaarden mag enkel afgeweken wordt mits het aantonen van de gebruiksgeschiktheid van het betonmengsel. Colpaert en Hellebuyck (2013) hebben aangetoond dat een maximaal vervangingspercentage tot 60% mogelijk is, op voorwaarde dat de gerecycleerde granulaten afkomstig zijn van een mengsel met minimale sterkteklasse C30/37. In de praktijk worden gerecycleerde granulaten enkel gebruikt bij de productie van stortklaar beton, in de prefabindustrie is het gebruik verwaarloosbaar. (Vrijders & Desmyter, 2008)

Bij het breken van betonpuin is er nog een zekere hoeveelheid mortel- en cementpasta op het sloopaafval aanwezig. Deze aangehechte deeltjes zijn de voornaamste reden voor de verminderde kwaliteit van gerecycleerd betongranulaat ten opzicht van natuurlijk granulaat. Het gevolg is dat volgende karakteristieken van gerecycleerd granulaat anders zijn dan van natuurlijk granulaat:

- Verhoogde waterabsorptie.
- Verlaagd soortelijk gewicht.
- Verhoogd slijtageverlies.
- Verhoogde breekbaarheid.
- Verhoogde hoeveelheid stofdeeltjes.
- Verhoogde hoeveelheid organische onzuiverheden.
- Mogelijke aanwezigheid van chemisch schadelijke deeltjes.

Door de aanwezigheid van de aangehechte morteldeeltjes heeft gerecycleerd betongranulaat een hogere waterabsorptie dan natuurlijk granulaat. Daarom moet, om de benodigde verwerkbaarheid te behalen, een extra hoeveelheid water toegevoegd worden aan het betonmengsel, waardoor de W/C factor verandert. (Malesev, Radonjanin & Marinkovic, 2010)

2.2.1.3 Water

Het gebruik van gewoon drinkwater voor de productie van beton is het meest voor de handliggend. Mede door de prijsstijging van het leidingwater en de recentelijke onderzoeken naar de betonkwaliteit van beton met gerecycleerd water, behoort de overstap naar andere waterbronnen tot de mogelijkheden. Vaak wordt voor het aanmaakwater van beton gebruik gemaakt van bronwater, oppervlaktewater of grondwater. Eventueel is zelfs het gebruik van industriewater, spoelwater (afkomstig van het reinigen van de betonmixers) en cementslibwater (afkomstig van het zagen en schuren van betonproducten) na recyclage en goedkeuring mogelijk. (Watergebruik beton, 2015)

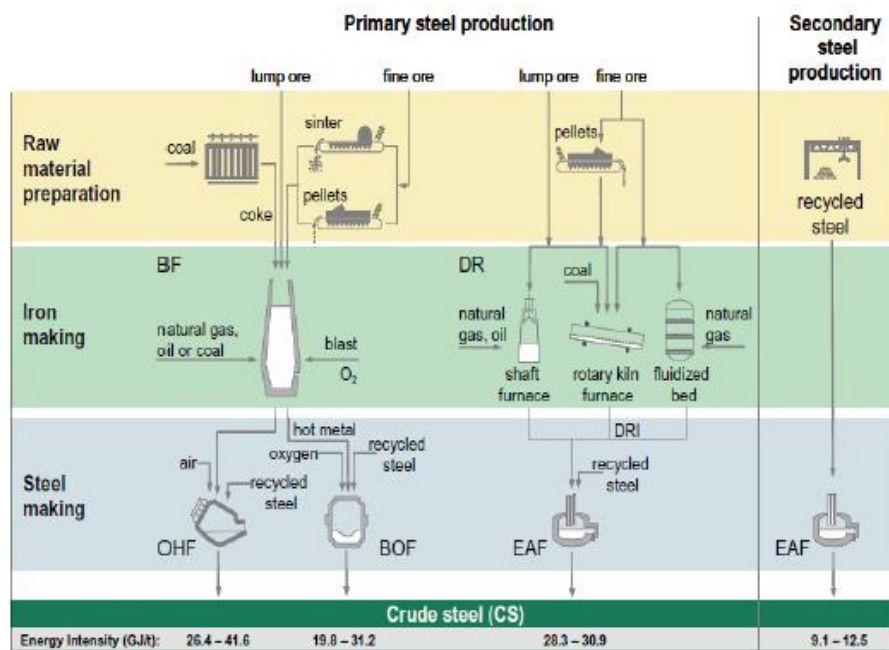
2.2.1.4 Wapeningsstaal

Er wordt verwezen naar 2.2.2.2 Wapeningsstaal.

2.2.2 Staal

Door zijn veelzijdigheid, speelt staal een belangrijke rol in de bouwkunde. Het vindt toepassingen in gebouwen, bruggen, wegen, spoorwegen, ... IJzererts is het hoofdbestanddeel dat gebruikt wordt in deze ijzer- en staalindustrie. Het is een veelvoorkomend materiaal en wordt ontgonnen in open mijnen, waarna het getransporteerd wordt naar de ijzer- en staalfabrieken overal ter wereld.

In Europa kunnen er drie productiemethoden worden onderscheiden: de eerste manier is de *basic oxygen furnace* (BOF), waarbij het verkregen ruwijzer omgezet wordt tot vloeibaar staal. Een bijna identiek methode is het gebruik van een *open hearth furnace* (OHF). Beide methodes worden met de term “primaire staalproductie” aangeduid. Een derde productiemethode is de secundaire staalproductie waarbij gerecycleerd staal opnieuw gesmolten wordt in een *electric arc furnace* (EAF). Deze manier van productie in de EU vraagt ongeveer de helft van de energie nodig voor de productie van een ton staal met behulp van een BOF of OHF (9,1 tot 12,5 GJ ten opzichte van een gemiddelde waarde van 21 GJ). (Pardo, Moya & Vatopoulos, 2012)



Figuur 21: Primaire en secundaire productiemethodes staal (Pardo, Moya & Vatopoulos, 2012)

In het *Steel Statistical yearbook 2015* (2015) is te vinden dat in België in 2014, 7331 ton ruw staal is geproduceerd (4,3% van de staalproductie in de EU en 0,4% wereldwijd). Hiervan wordt 67,6% volgens de BOF-methode en 32,4% volgens de EAF-methode geproduceerd. De OHF-methode wordt bijna niet toegepast in België.

Remus et al. (2013) beschrijft het volledige staalproductieproces, voorzien van inputs en outputs die een gewogen gemiddelde zijn van de hoeveelheden van de landen van de EU:

Steenkolen zijn niet geschikt om rechtsreeks in de hoogoven te gebruiken. Ze bevatten immers te veel schadelijke en onnuttige producten voor het hoogovenproces. Daarom worden ze eerst met behulp van een droge destillatie¹² in cokes omgezet. Voor de productie van 1 ton cokes is ongeveer 1,3 ton steenkool nodig. De energie nodig voor het destilleerproces wordt hoofdzakelijk geleverd door thermische energiebronnen (3200-3900 MJ/ton cokes). Slechts in kleine mate wordt gebruik gemaakt van stoom of elektrische energie. Tijdens de productie komt een grote hoeveelheid gas (waarbij CO₂ het grootste aandeel heeft met 160-860 kg/ton cokes) en rook vrij, die (na zuivering) cokesgas oplevert en andere nevenproducten zoals teer. Bovendien is er in totaal aan 500 l/ton cokes aan afvalwater

Vervolgens wordt een mengsel van fijne ijzerertsen, ijzerhoudende recuperatiestoffen en smeltmiddelen op een traag bewegende roosterband gebakken, met behulp van cokesgruis als brandstof. Zo ontstaat sinter, een poreuze stof die de ideale grondstof vormt voor de hoogoven. Voor de productie van 1 ton sinter is 1390,4 kg aan grondstoffen nodig, waarvan ijzererts met een aandeel van 813,1 kg de belangrijkste component is. De sinterproductie heeft het grootste aandeel (tot 50%) in de stof-emissies tijdens het staalproductieproces. Andere relevante verontreinigde stoffen zijn CO₂ (368 kg/ton), CO (37 kg/ton), NO₂ (1,031 kg), HCl (0,847 kg/ton), SO₂ (0,973 kg/ton) en methaangas (0,412 kg/ton). De gebruikte energie is hoofdzakelijk thermische energie (brandstoffen), met een gemiddeld verbruik van 1344 MJ/ton sinter. Het elektrisch energieverbruik ligt tussen de 92 en 155 MJ/ton sinter.

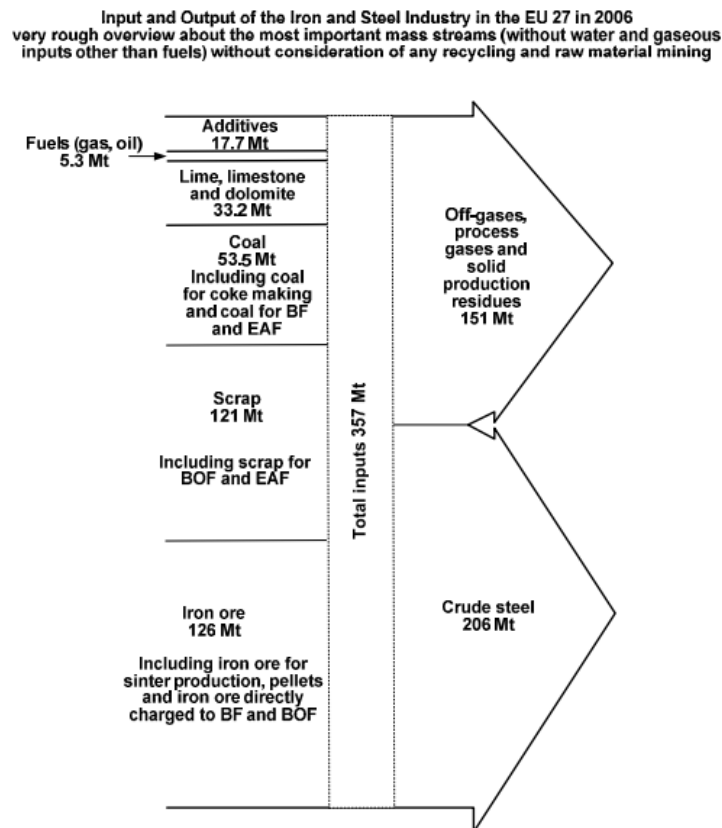
In de hoogovens wordt de sinter omgezet in vloeibaar ruwijzer. De sinter (1088 kg/ton ruwijzer) en de cokes (359 kg/ton ruwijzer) worden bovenaan de hoogoven geladen. Onderaan de hoogoven wordt hete lucht, met een temperatuur van 1000°C tot 1200°C, ingeblazen. Er ontstaat een chemisch proces, dat de sinter omzet in vloeibaar ruwijzer. In totaal is er 2487 MJ/ton ruwijzer aan energie nodig. De hoogovens zijn hoofdzakelijk een bron voor stof en emissies naar de lucht. Daarbij is er een grote hoeveelheid aan afvalwater met een maximumwaarde van 13,736 m³/ton ruwijzer.

Voor het BOF-proces is er 788-931 kg ruwijzer nodig om 1 ton vloeibaar staal te bekomen. Tijdens het proces komen er verschillende emissies naar de lucht vrij, waaronder CO₂ (22.6-174 kg/ton staal) en CO (393-7200 g/ton staal). Ook verschillende bijproducten zoals BOF-slak (85-165 kg/ton) dragen bij tot de schade aan het milieu.

Wanneer schroot de belangrijkste ijzerbron is, wordt gebruik gemaakt van het EAF-proces als recyclagemethode. Het verzamelde schroot (1039-1232 kg/ton staal) wordt in manden geladen, samen met fluxmiddelen zoals kalk (25-140 kg/ton staal). De manden worden vervolgens in de oven gebracht. De lading wordt gesmolten door het generen van de ontlading over de elektrodes (1454-2693

¹² Een proces waarbij geen zuurstof aanwezig is waardoor er geen verbranding optreedt.

MJ/ton staal). Het smeltproces kan ondersteund worden door het toevoegen van fossiele brandstoffen (50-1500 MJ/ton staal) en zuurstof. Het proces leidt voornamelijk tot emissies naar de lucht (72 tot 180 kg/ton staal) en bij-producten zoals slak (60-270 kg/ton staal) en stof (10-30 kg/ton staal).



Figuur 22: Overzicht van de in- en outputs voor de productie van ijzer en staal in de EU (Remus et al., 2013)

2.2.2.1 Constructiestaal

Het vademecum van de staalproducten (Vademecum staal, 2013) heeft een EPD opgesteld voor de productie van constructiestaal (zie Figuur 23). Het betreft warmgewalste profielen en dikke staalplaten. Deze EPD veronderstelt 100% recuperatie, waarvan 11% hergebruik en 1% verlies, hetgeen verschilt van de gegevens uit het *Steel Statistical yearbook* (2015) (zie 2.2.2).

Constructiestaal: warmgewalste profielen en dikke plaat				
Parameter	Eenheid per kg	Productie	Einde levens-cyclus*	Totaal
Niet-hernieuwbare primaire energie	[MJ]	19,48	-7,70	11,78
Hernieuwbare primaire energie	[MJ]	0,65	-0,08	0,57
Broeikaseffect (100 jaar)	[kg CO ₂ -eqv.]	1,68	-0,88	0,80
Aantasting ozonlaag	[kg R11-eqv.]	3,19E-08	1,04E-08	4,23E-08
Verzuring	[kg SO ₂ -eqv.]	3,47E-03	- 1,68E-03	1,79E-03
Vermesting	[kg PO ₄ ³⁻ -eqv.]	2,89E-04	- 1,31E-04	1,58E-04
Fotochemische oxydantvorming	[kg C ₂ H ₄ -eqv.]	7,55E-04	- 4,57E-04	2,98E-04

Figuur 23: EPD voor productie en einde levenscyclus constructiestaal Vademecum van de staalproducten (Vademecum staal, 2013)

Ook CELSA Barcelona (EPD Structural Steel, 2011), een Spaanse staalproducent, stelde een EPD op voor constructiestaal (zie Figuur 24). Net als het Vademecum wordt het einde van de levenscyclus gekenmerkt door 88% recyclage (voor EAF), 11% hergebruik en 1% verlies. Deze LCA omvat de ontginning van de grondstoffen, het transport ervan naar de fabriek en de productie van constructiestaal.

Structural Steel				
Parameter	Unit per kg	Production	End-of-Life*	Total
Primary energy, non-renewable	[MJ]	12,05	0,11	12,17
Primary energy, renewable	[MJ]	1,05	-0,15	0,90
Global Warming Potential (GWP 100 years)	[kg CO ₂ -eqv.]	0,67	0,10	0,76
Ozone Depletion Potential (ODP)	[kg R11-eqv.]	7,47E-08	-1,26E-08	6,21E-08
Acidification Potential (AP)	[kg SO ₂ -eqv.]	4,06E-03	5,11E-05	4,11E-03
Eutrophication Potential (EP)	[kg PO ₄ ³⁻ -eqv.]	2,33E-04	-6,74E-06	2,26E-04
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	[kg C ₂ H ₄ -eqv.]	2,87E-04	5,77E-05	3,45E-04

Figuur 24: EPD voor productie en einde levenscyclus constructiestaal CELSA Barcelona (EPD Structural Steel, 2011)

Beide studies gaan uit van een productie met behulp van EAF (secundaire staalproductie). Er is dus initieel een hoeveelheid *scrap steel* nodig voor de productie. Dit resulteert in het feit dat netto meer *scrap steel* wordt verbruikt, rekening houdend met verliezen, tijdens de productie dan beschikbaar is voor een volgende levenscyclus.

Het opmerkelijke verschil tussen beide studies is de hoeveelheid primaire energie. De totale waarde stemt overeen, maar het verschil schuilt in de productiefase en de *End-of-Life* fase. De reden van dit verschil is moeilijk te achterhalen aangezien het Vademecum geen achtergrondinformatie geeft over de in rekening gebrachte processen/fases. Dit in tegenstelling tot CELSA, die een overzicht geeft van de belangrijkste energiebronnen (zie Figuur 25) bij de EAF productie. De EAF heeft een aandeel van ongeveer 75% in het totaal primair energieverbruik.

LCIA (per kg)	Unit	Production	EoL		TOTAL
		EAF + Rolling	Recycling effort	Reuse	
Primary energy from non-renewable	MJ	11,0	3,1	-2,8	11,3
Crude oil (resource)	MJ	1,5E+00	-4,3E-02	-1,3E-02	1,4E+00
Hard coal (resource)	MJ	3,3E+00	4,3E+00	-2,6E+00	5,0E+00
Lignite (resource)	MJ	3,5E-01	-1,3E-01	-1,3E-02	2,1E-01
Natural gas (resource)	MJ	3,3E+00	-6,3E-01	-1,5E-01	2,5E+00
Uranium (resource)	MJ	2,6E+00	-4,3E-01	-2,2E-02	2,2E+00
Primary energy from renewable	MJ	1,1	-0,1	0,0	0,9
Hydraulic Power	MJ	4,5E-01	-1,3E-01	1,4E-02	3,4E-01
Solar Energy	MJ	3,8E-01	1,8E-02	-2,2E-02	3,8E-01
Wind Power	MJ	2,2E-01	-2,9E-02	-3,5E-03	1,9E-01
Other renewable resources	MJ	1,4E-03	5,8E-04	-2,9E-04	1,6E-03

Figuur 25: Input primaire energie CELSA Barcelona (EPD Structural Steel, 2011)

2.2.2.2 Wapeningsstaal

De Koninklijke Metaalunie (De Rijk & Simons, 2015) heeft een LCA laten uitvoeren om een zicht te krijgen op de milieu impact van de productie van wapeningsstaal (zie Figuur 26). Er wordt uitgegaan van 70% secundair en 30% primair staal. De studie is een *Cradle-to-Gate* LCA. Transport naar de bouwplaats en de afvalverwerking scenario's zijn dus, in tegenstelling tot transport van componenten en materialen naar productielocatie, niet opgenomen. De milieubelasting wordt in grote mate bepaald door de grondstof staal, maar ook het transport van de grondstoffen naar de productiehal heeft een grote bijdrage. Ten opzichte van constructiestaal kan de milieubelasting als ongeveer gelijk worden beschouwd.

Effectcategorie	Eenheid	1 ton VWN Wapeningstaal
abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	2,17E-04
abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	7,59E+00
global warming (GWP)	kg CO2 eq	1,36E+03
ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	9,33E-06
photochemical oxidation (POCP)	kg C2H4	4,70E-01
acidification (AP)	kg SO2 eq	1,87E+00
eutrophication (EP)	kg PO4--- eq	3,28E-01
human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	2,71E+01
Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	1,26E+00
Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	3,93E+03
Ecotoxicity, terrestic (TETP)	kg 1,4-DB eq	1,82E+00
Milieumaten	Eenheid	1 ton VWN Wapeningstaal
Energy, primary (MJ)	MJ	1,77E+04
Energy, primary, renewable (MJ)	MJ	3,30E+01
Energy, primary, non-renewable (MJ)	MJ	1,77E+04
Waste, hazardous (kg)	kg	5,76E+01
Waste, non hazardous (kg)	kg	1,23E+01
Water, fresh water use	m3	8,12E+01

Figuur 26: EPD voor productie wapeningsstaal (de Rijk & Simons, 2015)

2.2.3 Hout

Hout is wereldwijd één van de oudste materialen welke gebruikt worden in de bouwnijverheid. Bovendien heeft het een breed gamma aan mogelijkheden zoals het gebruik in gebouwen, bruggen en schepen. Binnen de bouwsector wordt er veel gebruikt gemaakt van glulam, OSB, naaldhout en I-Joist.

2.2.3.1 Glulam

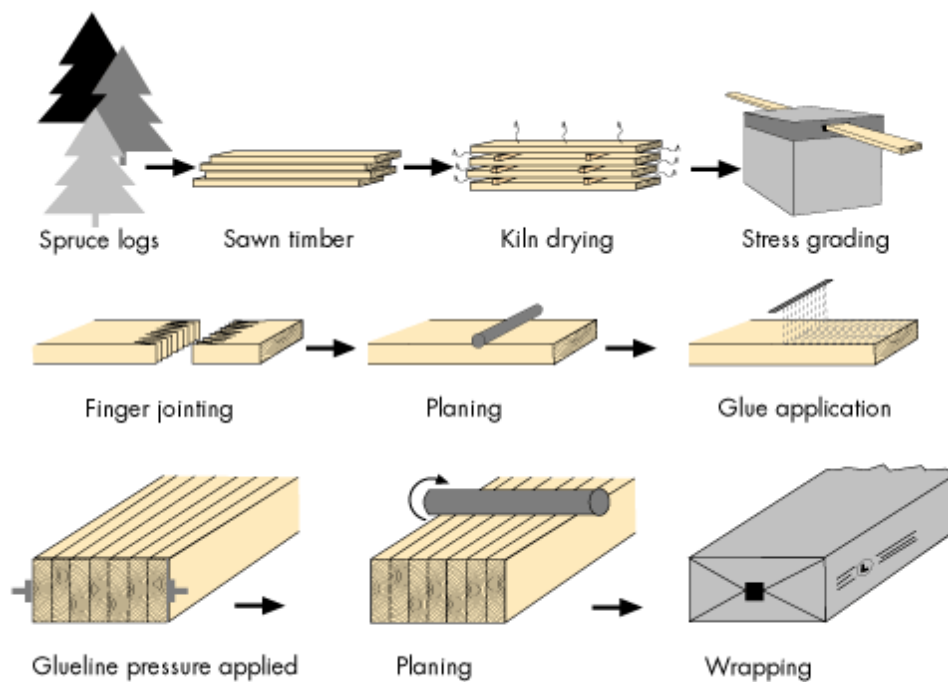
Glulam¹³ is opgebouwd uit verschillende lagen structureel hout welke parallel geplaatst zijn met de longitudinale as van de balk. Deze lagen worden vervolgens aan elkaar gelijmd zodat er een structureel element ontstaat. Kenmerkend aan deze houten elementen is dat de aanwezige knopen in de houten lagen worden gespreid. Hierdoor heeft glulam een grotere sterkte en stijfheid dan de andere structurele houtsoorten. In vergelijking met staal heeft het zelfs een betere sterkte/gewicht-verhouding, waardoor met deze balken grote overspanningen kunnen gerealiseerd worden met een minimum aan tussensteunpunten. Een bijkomend voordeel is dat er grotere dwarse- en langse afmetingen kunnen worden gecreëerd bij glulam elementen ten opzichte van gewoon constructiehout. Deze grotere

¹³ Glued laminated timber, gelamineerd hout.

afmetingen worden gecreëerd door eerst de verschillende lagen te vingerlassen om ze dan vervolgens aan elkaar te lijmen. (Swedisch glulam, 2012)

De Swedisch Forest Industries Federation wijst ook nog op het voordeel dat niet enkel dikke, brede en zeer lange elementen mogelijk zijn met glulam, maar ook gebogen elementen (Swedisch glulam, 2012). Deze elementen kunnen ter plekke op de werf aan elkaar worden gelast waardoor er geen beperkingen qua transport zijn.

In Figuur 27 wordt een overzicht gegeven van het productieproces van glulam. Het is belangrijk op te merken dat het hout voldoende gedroogd moet worden alvorens het te verlijmen. Het verschil in watergehalte tussen de aan elkaar te lijmen onderdelen mag maximaal 5% zijn. Eenmaal het hout voldoende mechanisch gedroogd is, kan er gestart worden met het verlijmen. Vervolgens worden de elementen in een mal geplaatst waar ze door middel van een vijzel tegen elkaar worden gedrukt. Om gebogen elementen te verkrijgen worden de houten elementen in een gebogen mal geplaatst. Om de sterkte van het constructiehout optimaal te benutten, is het aangeraden om het hout met de beste kwaliteit aan de buitenzijde van het element te plaatsen. (Productie glulam, z.j.)



Figuur 27: Productie glulam (Productie glulam, z.j.)

De productie van gelamineerd hout is een proces dat weinig energie vergt. De hoofdbestanddelen zijn hout en een synthetische lijm. Doordat deze lijm is gemaakt van een niet-hernieuwbare bron, heeft dit een negatieve impact op het milieu. Het effect op de totale impact is echter te verwaarlozen omdat de hoeveelheid lijm minder is dan 1% van het totale gewicht. (Productie glulam, z.j.)

Het vrijgekomen houtafval wordt zoveel mogelijk hergebruikt in productie. De grote afvalelementen worden met behulp van vingerlassen aan elkaar vastgemaakt, maar als dit niet meer mogelijk is, wordt het houtafval ter plekke verbrand. Deze warmte wordt dan gebruikt in het droogproces, waardoor er minder elektriciteit nodig is. (Productie glulam, z.j.)

In Figuur 28 is te zien dat voor alle impact-categorieën, op smog en energie uit biomassa na, de glulamproductie de grootste leverancier is voor de totale impact. De grote impact van de glulam productie is grotendeels te wijten aan het droogproces bij aanvang van het productieproces. Ook het frezen van het hout heeft een grote bijdrage in de totale impact per categorie. De ontbossing en transport naar de verschillende productiesites zorgt maar voor een klein aandeel van de totale impact per categorie. (LCA glulam, 2012)

Impact category	Total	Logging and Forestry	Transport to Lumber Mill	Lumber Milling	Transport to Glulam Plant	Glulam Manufacture
Global Warming	100%	8%	5%	25%	7%	55%
Acidification	100%	2%	3%	40%	4%	52%
Eutrophication	100%	2%	3%	20%	3%	73%
Smog	100%	3%	6%	57%	8%	26%
Ozone Depletion	100%	0%	0%	0%	0%	100%
Total Energy	100%	1%	1%	15%	1%	81%
Non renewable, fossil	100%	7%	4%	26%	6%	57%
Non-renewable, nuclear	100%	1%	0%	47%	1%	51%
Renewable, biomass	100%	0%	0%	84%	0%	16%
Renewable, other	100%	0%	0%	22%	0%	78%
Feedstock, biomass	100%	0%	0%	0%	0%	100%
Feedstock, fossil	100%	0%	0%	0%	0%	100%

Figuur 28: Percentages verschillende processen bij totale milieu-impact glulam (LCA glulam, 2012)

2.2.3.2 Naaldhout

Naaldhout wordt zowel voor structurele als niet-structurele doeleinden gebruikt en wordt voor 70% geïmporteerd uit Noord-Europa, de Baltische staten, Noord-Amerika of Rusland. Het hout wordt verzaagd in de richting van de vezels, zodat rechthoekige secties worden bekomen. Om een vochtigheidsgraad lager dan 18% te hebben (om schimmelvorming te vermijden), wordt het hout mechanisch gedroogd in droogovens. Na het gebruik kan het hout hergebruikt, verbrand of gestort worden. (Naaldhout in de bouw, 2005)

Een EPD van naaldhout is opgesteld door de firma Egger (EPD softwood, 2014). De resultaten zijn te zien in Figuur 29. Op gebied van primaire energie, vraagt de productie 26-67% van het totaal energieverbruik. Het voorzien van grondstoffen en het transport vragen respectievelijk 25-62% en 5-19%. Bij de *End of Life* fase wordt er uitgegaan van 100% terugwinning van thermische energie. Het kappen en oogsten van het hout heeft een aandeel van 50% in het GWP, gevolgd door het elektriciteitsverbruik en het transport met een aandeel van respectievelijk 27% en 10%. Verder heeft het kappen en oogsten een grote invloed (45-65%) op het EP, AP en POCP.

Kiln Dried (KD) Timber (per m ³)				
Evaluated Parameter	Unit Per m ³	Production	End of Life	Total
Primary energy, renewable	[MJ]	8.86E+03	-2.23E+02	8.64E+03
Secondary energy	[MJ]	8.94E+02	-	8.94E+02
Primary energy, fossil	[MJ]	3.38E+02	-7.38E+03	-7.04E+03
Eutrophication potential (EP)	[kg PO ₄ equiv.]	3.72E-02	-9.55E-03	2.76E-02
Ozone depletion potential (ODP)	[kg R11 equiv.]	1.11E-06	-3.48E-05	-3.37E-05
Photochemical oxidant creation potential (POCP)	[kg C ₂ H ₄ equiv.]	2.54E-02	-3.01E-02	-4.66E-03
Global warming potential (GWP)	[kg CO ₂ equiv.]	2.58E+01	-4.40E+02	-4.14E+02
Acidification potential (AP)	[kg SO ₂ equiv.]	1.83E-01	-3.18E-01	-1.34E-01

Figuur 29: EPD productie en eind levenscyclus naaldhout (EPD softwood, 2014)

2.2.3.3 OSB

OSB¹⁴ is, mede door zijn mechanische eigenschappen en oriëntatie van de vezels, een veel gebruikt materiaal voor dragende toepassingen in de bouwsector. Het wordt vooral gebruikt in vloeren, muren en daken. Deze plaat is opgebouwd uit drie lagen van houtsnippers waarvan de snippers van de buitenste lagen 75 tot 200 mm lang zijn. De snippers gelegen aan de buitenzijde van de plaat zijn georiënteerd volgens de lengterichting van de plaat, terwijl de tussengelegen kortere snippers haaks op deze richting zijn geplaatst. (Kline, 2004)

De houtsnippers gebruikt in deze platen kunnen zowel afkomstig zijn van hardhout als van zachthout. Beide soorten houten, voornamelijk afkomstig van bosuitdunning, worden eerst ontschortst, alvorens ze te versnijden en drogen. Na het droogproces worden deze snippers ingesmeerd met een kunstharsbindmiddel. In Europa wordt er meestal gebruik gemaakt van een combinatie van bindmiddelen. Isocyanaat (PMDI) wordt gebruikt voor de laag snippers in de kern van de plaat, terwijl Melamine Urea Formaldehyde (MUF) in de buitenste lagen wordt gebruikt. Het gebruik van deze twee bindmiddelen heeft het voordeel dat het aantal drukcycli wordt verminderd terwijl er toch een mooie oppervlakte-afwerking wordt gecreëerd. Beide bindmiddelen zijn vochtbestendig, door de toevoeging van wax. (Technical Information Sheet OSB, 2009)

Een onderverdeling in vier soorten OSB, op basis van de mechanische eigenschappen en de relatieve weerstand tegen vocht, wordt gemaakt (Oriented Strand Board, 2012):

- OSB/1: Algemene platen en platen voor het interieur-gebruik (gebruik in droge omstandigheden).
- OSB/2: Dragende platen voor het gebruik in droge omstandigheden.
- OSB/3: Dragende platen voor het gebruik in vochtige omstandigheden.
- OSB/4: Zwaar belaste dragende platen voor het gebruik in vochtige omstandigheden.

¹⁴ Oriented Strand Board

Figuur 30 toont de hoeveelheid grondstoffen die nodig zijn voor de productie van 1 m² OSB-plaat met een dikte van 1.1 cm. De benodigde energie voor de productie van deze plaat wordt weergegeven in Figuur 31. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat deze waarden afkomstig zijn van een Amerikaans onderzoek.

<i>Constituent</i>	<i>Mass kg/m² (lb/ft²)</i>	<i>Mass Fraction (%)</i>
Wood	6.76 (1.38)	94.5
PF resin	0.237 (0.049)	3.34
MDI resin	0.043 (0.009)	0.66
Wax	0.108 (0.022)	1.5
Totals	7.15 (1.46)	100

Figuur 30: Grondstoffen voor OSB-productie (Wilson, 2006)

<i>Energy Carrier</i>	<i>Units</i>	<i>Quantity, 0.95 cm (3/8 in) basis</i>
Electricity - Southeast Grid	MJ/m ² (kWh/ft ²)	7.360 (190)
Natural Gas	MJ/m ² (ft ³ /ft ²)	8.743 (747)
Diesel fuel	L/m ² (gal/ft ²)	0.19 (0.01)
Distillate Fuel Oil	L/m ² (gal/ft ²)	7.74 (0.19)
LPG	L/m ² (gal/ft ²)	0.030 (0.71)
Gasoline	MJ/m ² (gal/ft ²)	0.004 (0.03)
Hogfuel/Biomass (50 % moisture)	kg/m ² (lb/ft ²)	4 078 (836)

Figuur 31: Energie voor OSB-productie (Wilson, 2006)

2.2.3.4 I-Joist

I-Joist balken zijn opgebouwd uit flenzen bestaande uit LVL¹⁵ of timmerhout. Deze flenzen worden met elkaar verbonden door een structurele OSB-plaat. Deze I-profielen zijn tot 50% lichter dan vergelijkbare massieve houten balken, maar zorgen toch voor een groter draagvermogen en grotere overspanningsmogelijkheden. Daarom worden deze balken in Europa en Noord-Amerika veel in vloer-, dak- en wandtoepassingen gebruikt. (Shahidul Islam, Shahnewaz & Shahria Alam, 2015)

Voor de productie van 1 km gemiddelde Canadese I-Joist is er gemiddeld 2,45 m³ OSB nodig. Dit type I-Joist heeft een totale hoogte van 315,20 mm. De afmeting van het lijf in OSB is 9,00 x 264,40 mm. Zoals te zien in Figuur 32 is de benodigde hoeveelheid LVL vergelijkbaar met het geproduceerde volume I-Joist. Het volume benodigde timmerhout is ongeveer 3 m³. Deze grondstoffen dienen aan elkaar verlijmd te worden met behulp van kunstharsen. Voor de productie van een Canadese I-Joist wordt ofwel gebruikt gemaakt van fenol formaldehyde of polyurethaanhars voor de verbinding van de lijfplaat en de flenzen. De benodigde hoeveelheden worden weergegeven in Figuur 33. (LCA I-Joist, 2013)

¹⁵ Laminated Veneer Lumber, gelamineerd fineerhout.

WOOD INPUTS	UNIT	AMOUNT/km
OSB	m ³	2.45
Lumber	m ³	3.00
LVL	m ³	2.52

Figuur 32: Grondstoffen voor I-Joist productie (LCA I-Joist, 2013)

RESIN INPUTS	UNIT	AMOUNT/km
Polyurethane Resin	kg	16.68
Phenol Resorcinol Formaldehyde Resin	kg	7.72

Figuur 33: Kunsthars voor I-Joist productie (LCA I-Joist, 2013)

De benodigde energie voor de productie van Canadees I-Joist is voornamelijk afkomstig van elektriciteit, aardgas en biomassa (zie Figuur 34). Deze biomassa wordt voornamelijk geproduceerd door het aanwezige houtafval. (LCA I-Joist, 2013)

ENERGY INPUTS	UNIT	AMOUNT/km
Electricity – Canadian Average Grid	kWh	755.96
Natural Gas	m ³	9.09
Diesel	l	9.10
Gasoline	l	0.07
Propane	l	1.93
Hogfuel	odkg	69.15

Figuur 34: Energie voor de I-Joist productie (LCA I-Joist, 2013)

Impact category	Unit	Total	Logging and Forestry	OSB Production	Lumber Production	LVL Production	Transport to I-Joist Plant	I-Joist Production
Global Warming	kg CO ₂ eq	1,290.86	138.46	276.62	115.34	323.54	74.52	362.39
Acidification	H ⁺ moles eq	614.86	15.88	175.77	82.10	156.41	29.30	155.40
Eutrophication	kg N eq	5.69E-01	2.02E-02	1.42E-01	5.86E-02	1.52E-01	3.36E-02	1.63E-01
Smog	kg O ₃ eq	164.07	7.28	53.79	34.65	27.17	17.09	24.09
Ozone Depletion	kg CFC-11 eq	4.68E-05	8.02E-09	3.67E-07	5.60E-09	6.52E-07	2.84E-09	4.57E-05
Total Energy	MJ eq	113,390.22	22,241.95	37,468.08	30,435.93	11,338.15	1,027.48	10,878.65
Non renewable, fossil	MJ eq	20,813.95	2,077.92	4,150.25	1,850.92	5,562.79	1,017.33	6,154.74
Non-renewable, nuclear	MJ eq	3,253.14	20.47	251.21	252.74	1,131.61	8.65	1,588.46
Renewable, biomass	MJ eq	12,218.20	0.00	6,159.07	3,031.90	1,641.78	0.00	1,385.45
Renewable, other	MJ eq	4,085.80	7.53	711.53	302.58	1,312.68	1.49	1,749.99
Feedstock, biomass	MJ eq	69,998.94	20,136.03	24,414.95	24,997.80	450.16	0.00	0.00
Feedstock, fossil	MJ eq	3,387.17	0.00	1,781.08	0.00	1,239.13	0.00	366.96

Figuur 35: Milieu-impact van de I-Joist productie (LCA I-Joist, 2013)

Uit de resultaten van de LCA-studie van het ASMI¹⁶ (LCA I-Joist, 2013) blijkt dat zowel de OSB-, LVL- als I-Joist productie een vergelijkbare impact heeft op de opwarming van de aarde (zie Figuur 35).

2.2.3.5 Recyclage van hout

Volgens OVAM (Uitvoeringsplan houtafval, 2004) wordt de jaarlijkse afvalproductie van hout binnen de houtverwerkende sector geschat op minstens 740.000 ton. Hiervan wordt ongeveer 400.000 ton per

¹⁶ Athena Sustainable Materials Institute

jaar verbrand, terwijl de rest wordt gebruikt voor recyclage. De cementindustrie gebruikt jaarlijks ongeveer 50.000 ton van dit houtafval voor gebruik in de cementoven. Ook de gebouwensector (in de gebruiksfase) is een grote afnemer van dit houtafval, 30-40% van het verbrande houtafval wordt gebruikt voor de opwekking van productiewarmte of -stoom. De bouw- en sloopsector produceert jaarlijks ongeveer 250.000 ton bouw- en sloophout. Voor de andere sectoren wordt verwezen naar Figuur 36.

Sector	Hoeveelheid (ton)	Percentage
<i>Houtverwerkende sector</i>	740.000 – 900.000	57
<i>Algemene bedrijfssectoren</i>	200.000	15
<i>Bouw- en sloopsector</i>	150.000 – 250.000	11
<i>Huishoudens</i>	221.560	17
TOTAAL	1.311.560- 1.571.560	

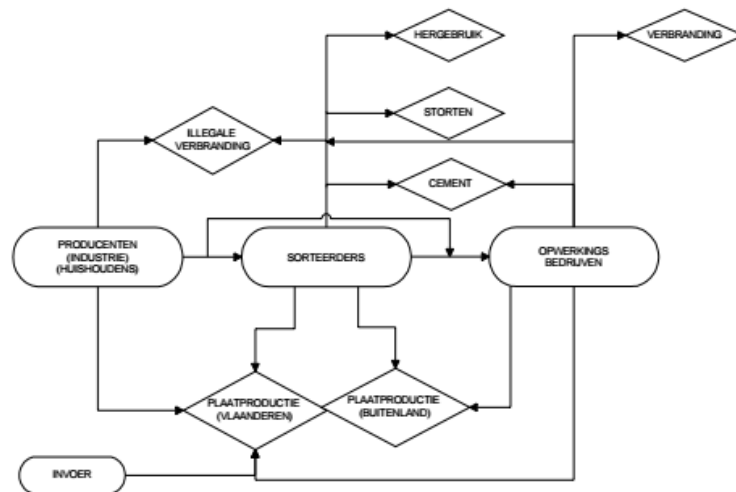
Figuur 36: Overzicht houtafval in Vlaanderen (Uitvoeringsplan houtafval, 2004)

Verwerkingswijze	%
Spaanderplaatbedrijven in Vlaanderen	51
Spaanderplaatbedrijven in het buitenland	26
Cementindustrie	4
Verbranding	10
Storten	5
Meegeven met particulieren	4

Figuur 37: Verwerkingswijze van houtafval in Vlaanderen (Uitvoeringsplan houtafval, 2004)

Een studie van OVAM (Uitvoeringsplan houtafval, 2004) bij verschillende inzamelbedrijven van houtafval levert de resultaten op weergegeven in Figuur 36. Hieruit blijkt dat het houtafval voornamelijk wordt hergebruikt in spaanderplaatbedrijven in Vlaanderen en het buitenland. Recyclagehout zoals verpakkingshout kan rechtstreeks van de sorteerbedrijven naar de spaanderplaatfabriek worden getransporteerd. Sloophout daarentegen moet eerst via een opwerkingsbedrijf gaan alvorens het naar de spaanderplaatfabriek kan worden gebracht. In Vlaanderen beschikken de zes spaanderplaatfabrikanten over een potentiële inzet van 520.000 ton recyclagehout, afkomstig van deze opwerkingsbedrijven. Daarbovenop werd er in 2002 nog eens 340.000 ton onbehandeld houtafval afgevoerd naar de spaanderplaatfabrikanten.

In Figuur 38 wordt een overzicht gegeven van de inzamel- en verwerkingsstructuur van houtafval in Vlaanderen.



Figuur 38: Overzicht inzamel- en verwerkingsstructuur van houtafval in Vlaanderen (Uitvoeringsplan houtafval, 2004)

2.2.4 Cellenbeton

Jaarlijks wordt er ongeveer 150.000 ton cellenbeton afgezet op de Belgische markt. Uit onderzoek van OVAM (Vrijders, Nielsen & Quaghebeur, 2009) blijkt dat er in België één grote producent is van cellenbeton. Xella bezit 90% van het marktaandeel en heeft dan ook als enige een productie-eenheid in België. De overige 10% van het marktaandeel is vooral afkomstig van import uit Frankrijk en Duitsland.

Cellenbeton wordt vervaardigd uit zand, cement, kalk, gips, aluminiumpoeder en water volgens de verhouding in Figuur 39. Het zand wordt eerst vermalen tot poeder en vervolgens gemengd met water, cement en ongebluste kalk. Alvorens dit mengsel in de mal wordt gegoten, wordt er het aluminiumpoeder aan toegevoegd. De voor 1/3 gevulde mal wordt 30 minuten tot 4 uur met rust gelaten. Tijdens deze rustperiode reageert de ongebluste kalk en cement met water waardoor het mengsel verstijft. Op datzelfde moment wordt waterstofgas gevormd door de reactie van het aluminiumpoeder met de hydroxides van de kalk en cement. Tijdens de vorming van waterstofbelletjes rijst het materiaal, waterstof ontsnapt geleidelijk en wordt vervangen door lucht. Hierna gaat het product in een autoclaaf bij een druk van 10-12 bar en een temperatuur van 180° C gedurende 8 tot 16 uur. (Saiyed et al., z.j.)

Sr. No.	Material	% of proportion for AAC Blocks with Fly ash / with Sand
1.	Flyash / Sand	65-70 / 55-65 %
2.	Cement - 53 GRADE OPC	6-15 / 10-20 %
3.	Lime	18-25 / 20-30 %
4.	Gypsum	3 - 5 / 2 - 3 %
5.	Aluminium powder paste (600 kg / m ³)	8 %
6.	Water	0.6 - 0.65 %
7.	Casting system	36-40 °C / 35-38 °C

Figuur 39: Grondstoffen voor de productie van cellenbeton (Saiyed et al., z.j.)

Figuur 40 geeft een overzicht van de milieu-impact van de productie van 1 m³ cellenbeton. Deze totale impact wordt voornamelijk beïnvloed door het gebruik van thermische energie in de productie van cement en ongebluste kalk. (EPD autoclaved aerated concrete, 2012)

RESULTS OF THE LCA – ENVIRONMENTAL IMPACT: 1m ³ Ytong® AAC		
Parameter	Unit	A1 - A3
Global warming potential	[kg CO ₂ -Eq.]	219.3
Depletion potential of the stratospheric ozone layer	[kg CFC11-Eq.]	1.26E-7
Acidification potential of land and water	[kg SO ₂ -Eq.]	0.219
Eutrophication potential	[kg PO ₄ ³⁻ -Eq.]	0.029
Formation potential of tropospheric ozone	[kg Ethylene Eq.]	0.022
Abiotic depletion potential for non-fossil resources	[kg Sb Eq.]	1.35E-4
Abiotic depletion potential for fossil resources	[MJ]	1699.3

Figuur 40: Milieu-impact van cellenbetonproductie (EPD autoclaved aerated concrete, 2012)

Jaarlijks komt er in België ongeveer 125.000 ton cellenbetonafval vrij. Hiervan recycleert Xella ongeveer 20.000 ton/jaar. Zij vervangen gemiddeld 25% van het zandgebruik door gerecycleerd cellenbeton (Van de Voorde, 2016, 25 maart). De voorwaarde om dit cellenbeton te kunnen recyclen is dat het moet gaan om zuiver cellenbeton. Voorts zijn er in België nog twee andere firma's die cellenbeton recyclen: Chap-Yt en EKP. Jim Wouters (2016, 27 maart) van de firma Chap-Yt bevestigt dat er jaarlijks 4.000 ton cellenbeton wordt verwerkt bij deze firma. Hier wordt cellenbeton gebruikt als zandvervanger voor de productie van dekvloeren. EKP-recycling recycleert jaarlijks ongeveer 50.000 ton cellenbeton welke een beperkte vervuiling mag vertonen. Dit cellenbeton wordt gebroken tot korrels 0/8 en vervolgens gebruikt voor zandcementtoepassingen. De overige hoeveelheid aan afval wordt gestort op daarvoor voorziene stortplaatsen of getransporteerd naar Nederland, waar het hergebruikt wordt in betontoepassingen. (Vrijders, Nielsen & Quaghebeur, 2009)

Hoofdstuk 3: Voorafgaande berekeningen en onderzoek

3.1 Opgelegde randvoorwaarden

De functionele eenheid van de verschillende structurele vloer-balk systemen kan beschreven worden als een vloer-balk systeem dat een vaste last van $1,5 \text{ kN/m}^2$ (dekvloer + tegels) en een variabele last van 2 kN/m^2 (woonzone: vloeren) (Eurocode 1, 2009) kan dragen. De lengte van de dragende balk wordt vastgelegd op 6 m. Voor de vloeren worden zowel vloeren met een overspanning van 4 m als vloeren met een overspanning van 6 m bekeken. De vloeren worden scharnierend opgelegd, waardoor de belastingen gelijkmatig¹⁷ verdeeld worden over de dragende balken. De balk wordt ondersteund door twee scharnierende steunpunten op de twee uiteinden.

Indien er meerdere producenten van eenzelfde vloertype zijn, wordt een vergelijkende studie gemaakt en wordt het lichtste vloerelement gekozen. Aangezien hout en staal, in tegenstelling tot gewapend beton, geen composiet materialen zijn, komt het lichtste element overeen met de meeste ecologische oplossing. Om deze lijn door te trekken wordt ook bij betonnen elementen het lichtste gekozen, ook al is dit niet in se de meest ecologische oplossing.

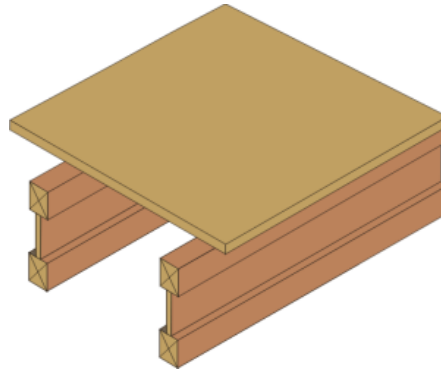
3.2 Vloer-balk combinaties

Er wordt gekozen om een aantal balken uit verschillende materialen te gebruiken: een betonnen balk (prefab, enkelvoudig gewapend), een stalen ligger (IPE-ligger) en een houten balk (glulam). Deze (logische) keuze is te verklaren door het feit dat deze drie types balken nog steeds het meest in de woningbouw worden gebruikt.

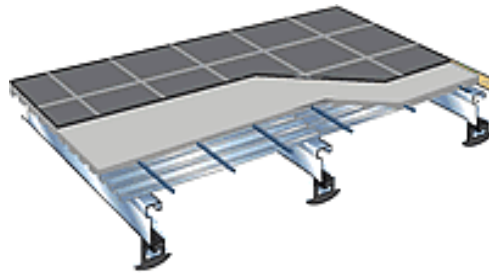
Vervolgens worden tien vloertypes bepaald, die van toepassing kunnen zijn in de woningbouw:

1. Breedplaatvloer
2. Cellenbetonvloer
3. Gewapende welfsels
4. I-joist met OSB-plaat (zie Figuur 41)
5. Naaldhouten balken met OSB-plaat
6. Potten en balken
7. Staalplaatbetonvloer
8. Systeemvloer 1 (Combifor-profielen met zwaluwstaartplaat) (zie Figuur 42)
9. Systeemvloer 2 (Combifor-profielen met OSB-plaat)
10. Voorgespannen welfsels

¹⁷ 50% van de belasting wordt afgedragen naar de linkerondersteuning en de andere 50% wordt afgedragen naar de rechterondersteuning



Figuur 41: Principetekening I-joist met OSB-plaat



Figuur 42: Systeemvloer bestaande uit Combifor-profielen met zwaluwstaartplaat. Op deze figuur is eveneens een dekvloer en tegels te zien (Combifor vloersysteem, 2012)

Er worden combinaties¹⁸ gevormd tussen de verschillende balk- en vloertypes. Een overzicht van deze combinaties is te zien in Tabel 4. Een groen vak wil zeggen dat de combinatie in de praktijk soms tot vaak wordt uitgevoerd en dus in deze studie wordt opgenomen. Een rood vak wil zeggen dat de combinatie in de praktijk zelden voorkomt en zodus niet wordt bestudeerd binnen dit onderzoek.

Tabel 4: Overzicht van de verschillende balk-vloer combinaties.

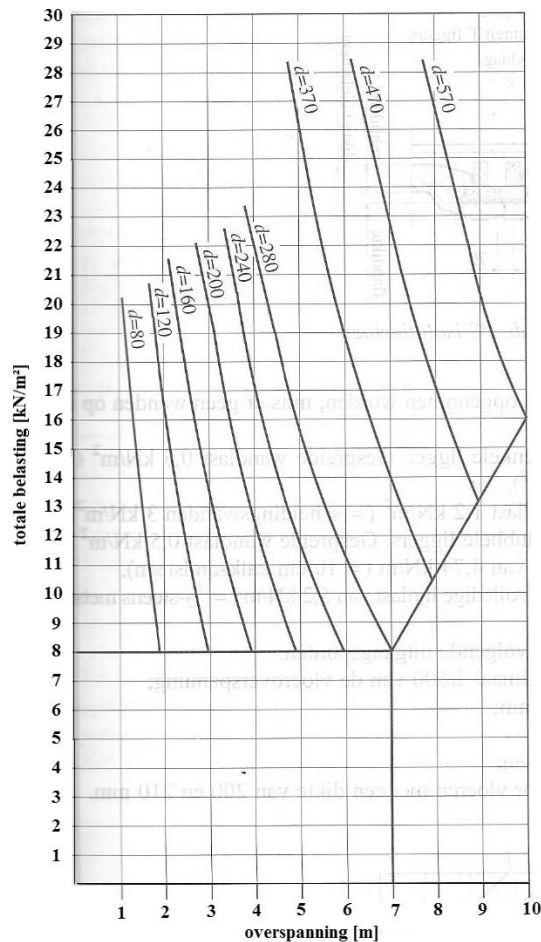
	Breedplaatvloer	Cellenbetonvloer	Gewapende welfsels	I-joist met OSB-plaat	Naaldhouten balken met OSB-plaat	Potten en balken	Staalplaatbetonvloer	Systeemvloer 1	Systeemvloer 2	Voorgespannen welfsels
Prefab Beton C30/37										
Stalen IPE-ligger										
Hout Glulam										

¹⁸ Dit zijn combinaties die in de praktijk geregeld uitgevoerd worden. Er wordt nog niet gekeken naar de meest ecologische combinatie.

3.3 Bepaling vloertypes

3.3.1 Breedplaatvloer

Voor de breedplaatvloeren wordt er voor een overspanning van zowel 4 als 6 m gebruik gemaakt van breedplaatvloeren met een dikte van 5 cm. Uit Figuur 43 blijkt dat voor beide overspanningen een gewapende druklaag met een dikte van 8 cm nodig is.



Figuur 43: Overspanningsgrafiek breedplaatvloer (Van Herwijnen et al, 2010)

Een uitwerking van dit vloersysteem met de software Diamonds van Buildsoft, geeft aan dat een bovenwapeningsnet van 150/150/8/8 voldoende is.

3.3.2 Cellenbetonvloer

Aangezien in België Xella de voornaamste leverancier is van cellenbeton, wordt bij gebrek aan andere leveranciers geen vergelijkende studie van cellenbetonvloeren uitgevoerd. Voor een belasting van 3,5 kN/m² (1,5 kN/m² vaste belasting + 2 kN/m² nuttige belasting) is een maximale overspanning van 5,45 m mogelijk. Daarom wordt voor een overspanning van 4m het type CC4/600 met een dikte van 200 mm gekozen. (Dakplaten en Vloerplaten, 2015)

Type CC4/600			
Dikte (mm)			
	200	240	300
Nuttige belasting (kN/m ²)	Maximum lengte (m)		
3,00	4,50	5,00	5,65
3,50	4,30	4,85	5,45
4,00	4,15	4,65	5,30
4,50	4,00	4,55	5,15
5,00	3,90	4,40	5,05
5,50	3,80	4,30	4,90
6,00	3,75	4,20	4,80
6,50	3,65	4,15	4,70
7,00	3,55	4,05	4,65

Figuur 44: Overspanning cellenbetonvloer (Dakplaten en Vloerplaten, 2015)

Een overspanning groter dan 6 m is niet mogelijk daar de doorbuigingseis van een vloerplaat uit cellenbeton, namelijk L/500, niet meer kan gerealiseerd worden met de beschikbare vloertypes van Xella. Dakplaten uit cellenbeton met een lengte groter dan 6 m zijn wel realiseerbaar. Dit omdat de doorbuigingseis minder streng is dan bij vloerplaten, namelijk L/250. (Dakplaten en Vloerplaten, 2015)

3.3.3 Gewapende welfsels

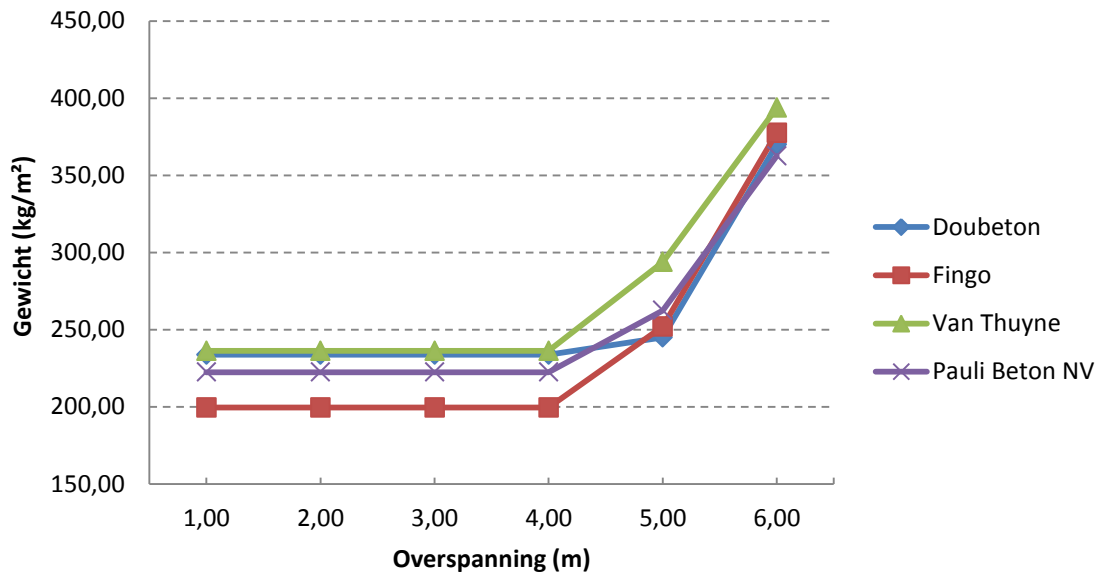
Voor de opgegeven belastingen en overspanningen worden er bij verschillende welfsel-producenten andere welfsels aangeraden. Om hierbij het lichtste gewapend welfsel te kiezen wordt er eerst een vergelijkende studie uitgevoerd. De resultaten hiervan worden weergegeven in Tabel 5 en Figuur 45.

Tabel 5: Vergelijking gewapende welfsels voor eenzelfde belasting (1,5 kN/m² vaste last en 2 kN/m² nuttige last). (Gewapend welfsel Pauli Beton, z.j.) (Gewapend welfsel Doubeton, 2014) (Gewapend welfsel Fingo, 2013) (Gewapend welfsel Van Thuyne-Ide bvba, z.j.)

overspanning [m]	Pauli Beton NV		Doubeton		Fingo		Van Thuyne	
	gewicht [kg/m ²]	type	gewicht [kg/m ²]	type	gewicht [kg/m ²]	type	gewicht [kg/m ²]	type
1,00	222,50	WPR 13/60 + 0	233,75	13+0	199,50	F130-500	236,25	VT13/60
2,00	222,50	WPR 13/60 + 0	233,75	13+0	199,50	F130-500	236,25	VT13/60
3,00	222,50	WPR 13/60 + 0	233,75	13+0	199,50	F130-500	236,25	VT13/60
4,00	222,50	WPR 13/60 + 0	233,75	13+0	199,50	F130-500	236,25	VT13/60
5,00	262,50	WPR 16/60 + 0	245,00	17+0	252,00	F170-500	293,75	VT17/60
6,00	362,50	WPR 16/60 + 4	370,00	17+4	377,50	F170-500 +5	393,75	VT17/60 + 4

Hieruit blijkt dat producent Fingo het lichtste welfsel aanbiedt voor een overspanningen van 4 m, namelijk het type F130-500. Voor de overspanningen groter dan 4 m wordt het verschil tussen de

producenten kleiner. Voor vloeren die 6 m overspanen wordt van de firma Pauli Beton het type WPR 16/60 in combinatie met 4 cm druklaag gekozen.



Figuur 45: Vergelijking gewapende welfsels voor eenzelfde belasting

De nodige wapening in een gewapend welfsel wordt door de producenten niet opgegeven. Wanneer een gewapend welfsel als balk wordt beschouwd, kan de wapening wel worden bepaald. Deze berekening gebeurt aan de hand van de, door de producent, opgelegde belasting en maximale overspanning.

Voor het welfsel dat 4 m overspant (F130-500), resulteert dit in volgende praktische onderwapening: 5 staven Ø12. Het welfsel dat 6 m overspant (WPR 16/60 + 4) heeft volgende praktische wapening: 6 staven Ø10.

3.3.4 I-Joist met OSB-plaat

Voor de bepaling van het vloersysteem bestaande uit de combinatie van dragende houten I-Joist balken met daarop een OSB-beplating wordt eerst het juiste balktype gekozen. Uit de technische gegevens van de firma Eurabo blijkt dat er voor een overspanning van 4m een type 45x240 nodig is. De onderlinge tussenafstand van de opeenvolgende balken wordt vastgelegd op 40 cm ipv 45 cm om de uitvoering ten goede te komen¹⁹. Voor een overspanning van 6 m is een I-joist van het type 60x360 nodig. Deze liggers hebben een hart op hart afstand van 40 cm. (Eurabo I-Joist, 2015).

Voor de bovenliggende beplating wordt gekozen voor het type OSB2, omdat deze een dragende toepassing heeft in een droog klimaat, relatieve vochtigheid < 65% (OSB, 2016).

¹⁹ 45 cm is geen veelvoud van 6 m (balkoverspanning), waardoor de vloer volgens de regels van de kunst niet is uit te voeren.

OVERSPANNINGSTABEL VLOEREN

Eigengewicht: 0,75 kN
Mobiele belasting: 2 kN

Maximale doorbuiging: $< l/350$ en $< 1,2$ cm

Steico joist	tussenafstand h.o.h.			
	30 cm	35 cm	40 cm	45 cm
45x240	4m70	4m50	4m30	4m10
60x240	5m10	4m90	4m70	4m50
90x240	5m50	5m30	5m10	4m90
45x300	5m40	5m20	5m00	4m80
60x300	5m80	5m60	5m40	5m20
90x300	6m30	6m10	5m90	5m70
45x360	6m00	5m80	5m60	5m40
60x360	6m40	6m20	6m00	5m80
90x360				
60x400	6m80	6m60	6m40	6m20
90x400	7m40	7m20	7m00	6m80

Figuur 46: Overspanning I-Joist (Eurabo I-Joist, 2015)

3.3.5 Naaldhouten balken met OSB-plaat

Aan de hand van een uitgewerkt voorbeeld van het WTCB wordt een keuze gemaakt voor de naaldhouten balken (WTCB naaldhout, 2013). Op basis van Figuur 47 wordt er gekozen voor het type C18 75x225 mm² met een tussenafstand van 30 cm. In deze figuur is eveneens zichtbaar dat een overspanning van 6m niet mogelijk is. Voor de beplating wordt opnieuw gekozen voor een OSB2-plaat.

Hart-op hartafstand 'a' [m]	Balken 63 x 175 mm ²			Balken 75 x 225 mm ²		
	BGT		UGT	BGT		UGT
	L/500	Trillingscriterium		L/500	Trillingscriterium	
0,3	2,9	4,1	3,3	4,0	5,7	5,5
0,4	2,7	3,8	3,1	3,6	5,3	5,0
0,5	2,5	3,6	3,0	3,4	5,0	4,5
0,6	2,3	3,4	2,8	3,2	4,8	4,1

Figuur 47: Overspanning naaldhouten balken (WTCB naaldhout, 2013)

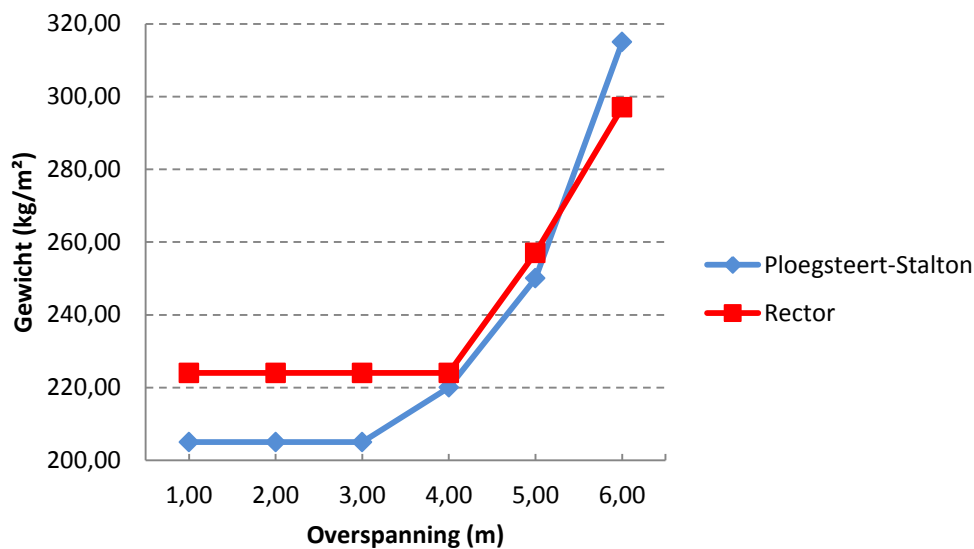
3.3.6 Potten en balken

Bij het vloersysteem dat opgebouwd is uit potten uit gebakken aarde en balken uit gewapend beton wordt er een vergelijkende studie gemaakt tussen twee leveranciers (zie Tabel 6).

Hieruit blijkt dat bij een overspanning van 4 m de potten en balken van Ploegsteert-Stalton het lichtst zijn, terwijl dit bij 6 m deze van Rector zijn. De gebruikte potten en balken van Ploegsteert - Stalton zijn van het type H12+3 6/14 en deze van Rector van het type R116 + T20.

Tabel 6: Vergelijking potten en balken voor eenzelfde belasting (1,5 kN/m² vaste last en 2 kN/m² nuttige last). (Staltonvloer met potten en balkjes, 2014) (Rector gebakken aarde, z.j.)

overspanning [m]	Ploegsteert-Stalton		Rector	
	gewicht [kg/m ²]	type	gewicht [kg/m ²]	type
1,00	205,00	H12+3 6/9	224,00	R111 + T12
2,00	205,00	H12+3 6/9	224,00	R111 + T12
3,00	205,00	H12+3 6/9	224,00	R111 + T12
4,00	220,00	H12+3 6/14	224,00	R114 + T12
5,00	250,00	H12+4 6/19	257,00	R115 + T15
6,00	315,00	H18+4 6/19	297,00	R116 + T20



Figuur 48: Vergelijking potten en balken voor eenzelfde belasting

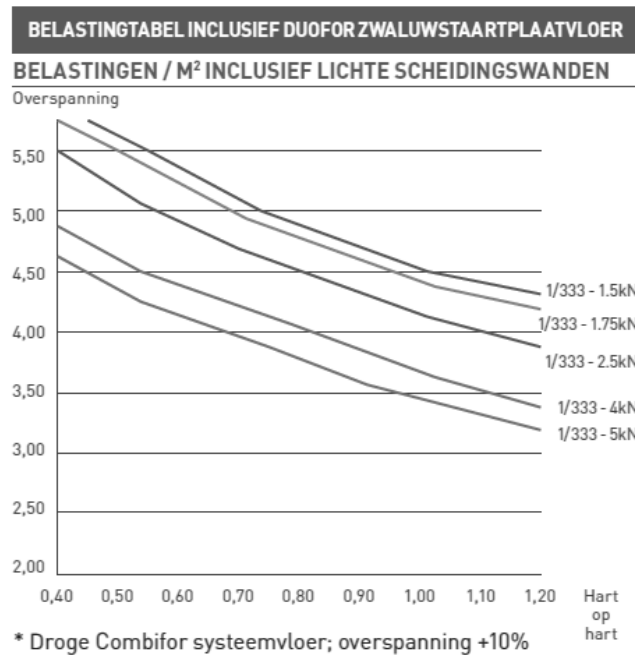
De nodige wapening in een balkje wordt door de producenten niet opgegeven. Ze wordt bepaald door zelf de berekening uit te voeren met de gebruikte belasting ten gevolge van de potten en overspanning. Voor het balkje dat 4 m overspant, resulteert dit in volgende praktische onderwapening: 2 staven Ø10. Het balkje dat 6 m overspant heeft volgende praktische wapening: 2 staven Ø12.

3.3.7 Staalplaatbetonvloer

Voor de staalplaatbetonvloeren wordt een beroep gedaan op verschillende Comflor-types. Aan de hand van een Excel berekeningsbestand van de producent wordt, rekening houdend met de opgelegde belastingsvoorwaarden (1,5 kN/m² vaste belasting + 2 kN/m² nuttige belasting), voor een overspanning van 4m een type Comflor E60 aangeraden, terwijl dit voor 6 m overspanning een type Comflor 100 is. (Berekening Comflor, 2016)

3.3.8 Systeenvloer 1

Deze systeenvloer is opgebouwd uit Combifor-profielen waarop een zwaluwstaartplaat wordt bevestigd. Bovenop deze draagconstructie komt geen gewapende druklaag in beton. Op basis van Figuur 49 en de opgelegde voorwaarden wordt een hart-op-hart afstand van 0,75 m bekomen. In Figuur 49 is eveneens zichtbaar dat overspanningen tot 6m niet mogelijk zijn. Bovenop deze profielen wordt er een zwaluwstaartplaat bevestigd.



Figuur 49: Hart-op-hart afstand Combifor-profielen (Combifor vloersysteem, 2012)

3.3.9 Systeenvloer 2

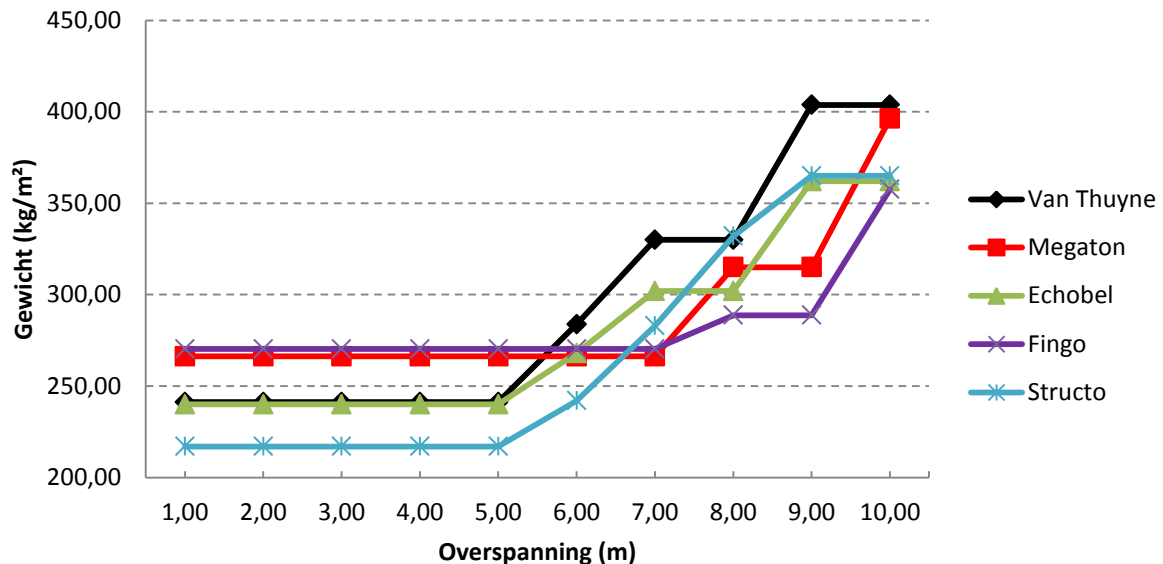
Voor deze systeenvloer worden dezelfde Combifor profielen gebruikt met dezelfde tussenafstand, maar als beplating wordt er geopteerd voor een OSB2-plaat. Bovenop deze plaat is er eveneens geen druklaag nodig.

3.3.10 Voorgespannen welfsels

Net zoals bij enkele eerder besproken vloeren, wordt er bij de voorgespannen welfsels eerst een vergelijkende studie uitgevoerd alvorens er een type gekozen wordt. Uit de resultaten van Tabel 7 en Figuur 50 blijkt dat de firma Structo het lichtste voorgespannen welfsel aanbiedt voor de in deze studie vastgelegde belasting en overspanningen. Voor een vloeroverspanning van 4 m wordt het welfsel type EC130/1200 gebruikt. Voor 6 m overspanning wordt het type DC160/1200 gekozen.

Tabel 7: Vergelijking voorgespannen welfsels voor eenzelfde belasting (1,5 kN/m² vaste last en 2 kN/m² nuttige last). (Voorgespannen welfsel Van Thuyne-Ide bvba, z.j.) (Voorgespannen welfsel Megaton, 2011) (Voorgespannen welfsel Echobel, z.j.) (Voorgespannen welfsel Fingo, 2015) (Voorgespannen welfsel Structo, z.j.)

Over- spanning [m]	Van Thuyne		Megaton		Echobel		Fingo		Structo	
	gewicht [kg/m ²]	type	gewicht [kg/m ²]	type	gewicht [kg/m ²]	type	gewicht [kg/m ²]	type	gewicht [kg/m ²]	type
1,00	241,25	VS13/120	266,25	WXT165 N5	240,00	VS12/60	270,25	FS150/1200	217,00	EC/130/1200
2,00	241,25	VS13/120	266,25	WXT165 N5	240,00	VS12/60	270,25	FS150/1200	217,00	EC/130/1200
3,00	241,25	VS13/120	266,25	WXT165 N5	240,00	VS12/60	270,25	FS150/1200	217,00	EC/130/1200
4,00	241,25	VS13/120	266,25	WXT165 N5	240,00	VS12/60	270,25	FS150/1200	217,00	EC/130/1200
5,00	241,25	VS13/120	266,25	WXT165 N5	240,00	VS12/60	270,25	FS150/1200	217,00	EC/130/1200
6,00	283,75	VS15/120	266,25	WXT165 N6	268,00	VS15/120	270,25	FS150/1200	242,00	DC/160/1200
7,00	330,00	VS20/120	266,25	WXT165 N8	302,00	VS18/120	270,25	FS150/1200	283,00	DC/200/1200
8,00	330,00	VS20/120	315,00	WXT200 N2T4	302,00	VS18/120	288,75	FS180/1200	332,00	DC/220/1200
9,00	403,75	VS25/120	315,00	WXT200 N2T5	362,00	VS24/120	288,75	FS200/1200	365,00	DC/260/1200
10,00	403,75	VS25/120	396,25	WXT265 N10	362,00	VS24/120	357,50	FS265/1200	365,00	DC/260/1200



Figuur 50: Vergelijking voorgespannen welfsels voor eenzelfde belasting

De nodige voorspanstrengen in een voorgespannen welfsel worden door de producenten niet opgegeven. Aan de hand van het handboek Betonbouw 3 van J. Ritzen (2014) kunnen de nodige voorspanstrengen wel bepaald worden. Deze berekening gebeurt aan de hand van de, door de producent, opgelegde belasting en maximale overspanning.

Voor het voorgespannen welfsel dat 4 m overspant (EC/130/1200), resulteert dit in volgende praktische boven- en onderwapening: respectievelijk 4SØ7,5 en 12SØ7,5 Het voorgespannen welfsel dat 6 m overspant (DC/160/1200) heeft volgende praktische boven- en onderwapening: respectievelijk 4SØ7,5 en 9SØ9,3

3.3.11 Overzicht

Tabel 8 geeft een overzicht van de verschillende soorten vloeren die in deze studie worden bekeken. Per type (afhankelijk van de vloeroverspanning) wordt de belasting die op de dragende balk zal komen weergegeven. In de laatste kolom is de totale vloerhoogte weergegeven (inclusief een eventuele druklaag). Een uitwerking van de nodige gegevens en belastingen van de vloeren is te vinden Bijlage A: Berekeningen vloer.

Tabel 8: Overzicht van de verschillende vloertypes

Soort vloer		Vloeroverspanning [m]	Type vloer	Belasting op balk ²⁰ [kN/m]	Totale vloerhoogte [mm]
1	Breedplaatvloer	4	Breedplaatvloer 50+80	12,75	130
		6	Breedplaatvloer 50+80	19,13	130
2	Cellenbetonvloer	4	CC4/600	4,71	200
		6			
3	Gewapende welfsels	4	F130-500 Ruw	7,79	130
		6	PAULI WPR 16/60 +4	21,34	200
4	I-joist met OSB-plaat	4	STEICO JOIST SJ 45x240	3,07	258
		6	STEICO JOIST SJ 60x360	8,41	378
5	Naalddhouten balken met OSB-plaat	4	Naalddhout C18 75x225	4,69	243
		6			
6	Potten en balken	4	Vulpotten H12+3 Staltonbalken 6/14	8,63	150
		6	Vulpotten T20 Rectorbalken R116	17,48	240
7	Staalplaatbetonvloer	4	ComFlor E60	8,70	120
		6	ComFlor E100	18,38	180
8	Systeemvloer 1	4	Combifor + zwaluwstaartplaat	0,58	226
		6			
9	Systeemvloer 2	4	Combifor + OSBplaat	0,78	228
		6			
10	Voorgespannen welfsels	4	EC130/1200	8,68	130
		6	DC160/1200	14,52	160

²⁰ Dit is de belasting ten gevolge van de structurele vloer, exclusief mobiele lasten en lasten ten gevolge van tegels en dekvloer.

3.4 Berekening balk/ligger

3.4.1 Betonnen balk

3.4.1.1 Methodiek

De berekening van de betonnen balken gebeurt volgens de rekenmethode uitgewerkt in het handboek Betonbouw I van J. Ritzen & R. Smet (2012), gebaseerd op Eurocode 2 (NBN EN 1992, 2015): Betonconstructies. Hierbij wordt de balk gedimensioneerd in UGT. Deze dimensionering gebeurt met het oog op een economische werkzame hoogte.

Als gevolg van de aangrijpende belasting, ontstaat er een breukmoment M_d .

$$M_d = 1,35M_g + 1,5 M_q \quad (3-1)$$

Waarbij M_g en M_q respectievelijk de momenten ten gevolge van de vaste lasten en gebruiksbelasting zijn.

De werkzame hoogte (de afstand van het zwaartepunt van de trekwapening tot de meest gedrukte vezel) van de balk wordt vervolgens berekend.

$$d = \beta \sqrt{\frac{M_d}{b}} \quad (3-2)$$

Hierin stelt b de breedte van de balk voor. Voor de waarde van β wordt een onderscheid gemaakt tussen β_{econ} en β_{lim} . De economische waarde is afkomstig van een vervormingstoestand van het beton waarbij het staal de maximale rek (10‰) bereikt op het ogenblik dat het beton bezwijkt bij een stuik van 3,5‰ (de meest economische oplossing). De limietwaarde heeft een minimale werkzame hoogte tot gevolg. De β -waarde wordt uit tabellen afgelezen en is afhankelijk van de veiligheidsfactor van het beton, de betondruksterkte en staalsterkte.

De theoretische sectie van trekwapening wordt berekend aan de hand van volgende formule:

$$A_s = \frac{M_d}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} \quad (3-3)$$

Hierbij stelt ζ de verhouding voor van z op d . Hierin is z het verschil tussen de werkzame hoogte en d_G (de afstand van de drukresultante op het beton tot de meest gedrukte vezel). f_{yd} is de waarde van de elasticiteitsgrens.

Eenmaal A_s berekend is, wordt deze staalsectie omgezet in een aantal staven met een bepaalde diameter, de praktische wapening. Aan de hand van de nodige betondekking c wordt vervolgens de werkelijke hoogte van de betonbalk bepaald.

$$h = d + d_1 = d + c + \frac{\emptyset}{2} \quad (3-4)$$

Deze hoogte wordt vervolgens omgezet naar een praktisch uitvoerbare hoogte zoals deze voorkomt in de technische documentatie van prefab leveranciers. Dit houdt in dat de hoogte een veelvoud is van 5 cm.

De controle op scheurvorming en doorbuiging gebeurt in GGT. Indien er van uitgegaan wordt dat de scheurvorming enkel te wijten is aan de belasting, volstaat het de staalspanning te bepalen onder quasi permanente belastingscombinaties. Aan de hand van deze staalspanning kan de maximum diameter $\emptyset^*$ van de staven uit tabellen worden bepaald. De werkelijke maximum diameter is:

$$\emptyset = \emptyset^* f_1 \quad (3-5)$$

$$\text{met } f_1 = \frac{h}{10(h-d)} \geq 1 \quad (3-6)$$

De doorbuigingscontrole wordt bepaald met behulp van de staalspanning onder belastingscombinaties die zelden voorkomen. Aan de hand van deze waarde wordt via tabellen een maximum buigslankheid L/d , die de doorbuiging beperkt tot de grenswaarden van EC2, bepaald.

3.4.1.2 Resultaten

De uitwerking en de resultaten zijn te vinden in Bijlage B: Berekening balken.

3.4.2 Stalen ligger

3.4.2.1 Methodiek

De stalen liggers worden berekend volgens Eurocode 3 (NBN EN 1993, 2015): Staalconstructies. Het gekozen profiel heeft een weerstandsmoment groter of gelijk aan het nodige weerstandsmoment berekend in UGT. De buigstijfheid in de kritische zone ($L/2$) wordt gecontroleerd, net zoals de schuifweerstand ter hoogte van de steunpunten.

Als gevolg van de aangrijpende belasting, ontstaat er een breukmoment M_d , dat maximaal is in het midden van de overspanning.

$$M_d = 1,35M_g + 1,5 M_q \quad (3-7)$$

Waarbij M_g en M_q respectievelijk de momenten ten gevolge van de vaste lasten en gebruiksbelasting zijn.

Ter hoogte van de steunpunten ontstaat de grootste dwarskracht.

$$V_d = 1,35V_g + 1,5 V_q \quad (3-8)$$

Waarbij V_g en V_q respectievelijk de dwarskrachten ten gevolge van de vaste lasten en gebruiksbelasting zijn.

Het nodig IPE-profiel wordt bepaald met behulp van het weerstandsmoment rond de y-as²¹. Er wordt een profiel gekozen met een weerstandsmoment groter of gelijk aan de berekende waarde.

$$W = \frac{M_d}{f_y \gamma_m} \quad (3-9)$$

Hierin is f_y de vloeigrens van het staal en γ_m een veiligheidsfactor.

De doorbuiging a wordt bepaald onder belastingscombinaties die zelden voorkomen in gebruiksgrenstoestand. Deze waarde moet lager zijn dan $L/300$ (NBN B 03-003, 2003).

$$a = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI} \quad (3-10)$$

3.4.2.2 Uitwerking en resultaten

De uitwerking en de resultaten zijn te vinden in Bijlage B: Berekening balken.

3.4.3 Houten glulam balk

3.4.3.1 Methodiek

De glulam balken worden berekend volgens Eurocode 5 (NBN EN 1995, 2015): Houtconstructies. De nodige hoogte wordt bepaald aan de hand van de buig- en schuifspanningen.

Als gevolg van de aangrijpende belasting, ontstaat er een breukmoment M_d , dat maximaal is in het midden van de overspanning.

$$M_d = 1,35M_g + 1,5 M_q \quad (3-11)$$

Waarbij M_g en M_q respectievelijk de momenten ten gevolge van de vaste lasten en gebruiksbelasting zijn.

Ter hoogte van de steunpunten ontstaat de grootste dwarskracht.

$$V_d = 1,35V_g + 1,5 V_q \quad (3-12)$$

²¹ De y-as gaat door het zwaartepunt en loopt evenwijdig met de neutrale vezel.

Waarbij V_g en V_q respectievelijk de dwarskrachten ten gevolge van de vaste lasten en gebruiksbelasting zijn.

Aangezien de hoogte van de balk vooraf niet is vastgelegd, wordt deze bepaald aan de hand van de maximale buigspanning in de balk en de schuifspanning ter hoogte van de steunpunten. Doorgaans stelt de buigspanning de strengste eis aan de hoogte. Als hoogte wordt gekozen voor een praktisch vaak voorkomende hoogte. Dit houdt in dat de hoogte een veelvoud is van 5 cm.

$$\sigma_{m,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h} < f_{m,d} \quad (3-13)$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \quad (3-14)$$

$$\tau_{v,d} = \frac{1,5 \cdot V_d}{b \cdot h} < f_{v,d} \quad (3-15)$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} \quad (3-16)$$

k_{mod} is een factor die het effect van de duur van de belasting en vochtgehalte in rekening brengt (voor een permanente belasting en gebruiksklasse 1, $k_{mod} = 0,6$). $f_{m,k}$ is de buigsterkte, $f_{v,k}$ is de afschuifsterkte en γ_m een veiligheidsfactor ($\gamma_m = 1,25$).

De doorbuiging a wordt bepaald onder belastingscombinaties die zelden voorkomen in gebruiksgrenstoestand. Deze waarde moet lager zijn dan $L/300$ (NBN B 03-003, 2003).

$$a = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI} \quad (3-17)$$

3.4.3.2 Uitwerking en resultaten

De uitwerking en de resultaten zijn te vinden in Bijlage B: Berekening balken.

3.4.4 Overzicht

Tabel 9 en Tabel 10 geven een overzicht van alle balken voor de verschillende vloer-balk combinaties die in deze studie worden bekeken. Per materiaalgroep wordt de hoeveelheid aan dat materiaal, uitgedrukt per m^3 , weergegeven.

Tabel 9: Berekende volumes voor elke balk met lengte 6m die een vloer met overspanning 4m draagt

Soort vloer		Over- spanning vloer [m]	Beton		Staal (IPE) [m³]	Hout (glulam) [m³]
			Beton [m³]	Wapenings- staal [m³]		
1	Breedplaatvloeren	4	1,040	0,012	0,044	
2	Gewapende welfsels	4	0,830	0,012	0,038	
3	Voorgespannen welfsels	4	0,830	0,012	0,038	
4	Potten en balken	4	0,830	0,012	0,038	
5	Cellenbetonvloer	4	0,830	0,010	0,032	0,699
6	I-joist + OSBplaat	4				0,671
7	Naaldhout + OSBplaat	4				0,699
8	Staalplaatbetonvloer	4			0,038	
9	Systeemvloer (zwaluwstaartplaat)	4			0,032	
10	Systeemvloer (OSBplaat)	4			0,032	

Tabel 10: Berekende volumes voor elke balk met lengte 6m die een vloer met overspanning 6m draagt

Soort vloer		Over- spanning vloer [m]	Beton		Staal (IPE) [m³]	Hout (glulam) [m³]
			Beton [m³]	Wapenings- staal [m³]		
1	Breedplaatvloeren	6	1,143	0,014	0,051	
2	Gewapende welfsels	6	1,085	0,014	0,051	
3	Voorgespannen welfsels	6	1,038	0,014	0,051	
4	Potten en balken	6	1,038	0,014	0,051	
6	I-joist + OSBplaat	6				0,875
8	Staalplaatbetonvloer	6			0,051	

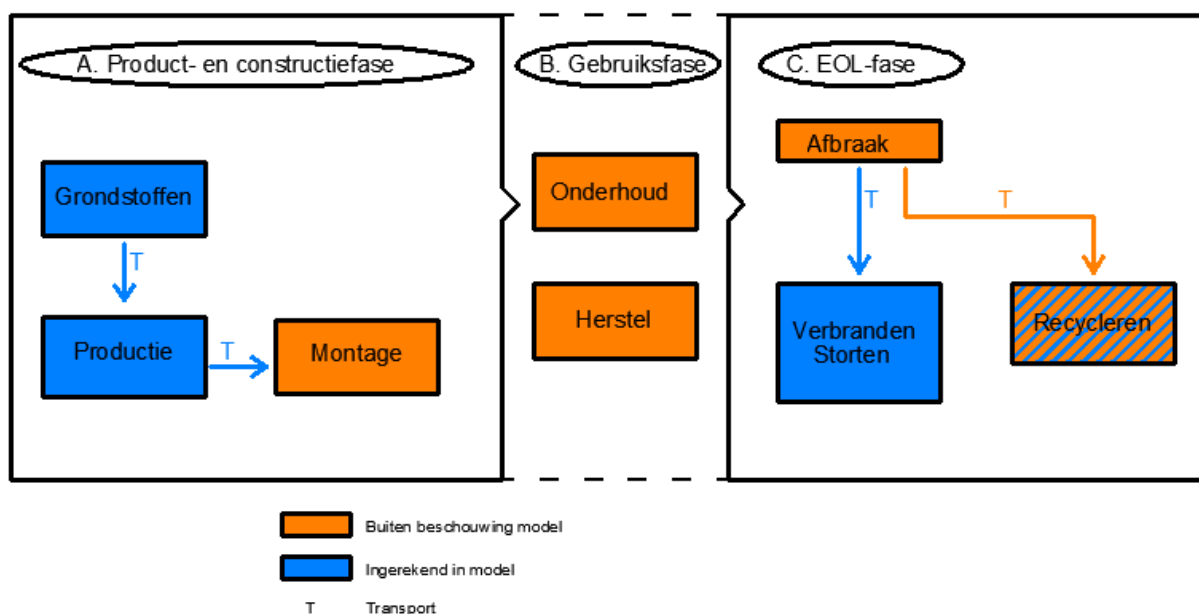
Hoofdstuk 4: Modelleren in SimaPro

4.1 Doel en reikwijdte studie

De doelstelling van deze studie is om een beter inzicht te krijgen in de milieu-impact van de beschouwde vloer-balk systemen, over de hele levenscyclus. Aan de hand van de bekomen resultaten moet het mogelijk zijn om te kunnen oordelen over welke vloer-balk systemen ecologisch aan of af te raden zijn.

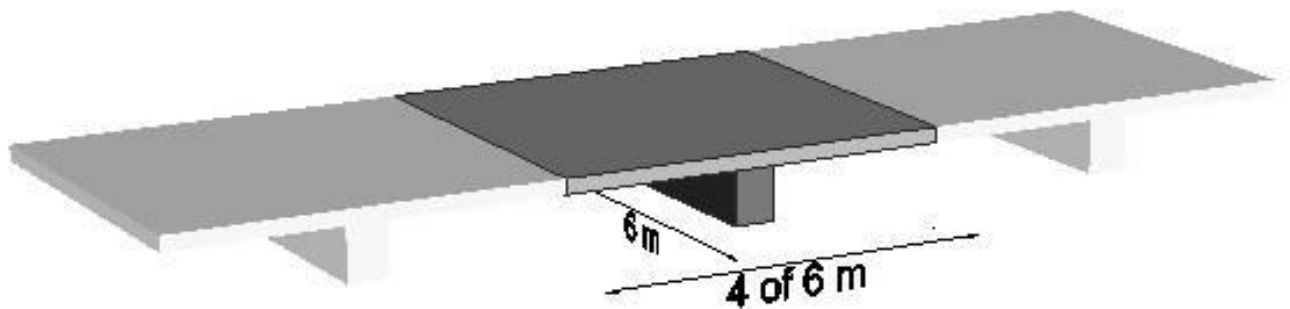
De functionele eenheid van de verschillende structurele vloer-balk systemen kan beschreven worden als een vloer-balk systeem dat een vaste last van 1,5 kN/m² (dekvloer + tegels) en een variabele last van 2 kN/m² (woonzone: vloeren) (NBN EN 1991, 2009) kan dragen.

Van de verschillende systemen wordt een *cradle-to-grave* analyse uitgevoerd. Een overzicht van de systeemgrenzen is te zien op Figuur 51. De productfase (A1-A3) wordt volledig opgenomen binnen de systeemgrenzen. Ook het transport van de producten naar de werf (A4) maakt deel uit van deze levenscyclusanalyse. De montage op de werf (A5), de gebruiksfase (B1-B7) en de sloop (C1) worden, door gebrek aan gegevens voor alle systemen, niet in rekening gebracht. Transport naar de eindverwerking (C2) en het storten of verbranden (C4) van het afval is eveneens opgenomen binnen de systeemgrenzen. In beperkte mate wordt rekening gehouden met recyclage van materialen (C3), door het gebruik van een *avoided impact*. Hierbij wordt de vermeden impact, als gevolg van het gebruik van gerecycleerd materiaal bij de productie van nieuw materiaal, reeds in rekening gebracht in het productieproces van nieuw materiaal.



Figuur 51: Overzicht systeemgrenzen

In deze studie wordt enkel het, door de balk, dragende gedeelte van de vloer in rekening gebracht. Dit deel vormt samen met de balk het SimaPro-model (zie Figuur 52).



Figuur 52: In rekening gebracht structureel vloer-balk systeem in het SimaPro model (donkergrijs gedeelte)

De inventarisatie van processen en gegevens wordt zoveel mogelijk gerelateerd aan een Belgische context. Beredeneerde aannames worden gedaan voor verschillende gegevens, zoals transportafstanden, of voor het gebruik van bepaalde processen, beschikbaar in SimaPro. Van deze aannames worden gevoeligheidsanalyses uitgevoerd (zie Hoofdstuk 6: Gevoeligheidsanalyses).

4.2 Werkwijze SimaPro

Voor elk materiaal dat voorkomt in de verschillende structurele vloer-balk systemen, wordt een standaard productfaseproces in SimaPro gezocht. Bij voorkeur wordt een proces uit de Ecoinvent databank gekozen. Dit productfaseproces wordt, waar mogelijk, aangepast naar een Belgische context (zie 4.3.1).

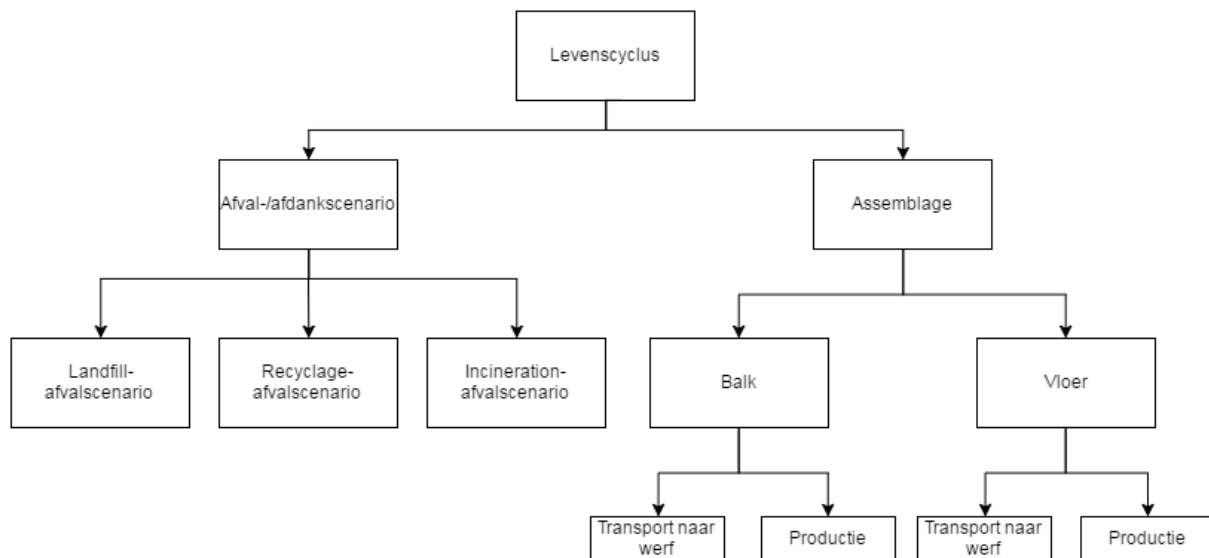
Met behulp van de materiaaldichtheden (zie Tabel 11) worden, uit de berekende materiaalvolumes (zie Bijlage C: Materiaalhoeveelheden), gewichtsparemeters in SimaPro ingevoerd. Met deze parameters worden de juiste hoeveelheden van elk materiaal in een vloer-balk systeem weergegeven. Dit gebeurt in een eerste groep assemblages, die de productie van de balken en vloeren aangeeft.

Een tweede groep assemblages geeft het transport van balken en vloeren van de productieplaats naar de werf aan. De transportmiddelen worden weergegeven door transportprocessen uit de Ecoinvent databank. Een opgesteld transportscenario (zie 4.3.2.2) geeft voor elk type materiaal aan over welke afstand en met welk transportmiddel het materiaal wordt getransporteerd naar de werf.

De productie van een type balk of vloer en het transport naar de werf vormen samen een derde groep assemblages. Tot hier worden balken en vloeren apart beschouwd.

Een vierde groep assemblages ontstaat door combinaties te maken van de balken en vloeren uit de derde groep assemblages

Er wordt een afval-/afvalscenario opgesteld voor de verschillende materialen. Samen met de vierde groep assemblages vormt dit de levenscyclus van het vloer-balk systeem. Een overzicht van het modelopbouw in SimaPro is te zien op Figuur 53.



Figuur 53: Opbouw model in SimaPro

Tabel 11: Lijst van gebruikte materiaaldichtheden

Materiaal	Dichtheid [kg/m³]
Beton	2380
Naalddhout	320
Glulam	460
OSB	611
Staal	7800
Vulbeton	1900
Gebakken aarde	1700
LVL	480
Cellenbeton	600
Dekvloer	1700

4.3 Scenario's

4.3.1 Processen aangepast naar Belgische context

Er wordt hoofdzakelijk gebruik gemaakt van volgende Europese databank, beschikbaar binnen SimaPro: *Ecoinvent unit processes*. Echter, een groot deel van de gegevens, beschikbaar in deze databank, hebben betrekking op Zwitserland of het gemiddelde van Europa. Waar mogelijk, zijn dan ook de subprocessen die onder de categorie “Energie” of “Transport” vallen, of een specifiek materiaal zoals water, aangepast naar een Belgische context. Deze Belgische variant is soms beschikbaar in de Ecoinvent databank. Wanneer geen Belgische variant beschikbaar is, wordt geopteerd voor de

gemiddelde Europese waarde. Indien sprake is van een specifiek land-gerelateerd proces (betreffende energie of transport), is dit ongewijzigd gebleven. Deze aanpassing naar Belgische context gebeurt tot op het derde subniveau van een hoofd-materiaalproces. Voor een overzicht van de subprocessen die aangepast zijn wordt verwezen naar Tabel 12.

Aangezien de basisprocessen niet kunnen aangepast worden, wordt een kopie gemaakt, voorzien van het achtervoegsel “/België”. Dit achtervoegsel wil zeggen dat de aanwezige subprocessen zijn aangepast naar een Belgische context.

Bijna ieder proces in de Ecoinvent databank wordt zowel voorgesteld als een *system proces* (S) en een *unit proces* (U). Ponsioen & Oele (2013) geeft aan dat er soms kleine verschillen kunnen schuilen in de resultaten.

System processes geven een opsomming van de grondstoffen (input) en emissies (output) binnen een proces. Vanwaar deze afkomstig zijn is onmogelijk te achterhalen. Het voordeel van deze

systemprocessen is dat vertrouwelijke gegevens verborgen zijn en dat de berekeningen veel sneller gebeuren omdat er geen grote netwerken in het proces aanwezig zijn. (Ponsioen & Oele, 2013)

Unit processes zijn transparante processen waarbij kan bekeken worden uit welke subprocessen een proces is opgebouwd. In het kader van dit onderzoek is deze methode van voorstelling beter, aangezien er processen betreffende energie, transport of specifieke materialen moeten kunnen aangepast worden naar Belgische context.

4.3.2 Scenario's aangaande transport

Voor de berekening van de milieu-impacten gerelateerd aan het transport van materialen, producten en sloofafval wordt gebruik gemaakt van de standaard LCI-data uit de ecoinvent databank. De LCI-data zijn in Ecoinvent weergegeven per type voertuig per tkm²² en worden berekend op basis gemiddelde Europese beladingsgraden.

Wanneer er in onderstaande tekst sprake is van een zware vrachtwagen (>16 ton), wordt gebruik gemaakt van het transportproces *Transport, lorry > 16t, fleet average/RER U*. Een lichte vrachtwagen (3,5-16 ton) en bestelwagens (<3,5 ton) worden voorgesteld door respectievelijk volgende transportprocessen: *Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U* en *Transport, van <3.5t/RER U*. Transport met een trein wordt voorgesteld door het transportproces *Transport, freight, rail/BE U*. Tot slot wordt transport over de zee voorgesteld door het transportproces *Transport, transoceanic freight ship/OCE U*. Doordat dit proces van toepassing is op internationaal transport, wordt het (in tegenstelling tot de andere transportprocessen) niet omgezet naar een Belgische context.

²² Ton kilometer

Tabel 12: Aangepaste processen naar Belgische context

Categorie	Oorspronkelijk proces	Oorspronkelijk proces wordt vervangen door ...
Energie	Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/BE U
	Electricity, low voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	Electricity, low voltage, production UCTE, at grid/BE U
	Electricity, high voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	Electricity, high voltage, production UCTE, at grid/BE U
	Electricity, low voltage, at grid/CH U	Electricity, low voltage, at grid/BE U
	Electricity, medium voltage, at grid/CH U	Electricity, medium voltage, at grid/BE U
	Electricity, hydropower, at run-of-river power plant/CH U	Electricity, hydropower, at run-of-river power plant/RER U
	Diesel, low-sulphur, at regional storage/CH U	Diesel, low-sulphur, at regional storage/RER U
	Petrol, low-sulphur, at regional storage/CH U	Petrol, low-sulphur, at regional storage/RER U
	Heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW/CH U	Heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW/RER U
	Heat, heavy fuel oil, at industrial furnace 1MW/CH U	Heat, heavy fuel oil, at industrial furnace 1MW/RER U
	Natural gas, high pressure, at consumer/RER U	Natural gas, high pressure, at consumer/BE U
	Heavy fuel oil, burned in industrial furnace, 1MW, non-modulating/CH U	Heavy fuel oil, burned in industrial furnace, 1MW, non-modulating/RER U
	Light fuel oil, burned in industrial furnace, 1MW, non-modulating/CH U	Light fuel oil, burned in industrial furnace, 1MW, non-modulating/RER U
	Heavy fuel oil, at regional/CH U	Heavy fuel oil, at regional/BE U
Transport	Transport, freight, rail/CH U	Transport, freight, rail/BE U
	Transport, freight, rail/RER U	Transport, freight, rail/BE U
Overig	Tap water, at user/CH U	Tap water, at user/RER U
	Ammonia, liquid, at regional storehouse/CH U	Ammonia, liquid, at regional storehouse/RER U
	Bitumen, at refinery/CH U	Bitumen, at refinery/RER U

4.3.2.1 Transport van grondstoffen naar fabriek

Ecoinvent houdt in zijn productieprocessen reeds rekening met het transport van de grondstoffen naar de fabriek. Deze transportafstanden (uitgedrukt in tkm) worden behouden.

Voor houtproducten echter is in overeenstemming met de studie uitgevoerd door OVAM (Debacker et al., 2012) een transportsценario opgesteld op basis van de gemiddelde transportafstanden vanuit de belangrijkste herkomstlanden (inclusief lokale productie) en hun aandeel op de Belgische markt (zie Tabel 13).

Tabel 13: Transportsценario hout (Debacker et al., 2012)

Transportsценario	Zware vrachtwagen (> 16ton) [km]	Zeeboot [km]	Trein [km]
Belgische mix	450	830	75

4.3.2.2 Transport van bouwproducten van fabriek naar werf

In overeenstemming met de studie uitgevoerd door OVAM (Debacker et al., 2012) wordt voor de verschillende productgroepen een transportsценario opgesteld betreffende het transport van bouwproducten naar werf.

zwaluwstaartplaat, combifor-profielen, staalplaat, wapeningsnet, wapeningsstaaf, naaldhout-balken, OSB-plaat en I-joist).

OVAM heeft per productgroep de gemiddelde transportafstanden en vervoermiddelen bepaald, rekening houdend met het feit of het product al dan niet via een tussenhandelaar naar de werf wordt vervoerd (zie Tabel 14). De gemiddelde transportafstanden zijn arbitrair gekozen op basis van het aantal productiepunten en hun ligging ten opzichte van Brussel.

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen stortbeton (beton ter plaatse gestort en vulmortel²³), prefab producten voor ruwbouw (betonnen balk, stalen ligger, houten balk, gewapend welfsel, voorgespannen welfsel, breedplaatvloer en cellenbetonvloer) en losse producten voor ruwbouw (potten en balken, zwaluwstaartplaat, combifor-profielen, staalplaat, wapeningsnet, wapeningsstaaf, naaldhouten balken, OSB-plaat en I-joist).

²³ Vulmortel wordt als voegvulling gebruikt bij aanliggende vloerelementen zoals gewapende welfsels, voorgespannen welfsels en cellenbetonvloeren als er geen druklaag bovenop wordt geplaatst. Indien er wel sprake is van een druklaag dan wordt er stortbeton voorzien als voegvulling.

Tabel 14: Gemiddelde transportafstanden en vervoersmiddelen voor stortbeton, prefab-producten en losse producten voor de ruwbouw

Productgroep / materiaalcategorie	Organisatie van het transport		Vervoersmiddel voor transport van								Gemiddelde transportafstand voor transport van		
	% rechtsreeks van fabriek naar werf	% via een tussen- handelaar	fabriek naar werf				fabriek naar handelaar				fabriek naar werf	fabriek naar handelaar	handelaar naar werf
			zware vrachtwagen (> 16 ton)	lichte vrachtwagen (3,5 - 16 ton)	Bestelwagen (< 3,5 ton)	zware vrachtwagen (> 16 ton)	zware vrachtwagen (> 16 ton)	lichte vrachtwagen (3,5 - 16 ton)	Bestelwagen (< 3,5 ton)	zware vrachtwagen (> 16 ton)	[km]	[km]	[km]
stortbeton	100%	0%	100%	0%	0%	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	35	nvt	nvt
prefab-producten voor ruwbouw	100%	0%	100%	0%	0%	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	100	nvt	nvt
Losse producten voor ruwbouw	40%	60%	100%	0%	0%	100%	85%	15%	0%	100%	100	100	35

4.3.2.3 Transport van sloofafval

Bij het transport van het sloofafval wordt een onderscheid gemaakt tussen de verschillende types van eindverwerking: recyclage, storten of verbranding (zie 4.3.3). Transport met betrekking tot recyclage wordt buiten beschouwing gelaten. Voor de overige types van eindverwerking heeft OVAM, op basis

van de Nederlandse norm NEN 8006 (2004), de gemiddelde transportafstanden en vervoermiddelen voor transport bepaald (zie Tabel 15).

Tabel 15: Gemiddelde transportafstanden en vervoersmiddelen voor de eindverwerking van een bouwproduct (geldig voor alle materialen)

Type eindverwerking	Vervoermiddel voor transport van		Gemiddelde transportafstand voor transport van	
	werf naar sorteerbedrijf of inzamelpunt	sorteerbedrijf of inzamelpunt naar eindverwerking	werf naar sorteerbedrijf of inzamelpunt	sorteerbedrijf of inzamelpunt naar eindverwerking
	zware vrachtwagen (> 16ton)	zware vrachtwagen (> 16ton)	[km]	[km]
storten	100%	100%	30	50
verbranden	100%	100%	30	100

4.3.3 Scenario's aangaande de eindverwerkingsfase

Er wordt vanuit gegaan dat het sloopafval (al dan niet gesorteerd op de werf) eerst naar een inzamelpunt of sorteerbedrijf gaat. Vervolgens gaat het gesorteerd afval, volgens de transportsценario's besproken in Tabel 15, naar de eindverwerking. Er worden drie types van eindverwerking onderscheiden:

- Storten (*landfill*).
- Verbranden (*incineration*).
- Recycleren (*recycling*).

Elke productgroep heeft een andere procentuele verdeling naar de drie types van eindverwerking. OVAM (Debacker et al., 2012) heeft met behulp van enquêtering en beoordelingsexperten deze procentuele verdelingen bepaald (zie Tabel 16).

Tabel 16: Aangenomen bestemmingen van het afval voor verschillende afvalcategorieën (Debacker et al., 2012)

Productgroep	Beschrijving	Stort	Verbranding	Recyclage
		[%]	[%]	[%]
Inert afval	Beton en keramische producten	5	0	95
Cellenbeton	/	70	0	30
Metalen	Staal	5	0	95
Chemisch verduurzaamd hout	Naaldhout	5	95	0
Composiet houtproducten	OSB, LVL, glulam	5	75	20

4.4 Inhoud gebruikte processen

4.4.1 Stortbeton

Het proces stortbeton (zie Figuur 54) wordt opgesteld op basis van het bestaande proces *Concrete, normal, at plant/CH U*. Dit proces omvat het hele productieproces van transportbeton B35/25, inclusief een fractie van de benodigde infrastructuur, de energie nodig voor de productie en interne processen²⁴. B35/25 is een oude notering van de betondruksterkteklasse en komt overeen met de huidige sterkteklassen C20/25 en C30/37. Het beton, met een dichtheid van 2380 kg/m³, is opgebouwd uit 1890 kg grind en zand²⁵, 300 kg cement en 186 kg water. De subprocessen die de grondstoffen voorstellen zijn productieprocessen: de ontginning, transport naar fabriek en productie zijn in rekening gebracht.

Bekende outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten					
Naam	Hoeveelheid		Eenheid	Grootheid	
Concrete, normal, at plant/CH U/ België Stortbeton	DichtheidBeton = 2,38E3		kg	Mass	
(regel invoegen)					
Bekende outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten					
Naam	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD^2 of 2*SD Min	
(regel invoegen)					
Invoer					
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)					
Naam	Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD^2 of 2*S
(regel invoegen)					
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)					
Naam	Hoeveelheid			Eenheid	
Concrete mixing plant/CH/I U/België	0,000000457			p	
Diesel, burned in building machine/GLO U/België	22,7000000000000028			MJ	
Electricity, medium voltage, at grid/BE U	4,36			kWh	
Gravel, round, at mine/CH U/België	1890			kg	
Heavy fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/RER U/België	3,09			MJ	
Light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/RER U/België	13,3			MJ	
Lubricating oil, at plant/RER U/België	0,0119			kg	
Natural gas, burned in industrial furnace low-NOx >100kW/RER U/België	1,16			MJ	
Portland cement, strength class Z 42.5, at plant/CH U/België	300*0,35 = 105			kg	
Steel, low-alloyed, at plant/RER U/Warmgewalst België	0,0238			kg	
Synthetic rubber, at plant/RER U/België	0,00713			kg	
Tap water, at user/RER U/België	186			kg	
Transport, barge/RER U	49,2			tkm	
Transport, freight, rail/BE U	6,82			tkm	
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U/België	0,998			tkm	
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U/België	9,44			tkm	
Blast furnace slag cement, at plant/CH U/ België	300*0,65 = 195			kg	

Figuur 54: Opbouw proces stortbeton

In België wordt voor ter plaatse gestort beton niet alleen portlandcement (*Portland cement, strength class Z 42.5, at plant/CH U*) gebruikt, maar ook hoogovencement (*Blast furnace slag cement, at plant/CH U*). Daarom wordt de cementhoeveelheid (oorspronkelijk 100% portlandcement) opgesplitst

²⁴ Interne processen zijn processen zoals transport van de grondstoffen en winning van grondstoffen.

²⁵ Het grind en het zand worden door Ecoinvent als één proces voorgesteld.

in 65% hoogovencement en 35% portlandcement (Debacker et al., 2012). Verder wordt het proces aangepast naar Belgische context, zoals besproken in 4.3.1.

Er wordt verondersteld dat er geen gebruik wordt gemaakt van gerecycleerde betongranulaten in stortbeton. De impact van het gebruik van gerecycleerde betongranulaten wordt weergegeven met behulp van een gevoeligheidsanalyse (zie 6.7).

4.4.2 Prefabbeton

Het proces prefabbeton (zie Figuur 55) is opgebouwd, vertrekkende van het proces *Concrete, normal, at plant/CH U*. De ontginning van de grondstoffen, de productie van benodigde grondstoffen, het transport van deze grondstoffen naar de fabriek en de productie van het nieuw materiaal (inclusief de benodigde infrastructuur) zijn aanwezig in dit proces. Net zoals het stortbeton (zie 4.4.1) bestaat een kubieke meter prefabbeton uit 1890 kg grind en zand, 186 kg water en 300 kg cement. De processen die de grondstoffen voorstellen zijn productprocessen: de ontginning, transport naar fabriek en productie zijn in rekening gebracht. De subprocessen worden naar Belgische context omgezet, zoals besproken in 4.3.1.

Bekende outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten					
Naam	Hoeveelheid		Eenheid	Grootheid	
Concrete, normal, at plant/CH U/ België Prefab	DichtheidBeton = 2,38E3		kg	Mass	
(regel invoegen)					
Bekende outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten					
Naam	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD^2 of 2*SD Min	
(regel invoegen)					
Invoer					
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)					
Naam	Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD^2 of 2*S
(regel invoegen)					
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)					
Naam	Hoeveelheid			Eenheid	
Concrete mixing plant/CH/I U/België	0,000000457			p	
Diesel, burned in building machine/GLO U/België	22,70000000000000028			MJ	
Electricity, medium voltage, at grid/BE U	4,36			kWh	
Gravel, round, at mine/CH U/België	1890			kg	
Heavy fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/RER U/België	3,09			MJ	
Light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/RER U/België	13,3			MJ	
Lubricating oil, at plant/RER U/België	0,0119			kg	
Natural gas, burned in industrial furnace low-NOx >100kW/RER U/België	1,16			MJ	
Portland cement, strength class Z 42.5, at plant/CH U/België	300			kg	
Steel, low-alloyed, at plant/RER U/Warmgewalst België	0,0238			kg	
Synthetic rubber, at plant/RER U/België	0,00713			kg	
Tap water, at user/RER U/België	186			kg	
Transport, barge/RER U	49,2			tkm	
Transport, freight, rail/BE U	6,82			tkm	
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U/België	0,998			tkm	
Transport, lorry 20-28t. fleet average/CH U/België	9,44			tkm	

Figuur 55: Opbouw proces prefabbeton

Echter wordt bij prefabbeton 100% portlandcement (*Portland cement, strength class Z 42.5, at plant/CH U*) gebruikt. De reden voor het gebruik van enkel portlandcement is de nood aan het snel ontkisten. (Debacker et al., 2012)

Vrijders & Desmyter (2008) stellen dat in de prefab industrie nauwelijks gebruik wordt gemaakt van gerecycleerde betongranulaten in de betonproductie, daarom wordt dit in deze studie verwaarloosd.

4.4.3 Vulbeton/vulmortel

Bij gewapende welfsels, voorgespannen welfsels en cellenbetonvloeren is er een nood aan een vulmortel om de voegen tussen de verschillende vloerelementen op te vullen. Indien er geen druklaag op de vloer komt, wordt deze voegvulling gerealiseerd met een cementmortel. Indien er wel een druklaag op de vloerelementen komt, wordt de voegvulling gerealiseerd met hetzelfde beton als gebruikt in de druklaag, namelijk stortbeton (zie 4.4.1).

Voor de cementmortel wordt in SimaPro gebruik gemaakt van het proces *Cement mortar, at plant/CH U*. Dit proces omvat het productproces om cementmortel te maken (de grondstofwinning, de benodigde energie, het mengproces van de verschillende grondstoffen, de verpakking en opslag van het eindproduct), de transportprocessen en een fractie van de benodigde infrastructuur. Een kilogram vulbeton is samengesteld uit 0,2 kg Portlandcement, 0,8 kg zand. De subprocessen worden aangepast naar Belgische context, zoals besproken in 4.3.1. (zie Figuur 56)

Bekende outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten					
Naam	Hoeveelheid	Eenheid	Grootheid		
Cement mortar, at plant/CH U/België	1	kg	Mass		
(regel invoegen)					
Bekende outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten					
Naam	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD^2 of 2*SDMin	
(regel invoegen)					
Invoer					
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)					
Naam	Subcompartiment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD^2 of 2*SDMin
(regel invoegen)					
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)					
Naam	Hoeveelheid			Eenheid	
Conveyor belt, at plant/RER/I U/België	0,0000000333			m	
Electricity, medium voltage, at grid/BE U	0,0278			kWh	
Industrial machine, heavy, unspecified, at plant/RER/I U/België	0,00000667			kg	
Packing, cement/CH U/België	1			kg	
Portland cement, strength class Z 42.5, at plant/CH U/België	0,2			kg	
Silica sand, at plant/DE U/België	0,8			kg	
Transport, freight, rail/BE U	0,01			tkm	
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U/België	0,014			tkm	

Figuur 56: Opbouw proces vulbeton/vulmortel

4.4.4 Dekvloer

De systeemvloer bestaande uit zwaluwstaartplaten heeft geen nood aan een bovenliggende druklaag uit stortbeton. Om echter een horizontaal afwerkvlak op de vloer te hebben, wordt een minimale dekvloer voorzien.

Het proces welke hiervoor gebruikt wordt is *Cement cast plaster floor, at plant/CH U*. Dit proces omvat het ontginnen en mengen van de grondstoffen, het transport van de grondstoffen, de benodigde

energie voor de productie en een fractie van de infrastructuur. Een kilogram dekvloer is samengesteld uit 0,186 kg Portlandcement, 0,74 kg zand en 0,074 kg water. De subprocessen die de grondstoffen voorstellen zijn productprocessen: de ontginning, transport naar fabriek en productie zijn in rekening gebracht. De subprocessen worden aangepast naar Belgische context, zoals besproken in 4.3.1. De opbouw van het proces is te zien in Figuur 57.

Bekende outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten					
Naam	Hoeveelheid		Eenheid	Grootheid	
Cement cast plaster floor, at plant/CH U/België	1		kg	Mass	
(regel invoegen)					
Bekende outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten					
Naam	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD^2 of 2*SD Min	
(regel invoegen)					
Invoer					
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)					
Naam	Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD^2 of 2*SD Min
(regel invoegen)					
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)					
Naam	Hoeveelheid		Eenheid		
Electricity, medium voltage, at grid/BE U	0,002		kWh		
Mine, clay/CH/I U/België	0,000000000167		p		
Packing, cement/CH U/België	1		kg		
Portland cement, strength class Z 42.5, at plant/CH U/België	0,186		kg		
Sand, at mine/CH U/België	0,74		kg		
Tap water, at user/RER U/België	0,074		kg		
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,0752		tkm		

Figuur 57: Opbouw proces dekvloer

4.4.5 Cellenbeton

Voor de productfase van de cellenbetonvloeren wordt gebruik gemaakt van het standaardproces *Autoclaved aerated concrete block, at plant/CH U*. Dit proces is van toepassing op cellenbetonblokken maar er wordt aangenomen dat dit ook geldig is voor cellenbetonvloeren. Het proces omvat de winning en transport van de grondstoffen, de voorziene infrastructuur, de verpakking, de benodigde energie en het geproduceerde afvalwater. Het drogen van het cellenbeton wordt verondersteld te gebeuren via een lucht-gedroogd proces.

Het verpakken van het cellenbeton is echter niet van toepassing op vloerelementen. Daarom wordt het subproces *Packing, clay products/CH U* verwijderd.

In de studie van OVAM (Vrijders, Nielsen & Quaghebeur, 2009) wordt vermeld dat er op de productiesite van Xella in Burcht ongeveer 20% van zandhoeveelheid wordt vervangen door gerecycleerde cellenbeton. In SimaPro wordt dit in rekening gebracht door de benodigde zandhoeveelheid te verminderen met 20% (*avoided impact*). De subprocessen die de grondstoffen voorstellen zijn productprocessen: de ontginning, transport naar fabriek en productie zijn in rekening gebracht. De processen nodig voor deze recyclage worden niet in rekening gebracht. Verder wordt het proces aangepast naar Belgische context, zoals besproken in 4.3.1. (zie Figuur 58)

Bekende outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten					
Naam	Hoeveelheid	Eenheid	Grootheid		
Autoclaved aerated concrete block, at plant/CH U/België	1	kg	Mass		
(regel invoegen)					
Bekende outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten					
Naam	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD^2 of 2*SDMin	
(regel invoegen)					
Invoer					
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)					
Naam	Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD^2 of 2*S
(regel invoegen)					
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)					
Naam	Hoeveelheid			Eenheid	
Aluminium, secondary, from new scrap, at plant/RER U/België	0,0007			kg	
Anhydrite, at plant/CH U/België	0,044			kg	
Blast furnace slag cement, at plant/CH U/België	0,26			kg	
Diesel, burned in building machine/GLO U/België	0,0252			MJ	
Electricity, medium voltage, production BE, at grid/BE U	0,0575			kWh	
Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U/België	0,646			MJ	
Mine, clay/CH/I U/België	0,00000000167			p	
Quicklime, milled, packed, at plant/CH U/België	0,104			kg	
Sand, at mine/CH U/België	0,504-(0,2*0,504) = 0,403			kg	
Tap water, at user/RER U/België	0,648			kg	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,0381			tkm	

Figuur 58: Opbouw proces cellenbeton

4.4.6 Gebakken aarde

De potten uit gebakken aarde (zie Figuur 59), welke gebruikt worden in vloeren uit potten en balken, worden in SimaPro weergegeven door het proces *Brick, at plant/RER U*. Dit proces omvat de ontginning en opslag van de grondstoffen, de mengprocessen, het vormingsproces (via extrusie) en het snij-, droog-, bak-, laad-, verpakings- en opslagproces. Er wordt in dit proces aangenomen dat de restwarmte van het bakproces wordt hergebruikt in het droogproces. De subprocessen worden aangepast naar Belgische context, zoals besproken in 4.3.1.

4.4.7 Warmgewalst staal

Voor de productie van stalen IPE-liggers (zie Figuur 60) wordt er uitgegaan van het proces *Steel, low-alloyed, at plant/RER U*. De hoeveelheden gerecycleerd en nieuw staal worden vervangen door de hoeveelheden weergegeven in het *Steel Statistical yearbook 2015* (2015): de staalproductie in België is samengesteld uit 67,6% nieuw verkregen staal (*Steel, converter, low-alloyed, at plant/RER U*) en 32,4% gerecycleerd staal (*Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U*). Deze liggers worden gevormd door middel van warmwalsen, weergegeven door het proces *Hot rolling, steel/RER U*. In dit proces zit de nodige energie voor het warmwalsen en een fractie van de infrastructuur. De subprocessen die het vloeibaar staal voorstellen zijn productprocessen: de ontginning, transport naar fabriek en productie zijn in rekening gebracht. De subprocessen worden aangepast naar Belgische context, zoals besproken in 4.3.1.

Bekende outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten					
Naam		Hoeveelheid	Eenheid		
Brick, at plant/RER U/België		1	kg		
(regel invoegen)					
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)					
Naam	Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD^2 of 2*S
Water, well, in ground	in water	0,0000736	m3	Lognormaal	1,64
(regel invoegen)					
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)					
Naam		Hoeveelheid	Eenheid		
Electricity, medium voltage, production BE, at grid/BE U		0,0394	kWh		
Transport, lorry >28t, fleet average/CH U/België		0,014	tkm		
Transport, freight, rail/BE U		0,00009	tkm		
Natural gas, high pressure, at consumer/BE U		1,24	MJ		
Limestone, milled, packed, at plant/CH U/België		0,0239	kg		
Diesel, burned in building machine/GLO U/België		0,0297	MJ		
Lubricating oil, at plant/RER U/België		0,0000132	kg		
Steel, low-alloyed, at plant/RER U/Warmgewalst België		0,0000306	kg		
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U/België		0,00468	tkm		
Tap water, at user/RER U/België		0,0272	kg		
Clay, at mine/CH U/België		1,35000000000000009	kg		
Mine, clay/CH/I U/België		0,0000000002	p		
Sand, at mine/CH U/België		0,0147	kg		
Limestone, crushed, for mill/CH U/België		0,000396	kg		
Pulverised lignite, at plant/DE U		0,0245	MJ		
Sheet rolling, chromium steel/RER U/België		0,000000157	kg		
Sheet rolling, steel/RER U/België		0,0000157	kg		
Heavy fuel oil, at regional storage/RER U/België		0,000381	kg		
Light fuel oil, at regional storage/RER U/België		0,00541	kg		
Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U		0,000000858	kg		
Polystyrene, expandable, at plant/RER U		0,000352	kg		
Packaging film, LDPE, at plant/RER U/België		0,000542	kg		
Transport, passenger car/RER U/België		0,0166	personkm		
Wood chips, mixed, from industry, u=40%, at plant/RER U/België		0,000053	m3		
EUR-flat pallet/RER U/België		0,0000161	p		

Figuur 59: Opbouw proces gebakken aarde

Bekende outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten					
Naam		Hoeveelheid	Eenheid	Grootheid	
Steel, low-alloyed, at plant/RER U/Warmgewalst België		1	kg	Mass	
(regel invoegen)					
Bekende outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten					
Naam		Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	S
(regel invoegen)					
Invoer					
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)					
Naam	Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	S
(regel invoegen)					
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)					
Naam		Hoeveelheid	Eenheid		
Hot rolling, steel/RER U/België		1	kg		
Steel, converter, low-alloyed, at plant/RER U/België		0,676	kg		
Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U/België		0,324	kg		

Figuur 60: Opbouw proces warmgewalst staal

4.4.8 Koudgevormd staal

De koudgevormde staalproducten (staalplaten en systeemvloerprofielen) (zie Figuur 61) zijn eveneens gebaseerd op het proces *Steel, low-alloyed, at plant/RER U*. Echter wordt het proces *Hot rolling*,

steel/RER U vervangen door *Sheet rolling, steel/RER U*. Net als bij de warmgewalste producten worden de hoeveelheden gerecycleerd en nieuw staal aangepast naar de gegevens uit het *Steel Statistical yearbook 2015* (2015). De subprocessen die het vloeibaar staal voorstellen zijn productprocessen: de ontginning, transport naar fabriek en productie zijn in rekening gebracht. Verder wordt het proces aangepast naar Belgische context, zoals besproken in 4.3.1.

Bekende outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten					
Naam		Hoeveelheid	Eenheid	Grootheid	
Steel, low-alloyed, at plant/RER U/Koudgevormd/België		1	kg	Mass	
(regel invoegen)					
Bekende outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten					
Naam		Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	S
(regel invoegen)					
Invoer					
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)					
Naam	Subcompartiment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	S
(regel invoegen)					
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)					
Naam		Hoeveelheid		Eenheid	
Sheet rolling, steel/RER U/België		1		kg	
Steel, converter, low-alloyed, at plant/RER U/België		0,676		kg	
Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U/België		0,324		kg	

Figuur 61: Opbouw proces koudgevormd staal

4.4.9 Wapeningsstaal

Het wapeningsstaal, de wapeningsnetten en voorspanstrengen worden in SimaPro weergegeven door het proces *Reinforcing steel, at plant/RER U*. De inhoud van dit proces is identiek aan dat van het warmgewalst staal, op één proces na: voor nieuw verkregen staal wordt het proces *Steel, unalloyed, at plant/RER U* gebruikt. Voor voorspanstrengen is er in de Ecoinvent databank geen proces voorzien. Daarom worden deze eveneens door het proces *Reinforcing steel, at plant/RER U* voorgesteld. De subprocessen worden ook hier aangepast naar de Belgische context, zoals besproken in 4.3.1.

Bekende outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten					
Naam		Hoeveelheid	Eenheid	Grootheid	
Reinforcing steel, at plant/RER U/België		1	kg	Mass	
(regel invoegen)					
Bekende outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten					
Naam		Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	S
(regel invoegen)					
Invoer					
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)					
Naam	Subcompartiment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	S
(regel invoegen)					
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)					
Naam		Hoeveelheid		Eenheid	
Hot rolling, steel/RER U/België		1		kg	
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U/België		0,676		kg	
Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U/België		0,324		kg	

Figuur 62: Opbouw proces wapeningsstaal

4.4.10 Glulam

De productie van de glulam balken (zie Figuur 63) wordt voorgesteld met behulp van het proces *Glued laminated timber, indoor use, at plant/RER U*. Dit proces bevat de ontginning, de transportprocessen van de grondstoffen naar de fabriek, de energie en een fractie van de infrastructuur nodig voor de productie, en de emissies gerelateerd aan het proces.

De transportprocessen worden uitgebreid met een treintransport, zoals besproken in 4.3.2.1. De transportafstanden van ontginning naar fabriek worden gewijzigd naar de waarden afkomstig uit Tabel 13. Verder wordt het proces aangepast naar de Belgische context, zoals besproken in 4.3.1.

Bekende outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten					
Naam	Hoeveelheid		Eenheid	Grootheid	
Glued laminated timber, indoor use, at plant/RER U/België	DichtheidGlulam = 460		kg	Mass	
(regel invoegen)					
Bekende outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten					
Naam	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD^2 of 2*SD Min	
(regel invoegen)					
Invoer					
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)					
Naam	Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD^2 of 2*S
(regel invoegen)					
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)					
Naam	Hoeveelheid		Eenheid		
Diesel, burned in building machine/GLO U/België	33,6		MJ		
Electricity, medium voltage, production BE, at grid/BE U	129		kWh		
Heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW/RER U/België	23		MJ		
Sawn timber, softwood, raw, air dried, u=20%, at plant/RER U/België	1,37000000000000011		m3		
Softwood, allocation correction, 1/RER U	-0,0522		m3		
Transport, freight, rail/BE U	75*DichtheidGlulam = 3,45E4		kgkm		
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	450*DichtheidGlulam = 2,07E5		kgkm		
Urea formaldehyde resin, at plant/RER U/België	12		kg		
Wood chips, from industry, softwood, burned in furnace 300kW/CH U/België	2680		MJ		
Wood chips, softwood, from industry, u=40%, at plant/RER U/België	-0,84751		m3		
Wooden board manufacturing plant, organic bonded boards/RER/I U/België	0,0000000333		p		
Transport, transoceanic freight ship/OCE U	830*DichtheidGlulam = 3,82E5		kgkm		

Figuur 63: Opbouw proces glulam

4.4.11 OSB

OSB wordt in deze studie gebruikt als vloerbeplating of als lijfplaat in een I-joist ligger. De Ecoinvent databank stelt de productie van OSB voor met het proces *Oriented strand board, at plant/RER U*. Het proces omvat de ontginning van de grondstoffen, de transportprocessen voor transport van ontginning naar de fabriek, de energie en infrastructuur nodig voor de productie, hulpproducten zoals fenolhars en paraffine en de emissies gerelateerd aan het proces. Er wordt voor een groot deel gebruik gemaakt van gerecycleerde houtsnippers (*Wood chips, softwood, from industry, u=40%, at plant/RER U*). Deze recyclage wordt in het proces in rekening gebracht door de hoeveelheid een negatieve waarde te geven. De opbouw van het proces in SimaPro is te zien op Figuur 64.

De transportprocessen worden uitgebreid met een treintransport, zoals besproken in 4.3.2.1. De transportafstanden van ontginning naar fabriek worden gewijzigd naar de waarden afkomstig uit Tabel 13. Verder wordt het proces aangepast naar de Belgische context, zoals besproken in 4.3.1.

Bekende outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten					
Naam	Hoeveelheid	Eenheid	Grootheid		
Oriented strand board, at plant/RER U/België	DichtheidOSB = 611	kg	Mass		
(regel invoegen)					
Bekende outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten					
Naam	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD^2 of 2*SD Min	
(regel invoegen)					
Invoer					
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)					
Naam	Subcompartiment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD^2 of 2*SD Min
(regel invoegen)					
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)					
Naam	Hoeveelheid	Eenheid			
Diesel, burned in building machine/GLO U/België	15		MJ		
Electricity, medium voltage, production BE, at grid/BE U	130		kWh		
Industrial wood, softwood, under bark, u=140%, at forest road/RER U/België	1,19		m3		
Natural gas, burned in industrial furnace >100kW/RER U/België	203		MJ		
Paraffin, at plant/RER U/België	5,3		kg		
Phenolic resin, at plant/RER U/België	44,7		kg		
Residual wood, softwood, under bark, air dried, u=20%, at forest road/RER U/België	0,115		m3		
Transport, freight, rail/BE U	75*DichtheidOSB = 4,58E4		kgkm		
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	450*DichtheidOSB = 2,75E5		kgkm		
Transport, transoceanic freight ship/OCE U	830*DichtheidOSB = 5,07E5		kgkm		
Wood chips, from industry, softwood, burned in furnace 300kW/CH U/België	3000		MJ		
Wood chips, softwood, from industry, u=40%, at plant/RER U/België	-0,948		m3		
Wooden board manufacturing plant, organic bonded boards/RER/I U/België	0,0000000333		p		

Figuur 64: Opbouw proces OSB

4.4.12 Naalddhout

Balken uit naalddhout worden in de Ecoinvent databank voorgesteld door het proces *Sawn timber, softwood, planed, kiln dried, at plant/RER U*. Dit proces omvat de ontginning, het transport van de grondstoffen naar de fabriek, de nodige energie en de infrastructuur nodig voor het schaven van het hout, waarbij er verondersteld wordt dat de schaverij zich op dezelfde locatie bevindt als de zagerij. Met behulp van subprocessen in subprocessen wordt het mechanisch drogen en het ontschorsen in rekening gebracht.

Transportprocessen, die het transport weergeven van de ontginningsplaats naar de schaverij, zijn niet aanwezig in het hoofdproces. Echter zijn deze wel aanwezig in diepere subprocessen. Aangezien de transportafstanden uit Tabel 13 van toepassing zijn op het gewicht van het afgewerkt product worden de transportprocessen uit de subprocessen verwijderd, en worden ze op basis van Tabel 13 in het hoofdproces van naalddhout toegevoegd. De opbouw van het proces in SimaPro is te zien op Figuur 65.

Bekende outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten				
Naam	Hoeveelheid	Eenheid	Grootheid	
Sawn timber, softwood, planed, kiln dried, at plant/RER U/België	DichtheidNaalc	kg	Mass	
(regel invoegen)				
Bekende outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten				
Naam	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	
(regel invoegen)				
Invoer				
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)				
Naam	Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling
(regel invoegen)				
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)				
Naam	Hoeveelheid			Eenheid
Electricity, medium voltage, production BE, at grid/BE U	30,789			kWh
Planing mill/RER/I U/België	0,000000792			p
Sawn timber, softwood, raw, kiln dried, u=10%, at plant/RER U/België	1,1385			m3
Softwood, allocation correction, 1/RER U	-0,138			m3
Transport, freight, rail/BE U	75*DichtheidNaaldhout = 2,4E4			kgkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	450*DichtheidNaaldhout = 1,44E5			kgkm
Transport, transoceanic freight ship/OCE U	830*DichtheidNaaldhout = 2,66E5			kgkm

Figuur 65: Opbouw proces naaldhout

4.4.13 LVL

LVL (zie Figuur 66) wordt in deze studie gebruikt als flenzen in een I-joist ligger. In de Ecoinvent databank is hiervoor echter geen standaardproces voorzien. Daarom wordt gebruik gemaakt van het proces *Laminated veneer lumber, at plant, US SE/US*, beschikbaar in de Amerikaanse databank USLCI. Dit *gate-to-gate* proces omvat de ontginning van de grondstoffen, het transport van de grondstoffen, de productie van het LVL en de nodige fenol formaldehyde. De ontginning van het hout is niet inbegrepen.

De ontginning wordt in rekening gebracht door in het subproces *Dry veneer, at plywood plant, US SE/US* de input *Green veneer, at plywood plant, US/SE/kg/US* te vervangen door *Sawn timber, softwood, raw, air dried, u=20%, at plant/RER/U*. Deze aanname is niet volledig een nauwkeurige benadering, maar het is één van de weinige manieren om toch de ontginning van het hout in rekening te brengen.

De transportprocessen worden uitgebreid met een treintransport en transport over zee, zoals besproken in 4.3.2.1. Het Amerikaans proces dat het transport over de weg voorziet, wordt vervangen door de Europese variant. De transportafstanden van ontginning naar fabriek worden gewijzigd naar de waarden afkomstig uit Tabel 13. Verder wordt het proces aangepast naar de Belgische context, zoals besproken in 4.3.1.

Bekende outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten				
Naam		Hoeveelheid	Eenheid	Grootheid
Laminated veneer lumber, at plant, US SE/kg/US/België/met_ontginning		1	kg	Mass
Coproducts of laminated veneer lumber production, unspecified, US SE/kg/US/met_ontginning		0,095028	kg	Mass
(regel invoegen)				
Bekende outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten				
Naam		Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling
(regel invoegen)				
Invoer				
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)				
Naam	Subcompartiment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling
Water, unspecified natural origin/m3	in water	0,057375	l	Ongedefinieerd
(regel invoegen)				
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)				
Naam		Hoeveelheid	Eenheid	
Electricity, at grid, Eastern US/US		0,11444		kWh
Natural gas, combusted in industrial boiler/US		0,018131		m3
Diesel, combusted in industrial boiler/US		0,00060917		l
Liquefied petroleum gas, combusted in industrial boiler/US		0,00076033		l
Phenol formaldehyde, at plant/US		0,017735		kg
Dry veneer, at plywood plant, US SE/US/met_ontginning		1,038		kg
Transport, freight, rail/BE U		75		kgkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		450		kgkm
Transport, transoceanic freight ship/OCE U		830		kgkm

Figuur 66: Opbouw proces LVL

4.4.14 I-joist

In de Ecoinvent databank is er geen proces ter beschikking voor de productie van een I-joist. Daarom wordt gebruik gemaakt van het proces *Composite wood I-Joist, at plant, US SE/kg/US* van de Amerikaanse databank USLCI. Dit proces omvat de benodigde energie voor productie, de productie van de componenten en transport van de componenten naar de productiehal.

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen een I-joist van 4 m en een I-joist van 6 m. Dit onderscheid is het gevolg van een verschillende hoeveelheid OSB en LVL bij beide types. Per kg I-joist veronderstelt het basisproces 0,617 kg LVL, 0,458 kg OSB en 0,075 kg zaagsel. Er is dus een totale output van 1,075 kg hout. Uit de berekening volgen het volume en de massa aan LVL en OSB nodig voor een I-joist van 4 m en 6 m (zie Tabel 17).

Tabel 17: Nodige hoeveelheden OSB en LVL voor een I-joist met lengte = 4 m en lengte = 6 m

	OSB		LVL	
	[m³]	[kg]	[m³]	[kg]
Lengte = 4 m	0,115	70,387	0,259	124,416
Lengte = 6 m	0,288	175,968	0,518	248,832

Aan de hand van het massaprocent wordt de hoeveelheid zaagsel, per kg I-joist, afkomstig van OSB en LVL bepaald. Vervolgens worden de bruto massaresultaten (zaagselverliezen inbegrepen) uitgedrukt per kg I-joist (zie Tabel 18).

Tabel 18: Massaresultaten als input voor SimaPro. De resultaten voor de nodige massa LVL en OSB is de bruto-massa. Zaagselverliezen zijn dus inbegrepen.

	I-joist	Zaagsel			LVL	OSB
		Afkomstig van		Totaal		
		LVL	OSB			
	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
Basisproces SimaPro	1			0,075	0,617	0,458
Lengte = 4 m	1	0,052	0,023	0,075	0,691	0,384
Lengte = 6 m	1	0,048	0,027	0,075	0,634	0,441

Het proces dat de productie van OSB (*Oriented strand board product, US SE/kg/US*) omvat, wordt aangepast naar een Europese versie (*Oriented strand board, at plant/RER U*) (zie 4.4.11). Het proces dat de productie van LVL (*Laminated veneer lumber, at plant, US SE/kg/US*) omvat, wordt gewijzigd naar het uitgebreide proces, zoals besproken in 4.4.13. De nodige energie en transporten blijven ongewijzigd omdat er aangenomen wordt dat deze niet wijzigen, ongeacht de verhouding OSB/LVL (zie Figuur 67 en Figuur 68).

Bekende outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten					
Naam	Hoeveelheid		Eenheid	Grootheid	
Composite wood I-joist, at plant, US SE/kg/US/België 4 m	1		kg	Mass	
Sawdust from I-Joist processing, at plant, US SE/kg/US/België 4 m	0,075065		kg	Mass	
(regel invoegen)					
Bekende outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten					
Naam	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD^2 of 2*SD Min	
(regel invoegen)					
Invoer					
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)					
Naam	Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD^2 of 2*S
Water, unspecified natural origin/m3	in water	0,17656	l	Ongedefinieerd	
(regel invoegen)					
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)					
Naam	Hoeveelheid		Eenheid		
Electricity, low voltage, production BE, at grid/BE U	0,063597		kWh		
Natural gas, combusted in industrial boiler/US	0,0015118		m3		
Diesel, combusted in industrial boiler/US	0,00092926		l		
Liquefied petroleum gas, combusted in industrial boiler/US	0,0012177		l		
Transport, combination truck, average fuel mix/US	0,47952		tkm		
Methylene diphenyl diisocyanate resin, at plant, US SE/US	0,0019966		kg		
Phenol formaldehyde, at plant/US	0,0011711		kg		
Laminated veneer lumber, at plant, US SE/kg/US/België/met_ontginning	0,691		kg		
Oriented strand board, at plant/RER U/België	0,384		kg		
Transport, combination truck, average fuel mix/US	0,00062798		tkm		

Figuur 67: Opbouw proces I-joist 4 m

Bekende outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten					
Naam		Hoeveelheid	Eenheid	Grootheid	
Composite wood I-joist, at plant, US SE/kg/US/België 6 m		1	kg	Mass	
Sawdust from I-Joist processing, at plant, US SE/kg/US/België 6 m		0,075065	kg	Mass	
(regel invoegen)					
Bekende outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten					
Naam		Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD^2 of 2*SD Min
(regel invoegen)					
Invoer					
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)					
Naam	Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD^2 of 2*S
Water, unspecified natural origin/m3	in water	0,17656	l	Ongedefinieerd	
(regel invoegen)					
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)					
Naam		Hoeveelheid	Eenheid		
Electricity, low voltage, production BE, at grid/BE U		0,063597		kWh	
Natural gas, combusted in industrial boiler/US		0,0015118		m3	
Diesel, combusted in industrial boiler/US		0,00092926		l	
Liquefied petroleum gas, combusted in industrial boiler/US		0,0012177		l	
Transport, combination truck, average fuel mix/US		0,47952		tkm	
Methylene diphenyl diisocyanate resin, at plant, US SE/US		0,0019966		kg	
Phenol formaldehyde, at plant/US		0,0011711		kg	
Laminated veneer lumber, at plant, US SE/kg/US/België/met_ontginning		0,634019		kg	
Oriented strand board, at plant/RER U/België		0,441046		kg	
Transport, combination truck, average fuel mix/US		0,00062798		tkm	

Figuur 68: Opbouw proces I-joist 6 m

4.5 Opbouw assemblages en levenscyclussen

4.5.1 Parameters en naamcoderingen

Voor de assemblage van de verschillende vloer-balksystemen wordt gebruik gemaakt van parameters, welke voorgesteld worden door afkortingen.

Betonnen balken worden voorgesteld als "BB". Een onderscheid wordt gemaakt tussen balken met een economische hoogte en balken met een minimale hoogte (gebruikt bij de gevoeligheidsanalyses), respectievelijk voorgesteld door "econ" en "min". De houten balken (glulam) worden aangeduid met de afkorting "HB" en de stalen ligger door "SB". De balkcodering wordt gevolgd door een codering van de bovenliggende vloer. Deze codering bestaat uit een codering voor het type vloer, gevolgd door de vloeroverspanning (zie Tabel 19). Tot slot wordt het materiaal vermeld: beton, staal, cellenbeton, mortel, I-Joist, naaldhout, OSB, keramiek of mortelvoeg²⁶.

Een voorbeeld van een gebruikte parameter voor een balk is "MassaBBeconBP4beton". Deze naamcodering geeft aan dat de parameter staat voor de massa van het beton van een betonnen balk, berekend met een economische hoogte, voor een belasting ten gevolge van een breedplaatvloer die 4 m overspant.

²⁶ De mortel gebruikt om de voegen tussen de verschillende elementen op te vullen.

Tabel 19: Codering vloersystemen

Codering	Betekenis
BP4	Breedplaatvloer (overspanning van 4 m)
BP6	Breedplaatvloer (overspanning van 6 m)
CB4	Cellenbetonvloer (overspanning van 4 m)
GW4	Gewapend welfsel (overspanning van 4 m)
GW6	Gewapend welfsel (overspanning van 6 m)
IJOsb4	I-Joist balken met OSB-beplating (overspanning van 4 m)
IJOsb6	I-Joist balken met OSB-beplating (overspanning van 6 m)
NHOsb4	Naalddhouten balken met OSB-beplating (overspanning van 4 m)
PB4	Potten en balken (overspanning van 4 m)
PB6	Potten en balken (overspanning van 6 m)
SD4	Staalplaatbetonvloer (overspanning van 4 m)
SD6	Staalplaatbetonvloer (overspanning van 6 m)
SV4	Systeemvloer met OSB- of zwaluwstaartbeplating (overspanning van 4 m)
VW4	Voorgespannen welfsel (overspanning van 4 m)
VW6	Voorgespannen welfsel met een overspanning van 6 m

Wanneer de parameter betrekking heeft op het vloerelement, wordt het materiaal gevolgd door de locatie van dat materiaal. Dit kan in de druklaag ("dr") zijn of in het geprefabriceerd vloerelement ("vl").

Een voorbeeld van een gebruikte parameter voor een vloer is "MassaGW6Staaldr". Deze naamcodering geeft aan dat de parameter staat voor de massa van het staal in de druklaag van een vloer bestaande uit gewapende welfsels die 6 m overspannen.

Parameters worden steeds uitgedrukt in een eenheid van massa. Dit is noodzakelijk voor transportprocessen die uitgerukt worden in tkm of kgkm.

4.5.2 Assemblages balken

Een overzicht van alle berekende materiaalhoeveelheden is te vinden in Bijlage C: Materiaalhoeveelheden.

De assemblages van de balken zijn opgesplitst in een subassemblage voor de productie van de balk en een subassemblage voor het transport van de balk naar de werf. De subassemblages worden uitgedrukt door 1 p (piece). Dit wil zeggen dat alle resultaten berekend en uitgedrukt worden voor één volledige balk.

4.5.2.1 Betonnen balk

De totale assemblage van de betonnen balk, welke in deze situatie een cellenbetonvloer met een overspanning van 4 m draagt, wordt weergegeven in Figuur 69.

Naam		
Betonbalk econ CB 4 m		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Betonbalk econ CB4 productie	1	p
Betonbalk econ CB4 transport naar werf	1	p

Figuur 69: Opbouw assemblage betonnen balk

De assemblage betreffende de productie van de betonnen balk wordt voorgesteld in Figuur 70. Het bestaat uit de productie van het prefabbeton (zie 4.4.2) en de productie van de nodige wapening (zie 4.4.9). De wapening van een betonnen balk omvat de berekende langswapening, ophangwapening (2 staven Ø8) en het berekend aantal beugels Ø8. De hoeveelheden worden weergegeven met behulp van gewichtsparemeters (zie 4.5.1). Het betonvolume is het netto betonvolume. Dit wil zeggen dat het volume aan staal van het bruto volume van de balk is afgetrokken.

Het transport van het staal naar de prefabbeton-producent wordt niet meegerekend wegens een tekort aan gegevens. Ook afstandshouders en wapeningsdraad worden buiten beschouwing gelaten.

Naam		
Betonbalk econ CB4 productie		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Concrete, normal, at plant/CH U/ België Prefab	MassaBBeconCB4Beton = 1,98E3	kg
Reinforcing steel, at plant/RER U/België	MassaBBeconCB4Staal = 75,8	kg

Figuur 70: Opbouw assemblage productie betonnen balk

Voor de assemblage betreffende het transport van de betonnen balk naar de werf wordt verwezen naar Tabel 14. De betonnen balk valt onder de categorie van de prefabproducten en wordt daarom getransporteerd met een zware vrachtwagen (>16 ton). De uit Tabel 14 gehaalde afstand (100 km) wordt vermenigvuldigd met de totale massa van de balk (betonmassa + staal massa) om tot een gepaste waarde (uitgedrukt in kgkm), voor het transport van deze balk naar de werf, te komen.

Naam			
Betonbalk econ CB4 transport naar werf			
Status			
Geen			
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid	VS11Opmerking
(regel invoegen)			
Processen	Hoeveelheid	Eenheid	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	$100 * (\text{MassaBBeconCB4Beton} + \text{MassaBBeconCB4Staal}) = 2,0$	kgkm	

Figuur 71: Opbouw assemblage transport naar werf van betonnen balk

Voor andere betonnen balken ziet de assemblage er identiek uit, mits andere gewichtsparemeters. Een overzicht van deze gewichtsparemeters is te zien in Figuur 72.

Berekende parameters		
Naam	Uitdrukking	Opmerking
MassaBBeconBP4beton	$0,935 * \text{DichtheidBeton} = 2,23\text{E}3$	Massa beton betonbalk eco bij breedplaatvloer 4 m overspanning (kg)
MassaBBeconBP4Staal	$0,009847 * \text{DichtheidStaal} = 76,8$	Massa staal betonbalk eco bij breedplaatvloer 4 m overspanning (kg)
MassaBBeconBP6beton	$1,143 * \text{DichtheidBeton} = 2,72\text{E}3$	Massa beton betonbalk eco bij breedplaatvloer 6 m overspanning (kg)
MassaBBeconBP6Staal	$0,012139 * \text{DichtheidStaal} = 94,7$	Massa staal betonbalk eco bij breedplaatvloer 6 m overspanning (kg)
MassaBBeconCB4beton	$0,830 * \text{DichtheidBeton} = 1,98\text{E}3$	Massa beton betonbalk eco bij cellenbetonvloer 4 m overspanning (kg)
MassaBBeconCB4Staal	$0,009721 * \text{DichtheidStaal} = 75,8$	Massa staal betonbalk eco bij cellenbetonvloer 4 m overspanning (kg)
MassaBBeconGW4beton	$0,830 * \text{DichtheidBeton} = 1,98\text{E}3$	Massa beton betonbalk eco bij gewapend welfsel 4 m overspanning (kg)
MassaBBeconGW4Staal	$0,009847 * \text{DichtheidStaal} = 76,8$	Massa staal betonbalk eco bij gewapend welfsel 4 m overspanning (kg)
MassaBBeconGW6beton	$1,143 * \text{DichtheidBeton} = 2,72\text{E}3$	Massa beton betonbalk eco bij gewapend welfsel 6 m overspanning (kg)
MassaBBeconGW6Staal	$0,012139 * \text{DichtheidStaal} = 94,7$	Massa staal betonbalk eco bij gewapend welfsel 6 m overspanning (kg)
MassaBBeconPB4beton	$0,830 * \text{DichtheidBeton} = 1,98\text{E}3$	Massa beton betonbalk eco bij potten en balken 4 m overspanning (kg)
MassaBBeconPB4Staal	$0,009847 * \text{DichtheidStaal} = 76,8$	Massa staal betonbalk eco bij potten en balken 4 m overspanning (kg)
MassaBBeconPB6beton	$1,038 * \text{DichtheidBeton} = 2,47\text{E}3$	Massa beton betonbalk eco bij potten en balken 6 m overspanning (kg)
MassaBBeconPB6Staal	$0,012139 * \text{DichtheidStaal} = 94,7$	Massa staal betonbalk eco bij potten en balken 6 m overspanning (kg)
MassaBBeconVW4beton	$0,83 * \text{DichtheidBeton} = 1,98\text{E}3$	Massa beton betonbalk eco bij voorgespannen welfsel 4 m overspanning (kg)
MassaBBeconVW4Staal	$0,009847 * \text{DichtheidStaal} = 76,8$	Massa staal betonbalk eco bij voorgespannen welfsel 4 m overspanning (kg)
MassaBBeconVW6beton	$1,038 * \text{DichtheidBeton} = 2,47\text{E}3$	Massa beton betonbalk eco bij voorgespannen welfsel 6 m overspanning (kg)
MassaBBeconVW6Staal	$0,011982 * \text{DichtheidStaal} = 93,5$	Massa staal betonbalk eco bij voorgespannen welfsel 6 m overspanning (kg)

Figuur 72: Gewichtsparemeters voor betonnen balken

4.5.2.2 Stalen ligger

In Figuur 73 wordt de assemblage van een stalen ligger, welke in deze situatie een cellenbetonvloer van 4 m draagt, getoond.

Naam		
IPE CB 4m		
Status	Geen	
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
IPE-ligger CB4 productie	1	p
Stalen balk CB4 transport naar werf	1	p

Figuur 73: Opbouw assemblage stalen ligger

Voor de assemblage betreffende de productie van een stalen ligger wordt het productieproces van warmgewalst staal (zie 4.4.7) in rekening gebracht (zie Figuur 74). De hoeveelheden worden weergegeven met behulp van gewichtsparemeters (zie 4.5.1).

Naam		
IPE-ligger CB4 productie		
Status	Geen	
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Steel, low-alloyed, at plant/RER U/Warmgewalst België	MassaSB4CB4Staal = 253	kg

Figuur 74: Opbouw assemblage productie stalen ligger

Het transport van de stalen ligger naar de werf wordt weergegeven in Figuur 75. Aangezien de stalen ligger tot de groep van de prefabelementen behoort (zie Tabel 14), wordt deze getransporteerd met een

zware vrachtwagen (>16 ton). De uit Tabel 14 gehaalde afstand (100 km) wordt vermenigvuldigd met de totale massa van de stalen ligger om tot een gepaste waarde (uitgedrukt in kgkm), voor het transport van deze ligger naar de werf, te komen.

Naam			
Stalen balk CB4 transport naar werf			
Status			
Geen			
Materialen/Assemblages		Hoeveelheid	Eenheid
(regel invoegen)			
Processen		Hoeveelheid	Eenheid
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		100*MassaSBCB4Staal = 2,53E4	kgkm

Figuur 75: Opbouw assemblage transport naar werf van stalen ligger

Voor andere stalen liggers ziet de assemblage er identiek uit, mits andere gewichtsparemeters. Figuur 76 geeft een overzicht van deze gewichtsparemeters.

Berekende parameters		
Naam	Uitdrukking	Opmerking
MassaSBBP4Staal	342,6 = 343	Massa stalen balk bij breedplaatvloer 4 m overspanning (kg)
MassaSBBP6Staal	397,8 = 398	Massa stalen balk bij breedplaatvloer 6 m overspanning (kg)
MassaSBCB4Staal	253,2 = 253	Massa stalen balk bij cellenbetonvloer 4 m overspanning (kg)
MassaSBGW4Staal	294,6 = 295	Massa stalen balk bij gewapend welfsel 4 m overspanning (kg)
MassaSBGW6Staal	397,8 = 398	Massa stalen balk bij gewapend welfsel 6 m overspanning (kg)
MassaSBBP4Staal	294,6 = 295	Massa stalen balk bij potten en balken 4 m overspanning (kg)
MassaSBBP6Staal	397,8 = 398	Massa stalen balk bij potten en balken 6 m overspanning (kg)
MassaSBSDB4Staal	294,6 = 295	Massa stalen balk bij steeldeckvloer 4 m overspanning (kg)
MassaSBSDB6Staal	397,8 = 398	Massa stalen balk bij steeldeckvloer 6 m overspanning (kg)
MassaSBSV4Staal	253,2 = 253	Massa stalen balk bij systeemvloer 4 m overspanning (kg)
MassaSBSVOSB4Staal	253,2 = 253	Massa stalen balk bij systeemvloer OSB 4 m overspanning (kg)
MassaSBBVW4Staal	294,6 = 295	Massa stalen balk bij voorgespannen welfsel 4 m overspanning (kg)
MassaSBBVW6Staal	397,8 = 398	Massa stalen balk bij voorgespannen welfsel 6 m overspanning (kg)

Figuur 76: Gewichtsparemeters voor stalen liggers

4.5.2.3 Houten balk

Voor de assemblage van een houten balk, welke in dit geval een cellenbetonvloer met overspanning 4 m ondersteunt, wordt verwezen naar Figuur 77.

Naam		
Glulam CB 4 m		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages		Hoeveelheid
		Eenheid
Glulam CB4 productie		1
Houten balk CB4 transport naar werf		p

Figuur 77: Opbouw assemblage houten balk

De assemblage aangaande de productie (zie Figuur 78) is opgebouwd met behulp van het proces voor de productie van glulam (zie 4.4.10). De hoeveelheid hout wordt aangeduid met behulp van een gewichtsparemetre.

Naam		
Glulam CB4 productie		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Glued laminated timber, indoor use, at plant/RER U/België	MassaHBCB4Glulam = 345	kg

Figuur 78: Opbouw assemblage productie houten balk

In Figuur 78 wordt het transport van de houten glulam balk weergegeven. Het transport wordt uitgevoerd met een zware vrachtwagen (>16 ton) omdat deze balk tot de groep van de prefabelementen behoort (zie Tabel 14). De totale massa van de houten balk wordt vermenigvuldigd met de af te leggen transportafstand, namelijk 100 km (zie Tabel 14).

Naam					
Houten balk CB4 transport naar werf					
Status					
Geen					
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD	
(regel invoegen)					
Processen	Hoeveelheid	Eenheid			
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	100*MassaHBCB4Glulam = 3,45E4	kgkm			

Figuur 79: Opbouw assemblage transport naar werf van houten balk

De opbouw van de assemblage voor de andere houten glulam balken is identiek, mits andere gewichtsparameters. Een overzicht van deze parameters is te zien in Figuur 80.

Berekende parameters		
Naam	Uitdrukking	Opmerking
MassaHBCB4Glulam	$0,75 * \text{DichtheidGlulam} = 345$	Massa houten balk bij cellenbetonvloer 4 m overspanning (kg)
MassaHBIJOSB4Glulam	$0,75 * \text{DichtheidGlulam} = 345$	Massa houten balk bij I-Joist + OSB 4 m overspanning (kg)
MassaHBIJOSB6Glulam	$0,9 * \text{DichtheidGlulam} = 414$	Massa houten balk bij I-Joist + OSB 6 m overspanning (kg)
MassaHBNHOSB4Glulam	$0,75 * \text{DichtheidGlulam} = 345$	Massa houten balk bij naaldhout + OSB 4 m overspanning (kg)

Figuur 80: Gewichtsparameters voor houten balken

4.5.3 Assemblages vloeren

De assemblage van de vloeren wordt opgesplitst in twee delen, namelijk de productie van de vloeren en het transport van de vloeren naar de werf. Deze subassemblages worden uitgedrukt in de eenheid 'p' (pieces). 1 p omvat de hoeveelheden voor het gedeelte van de vloer dat door de onderliggende balk wordt gedragen.

Er moet opgemerkt worden dat de gebruikte betonvolumes gelijk zijn aan het netto beton volume. Het volume aan wapening is dus afgetrokken van het bruto betonvolume.

4.5.3.1 Breedplaatvloer

In Figuur 81 en Figuur 82 worden de assemblages van de breedplaatvloeren voor een overspanning van respectievelijk 4 m en 6 m weergegeven.

Naam		
Breedplaatvloer 4 m		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Breedplaatvloer 4 m productie	1	p
Breedplaatvloer 4 m transport naar werf	1	p

Figuur 81: Opbouw assemblage breedplaatvloer 4 m

Naam		
Breedplaatvloer 6 m		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Breedplaatvloer 6 m productie	1	p
Breedplaatvloer 6 m transport naar werf	1	p

Figuur 82: Opbouw assemblage breedplaatvloer 6 m

De assemblage aangaande de productie van een breedplaatvloer van 4 m (zie Figuur 83) bestaat uit de productie van prefabbeton (zie 4.4.2) in het geprefabriceerde vloerelement (met een dikte van 5 cm), de productie van stortbeton (zie 4.4.1) in de druklaag (met een dikte 8 cm), de productie van wapening (zie 4.4.9) in het geprefabriceerd element (189,280 kg) en wapening in de druklaag (144,760 kg). Het geprefabriceerd gedeelte wordt voorzien van een wapeningsnet 150/150/8/8 (5,990 kg/m²) en twee tralieliggers (1,138 kg/m per tralieligger) per element²⁷. De druklaag wordt eveneens voorzien van een wapeningsnet 150/150/8/8.

Op Figuur 84 is de assemblage betreffende de productie van een breedplaatvloer die 6 m overspant te zien. Uit de voorafgaande berekeningen volgt dat voor dit geval hetzelfde type breedplaatvloer mag gebruikt worden als bij een overspanning van 4 m. De materiaalhoeveelheden per m² vloer zijn dus identiek.

Er wordt aangenomen dat het transport van de wapeningsnetten en tralieliggers naar de breedplaatvloerproducent verwaarloosbaar is.

Naam		
Breedplaatvloer 4 m productie		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Concrete, normal, at plant/CH U/ België Prefab	MassaBP4betonvl = 2,8E3	kg
Concrete, normal, at plant/CH U/ België Stortbeton	MassaBP4betondr = 4,53E3	kg
Reinforcing steel, at plant/RER U/België	MassaBP4staaldr = 144	kg
Reinforcing steel, at plant/RER U/België	MassaBP4staalvl = 189	kg

Figuur 83: Opbouw assemblage productie breedplaatvloer 4 m

²⁷ Een breedplaatvloerelement heeft een breedte van 1,2 m.

Naam		
Breedplaatvloer 6 m productie		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Concrete, normal, at plant/CH U/ België Prefab	MassaBP6betonvl = 4,2E3	kg
Concrete, normal, at plant/CH U/ België Stortbeton	MassaBP6betondr = 6,79E3	kg
Reinforcing steel, at plant/RER U/België	MassaBP6staaldr = 216	kg
Reinforcing steel, at plant/RER U/België	MassaBP6staalvl = 284	kg

Figuur 84: Opbouw assemblage productie breedplaatvloer 6 m

In Figuur 85 wordt de assemblage aangaande het transport naar werf, van een breedplaatvloer die 4 m overspant, weergegeven. De transportafstanden en de keuze van transportmiddelen zijn afkomstig uit Tabel 14. Het geprefabriceerd vloerelement behoort tot de groep van de prefabelementen en wordt daarom met een zware vrachtwagen (>16 ton) over 100 km getransporteerd. De ter plaatse gestorte druklaag behoort tot de groep van het stortbeton en wordt eveneens vervoerd met een zware vrachtwagen (>16 ton), maar over een kortere afstand (35 km).

De wapeningsnetten welke in de druklaag worden geplaatst, behoren tot de groep van de losse producten. Deze netten worden zowel met zware vrachtwagens (>16 ton) als lichte vrachtwagens (3,5-16 ton) getransporteerd. Bijkomend worden deze losproducten voor 60% via een tussenhandelaar getransporteerd.

Figuur 86 geeft de assemblage voor het transport naar de werf van een breedplaatvloer die 6 m overspant. De assemblage is identiek als in Figuur 85, op de gewichtsparemeters na.

Naam					
Breedplaatvloer 4 m transport naar werf					
Status					
Geen					
Materialen/Assemblages		Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD
(regel invoegen)					
Processen		Hoeveelheid	Eenheid		
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		$100 * (\text{MassaBP4Betonvl} + \text{MassaBP4Staalvl}) = 2,99\text{E}5$	kgkm		
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		$35 * \text{MassaBP4Betondr} = 1,58\text{E}5$	kgkm		
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		$0,4 * 100 * \text{MassaBP4Staaldr} = 5,75\text{E}3$	kgkm		
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		$0,6 * 100 * \text{MassaBP4Staaldr} = 8,63\text{E}3$	kgkm		
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		$0,85 * 0,6 * 35 * \text{MassaBP4Staaldr} = 2,57\text{E}3$	kgkm		
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België		$0,15 * 0,6 * 35 * \text{MassaBP4Staaldr} = 453$	kgkm		

Figuur 85: Opbouw assemblage transport naar werf van de breedplaatvloer 4 m

Naam			
Breedplaatvloer 6 m transport naar werf			
Status			
Geen			
Materialen/Assemblages		Hoeveelheid	Eenheid
(regel invoegen)			
Processen		Hoeveelheid	Eenheid
Transport, lorry > 16t, fleet average/RER U/België		$35 * \text{MassaBP6Betondr} = 2,38\text{E5}$	kgkm
Transport, lorry > 16t, fleet average/RER U/België		$100 * (\text{MassaBP6Betonvl} + \text{MassaBP6Staalvl}) = 4,48\text{E5}$	kgkm
Transport, lorry > 16t, fleet average/RER U/België		$0,4 * 100 * \text{MassaBP6Staaldr} = 8,63\text{E3}$	kgkm
Transport, lorry > 16t, fleet average/RER U/België		$0,6 * 100 * \text{MassaBP6Staaldr} = 1,29\text{E4}$	kgkm
Transport, lorry > 16t, fleet average/RER U/België		$0,85 * 0,6 * 35 * \text{MassaBP6Staaldr} = 3,85\text{E3}$	kgkm
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België		$0,15 * 0,6 * 35 * \text{MassaBP6Staaldr} = 679$	kgkm

Figuur 86: Opbouw assemblage transport naar werf van de breedplaatvloer 6 m

4.5.3.2 Cellenbetonvloer

Figuur 87 geeft de assemblage van een cellenbetonvloer met een overspanning van 4 m weer.

Naam		
Cellenbetonvloer 4 m		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Cellenbetonvloer 4 m productie	1	p
Cellenbetonvloer 4 m transport naar werf	1	p

Figuur 87: Opbouw assemblage cellenbetonvloer 4 m

De assemblage van de productie van een cellenbetonvloer (zie Figuur 88) is opgebouwd uit de productie van het cellenbeton (zie 4.4.5), de productie van de wapening in de vloer (zie 4.4.9) en de productie van cementmortel (zie 4.4.3) die in de voegen tussen de verschillende elementen worden gestort en waarin een wapeningsstaaf wordt geplaatst. De producent stelt voor een wapeningsstaaf Ø 6 te gebruiken. In het vloerelement zelf zit een boven- en onderwapeningsnet type DE500BS (5,398 kg/m²). Een voegvulling van 0,003 m³/m voeg volstaat (Dakplaten en Vloerplaten, 2015) Er wordt aangenomen dat het transport van de wapeningsnetten naar de cellenbetonproducent verwaarloosbaar is.

Naam		
Cellenbetonvloer 4 m productie		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Autoclaved aerated concrete block, at plant/CH U/België	$\text{MassaCB4cellenbetonvl} = 2,88\text{E3}$	kg
Cement mortar, at plant/CH U/België	$\text{MassaCB4mortelvoeg} = 228$	kg
Reinforcing steel, at plant/RER U/België	$\text{MassaCB4staalmv} = 8,81$	kg
Reinforcing steel, at plant/RER U/België	$\text{MassaCB4staalvl} = 259$	kg

Figuur 88: Opbouw assemblage productie cellenbetonvloer 4 m

De assemblage die handelt over het transport van het vloerelement, de voegvulling en de voegwapening wordt weergegeven in Figuur 89.

De cellenbetonvloer behoort tot de groep van de prefabelementen. Op basis van Tabel 14 wordt het geprefabriceerde vloerelement over een afstand van 100 km getransporteerd met een zware vrachtwagen (>16 ton). De voegmortel behoort tot de categorie stortbeton, welke over een afstand van 35 km moet getransporteerd worden met een zware vrachtwagen.

Op basis van Tabel 14 worden de losse wapeningsstaven, welke in de tussenliggende voegen worden geplaatst, voor 40% rechtstreeks van de fabriek naar de werf vervoerd met een grote vrachtwagen. Voor 60% worden ze via een tussenhandelaar geleverd. Het transport van de tussenhandelaar naar de werf gebeurt voor 15% met een lichte vrachtwagen (3,5-16 ton) en 85% met een zware vrachtwagen.

Naam			
Cellenbetonvloer 4 m transport naar werf			
Status			
Geen			
Materialen/Assemblages		Hoeveelheid	Eenheid
(regel invoegen)			Verdeling
Processen		Hoeveelheid	Eenheid
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		$100 * (\text{MassaCB4Cellenbetonvl} + \text{MassaCB4Staalvl}) = 3,14\text{E5}$	kgkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		$35 * \text{MassaCB4Mortelvoeg} = 7,98\text{E3}$	kgkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		$0,4 * 100 * \text{MassaCB4Staalmv} = 353$	kgkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		$0,6 * 100 * \text{MassaCB4Staalmv} = 529$	kgkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		$0,85 * 0,6 * 35 * \text{MassaCB4Staalmv} = 157$	kgkm
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België		$0,15 * 0,6 * 35 * \text{MassaCB4Staalmv} = 27,8$	kgkm

Figuur 89: Opbouw assemblage transport naar werf van cellenbetonvloer 4 m

4.5.3.3 Gewapend welfsel

De assemblages van vloeren met een overspanning 4 m en 6 m, opgebouwd uit gewapende welfsels zijn terug te vinden in respectievelijk Figuur 90 en Figuur 91.

Naam		
Gewapende welfsels 4 m		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Gewapend welfsel 4 m productie	1	p
Gewapend welfsel 4 m transport naar werf	1	p

Figuur 90: Opbouw assemblage gewapend welfsel 4 m

Naam		
Gewapende welfsels 6 m		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Gewapend welfsel 6m productie	1	p
Gewapend welfsel 6 m transport naar werf	1	p

Figuur 91: Opbouw assemblage gewapend welfsel 6 m

Voor de productie van het type welfsel voor een overspanning van 4 m (zie Figuur 92) is prefabbeton (zie 4.4.2) in combinatie met wapening (zie 4.4.9) nodig. De voegen tussen de verschillende elementen wordt opgevuld met een voegmortel (zie 4.4.3). Het berekende welfseltype heeft een sectie²⁸ die gelijk is aan 39469 mm². Onderaan en bovenaan zitten respectievelijk vijf staven Ø12 en twee staven Ø8. De producent schrijft een voegvulling voor van 9 l/m². (Gewapend welfsel Fingo, 2013)

Voor de productie van het type welfsel voor een overspanning van 6 m (zie Figuur 93) is eveneens prefabbeton, wapening en voegmortel nodig. Echter is voor deze overspanning ook een druklaag van 4 cm stortbeton (zie 4.4.1) noodzakelijk. Deze druklaag wordt voorzien van een wapeningsnet 150/150/8/8 (5,990 kg/m²). Het berekende type welfsel heeft een berekende sectie²⁹ gelijk aan 63840 mm². Onderaan zitten zes staven Ø10 en bovenaan twee staven Ø8. De producent stelt dat een voegvulling van 11 l/m² voldoende is (Gewapend welfsel Pauli Beton, z.j.). Aangezien er een druklaag uit stortbeton wordt voorzien wordt deze voegvulling met stortbeton in de plaats van cementmortel uitgevoerd. Afstandshouders voor het wapeningsnet worden niet in rekening gebracht.

Er wordt aangenomen dat het transport van de wapeningsstaven naar de welfselproducenten verwaarloosbaar is.

Naam		
Gewapend welfsel 4 m productie		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Cement mortar, at plant/CH U/België	MassaGW4Mortelvoeg = 410	kg
Concrete, normal, at plant/CH U/ België Prefab	MassaGW4betonvl = 4,43E3	kg
Reinforcing steel, at plant/RER U/België	MassaGW4staalvl = 249	kg

Figuur 92: Opbouw assemblage productie gewapend welfsel 4 m

²⁸ Het gewapend welfsel voor een overspanning van 4 m heeft een breedte van 50 cm, een hoogte van 13 cm en vier cirkelvormige openingen met een diameter van 83 mm. Er wordt rekening gehouden met de trapeziumvorm van het welfsel.

²⁹ Het gewapend welfsel voor een overspanning van 6 m heeft een breedte van 60 cm, een hoogte van 16 cm en vijf cirkelvormige openingen met een diameter van 80 mm. Er wordt rekening gehouden met de trapeziumvorm van het welfsel.

Naam		
Gewapend welfsel 6m productie		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Concrete, normal, at plant/CH U/ België Stortbeton	MassaGW6Mortelvoeg = 942	kg
Concrete, normal, at plant/CH U/ België Prefab	MassaGW6betonvl = 9,03E3	kg
Reinforcing steel, at plant/RER U/België	MassaGW6staalvl = 267	kg
Concrete, normal, at plant/CH U/ België Stortbeton	MassaGW6Druklaag = 3,36E3	kg
Reinforcing steel, at plant/RER U/België	MassaGW6Staaldr = 216	kg

Figuur 93: Opbouw assemblage productie gewapend welfsel 6 m

De assemblage voor het transport van een gewapend welfsel met overspanning 6 m wordt afgebeeld in Figuur 94. De transportafstanden en -middelen zijn gebaseerd op Tabel 14. Het geprefabriceerd vloerelement (prefabbeton + wapening) wordt met een zware vrachtwagen (>16 ton) getransporteerd over een afstand van 100 km. De voegmortel wordt als stortbeton beschouwd en wordt bijgevoeg over een afstand van 35 km door een zware vrachtwagen getransporteerd.

Naam			
Gewapend welfsel 4 m transport naar werf			
Status			
Geen			
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid	Opmerking
(regel invoegen)			
Processen	Hoeveelheid	Eenheid	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	$100 * (\text{MassaGW4Betonvl} + \text{MassaGW4Staalvl}) = 4,68E5$	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	$35 * \text{MassaGW4Mortelvoeg} = 1,44E4$	kgkm	

Figuur 94: Opbouw assemblage transport naar werf van gewapend welfsel 4 m

Naam			
Gewapend welfsel 6 m transport naar werf			
Status			
Geen			
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling
(regel invoegen)			
Processen	Hoeveelheid	Eenheid	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	$100 * (\text{MassaGW6Betonvl} + \text{MassaGW6Staalvl}) = 9,3E5$	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	$35 * \text{MassaGW6Mortelvoeg} = 3,3E4$	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	$35 * \text{MassaGW6Druklaag} = 1,18E5$	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	$0,4 * 100 * \text{MassaGW6staaldr} = 8,63E3$	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	$0,6 * 100 * \text{MassaGW6staaldr} = 1,29E4$	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	$0,85 * 0,6 * 35 * \text{MassaGW6staaldr} = 3,85E3$	kgkm	
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België	$0,15 * 0,6 * 35 * \text{MassaGW6staaldr} = 679$	kgkm	

Figuur 95: Opbouw assemblage transport naar werf van gewapend welfsel 6 m

Figuur 95 toont de assemblage voor het transport van een gewapend welfsel met overspanning 6 m. Het geprefabriceerd vloerelement (prefabbeton + wapening) wordt met een grote vrachtwagen (>16 ton) getransporteerd over een afstand van 100 km. Het stortbeton wordt op een gelijkaardige manier vervoerd, maar slechts over een afstand van 35 km. Het wapeningsnet in de druklaag wordt voor 60% getransporteerd via een tussenhandelaar, waarbij het zowel met een lichte (15%) als zware

vrachtwagen (85%) kan vervoerd wordt. Voor 40% wordt het wapeningsnet rechtstreeks van de fabriek naar de werf getransporteerd met een zware vrachtwagen.

4.5.3.4 I-Joist met OSB-plaat

De assemblages van het vloersysteem, opgebouwd uit I-Joist balken met daarop een OSB-beplating, met een overspanning van 4 m en 6 m worden weergegeven in respectievelijk Figuur 96 en Figuur 97.

Naam		
I-joist + OSB 4 m		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
I-joist & OSB 4 m productie	1	p
I-Joist + OSB 4 m transport naar werf	1	p

Figuur 96: Opbouw assemblage I-Joist in combinatie met OSB-beplating 4 m

Naam		
I-joist + OSB 6 m		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
I-joist & OSB 6 m productie	1	p
I-Joist + OSB 6 m transport naar werf	1	p

Figuur 97: Opbouw assemblage I-Joist in combinatie met OSB-beplating 6 m

Voor de assemblage betreffende de productie van dit vloersysteem voor een overspanning van 4 m wordt er verwezen naar Figuur 98. Voor een overspanning van 6 m is de opbouw van de assemblage identiek, maar met andere gewichtsparemeters (zie Figuur 99). De OSB plaat heeft in beide situaties een dikte van 18 mm. De I-joist nodig voor een overspanning van 4 m heeft een werkelijk gewicht van 12,175 kg/balk, terwijl een I-joist voor een overspanning van 6 m een werkelijk gewicht heeft van 26,550 kg/balk. Uit de voorafgaande berekeningen volgt dat er in beide situaties 16 I-joist-liggers nodig zijn. Stalen verbindingstukken en nagels worden niet in rekening gebracht.

Er wordt aangenomen dat de productie van een I-joist, OSB (lijfpilaat) en LVL (flenzen) op dezelfde plaats gebeuren en er dus geen transport moet in rekening gebracht worden van het OSB of LVL naar de I-joist producent.

Naam		
I-joist & OSB 4 m productie		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Composite wood I-joist, at plant, US SE/kg/US/België 4 m	MassaIJOsb4IJoistvl = 195	kg
Oriented strand board, at plant/RER U/België	MassaIJOsb4OSBvl = 264	kg

Figuur 98: Opbouw assemblage productie I-Joist in combinatie met OSB-beplating 4 m

Naam		
I-joist & OSB 6 m productie		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Composite wood I-joist, at plant, US SE/kg/US/België 6 m	MassaIJOsb6IJoistvl = 425	kg
Oriented strand board, at plant/RER U/België	MassaIJOsb6OSBvl = 396	kg

Figuur 99: Opbouw assemblage productie I-Joist in combinatie met OSB-beplating 6 m

De assemblage voor het transport van de vloer naar de werf is weergegeven in Figuur 100 en Figuur 101. Zowel de I-joist-liggers als OSB-plaat worden beschouwd als losse ruwbouwproducten (zie Tabel 14). De liggers en beplating worden voor 40% rechtstreeks van de fabriek naar de werf getransporteerd met behulp van een zware vrachtwagen (>16 ton). De overige 60% wordt via een tussenhandelaar geleverd. Hierbij kan het transport van de tussenhandelaar naar de werf gebeuren met een lichte vrachtwagen (15%) of een zware vrachtwagen (85%).

Naam			
I-Joist + OSB 4 m transport naar werf			
Status			
Geen			
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling
(regel invoegen)			
Processen	Hoeveelheid	Eenheid	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,4*100*MassaIJOsb4IJoistvl = 7,78E3	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,6*100*MassaIJOsb4IJoistvl = 1,17E4	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,85*0,6*35*MassaIJOsb4IJoistvl = 3,47E3	kgkm	
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België	0,15*0,6*35*MassaIJOsb4IJoistvl = 613	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,4*100*MassaIJOsb4OSBvl = 1,06E4	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,6*100*MassaIJOsb4OSBvl = 1,58E4	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,85*0,6*35*MassaIJOsb4OSBvl = 4,71E3	kgkm	
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België	0,15*0,6*35*MassaIJOsb4OSBvl = 831	kgkm	

Figuur 100: Opbouw assemblage transport naar werf van I-Joist in combinatie met OSB-beplating 4 m

Naam			
I-Joist + OSB 6 m transport naar werf			
Status			
Geen			
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid	Opmerking
(regel invoegen)			
Processen	Hoeveelheid	Eenheid	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,4*100*MassaIJOsb6IJoistvl = 1,7E4	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,6*100*MassaIJOsb6IJoistvl = 2,55E4	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,85*0,6*35*MassaIJOsb6IJoistvl = 7,58E3	kgkm	
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België	0,15*0,6*35*MassaIJOsb6IJoistvl = 1,34E3	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,4*100*MassaIJOsb6OSBvl = 1,58E4	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,6*100*MassaIJOsb6OSBvl = 2,38E4	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,85*0,6*35*MassaIJOsb6OSBvl = 7,07E3	kgkm	
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België	0,15*0,6*35*MassaIJOsb6OSBvl = 1,25E3	kgkm	

Figuur 101: Opbouw assemblage transport naar werf van I-Joist in combinatie met OSB-beplating 6 m

4.5.3.5 Naalddhouten balken met OSB-plaat

Voor de vloer bestaande uit naalddhouten balken met daarop een OSB-beplating wordt de assemblage weergegeven in Figuur 102.

Naam Naalddhout + OSB 4 m		
Status Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Naalddhout & OSB 4 m productie	1	p
Naalddhout + OSB 4 m transport naar werf	1	p

Figuur 102: Opbouw assemblage naalddhout in combinatie met OSB-beplating 4 m

De assemblage betreffende de productie van dit vloersysteem met een overspanning van 4 m wordt afgebeeld in Figuur 103. Uit de voorafgaande berekeningen volgt dat er 21 naalddhouten balken (zie 4.4.12) nodig zijn van 75x225 (21,6 kg/balk). De OSB plaat (zie 4.4.11) heeft een dikte van 18 mm. Stalen verbindingstukken en/of nagels worden niet in rekening gebracht.

Naam Naalddhout & OSB 4 m productie		
Status Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Sawn timber, softwood, planed, kiln dried, at plant/RER U/Be	MassaNHOSB4Naalddhoutvl = 454	kg
Oriented strand board, at plant/RER U/België	MassaNHOSB4OSBvl = 264	kg

Figuur 103: Opbouw assemblage productie naalddhout in combinatie met OSB-beplating 4 m

De naalddhouten balken en de OSB-beplating behoren tot de groep van de losse bouwproducten (zie Tabel 14). De balken en beplating worden voor 40% rechtstreeks van de fabriek naar de werf getransporteerd met een zware vrachtwagen (>16 ton). De overige 60% wordt via een tussenhandelaar geleverd. Hierbij kan het transport van de tussenhandelaar naar de werf gebeuren met een lichte vrachtwagen (15%) of een zware vrachtwagen (85%) (zie Figuur 104).

Naam Naalddhout + OSB 4 m transport naar werf			
Status Geen			
Materialen/Assemblages (regel invoegen)	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling
Processen	Hoeveelheid	Eenheid	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	$0,4 \cdot 100 \cdot \text{MassaNHOSB4Naalddhoutvl} = 1,82\text{E}4$	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	$0,6 \cdot 100 \cdot \text{MassaNHOSB4Naalddhoutvl} = 2,72\text{E}4$	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	$0,85 \cdot 0,6 \cdot 35 \cdot \text{MassaNHOSB4Naalddhoutvl} = 8,1\text{E}3$	kgkm	
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België	$0,15 \cdot 0,6 \cdot 35 \cdot \text{MassaNHOSB4Naalddhoutvl} = 1,43\text{E}3$	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	$0,4 \cdot 100 \cdot \text{MassaNHOSB4OSBvl} = 1,06\text{E}4$	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	$0,6 \cdot 100 \cdot \text{MassaNHOSB4OSBvl} = 1,58\text{E}4$	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	$0,85 \cdot 0,6 \cdot 35 \cdot \text{MassaNHOSB4OSBvl} = 4,71\text{E}3$	kgkm	
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België	$0,15 \cdot 0,6 \cdot 35 \cdot \text{MassaNHOSB4OSBvl} = 831$	kgkm	

Figuur 104: Opbouw assemblage transport naar werf van naalddhout in combinatie met OSB-beplating 4 m

4.5.3.6 Potten en balken

Voor het vloersysteem opgebouwd uit potten en balken met overspanning 4 m wordt de assemblage getoond in Figuur 105. De assemblage voor een overspanning van 6 m is weergegeven in Figuur 106.

Naam		
Potten en balken 4 m		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Potten en balken 4 m productie	1	p
Potten en balken 4 m transport naar werf	1	p

Figuur 105: Opbouw assemblage potten en balken 4 m

Naam		
Potten en balken 6 m		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Potten en balken 6 m productie	1	p
Potten en balken 6 m transport naar werf	1	p

Figuur 106: Opbouw assemblage potten en balken 6 m

De assemblage aangaande de productie van de potten en balken voor een overspanning van 4 m (zie Figuur 107) is opgebouwd uit de productie van de prefab betonnen balken (zie 4.4.2), de productie van tussenliggende potten uit gebakken aarde (zie 4.4.6) en de productie van een druklaag uit stortbeton (zie 4.4.1). Uit de technische documentatie van de producent volgt dat de betonnen balken³⁰ een gewicht hebben van 11,3 kg/m per stuk. Ze zijn voorzien van twee wapeningsstaven Ø10. Een pot uit gebakken aarde³¹ heeft een gewicht van 7,65 kg/stuk. In totaal zijn er 16 balken en 240 potten nodig. De producent geeft aan dat er 58 l/m² aan vulbeton nodig is (Staltonvloer met potten en balkjes, 2014). Deze laag vulbeton wordt voorzien van een wapeningsnet 150/150/8/8 (5,990 kg/m²).

Figuur 108 toont de assemblage betreffende de productie van het vloersysteem bestaande uit potten en balken voor een overspanning van 6 m. Deze assemblage is hetzelfde opgebouwd als de assemblage voor de overspanning van 4 m. De betonnen balken³² hebben een gewicht van 11,3 kg/m per stuk. Ze zijn voorzien van twee wapeningsstaven Ø12. Uit de technische documentatie van de producent volgt dat een pot uit gebakken aarde³³ een gewicht heeft van 15,9 kg/stuk. In totaal zijn er 11 balken en 240 potten nodig. Er is 80 l/m² aan vulbeton, voorzien van een wapeningsnet 150/150/8/8 (5,990 kg/m²), nodig. (Rector gebakken aarde, z.j.)

Er wordt aangenomen dat het transport van de wapeningsstaven naar de balkproducent verwaarloosbaar is, waardoor het niet is opgenomen in beide assemblages.

³⁰ Voor een overspanning van 4 m heeft een betonnen balk een breedte van 0,14 m.

³¹ Voor een overspanning van 4 m heeft een pot een lengte van 0,25 m en een breedte van 0,26 m.

³² Voor een overspanning van 6 m heeft een betonnen balk een breedte van 0,10 m.

³³ Voor een overspanning van 6 m heeft een pot een lengte van 0,25 m en een breedte van 0,5 m.

Naam		
Potten en balken 4 m productie		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Brick, at plant/RER U/België	MassaPB4Keramikvl = 1,84E3	kg
Concrete, normal, at plant/CH U/ België Prefab	MassaPB4betonvl = 699	kg
Concrete, normal, at plant/CH U/ België Stortbeton	MassaPB4betondr = 3,27E3	kg
Reinforcing steel, at plant/RER U/België	MassaPB4staalvl = 78,4	kg
Reinforcing steel, at plant/RER U/België	MassaPB4staaldr = 144	kg

Figuur 107: Opbouw assemblage productie potten en balken 4 m

Naam		
Potten en balken 6 m productie		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Brick, at plant/RER U/België	MassaPB6Keramikvl = 3,82E3	kg
Concrete, normal, at plant/CH U/ België Prefab	MassaPB6Betonvl = 710	kg
Concrete, normal, at plant/CH U/ België Stortbeton	MassaPB6Betondr = 6,79E3	kg
Reinforcing steel, at plant/RER U/België	MassaPB6Staalvl = 116	kg
Reinforcing steel, at plant/RER U/België	MassaPB6Staaldr = 216	kg

Figuur 108: Opbouw assemblage productie potten en balken 6 m

De assemblage aangaande het transport naar de werf voor potten en balken die 4 m overspannen (zie Figuur 109) en 6 m overspannen (zie Figuur 110) is identiek op de gewichtsparemeters na.

Naam			
Potten en balken 4 m transport naar werf			
Status			
Geen			
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling
(regel invoegen)			
Processen	Hoeveelheid	Eenheid	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,4*100*MassaPB4Keramikvl = 7,34E4	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,6*100*MassaPB4Keramikvl = 1,1E5	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,85*0,6*35*MassaPB4Keramikvl = 3,28E4	kgkm	
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België	0,15*0,6*35*MassaPB4Keramikvl = 5,78E3	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,4*100*MassaPB4Betonvl = 2,8E4	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,6*100*MassaPB4Betonvl = 4,2E4	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,85*0,6*35*MassaPB4Betonvl = 1,25E4	kgkm	
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België	0,15*0,6*35*MassaPB4Betonvl = 2,2E3	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	35*MassaPB4Betondr = 1,14E5	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,4*100*MassaPB4Staaldr = 5,75E3	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,6*100*MassaPB4Staaldr = 8,63E3	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,85*0,6*35*MassaPB4Staaldr = 2,57E3	kgkm	
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België	0,15*0,6*35*MassaPB4Staaldr = 453	kgkm	

Figuur 109: Opbouw assemblage transport naar werf van potten en balken 4 m

De assemblages zijn gebaseerd op Tabel 14. De balken, potten en het wapeningsnet worden beschouwd als losse ruwbouwproducten en worden daarom voor 60% getransporteerd met een zware vrachtwagen (>16 ton) via een tussenhandelaar. De overige 40% wordt rechtstreeks op de werf geleverd met een zware vrachtwagen over een afstand van 100 km. Het transport van de

tussenhandelaar naar de werf gebeurt grotendeels door zware vrachtwagens (85%), maar ook voor een deel met behulp van lichte vrachtwagens (15%). De ter plaatse gestort druklaag wordt met een zware vrachtwagen (> 16 ton) aangeleverd over een afstand van 35 km.

Naam			
Potten en balken 6 m transport naar werf			
Status			
Geen			
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid	Opmerking
(regel invoegen)			
Processen	Hoeveelheid	Eenheid	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,4*100*MassaPB6Keramikvl = 1,53E5	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,6*100*MassaPB6Keramikvl = 2,29E5	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,85*0,6*35*MassaPB6Keramikvl = 6,82E4	kgkm	
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België	0,15*0,6*35*MassaPB6Keramikvl = 1,2E4	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,4*100*MassaPB6Betonvl = 2,84E4	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,6*100*MassaPB6Betonvl = 4,26E4	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,85*0,6*35*MassaPB6Betonvl = 1,27E4	kgkm	
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België	0,15*0,6*35*MassaPB6Betonvl = 2,24E3	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	35*MassaPB6Betonvr = 2,38E5	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,4*100*MassaPB6Staalvr = 8,63E3	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,6*100*MassaPB6Staalvr = 1,29E4	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,85*0,6*35*MassaPB6Staalvr = 3,85E3	kgkm	
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België	0,15*0,6*35*MassaPB6Staalvr = 679	kgkm	

Figuur 110: Opbouw assemblage transport naar werf van potten en balken 6 m

4.5.3.7 Staalplaatbetonvloer

De assemblage van de staalplaatbetonvloer met een overspanning van 4 m is terug te vinden in Figuur 111. De assemblage van de staalplaatbetonvloer met een overspanning van 6 m is terug te vinden in Figuur 112.

Naam		
Staalplaatbetonvloer 4 m		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Staalplaatbetonvloer 4 m productie	1	p
Staalplaatbetonvloer 4 m transport naar werf	1	p

Figuur 111: Opbouw assemblage staalplaatbetonvloer 4 m

Naam		
Staalplaatbetonvloer 6 m		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Staalplaatbetonvloer 6 m productie	1	p
Staalplaatbetonvloer 6 m transport naar werf	1	p

Figuur 112: Opbouw assemblage staalplaatbetonvloer 6 m

De samenstelling van de assemblage betreffende productie van de staalplaatbetonvloer met overspanning van 4 m wordt weergegeven in Figuur 113. De producent geeft aan dat dit type staalplaat (zie 4.4.8) een sectie heeft van 1132 mm²/m. Er is 85 l/m² stortbeton (zie 4.4.1) nodig om aan de structurele eisen te voldoen. (Comflor, z.j.) In deze laag beton wordt een wapeningsnet 150/150/8/8 (5,990 kg/m²) voorzien (zie 4.4.9). Figuur 114 toont de assemblage aangaande de productie van de staalplaatbetonvloer met overspanning van 6 m. De staalplaat heeft een sectie van 1571 mm²/m. Bovenop deze staalplaat komt een laag beton (120 l/m²). (Comflor, z.j.) Tot slot wordt in deze laag een wapeningsnet 150/150/8/8 (5,990 kg/m²) geplaatst.

Afstandshouders en eventuele deuvels worden in beide gevallen buiten beschouwing gelaten.

Naam		
Staalplaatbetonvloer 4 m productie		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Steel, low-alloyed, at plant/RER U/Koudgevoemd/België	MassaSD4Staalvl = 212	kg
Concrete, normal, at plant/CH U/ België Stortbeton	MassaSD4Betondr = 4,71E3	kg
Reinforcing steel, at plant/RER U/België	MassaSD4Staaldr = 144	kg

Figuur 113: Opbouw assemblage productie staalplaatbetonvloer 4 m

Naam		
Staalplaatbetonvloer 6 m productie		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Steel, low-alloyed, at plant/RER U/Koudgevoemd/België	MassaSD6Staalvl = 441	kg
Concrete, normal, at plant/CH U/ België Stortbeton	MassaSD6Betondr = 1,01E4	kg
Reinforcing steel, at plant/RER U/België	MassaSD6Staaldr = 216	kg

Figuur 114: Opbouw assemblage productie staalplaatbetonvloer 6 m

De assemblage aangaande het transport van de staalplaatbetonvloer, die 4 m overspant, naar de werf is terug te vinden in Figuur 115. De transportmiddelen en –afstanden zijn bepaald op basis van Tabel 14. De losse bouwproducten (staalplaat en wapeningsnet) worden voor 60% getransporteerd via een tussenhandelaar. De overige 40% wordt rechtstreeks op de werf geleverd door een zware vrachtwagen (>16 ton). Het transport van de tussenhandelaar naar de werf gebeurt grotendeels via zware vrachtwagens (85%). 15% wordt met een lichte vrachtwagen getransporteerd. De druklaag wordt als stortbeton beschouwd en wordt bijgevolg met een grote vrachtwagen (> 16 ton) getransporteerd.

De assemblage betreffende het transport van de staalplaatbetonvloer, die 6 m overspant, naar de werf (zie Figuur 115) is identiek als in Figuur 116, op de gewichtsparemeters na.

Naam			
Staalplaatbetonvloer 4 m transport naar werf			
Status			
Geen			
Materialen/Assemblages		Hoeveelheid	Eenheid
(regel invoegen)			
Processen		Hoeveelheid	Eenheid
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		0,4*100*MassaSD4Staalvl = 8,49E3	kgkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		0,6*100*MassaSD4Staalvl = 1,27E4	kgkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		0,85*0,6*35*MassaSD4Staalvl = 3,79E3	kgkm
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België		0,15*0,6*35*MassaSD4Staalvl = 668	kgkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		35*MassaSD4Betondr = 1,65E5	kgkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		0,4*100*MassaSD4Staaldr = 5,75E3	kgkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		0,6*100*MassaSD4Staaldr = 8,63E3	kgkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		0,85*0,6*35*MassaSD4Staaldr = 2,57E3	kgkm
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België		0,15*0,6*35*MassaSD4Staaldr = 453	kgkm

Figuur 115: Opbouw assemblage transport naar werf van staalplaatbetonvloer 4 m

Naam			
Staalplaatbetonvloer 6 m transport naar werf			
Status			
Geen			
Materialen/Assemblages		Hoeveelheid	Eenheid
(regel invoegen)			
Processen		Hoeveelheid	Eenheid
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		0,4*100*MassaSD6Staalvl = 1,77E4	kgkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		0,6*100*MassaSD6Staalvl = 2,65E4	kgkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		0,85*0,6*35*MassaSD6Staalvl = 7,88E3	kgkm
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België		0,15*0,6*35*MassaSD6Staalvl = 1,39E3	kgkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		35*MassaSD6Betondr = 3,52E5	kgkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		0,4*100*MassaSD6Staaldr = 8,63E3	kgkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		0,6*100*MassaSD6Staaldr = 1,29E4	kgkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België		0,85*0,6*35*MassaSD6Staaldr = 3,85E3	kgkm
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België		0,15*0,6*35*MassaSD6Staaldr = 679	kgkm

Figuur 116: Opbouw assemblage transport naar werf van staalplaatbetonvloer 6 m

4.5.3.8 Systeemvloer 1

In Figuur 117 is de assemblage van de systeemvloer met zwaluwstaartbeplating, voor een overspanning van 4 m, weergegeven.

Naam		
Systeemvloer Zwaluwstaart 4 m		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Systeemvloer Zwaluwstaart 4 m productie	1	p
Systeemvloer Zwaluwstaart 4 m transport naar werf	1	p

Figuur 117: Opbouw assemblage systeemvloer met zwaluwstaart-beplating 4 m

De assemblage aangaande de productie van dit vloersysteem (zie Figuur 118) is opgebouwd uit de productie van koudgeformde profielen (9 stuks met een gewicht van 6 kg/m per stuk) waarop een

koudgeformde zwaluwstaartplaat (zie 4.4.8) is gemonteerd. De producent geeft aan dat de zwaluwstaartplaat een gewicht heeft van 5,8 kg/m² (Combifor vloersysteem, 2012). Bovenop deze zwaluwstaartplaat wordt er een dekvloer (zie 4.4.4) voorzien om een horizontaal oppervlak te verkrijgen. Een totaal volume van 0,18 m³ aan dekvloer is voldoende. Nagels of andere verbindingstechnieken worden niet in rekening gebracht.

Naam		
Systeemvloer Zwaluwstaart 4 m productie		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Steel, low-alloyed, at plant/RER U/Koudgevormd/België	MassaSV4Staalv1 = 216	kg
Steel, low-alloyed, at plant/RER U/Koudgevormd/België	MassaSV4Staalv2 = 139	kg
Cement cast plaster floor, at plant/CH U/België	MassaSV4Mortelv1 = 306	kg

Figuur 118: Opbouw assemblage productie systeemvloer met zwaluwstaart-beplating 4 m

De assemblage betreffende het transport naar werf, voorgesteld in Figuur 119, is gebaseerd op de transportafstanden afkomstig van Tabel 14. De profielen en zwaluwstaartplaat worden als losse bouwproducten beschouwd en worden bijgevolg voor 60% getransporteerd via een tussenhandelaar. De overige 40% wordt rechtstreeks van de fabriek naar de werf vervoerd met een zware vrachtwagen (>16 ton) over een afstand van 100 km. Het transport van de tussenhandelaar naar de werf gebeurt voor 15% via lichte vrachtwagens (3,5-16 ton) en voor 85% via grote vrachtwagens. De dekvloer wordt als stortbeton beschouwd en wordt bijgevolg met een zware vrachtwagen over een afstand van 35 km getransporteerd.

Naam			
Systeemvloer Zwaluwstaart 4 m transport naar			
Status			
Geen			
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling
(regel invoegen)			
Processen	Hoeveelheid	Eenheid	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,4*100*MassaSV4Staalv1 = 8,64E3	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,6*100*MassaSV4Staalv1 = 1,3E4	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,85*0,6*35*MassaSV4Staalv1 = 3,86E3	kgkm	
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België	0,15*0,6*35*MassaSV4Staalv1 = 680	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,4*100*MassaSV4Staalv2 = 5,57E3	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,6*100*MassaSV4Staalv2 = 8,35E3	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,85*0,6*35*MassaSV4Staalv2 = 2,48E3	kgkm	
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België	0,15*0,6*35*MassaSV4Staalv2 = 438	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	35*MassaSV4Mortelv1 = 1,07E4	kgkm	

Figuur 119: Opbouw assemblage transport naar werf van systeemvloer met zwaluwstaart-beplating 4 m

4.5.3.9 Systeemvloer 2

De assemblage van de systeemvloer, bestaande uit combifor-profielen met daarop een OSB-beplating, is weergegeven in Figuur 120.

Naam			
Systeemvloer OSB 4 m			
Status			
Geen			
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling
Systeemvloer OSB 4 m productie	1	p	Ongedefinieerd
Systeemvloer OSB 4 m transport naar werf	1	p	Ongedefinieerd

Figuur 120: Opbouw assemblage systeemvloer met OSB-beplating 4 m

De assemblage betreffende de productie van dit vloersysteem is terug te vinden in Figuur 121. De combifor-profielen zijn opgebouwd uit koudgevoemd staal (zie 4.4.8). Uit de voorafgaande berekeningen volgt dat er 9 profielen nodig zijn (6 kg/m per profiel). De OSB-plaat (zie 4.4.11) heeft een dikte van 18 mm. Nagels of andere verbindingsmiddelen worden niet in rekening wordt gebracht.

Naam		
Systeemvloer OSB 4 m productie		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Steel, low-alloyed, at plant/RER U/Koudgevoemd/België	MassaSV4Staalv1 = 216	kg
Oriented strand board, at plant/RER U/België	MassaNHOSB4OSBv1 = 264	kg

Figuur 121: Opbouw assemblage productie systeemvloer met OSB-beplating 4 m

Figuur 122 toont de assemblage aangaande het transport van het vloersysteem naar de werf. De stalen profielen en de OSB-beplating behoren tot de groep van de losse bouwproducten. Uit Tabel 14 volgt dat deze producten voor 60% getransporteerd worden via een tussenhandelaar. De overige 40% wordt rechtstreeks van de fabriek naar de werf vervoerd. Het transport vanuit de tussenhandelaar naar de werf gebeurt voor 15% via lichte vrachtwagens (3,5-16 ton) en voor 85% via zware vrachtwagens (>16 ton).

Naam			
Systeemvloer OSB 4 m transport naar werf			
Status			
Geen			
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling
(regel invoegen)			
Processen	Hoeveelheid	Eenheid	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,4*100*MassaSV4Staalv1 = 8,64E3	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,6*100*MassaSV4Staalv1 = 1,3E4	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,85*0,6*35*MassaSV4Staalv1 = 3,86E3	kgkm	
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België	0,15*0,6*35*MassaSV4Staalv1 = 680	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,4*100*MassaNHOSB4OSBv1 = 1,06E4	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,6*100*MassaNHOSB4OSBv1 = 1,58E4	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	0,85*0,6*35*MassaNHOSB4OSBv1 = 4,71E3	kgkm	
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U/België	0,15*0,6*35*MassaNHOSB4OSBv1 = 831	kgkm	

Figuur 122: Opbouw assemblage transport naar werf van systeemvloer met OSB-beplating 4 m

4.5.3.10 Voorgespannen welfsel

De assemblages van een vloersysteem bestaande uit voorgespannen welfsels dat 4 m en 6 m overspant, wordt respectievelijk weergegeven in Figuur 123 en Figuur 124.

Naam		
Voorgespannen welfsel 4 m		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Voorgespannen welfsel 4 m productie	1	p
Voorgespannen welfsel 4 m transport naar werf	1	p

Figuur 123: Opbouw assemblage voorgespannen welfsel 4 m

Naam		
Voorgespannen welfsel 6 m		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Voorgespannen welfsel 6 m productie	1	p
Voorgespannen welfsel 6 m transport naar werf	1	p

Figuur 124: Opbouw assemblage voorgespannen welfsel 6 m

De assemblage betreffende de productie van een voorgespannen welfsel met overspanning 4 m (zie Figuur 125) bestaat uit de productie van het prefab element, opgebouwd uit prefabbeton en voorspanstrengen (zie 4.4.2 en 4.4.9) en de productie van de nodige voegmortel (zie 4.4.3) om de voegen tussen de verschillende elementen op te vullen. Uit de technische documentatie van dit type welfsel³⁴ volgt dat de sectie gelijk is aan 98530 mm². Bovenaan en onderaan worden respectievelijk 4SØ7,5 en 12SØ7,5 voorzien. Tot slot is er 4,8 l/m² aan voegvulling nodig. (Voorgespannen welfsel Structo, z.j.)

Naam		
Voorgespannen welfsel 4 m productie		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Cement mortar, at plant/CH U/België	MassaVW4Mortelvoeg = 219	kg
Concrete, normal, at plant/CH U/ België Prefab	MassaVW4betonvl = 4,66E3	kg
Reinforcing steel, at plant/RER U/België	MassaVW4staalvl = 110	kg

Figuur 125: Opbouw assemblage productie voorgespannen welfsel 4 m

Voor een overspanning van 6 m is de samenstelling van de assemblage identiek, op de gewichtsparementers na (zie Figuur 126). Uit de technische documentatie volgt dat de sectie van dit type welfsel³⁵ gelijk is aan 110172 mm². Bovenaan en onderaan worden respectievelijk 4SØ7,5 en

³⁴ Voor een overspanning van 4 m heeft het voorgespannen welfsel een breedte van 120 cm en een hoogte van 13 cm.

³⁵ Voor een overspanning van 6 m heeft het voorgespannen welfsel een breedte van 120 cm en een hoogte van 16 cm.

12SØ9,3 voorzien. De producent geeft aan dat er 4,9 l/m² aan voegvulling nodig is. (Voorgespannen welfsel Structo, z.j.)

Naam		
Voorgespannen welfsel 6 m productie		
Status		
Geen		
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid
Cement mortar, at plant/CH U/België	MassaVW6Mortelvoeg = 334	kg
Concrete, normal, at plant/CH U/ België Prefab	MassaVW6betonvl = 7,81E3	kg
Reinforcing steel, at plant/RER U/België	MassaVW6staalvl = 184	kg

Figuur 126: Opbouw assemblage productie voorgespannen welfsel 6 m

De assemblage van het transport naar de werf, van een vloersysteem bestaande uit voorgespannen welfsels die 4 m overspannen, is afgebeeld in Figuur 127. Aangezien het voorgespannen welfsel behoort tot de groep van de prefabelementen (zie Tabel 14), wordt het via een zware vrachtwagen (>16 ton) over 100 km getransporteerd. De voegmortel wordt als stortbeton beschouwd en wordt over 35 km getransporteerd met een zware vrachtwagen.

De assemblage van het transport naar de werf van een vloersysteem bestaande uit voorgespannen welfsels die 6 m overspannen is hieraan identiek, op de gewichtsparemeters na.

Naam			
Voorgespannen welfsel 4 m transport naar werf			
Status			
Geen			
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling
(regel invoegen)			
Processen	Hoeveelheid	Eenheid	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	100*(MassaVW4Betonvl+MassaVW4Staalvl) = 4,77E5	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	35*MassaVW4Mortelvoeg = 7,66E3	kgkm	

Figuur 127: Opbouw assemblage transport naar werf van voorgespannen welfsel 4 m

Naam			
Voorgespannen welfsel 6 m transport naar werf			
Status			
Geen			
Materialen/Assemblages	Hoeveelheid	Eenheid	VS11Opmerking
(regel invoegen)			
Processen	Hoeveelheid	Eenheid	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	100*(MassaVW6Betonvl+MassaVW6Staalvl) = 8E5	kgkm	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	35*MassaVW6Mortelvoeg = 1,17E4	kgkm	

Figuur 128: Opbouw assemblage transport naar werf van voorgespannen welfsel 6 m

4.5.4 Modelleren afval-/afvalscenario

Een levenscyclus bevat een assemblage en een afval-/afvalscenario. Een primair afvalscenario is opgesteld dat van toepassing is op alle gebruikte materialen in de vloer-balk systemen (zie Figuur 129).

Afvalspecificatie			
Naam	Hoeveelheid	Eenheid	Categorie
Sloopafval	1	kg	Afvalcategorien
Invoer			
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)			
Naam	Hoeveelheid	Eenheid	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	30	kgkm	
(regel invoegen)			
Bekende inputs uit de technosfeer (elektriciteit, warmte)			
Naam	Hoeveelheid	Eenheid	
(regel invoegen)			
Uitvoer			
Materialen en/of afvaltypes, die gescheiden worden uit de afvalstroom			
Afvalscenario/behandeling	Materiaal / Afval type	Percentage	
Landfill afvalscenario	Autoclaved aerated concrete block, at plant/CH U/België	70 %	
Recycling afvalscenario	Autoclaved aerated concrete block, at plant/CH U/België	30 %	
Landfill afvalscenario	Brick, at plant/RER U/België	5 %	
Recycling afvalscenario	Brick, at plant/RER U/België	95 %	
Landfill afvalscenario	Cement cast plaster floor, at plant/CH U/België	5 %	
Recycling afvalscenario	Cement cast plaster floor, at plant/CH U/België	95 %	
Landfill afvalscenario	Cement mortar, at plant/CH U/België	5 %	
Recycling afvalscenario	Cement mortar, at plant/CH U/België	95 %	
Incineration afvalscenario	Composite wood I-joist, at plant, US SE/kg/US/België 4 m	75 %	
Landfill afvalscenario	Composite wood I-joist, at plant, US SE/kg/US/België 4 m	5 %	
Recycling afvalscenario	Composite wood I-joist, at plant, US SE/kg/US/België 4 m	20 %	
Incineration afvalscenario	Composite wood I-joist, at plant, US SE/kg/US/België 6 m	75 %	
Landfill afvalscenario	Composite wood I-joist, at plant, US SE/kg/US/België 6 m	5 %	
Recycling afvalscenario	Composite wood I-joist, at plant, US SE/kg/US/België 6 m	20 %	
Landfill afvalscenario	Concrete, normal, at plant/CH U/ België Prefab	5 %	
Recycling afvalscenario	Concrete, normal, at plant/CH U/ België Prefab	95 %	
Landfill afvalscenario	Concrete, normal, at plant/CH U/ België Stortbeton	5 %	
Recycling afvalscenario	Concrete, normal, at plant/CH U/ België Stortbeton	95 %	
Incineration afvalscenario	Glued laminated timber, indoor use, at plant/RER U/België	75 %	
Landfill afvalscenario	Glued laminated timber, indoor use, at plant/RER U/België	5 %	
Recycling afvalscenario	Glued laminated timber, indoor use, at plant/RER U/België	20 %	
Incineration afvalscenario	Oriented strand board, at plant/RER U/België	75 %	
Landfill afvalscenario	Oriented strand board, at plant/RER U/België	5 %	
Recycling afvalscenario	Oriented strand board, at plant/RER U/België	20 %	
Incineration afvalscenario	Sawn timber, softwood, planed, kiln dried, at plant/RER U/België	95 %	
Landfill afvalscenario	Sawn timber, softwood, planed, kiln dried, at plant/RER U/België	5 %	
Landfill afvalscenario	Steel, low-alloyed, at plant/RER U/Koudgevoemd/België	5 %	
Recycling afvalscenario	Steel, low-alloyed, at plant/RER U/Koudgevoemd/België	95 %	
Landfill afvalscenario	Steel, low-alloyed, at plant/RER U/Warmgewalst België	5 %	
Recycling afvalscenario	Steel, low-alloyed, at plant/RER U/Warmgewalst België	95 %	

Figuur 129: Afvalscenario in SimaPro

Op basis van Tabel 15 wordt voor de verschillende materiaalgroepen aangegeven hoeveel procent naar een bepaalde eindbestemming (stort, verbranding of recyclage) gaat. Er wordt transport met een zware vrachtwagen over een afstand van 30 km van werf naar sorteerbedrijf of inzamelpunt in rekening gebracht. Voor de verschillende eindbestemmingen (stort, verbranding of recyclage) worden secundaire afvalscenario's opgesteld, waarnaar kan verwezen worden in het primair afvalscenario:

- *Landfill* of stort afvalscenario (zie Figuur 130): Op basis van Tabel 15 wordt een transport met zware vrachtwagen van sorteerbedrijf of inzamelpunt naar eindverwerking in rekening gebracht van 50 km.

Voor de verschillende materialen die gestort worden is een proces gekozen uit de beperkte Ecoinvent databank. Voor prefab beton, stortbeton, cementmortel, gebakken aarde en cellenbeton wordt gebruik gemaakt van het proces *Disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill/CH U*. Dit proces bevat een fractie van de nodige infrastructuur en de benodigde energie. Voor staalproducten wordt gebruik gemaakt van het proces *Disposal, steel, 0% water, to inert material landfill/CH U*. Dit proces omvat een zelfde fractie van de nodige infrastructuur en de benodigde energie. Tot slot wordt voor houtproducten (aangeduid met het afvaltype "Wood") gebruik gemaakt van het proces *Disposal, wood untreated, 20% water, to sanitary landfill/CH U*.

Afvalspecificatie			
Naam	Hoeveelheid	Eenheid	Categorie
Landfill afvalscenario	1	kg	Scenario
Invoer			
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)			
Naam	Hoeveelheid		
(regel invoegen)			
Bekende inputs uit de technosfeer (elektriciteit, warmte)			
Naam	Hoeveelheid	Eenheid	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	50	kgkm	
(regel invoegen)			
Uitvoer			
Materialen en/of afvaltypes, die gescheiden worden uit de afvalstroom			
Afvalscenario/behandeling	Materiaal / Afval type		Percentage
Disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill/CH U	Autoclaved aerated concrete block, at plant/CH U/België		100 %
Disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill/CH U	Brick, at plant/RER U/België		100 %
Disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill/CH U	Cement mortar, at plant/CH U/België		100 %
Disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill/CH U	Concrete, normal, at plant/CH U/ België Prefab		100 %
Disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill/CH U	Concrete, normal, at plant/CH U/ België Stortbeton		100 %
Disposal, steel, 0% water, to inert material landfill/CH U	Steel, low-alloyed, at plant/RER U/Koudgevoemd/België		100 %
Disposal, steel, 0% water, to inert material landfill/CH U	Steel, low-alloyed, at plant/RER U/Warmgewalst België		100 %
Disposal, wood untreated, 20% water, to sanitary landfill/CH S	Wood		100 %
Disposal, steel, 0% water, to inert material landfill/CH U	Reinforcing steel, at plant/RER U/België		100 %
Disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill/CH U	Cement cast plaster floor, at plant/CH U/België		100 %

Figuur 130: Landfill afvalscenario

- *Incineration* of verbranding afvalscenario (zie Figuur 131): Op basis van Tabel 15 wordt een transport met zware vrachtwagen van sorteerbedrijf of inzamelpunt naar eindverwerking in rekening gebracht van 100 km.

Voor houtproducten (aangeduid met het afvaltype “Wood”) wordt gebruik gemaakt van het proces *Disposal, building wood, chrome preserved, 20% water, to municipal incineration/CH U*.

Afvalspecificatie			
Naam	Hoeveelheid	Eenheid	Categorie
Incineration afvalscenario	1	kg	Scenario
Invoer			
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)			
Naam	Hoeveelheid	Eenheid	
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	100	kgkm	
(regel invoegen)			
Bekende inputs uit de technosfeer (elektriciteit, warmte)			
Naam	Hoeveelheid		
(regel invoegen)			
Uitvoer			
Materialen en/of afvaltypes, die gescheiden worden uit de afvalstroom			
Afvalscenario/behandeling	Materiaal / Afval type		Percentage
Disposal, building wood, chrome preserved, 20% water, to municipal incineration/CH U	Wood		100 %

Figuur 131: Incineration afvalscenario

- *Recycling* of recyclage afvalscenario: Dit is een leeg scenario. Recyclage wordt immers reeds in rekening gebracht in de materiaalprocessen, aan het begin van de levenscyclus. Bij staalproducten gebeurt dit door een verhouding nieuw staal en recyclage staal tijdens de productie te definiëren. Bij andere productgroepen wordt recyclage eventueel in rekening gebracht met behulp van een *avoided impact*. Hierbij wordt de vermeden impact, als gevolg van het gebruik van gerecycleerd materiaal bij de productie van nieuw materiaal, reeds in rekening gebracht in het productieproces van nieuw materiaal. Voor een uitgebreid overzicht van de in rekening gebracht recyclages wordt verwezen naar de inhoud van de processen (zie 4.4).

Hoofdstuk 5: Resultaten

5.1 Rekenmethode

De gebruikte methode voor het berekenen van de impactscore in SimaPro is "ReCiPe Endpoint (H) V1.05 / Europe ReCiPe H/A".

Er is gekozen voor de Endpoint methode in plaats van de Midpoint methode omwille van het feit dat het via de Endpoint methode makkelijker is om vergelijkingen te maken tussen de verschillende systemen, aangezien de resultaten worden uitgedrukt in een milieuscore (Pt). Er wordt aangeraden om te werken met de Europese ReCiPe H/A (Huppes & van Oers, 2011). Deze omvat de genormaliseerde waarden, berekend met de gemiddelde wegingsfactoren (zie Figuur 7).

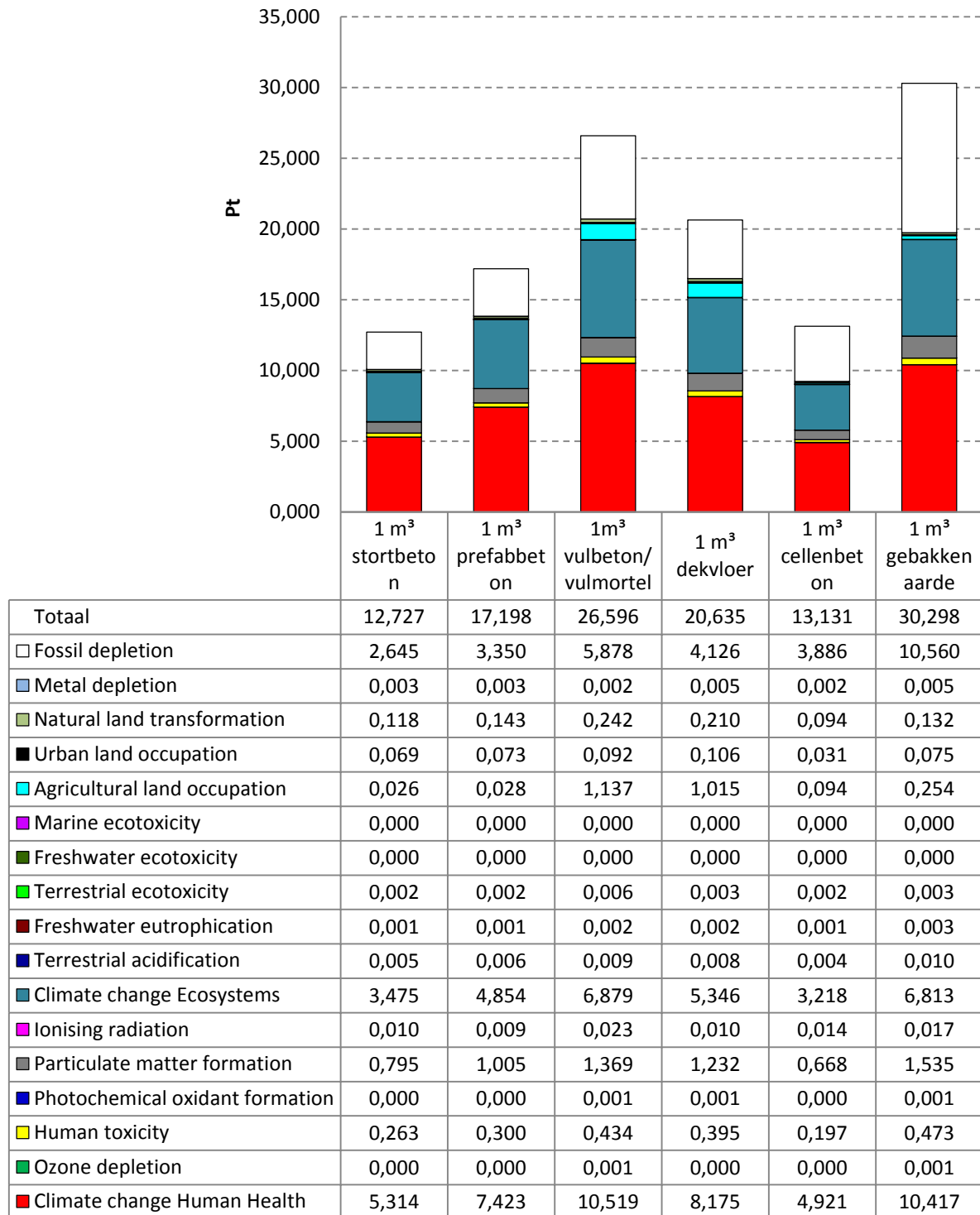
5.2 Materiaalresultaten

Hieronder worden de milieu-impacten van de gebruikte productprocessen van de verschillende gebruikte materialen nader bekeken en besproken. Hierbij wordt steeds de productfase van 1 m³ geproduceerd materiaal bekeken met behulp van de Europe Recipe Endpoint rekenmethode. In dit onderzoek omvat de productfase zowel de ontginning van de grondstoffen, de transport van de grondstoffen en het productieproces van het nieuw materiaal. Binnen ieder productproces wordt er gekeken welke subprocessen er voornamelijk bijdragen tot de totale milieuscore en tot de verschillende milieu-categorieën.

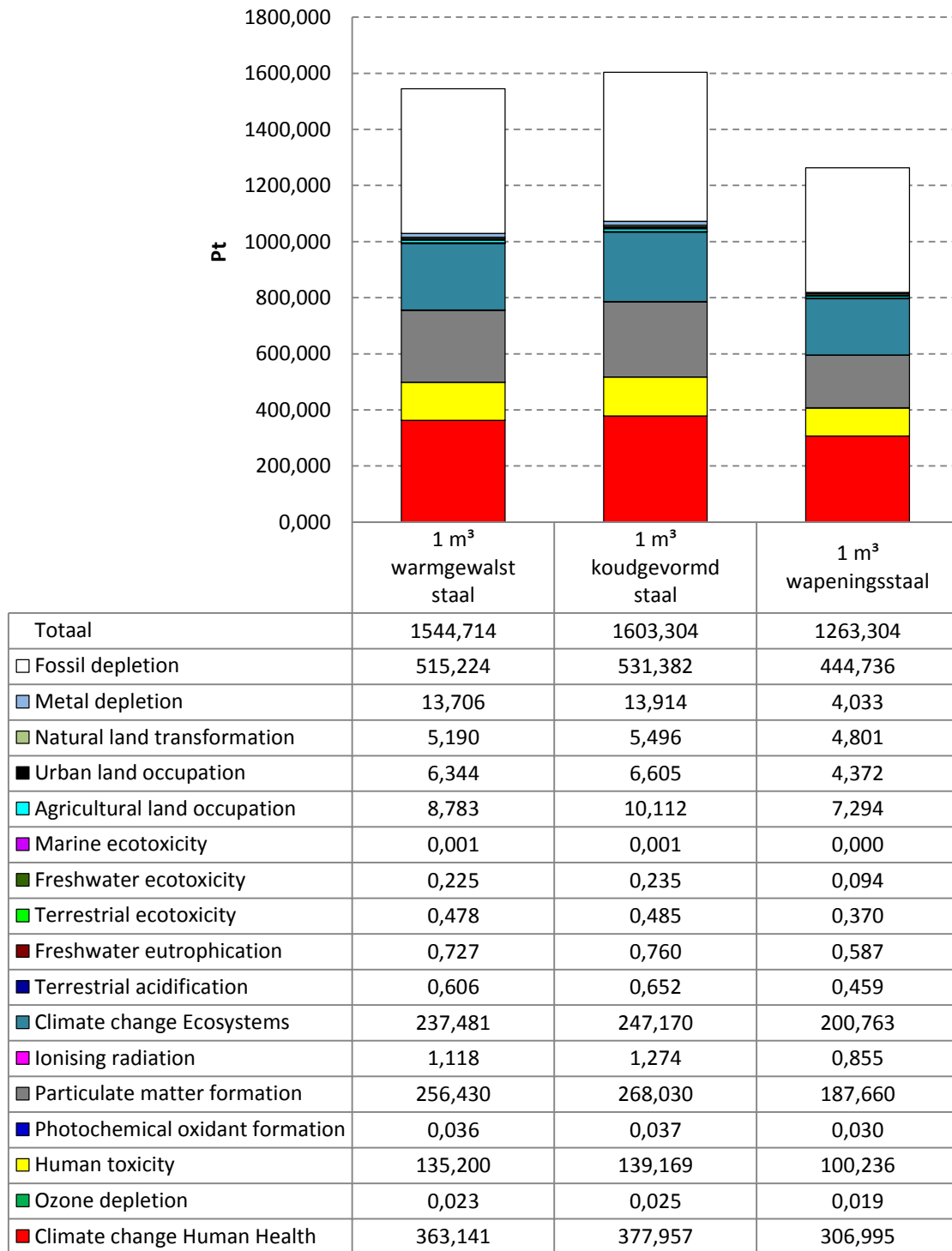
Er moet opgemerkt worden dat er in sommige processen reeds een deel van de EOL (recyclage) is voorzien met behulp van een *avoided impact*. Hierbij wordt de vermeden impact, bij het gebruik van gerecycleerd materiaal bij de productie van nieuw materiaal, reeds in rekening gebracht in het productieproces van nieuw materiaal.

De bekomen resultaten worden vervolgens vergeleken met waarden uit de literatuur. Hiervoor wordt een EPD(2008)-analyse (tenzij anders vermeld) uitgevoerd. Door de bekomen waarden te toetsen aan de waarden uit de literatuur kan de geloofwaardigheid van de resultaten gecontroleerd worden. Bij de uitgevoerde analyses wordt enkel de productfase in rekening gebracht, tenzij anders vermeld.

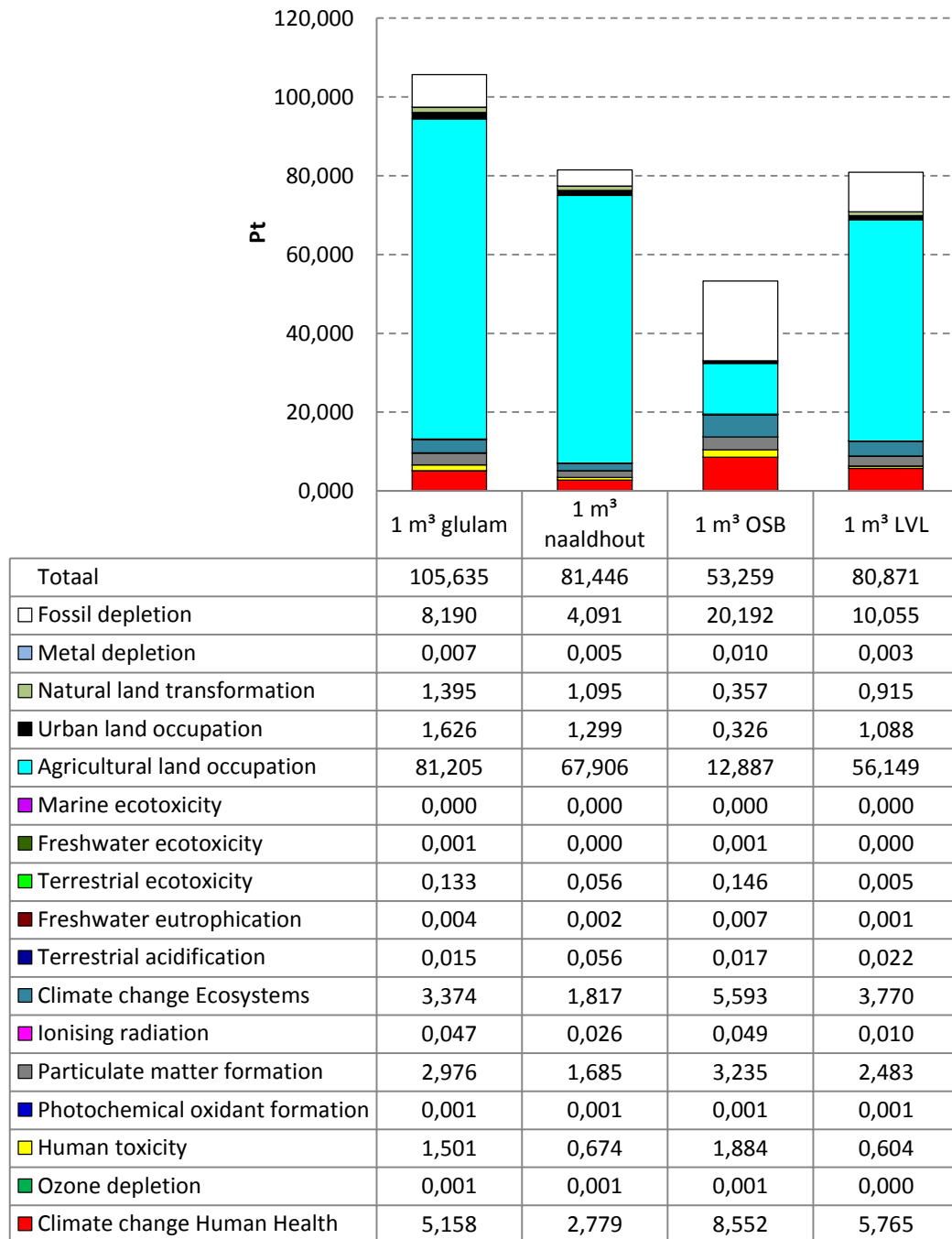
De milieu-impactscore van de verschillende materialen is te zien in Figuur 132, Figuur 133, Figuur 134 en Figuur 149. Van elk materiaal wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan iedere milieucategorie weergegeven.



Figuur 132: Milieu-impactscore van 1 m³ stortbeton, 1 m³ prefabbeton, 1 m³ vulbeton/vulmortel, 1 m³ dekvloer, 1 m³ cellenbeton en 1 m³ gebakken aarde. Van elk materiaal wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan iedere milieucategorie weergegeven.



Figuur 133: Milieu-impactscore van 1 m³ warmgewalst staal, 1 m³ koudgevormd staal en 1 m³ wapeningsstaal. Van elk materiaal wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan iedere milieucategorie weergegeven.



Figuur 134: Milieu-impactscore van 1 m³ glulam, 1 m³ naaldhout, 1 m³ OSB en 1 m³ LVL. Van elk materiaal wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan iedere milieucategorie weergegeven.

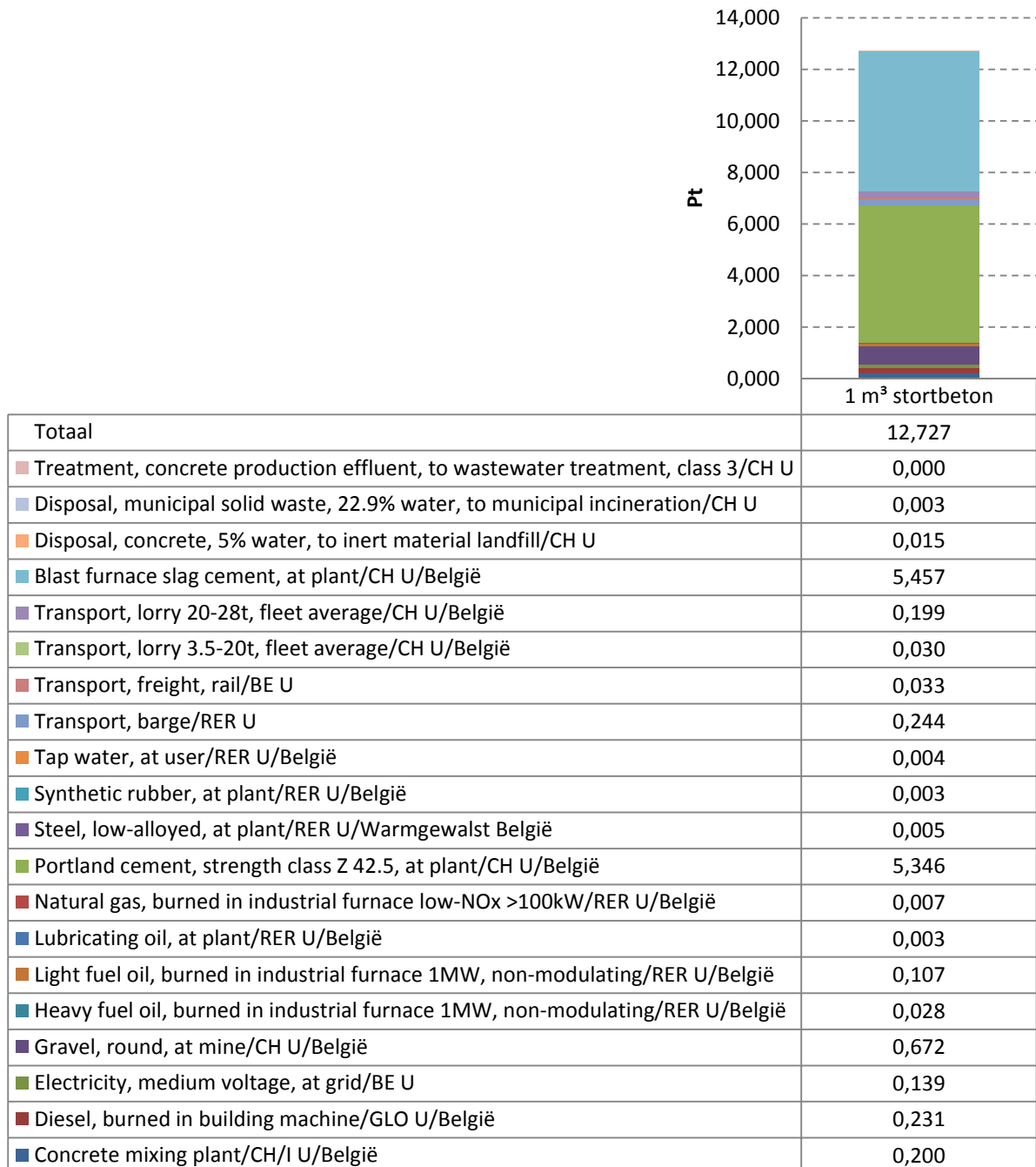
5.2.1 Stortbeton

De grootste bijdrage aan de milieu-impactscore horende bij de productfase van stortklaar beton (zie 4.4.1) wordt geleverd door cement. In deze betonsamenstelling wordt er gewerkt met 105 kg portlandcement³⁶ en 195 kg hoogovenslak³⁷, welke verantwoordelijk zijn voor respectievelijk 42% en

³⁶ Portland cement, strength class Z 42,5, at plant/CH U/België

³⁷ Blast furnace slag cement, at plant/CH U/België

43% van de totale milieu-impact. Verder is nog op te merken dat de impact van de granulaten³⁸, bij de productfase van stortbeton, 5% bedraagt. De impact van de transportprocessen³⁹, nodig voor de aanvoer van de grondstoffen, bedraagt 4% van de totale milieu-impactscore. Een overzicht van de bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m³ stortbeton is te zien op Figuur 135.



Figuur 135: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m³ stortbeton

³⁸ Gravel, round, at mine/CH U/België

³⁹ Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U/België; Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U/België; Transport, freight, rail/BE U; Transport, barge/RER U

Zoals te zien op Figuur 132, heeft de productfase van stortbeton het meeste effect op de klimaatsverandering⁴⁰ (69% van het totale milieuprofiel). Deze klimaatsverandering is voor 90% het gevolg van de productfase van portlandcement en hoogovenslak. Voorts heeft de productfase ook een invloed op de fossiele uitputting (21%) en fijnstofvorming (6%).

De productfase van 1 m³ stortbeton levert een milieu-impactscore op van 10,4 Pt (Eco-indicator 99). Dit stemt overeen met de resultaten gevonden door Dossche & Louwagie (2014), namelijk 12,9 pt (Eco-indicator 99). Ter controle wordt een EPD(2008)-analyse uitgevoerd welke vergeleken wordt met een EPD⁴¹ van stortbeton (EPD Ready-mix concrete, 2006). Deze EPD-analyse omvat de gehele productfase (winning van de grondstof, transport van de grondstoffen en productie van het nieuw materiaal) van storklaar beton, opgebouwd uit 263,6 kg Cement 42.5 II, 45,6 kg vliegas, 1,5 l additieven, 175 l water en 1871,7 kg granulaten. De resultaten van deze vergelijking zijn terug te vinden in Tabel 20. Hieruit blijkt dat beide analyses waarden van dezelfde grote-orde bevatten.

De tweede vergelijking met de literatuur is op basis van de resultaten van *The National Ready Mixed Concrete Association* (NRMCA) (zie Tabel 20). Hierbij wordt een *Business-to-business* EPD uitgevoerd, waarbij de extractie en productie van grondstoffen wordt in rekening gebracht, net zoals het transport van deze grondstoffen en de productie van het nieuw materiaal. De samenstelling van beton is in deze studie niet vermeld.

Tabel 20: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 m³ stortbeton

	Eenheid	Eigen onderzoek	Literatuur	
			(EPD Ready-mix concrete, 2006)	(EPD Ready mixed concrete, 2014)
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ eq	191	231,04	186,9
Ozone depletion potential (ODP)	kg R11 eq	5,88E-06	3,00E-06	3,48E-06
Acidification potential (AP)	kg SO ₂ eq	0,346	0,78	1,02
Eutrophication potential (EP)	kg PO ₄ eq	0,0937	0,09	0,12
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	kg C ₂ H ₄ eq	0,0605	0,06	/

5.2.2 Prefabbeton

De milieu-impact van de productfase van prefabbeton (zie 4.4.2) wordt voornamelijk veroorzaakt door de productfase van cement⁴². In deze studie wordt gewerkt met een betonsamenstelling bestaande uit 300 kg aan portlandcement, welke goed is voor 89% van de milieu-impactscore van de productfase van prefabbeton. Grove granulaten⁴³ en het transport van grondstoffen⁴⁴ naar de productiehal vormen

⁴⁰ Voor de totale klimaatsverandering worden twee impact categorieën samengenomen: *Climate change Human Health* en *Climate change Ecosystems*.

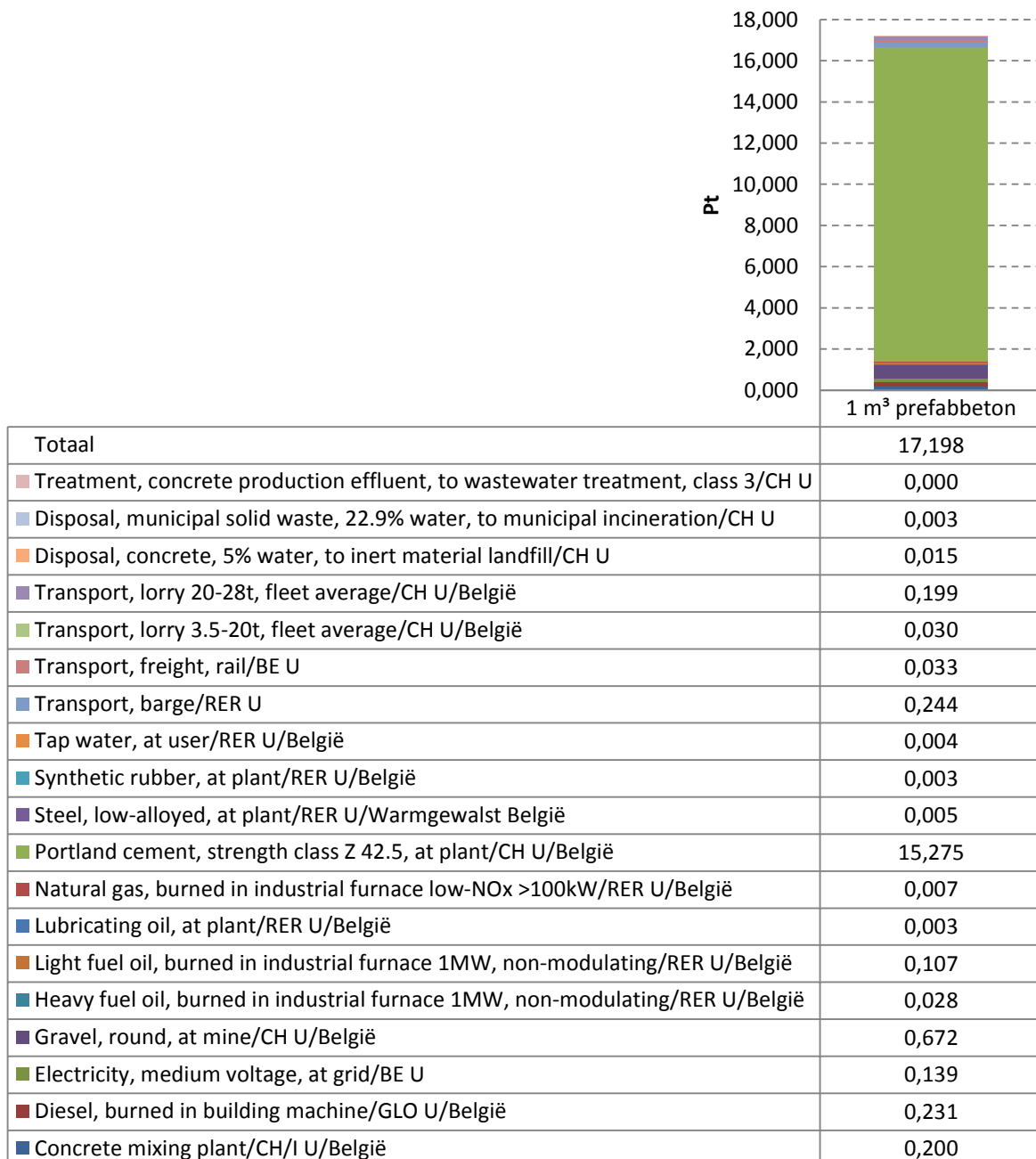
⁴¹ *Environmental Product Declaration*

⁴² *Portland cement, strength class Z 42,5, at plant/CH U/België*

⁴³ *Gravel, round, at mine/CH U/België*

respectievelijk 4% en 3% van de totale impactscore. De milieu-impact van de overige subprocessen is veel kleiner. Een overzicht van de bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore van de productfase van 1 m³ prefabbeton is te zien op Figuur 136.

De productfase van prefabbeton heeft het meeste effect op de klimaatsverandering (71%). 94% van deze klimaatsverandering is het gevolg van de productfase van portlandcement. Voorts heeft de productfase ook een invloed op de fossiele uitputting (19%) en fijnstofvorming (6%). (zie Figuur 132)



Figuur 136: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m³ prefabbeton

⁴⁴ Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U/België; Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U/België; Transport, freight, rail/BE U; Transport, barge/RER U

Ter controle wordt de productfase van 1 m³ prefabbeton C30/37 aan de hand van de EPD(2008)-methode vergeleken met waarden afkomstig uit de literatuur. In Tabel 21 is te zien dat de waarde verkregen in deze studie gelijkaardig zijn als deze berekend door Siebers & Hauke (2011). Deze studie brengt de productfase (ontginning van de grondstoffen, transport van de grondstoffen en de productie van het nieuw materiaal) volledig in rekening.

De tweede vergelijking, voorgesteld in Tabel 22, gebeurt op basis van de resultaten afkomstig van de Norwegian EPD Foundation (EPD Precast Concrete, 2015). Hier is het prefabbeton (1 ton, C30/37) opgebouwd uit 337,3 kg zand, 425,8 kg grove granulaten, 130,9 kg cement, 35,4 kg water, 70,4 kg wapening en 0,4 kg toevoegstoffen. Daarom is de EPD-analyse, uitgevoerd voor dit onderzoek, samengesteld uit 70,4 kg wapeningsstaal en 929,6 kg geprefabriceerd beton. De systeemgrenzen van beide analyses gaan van de ontginning en productie van grondstoffen, het transport van deze grondstoffen tot de productie van het nieuw materiaal.

Tabel 21: Vergelijking met literatuur voor productfase van 1 m³ prefabbeton

	Eenheid	Eigen onderzoek	Literatuur (Siebers & Hauke, 2011)
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ eq	267	262
Ozone depletion potential (ODP)	kg R11 eq	6,28E-06	6,93E-06
Acidification potential (AP)	kg SO ₂ eq	0,443	0,458
Eutrophication potential (EP)	kg PO ₄ eq	0,112	0,0646
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	kg C ₂ H ₄ eq	0,037	0,047

Tabel 22: Vergelijking met literatuur voor productfase van 1 ton prefabbeton, voorzien van wapening

	Eenheid	Eigen onderzoek	Literatuur (EPD Precast Concrete, 2015)
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ eq	206	179
Ozone depletion potential (ODP)	kg R11 eq	5,98E-06	9,88E-06
Acidification potential (AP)	kg SO ₂ eq	0,468	0,651
Eutrophication potential (EP)	kg PO ₄ eq	0,2409	0,286
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	kg C ₂ H ₄ eq	0,1282	0,0446

In het onderzoek van De Schepper & Van den Brecht (2016) wordt er eveneens een levenscyclusanalyse uitgevoerd van prefabbeton. Voor de productfase van 1 m³ prefabbeton wordt bij De Schepper & Van den Brecht een totale milieu-impactscore van 21,2 Pt bekomen. De milieuscore in dit onderzoek bedraagt 17,2 Pt. Het verschil tussen beide milieuscores is deels te wijten aan een andere betonsamenstelling (zie Tabel 23). In dit onderzoek bedraagt de soortelijke massa van het prefabbeton 2380 kg/m³, terwijl dit bij De Schepper & Van den Brecht 2312,2 kg/m³ is. De Schepper & Van den Brecht hebben eveneens opgemerkt dat de transportafstanden gebruikt in SimaPro kleiner zijn dan de

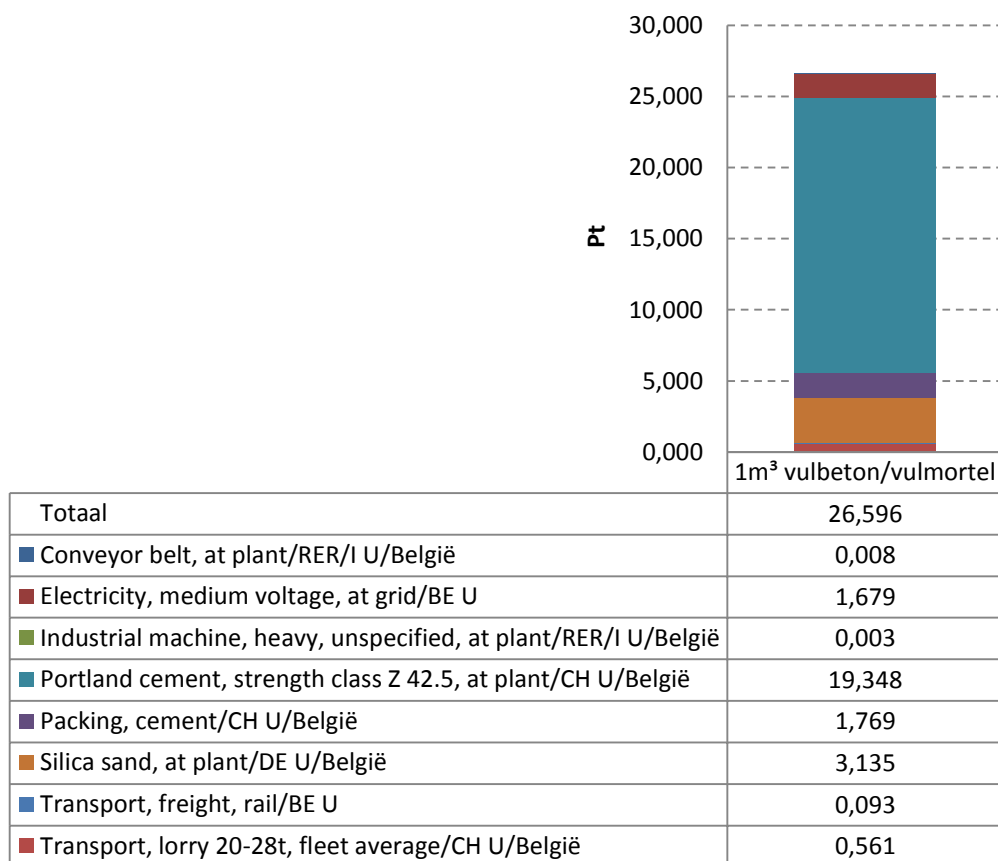
transportafstanden opgevraagd bij verschillende producenten. Dit verklaart mede de kleinere impact in dit eigen onderzoek ten opzichte van het onderzoek van De Schepper & Van den Brecht.

Tabel 23: Vergelijking betonsamenstelling met De Schepper & Van den Brecht (2016)

	(De Schepper & Van den Brecht, 2016)	Eigen onderzoek
	kg	kg
Cement	320	300
Water	180	186
Zand	725,4	1890
Granulaten	1086,8	

5.2.3 Vulbeton/vulmortel

Met 70% levert de productfase van portlandcement⁴⁵ de voornaamste bijdrage aan de impactscore ten gevolge van de productfase van vulbeton (zie 4.4.3). In de productie van 1 m³ vulbeton wordt er 380 kg portlandcement verwerkt. Kwartszand⁴⁶ vervolgens heeft ook een grote invloed op de totale milieu-impactscore van de productfase van vulmortel, namelijk 12%.



Figuur 137: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m³ vulbeton/vulmortel

⁴⁵ Portland cement, strength class Z 42,5, at plant/CH U/België

⁴⁶ Silicasand, at plant/ DE U/België

De overige belangrijke processen zijn het verpakken⁴⁷ (7%) en het elektriciteitsverbruik⁴⁸ (6%). De individuele invloed van de overige processen is kleiner dan 3% van de totale impact. Een overzicht van de bijdrage van elk subprocess aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m³ vulbeton is te zien op Figuur 137.

Uit Figuur 132 blijkt dat de klimaatsverandering veruit de meest dominante milieu-indicator (65%) is. Hiervan is 84% afkomstig van de productfase van portlandcement en 9% van de ontginning van kwartszand. Verder zijn er nog enkele sterk aanwezige milieu-indicatoren, die het gevolg zijn van bepaalde milieu-impacten: fijnstofvorming (5%), bezetting van de landbouwgrond (4%) en fossiele uitputting (22%). De impactscores die de indicator 'bezetting van de landbouwgrond' als gevolg hebben, zijn voor 97% afkomstig van het proces *packing, cement/CH U*. In dit proces zijn de productie van houten euro-paletten (36%) en kraftpapier⁴⁹ (64%) de redenen voor de hoge bezetting van de landbouwgrond. Impacten die bijdragen tot *Natural land formation* zijn voornamelijk afkomstig van het volgende processen: elektriciteit, verpakken, de productfase van portlandcement en de ontginning van kwartszand.

Ter controle worden de resultaten van vulmortel vergeleken met gevonden literatuurwaarden (EPD Weberfloor, 1998). De vulmortel gebruikt in deze analyse is voor 40-65% opgebouwd uit silicazand, 20-35% kalksteen, 5-15% aluminaatcement, 1-10% calciumsulfaat, 0-5% portlandcement, 0.1-5% *resin vinyl acetate* en 0.5-1% additieven. De in rekening gebrachte systeemgrenzen omvatten de ontginning van de grondstoffen, de transport van de grondstoffen naar de fabriek en de productie en verpakking van het nieuw materiaal. Deze functionele eenheid van deze EPD is 1 m² vloer met een dikte van 20 mm, welke overeenstemt met een massa van 34 kg vulmortel. In Tabel 24 is merkbaar dat de waarde afkomstig uit het eigen onderzoek van dezelfde grootteorde zijn als deze gevonden in de literatuur.

Tabel 24: Vergelijking met literatuur voor productfase van 34 kg vulmortel

	Eenheid	Eigen onderzoek	Literatuur (EPD Weberfloor, 1998)
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ eq	6,77	7,00
Ozone depletion potential (ODP)	kg R11 eq	2,08E-07	6,30E-07
Acidification potential (AP)	kg SO ₂ eq	0,0114	0,026
Eutrophication potential (EP)	kg PO ₄ eq	0,00293	0,0031
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	kg C ₂ H ₄ eq	0,00183	0,0011

Als extra controle wordt dit onderzoek vergeleken met nog een EPD-analyse van de firma Weber (EPD Weber B20, 2014). In deze EPD-analyse is het vulbeton opgebouwd uit 20,02% cement, 75,68%

⁴⁷ *Packing, cement/CH U/België*

⁴⁸ *Electricity, medium voltage, at grid/BE U*

⁴⁹ Kraftpapier is een uitermate sterke papiersoort welke geschikt is voor het gebruik als recycleerbare verpakking (Kraftpapier, 2016)

aggregaten, 1,95% vulstoffen en 2,34% verpakkingen. De systeemgrenzen bevatten niet enkel de ontginning en productie van de grondstoffen, maar ook het transport van deze grondstoffen, de productie van het nieuw materiaal en het verpakken van het nieuw materiaal.

Tabel 25: Vergelijking met literatuur voor productfase van 1 kg vulmortel

	Eenheid	Eigen onderzoek	Literatuur (EPD Weber B20, 2014)
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ eq	0,199	0,158
Ozone depletion potential (ODP)	kg R11 eq	6,11E-09	4,401E-09
Acidification potential (AP)	kg SO ₂ eq	3,36E-04	1,23E-04
Eutrophication potential (EP)	kg PO ₄ eq	8,61E-05	4,83E-05
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	kg C ₂ H ₄ eq	5,37E-05	2,84E-04

5.2.4 Dekvloer

De milieu-impact komende van de productfase van dekvloer (zie 4.4.4) wordt voornamelijk veroorzaakt door de productfase van portlandcement⁵⁰. De productfase van 316 kg portlandcement is verantwoordelijk voor 78% van deze milieu-impact. Het transport van de grondstoffen⁵¹ en het verpakkingsproces⁵² zorgen beide respectievelijk voor 9% en 8% van de totale milieu-impactscore. Een overzicht van de bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m³ dekvloer is te zien op Figuur 138.

Net zoals bij de voorgaande materialen is de klimaatsverandering de milieucategorie die het meest beïnvloed wordt (66%) (zie Figuur 132). 90% hiervan is afkomstig van het productfaseproces van portlandcement en 6% van de transportprocessen. Voorts vallen de fossiele uitputting (20%), de bezetting van de landbouwgrond (5%) en fijnstofvorming (6%) op. Milieu-impacten die de bezetting van de landbouwgrond als gevolg hebben zijn, net zoals bij de productfase van vulbeton, toe te wijzen aan het verpakkingsproces.

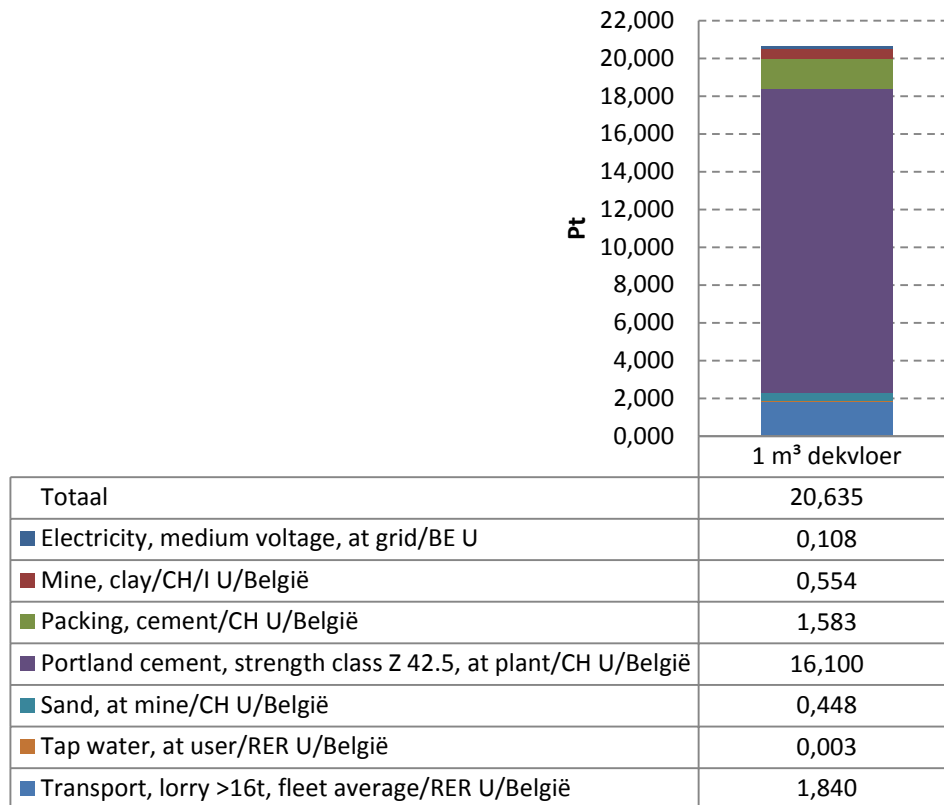
Ter controle worden de, in deze studie bekomen, resultaten, voor de productfase van 1 kg dekvloer, vergeleken met een EPD(2008)-analyse uitgevoerd door de firma Knauf (EPD Knauf gips, 2011). Deze dekvloer is voor 65-70% opgebouwd uit granulaten, minder dan 2% cement en 30-35% calciumsulfaat. In de EPD-analyse van de firma Knauf wordt volledig de productfase (ontginning van de grondstoffen, transport van de grondstoffen en de productie van het nieuw materiaal) in rekening gebracht. In Tabel 26 wordt de vergelijking weergegeven. Hieruit blijkt dat er kleine verschillen zijn tussen de twee analyses, maar de waarden zijn van dezelfde grootteorde. Doordat er geen gegevens

⁵⁰ Portland cement, strength class Z 42,5, at plant/CH U/België

⁵¹ Transport, lorry>16t, fleet average/RER U/België

⁵² Packing, cement/CH U/België

over de samenstelling van de dekvloer vermeld zijn in de EPD van de firma Knauf, is het moeilijk om de verschillen te verklaren.



Figuur 138: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m³ dekvloer

Tabel 26: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 kg dekvloer

	Eenheid	Eigen onderzoek	Literatuur (EPD Knauf gips, 2011)
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ eq	0,173	0,085
Ozone depletion potential (ODP)	kg R11 eq	4,59E-09	2,97E-09
Acidification potential (AP)	kg SO ₂ eq	3,14E-04	1,90E-04
Eutrophication potential (EP)	kg PO ₄ eq	8,35E-05	3,00E-05
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	kg C ₂ H ₄ eq	5,16E-05	2,00E-05

5.2.5 Cellenbeton

De milieu-impact aangaande de productfase van cellenbeton (zie 4.4.5) wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door de productfase van hoogovenslak en ongebluste kalk. De productie van hoogovenslak⁵³ en ongebluste kalk⁵⁴ zijn goed voor respectievelijk 36% en 31% van de totale impactscore van het productfaseproces van cellenbeton. Vervolgens draagt de nodige warmte

⁵³ Blast furnace slag cement, at plant/CH U/België

⁵⁴ Quicklime, milled, packed, at plant/CH U/België

afkomstig van aardgas⁵⁵ bij tot 18% van de totale impact. Verder dragen volgende processen nog merkbaar bij tot de globale impactscore : elektriciteit⁵⁶ (8%) en transport⁵⁷ (3%). De invloed van de overige processen is iets groter dan 4% van de totale milieu-impactscore. Een overzicht van de bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m³ cellenbeton is te zien op Figuur 139.

De meeste dominante milieu-indicator, is net zoals bij de voorgaande materialen, de klimaatsverandering (62%). Hierbij zijn hoogovenslak (42%) en de warmte afkomstig van aardgas (37%) samen de voornaamste bron voor de klimaatsverandering. De andere voorkomende milieu-impactcategorieën die het gevolg zijn van de productfase van cellenbeton zijn fossiele uitputting (30%), fijnstofvorming (5%) en vergiftiging (1.5%). (zie Figuur 132)

Ter controle worden de resultaten uit deze masterproef vergeleken met een EPD-analyse uitgevoerd door de firma Xella (EPD autoclaved aerated concrete, 2009). De gebruikte systeemgrenzen in de analyse van Xella bevatten het gehele productfaseproces vanaf de winning van de grondstoffen tot en met het produceren van het nieuw materiaal. Het cellenbeton gebruik in de studie van Xella is opgebouwd uit 60-70% zand, 15-30% cement, 10-20% ongebluste kalk, 2-5% gips en 0,02-0,1% aluminium. In Tabel 27 is te zien dat de resultaten van beide EPD-analyses van dezelfde grootteorde zijn.

Als extra controles worden de resultaten nog eens vergeleken met een recentere studie van Xella (EPD Ytong autoclaved aerated concrete, 2012). Net zoals bij vorige studie wordt de gehele productfase bekeken bij deze EPD-analyse. Ook de samenstellingspercentages van het cellenbeton zijn identiek aan de eerste EPD-analyse van Xella.

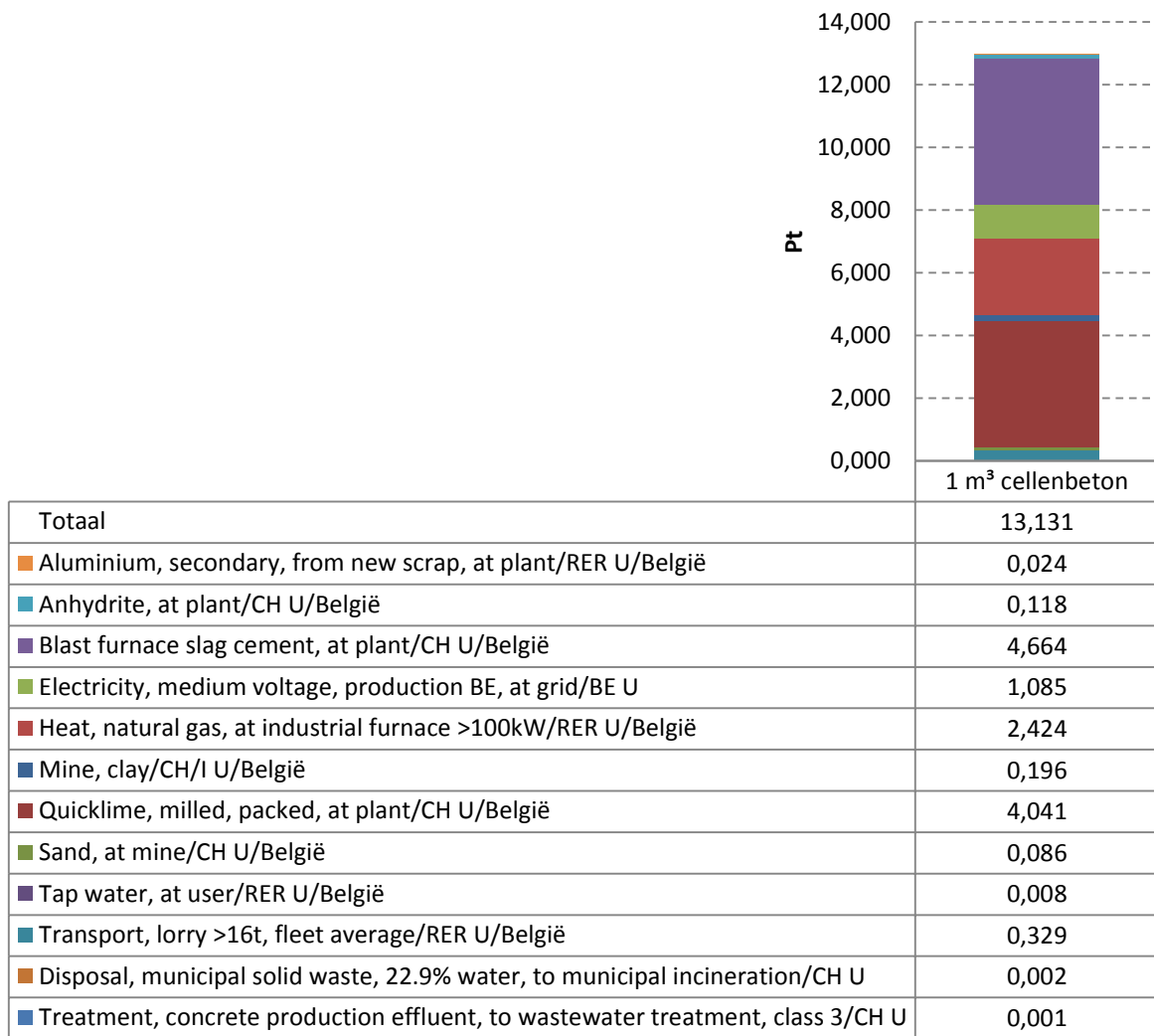
Tabel 27: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 m³ cellenbeton

	Eenheid	Eigen onderzoek	Literatuur	
			EPD autoclaved aerated concrete, 2009	EPD ytong autoclaved aerated concrete, 2012
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ eq	178	179	219,3
Ozone depletion potential (ODP)	kg R11 eq	8,34E-06	1,00E-05	1,26E-07
Acidification potential (AP)	kg SO ₂ eq	0,27	0,263	0,219
Eutrophication potential (EP)	kg PO ₄ eq	7,16E-02	4,00E-02	2,9E-02
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	kg C ₂ H ₄ eq	5,37E-02	3,80E-02	2,2E-02

⁵⁵ Heat, natural gas, at industrial furnace > 100 kW/RER U/België

⁵⁶ Electricity, medium voltage, production BE, at grid/BE U

⁵⁷ Transport, lorry>16t, fleet average/RER U/België



Figuur 139: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m³ cellenbeton

5.2.6 Gebakken aarde

De milieu-impact betreffende de productfase van gebakken aarde (zie 4.4.6) wordt voor 50% veroorzaakt door het proces *Brick, at plant/RER U*, welke door Michiel Oele (2016, 24 mei) wordt omschreven als 'de eigen bijdrage van het geanalyseerde proces'. 23% van de totale milieu-impact is te wijten aan het gebruik van aardgas⁵⁸ tijdens het productfaseproces. Het elektriciteits-⁵⁹ en stookolieverbruik⁶⁰ zijn verantwoordelijk voor respectievelijk 7% en 6% van de totale milieu-impact. De transportprocessen⁶¹ zijn verantwoordelijk voor 3% van de totale milieuscore. De individuele invloed van de overige processen is kleiner dan 2% van de totale milieu-impact. Een overzicht van de

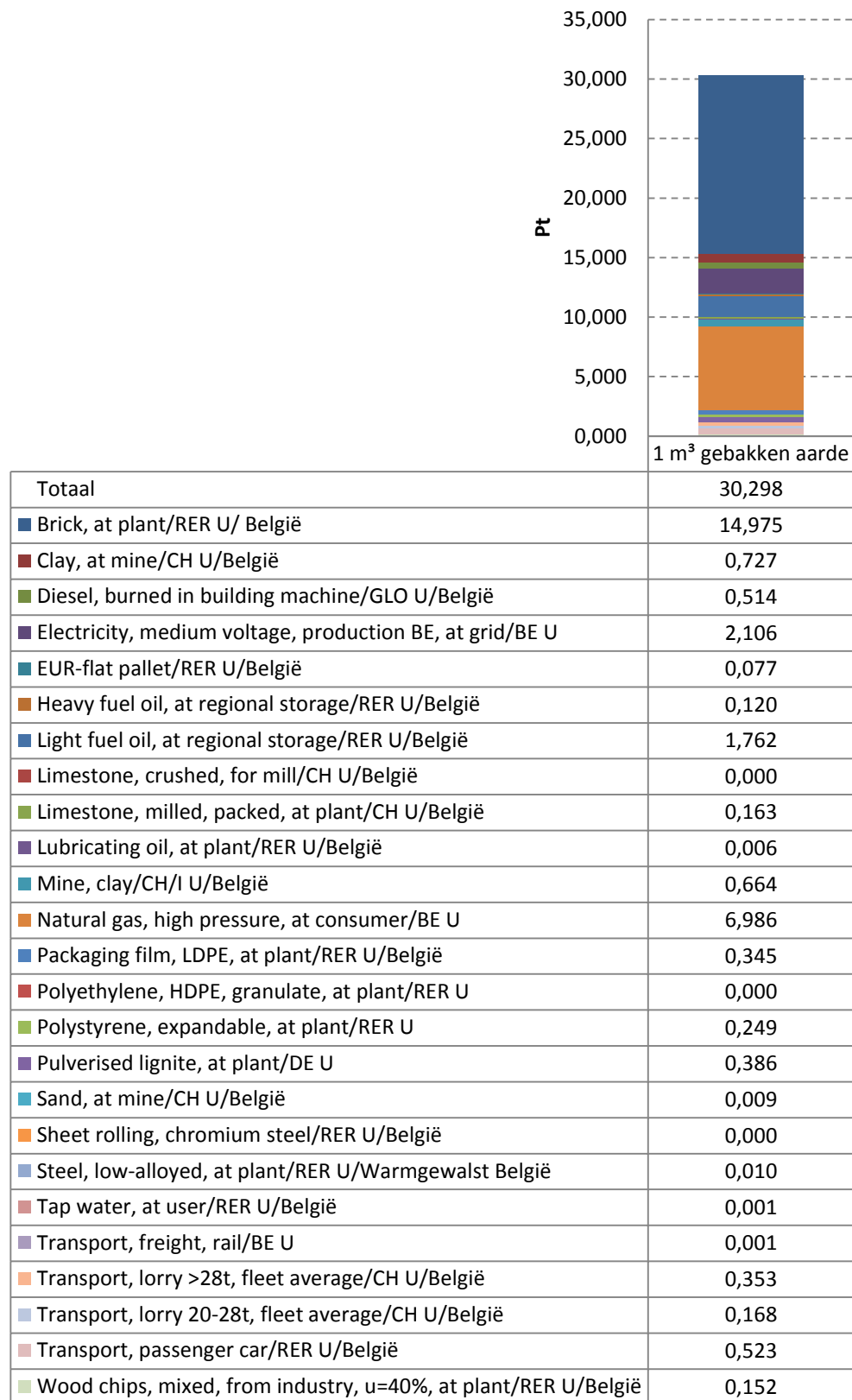
⁵⁸ Natural gas, high pressure, at consumer/BE U

⁵⁹ Electricity, medium voltage, production BE, at grid/BE U

⁶⁰ Light fuel oil, at regional storage/RER U/België

⁶¹ Transport, freight, rail/BE U; Transport, lorry >28t, fleet average/CH U/België; Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U/België; Transport, passenger car/RER U/België

bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m³ cellenbeton is te zien op Figuur 140.



Figuur 140: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m³ gebakken aarde

Figuur 132 toont dat de meest dominante milieu-indicatoren, de fossiele uitputting (35%) en klimaatsverandering (57%) zijn. Hierbij is de indicator klimaatsverandering hoofdzakelijk te wijten aan de eigen inbreng van het proces *Brick, at plant/RER U*. De voornaamste bronnen voor de indicator fossiele uitputting zijn het aardgas-, stookolie- en elektriciteitsgebruik. De andere opvallende milieu-impactcategoriën zijn fijnstofvorming (5%), vergiftiging (2%) en bezetting van de landbouwgrond (1%). De andere impactcategoriën zijn kleiner dan 1% van de totale milieu-impactscore.

Ter controle worden de waarden uit dit onderzoek vergeleken met waarden gevonden in de literatuur (EPD gebakken aarde, 2015). De in de literatuur gebruikte systeemgrenzen bevatten de ontginning van de grondstoffen, alle bijhorende transporten van de grondstoffen en de productie van het nieuw materiaal. In de EPD-analyse zijn er geen gegevens vermeld over de samenstelling van de gebakken aarde. In Tabel 28 wordt de vergelijking tussen beide EPD-analyses weergegeven.

Tabel 28: Vergelijking met literatuur voor de productfase 1 ton gebakken aarde

	Eenheid	Eigen onderzoek	Literatuur (EPD gebakken aarde, 2015)
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ eq	221	246
Ozone depletion potential (ODP)	kg R11 eq	1,32E-05	1,11E-06
Acidification potential (AP)	kg SO ₂ eq	0,416	0,715
Eutrophication potential (EP)	kg PO ₄ eq	0,116	0,088
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	kg C ₂ H ₄ eq	0,15	0,061

5.2.7 Warmgewalst staal

De milieu-impact van de productfase van warmgewalst staal wordt voor 78% geleverd door de productfase van nieuw staal⁶² (zie 4.4.7). Het elektrisch productieproces⁶³ (met gerecycleerd staal) is verantwoordelijk voor 9% van de impactscore. De overige 13% worden veroorzaakt door het warmwalsen⁶⁴ van de stalen profielen. Een overzicht van de bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore van de productfase van 1 m³ warmgewalst staal is te vinden op Figuur 141.

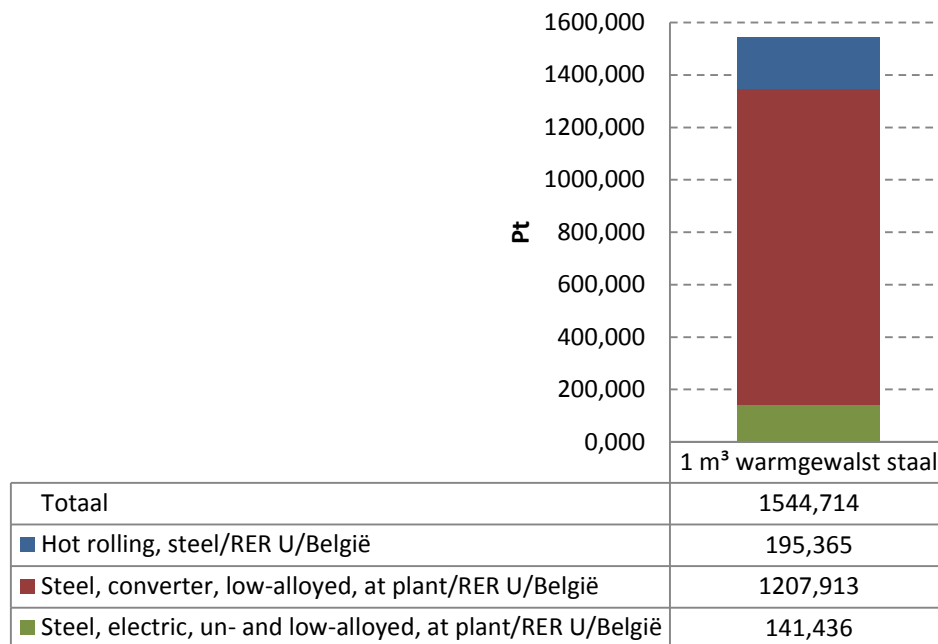
Zoals bij de eerder besproken materialen zijn fossiele uitputting en klimaatsverandering de milieu categorieën die het meest beïnvloed worden bij de productfase van 1 m³ warmgewalst staal. 39% van de totale milieuscore is te wijten aan emissies die bijdragen tot de klimaatsverandering, terwijl 33% toe te kennen is aan fossiele uitputting. Beide hoge waarden zijn voornamelijk te wijten aan de productfase van nieuw staal: bij klimaatsverandering heeft dit proces een bijdrage van 80%, bij

⁶² *Steel, converter, low-alloyed, at plant/RER U/ België*

⁶³ *Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U/België*

⁶⁴ *Hot rolling, steel/RER U/België*

fossiele uitputting 76%. Voorts vallen nog de fijnstofvorming (17%) en de vergiftiging (9%) op (zie Figuur 133).



Figuur 141: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m³ warmgewalst staal

De bekomen resultaten worden ter controle vergeleken met de waarden afkomstig uit de EPD-analyse van Grymafer (Vademecum staal, 2013). De EPD-analyse omvat het gehele productieproces van warmgewalst staal, inclusief de ontginning en het transport van de grondstoffen. Omdat er in de EPD-analyse van Grymafer geen gegevens vermeld staan over recyclage wordt in deze vergelijking enkel de productfase in rekening gebracht. In Tabel 29 wordt de vergelijking voor 1 kg warmgewalst staal weergegeven, waaruit blijkt dat de waarden in dezelfde grootteorde liggen.

De tweede EPD-analyse is afkomstig van de *Norwegian EPD Foundation* (EPD Steel structures, 2015). In deze analyse wordt ook het aanbrengen van een coating op de structurele elementen in rekening gebracht. Dit verklaart waarom de resultaten uit deze masterproef lager zijn dan de resultaten uit de EPD-analyse. Voor de rest komen de systeemgrenzen van beide analyses wel overeen.

Tabel 29: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 kg warmgewalst staal

	Eenheid	Eigen onderzoek	Literatuur	
			Vademecum staal, 2013	EPD Steel structures, 2015
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ eq	1,71	1,68	2,20
Ozone depletion potential (ODP)	kg R11 eq	6,28E-08	4,23E-08	1,71E-07
Acidification potential (AP)	kg SO ₂ eq	5,55E-03	1,79E-03	1,07E-02
Eutrophication potential (EP)	kg PO ₄ eq	3,50E-03	1,58E-04	2,28E-03
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	kg C ₂ H ₄ eq	1,62E-03	2,98E-04	1,18E-03

5.2.8 Koudgevormd staal

Bij de productfase van koudgevormd staal (zie 4.4.8), is 76% van de totale impact afkomstig van het productfaseproces van nieuw staal⁶⁵. Het elektrisch productieproces⁶⁶ is verantwoordelijk voor 9% van de totale impact. De overige 15% van de milieu-impact ten gevolge van het productfaseproces van koudgevormd staal wordt geleverd voor het koud vervormen⁶⁷ van de stalen elementen. Een overzicht van de bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore van de productfase van 1 m³ koudgevormd staal is te vinden op Figuur 142.

De milieu-indicatoren die het meest beïnvloed worden zijn dezelfde als bij de productfase van 1 m³ warmgewalst staal. 33% van de totale impact heeft een invloed op de fossiele uitputting, 39% op de klimaatsverandering. De impact op andere milieu-categorieën zijn gelijkaardig aan de productfase van 1 m³ warmgewalst staal (zie Figuur 133).

Ter controle wordt 1 ton koudgevormd staal, afkomstig uit dit onderzoek, vergeleken met de waarden afkomstig uit een EPD-analyse, uitgevoerd door IBU in 2014 (EPD Cold Rolled Steel, 2004). De analyse houdt zowel rekening met de productfase als de eindverwerking van het koudgevormd staal. Tabel 30 geeft de resultaten weer waaruit blijkt dat er kleine verschillen zijn tussen beide onderzoeken. Deze verschillen kunnen toegewezen worden aan de staalsamenstelling. De literatuur maakt gebruik van 60,8% gerecycleerd staal in de productie, dit is beduidend meer dan de 32,4% gebruikt in deze studie. Dit kan verklaren waarom de waarden, op *Acidification potential* na, lager zijn.

Tabel 30: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 ton koudgevormd staal

	Eenheid	Eigen onderzoek	Literatuur (EPD Cold Rolled Steel, 2014)
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ eq	1780	1690
Ozone depletion potential (ODP)	kg R11 eq	6,50E-05	-2,12E-05
Acidification potential (AP)	kg SO ₂ eq	5,99	7,9
Eutrophication potential (EP)	kg PO ₄ eq	3,68	0,17
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	kg C ₂ H ₄ eq	1,44	1

Als extra controle wordt in Tabel 31 een vergelijking gedaan met literatuur van de firma Ruukki Construction (EPD Cold-formed steel, 2014). De systeemgrenzen in beide analyses zijn dezelfde, namelijk de ontginning en productie van de grondstoffen, het transport van de grondstoffen en de productie van het nieuwe materiaal. De recyclagehoeveelheid bij de analyse van de firma Ruukki Construction is 20%, bij dit onderzoek is dit 32,4%. Ondanks de kleinere hoeveelheid gerecycleerd

⁶⁵ Steel, converter, low-alloyed, at plant/RER U/ België

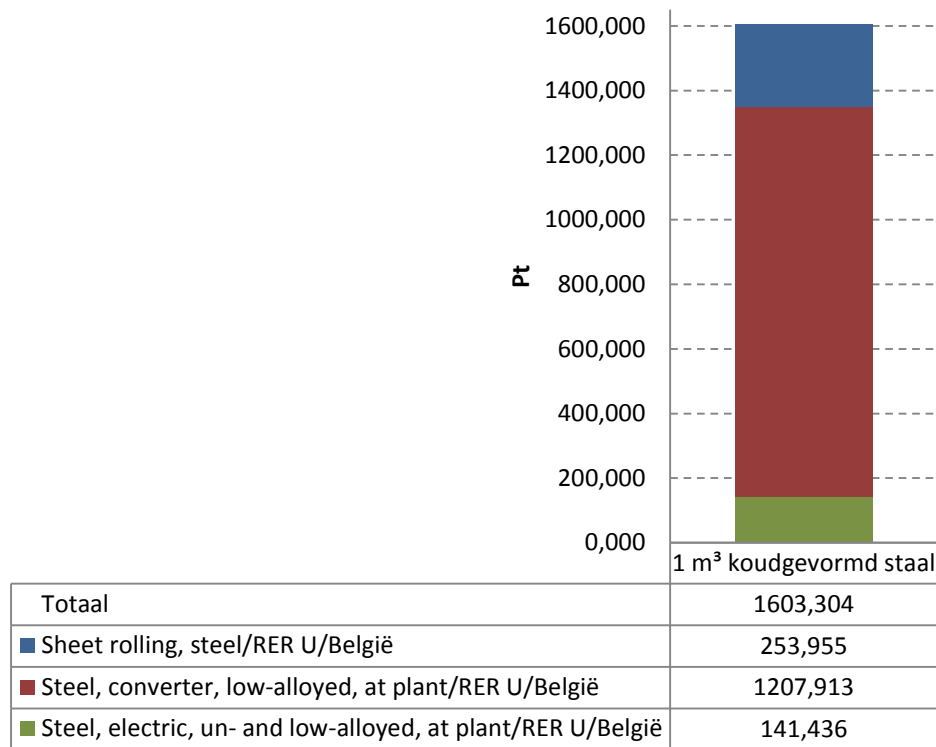
⁶⁶ Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U/België

⁶⁷ Sheet rolling, steel/RER U/België

staal, is EPD van de firma Ruukki beter dan de EPD horende bij deze masterproef. Een verklaring voor dit fenomeen is moeilijk te vinden.

Tabel 31: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 ton koudgevormd staal

	Eenheid	Eigen onderzoek	Literatuur (EPD Cold-formed steel, 2014)
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ eq	1780	1430
Ozone depletion potential (ODP)	kg R11 eq	6,50E-05	5,55E-05
Acidification potential (AP)	kg SO ₂ eq	5,99	3,69
Eutrophication potential (EP)	kg PO ₄ eq	3,68	0,4896
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	kg C ₂ H ₄ eq	1,44	1,562



Figuur 142: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m³ koudgevormd staal

5.2.9 Wapeningsstaal

De milieu-impact van de productfase van wapeningsstaal (zie 4.4.9) wordt voor 73% geleverd door de productfase van nieuw staal⁶⁸. Het elektrisch productieproces⁶⁹ is verantwoordelijk voor 11% van de impactscore. De overige 16% worden veroorzaakt door het warmwalsen⁷⁰ van het staal. Een overzicht

⁶⁸ Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U/ België

⁶⁹ Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U/België

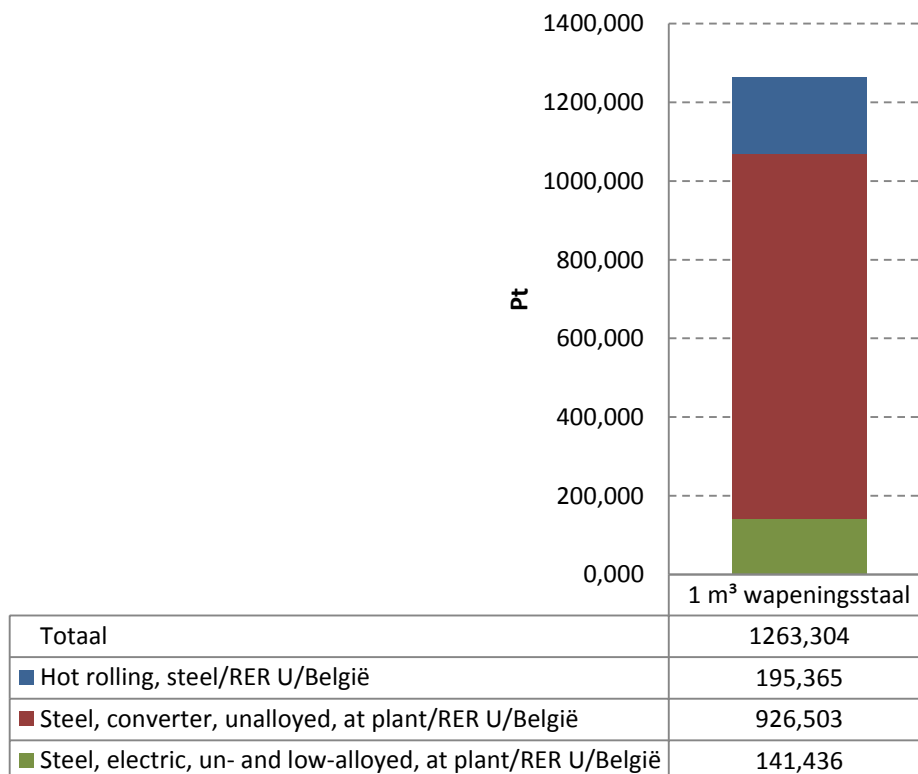
⁷⁰ Hot rolling, steel/RER U/België

van de bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore van de productfase van 1 m³ wapeningsstaal is te vinden op Figuur 143.

Figuur 133 toont dat fossiele uitputting en de klimaatsverandering de milieu-indicatoren, die bij de productfase van 1 m³ wapeningsstaal, zijn die het meest beïnvloed worden. 35% van de totale impact heeft een invloed op de fossiele uitputting en 40% op de klimaatsverandering. De andere opvallende milieu-indicatoren zijn vergiftiging (8%) en fijnstofvorming (15%).

In Tabel 32 wordt de vergelijking gemaakt tussen de resultaten afkomstig uit dit onderzoek en de waarden afkomstig uit een EPD-analyse van de The Norwegian EPD Foundation (EPD Reinforcement steel, 2015). In deze analyse wordt de gehele productfase in rekening gebracht, namelijk de ontginning van de benodigde grondstoffen, de transport van deze grondstoffen naar de fabriek en de productie van het wapeningsstaal. In deze analyse zijn er geen gegevens beschikbaar over de hoeveelheid gebruikt recyclagestaal. De verschillen tussen beide analyses zijn moeilijk te verklaren, maar waarschijnlijk te wijten aan een verschil in gerecycleerde staalhoeveelheid.

Een tweede vergelijking wordt uitgevoerd met behulp van de EPD-analyse van Commercial Metals Company (CMC) (EPD Concrete reinforcing steel, 2015). In deze EPD-analyse is geen recyclage van staal in rekening gebracht, dit verklaard waarom deze waarden groter zijn dan de waarden afkomstig van de *Norwegian EPD Foundation*. Waarom de waarden afkomstig uit het eigen onderzoek groter zijn, is moeilijk te verklaren.



Figuur 143: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m³ wapeningsstaal

Tabel 32: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 kg wapeningsstaal

	Eenheid	Eigen onderzoek	Literatuur	
			EPD Reinforcement steel, 2015	EPD Concrete reinforcing steel, 2015
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ eq	1,71	0,52	0,850
Ozone depletion potential (ODP)	kg R11 eq	6,28E-08	7,24E-08	1,67E-10
Acidification potential (AP)	kg SO ₂ eq	5,55E-03	3,86E-04	2,20E-03
Eutrophication potential (EP)	kg PO ₄ eq	3,50E-03	1,17E-04	8,48E-05
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	kg C ₂ H ₄ eq	1,62E-03	1,94E-03	2,67E-02

5.2.10 Glulam

Bij de productfase van glulam (zie 4.4.10) wordt de milieu-impactscore voornamelijk beïnvloed door de productfase van gezaagd naaldhout⁷¹. 85% van de score is afkomstig van de productfase van dit gezaagd naaldhout. Voorts hebben elektriciteitsverbruik⁷², transport van de grondstoffen⁷³, productie van ureaformaldehydehars⁷⁴ en houtsnippers⁷⁵ een merkbare bijdrage, respectievelijk 4%, 3%, 4% en 4%. Een overzicht van de bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore van de productfase van 1 m³ wapeningsstaal is te vinden op Figuur 144.

Bij de productfase van glulam is de bezetting van landbouwgrond de milieu-categorie die het meest beïnvloed wordt (77%). Deze landbouwgrondbezetting is bijna uitsluitend te wijten aan de ontginning van het hout. Voorts zijn de klimaatsverandering en fossiele uitputting (beide 8%) de andere dominante milieu-categorieën (zie Figuur 134). Dit ten gevolge van de productie van ureaformaldehydehars, gezaagd naaldhout en het elektriciteitsverbruik.

Ter controle worden de bekomen resultaten vergeleken met een EPD-analyse, welke uitgevoerd is door American Wood Council (EPD glulam, 2013). Het hout, gebruikt in de EPD-analyse van het American Wood Council, is voor 98,50% opgebouwd uit via een oven gedroogd hout, 1,25% uit *phenol resorcinol formaldehyde resin*, 0,15% uit *melamine urea formaldehyde resin*, 0,07% *polyurethane resin*, 0,02% uit *resorcinol formaldehyde resin* en 0,01% uit *melamine formaldehyde resin*. Deze studie is een *Business-to-Business* EPD, waardoor het gehele productieproces vanaf de ontginning van de grondstoffen, productie van de secundaire grondstoffen (bv. *melamine formaldehyde resin*), het transport van de grondstoffen tot het klaarmaken voor het transport inbegrepen is. Bij gebrek aan Europese EPD-analyses wordt gebruik gemaakt van Amerikaanse,

⁷¹ Sawn timber, softwood, raw, air dried, u=20%, at plant/RER U/België

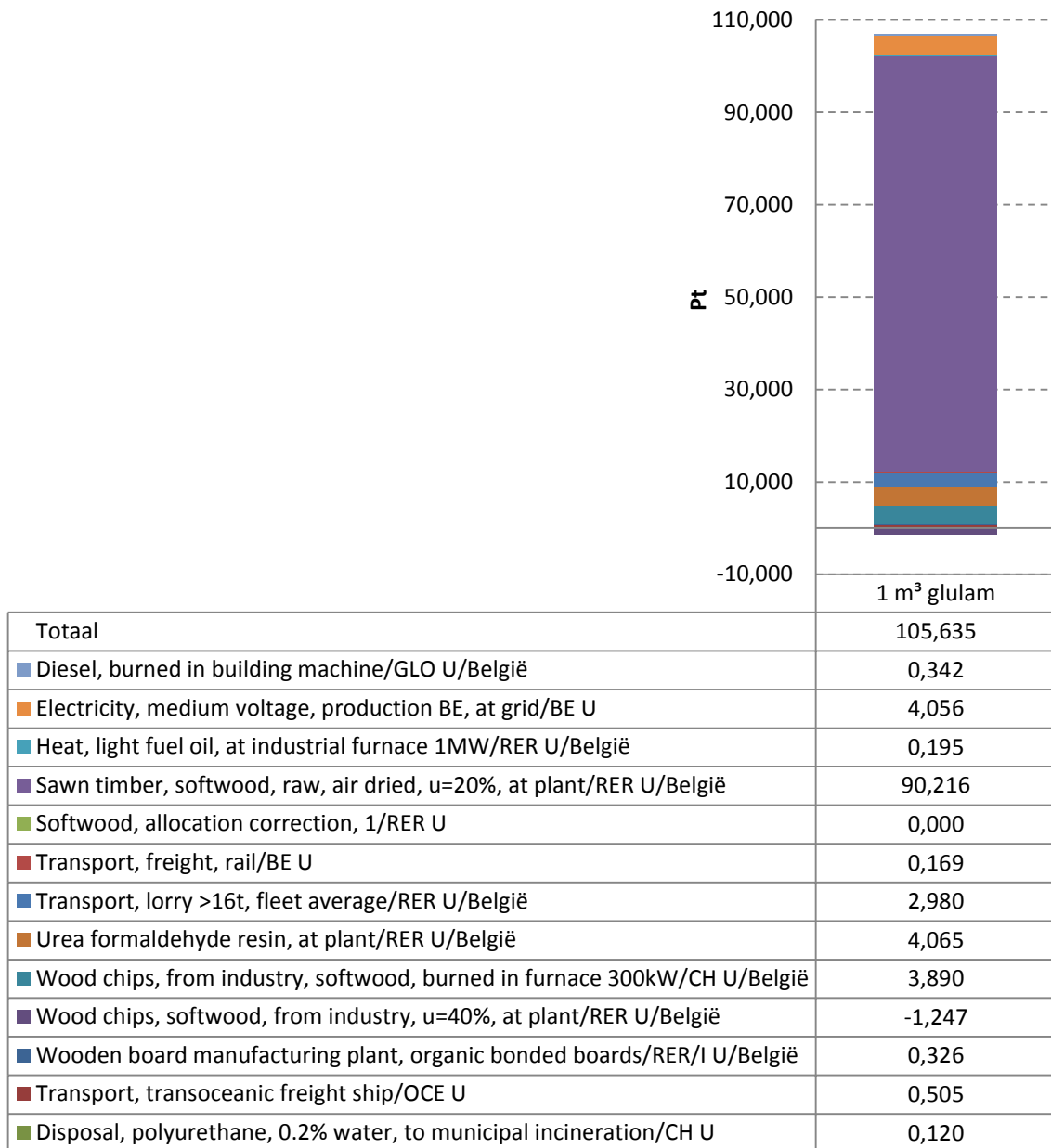
⁷² Electricity, medium voltage, production BE, at grid/BE U

⁷³ Transport, freight, rail/BE U; Transport, lorry>16t, fleet average/RER U/België

⁷⁴ Urea formaldehyde resin, at plant/RER U/België

⁷⁵ Wood chips, from industry, softwood, burned in furnace 300 kW/CH U/België

waardoor de analyse niet meer wordt uitgevoerd met EPD(2008)-rekenmethode maar met Traci 2. De vergelijking van de bekomen resultaten zijn terug te vinden in Tabel 33.



Figuur 144: De bijdrage van elk subprocess aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m³ glulam

Als tweede controle wordt een EPD-analyse van Nordic Structures (EPD glulam, 2011) gebruikt. Hierbij wordt voor de productie van 1 m³ glulam hout 417 kg oven gedroogd hout en 12,34 kg hars in rekening gebracht. De in rekening gebrachte systeemgrenzen beginnen bij de ontginning en de productie van de grondstoffen en eindigen bij het afgewerkte nieuw product.

Tabel 33: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 m³ glulam

	Eenheid	Eigen onderzoek	Literatuur	
			EPD glulam, 2013	EPD glulam, 2011
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ eq	188	197,97	113,24
Ozone depletion potential (ODP)	kg R11 eq	1,99E-05	0	1,17E-06
Acidification	H ⁺ moles eq	69,2	102,67	57,98
Eutrophication	kg N eq	0,399	0,1198	0,139

5.2.11 OSB

De milieuscore, toegekend aan de productfase van OSB (zie 4.4.11), wordt voornamelijk veroorzaakt door de productie van fenolhars⁷⁶, een soort lijm voor de houtvezels (45%). Verder zorgt industrieel hout⁷⁷ voor 24% van de totale impact. Het elektriciteitsverbruik⁷⁸, het gebruik van houtsnippers⁷⁹ en het transport van de grondstoffen⁸⁰ zijn verantwoordelijk voor respectievelijk 8%, 8% en 7%. Een overzicht van de bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore van de productie van 1 m³ wapeningsstaal is te vinden op Figuur 145.

Fossiele uitputting (38%) en de klimaatsverandering (27%) zijn de meest aangetaste milieu-impact categorieën. Hierbij is de productie van fenolhars de grootste verantwoordelijke voor beide indicatoren. 24% van de totale impact is verantwoordelijk voor de bezetting van de landbouwgrond, waarvan 88% afkomstig is van de ontginning van hout. Fijnstofvorming (6%) en vergiftiging (4%) zijn eveneens merkbaar aangetaste milieu categorieën (zie Figuur 134).

Om de resultaten te controleren, worden ze vergeleken met waarden gevonden in een EPD-analyse van Egger (EPD OSB, 2012). In deze analyses worden alle ontginningsprocessen, productieprocessen van andere grondstoffen, transport en verpakking van deze grondstoffen, het uiteindelijke productieproces van OSB en de verpakking van het afgewerkt product in rekening gebracht. Hierbij valt op dat het *Global Warming Potential* (GWP) gelijkaardig is bij beide studies, net zoals het *Ozone depletion potential* (ODP). De overige parameters zijn verschillend.

De tweede vergelijking wordt uitgevoerd met behulp van de EPD-analyse van het American Wood Council en Canadian Wood Council (EPD OSB, 2013). Hierbij zijn de systeemgrenzen identiek zoals hierboven besproken.

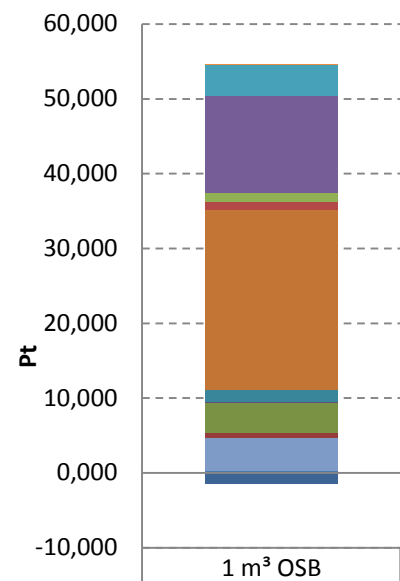
⁷⁶ Phenolic resin, at plant/RER U/België

⁷⁷ Industrial wood, softwood, under bark, u=140%, at forest road/RER U/België

⁷⁸ Electricity, medium voltage, production BE, at grid/BE U

⁷⁹ Wood chips, from industry, softwood, burned in furnace 300 kW /CH U/België

⁸⁰ Transport, freight, rail/BE U; Transport, lorry>16t, fleet average/RER U/België; Transport, transoceanic freight ship/OCE U



Totaal	53,259
Diesel, burned in building machine/GLO U/België	0,153
Electricity, medium voltage, production BE, at grid/BE U	4,087
Industrial wood, softwood, under bark, u=140%, at forest road/RER U/België	12,947
Natural gas, burned in industrial furnace >100kW/RER U/België	1,209
Paraffin, at plant/RER U/België	1,114
Phenolic resin, at plant/RER U/België	24,043
Residual wood, softwood, under bark, air dried, u=20%, at forest road/RER U/België	1,563
Transport, freight, rail/BE U	0,224
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België	3,958
Transport, transoceanic freight ship/OCE U	0,671
Wood chips, from industry, softwood, burned in furnace 300kW/CH U/België	4,355
Wood chips, softwood, from industry, u=40%, at plant/RER U/België	-1,394
Wooden board manufacturing plant, organic bonded boards/RER/I U/België	0,326

Figuur 145: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m³ OSB

Tabel 34: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 m³ OSB

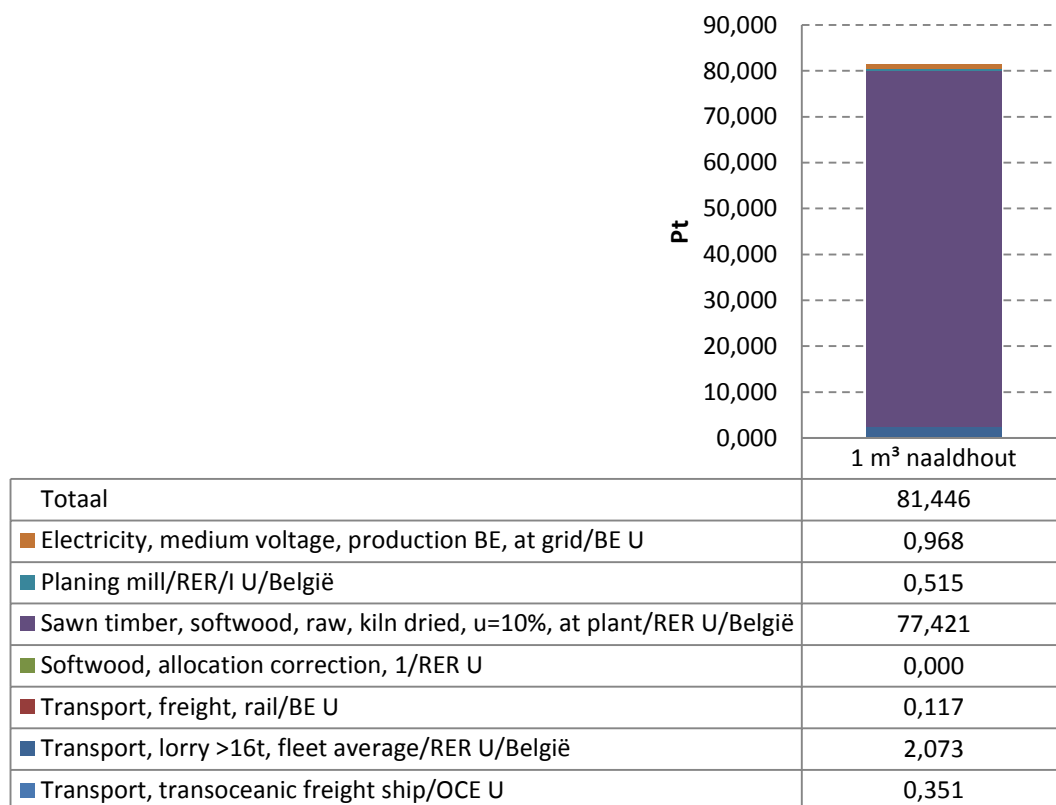
	Eenheid	Eigen onderzoek	Literatuur (EPD OSB, 2012)
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ eq	307	327,82
Ozone depletion potential (ODP)	kg R11 eq	1,81E-05	1,07E-05
Acidification potential (AP)	kg SO ₂ eq	1,22	0,613
Eutrophication potential (EP)	kg PO ₄ eq	0,419	0,0878
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	kg C ₂ H ₄ eq	0,502	0,0532

Tabel 35: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 m³ OSB

	Eenheid	Eigen onderzoek	Literatuur (EPD OSB, 2013)
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ eq	307	248,30
Ozone depletion potential (ODP)	kg CFC-11 eq	1,75E-05	0,000
Acidification potential (AP)	H ⁺ moles eq	79,9	130,48
Eutrophication potential (EP)	kg N eq	0,748	0,1021

5.2.12 Naaldhout

De productfase van gezaagd naaldhout⁸¹ (mechanisch gedroogd tot u=10%) (zie 4.4.12) is de voornaamste verantwoordelijke voor de totale milieu-impact ten gevolge van de productfase van naaldhout. Het ligt aan de basis voor maar liefst 95% van de totale impactscore. Het transport van de grondstoffen⁸² (vrachtwagen, trein en schip) zorgt voor 3% van de totale score. De impact van de overige processen is kleiner dan 2%. Een overzicht van de bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore van de productfase van 1 m³ naaldhout is te vinden in Figuur 146.

**Figuur 146: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m³ naaldhout**

⁸¹ Sawn timber, softwood, raw, kiln dried, u=10%, at plant/RER U/België

⁸² Transport, freight, rail/BE U; Transport, lorry >16t, fleet average/RER U/België; Transport, transoceanic freight ship/OCE U

Figuur 134 toont dat de bezetting van de landbouwgrond veruit de meest aangetaste milieu-indicator is. 83% van de totale milieu-impact heeft deze impact categorie tot gevolg. De oorzaak hiervan is toe wijzen aan de ontginning van hout. Andere merkbaar aangetaste milieu-categorieën zijn de klimaatsverandering (6%) en de fossiele uitputting (5%). De transportprocessen, productie van elektriciteit en het mechanisch gedroogd naaldhout zijn hiervoor hoofdzakelijk verantwoordelijk.

In Tabel 36 is te zien dat de resultaten op vlak van grootteorde overeenstemmen met de waarde gevonden in de literatuur, een EPD-analyse van het *American Wood Council* in samenwerking met het *Canadian Wood Council* (EPD Softwood, 2013). De systeemgrenzen van deze analyse bevatten de ontginning van de grondstoffen, het transport van de grondstoffen naar de fabriek en de productieprocessen in de houtzagerij. Doordat er sprake is van een Amerikaanse EPD-analyse, wordt de analyse in SimaPro uitgevoerd met behulp van de Traci 2-rekenmethode.

Als extra controle wordt de vergelijking gemaakt met de LCA-studie uitgevoerd door Puettmann, Oneil, Milota & Johnson (2013). In deze LCA-studie wordt de *cradle-to-gate* analyse bekeken van de productfase van 1 m³ naaldhout, welke overeenstemt met de materiaalvergelijking welke hier wordt uitgevoerd.

Tabel 36: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 m³ naaldhout

	Eenheid	Eigen onderzoek	Literatuur	
			EPD Softwood, 2013	Puettmann, Oneil, Milota & Johnson, 2013
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ eq	102	72,64	60,65
Ozone depletion potential (ODP)	kg R11 eq	1,04E-05	0,00	0,00
Acidification	H ⁺ moles eq	41	42,25	40,95
Eutrophication	kg N eq	0,225	0,0326	0,0495

5.2.13 LVL

De productfase van gedroogd fineerhout⁸³ (zie 4.4.13) is verantwoordelijk voor 83% van de totale impact horende bij de productfase van 1 m³ gelamineerd hout. De productie van fenolformaldehydhar⁸⁴, gebruikt om de verschillende lagen fineerhout aan elkaar te plakken, staat garant voor 5% van de totale impact, net zoals de elektriciteit⁸⁵ nodig op de productiesite van het gelamineerd hout. Het transport⁸⁶ van het hout over de weg, de spoorweg en het water zorgt voor 3% van de totale impact. Ook de aardgas⁸⁷, verbrand tijdens het productieproces, heeft een impact van 3%

⁸³ Dry veneer, at plywood plant, US SE/US/met_ontginning

⁸⁴ Phenol formaldehyde, at plant/US

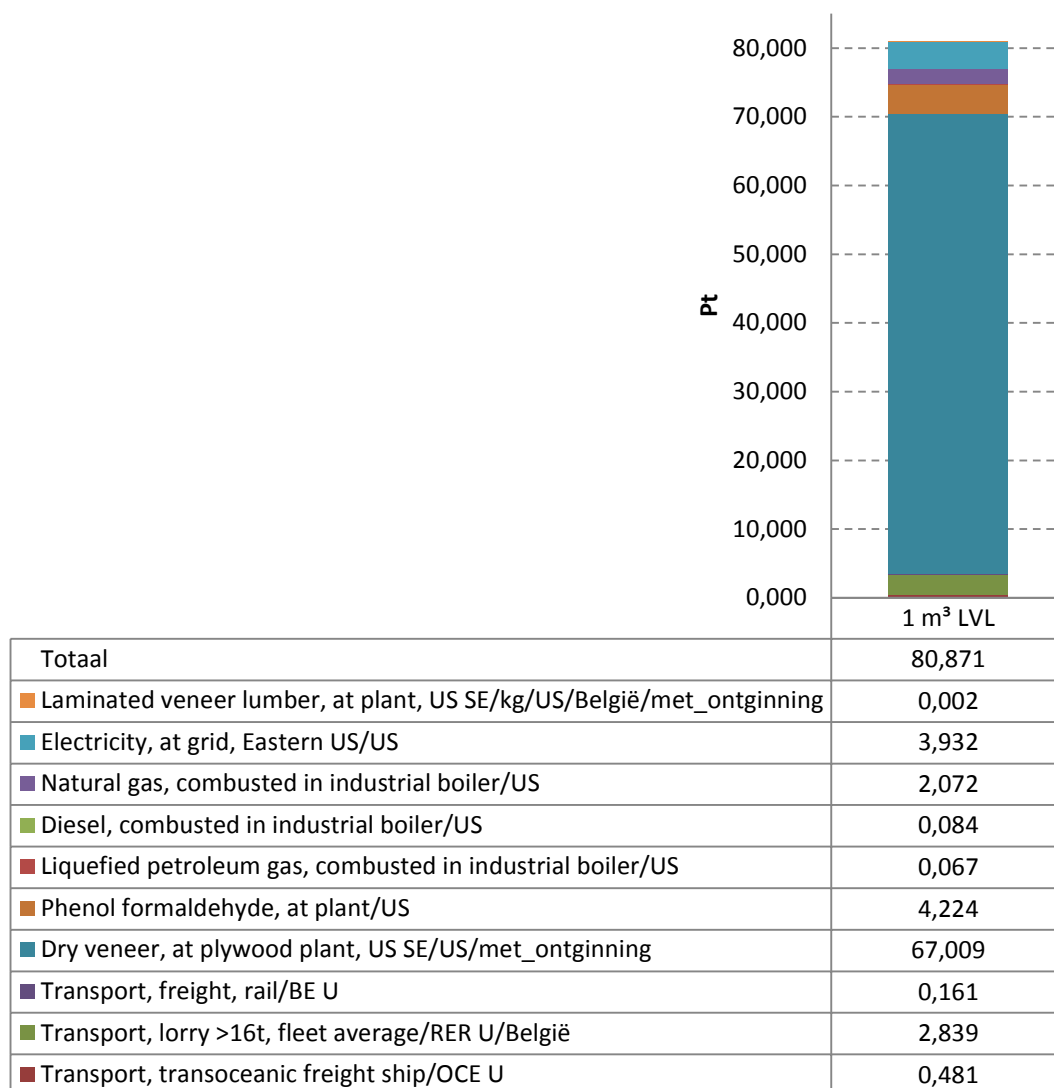
⁸⁵ Electricity, at grid, Eastern US/US

⁸⁶ Transport, freight, rail/BE U; Transport, lorry > 16t, fleet average/RER U/België; Transport, transoceanic freight ship/OCE U

⁸⁷ Natural gas, combusted in industrial boiler/US

op de totale score. In Figuur 147 wordt een overzicht van de bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore van de productfase van 1m³ gelamineerd hout getoond.

De bezetting van de landbouwgrond, is net zoals bij de andere houten materialen, de meest aangetaste milieu-indicator (69% van de totale milieu-impactscore) (zie Figuur 134). De voornaamste bron van deze milieu-indicator is de ontginning van het hout. De andere opvallende milieu-categorieën zijn de klimaatsverandering (12%), fossiele uitputting (13%) en fijnstofvorming (3%). Bij de klimaatsverandering en de fossiele uitputting zijn de transportprocessen en de productieprocessen van elektriciteit, aardgas, gedroogd fineerhout en fenolformaldehyde de voornaamste bronnen. Bij de fijnstofvorming is deze bijdrage voornamelijk te wijten aan de productieprocessen van elektriciteit, aardgas, gedroogd fineerhout en fenolformaldehyde.



Figuur 147: De bijdrage van elk subproces aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 m³ LVL

In Tabel 37 wordt de vergelijking weergegeven van de impactscore, horende bij de productfase van 1 m³ gelamineerd hout, uit de literatuur en in dit onderzoek. Aangezien de literatuur bestaat uit een

Amerikaans onderzoek (EPD LVL, 2013), wordt de EPD-analyse uitgevoerd met behulp van de Traci 2 rekenmethode. In de literatuur is het LVL hout voor 97,54% opgebouwd uit hout, 2,41% uit fenolformaldehydehars, 0,02% uit *phenol resorcinol formaldehyde resin* en 0,03% uit vulstoffen. Aangezien deze Amerikaanse studie een *Business-to-Business* EPD uitvoert, bevatten de systeemgrenzen de ontginning van de grondstoffen, de productie van secundaire grondstoffen (zoals bij formaldehydehars), het transport van de grondstoffen naar de fabriek en de productie van het nieuw materiaal. De waarden afkomstig uit dit onderzoek blijken van dezelfde grootte orde te zijn als de waarden afkomstig uit de Amerikaanse studie.

De extra controle wordt uitgevoerd op basis van een *Cradle-to-Gate* studie van Athena Sustainable Materials Institute (2013). Aangezien het om een *Cradle-to-Gate* analyse gaat, wordt alles in rekening gebracht vanaf de ontginning van de grondstoffen tot het realiseren van het afgewerkte nieuw product.

Tabel 37: Vergelijking met literatuur voor de productfase van 1 m³ LVL

	Eenheid	Eigen onderzoek	Literatuur	
			EPD LVL, 2013	Athena Sustainable Materials Institute, 2013
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ eq	208	201,8	147,18
Ozone depletion potential (ODP)	kg R11 eq	8,56E-06	0	2,59E-07
Acidification	H ⁺ moles eq	94,4	10,7	63,94
Eutrophication	kg N eq	0,153	0,0855	0,0628

5.2.14 I-Joist

De globale scores horende bij de productfase van I-Joist balken (zie 4.4.14) wordt bekeken per kg, omdat de verhouding OSB-lijfplaat en LVL-fenzen verschillend is voor de overspanning van 4 en 6 m. Bij een overspanning van 4 m (zie Figuur 148) blijkt dat de productfase van OSB⁸⁸ en LVL⁸⁹ de grootste impact veroorzaakt, namelijk 21% en 72%. Ook de transportprocessen⁹⁰ (3%), het productie proces van *Methylene diphenyl diisocyanate*⁹¹ (2%) en elektriciteit⁹² (1%) hebben een bijdrage in de totale impactscore. De invloed van de overige processen is kleiner dan 1%. Bij de productfase van een I-Joist ligger voor een overspanning van 6 m, draagt de productfase van OSB voor 25% bij tot de totale score en de productfase van LVL voor 68%. De impact van de andere processen is gelijkaardig aan de productfase van 4 m.

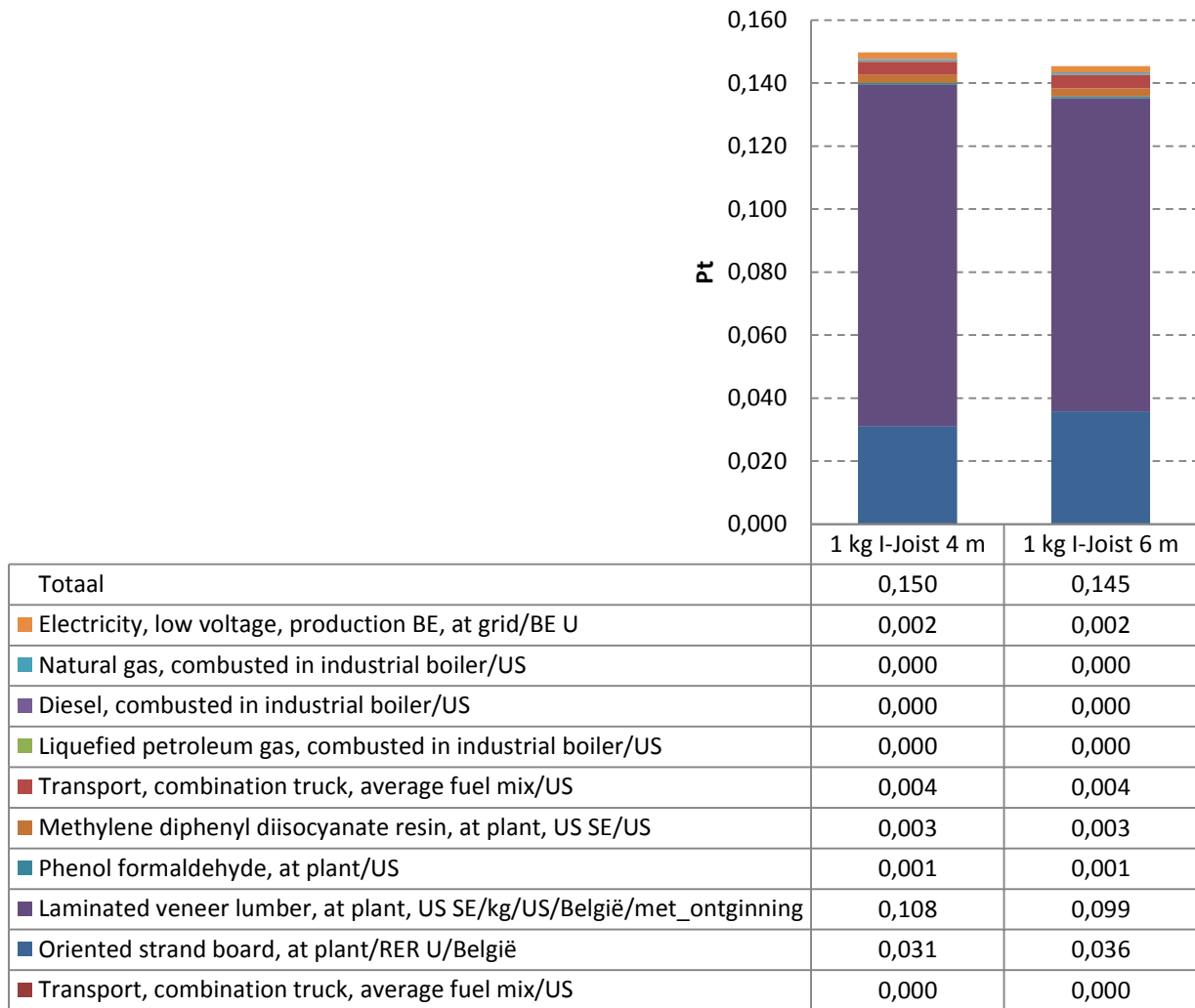
⁸⁸ *Oriented strand board, at plant/RER U/België*

⁸⁹ *Laminated veneer lumber, at plant US SE/kg/US/België/met_ontginning*

⁹⁰ *Transport, combination truck, average fuel mix/US*

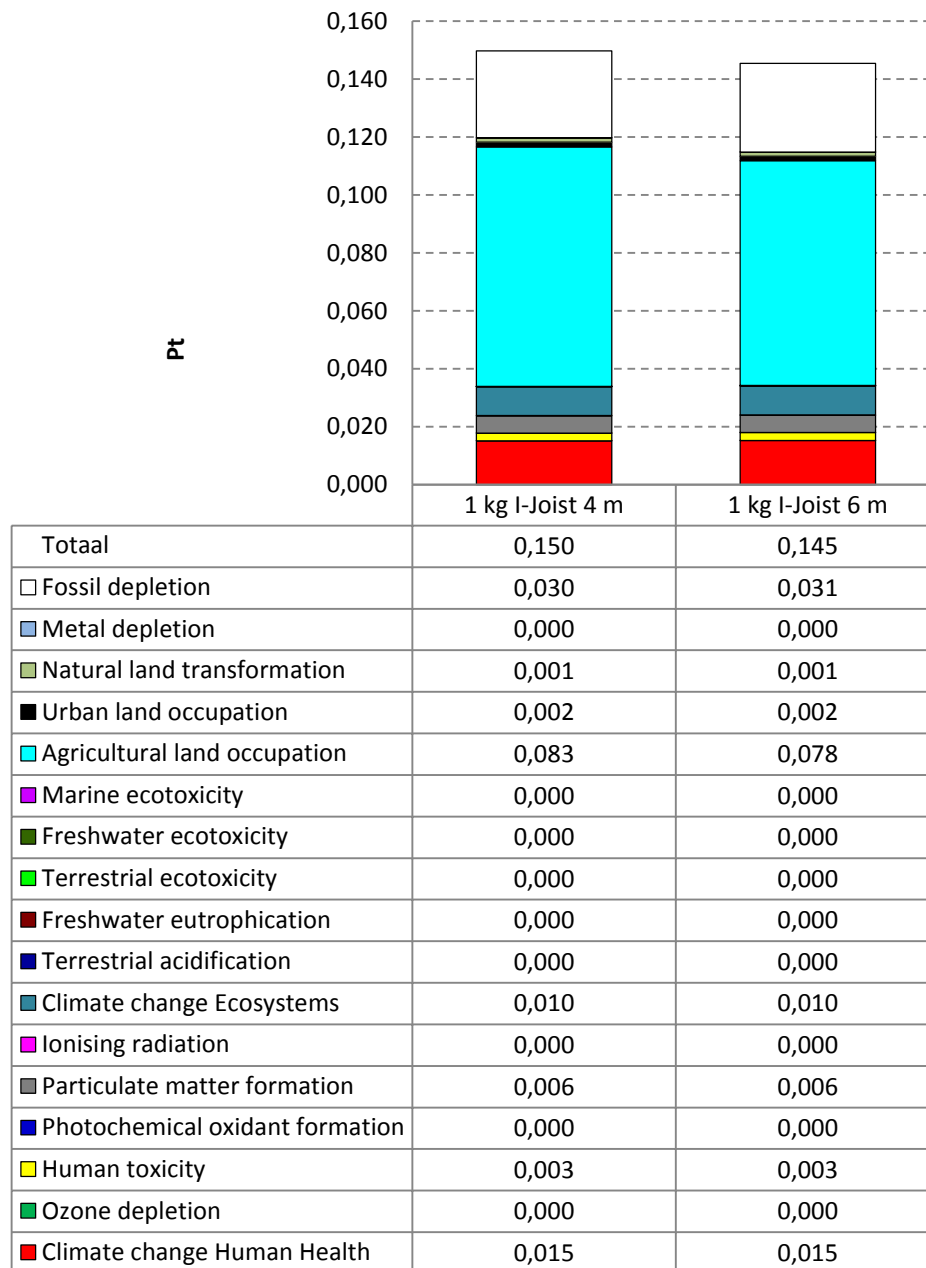
⁹¹ *Methylene diphenyl diisocyanate resin, at plant, US SE/US (wordt in de productie van I-Joist liggers gebruikt als lijm. (MDI, 2000))*

⁹² *Electricity, low voltage, production BE, at grid/BE U*



Figuur 148: De bijdrage van elk subprocess aan de totale milieu-impactscore bij de productfase van 1 kg I-Joist gebruikt voor een overspanning van 4 m

Bij de productfase van 1 kg I-Joist ligger voor een overspanning van 4 m zijn de milieu-indicatoren, bezetting van de landbouwgrond, fossiele uitputting en klimaatsverandering de meest dominante indicatoren, respectievelijk met 42%, 20% en 16% (zie Figuur 149). Voorts vallen de indicatoren bezetting van de fijnstofvorming (4%) en vergiftiging (2%) op. Bij de productfase van een I-Joist ligger voor een overspanning van 6 m is een gelijkaardig patroon waarneembaar. De milieu-indicator fossiele uitputting draagt voor 21% bij, terwijl de bezetting van de landbouwgrond voor 53% bijdraagt. Voorts valt de milieu-indicator klimaatsverandering op met een bijdrage van 17%. De impact van de fijnstofvorming en de vergiftiging op de totale score zijn gelijkaardig gebleven.



Figuur 149: Milieu-impactscore van de productfase 1 kg I-joist 4 m en 1 kg I-joist 6 . Van elk wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan iedere milieucategorie weergegeven.

Om de geloofwaardigheid van de bekomen impactscore, horende bij de productfase van I-Joist balken voor een overspanning van 4 en 6 m te controleren, worden deze waarden vergeleken met de waarden afkomstig uit de EPD-analyse van het American Wood Council en Canadian Wood Council (EPD I-Joist, 2013). In deze EPD-analyse worden de waarden uitgedrukt voor een I-Joist-ligger met een lengte van 10 m, daarom wordt de hoeveelheid I-Joist, van de ligger met lengte 4 m, vermenigvuldigd met een factor 2,5. Bij de ligger met overspanning 6 m wordt het gewicht vermenigvuldigd met een factor 1,67. De I-Joist ligger is in deze EPD-analyse voor 96,01% opgebouwd uit hout (OSB + LVL), 2,65% uit fenolformaldehydehars, 0,43% uit *methylene diphenyl diisocyanate (MDI) resin*, 0,13% uit *phenol resorcinol formaldehyde resin*, 0,09% uit polyurethaanhars, 0,67% uit wax en 0,02% uit vulstoffen. De

systeemgrenzen in deze *Business-to-business* EPD bevatten de productie van het LVL en OSB (inclusief de ontginning), de productie van secundaire grondstoffen, het transport van alle grondstoffen en de productie van het nieuw materiaal. In Tabel 38 is merkbaar dat de waarde uit de literatuur grotendeels gelegen is tussen de waarde voor een overspanning van 4 m en deze voor een overspanning van 6 m.

Als extra controle worden de waarden uit dit onderzoek vergeleken met de waarden gevonden in het onderzoek van Puetmaan, Wilson & Johnson (2013). De uitgevoerde LCA is een *cradle-to-gate* studie, waardoor de ontginning van de grondstoffen, het transport van deze grondstoffen en de productie van het nieuw materiaal in rekening worden gebracht.

Tabel 38: Vergelijking met literatuur van de productfase van 10 m I-Joist

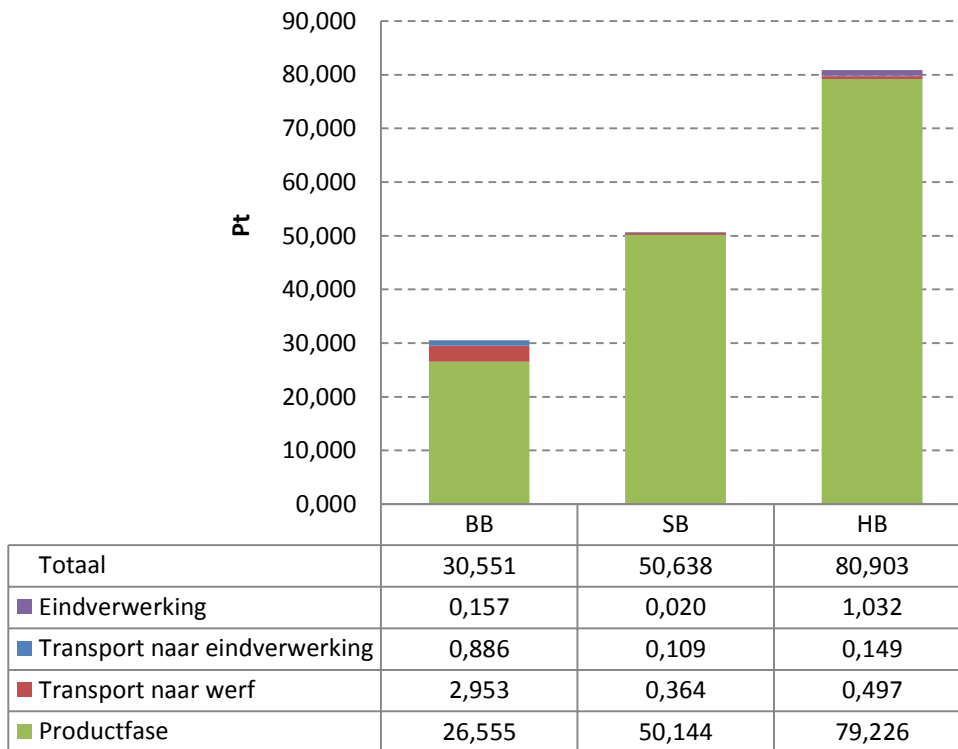
	Eenheid	Eigen onderzoek		Literatuur	
		4 m	6 m	EPD I-Joist, 2013	Puettmann, Wilson & Johnson, 2013
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ eq	16,6	24,3	16,74	18,44
Ozone depletion potential (ODP)	kg R11 eq	7,09E-07	1,06E-06	0	0
Acidification	H ⁺ moles eq	6,15	8,79	8,64	9,44
Eutrophication	kg N eq	0,0222	0,0344	0,0071	0,0074

5.3 Balkresultaten

Figuur 150 geeft de vergelijking weer van de levenscyclussen van verschillende balken voor eenzelfde belasting, namelijk de cellenbetonvloer met overspanning 4 m. De milieuscore is berekend met behulp van de Europe ReCiPe endpoint rekenmethode. Van elke balk wordt de bijdrage van de verschillende opgenomen levensfasen weergegeven. Figuur 151 geeft eveneens de vergelijking weer van de levenscyclussen van verschillende balken voor eenzelfde belasting, namelijk de cellenbetonvloer met overspanning 4 m. Hier wordt echter voor elk type balk de bijdrage aan iedere milieu-indicator weergegeven. De balktypes/-afmetingen en materiaalhoeveelheden zijn terug te vinden in Tabel 39.

Tabel 39: Type/afmetingen en massa van de balken voor eenzelfde belasting (cellenbetonvloer 4 m overspanning)

	Stalen ligger	Houten balk	Betonnen balk
Type/afmetingen	IPE300	0,25x0,50 m	0,35x0,40 m
Materiaalhoeveelheid	253,200 kg	345,000 kg	1976,063 kg beton 75,827 kg staal



Figuur 150: Vergelijking balken voor eenzelfde belasting (cellenbetonvloer 4 m overspanning). Van elke balk wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan de milieu-impact van de verschillende levensfasen weergegeven

5.3.1 Betonnen balk

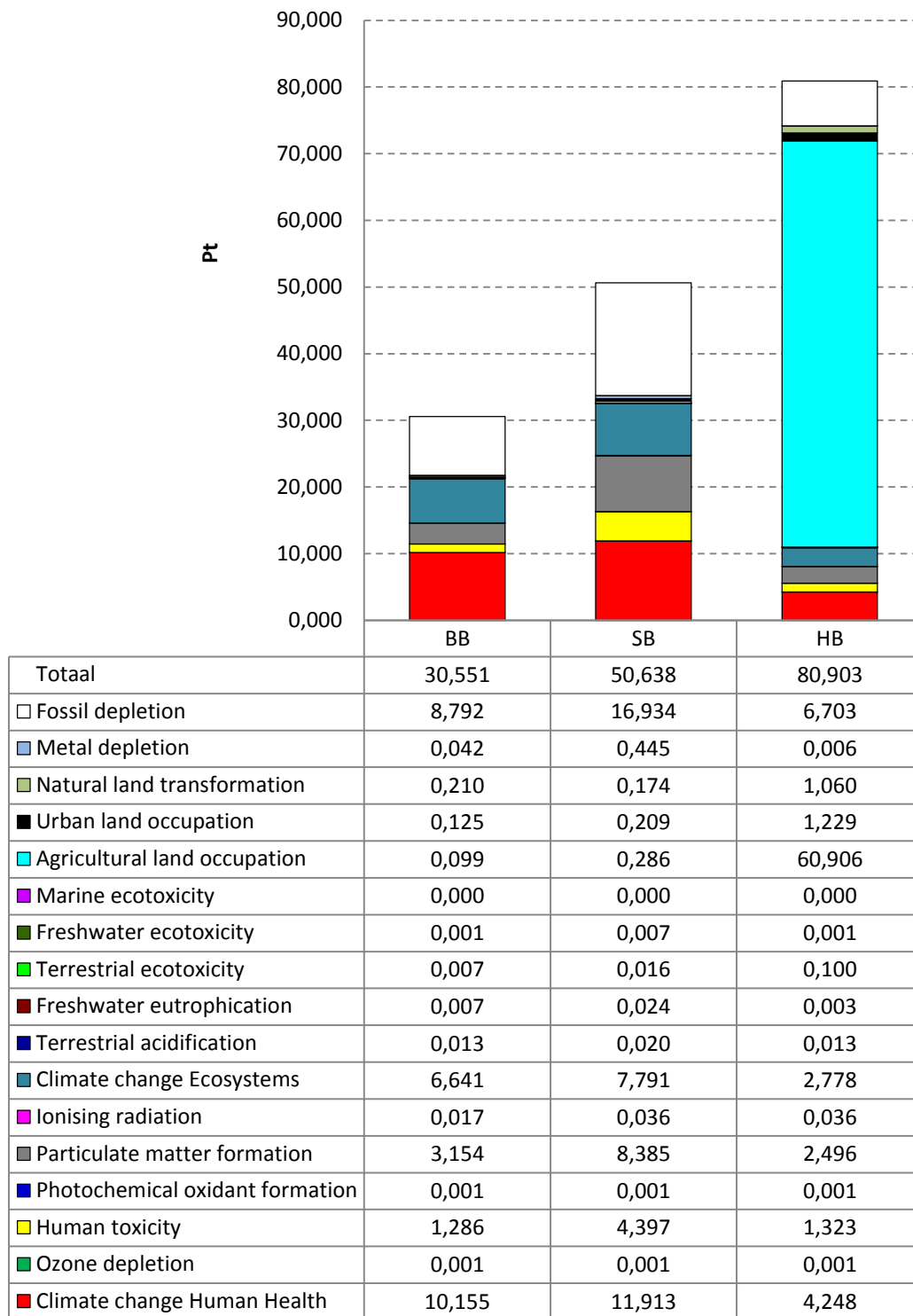
In Figuur 150 is duidelijk zichtbaar dat een betonnen balk aanleiding geeft tot de laagste milieuscore (30,551 Pt). De productfase heeft een aandeel van 87% in de totale milieu-impactscore. Doordat betonnen balken een gewicht hebben dat 5 à 10 keer groter is dan het gewicht van de stalen of houten balken, heeft het transport naar de werf en het transport naar de eindverwerking een veel grotere impact op de totale milieuscore dan bij de andere twee types balken.

De productfase van de wapening in een betonnen balk (ongeveer 4% van de massa van het beton) is verantwoordelijk voor bijna de helft (12,280 Pt van de 26,555 Pt) van de impactscore horende bij de productfase. Een gevoeligheidsanalyse (zie 6.4) toont aan wat de impact is indien er gebruik gemaakt wordt van meer staal en minder beton.

De dominante milieu-categorieën tijdens de levenscyclus van een betonnen balk zijn achtereenvolgens klimaatsverandering, fossiele uitputting, fijnstofvorming en vergiftiging (zie Figuur 151). De opgesomde indicatoren zijn dominant over de gehele levenscyclus, met ander woorden: zowel bij de productfase, transport naar de werf en EOL⁹³ zijn dit telkens de indicatoren die relatief gezien het meest aangetast worden. De andere indicatoren (zie Figuur 151) zijn van minder belang of

⁹³ End-Of-Life, eindverwerking

verwaarloosbaar. Bij het transport naar de werf en de EOL wordt de fossiele uitputting, ten gevolge van de transportprocessen dominantier dan de klimaatsverandering.



Figuur 151: Vergelijking van de milieu-impactscore van de balken voor eenzelfde belasting (cellenbetonvloer 4 m overspanning). Voor elke balk wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan iedere milieucategorie weergegeven.

5.3.2 Stalen ligger

Een stalen ligger is binnen deze systeemgrenzen minder ecologisch dan een betonnen balk (50,638 Pt). Uit Figuur 150 is af te leiden dat hoofdzakelijk de productfase van het staal bijdraagt tot de totale milieu-impactscore (99%). Aangezien een stalen balk relatief weinig weegt, zijn de voorziene transportsenario's quasi verwaarloosbaar.

Bij de productfase van de stalen ligger is er aangenomen dat er gebruikt wordt gemaakt 67,6% nieuw staal en 32,4% gerecycleerd staal. De totale impact van de stalen ligger zal sterk veranderen wanneer de hoeveelheden gerecycleerd en nieuw staal worden aangepast. Dit wordt aangetoond in een gevoeligheidsanalyse (zie 6.5).

Figuur 151 toont dat de dominante milieu-categorieën tijdens de levenscyclus van een stalen ligger vergelijkbaar zijn met degene van een betonnen balk: klimaatsverandering, fossiele uitputting, fijnstofvorming en vergiftiging. De andere indicatoren zijn van minder belang of verwaarloosbaar. De opgesomde indicatoren zijn dominant over de gehele levenscyclus. Bij het transport naar de werf en de EOL wordt de fossiele uitputting, ten gevolge van de transportprocessen dominanter dan de klimaatsverandering. Ook de vergiftiging mindert merkbaar.

5.3.3 Houten balk

Een houten balk kan beschouwd worden als de minst ecologische oplossing. De milieu-impacten ten gevolge van transportsenario's zijn vergelijkbaar met staal. Er schuilt echter een groot verschil in de milieuscore ten gevolge van de productfase en eindverwerking. De grootste bijdrage aan de milieu-impactscore van de productfase wordt geleverd door de ontginning, wat overeen stemt met de impactcategorie *Agricultural land occupation*⁹⁴, waaraan in de Europese ReCiPe-methode een groot belang wordt gehecht (zie Figuur 151).

De reden van de relatief hoge milieuscore van houten balken ten gevolge van de eindverwerking is te vinden in het feit dat glulam producten voor 5% gestort, 75% verbrand en voor slechts 20% gerecycleerd (ten opzichte van 95% bij staal- en betonproducten) worden. De energie die vrijkomt bij de verbranding wordt door SimaPro niet opgenomen in de berekeningen.

De volgorde en de lijst van dominante milieu-categorieën tijdens de levenscyclus van een betonnen balk wijzigt sterk ten opzichte van een betonnen balk of stalen ligger (zie Figuur 151). Bezetting van de landbouwgrond is met stip de meest dominante indicator. Vervolgens worden de fossiele uitputting, klimaatsverandering, fijnstofvorming, vergiftiging, stedelijke grondbezetting en landomvorming nog zichtbaar aangetast. Het transport naar de werf heeft logischerwijs dezelfde dominante indicatoren als het transport van een betonnen balk of stalen ligger. Dit geldt ook voor de EOL, al moet opgemerkt

⁹⁴ Hoeveelheid landbouwgrond dat bezet wordt voor een bepaalde tijd.

worden dat de vergiftiging relatief gezien dominanter wordt dan bij de EOL van een betonnen balk of stalen ligger.

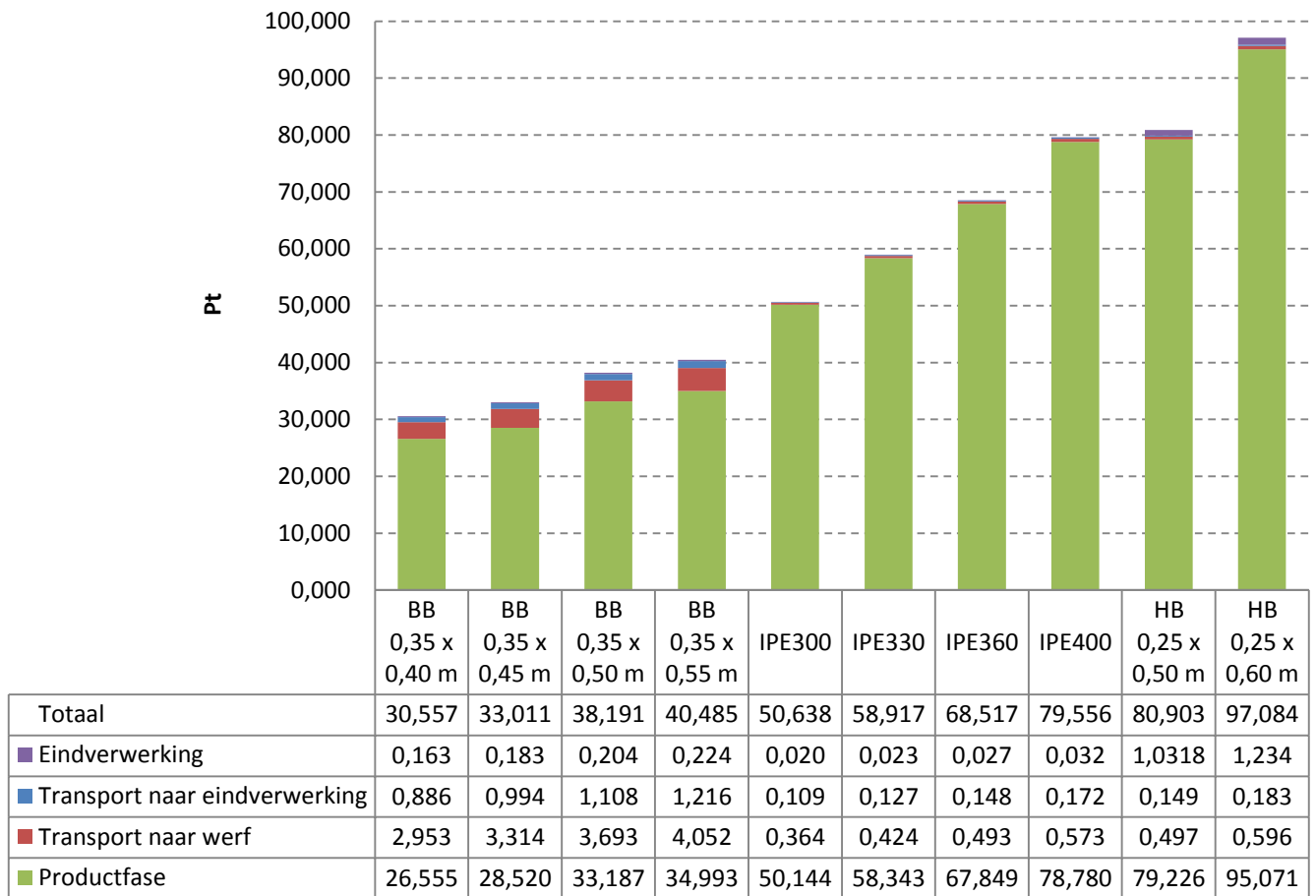
5.3.4 Overzicht

Een overzicht van alle gebruikte types/afmetingen van balken is gegeven in Tabel 40. De bekomen types volgen uit de berekeningen (zie 3.4). In Figuur 152 wordt de bijdrage van iedere levensfase aan de totale milieu-impactscore van de balk weergegeven. Figuur 153 toont de bijdrage van elke balk aan de *midpoint* milieu-categorieën. Een overzicht van de materiaalhoeveelheden is te vinden in Bijlage C: Materiaalhoeveelheden.

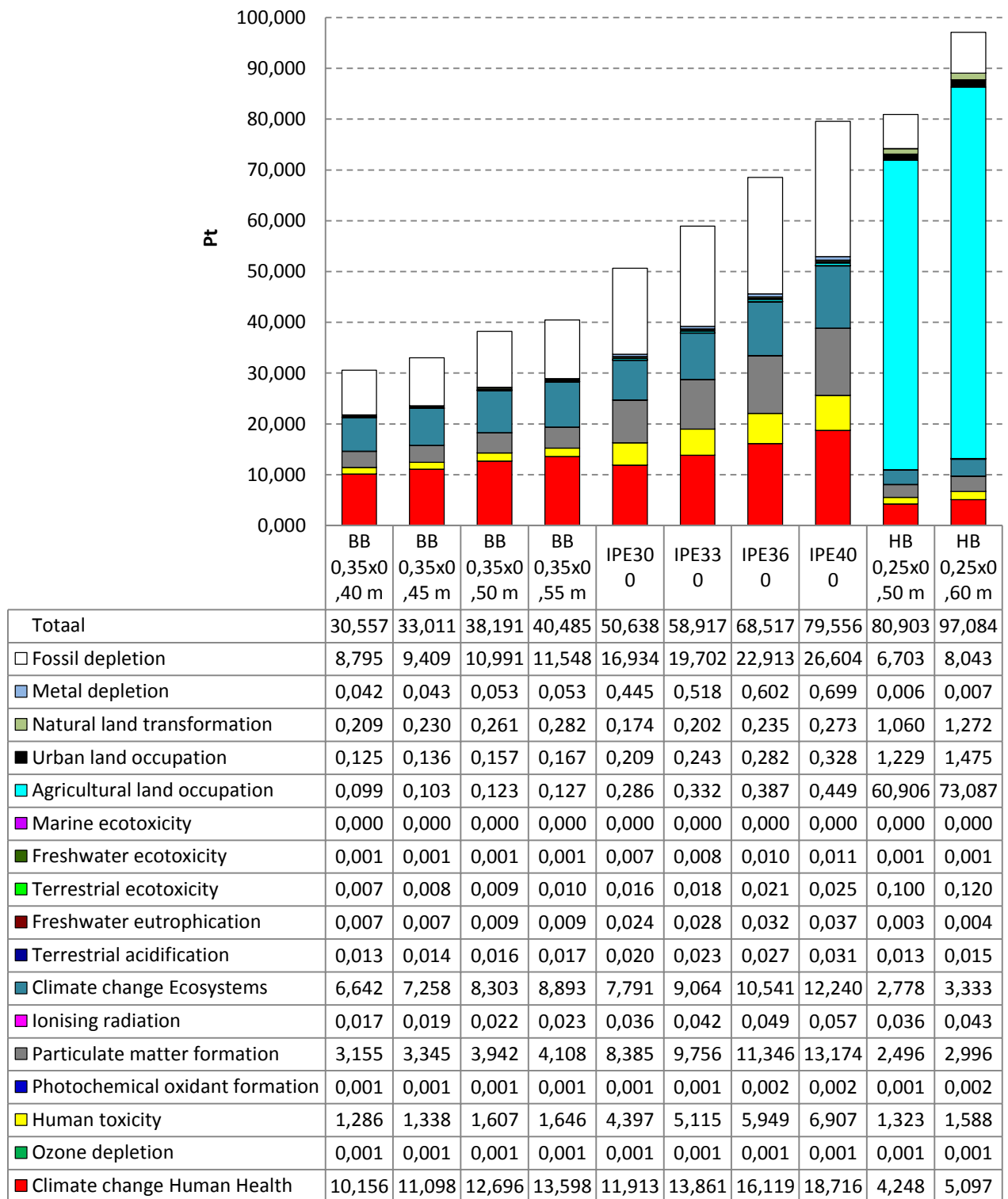
Tabel 40: Overzicht van alle gebruikte types/afmetingen van balken

Type balk	Type/Afmetingen	Vloeren die gedragen worden door deze balk
HB	0,25x0,50 m	CB 4m
		IJOSB 4m
		NHOSB 4m
	0,25x0,60 m	IJOSB 6m
BB	0,35x0,40 m	CB 4m
		GW 4m
		PB 4m
		VW 4m
	0,35x0,45 m	BP 4m
	0,35x0,50 m	PB 6m
		VW 6m
	0,35x0,55 m	BP 6m
SB	IPE300	GW 6m
		CB 4m
		SVOSB 4m
	IPE330	SVZS 4m
		GW 4m
		PB 4m
		SD 4m
		VW 4m
	IPE360	BP 4m
	IPE400	BP 6m
		GW 6m
		PB 6m
		SD 6m
		VW 6m

Figuur 152 en Figuur 153 tonen dat de trend, besproken in 5.3.1, 5.3.2 en 5.3.3, zich verder zet over alle gebruikte types van balken. Zo zijn alle betonnen balken binnen deze systeemgrenzen ecologischer dan stalen balken die op hun beurt ecologischer zijn dan houten balken.



Figuur 152: Overzicht van de verschillende gebruikte types balken. Van elke balk wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan de milieu-impact van de verschillende levensfasen weergegeven

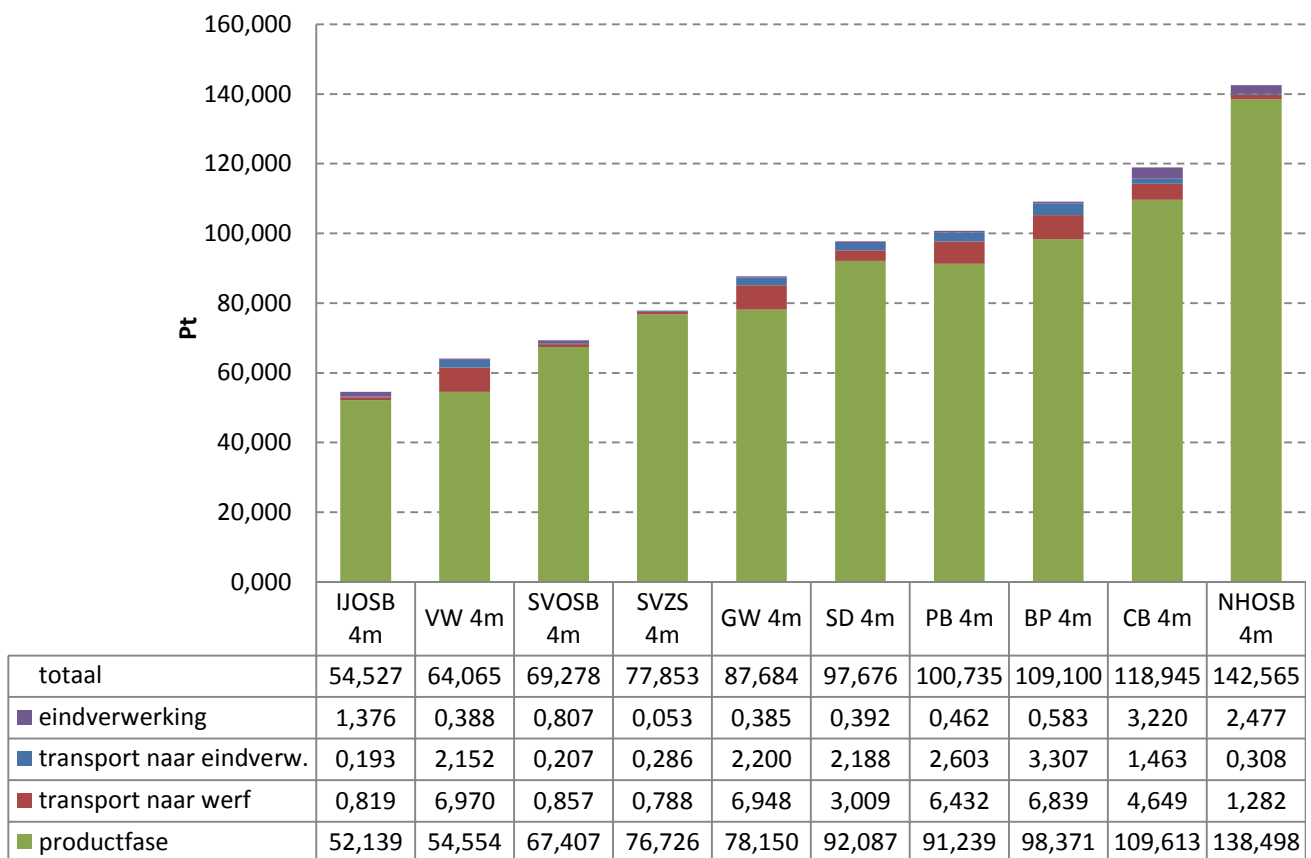


Figuur 153: Overzicht van de verschillende gebruikte types balken. Voor elke balk wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan iedere milieucategorie weergegeven.

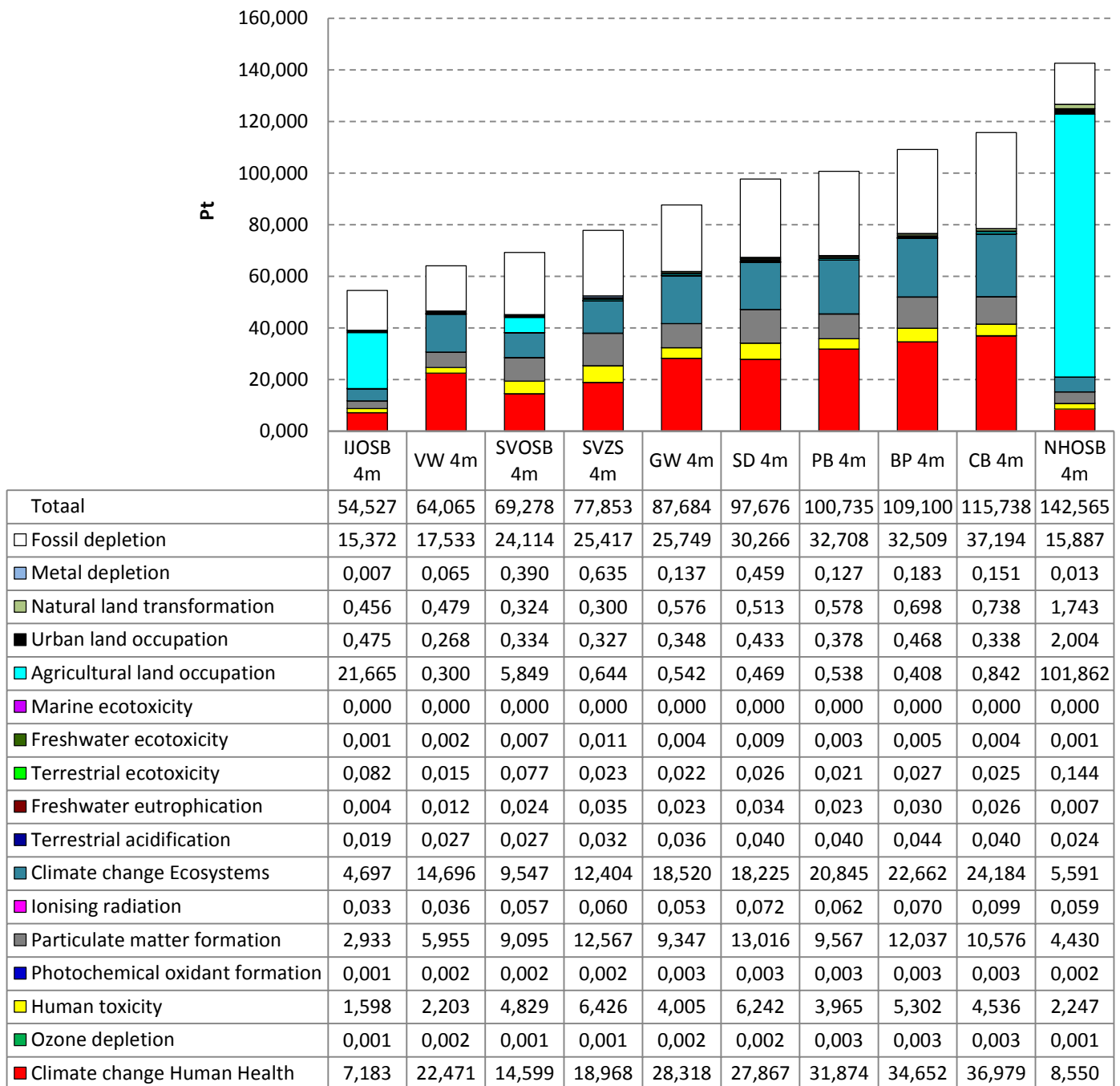
5.4 Vloerresultaten

5.4.1 Vloeren die 4 m overspannen

Figuur 154 geeft de vergelijking weer van de levenscyclussen van verschillende vloeren die 4 m overspannen, voor eenzelfde belasting, namelijk 1,5 kN/m² vaste belasting en 2 kN/m² nuttige last. De materiaalhoeveelheden zijn terug te vinden in Bijlage C: Materiaalhoeveelheden. Van elke vloer wordt de bijdrage van de verschillende opgenomen levensfasen weergegeven. Figuur 155 geeft eveneens de vergelijking weer van de levenscyclussen van de verschillende vloeren, die 4 m overspannen, voor eenzelfde belasting. Hier wordt echter voor elk type vloer de bijdrage aan iedere milieucategorie weergegeven.



Figuur 154: Vergelijking van de milieu-impactscore van vloeren, die 4 m overspannen, voor eenzelfde belasting (1,5 kN/m² vaste belasting en 2 kN/m² nuttige last). Van elke vloer wordt de bijdrage van de verschillende levensfasen weergegeven



Figuur 155: Vergelijking van de milieu-impactscore van vloeren, die 4 m overspannen, voor eenzelfde belasting (1,5 kN/m² vaste belasting en 2 kN/m² nuttige last). Voor elke vloer wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan iedere milieu-impactcategorie weergegeven.

5.4.1.1 Naaldhouten balken met OSB-beplating

Een eerste blik op de resultaten toont dat de vloer met naaldhouten balken en een OSB-plaat veruit de minst ecologische oplossing is. Het heeft een totale milieu-impactscore van 142,565 Pt. De milieu-impacten ten gevolge van transportscenario's zijn minimaal (1%). De eindverwerking van dit type vloer levert de hoogste milieu-impactscore op van alle vloeren die 4 m overspannen, namelijk 2,477

Pt. De reden hiervoor is dat de volledige vloer is opgebouwd uit houtproducten en zoals eerder beschreven, worden houtproducten voor 5% gestort, 75% (bij I-Joist, OSB en glulam) of 95% (bij naaldhout) verbrand en voor slechts 20% of 0% gerecycleerd (ten opzicht van 5% gestort en 95% gerecycleerd bij staal- en betonproducten). Aangezien recyclage bij de modellering in SimaPro een nulproces is (omdat het reeds is opgenomen in de productfase aan de hand van een *avoided impact*) en door het feit dat de energie die vrijkomt bij de verbranding niet door SimaPro wordt opgenomen in de berekeningen, levert de eindverwerking van deze vloer vanzelfsprekend een grotere impactscore op.

Met 97% van de totale milieu-impactscore levert de productfase van een vloer met naaldhouten balken en een OSB-plaat de grootste bijdrage aan de totale impactscore. De grote score ten gevolge van de productfase kan verklaard worden door de ontginning van het hout, wat overeenstemt met de impactcategorie “bezetting van de landbouwgrond”, waaraan in de Europese ReCiPe-methode een groot belang wordt aan gehecht. 115,490 Pt zijn toe te wijzen aan de productfase van de naaldhouten balken, 23,008 Pt aan de productfase van de OSB-plaat.

Figuur 155 toont dat de bezetting van de landbouwgrond met stip de meest dominante indicator is. Vervolgens worden de fossiele uitputting, klimaatsverandering, fijnstofvorming, vergiftiging, stedelijke grondbezetting en landomvorming nog zichtbaar aangetast.

5.4.1.2 Cellenbetonvloer

Een vloer bestaande uit cellenbeton die 4 m overspant kan beschouwd worden als de op één na minst ecologische oplossing (115,738 Pt). Figuur 154 toont dat de productfase voor 92% bijdraagt aan de totale milieu-impactscore. Van deze productfase is 58% van de impactscore toe te schrijven aan het cellenbeton, 38% aan de wapeningsnetten in het vloerelement en 4% aan de vulmortel (voorzien van een wapeningsstaaf). 5% van de totale impactscore kan toegewezen worden aan het transport: 4% aan het transport van het vloersysteem naar de werf en 1% aan het transport naar de eindverwerking. Met 3% van de totale milieu-impactscore of 3,220 Pt is de cellenbetonvloer het vloertype waar de eindverwerking het minst ecologisch is. De reden hiervoor is te vinden in het gebruikte afvalverwerkingsscenario: 70% van het cellenbetonafval wordt gestort en 30% wordt gerecycleerd. Dit is het enige materiaaltype dat voor zo'n grote hoeveelheid gestort wordt, wat de relatief hoge impactscore van de eindverwerking verklaart.

De dominante milieu-categorieën tijdens de levenscyclus van een cellenbetonvloer zijn achtereenvolgens klimaatsverandering, fossiele uitputting, fijnstofvorming en vergiftiging (zie Figuur 155). De opgesomde indicatoren zijn dominant over de gehele levenscyclus.

5.4.1.3 Breedplaatvloer

Na de vloer bestaande uit naadhoutenbalken met OSB-plaat en de cellenbetonvloer, komen de vloeren met een grote betonmassa en wapeningsstaalvolume. De minst ecologische vloer van deze groep is de breedplaatvloer (109,100 Pt).

90% van de impactscore is toe te schrijven aan de productfase van het vloersysteem. Hiervan is 51% (50,881 Pt) afkomstig van de productfase van het prefab element. Opmerkelijk is dat de wapening (wapeningsnet en tralieliggers) in dit prefab element een bijdrage heeft van 30,656 Pt van de 50,881 Pt. De druklaag uit stortbeton en de wapening in deze druklaag hebben een bijdragen van respectievelijk 25% (24,206 Pt) en 24% (23,284 Pt). Het vloersysteem kent een onecologisch transportsceenario: 6% (6,839 Pt) van de totale impactscore is afkomstig van het transport van de vloer naar de werf. Het transport van het sloopafval van de breedplaatvloeren naar de eindverwerking is goed voor 3% (3,307 Pt) van de milieu-impact, waardoor dit vloersysteem op vlak van transport naar de eindverwerking als minst ecologische oplossing kan gezien worden.

De lijst van dominante milieu-categorieën is identiek aan een cellenbetonvloer: klimaatsverandering, fossiele uitputting, fijnstofvorming en vergiftiging (zie Figuur 155). De opgesomde indicatoren zijn dominant over de gehele levenscyclus.

5.4.1.4 Potten en balken

De vloer bestaande uit potten en balken heeft een totale milieu-impactscore van 100,735 Pt. De productfase van dit vloersysteem is voor 91% (91,239 Pt) verantwoordelijk voor de totale impactscore. 45% (40,770) hiervan kan toegeschreven worden aan de productfase van de druklaag (wapening inbegrepen) en 36% (32,722 Pt) kan toegeschreven worden aan de productfase van de potten. Relatief gezien heeft het transport naar de werf een even grote impact als een breedplaatvloer op de totale impactscore, namelijk 6% (6,432 Pt). Het transport naar de eindverwerking is goed 3% (2,603) van de totale impactscore. De eindverwerking heeft een verwaarloosbaar aandeel in de impactscore.

Figuur 155 toont dat klimaatsverandering, fossiele uitputting, fijnstofvorming en vergiftiging de dominantste milieu-categorieën zijn. Ze zijn dominant over de gehele levenscyclus.

5.4.1.5 Staalplaatbetonvloer

De staalplaatbetonvloer heeft een totale milieu-impactscore van 97,676 Pt. Maar liefst 94% (92,087 Pt) is toe te wijzen aan de productfase van de vloer. De productfase van de druklaag (stortbeton + wapening) heeft een iets grotere impact dan de productfase van de staalplaat: 48,477 Pt ten opzichte van 43,610 Pt. Het transport van de vloer naar de werf en het transport van het sloopafval naar de eindverwerking (in beide gevallen hoofdzakelijk het transport van het stortbeton) heeft een bijdrage

van respectievelijk 3% en 2% aan de totale milieu-impactscore. Binnen deze systeemgrenzen is de eindverwerking te verwaarlozen.

Net als bij de eerder besproken vloeren (vloer bestaande uit naaldhouten balken en OSB-beplating niet inbegrepen) zijn de dominante milieu-categorieën de klimaatsverandering, fossiele uitputting, fijnstofvorming en vergiftiging (zie Figuur 155). De opgesomde indicatoren zijn dominant over de gehele levenscyclus.

5.4.1.6 Gewapende welfsels

De vloer bestaande uit gewapende welfsels heeft een totale milieu-impactscore van 87,648 Pt. 89% (78,150 Pt) hiervan is toe te schrijven aan de productfase. Van deze productfase is 52% (40,365 Pt) afkomstig van de productfase van de wapening in het welfsel. De productfase van cementmortel heeft een bijdrage van 7% (5,745 Pt) aan de impactscore van de productfase van het vloersysteem.

Het transport van dit vloersysteem naar de werf heeft een merkbare bijdrage van 8% (6,948 Pt) aan de totale score. Met net geen 3% (2,200 Pt) kan het transport van het sloopafval naar de eindverwerking niet verwaarloosd worden. Met een bijdrage van minder dan 1% (0,385) is dit voor de eindverwerking wel het geval.

Bij een vloer met gewapende welfsels zijn de meest dominante milieu-categorieën eens te meer de klimaatsverandering, fossiele uitputting, fijnstofvorming en vergiftiging (zie Figuur 155). De opgesomde indicatoren zijn dominant over de gehele levenscyclus.

5.4.1.7 Systeemvloer met zwaluwstaartbeplating

De systeemvloer met zwaluwstaartbeplating heeft een totale milieu-impactscore van 77,853 Pt. Met 99% (76,726 Pt) levert de productfase van de verschillende componenten de voornaamste bijdrage. 58% (44,339 Pt) hiervan is afkomstig van de productfase van de combifor profielen. De productfase van de dekvloer, die bij dit vloersysteem nodig is, draagt voor 5% bij aan de impact-score ten gevolge van de productfase. De verschillende transportscenario's zijn door het lage gewicht van het vloersysteem, verwaarloosbaar. Deze verwaarlozing geldt evenzeer voor de eindverwerking.

Figuur 155 toont dat klimaatsverandering, fossiele uitputting, fijnstofvorming en vergiftiging de dominantste milieu-categorieën zijn. Ze zijn dominant over de gehele levenscyclus.

5.4.1.8 Systeemvloer met OSB-beplating

De systeemvloer met OSB-beplating heeft een totale milieu-impactscore van 69,278 Pt. Opmerkelijk is dat het gebruik van een OSB-plaat in de plaats van een zwaluwstaartplaat een verbetering van ongeveer 8,5 Pt tot gevolg heeft. Deze verbetering is toe te wijzen aan het verschil in impact-scores ten gevolge van de productfase van de vloer. De productfase van de systeemvloer met OSB-plaat heeft

een impact-score van 67,407 Pt. Hiervan is 34% (23,008 Pt) het gevolg van de productfase van het OSB (ten opzichte van 32,327 Pt bij de productfase van een zwaluwstaartplaat met dekvloer).

Hoewel de OSB-plaat in totaal lichter is dan de zwaluwstaartplaat en dekvloer, heeft het transport naar de werf een grotere milieu-impact. Dit is enerzijds te wijten aan het feit dat de zwaluwstaartplaat (exclusief dekvloer) lichter is dan de OSB-plaat en anderzijds aan het feit dat de transport van de dekvloer over een veel kleinere afstand gebeurt dan losse producten zoals een OSB-plaat. Door het houtgebruik, speelt de eindverwerking (in tegenstelling tot de vloer met zwaluwstaartplaat) wel een (beperkte) rol. 1% van de totale milieu-impactscore kan toegeschreven worden aan de eindverwerking.

Door het gebruik van OSB kan de gebruikelijke lijst met dominante milieu-impactcategorieën (klimaatsverandering, fossiele uitputting, fijnstofvorming en vergiftiging) aangevuld worden met categorie 'bezetting van landbouwgrond'. Deze laatste categorie is enkel toe te schrijven aan de productfase van de vloer.

5.4.1.9 Voorgespannen welfsels

De vloer bestaande uit voorgespannen welfsels is ten opzichte van andere betonnen vloeren, de meest ecologische oplossing. Het heeft een totale milieu-impactscore van 69,065 Pt. Dit is te danken aan de productfase die een impact heeft van “slechts” 54,554 Pt (85% van de totale impactscore). De betonproductfase voor het prefab-element kan als gelijkwaardig worden beschouwd met de productfase van gewapende welfsels (33,640 Pt ten opzichte van 32,041 Pt). De wapening is echter wel verschillend. Doordat het volume aan voorspanstrengen minder dan de helft bedraagt van het volume aan wapeningsstaven van de gewapende welfsels, levert de productfase van deze strengen maar 17,850 Pt op. Dit staat in sterk contrast met de 40,365 Pt ten gevolge van de productfase van de wapeningsstaven in de gewapende welfsels. Als kanttekening moet opgemerkt worden dat in de modellering in SimaPro wordt aangenomen dat de productfaseprocessen voor voorspanstrengen en wapeningsstaven hetzelfde zijn.

Het transport van het vloersysteem naar de werf (11% van de totale milieu-impactscore; 6,970 Pt) is echter het minst ecologische van alle vloersystemen. Dit is te verklaren door het feit dat de voorgespannen welfsels een hoger netto betonvolume hebben dan de andere vloersystemen. Het transport van het sloopafval naar de eindverwerking bedraagt 3% van de totale impactscore (2,152 Pt). De eindverwerking zelf is verwaarloosbaar.

Zoals bij de overige vloeren, waar beton en staal de hoofdbestanddelen zijn, zijn volgende milieu-impactcategorieën het dominantst: klimaatsverandering, fossiele uitputting, fijnstofvorming en vergiftiging. Ze zijn dominant over de gehele levenscyclus.

5.4.1.10 I-joist met OSB-beplating

De vloer bestaande uit I-joist liggers en een OSB-beplating, die 4 m overspant, is binnen deze systeemgrenzen de meest ecologische oplossing (54,527 Pt). Maar liefst 96% (52,139) van deze impactscore is toe te wijzen aan de productfase van de verschillende componenten. Hiervan zijn 29,131 Pt toe te wijzen aan de productfase van de I-joist liggers. 23,008 Pt zijn het gevolg van de productfase van de OSB-platen. Doordat het vloersysteem zo licht is (op de systeemvloeren na het lichtste vloersysteem), is de milieu-impact ten gevolge van het transport naar de werf (0,819 Pt of 2%) en het transport naar de eindverwerking (0,193 of minder dan 1%) minimaal.

Door het aanwezige hout is de eindverwerking de op twee na (cellenbetonvloer en naal dhouten balken met OSB-beplating) minst ecologische manier van eindverwerking. Het heeft een bijdragen van 2% (1,376 Pt) op de totale milieu-impactscore.

Figuur 155 toont dat de bezetting van de landbouwgrond met stip de meest dominante indicator is. Vervolgens worden de fossiele uitputting, klimaatsverandering, fijnstofvorming, vergiftiging, stedelijke grondbezetting en landomvorming nog zichtbaar aangetast. De bezetting van de landbouwgrond is bijna volledig toe te wijzen aan de ontginning van het hout.

5.4.2 Vloeren die 6 m overspannen

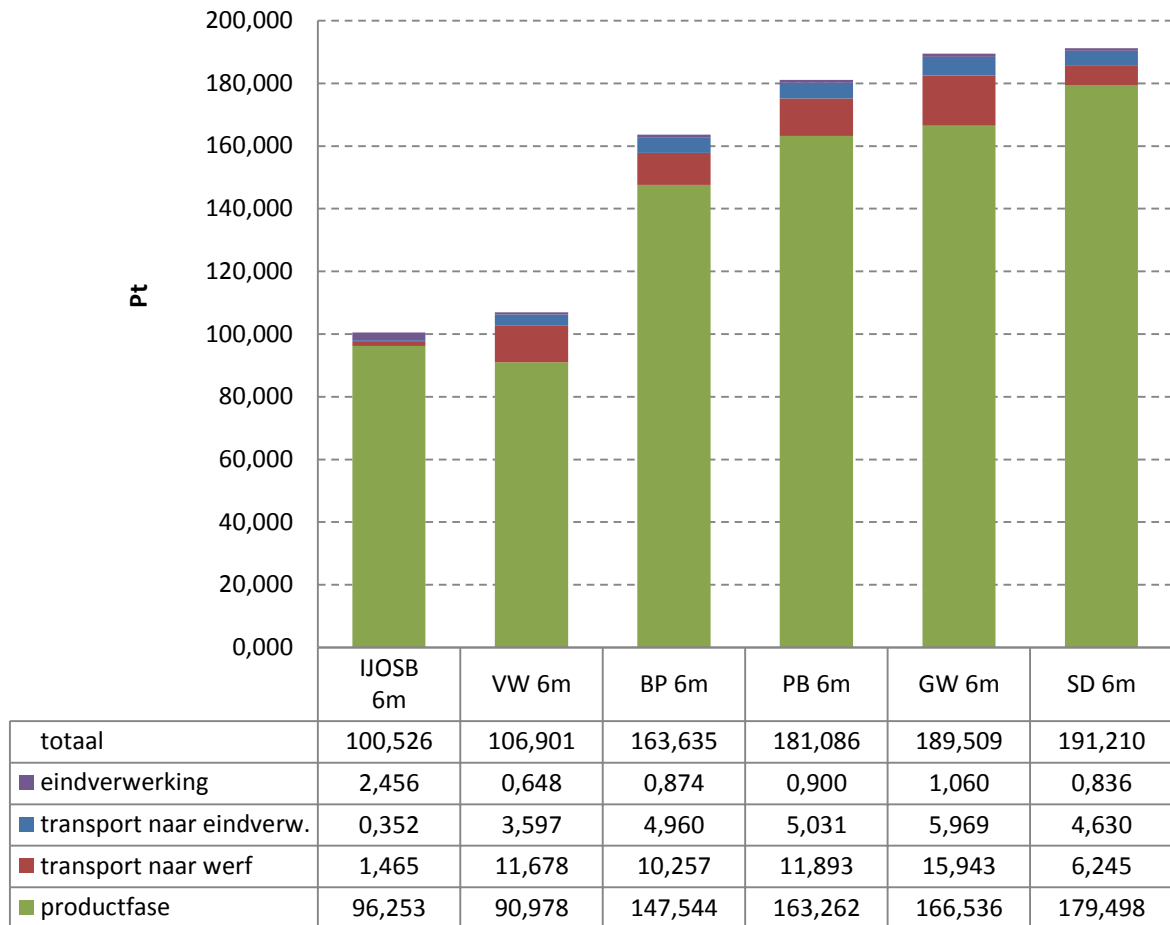
Figuur 156 geeft de vergelijking weer van de levenscyclussen van verschillende vloeren die 6 m overspannen, voor eenzelfde belasting, namelijk 1,5 kN/m² vaste belasting en 2 kN/m² nuttige last. De materiaalhoeveelheden zijn terug te vinden in Bijlage C: Materiaalhoeveelheden. Van elke vloer wordt de bijdrage van de verschillende opgenomen levensfasen weergegeven.

Er is een voorkeurswijziging ten opzichte van de vloeren die 4 m overspannen. De vloer bestaande uit I-joist liggers en de vloer bestaande uit voorgespannen welfsels zijn nog steeds de meest ecologische oplossing. De breedplaatvloer is ten opzichte van de overige vloeren ecologischer geworden. De vloer bestaande uit gewapende welfsels en de staalplaatbetonvloer zijn, binnen deze systeemgrenzen, de minst ecologische vloeren die 6 m overspannen.

5.4.2.1 Staalplaatbetonvloer

De staalplaatbetonvloer kan binnen deze systeemgrenzen beschouwd worden als het minst ecologisch vloersysteem (191,210 Pt). De productfase maakt 94% (179,498 Pt) van de totale milieu-impactscore uit. Hierin heeft de productfase van de staalplaat het grootste aandeel met 51% (90,747 Pt). De productfase van de druklaag uit stortbeton en de wapening in de druklaag hebben elk een bijdrage van respectievelijk 30% (53,826 Pt) en 19% (34,925 Pt). Door het relatief weinig betongebruik (ten opzichte van andere vloeren) is de impact van het transport naar de werf en het transport naar de

eindverwerking minder dan andere vloeren: respectievelijk 3% (6,245 Pt) en 2% (4,630 Pt) van de totale milieu-impactscore. De impact van de eindverwerking zelf kan verwaarloosd worden.



Figuur 156: Vergelijking van de milieu-impactscore van vloeren, die 6 m overspannen, voor eenzelfde belasting (1,5 kN/m² vaste belasting en 2 kN/m² nuttige last). Van elke vloer wordt de bijdrage van de verschillende levensfasen weergegeven

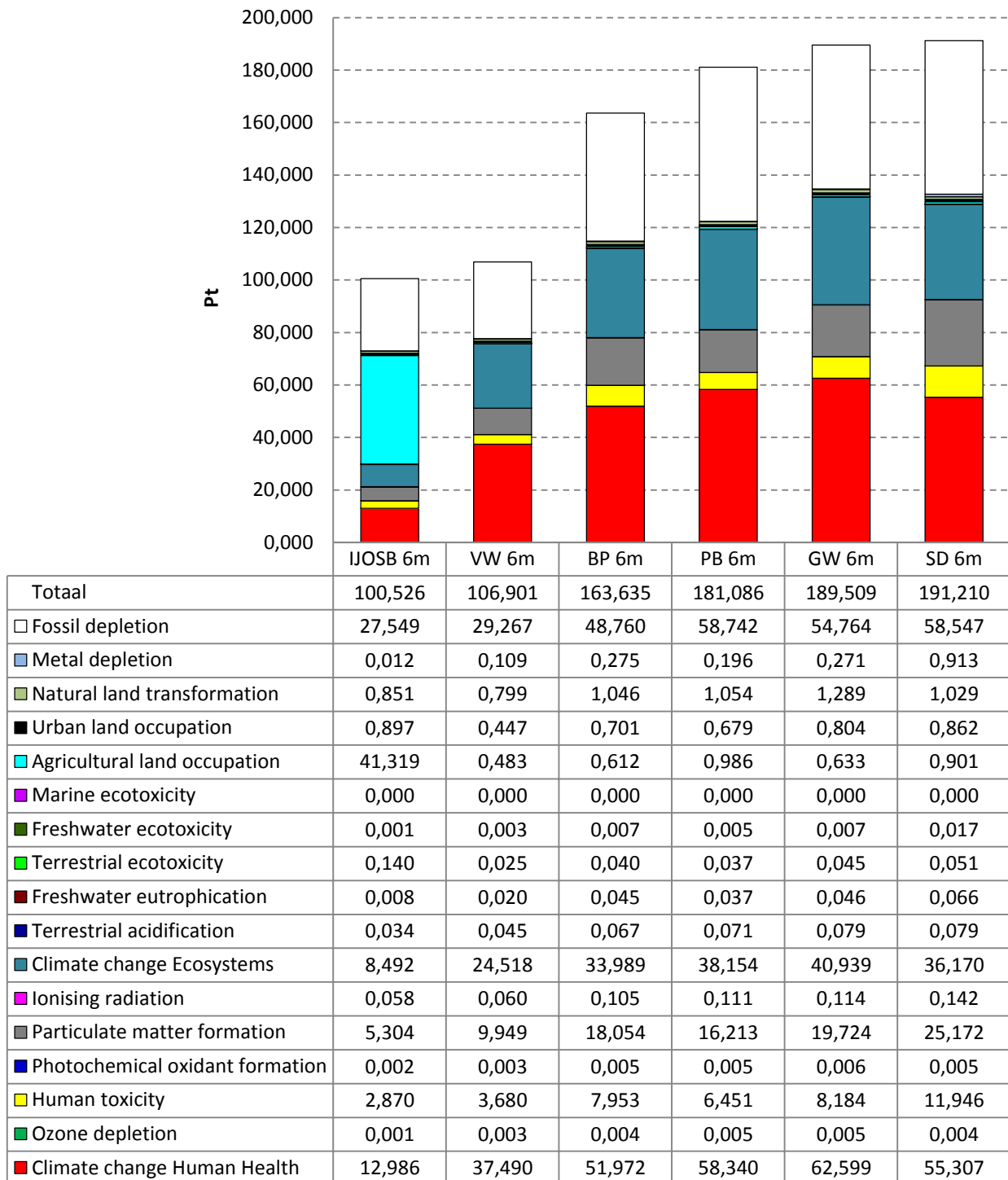
Ten opzichte van dit type vloer die 4 m overspant, is er een betonvolumetoename, per vierkante meter vloer, van 42%.

Op het vlak van dominante milieu-indicatoren, zet de trend van de meerderheid van de vloeren zich verder zoals de vloeren die 4 m overspannen. Volgende milieu-impactcategorieën zijn het dominantst: klimaatsverandering, fossiele uitputting, fijnstofvorming en vergiftiging. Ze zijn dominant over de gehele levenscyclus.

5.4.2.2 Gewapende welfsels

De vloer bestaande uit gewapende welfsels heeft een totale milieu-impactscore van 189,509 Pt. 88% (166,536 Pt) hiervan kan toegeschreven worden aan de productfase van de verschillende componenten. 108,801 Pt van deze productfase zijn toe te schrijven aan de productfase van het prefab element (65,285 Pt beton + 43,316 Pt wapening). De productfase van de wapening in de druklaag

heeft een bijdrage van 21% (34,925 Pt) aan de totale productfase van het vloersysteem. De productfase van de druklaag zelf (netto hoeveelheid beton) heeft een aandeel van 11% (23,009 Pt) in de impact ten gevolge van de totale productfase.



Figuur 157: Vergelijking van de milieu-impactscore van vloeren, die 6 m overspannen, voor eenzelfde belasting (1,5 kN/m² vaste belasting en 2 kN/m² nuttige last). Voor elke vloer wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt, aan iedere milieu-impactcategorie weergegeven.

Met een aandeel van maar liefst 16% (15,943 Pt) van de totale milieu-impactscore, is het transport naar de werf een belangrijke bron van emissies. Het transport van het sloopafval naar de eindverwerking (5,969 Pt) heeft een bijdrage van 3%. De bijdrage van de eindverwerking kan verwaarloosd worden ten opzichte van de totale milieu-impactscore.

Het dalen in voorkeursvolgorde van dit type vloer, ten opzichte van de gewapende welfsels die 4 m overspannen, is te verklaren door het gebruik van een druklaag van 93,372 kg beton per vierkante meter vloer. Ook het nodig zijn van een wapeningsnet in deze druklaag heeft een niet te verwaarlozen bijdrage aan de stijging van de milieu-impact.

Uit Figuur 157 volgt dat de klimaatsverandering, fossiele uitputting, fijnstofvorming en vergiftiging de dominantste milieu-impactcategorieën zijn. Ze zijn dominant over de gehele levenscyclus.

5.4.2.3 Potten en balken

De vloer bestaande uit potten en balken heeft een totale milieu-impactscore van 181,086 Pt. De productfase van de verschillende elementen heeft een bijdrage van 90% (163,262 Pt). 44% (71,222 Pt) hiervan kan toegeschreven worden aan de productfase van de druklaag (wapening inbegrepen), 42% (68,064 Pt) aan de productfase van de potten en 16% (23,976 Pt) aan de productfase van de balken. Op de vloer uit gewapende welfsels na, heeft deze vloer het minst ecologische transportsценario: het transport naar de werf heeft een impact van 11,893 Pt (7% van de totale milieu-impactscore) en het transport van het sloopafval naar de eindverwerking heeft een impact van 4,630 Pt (3% van de totale milieu-impactscore). Net zoals bij de reeds besproken vloeren die 6 m overspannen, is ook hier de impact van de eindverwerking te verwaarlozen.

Uit Figuur 157 volgt dat de klimaatsverandering, fossiele uitputting, fijnstofvorming en vergiftiging de dominantste milieu-impactcategorieën zijn. Ze zijn dominant over de gehele levenscyclus.

5.4.2.4 Breedplaatvloer

De breedplaatvloer heeft een totale milieu-impactscore van 163,635 Pt. De productfase heeft hier een aandeel in van 90% (147,544 Pt). Hiervan is 52% (76,322 Pt) afkomstig van de productfase van het prefab element. Opmerkelijk is dat de wapening (wapeningsnet en tralieliggers) in dit prefab element een bijdrage heeft van 45,984 Pt van de 76,322 Pt. De druklaag uit stortbeton en de wapening in deze druklaag hebben een bijdragen van respectievelijk 25% (36,296 Pt) en 24% (34,925 Pt). Het transport naar de werf levert een impact op van 10,257 Pt (6% van de totale score). Het transport van het sloopafval van breedplaatvloeren naar de eindverwerking is goed voor 3% (4,960 Pt) van de milieu-impact. De eindverwerking is te verwaarlozen.

Het stijgen van de breedplaatvloer in de voorkeursvolgorde, ten opzichte van de breedplaatvloer die 4 m overspant, is te verklaren door het feit dat deze vloer geen beton- of staalvermeerdering per m²

vloeroppervlakte kent ten opzichte van de breedplaatvloer die 4 m overspant. Dit in tegenstelling tot andere vloertypes.

Net als de besproken vloeren zijn de dominante milieu-categorieën de klimaatsverandering, fossiele uitputting, fijnstofvorming en vergiftiging de dominantste milieu-impactcategorieën zijn. Ze zijn dominant over de gehele levenscyclus.

5.4.2.5 Voorgespannen welfsel

Ten opzichte van de andere betonnen vloeren kan een voorgespannen welfsel als het meest ecologische vloersysteem naar voor worden geschoven. Het heeft een totale milieu-impactscore van 106,901 Pt. Deze relatief lage score is te danken aan de productfase, die een impact heeft van “slechts” 90,978 Pt (85% van de totale milieu-impactscore). Het verschil met andere betonnen vloersystemen, die een hoge impactscore voor de productfase hebben, is het volume aan staal. Het volume aan voorspanstrengen is ten opzichte van de gewapende welfsels en breedplaatvloeren merkbaar minder. De voorspanstrengen hebben een impactscore van 29,852 Pt (33% van de milieu-impact ten gevolge van de productfase). Als kanttekening moet opgemerkt worden dat in de modellering in SimaPro wordt aangenomen dat de productfase voor voorspanstrengen en wapeningsstaven hetzelfde is. Het beton zelf heeft een aandeel van 62% (56,455 Pt) in de impact ten gevolge van de productfase. Het transport naar de werf heeft een aandeel van 11,678 Pt (11%) Het transport van het sloopafval naar de eindverwerking bedraagt 3% van de totale impactscore (3,597 Pt). De eindverwerking zelf is verwaarloosbaar.

Uit Figuur 157 volgt dat de klimaatsverandering, fossiele uitputting, fijnstofvorming en vergiftiging de dominantste milieu-impactcategorieën zijn. Ze zijn dominant over de gehele levenscyclus.

5.4.2.6 I-joist met OSB-plaat

De vloer bestaande uit I-joist liggers en een OSB-beplating, die 6 m overspannen, is binnen deze systeemgrenzen de meest ecologische oplossing (100,526 Pt). Maar liefst 96% (96,253) van deze impactscore is toe te wijzen aan de productfase van de verschillende componenten. Hiervan is 61,741 Pt toe te wijzen aan de productfase van de I-joist liggers. 34,521 Pt zijn het gevolg van de productfase van de OSB-beplating. Doordat het vloersysteem zo licht is (het lichtste onder de vloeren die 6 m overspannen), is de milieu-impact ten gevolge van het transport naar de werf (1,465 Pt of 2%) en het transport naar de eindverwerking (0,352 Pt of minder dan 1%) minimaal. Het vloersysteem is dus ook op vlak van productfase en transportsceario's het meest ecologische systeem.

Door het aanwezige hout is dit vloersysteem het minst ecologische op vlak van eindverwerking. Het heeft een bijdragen van 2% (1,456 Pt) op de totale milieu-impactscore.

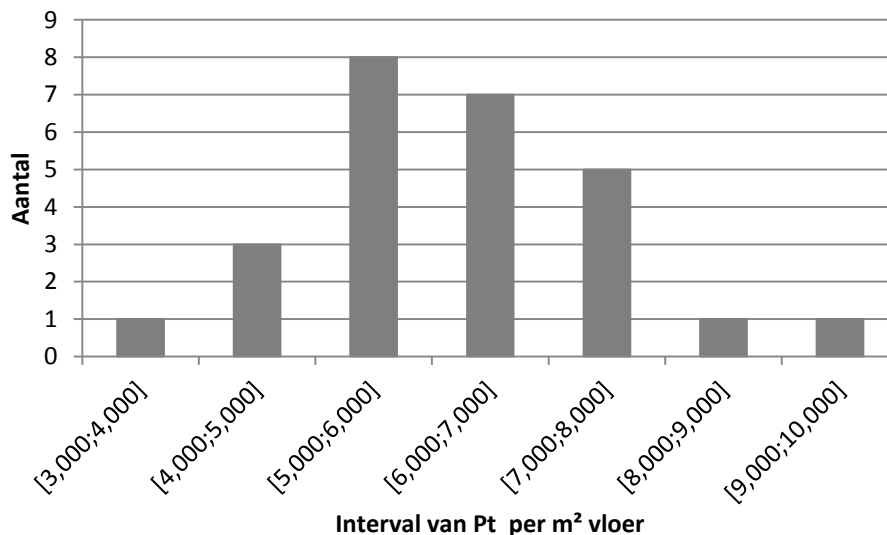
Figuur 157 toont dat de bezetting van de landbouwgrond de meest dominante indicator is. Vervolgens worden de fossiele uitputting, klimaatsverandering, fijnstofvorming, vergiftiging, stedelijke grondbezetting en landomvorming zichtbaar aangetast. De bezetting van de landbouwgrond is bijna volledig toe te wijzen aan de ontginning van het hout.

5.5 Algemene resultaten

De totale milieu-impactscores van de verschillende vloer-balk systemen worden uitgedrukt per m² vloeroppervlakte. Structurele vloer-balk systemen, met een vloer die 4 m overspant, kunnen dan vergeleken worden met structurele vloer-balk systemen, bestaande uit een vloer die 6 m overspant. Zo kan bekeken worden of het verminderen van het balkvolume per vierkante meter vloer ecologisch voldoende is om de stijging van de milieu-impact, ten gevolge van een eventuele vermeerdering van het vloervolume, te compenseren. De resultaten zijn te zien in Figuur 161 en Figuur 162.

5.5.1 Voorkeursvolgorde

Een structureel vloer-balk systeem bestaande uit een betonnen balk met voorgespannen welfsels, die 4 m overspannen, kan als meest ecologische vloer-balk systeem worden gezien (3,949 Pt). Het systeem dat opgebouwd is uit een houten balk met naalddhouten balken en een OSB-beplating is ecologisch gezien het slechtste vloersysteem in deze studie (9,311 Pt). Gemiddeld gezien heeft een vloer-balk systeem een milieu-impactscore van 6,184 Pt. Figuur 158 toont aan dat het merendeel van de systemen een milieuscore hebben tussen de 5,000 Pt en 8,000 Pt.



Figuur 158: Aantal vloer-balk systemen per interval van 1 Pt per m² vloer

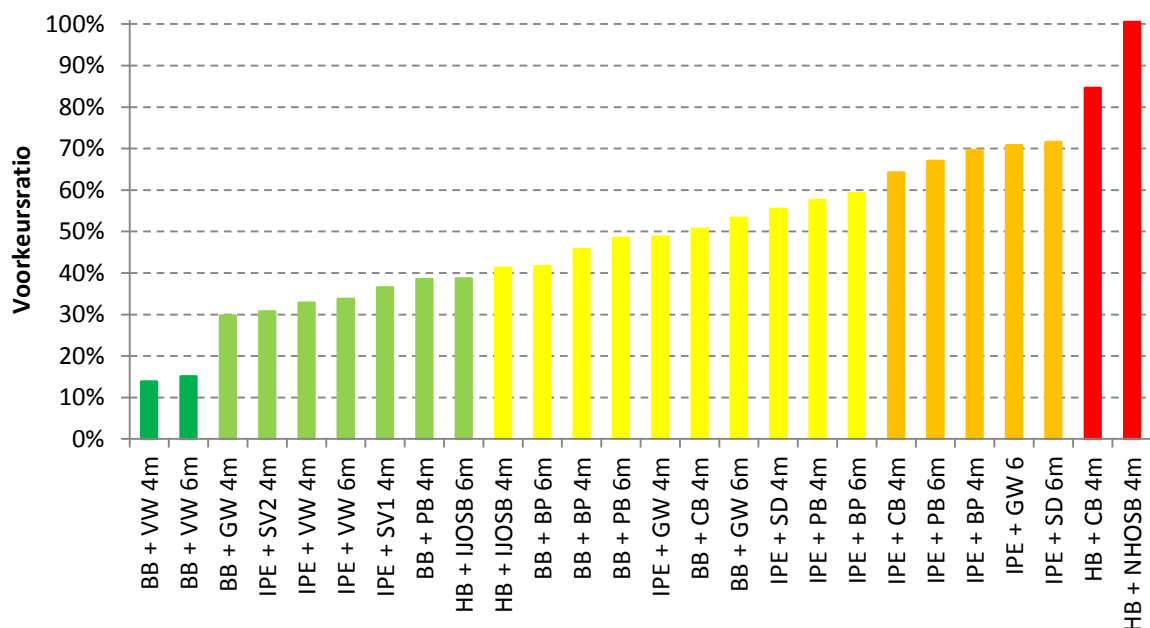
Wanneer de gemiddelde milieu-impactscore als een gemiddeld structureel vloer-balk systeem wordt beschouwd (50%) kunnen andere structurele vloer-balk systemen uitgedrukt worden aan de hand van volgend voorkeursratio:

$$\text{voorkeursratio} = 0,5 + \frac{\text{milieuscore} - \text{gemiddelde milieuscore}}{\text{gemiddelde milieuscore}} \quad (5-1)$$

Aan de hand van vooraf vastgelegde grenzen, kan een beoordelingscriterium worden opgemaakt dat, op basis van het voorkeursratio, aangeeft welk vloer-balk systeem in deze studie, ecologisch gezien, aan te raden, goed, gemiddeld, matig of af te raden is. (zie Tabel 41).

Tabel 41: Beoordelingsmethode vloer-balk systemen.

[0%; 20%]	Aan te raden
[20%; 40%]	Goed
[40%; 60%]	Gemiddeld
[60%; 80%]	Matig
[80%; 100%]	Af te raden



Figuur 159: Beoordeling van de verschillende vloer-balk systemen. Een groene kleur geeft aan dat het systeem aan te raden is. Een rode kleur geeft aan dat het systeem af te raden is.

Een houten glulam balk met secundaire naalddhouten balken en een OSB-beplating kan, binnen deze systeemgrenzen, beschouwd worden als de minst ecologische oplossing en is bijgevolg af te raden. Zoals besproken in 5.3.3, hebben houten producten een grote impact als gevolg van de ontginning, wat overeen stemt met de impactcategorie *Agricultural land occupation* of landbezetting. Aan deze impactcategorie wordt door de Europese ReCiPe-methode een groot belang gehecht.

Een houten balk met cellenbetonvloer is eveneens een af te raden oplossing. De cellenbetonvloer is door het gebruik van wapeningsnetten, het hoge transportgewicht en het gebruikte *end-of-life* scenario, de op één na minst ecologische vloer die 4 m overspant.

Structurele vloer-balk systemen bestaande uit een zware vloer (staalplaatbetonvloer, gewapende welfsels, breedplaatvloer, potten en balken, en cellenbeton) en een stalen ligger zijn minder

ecologische oplossingen dan het theoretisch gemiddelde. Dit is te verklaren door het hoge staalgebruik in de vloeren maar hoofdzakelijk door dat in de ligger. Door de gekozen staalsamenstelling (67,6% nieuw staal en 32,4% gerecycleerd staal) heeft staal een hoge milieu-impact.

Structurele vloer-balk systemen bestaande uit een betonnen balk zijn over het algemeen gemiddeld tot aan te raden. Zoals besproken in 5.3.1 zijn betonnen balken ecologischer dan een stalen ligger of houten balk.

In de categorie “goed” zijn op enkele uitzonderingen na vooral de systemen te vinden die bestaan uit lichte vloeren zoals de systeemvloer en I-joist liggers met OSB-beplating. Ook de voorgespannen welfsels in combinatie met een stalen ligger horen in deze categorie thuis.

De meest ecologische oplossing is een betonnen balk in combinatie met een voorgespannen welfsel. Zoals besproken in 5.4.1.9 en 5.4.2.5 heeft een voorgespannen welfsel een relatief kleine milieu-impact door het gebruik van beton en relatief weinig staal.

5.5.2 Algemene tendens

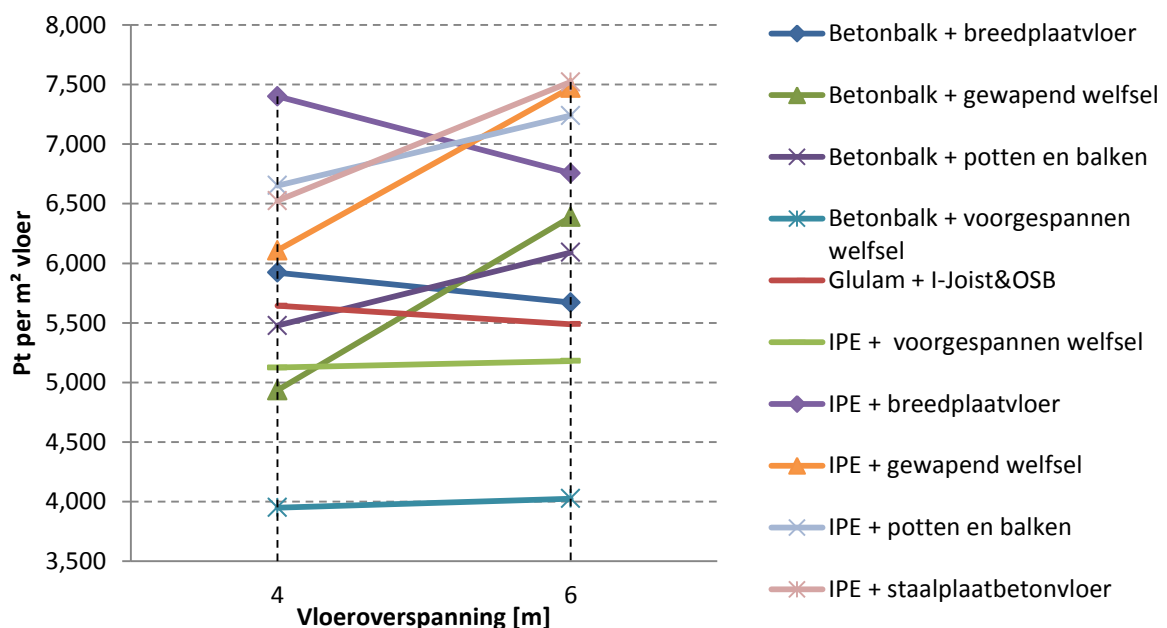
Algemeen kan besloten worden dat de productfase, op vlak van milieu-impact, de meest kritische fase is in de levenscyclus. De impactscore ten gevolge van de productfase van het vloer-balk systeem bedraagt gemiddeld 92% van de totale milieu-impact. Vloer-balk systemen met een balk uit gewapend beton liggen onder dit gemiddelde (88%). Dit is het gevolg van het feit dat het transport van de balk procentueel gezien, een grotere bijdrage zal hebben dan bij stalen liggers of houten balken. De productfase van de vloer is de bepalende factor (66% van de impactscore als gevolg van de totale productfase), op twee systemen na: houten balk met I-joist liggers en OSB-beplating (4 m); stalen ligger en voorgespannen welfsels (4 m). Beide systemen zijn een voorbeeld van een ecologische vloer en een minder ecologische balk.

Het transport van het vloer-balk systeem naar de werf maakt gemiddeld 5% uit van de totale milieu-impactscore. Hierbij is het transport van de vloer vooral de bepalende factor: gemiddeld 80% van de impactscore ten gevolge van het transport naar de werf is toe te wijzen aan de vloer. Hoe lichter het vloersysteem of hoe zwaarder de balk, hoe meer het voorgenoemde percentage zal dalen. De minimale waarde van het bovengenoemde percentage wordt bereikt bij het vloer-balk systeem opgebouwd uit een betonnen balk en cellenbetonvloer. De betonnen balk en de cellenbetonvloer hebben een bijdrage van respectievelijk 39% en 61% aan de milieu-impact ten gevolge van het transport naar de werf. De maximale waarde van het bovengenoemde percentage wordt bereikt bij het vloer-balk systeem opgebouwd uit een stalen ligger en een vloer bestaande uit gewapende welfsels (6m). De stalen ligger en de vloer hebben een bijdrage van respectievelijk 3% en 97% aan de milieu-impact ten gevolge van het transport naar de werf.

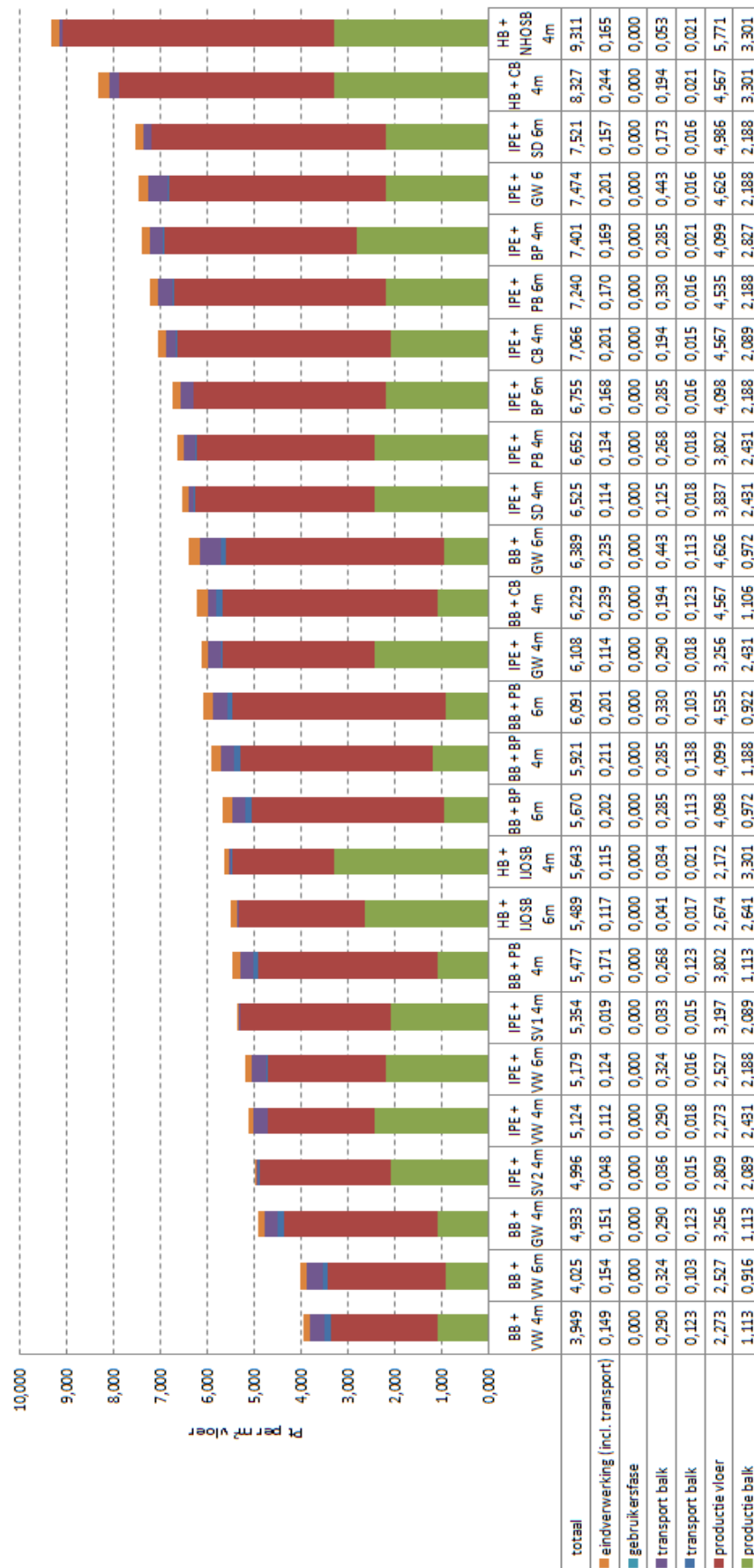
De eindverwerking (*end-of-life* fase) wordt niet opgesplitst over balk en vloer, omdat er vanaf hier sprake is van één samenhangend geheel. Gemiddeld maakt de eindverwerking (transport inbegrepen) 3% uit van de totale milieu-impactscore. Uit Figuur 161 en de bijhorende resultatentabel is af te leiden dat het vloersysteem bestaande uit een houten balk en de cellenbetonvloer als minst ecologisch op vlak van eindverwerking kan beschouwd worden. Het systeem bestaande uit een stalen ligger en systeemvloer met zwaluwstaatsbeplating kan beschouwd worden als het meest ecologische systeem op vlak van eindverwerking.

Inzake transportprocessen over de weg kan het volgende opgemerkt worden: de milieu-impactscore ten gevolge van transport is hoofzakelijk afhankelijk van de massa van het te transporteren materiaal, niet het gekozen vrachtwagentype. Zware materialen leveren bijgevolg een hoge impactscore wanneer ze getransporteerd worden. Transportmaterialen zoals wapening kan verwaarloosd worden ten opzichte van zware prefab-elementen of stortbeton.

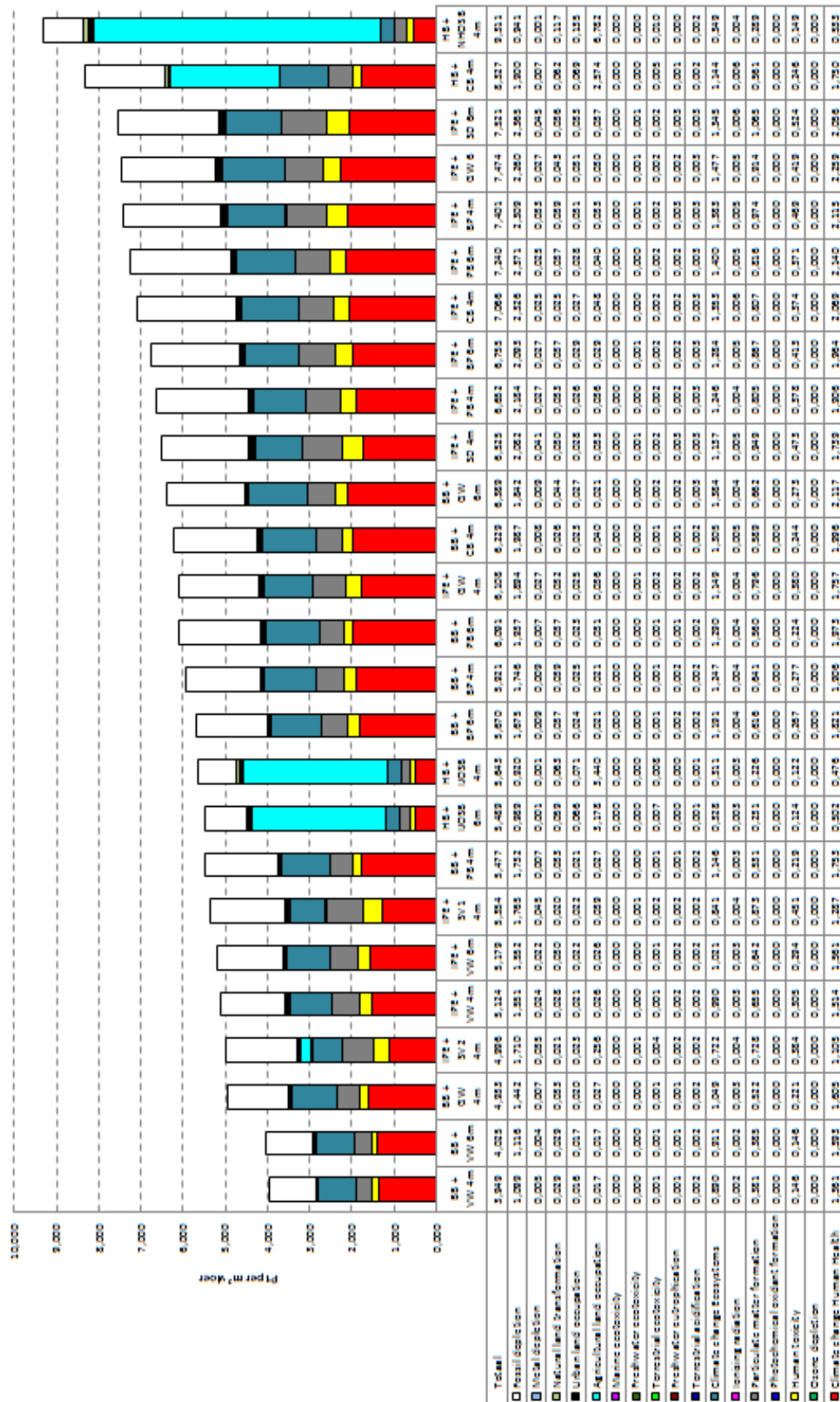
In drie van de tien gevallen (wanneer een vloersoort zowel voor 4 m overspanning als voor 6 m overspanning kan gebruikt worden) is het ecologischer om het vloer-balk systeem dat 6 m overspant te gebruiken. Dit geldt voor een houten balk en I-joist liggers, een betonnen balk en breedplaatvloer en een stalen ligger en breedplaatvloer (zie Figuur 160). Hierbij is enkel het laatste geval merkkelijk beter ten opzichte van zijn variant die 4 m overspant (6,755 Pt ten opzichte van 7,401 Pt). Er is op te merken dat er geen materiaalvermeerdering per m² vloeroppervlakte optreedt (ten opzichte van een breedplaatvloer die 4 m overspant) bij een breedplaatvloer die 6 m overspant. Bij de overige gevallen weegt het feit dat er minder volume aan balken per m² nodig is, niet op tegen het feit dat er meer volume aan vloer per m² nodig is.



Figuur 160: Verschil in milieu-impactscore wanneer de vloeroverspanning wijzigt van 4 m naar 6 m



Figuur 161: Vergelijking van de milieu-impactscore van de verschillende voer-balk systemen, voor eenzelfde belasting (1,5 kN/m² vaste belasting en 2 kN/m² nuttige last). Van elk systeem wordt de bijdrage van de verschillende levensfasen weergegeven. De impactscores zijn uitgedrukt per m² vloer.



Figuur 162: Vergelijking van de milieu-impactscore van de verschillende voer-balk systemen, voor eenzelfde belasting (1,5 kN/m² vaste belasting en 2 kN/m² nuttige last). Voor elk systeem wordt de bijdrage, uitgedrukt in Pt per m² vloer, aan iedere milieu-impactcat

5.5.3 Vergelijking met literatuur

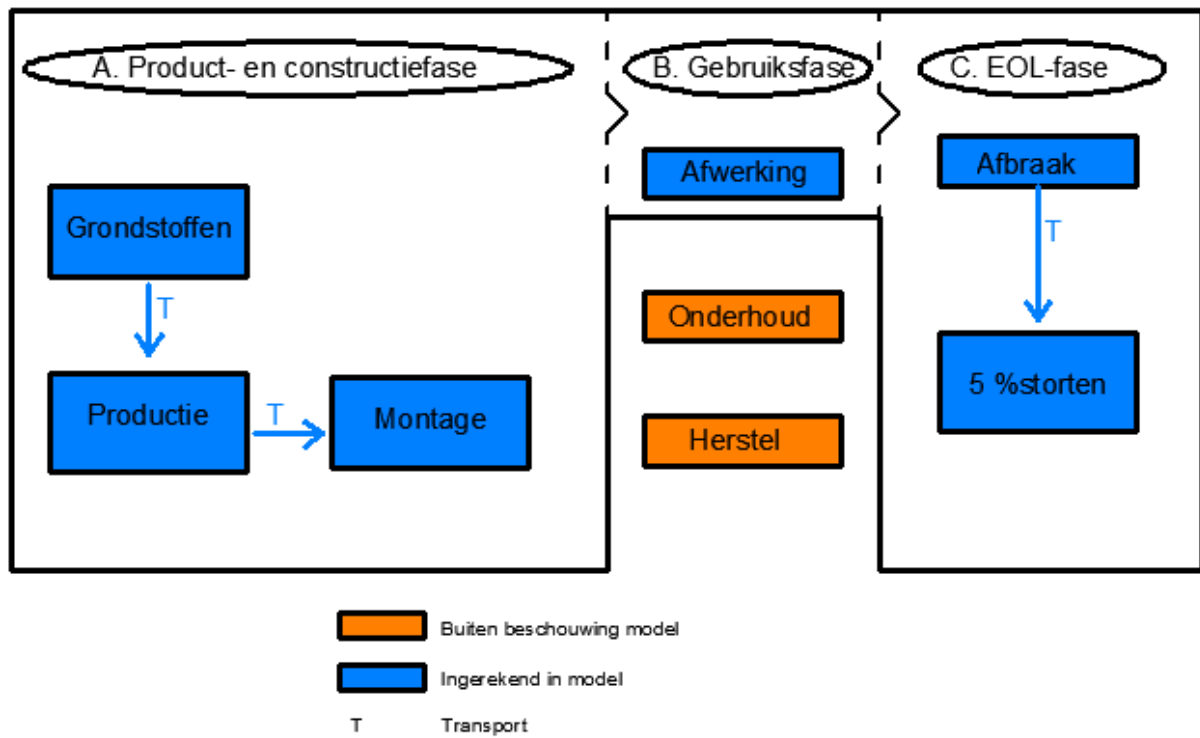
Het onderzoek van De Schepper & Van den Brecht (2016) geeft aan dat een structureel vloer-balk systeem, bestaande uit een gewapende balk en gewapende welfsels met druklaag, een totale milieu-impactscore heeft van 309 Pt. De Schepper & Van den Brecht hebben het onderzoek uitgevoerd voor een balk die 6 m overspant en welfsels die 5 m overspannen. In tegenstelling tot deze studie wordt niet enkel de door de balk gedragen vloer in rekening gebracht, maar de volledige vloer (10 m vloer). Er is dus per m² minder balk in rekening gebracht dan in dit onderzoek. Wanneer de impactscore wordt uitgedrukt per m² vloer, levert dit een totale milieu-impactscore op van 5,150 Pt/m². Een vergelijking met dit onderzoek wordt weergegeven in Tabel 42.

Tabel 42: Vergelijking van de in deze studie onderzochte structurele vloer-balk systemen (BB + GW 4m en BB + GW 6m) met het door De Schepper & Van den Brecht (2016) onderzocht vloer-balk systeem.

Type vloer-balk systeem	Pt/m ²
BB + GW 4m	4,933
Betonnen balk + gewapend welfsel 5m	5,150
BB + GW 6m	6,389

Onderstaande lijst toont enkele verschillen tussen beide onderzoeken die een reden kunnen vormen voor het verschil in milieu-score:

- Systeemgrenzen (zie Figuur 51 en Figuur 163): De productfase kan als identiek worden beschouwd. Echter wordt in de constructiefase bij De Schepper & Van den Brecht (2016) wel de montage in rekening gebracht. Er wordt ook rekening gehouden met een afwerking. De overige fasen uit de gebruiksfase zijn eveneens buiten beschouwing gelaten. De afbraak van het systeem wordt in tegenstelling tot dit onderzoek wel in rekening gebracht. Er wordt bovendien rekening gehouden met het feit dat 5% van het sloopafval gestort wordt.
- Milieu-impact van prefabbeton: zoals reeds bleek uit de vergelijking gemaakt in 5.2.2, verschilt de milieu-impact van een zelfde hoeveelheid beton. Voor een verklaring van dit verschil wordt verwezen naar 5.2.2.
- Aangrijpende belasting: Er is een klein verschil in aangrijpende belasting. De Schepper & Van den Brecht (2016) hebben de gewapende welfsels en balk gedimensioneerd aan de hand van een permanente last van 1,79 kN/m² (dekvloer, mortellaag en tegels) en een mobiele last van 2 kN/m².
- Minder balk per m² vloer: Zoals reeds eerder aangegeven wordt in de studie van De Schepper & Van den Brecht (2016) de impact van de volledige vloer in rekening gebracht. Dit is in tegenstelling tot dit onderzoek, waar enkel het, door de balk, te dragen deel van de vloer in rekening wordt gebracht.



Figuur 163: Systeemgrenzen De Schepper & Van den Bremt (2016)

Hoofdstuk 6: Gevoeligheidsanalyses

Voor het opstellen van de verschillende levenscyclusanalyses zijn er een aantal aannames van parameters gebeurd. Om de invloed van deze aannames op het totaalresultaat na te gaan, worden er gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. De parameters die binnen de gevoeligheidsanalyses aangepast zullen worden zijn:

1. Transportmiddelen en -afstanden van houtgrondstoffen naar de fabriek.
2. Transportmiddelen en -afstanden van balk en vloerelementen naar de werf.
3. Transportmiddelen en -afstanden van sloopafval naar de afvalverwerkingssite.
4. Berekende hoogte van de betonnen balk (invloed parameter β).
5. Samenstelling van het staal (verhouding nieuw staal ten opzichte van gerecycleerd staal).
6. Gebruik van cellenbetonsloopafval in nieuw cellenbeton.
7. Gebruik van gerecycleerde granulaten in de productie van stortklaar beton.

Voor gevoeligheidsanalyses 1, 2, 3 en 6 worden *best-case* en *worst-case* scenario's opgesteld. Voor gevoeligheidsanalyse 4 wordt een alternatieve situatie opgesteld. Uit de resultaten zal blijken of deze situatie een beter of slechter alternatief is dan het basisscenario. Gevoeligheidsanalyses 5 en 7 zijn opgebouwd uit scenario's met meerdere betere en/of slechtere alternatieven. Als laatste wordt er nog een analyse uitgevoerd waarbij enerzijds alle *best-case* scenario's worden gecombineerd en anderzijds alle *worst-case* scenario's.

6.1 Transportmiddelen en -afstanden van houtgrondstoffen naar de fabriek

6.1.1 Bepaling van *best-case* en *worst-case* scenario

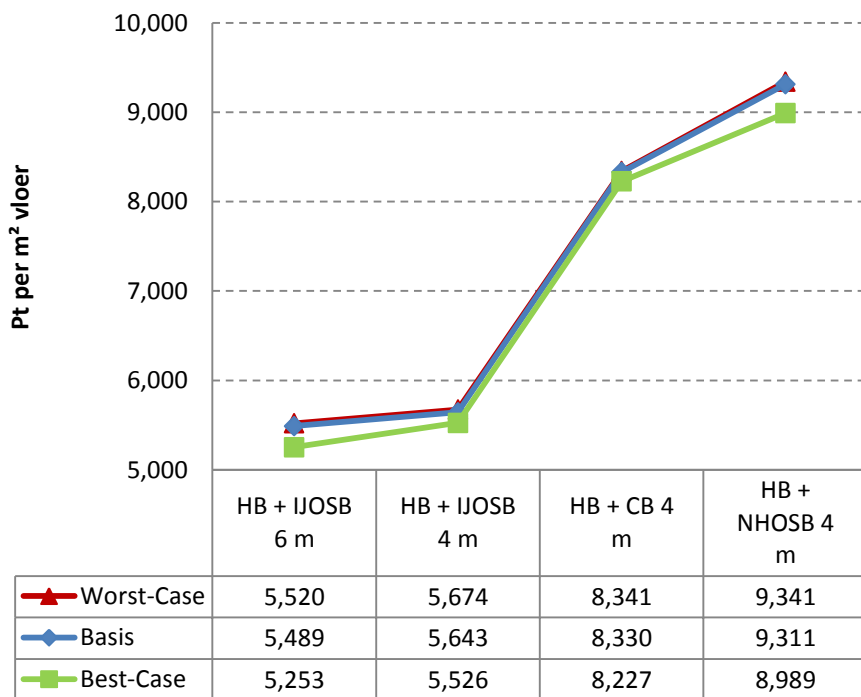
Alvorens de houtproducten vervaardigd kunnen worden in de houtfabrieken, dienen de gekapte bomen getransporteerd te worden naar de fabriek. De Belgische fabrikanten gebruiken zowel geïmporteerde bomen als bomen afkomstig uit België. De transportmiddelen en -afstanden zijn aannames en worden bijgevolg onderworpen aan een gevoeligheidsanalyse. De *best-case* en *worst-case* scenario (weergegeven in Tabel 43) zijn gebaseerd op de gevoeligheidsanalyses uitgevoerd door OVAM (Debacker et al., 2012).

Tabel 43: Scenario's voor de gevoeligheidsanalyse van de transportafstanden van de houtgrondstoffen naar de fabriek (Debacker et al., 2012)

Basis-scenario	Zie Tabel 13
<i>Best-case</i> scenario	Transportafstand reduceren met 50%
<i>Worst-case</i> scenario	Transportafstand vergroten met 50%

6.1.2 Impact op de resultaten

De impact van de transportmiddelen en -afstanden van houtgrondstoffen naar de fabriek is merkbaar (zie Figuur 164). Wanneer een milieunadeliger scenario (*worst-case* scenario) zich voordoet stijgt de milieu-impactscore, van de relevante vloer-balk systemen, gemiddeld met slechts 0,39%. De impact van een milieuvoordelig scenario (*best-case* scenario) is beter merkbaar. De milieu-impactscore daalt met gemiddeld 2,77%. De onderlingevoorkeursvolgorde van de vloer-balk systemen wijzigt niet.



Figuur 164: Impact van de transportmiddelen en -afstanden van de houtgrondstoffen naar de fabriek op de relevante vloer-balksystemen.

6.2 Transportmiddelen en -afstanden van balk en vloerelementen naar de werf

6.2.1 Bepaling van *best-case* en *worst-case* scenario

In de analyses is uitgegaan van een basisscenario voor het transport van de bouwmaterialen naar de werf. Dit scenario is opgesteld door OVAM (Debacker et al., 2012). Hierbij werd specifiek transporttraject, eventueel via een tussenhandelaar, vastgelegd en de verschillende transportmiddelen (lichte of zware vrachtwagen) werden door enquêtering en beoordelingsexperten gekozen. In de studie van OVAM (Debacker et al., 2012) is een *best-case* en *worst-case* scenario opgemaakt, weergegeven in Tabel 44.

Tabel 44: Scenario's voor de gevoeligheidsanalyse van de transportafstanden van de bouwmaterialen naar de werf (Debacker et al., 2012)

Basis-scenario	Zie Tabel 14
<i>Best-case</i> scenario	Transportafstand reduceren met 50% + Alles wordt vervoerd met een zware vrachtwagen (> 16 ton)
<i>Worst-case</i> scenario	Transportafstand vergroten met 50% + Transport met zware vrachtwagen (> 16 ton) reduceren met 30% + Transport met lichte vrachtwagen (3.5 - 16 ton) vergroten met 30%

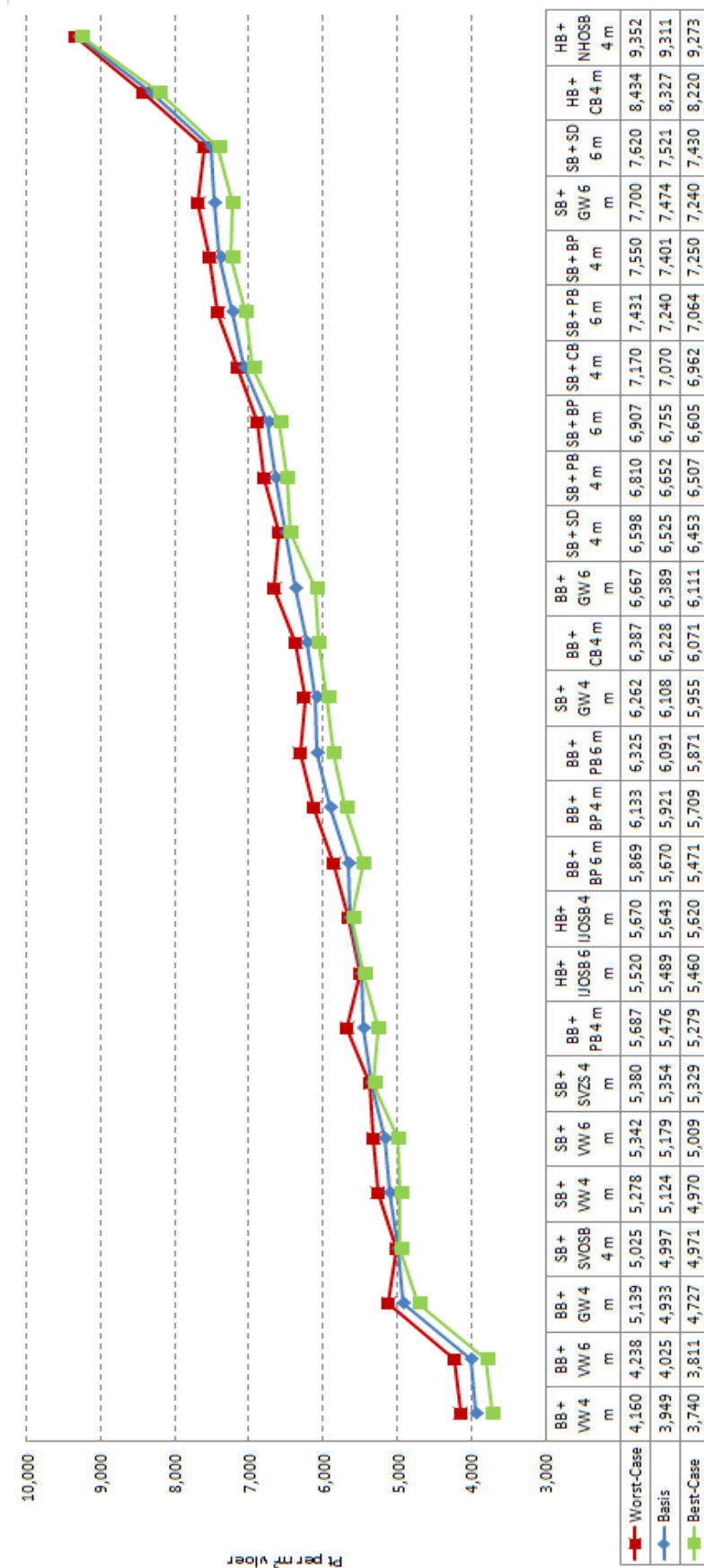
6.2.2 Impact op de resultaten

De impact van de transportmiddelen en -afstanden van houtgrondstoffen naar de fabriek is merkbaar (zie Figuur 165). Gemiddeld gezien heeft een milieunadeliger scenario (*worst-case* scenario) een stijging van de milieu-impactscore van 2,51% tot gevolg. Het *best-case* scenario zorgt voor een milieuwinst van gemiddeld 2,47%.

Vooraf systemen, opgebouwd uit zware bouwmaterialen (betonnen balk in combinatie met breedplaatvloer, potten en balken, gewapend welfsel of voorgespannen welfsels), ondervinden de grootste invloed bij het wijzigen van transportmiddel en/of het verhogen of verlagen van de transportafstand. De systemen bestaande uit zware bouwmaterialen hebben bij het *worst-case* scenario een stijging van milieuscore van gemiddeld 4,30%. Bij het *best-case* scenario is de verandering gelijkaardig, namelijk 4,18%.

Bij het *worst-case* scenario zijn er enkele onderlinge voorkeurswijzigingen. De verschillen in impactscore tussen de van voorkeursplaats veranderde systemen is echter gering.

Uit deze resultaten kan geconcludeerd worden dat de manier van transport en de transportafstand naar de werf van de verschillende materialen weldegelijk een rol kan spelen voor de totale milieu-impactscore. Vooral voor zware bouwmaterialen kan het nuttig zijn om aan optimalisatie van het transport te doen.



Figuur 165: Impact van de transportmiddelen en -afstanden van bouwmaterialen naar de werf

6.3 Transportmiddelen en -afstanden van sloopafval naar de verwerkingssite

6.3.1 Bepaling van *best-case* en *worst-case* scenario

In de analyses is uitgegaan van een basisscenario voor het transport van het sloopafval naar de werf. Dit scenario is opgesteld door OVAM (Debacker et al., 2012). Hierbij werd een specifiek transporttraject vastgelegd en de verschillende transportmiddelen (lichte of zware vrachtwagen) werden door enquêtering en beoordelingsexperten gekozen. In de studie van OVAM (Debacker et al., 2012) is een *best-case* en *worst-case* scenario opgemaakt, weergegeven in Tabel 45.

Tabel 45: Scenario's voor de gevoeligheidsanalyse van de transportafstanden van het sloopafval naar de verwerkingssite (Debacker et al., 2012)

Basis-scenario	Zie Transport van sloopafval			
	Bij het transport van het sloopafval wordt een onderscheid gemaakt tussen de verschillende types van eindverwerking: recyclage, storten of verbranding (zie 4.3.3). Transport met betrekking tot recyclage wordt buiten beschouwing gelaten. Voor de overige types van eindverwerking heeft OVAM, op basis van de Nederlandse norm NEN 8006 (2004), de gemiddelde transportafstanden en vervoermiddelen voor transport bepaald (zie Tabel 15).			
	Tabel 15: Gemiddelde transportafstanden en vervoersmiddelen voor de eindverwerking van een bouwproduct (geldig voor alle materialen)			
		Vervoermiddel voor transport van		Gemiddelde transportafstand voor transport van
		werf naar sorteerbedrijf of inzamelpunt	sorteerbedrijf of inzamelpunt naar eindverwerking	werf naar sorteerbedrijf of inzamelpunt
		zware vrachtwagen (> 16ton)	zware vrachtwagen (> 16ton)	[km]
Type eindverwerking	storten	100%	100%	30
	verbranden	100%	100%	30
				100
<i>Best-case</i> scenario	Transportafstand reduceren met 50% + Alles wordt vervoerd met een zware vrachtwagen (> 16 ton)			
<i>Worst-case</i> scenario	Transportafstand vergroten met 100% + Transport met zware vrachtwagen (> 16 ton) reduceren met 20% + Transport met lichte vrachtwagen (3.5 - 16 ton) vergroten met 20%			

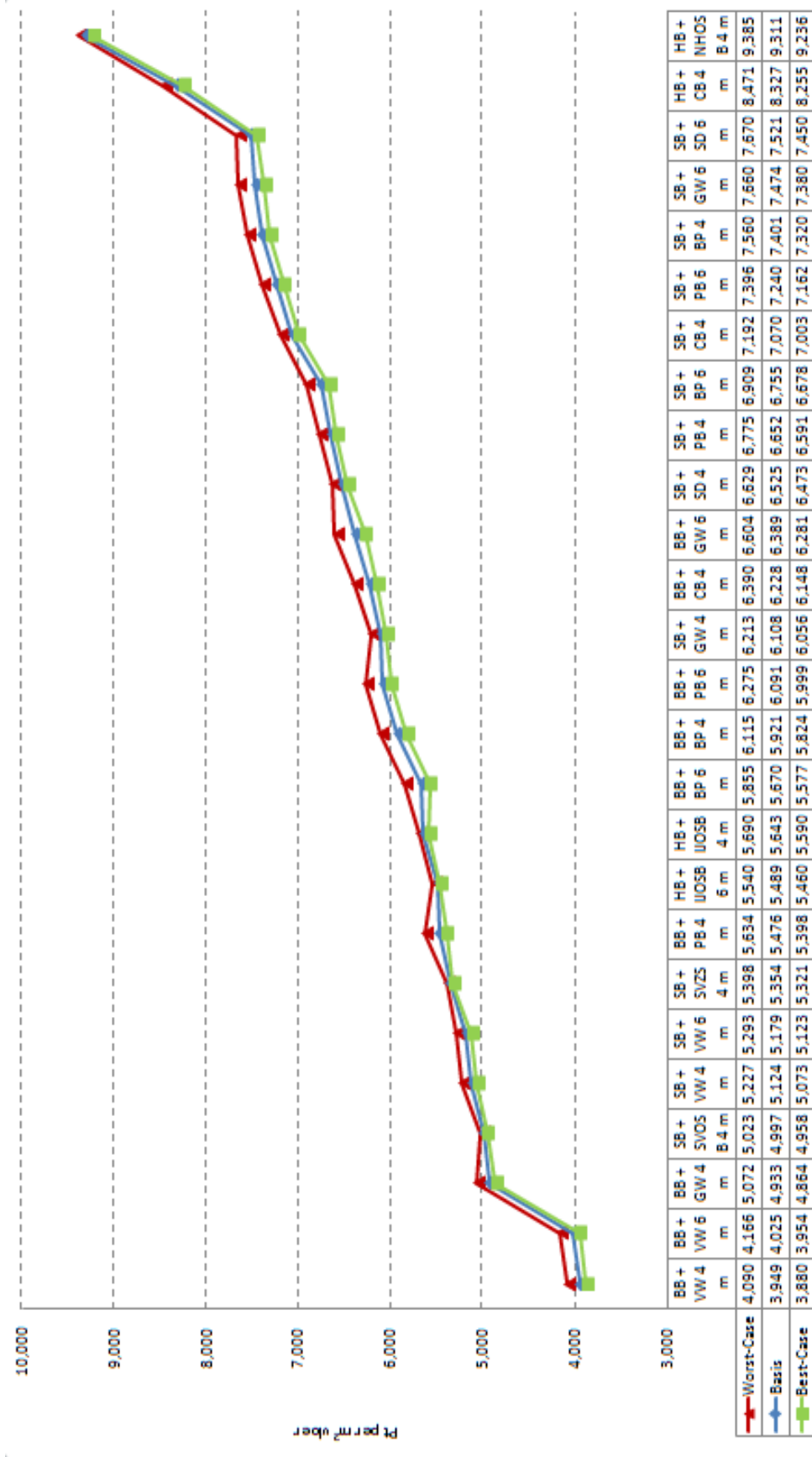
6.3.2 Impact op de resultaten

De impact van de transportmiddelen en -afstanden van sloopafval naar de verwerkingssite is merkbaar (zie Figuur 166). Een milieunadeliger scenario (*worst-case* scenario) heeft tot gevolg dat de milieu-impactscore gemiddeld met 2,16% stijgt. De impact van een milieuvoordelig scenario (*best-case* scenario) is minder merkbaar. De milieu-impactscore daalt met gemiddeld 1,14%.

In een paar van de gevallen van het *worst-case* scenario doet zich een voorkeurswijziging ten opzichte van het basisscenario voor. De verschillen zijn echter miniem.

Net als bij het transport van bouwmaterialen naar de werf ondervinden vooral systemen, opgebouwd uit zware bouwmaterialen (betonnen balk in combinatie met breedplaatvloer, potten en balken, gewapend welfsel of voorgespannen welfsels), de grootste invloed bij het wijzigen van transportmiddel en/of het verhogen of verlagen van de transportafstand. De systemen bestaande uit zware bouwmaterialen hebben bij het *worst-case* scenario een stijging van milieuscore van gemiddeld 3,21%. Bij het *best-case* scenario heeft de verandering een kleinere impact, namelijk 1,60%.

Er kan geconcludeerd worden dat een wijziging in transportscenario betreffende de eindverwerking een niet te verwaarlozen impact heeft op de totale milieu-impactscore.



Figuur 166: Impact van de transportmiddelen en -afstanden van sloopaafval naar de verwerkingssite

6.4 Berekende hoogte van de betonnen balk

6.4.1 Bepaling van de scenario's

In de analyses wordt er uitgegaan van betonnen balken met een economische hoogte-wapening verhouding aangezien in de praktijk dit type balk frequent wordt uitgevoerd. Echter kan een betonnen balk ook met een minimale hoogte berekend worden.

In deze gevoeligheidsanalyse wordt de impact van de parameter β (zoals beschreven in 3.4.1.1) bepaald door naast de berekeningen van de betonnen balk met parameter $\beta_{\text{econ}}=0,0177$, de berekeningen ook uit te voeren met de parameter $\beta_{\text{lim}}=0,0161$.

De overgang van een betonnen balk van een economische hoogte naar een minimale hoogte draagt verschillende gevolgen met zich mee. Ten eerste zal het betonvolume verkleinen daar de hoogte zal verminderen. Doordat er echter gewerkt wordt met prefab afmetingen, volgt uit de berekeningen (zie Bijlage B: Berekening balken) dat enkel de betonnen balk die een breedplaatvloer (6 m) draagt een hoogtevermindering ondergaat: de hoogte daalt van 55 cm naar 50 cm. De overige balken behouden dezelfde hoogte.

Een tweede gevolg is dat er meer wapening zal nodig zijn. Bij uitzondering volgt uit de berekeningen dat de praktisch gekozen wapening, bij een balk die een cellenbetonvloer (4 m) draagt, niet wijzigt. Een overzicht van de gewichtsparameters van betonnen balken met een minimale hoogte is te zien in Figuur 167.

Berekende parameters		
Naam	Uitdrukking	Opmerking
MassaBBminBP4beton	$0,933 \cdot \text{DichtheidBeton} = 2,22\text{E}3$	Massa betonbalk min bij breedplaatvloer 4 m overspanning (kg)
MassaBBminBP4Staal	$0,011731 \cdot \text{DichtheidStaal} = 91,5$	Massa staal betonbalk min bij breedplaatvloer 4 m overspanning (kg)
MassaBBminBP6beton	$1,036 \cdot \text{DichtheidBeton} = 2,47\text{E}3$	Massa beton betonbalk min bij breedplaatvloer 6 m overspanning (kg)
MassaBBminBP6Staal	$0,013887 \cdot \text{DichtheidStaal} = 108$	Massa staal betonbalk min bij breedplaatvloer 6 m overspanning (kg)
MassaBBminCB4Beton	$0,83 \cdot \text{DichtheidBeton} = 1,98\text{E}3$	Massa beton betonbalk min bij cellenbetonvloer 4 m overspanning (kg)
MassaBBminCB4Staal	$0,009721 \cdot \text{DichtheidStaal} = 75,8$	Massa staal betonbalk min bij cellenbetonvloer 4 m overspanning (kg)
MassaBBminGW4Beton	$0,828 \cdot \text{DichtheidBeton} = 1,97\text{E}3$	Massa beton betonbalk min bij gewapend welfsel 4 m overspanning (kg)
MassaBBminGW4Staal	$0,011605 \cdot \text{DichtheidStaal} = 90,5$	Massa staal betonbalk min bij gewapend welfsel 4 m overspanning (kg)
MassaBBminGW6Beton	$1,141 \cdot \text{DichtheidBeton} = 2,72\text{E}3$	Massa beton betonbalk min bij gewapend welfsel 6 m overspanning (kg)
MassaBBminGW6Staal	$0,014023 \cdot \text{DichtheidStaal} = 109$	Massa staal betonbalk min bij gewapend welfsel 6 m overspanning (kg)
MassaBBminPB4Beton	$0,828 \cdot \text{DichtheidBeton} = 1,97\text{E}3$	Massa beton betonbalk min bij potten en balken 4 m overspanning (kg)
MassaBBminPB4Staal	$0,011605 \cdot \text{DichtheidStaal} = 90,5$	Massa staal betonbalk min bij potten en balken 4 m overspanning (kg)
MassaBBminPB6Beton	$1,036 \cdot \text{DichtheidBeton} = 2,47\text{E}3$	Massa beton betonbalk min bij potten en balken 6 m overspanning (kg)
MassaBBminPB6Staal	$0,013887 \cdot \text{DichtheidStaal} = 108$	Massa staal betonbalk min bij potten en balken 6 m overspanning (kg)
MassaBBminVW4Beton	$0,828 \cdot \text{DichtheidBeton} = 1,97\text{E}3$	Massa beton betonbalk min bij voorgespannen welfsel 4 m overspanning (kg)
MassaBBminVW4Staal	$0,011605 \cdot \text{DichtheidStaal} = 90,5$	Massa staal betonbalk min bij voorgespannen welfsel 4 m overspanning (kg)
MassaBBminVW6Beton	$1,036 \cdot \text{DichtheidBeton} = 2,47\text{E}3$	Massa beton betonbalk min bij voorgespannen welfsel 6 m overspanning (kg)
MassaBBminVW6Staal	$0,013887 \cdot \text{DichtheidStaal} = 108$	Massa staal betonbalk min bij voorgespannen welfsel 6 m overspanning (kg)

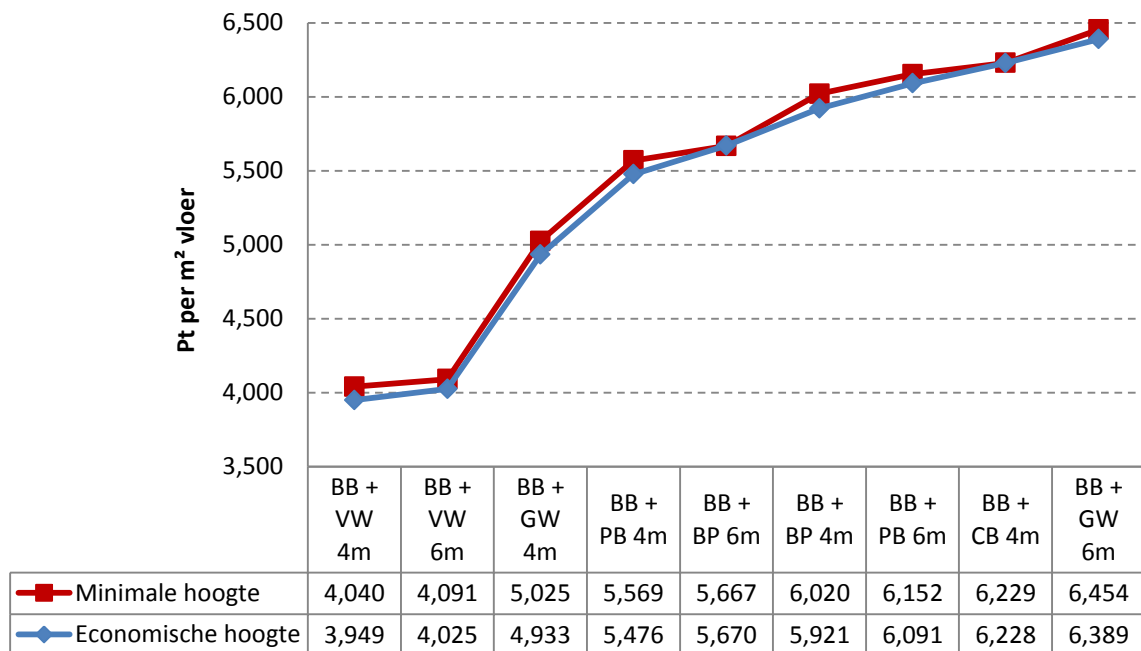
Figuur 167: Gewichtsparameters voor betonnen balken met minimale hoogte

6.4.2 Impact op de resultaten

Figuur 168 toont aan dat de impact van de parameter β in de betonberekeningen eerder gering is. Gemiddeld stijgt de milieu-impactscore met 1,24%. Opmerkelijk is dat bij een betonbalk, die een breedplaatvloer draagt, het positieve effect van minder betonvolume en het negatieve effect van meer wapeningsstaal elkaar hebben ongeveer hebben tenietgedaan. De totale milieu-impactscore blijft gelijk. Bij een betonnen balk die een cellenbetonvloer draagt is er ook geen wijziging aangezien er geen beton- en staalhoeveelheidswijzigingen zijn.

Opmerkelijk is dat balken die bedoeld zijn voor kleinere belastingen (vloeren die 4 m overspannen) een iets grotere impact ondervinden dan balken voor een grotere belasting bij het wijzigen van de parameter β . De totale impactscore van vloer-balk systemen die 4 m overspannen verhoogt met gemiddeld 1,51% ten opzichte van een verhoging van 0,90% bij vloer-balk systemen die 6 m overspannen.

Er kan geconcludeerd worden dat de keuze tussen een betonnen balk met economische of een betonnen balk met minimale hoogte een minimaal effect heeft op de totale impact-score. Van de twee varianten is de economische oplossing wel degelijk ook de ecologische oplossing. Er moet echter wel in acht worden genomen dat het effect van de parameter β voor een groot deel wordt teniet gedaan door de berekende hoogte van de betonnen balk naar prefab maten (zie 3.4.1.1).



Figuur 168: Impact van de parameter β op de berekeningen van betonnen balken

6.5 Samenstelling van het staal

6.5.1 Bepaling van de scenario's

De staalproductie in België is samengesteld uit 67,6% nieuw verkregen staal en 32,4% gerecycleerd staal (Steel Statistical yearbook 2015, 2015). Deze gemiddelde waarden verschillen echter per producent. Gevoeligheidsanalyses worden opgesteld om de impact van de verhouding nieuw staal ten opzichte van gerecycleerd staal te bepalen (zie Tabel 46).

Tabel 46: Scenario's voor de gevoeligheidsanalyse van de samenstelling van staal

Basisscenario	32.4% gerecycleerd staal en 67.6% nieuw staal (Steel Statistical yearbook 2015, 2015)
<i>Best-case</i> scenario	100% gerecycleerd staal en 0% nieuw staal
Tussenscenario 1	80% gerecycleerd staal en 20% nieuw staal
Tussenscenario 2	50% gerecycleerd staal en 50% nieuw staal
Tussenscenario 3	20% gerecycleerd staal en 80% nieuw staal
<i>Worst-case</i> scenario	0% gerecycleerd staal en 100% nieuw staal

6.5.2 Impact op de resultaten

De impact van de verhouding van nieuw staal tot gerecycleerd staal in een staalsamenstelling (zie Figuur 170) heeft een grote impact op de totale milieuscore. In Figuur 170 wordt achter het scenario eveneens vermeld hoeveel % gerecycleerd staal er in dat scenario in rekening wordt gebracht.

Het milieuvoordeligste scenario (*best-case* scenario) heeft een daling van de milieuscore van gemiddeld 28,84% tot gevolg. Bij dit scenario is er een grote voorkeursverandering te merken. Een stalen balk met systeemvloer (met zwaluwstaartplaat) stijgt van de zevende beste naar het meest ecologische systeem. De milieu-impactscore van dit systeem is gedaald met 55,45%. Ook de stalen balk met staalplaatbetonvloer (zowel 4 m als 6 m), worden aanzienlijk meer ecologisch (daling van milieuscore van 45,33% en 42,75%). Vloer-balk systemen waar weinig staal in zit, ondervinden vanzelfsprekend de minste (maar toch nog steeds merkbare) impact. Zo blijft een houten balk met cellenbetonvloer het minst ecologische systeem aangezien er een daling is van “slechts” 10,86%. Vloer-balk systemen opgebouwd uit een IPE-ligger ondervinden een daling van de milieuscore van gemiddeld 37,09%.

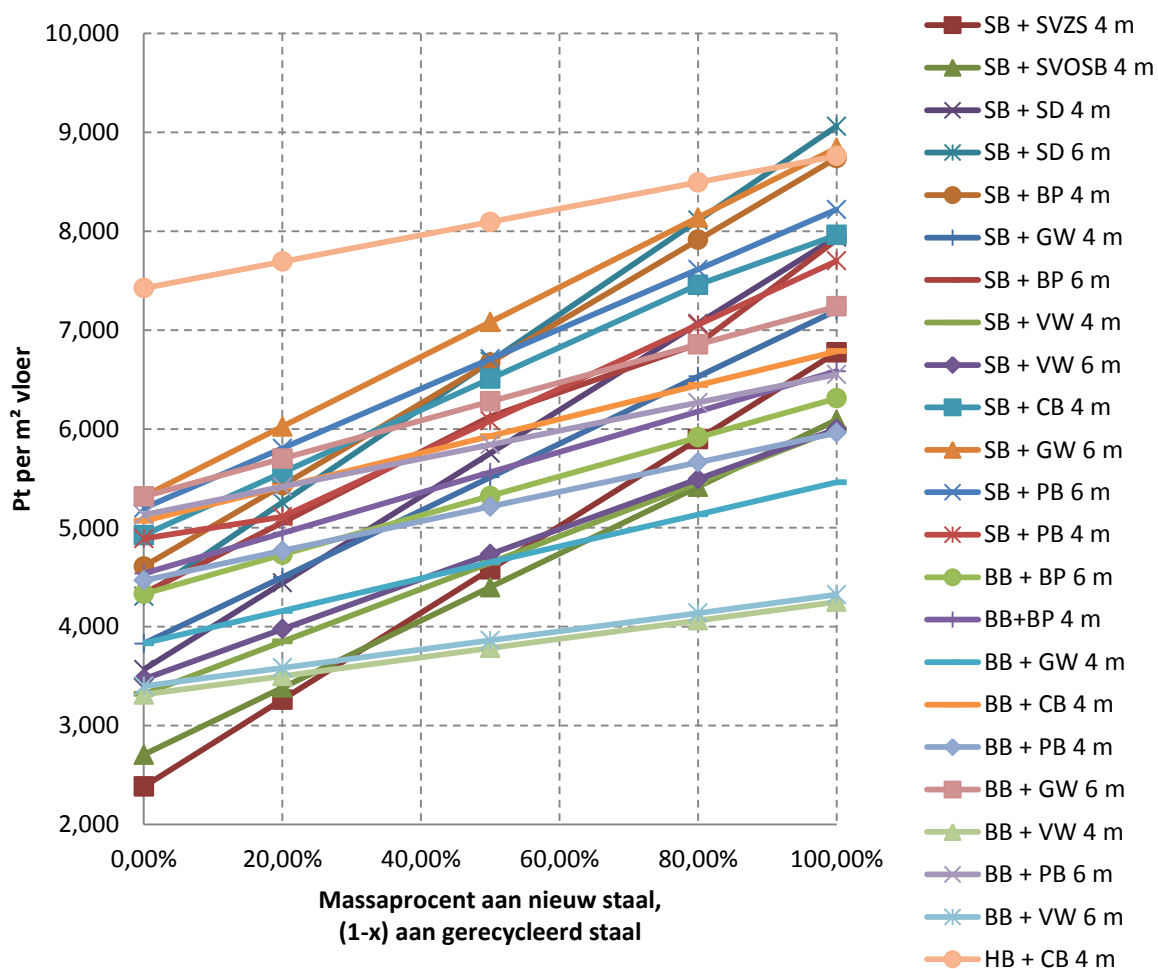
Het *worst-case* scenario heeft een mindere impact op de resultaten dan het *best-case* scenario. Gemiddeld gezien is er een stijging van milieu-impactscore van 14,29%. De stalen balk met systeemvloer (met zwaluwstaartplaat) ondervindt logischer wijs opnieuw de grootste impact, met een stijging van 26,52%. Op dit systeem na zijn er echter relatief weinig voorkeursverschuivingen. Vloer-balk systemen opgebouwd uit een IPE-ligger ondervinden een stijging van de milieuscore van gemiddeld 18,20%. De reden dat het gemiddelde procent van het *worst-case* scenario lager ligt dan het

best-case scenario is toe te schrijven aan het feit dat het basisscenario betreffende de staalsamenstelling reeds nadert naar het *worst-case* scenario.

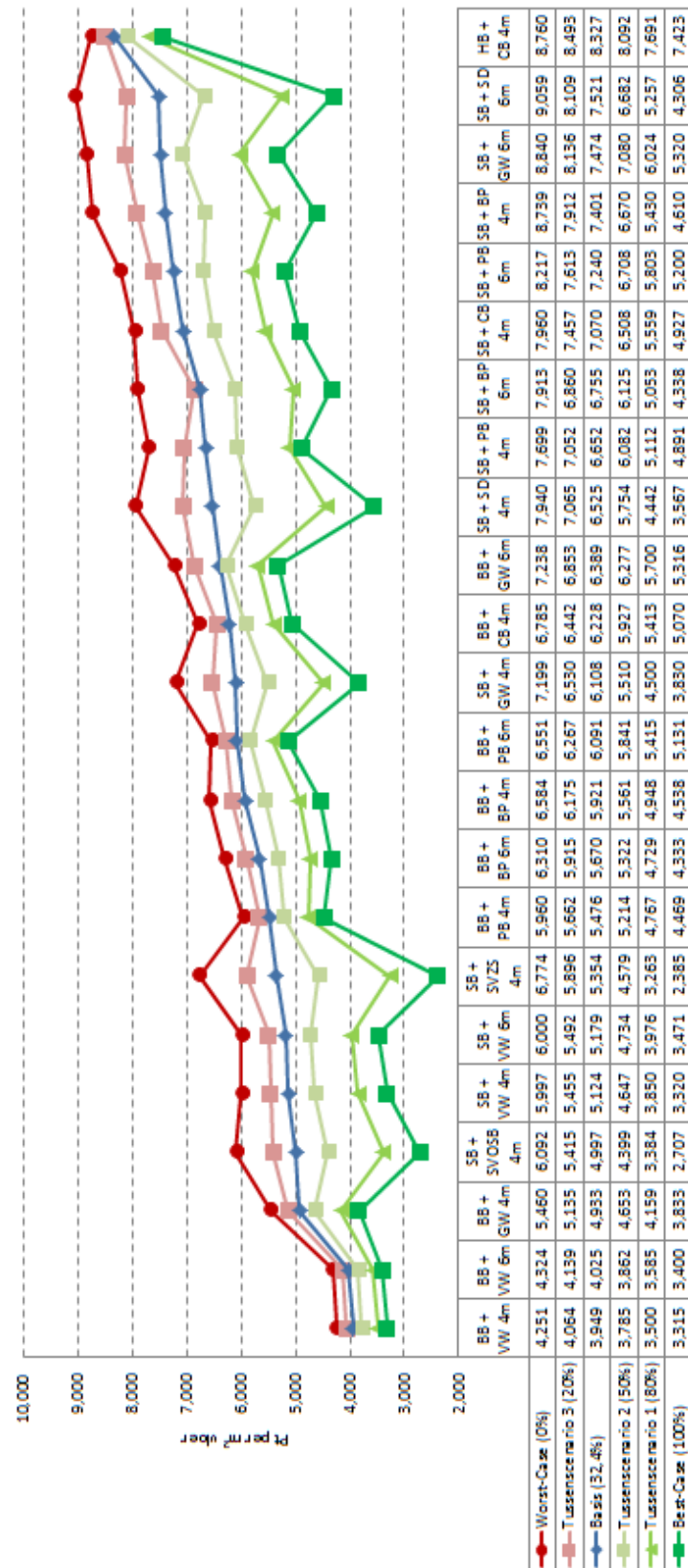
Het *best-case* en *worst-case* scenario kunnen verbonden worden met behulp van een lineaire lijn (zie Figuur 169). Op deze lijn liggen de opgestelde tussenscenario's. Aan de hand van dit verloop kan bepaald worden vanaf welke massapercentage aan gerecycleerd staal een vloer-balk systeem ecologisch wordt dan een ander systeem.

Zo is een stalen balk met systeemvloer vrijwel snel (tot wanneer iets minder dan 30% aan nieuw staal gebruikt wordt) niet meer de meest ecologische oplossing. Vanaf 90% aan nieuw staal (10% aan gerecycleerd staal), wordt de glulam balk met cellenbetonvloer niet meer als minst ecologische systeem beschouwd, daar het voorbijgestoken wordt een stalen balk met een breedplaatvloer (4 m), vloer bestaande uit gewapende welfsel (6 m) of een staalplaatbetonvloer (6 m).

Er kan geconcludeerd worden dat een wijziging staalsamenstelling een enorme impact heeft op de totale milieu-impactscore. Zelfs voor vloer-balk systemen, opgebouwd uit weinig staal, (vb. betonnen balk + voorgespannen welfsel) is de impact duidelijk merkbaar.



Figuur 169: Verloop van de milieu-impactscore, uitgedrukt in Pt per m² vloeroppervlak, van *best-case* naar *worst-case*



Figuur 170: Impact samenstelling staal op de relevante balk-vloersystemen

6.6 Gebruik van cellenbetonsloopafval in nieuw cellenbeton

6.6.1 Bepaling van *best-case* en *worst-case* scenario

Bij de productie van cellenbeton in België wordt 20% van de benodigde zandhoeveelheid vervangen door cellenbetonsloopafval (Vrijders, Nielsen & Quaghebeur, 2009). Bij Xella in Burcht kan deze waarde in het beste geval oplopen tot 25% (Van de Voorde, 2016, 25 maart). In het slechtste geval wordt er verondersteld dat er geen cellenbetonsloopafval gerecycleerd wordt. Een overzicht van de opgestelde scenario's wordt weergegeven in Tabel 47.

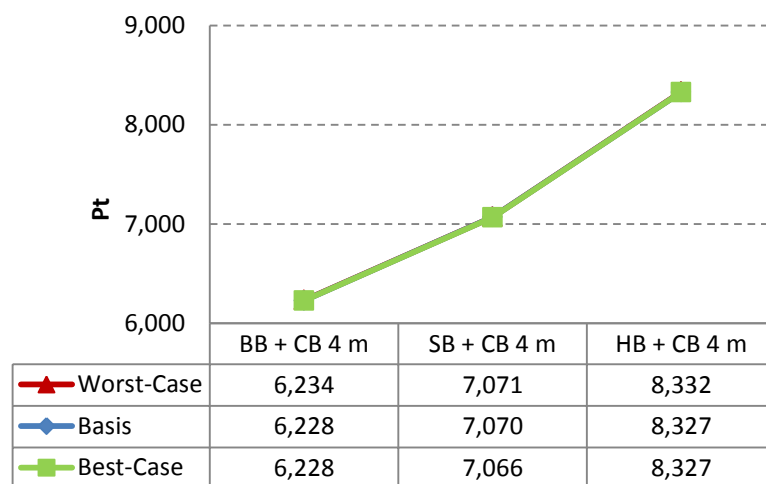
Tabel 47: Scenario's voor de gevoeligheidsanalyse van de recyclage van cellenbetonafval

Basis-scenario	20% van de zandhoeveelheid vervangen door cellenbetonafval (Vrijders, Nielsen & Quaghebeur, 2009)
<i>Best-case</i> scenario	25% van de zandhoeveelheid vervangen door cellenbetonafval (Van de Voorde, 2016, 25 maart)
<i>Worst-case</i> scenario	0% van de zandhoeveelheid vervangen door cellenbetonafval

6.6.2 Impact op de resultaten

De impact van het hergebruik van cellenbetonsloopafval in nieuw cellenbeton is verwaarloosbaar (zie Figuur 171). Wanneer een milieuvriendelijker scenario (*best-case* scenario) zich voordoet daalt de milieu-impactscore, van de relevante vloer-balk systemen, gemiddeld met slechts 0,02%. De impact van een milieunadeliger scenario (*worst-case* scenario) is evenmin merkbaar. De milieu-impactscore stijgt met gemiddeld 0,06%. De voorkeursvolgorde van de vloer-balk systemen wijzigt dus niet.

Er kan geconcludeerd worden dat in dit onderzoek en binnen deze systeemgrenzen het gebruik van cellenbetonsloopafval in nieuw cellenbeton een verwaarloosbare impact heeft op de milieu-impactscore.



Figuur 171: Impact hergebruik van cellenbetonsloopafval in nieuw cellenbeton op de relevante balk-vloersystemen

6.7 Gebruik van gerecycleerde granulaten in de productie van stortklaar beton

6.7.1 Bepaling van *best-case* en *worst-case* scenario

Volgens NBN B15-001 wordt het gebruik van gerecycleerde granulaten toegelaten bij de productie van stortklaar beton met druksterkteklassen tot en met C25/30. Mits het voorleggen van een gebruiksgeschiktheid, waarvan in deze studie wordt uitgegaan, mogen gerecycleerde granulaten ook gebruikt worden in hogere druksterkteklassen.

In het basisscenario van de productfase van stortklaar beton worden geen gerecycleerde granulaten gebruikt. In het beste geval loopt het vervangingspercentage op tot 20% (NBN B15-001), op voorwaarde dat de betongranulaten afkomstig zijn van een mengsel met een minimale sterkteklasse C30/37 (Colpaert & Hellebuyck, 2013). Verder wordt er nog een tussenscenario in rekening gebracht waarbij een vervangingspercentage van 10% wordt gebruikt, zoals weergegeven in Tabel 48.

De gerecycleerde hoeveelheid betongranulaat wordt in SimaPro in rekening gebracht door de hoeveelheid grind te verminderen met 10% of 20% (*avoided impact*).

Tabel 48: Scenario's voor de gevoeligheidsanalyses van de recyclage van betongranulaten

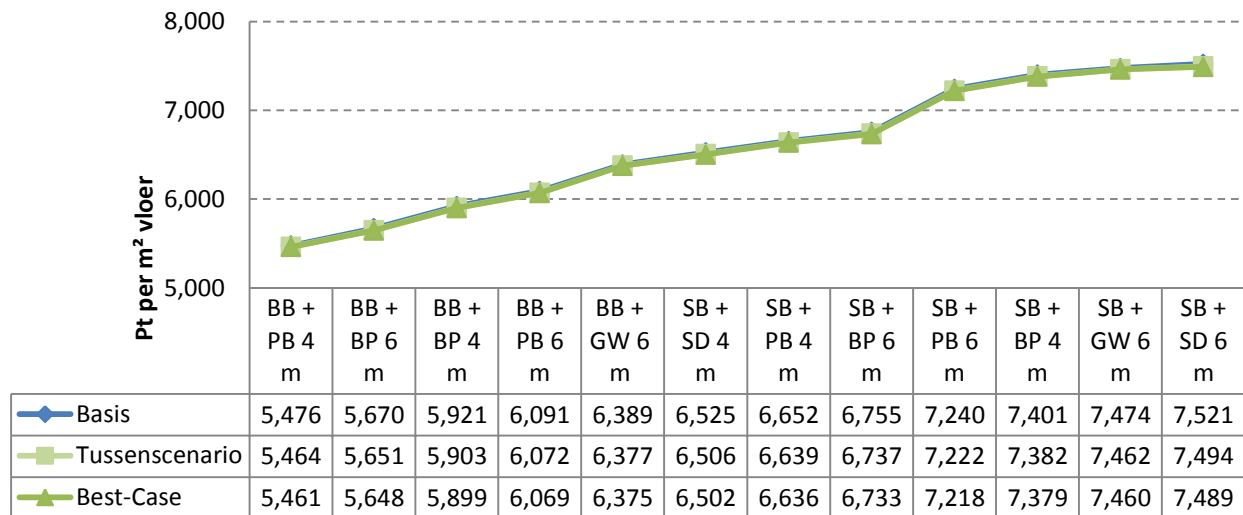
Basis-scenario	Vervangingspercentage van 0%
Tussenscenario	Vervangingspercentage van 10%
<i>Best-case</i> scenario	Vervangingspercentage van 20% (NBN B15-001)

6.7.2 Impact op de resultaten

De impact van het hergebruik gerecycleerde granulaten in de productie van stortklaar beton is evenzeer verwaarloosbaar (zie Figuur 172). Het tussenscenario heeft een verlaging van de milieu-impactscore tot gevolg van gemiddeld 0,26%. Ten opzichte van het basisscenario heeft het *best-case* scenario een daling van de milieu-impactscore van gemiddeld 0,31%. De voorkeursvolgorde blijft ongewijzigd voor beide scenario's.

Er kan geconcludeerd worden dat in dit onderzoek en binnen deze systeemgrenzen het hergebruik gerecycleerde granulaten in de productie van stortklaar beton een verwaarloosbare impact heeft op de totale milieu-impactscore van de vloer-balk systemen.

Uit Figuur 135 is bovendien af te leiden dat de productfase van granulaten maar 5,3% uitmaakt van de impactscore ten gevolge van het storten van beton. Wanneer, in het beste geval, 20% aan gerecycleerde granulaten worden gebruikt, daalt dit percentage tot 4,6%



Figuur 172: Impact hergebruik van gerecycleerde granulaten in de productie van stortklaar beton op de relevante balk-vloersystemen

6.8 Globale gevoeligheidsanalyse

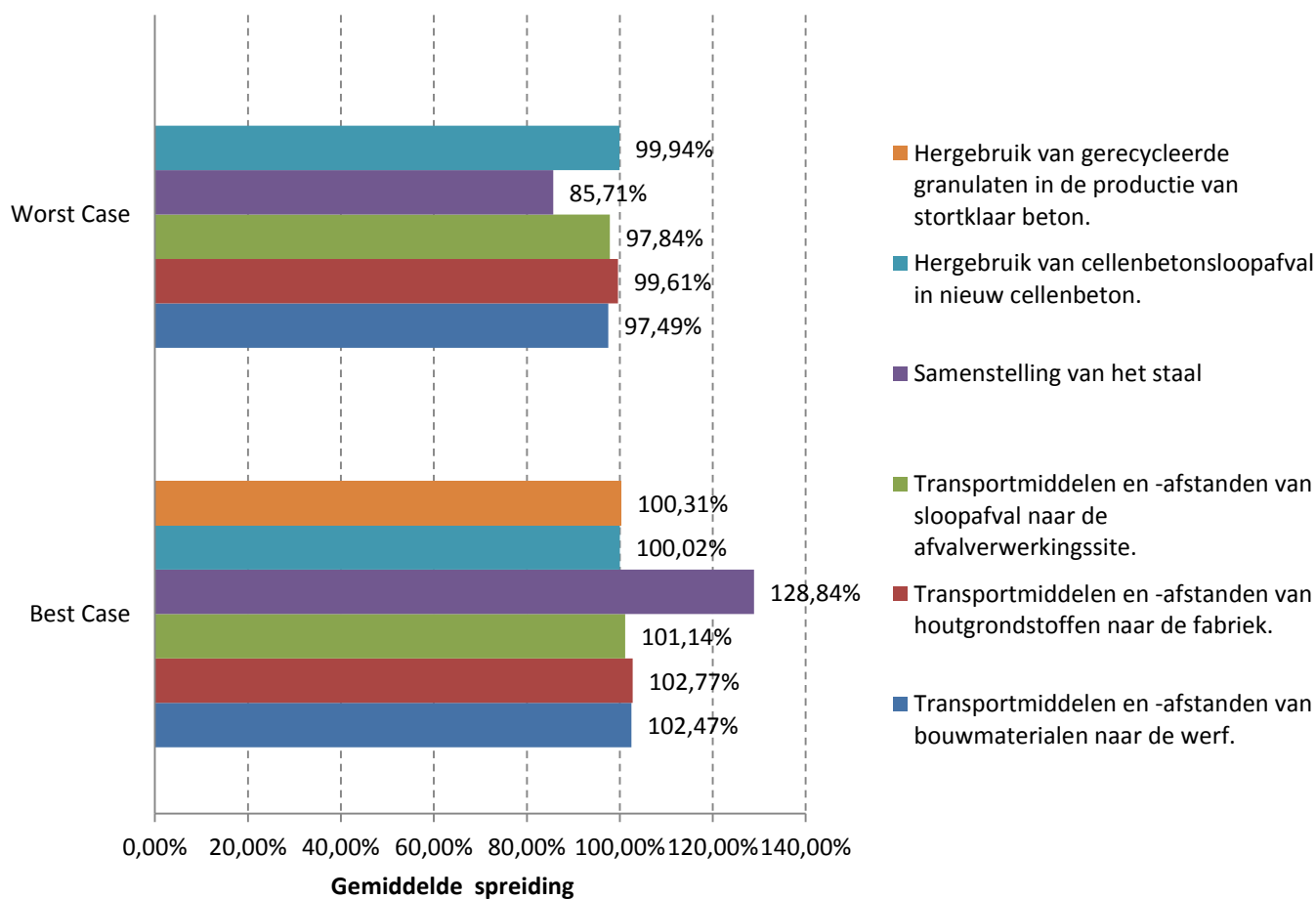
6.8.1 Bepaling van het best- en worst-case scenario

Uit Figuur 173 en voorgaande analyses blijkt dat de parameter die de samenstelling van het staal definieert de grootste impact heeft op de resultaten. De overige aannames kunnen gemiddeld wijzigingen tot maximaal 2,77% aan de milieuscore veroorzaken, waardoor de nieuwe milieuscore relatief weinig afwijkt van de milieu-impactscore ten gevolge van het basisscenario.

Voor het uitvoeren van een globale gevoeligheidsanalyse worden enerzijds alle voorgaande *best-case* scenario's en anderzijds alle voorgaande *worst-case* scenario's in één analyse samengevoegd. De gevoeligheidsanalyse betreffende de berekende hoogte van de betonnen balk wordt buiten beschouwing gelaten.

6.8.2 Impact op de resultaten

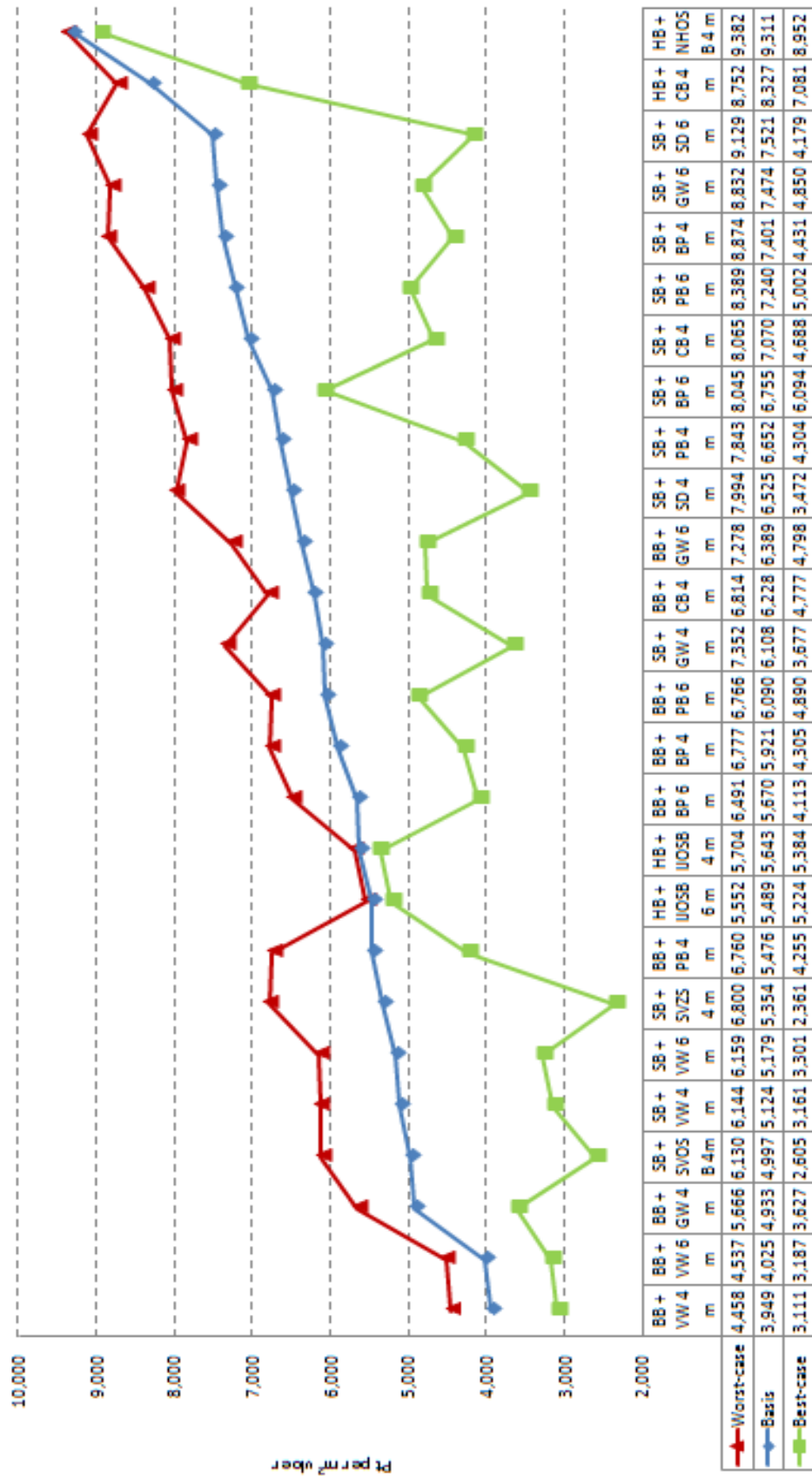
De impact de globale *best-* en *worst-cases* is te zien in Figuur 174. Het globale *worst-case* scenario heeft tot gevolg dat de milieu-impactscore gemiddeld met 15,12% stijgt. De impact van het globale *best-case* scenario is groter. De milieu-impactscore daalt immers met gemiddeld 28,31%. De hoge gemiddelde percentages zijn grotendeels te wijten aan de gevoeligheidsanalyse betreffende de staalsamenstelling. De reden dat het gemiddelde van het milieuvriendelijkste scenario hoger ligt dan het milieuonadeligste scenario is toe te schrijven aan het feit dat het basisscenario betreffende de staalsamenstelling reeds nadert naar het *worst-case* scenario.



Figuur 173: Gemiddelde spreiding, uitgedrukt in %, van de verschillende best- en worst- cases ten opzichte van het basisscenario (100%)

Bij het *worst-case* scenario doen er zich relatief weinig voorkeurswijzigingen ten opzichte van het basisscenario voor. Enkel structurele vloer-balk systemen, opgebouwd uit weinig staal, worden ecologisch voordeliger ten opzichte van de overige systemen en genieten bijgevolg een grotere voorkeur dan in het basisscenario.

Bij het *best-case* scenario doet zich dezelfde trend voor als bij de gevoeligheidsanalyse betreffende de staalsamenstelling: de balk-vloer systemen met veel staal schuiven op in de voorkeursrangschikking. De stalen balken met systeemvloer (zwaluwstaartplaat) heeft een daling van de milieu-impact van 55,90% en wordt het milieuvoordeligste systeem. Een houten balk met een vloer bestaande uit naalddhouten balken en een OSB-plaat blijft onder elke situatie het milieunadeligste systeem. Over het algemeen worden in het *best-case* scenario alle structurele vloer-balk systemen, bestaande uit hout, minder voordelig, wat te merken is in de voorkeursrangschikking. Deze systemen hebben een stijging van de impact-score van gemiddeld slechts 7,06%.



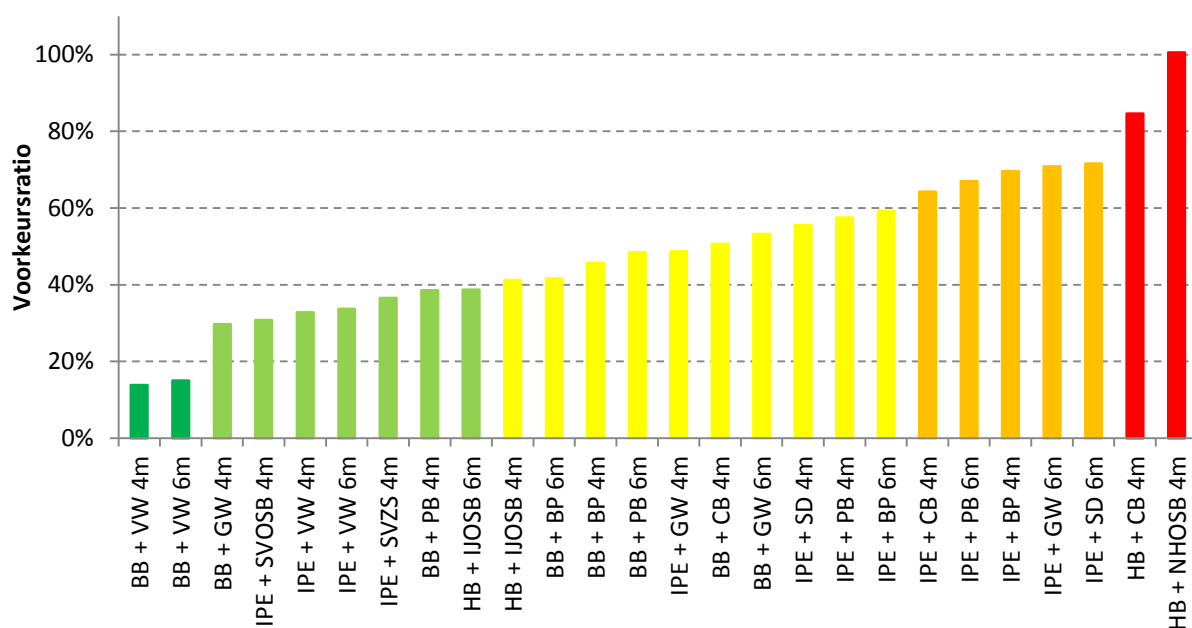
Figuur 174: Impact globale gevoeligheidsanalyse

Hoofdstuk 7: Conclusies

7.1 Nabespreking onderzoek

Deze studie heeft geleid tot een oplistijng van 26 structurele vloer-balk systemen die representatief zijn voor de Belgische bouwpraktijk. De resultaten kunnen voor verschillende doeleinden worden gebruikt. In de eerste plaats bieden de materiaalresultaten de mogelijkheid om inzicht te krijgen in de milieu-impact van de productfasen van 14 verschillende materialen. Daarnaast kunnen uitgewerkte bouwelementen (balken en vloeren) over hun levenscyclus vergeleken worden en kunnen ecologische combinaties worden gezocht. Uitgewerkte gevoeligheidsanalyses bieden de mogelijkheid om onzekere parameters en scenario's, zoals het gebruik van gerecycleerd materiaal en gekozen transportsenario's, te laten variëren om zo de impact op het totaalresultaat in te kunnen schatten.

7.2 Algemene resultaten



Figuur 175: Voorkeursratio van de verschillende structurele vloer-balk systemen.

Indien het gemiddelde van alle structurele vloer-balk varianten een voorkeursratio van 50% krijgt, dan is de voorkeursratio voor het minst milieubelastende systeem (betonnen balk en voorgespannen welfsel dat 4 m overspant) 14% en het meest milieubelastende systeem (houten balk met naalddhouten balken en een OSB-plaat dat 4 m overspant) 101%. Er is geen rekening gehouden met het verschil in technische prestaties van de verschillende systemen. Zo presteert een cellenbetonvloer op thermisch gebied veel beter dan andere vloeren. Figuur 175 kan dus enkel als leidraad worden beschouwd tijdens het ontwerpproces.

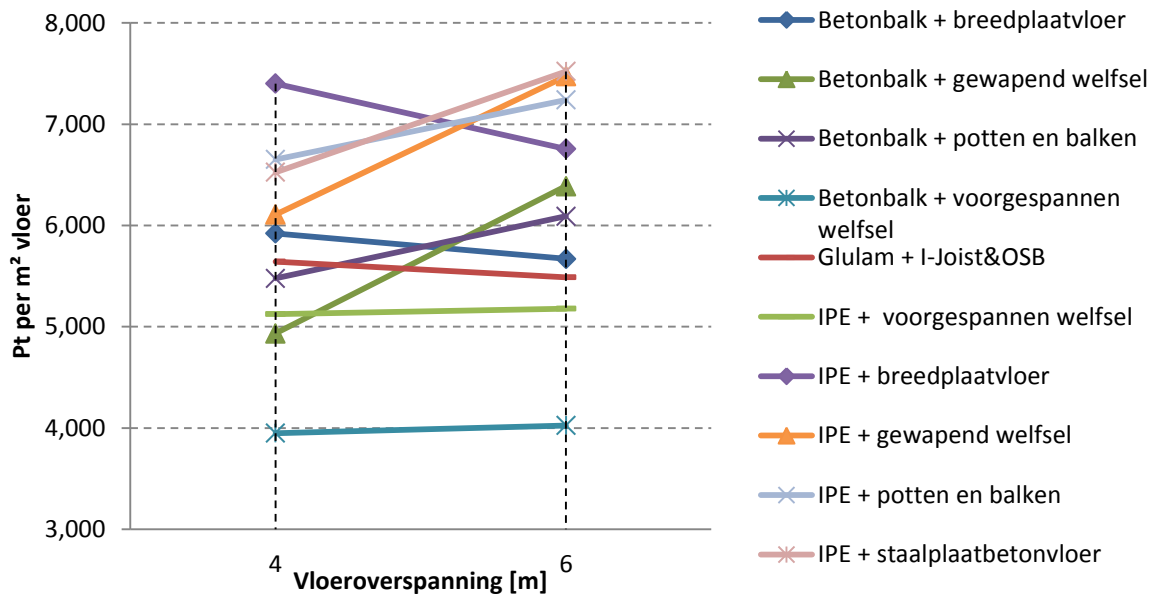
Algemeen kan besloten worden dat de productfase, op vlak van milieu-impact, de meest kritische fase is in de levenscyclus. De impactscore ten gevolge van de productfase van het vloer-balk systeem bedraagt gemiddeld 92% van de totale milieu-impact. Vloer-balk systemen met een balk uit gewapend beton liggen onder dit gemiddelde (88%). Dit ten gevolge van het feit dat het transport van de balk procentueel gezien, een grotere bijdrage zal hebben dan stalen liggers of houten balken. De productfase van de vloer is de bepalende factor (66% van de impactscore is het gevolg van de productfase), op twee systemen na: houten balk met I-joist liggers en OSB-beplating (4 m) en de stalen ligger en voorgespannen welfsels (4 m). Beide systemen zijn een voorbeeld van een ecologische vloer en een minder ecologische balk.

Het transport van het vloer-balk systeem naar de werf maakt gemiddeld 5% uit van de totale milieu-impactscore. Hierbij is het transport van de vloer vooral de bepalende factor: gemiddeld is 80% van de impactscore als gevolg van het transport naar de werf, toe te wijzen aan de vloer. Hoe lichter het vloersysteem of hoe zwaarder de balk, hoe meer het voorgenoemde percentage zal dalen.

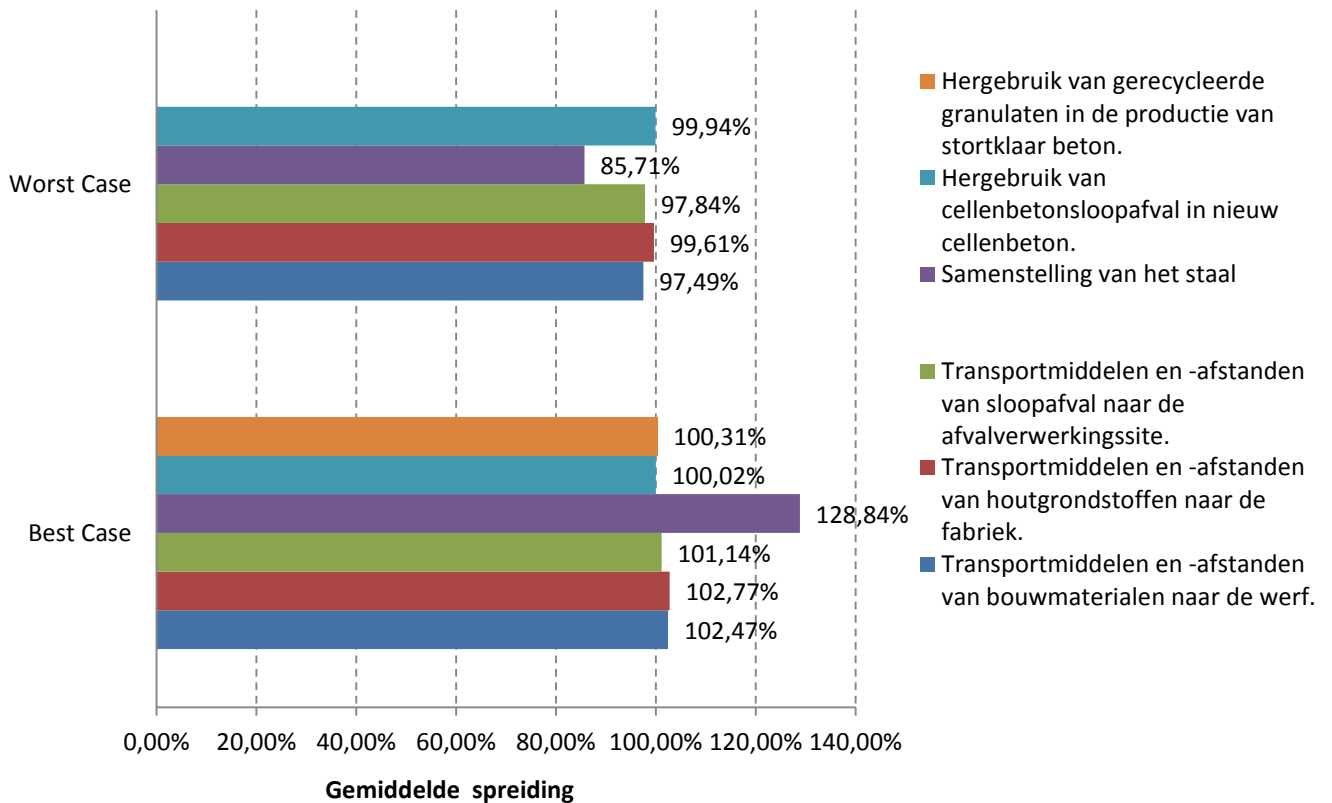
Gemiddeld maakt de eindverwerking (transport inbegrepen) 3% uit van de totale milieu-impactscore. Een vloer-balk systeem bestaande uit een houten balk en een cellenbetonvloer worden als minst ecologisch beschouwd op vlak van eindverwerking. Een reden hiervoor is dat cellenbeton afval voor 70% gestort wordt (het hoogste percentage van alle bestudeerde materialen). Het systeem bestaande uit een stalen ligger en systeemvloer met zwaluwstaartbeplating kan beschouwd worden als het meest ecologische systeem op vlak van eindverwerking.

Figuur 176 toont dat in drie van de tien gevallen (wanneer een vloersoort zowel voor 4 m overspanning als voor 6 m overspanning kan gebruikt worden) het ecologischer is om het vloer-balk systeem dat 6 m overspant te gebruiken. Dit geldt voor een houten balk en I-joist liggers, een betonnen balk en breedplaatvloer en een stalen ligger en breedplaatvloer. Hierbij is enkel het laatste geval merkkelijk beter ten opzichte van zijn variant die 4 m overspant (6,755 Pt ten opzichte van 7,401 Pt).

Er zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om de impact van volgende aannames te kunnen beoordelen: transportmiddelen en -afstanden van houtgrondstoffen naar de fabriek, transportmiddelen en -afstanden van bouwmaterialen naar de werf, transportmiddelen en -afstanden van sloopafval naar de afvalverwerkingssites, de berekende hoogte van betonnen balken, de samenstelling van het staal, gebruik van cellenbetonsloopafval in nieuw celebretten en het gebruik van gerecycleerde granulaten in de productie van stortklaar beton.



Figuur 176: Wijziging in milieu-impactscore wanneer de vloeroverspanning verandert



Figuur 177: Gemiddelde spreiding, uitgedrukt in %, van de verschillende best- en worst- cases ten opzichte van het basisscenario (100%)

Op basis van Figuur 177 kan de volgorde van belang van de verschillende aannames worden nagegaan. Zo blijkt, uit de uitgevoerde levenscyclusanalyses van de 26 verschillende structurele vloerbalk systemen, dat de parameter die de staalsamenstelling aangeeft de belangrijkste parameter is waarmee rekening moet worden gehouden. De overige aannames kunnen wijzigingen tot maximaal

2,77% aan de milieuscore veroorzaken, waardoor de nieuwe milieuscore relatief weinig afwijkt van de milieu-impactscore ten gevolge van het basisscenario.

7.3 Verder onderzoek

Voor dit onderzoek is bij de keuze van een bepaald vloertype telkens voor de lichtste oplossingen gekozen. Bij vloeren die volledig uit hout of staal zijn opgebouwd, kan dit nog te verantwoorden zijn. Een hoger vloergewicht stemt immers overeen met een hoger volume, hetgeen leidt tot een hogere milieu-impactscore. Voor vloeren bestaande uit beton is dit echter niet vanzelfsprekend door het gebruik van wapening. Het lichtste model stemt niet in se overeen met het meest ecologische model. Een ecologische optimalisatie betreffende de keuze van het type vloer zou een correcter beeld kunnen geven op de eindresultaten.

Een uitbreiding naar meerdere vloeroverspanningen kan eveneens interessant zijn. Zo beperkt dit onderzoek zich enkel tot vloeroverspanningen van 4 m of 6 m. Echter kunnen overspanningen van 5 m en zelfs 7 m of 8 m ook voorkomen in de woningbouw. Deze uitbreiding zou een overzichtelijk verloop kunnen geven van de voorkeurswijzigingen van de verschillende structurele vloer-balk systemen wanneer de vloeroverspanning toeneemt.

Tot slot kunnen de systeemgrenzen nog uitgebreid worden. De montage en sloop zijn niet opgenomen binnen de systeemgrenzen van dit onderzoek. De milieu-impact ten gevolge van deze processen zullen echter wel verschillen voor zware of lichte constructie-elementen. Met de afwerking is evenmin rekening gehouden. Echter is dit voor stalen, houten en soms betonnen elementen vrijwel noodzakelijk. Een bevraging van meerdere bouwproducenten en bouwafvalverwerkers zou een gedetailleerder (en misschien uitgebreider) transportscenario tot gevolg kunnen hebben.

Referentielijst

Activiteitenrapport 2014. (2014). Zellik: COPRO

Alkaliniteit. (2016). Alkaliniteit: Hoe, wat en waarom? (2016). Geraadpleegd op 31/03/2016 via <http://www.silverspas.be/blog/alkaliniteit-hoe-wat-en-waarom/>

Athene Sustainable Materials Institute. (2013). A Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of Canadian Laminated Veneer Lumber (LVL) Manufacture

Berekening Comflor. (2016). Geraadpleegd op 7/12/2015 via <http://www.dutchengineering.nl/>

Colpaert, T. & Hellebuyck, D. (2013). Invloed van de mechanische eigenschappen van origineel beton op de mechanische eigenschappen van recyclingbeton. KHBO campus Oostende

Combifor vloersysteem. (2012). Boxtel: Combifor

Comflor. (z.j.). Staalplaatbetonvloer Comflor E60 en E100. (z.j.). Zoeterwoude: Dutchengineering

Dakplaten en Vloerplaten. (2015). Burcht: Xella

De Belgische cementindustrie. (2012). Brussel: Febelcem

De Rijk, T. & Simons, D.-J. (2015). LCA wapeningsstaal. Nieuwegein: Koninklijke Metaalunie

De Schepper, S. & Van den Bremt, E. (2016). Ecologisch prestatieonderzoek van een geprefabriceerde betonnen typebalk aan de hand van een LCA gebaseerd op sectoriële data. Gent

Debacker, W., Allacker, K., De Troyer, F., Janssen, A., Delem, L., Peeters, K., De Nocker, L., Spirinckx, C. & Van Dessel, J. (2012). Milieugerelateerde materiaalprestatie van gebouwelementen. Mechelen: OVAM

Delporte, J.-M. (2015). Zand- en grindwinning in het Belgische deel van de Noordzee. Brussel

Design of Timber Structures. (2008) Design of Timber Structures according to EC 5. Leonardo da Vinci Pilot Project

Dossche, C. & Louwagie, V. (2014). Groen beton: praktische optimalisatie van het productieproces van hogesterktebeton aan de hand van een LCA. Gent

Ecoinvent report No. 1. (2007). *Overview and Methodology*. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories

EN 15804. (2012). *Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products*. Brussel: European committee for

EN 1991. (2009). Eurocode 1 : Belastingen op constructies. Brussel: Bureau voor Normalisatie

- EN 1992. (2015). Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies. Brussel: Bureau voor Normalisatie
- EN 1993. (2015). Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies. Brussel: Bureau voor Normalisatie
- EN 1995. (2015). Eurocode 5: Ontwerp en berekening van houtconstructies. Brussel: Bureau voor Normalisatie
- standardizaion.
- EPD autoclaved aerated concrete. (2009). Environmental Product Declaration Ytong Autoclaved Aerated Concrete. (2009). Duisburg: Xella
- EPD autoclaved aerated concrete. (2012) Environmental Product Declaration Xella Baustoffe GmbH. (2012) Köningswinter: Xella
- EPD Cold-formed steel. (2014). Welded and coated trusses and beams made of cold-formed structural tubes and sections. (2014). Oslo: The Norwegian EPD Foundation
- EPD Cold Rolled Steel. (2014). Environmental Product Declaration Cold Rolled Stainless Steel. (2014). Berlijn: IBU
- EPD Concrete reinforcing steel. (2015). Irving: Commercial Metals Company
- EPD gebakken aarde. (2015). EPD Hollow bricks and brick products. (2015). Slovakije: Heluz
- EPD glulam. (2011). Environmental product declaration Nordic Lam. (2011). Montréal: Nordic structures
- EPD glulam. (2013). North American Glued Laminated Timbers. (2013). Amerika: American Wood Council
- EPD I-Joist. (2013). North American wood I-Joist. (2013). Canada: American Wood Council & Canadian Wood Council
- EPD Knauf gips. (2011). Umwelt-Produktdeklaration Knauf gips. (2011). Iphofen: Knauf
- EPD OSB. (2012). Egger eurostrand OSB. (2012). Sint Johannes in Tyrol: Egger
- EPD OSB. (2013). North American Oriented Strand Board. (2013). Canada: American Wood Council en Canadian Wood Council
- EPD Precast Concrete. (2015). EPD Precast Concrete Beams. (2015). Oslo: The Norwegian EPD Foundation
- EPD Ready-mix concrete. (2006). Ready-mix concrete environmental declaration. (2006). Santena: Buzzi Unicem

- EPD Ready mixed concrete. (2014). NRMCA member industry-wide EPD for ready mixed concrete. (2014). Spring Street: The National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA)
- EPD Reinforcement steel. (2015). Ribbed bars made from reinforcement steel, in the form of mesh as well as straight and shaped. (2015). Noorwegen: The Norwegian EPD Foundation
- EPD Softwood. (2013). North American Softwood Lumber. (2013). Canada: American Wood Council & Canadian Wood Council
- EPD softwood. (2014). Environmental Product Declaration Egger Timber. (2014). Sint Johannes in Tirol: Egger
- EPD Steel structures. (2015). Oslo: The Norwegian EPD Foundation
- EPD Structural Steel. (2011). Environmental Product Declaration Structural Section Steel. Barcelona: CELSA
- EPD Weberfloor. (1998). Environmental Product Declaration weberfloor Fine 110. (1998). Zweden: Weber
- EPD Weber B20. (2014). Environmental Product Declaration Weber B20, dry mortar. (2014). Oslo: The Norwegian EPD Foundation
- EPD Ytong autoclaved aerated concrete. (2012). Environmental Product Declaration Ytong autoclaved aerated concrete (ACC). (2012). Königswinter: Xella Baustoffe GmbH
- Eurabo I-joist. (2015). Geraadpleegd op 7/12/2015 via http://www.eurabo.be/images/uploads/products/overspanningstabel_steico_joist_eurabo_1.pdf
- Finnveden, G., Haussschild, M., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D. & Suh, S. (2009). Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91, pp. 1-21.
- Frischknecht, R., Althaus, H-J., Bauer, C., Doka, G., Heck, T., Jungbluth, N., Kellenberger, D., Nemecek, T. (2007). The Environmental Relevance of Capital Goods in Life Cycle Assessments of Products and Services. Landsberg: Ecomed Publishers.
- Functionele eenheid. (2013). Wat is een functionele eenheid precies? (2013). Geraadpleegd op 29/10/2015 via <http://www.iwt.be/faq/wat-een-functionele-eenheid-precies>
- Gewapend welfsel Doubeton. (2014). Technische fiche gewapende holle gladde welfsel. (2014). Leuze-en-Hainaut: Doubeton
- Gewapend welfsel Fingo. (2013). Technische fiche F130-500 Ruw en F170-500 Ruw. (2013). Malle: Fingo

- Gewapend welfsel Pauli Beton. (z.j.). Technische fiche gewapend welfel WPR13/60 en WPR16/60. (z.j.) Hoeselt: Pauli Beton
- Gewapend welfsel Van Thuyne-Ide bvba. (z.j.). Technische fiche gewelven in gewapend beton. (z.j.). Waregem: Van Thuyne-Ide bvba
- Guinée, J. B., Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., Ekvall, T. & Rydberg, T. (2011). Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future. *Environmental Science & Technology*, 45, pp 90-96.
- Guinée, J.B., Gorée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., de Haes, H. A. U., de Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M. A. J. (2002). *Levenscyclusanalyse De ISO-normen uitgewerkt in een praktijkgerichte Handleiding*. Leiden: Universiteit Leiden.
- Huppes, G. & van Oers, L., (2011). Evaluation of Weighting Methods for Measuring the EU-27 Overall Environmental Impact. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- ILCD handbook. (2014). Geraadpleegd op 31/03/2016 via http://eplca.jrc.ec.europa.eu/?page_id=86
- ISO 14040. (2006). *Environmental Management – Life cycle assessment – Principles and framework*. Genève: International Organisation for Standardisation.
- Janssen, A. & Van Dessel, J. (2006). Duurzaam grindgebruik in Vlaanderen. WTCB
- Josa, A., Aquado, A., Heino, A., Byars, E. & Cardim, A. (2003). Comparative analysis of available life cycle inventories of cement in the EU. Technical University of Catalonia, The University of Sheffield & Polytechnic School of Penambuco University
- Kaestner, D. (2015). Life Cycle Assessment of the Oriented Strand Board and Plywood Industries in the United States of America. University of Tennessee. Knoxville
- Kline, E.D. (2004). Southeastern oriented strandboard production. CORRIM: Phase I Final Report, Module E. Virginia Polytechnic Institute and State University
- Kraftpapier. (2016). Geraadpleegd op 20/05/2016 via <http://www.encyclo.nl/begrip/kraftpapier>
- LCA glulam. (2012). A Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of Canadian Glulam Manufacture: An Update. (2012). Canada: Athena Sustainable Materials Institute
- LCA I-Joist. (2013). A Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of Canadian Wood I-Joist Manufacture. (2013). Canada: Athena Sustainable Materials Institute
- Levenscyclusanalyse of LCA. (2013). WTCB. Geraadpleegd op 28/10/2015 via <http://www.wtcbe.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=infofiches&pag=64&lang=nl>

- Malesev, M., Radonjanin, V. & Marinkovic, S. (2010). Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production. University of Belgrade
- MDI. (2000). Geraadpleegd op 19/05/2016 via <https://www3.epa.gov/airtoxics/hlthef/methyl-d.html#ref6>
- Naaldhout in de bouw. (2005). Almere-Buiten Centrum hout
- NBN B 03-003. (2003). Vervormingen van draagsystemen. Brussel: Belgisch Instituut voor Normalisatie
- NEN 8006. (2004). Milieugegevens van bouwmaterialen, bouwproducten, en bouwelementen voor opname in een milieuverklaring - Bepalingsmethode volgens de levenscyclusanalysemethode (LCA). Nederland
- Oele, M. (2016, 24 mei). "(Case 142778) Vraag ivm impact assessment Ecoinvent proces (service contract "Charlotte Dossche)". [mail]. Geraadpleegd op 2/06/2016
- Ortiz, O., Castells, F. & Sonnemann, G. (2009). Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *ScienceDirect: Construction and Building Materials*, 23, pp. 28-39.
- OSB. (2016). Geraadpleegd op 26/04/2016 via <http://www.houtdatabase.nl/?q=node/238>
- Oriented Strand Board. (2012). Geraadpleegd op 23/03/2016 via <http://apawood-europe.org/official-guidelines/european-standards/individual-standards/en-300/>
- Pardo, N., Moya, J.A. & Vatopoulos, K. (2012) Prospective Scenarios on Energy Efficiency and CO2 Emissions in the EU Iron & Steel Industry. Nederland
- Ponsioen, T. & Oele, M. (2013). What's new in SimaPro 8.0
- Productie glulam. (z.j.). Geraadpleegd op 1/04/2016 via <http://www.svensktlimtra.se/en/limhtml/2U231.html>
- Puettmann, M., Oneil, E., Milota, M. & Johnson, L. (2013). Cradle to Gate Life Cycle Assessment of Softwood Lumber Production from the Southeast
- Puettmann, M., Wilson, J. & Johnson, L. (2013). Cradle to Gate Life Cycle Assessment of Composite I-Joist Production from the Southeast
- ReCiPe Characterisation (2008). *Recipe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level, Report I: Characterisation*. Nederland: Ruimte en Milieu.
- ReCiPe. (2008). Quick introduction into ReCiPe LCIA Methodology. (2008) Geraadpleegd op 05/02/2016 via <http://www.lcia-recipe.net/project-definition>

Rector gebakken aarde. (z.j.). Kortrijk: Rector

Recycling concrete. (2009). The cement sustainable initiative, Recycling concrete. (2009). Zwitserland: World Business Council for Sustainable Development

Remus, R., Aguado Monsonet, M. A., Roudier, S., Delgado Sancho, L. (2013) Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production. Sevilla

Ritzen, J. (2014). Betonbouw 3 Voorgespannen beton, basisbegrippen, theorie en praktijk. Gent: Academia Press

Ritzen, J. & Smet, R. (2012). Betonbouw 1: Grondbegrippen, Courante gevallen. Gent: Academia Press

Saiyed, M., Makwana, H., Pitroda, J. & Vyas, M. (z.j.). Aerated Autoclaved Concrete (AAC) Blocks: novel material for construction industry. International journal of advanced research in engineering, science & management, pp. 1-12

Schuurmans, A., Rouwette, R.R.J.H. & Vonk, N.J.F. (2003). Milieuaspecten fijner zand in beton. Delft

Sections and Merchant Bars. (2013). ArcelorMittal

Shahidul Islam, M., Shahnewaz, Md. & Shahria Alam, M. (2015). Structural capacity of timber I-Joist with flange notch: Experimental evaluation. The University of British Columbia. Canada

Siebers R. & Hauke B. (2011). Life cycle assessment comparison of a typical single storey building. Düsseldorf

Soorten vloerementen. (z.j.). Soorten welfsels of vloerelementen. (z.j.) Geraadpleegd op 25/05/2016 via <http://www.livios.be/nl/bouwinformatie/ruwbouw/beton/welfsels/soorten-welfsels-of-vloerelementen/>

Staltonvloer met potten en balkjes. (2014). Le Bizet: Stalton

Steel Statistical yearbook 2015. (2015). Brussel: Worldsteel association

Swedisch glulam. (2012). Swedisch glulam: New possibilities for halls, arenas, commercial buildings and bridges. (2012). Stockholm: Swedisch Forest Industries Federation

Technical Information Sheet OSB. (2009). Brussel: European Panel Federation

Tillman, A-M. Ekvall, T., Baumann, H. & Rydberg, T. (1993). Choice of system boundaries in life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production Volume 2, 1*, pp. 21-29.

Uitvoeringsplan houtafval. (2004). Mechelen: OVAM

- USLCI. (2013). U.S. Life Cycle Inventory Database. (2013). Geraadpleegd op 02/02/2016 via <http://www.nrel.gov/lci/>
- Vademecum staal. (2013). Vademecum van de staalproducten. (2013). Brussel: Grymafer
- Van de Voorde, S. (2016, 25 maart). "New contact/Recyclage van cellenbeton". [mail]. Geraadpleegd op 1/04/2016
- Van Herwijnen, F., Leijendeckers, P.H.H., De Roeck, G., Schwippen, G.A. & Verbakel, Y. (2010). Polytechnisch zakboek (52^e druk). Doetinchem (Nederland)
- Vansteenkiste, A. (2007). Het Betonoppervlak: Invloed van Betonsamenstelling en Uitvoeringstechniek. Universiteit Gent
- Voorgespannen welfsel Echobel. (z.j.). Vloerelementen in voorgespannen beton met gladde onderzijde. (2011). Houthalen: Echobel
- Voorgespannen welfsel Fingo. (2015). Technische fiche voorgespannen welfsel. (2015). Malle: Fingo
- Voorgespannen welfsel Megaton. (2011). Megaton prefab systems welfsels. (2011). Ninove: Megaton
- Voorgespannen welfsel Structo. (z.j.). Structo catalogus. (z.j.) Brugge: Structo
- Voorgespannen welfsel Van Thuyne-Ide bvba. (z.j.). Technische fiche gewelven in voorgespannen beton. (z.j.). Waregem: Van Thuyne-Ide bvba
- Vrijders, J. & Desmyter, J. (2008). Een hoogwaardig gebruik van puingranulaten stimuleren
- Vrijders, J., Nielsen, P. & Quaghebeur, M. (2009). Onderzoek naar hoogwaardige toepassingen van cellenbetonafval. OVAM. Mechelen
- Watergebruik beton. (2015). Duurzaam watergebruik in betonmengsels. (2015). Luyksgestel: BetonInfra
- Wilson, J. (2006). Generic Oriented Strand Board Sheathing. Oregon State University/CORRIM
- Wouters, J. (2016, 27 maart). " Thesis LCA-studie". [mail]. Geraadpleegd op 1/04/2016
- WTCB naaldhout. (2013). Geraadpleegd op 7/12/2015 via <http://www.wtcbe.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact37&art=574>

Bijlagen

Bijlage A: Berekeningen vloer

Berekening 1: Berekening breedplaatvloer 4 en 6 m overspanning

Overspanning	=	4 m
Breedplaatvloer 50+80, 4m		
totale hoogte vloer	=	130 mm
hoogte predal	=	50 mm
hoogte druklaag	=	80 mm
breedte predal	=	1,2 m
type beton	=	C30/37
aantal tralieliggers	=	2
gewicht tralieligger	=	1,138 kg/m
Vaste belasting	=	150 kg/m ²
	=	5,886 kN/m
Mobiel belasting	=	8 kN/m
Predal	=	309,4 kg/m ²
	=	12,141 kN/m
Overspanning	=	6 m
Breedplaatvloer 50+80, 6m		
totale hoogte vloer	=	130 mm
hoogte predal	=	50 mm
hoogte druklaag	=	80 mm
breedte predal	=	1,2 m
type beton	=	C30/37
aantal tralieliggers	=	2
gewicht tralieligger	=	1,138 kg/m
Vaste belasting	=	150 kg/m ²
	=	8,829 kN/m
Mobiel belasting	=	12 kN/m
Predal	=	309,4 kg/m ²
	=	18,211 kN/m

Berekening 2: Berekening cellenbetonvloer 4 m overspanning

Overspanning	=	4 m
CC4/600		
breedte vloer	=	600 mm
dikte vloer	=	200 mm
voegvulling per m	=	0,003 m ³ /m
aantal voegen	=	10
staaldiameter in voeg	=	6 mm
Vaste belasting	=	150 kg/m ²
	=	5,886 kN/m
	=	1,472 kN/m ²
Mobiel belasting	=	8 kN/m
	=	2 kN/m ²
Cellenbetonvloer	=	480 kg/m
	=	4,709 kN/m
		1,177 kN/m ²

Berekening 3: Berekening gewapende welfsels 4 en 6 m overspanning

Overspanning	=	4 m
F130-500 Ruw		
totale hoogte vloer	=	130 mm
hoogte welfsel	=	130 mm
breedte welfsel	=	0,5 m
A	=	39469 mm ²
aantal staven onder	=	5
diameter staven onder	=	12 mm ²
aantal staven boven	=	2
diameter staven boven	=	8 mm ²
wapening	=	665,68 mm ²
type beton	=	C40/50
vulbeton	=	9 l/m ²
Vaste belasting	=	150 kg/m ²
	=	5,886 kN/m
Mobiel belasting	=	8 kN/m
welfsel	=	194,1 kg/m ²
	=	7,616 kN/m
Overspanning	=	6 m
PAULI WPR 16/60 +4		
totale hoogte vloer	=	200 mm
hoogte welfsel	=	160 mm
breedte welfsel	=	0,6 m
A	=	63840 mm ²
aantal staven onder	=	6
diameter staven onder	=	10 mm ²
aantal staven boven	=	2
diameter staven boven	=	8 mm ²
wapening	=	571,48 mm ²
vulbeton	=	11 l/m ²
type beton	=	C40/50
Vaste belasting	=	150 kg/m ²
	=	8,829 kN/m
Mobiel belasting	=	12 kN/m
welfsel	=	356,38 kg/m ²
	=	20,977 kN/m

Berekening 4: Berekening I-Joist ligger met OSB-beplating 4 en 6 m overspanning

Overspanning	=	4 m
STEICO JOIST SJ 45x240		
hoh	=	0,4 m
dikte OSB vloer	=	18 mm
A flens	=	4050 mm ²
A lijf	=	1800 mm ²
Lengte balk	=	6 m
aantal sec balken	=	16
hoogte sec balk	=	0,24 m
breedte flens sec balk	=	0,045 m
hoogte flens sec balk	=	0,045 m
dikte harde houtvezelplaat	=	0,008 m
gewicht per sec balk	=	12,8 kg/balk
Vaste belasting	=	150 kg/m ²
	=	5,886 kN/m
Mobiel belasting	=	8 kN/m
	=	203,874 kg/m ²
secundaire balken + osb	=	78,133 kg/m
	=	3,066 kN/m
Overspanning	=	6 m
STEICO JOIST SJ 60x360		
hart-op-hart	=	0,4 m
dikte OSB vloer	=	18 mm
A flens	=	5400 mm ²
A lijf	=	3000 mm ²
Lengte balk	=	6 m
aantal sec balken	=	16
hoogte sec balk	=	0,36 m
breedte flens sec balk	=	0,06 m
hoogte flens sec balk	=	0,045 m
dikte harde houtvezelplaat	=	0,008 m
gewicht per sec balk	=	28,8 kg/balk
Vaste belasting	=	150 kg/m ²
	=	8,829 kN/m
Mobiel belasting	=	12 kN/m
	=	203,874 kg/m ²
secundaire balken + osb	=	142,8 kg/m
	=	8,405 kN/m

Berekening 5: Berekening secundaire naalddhouten balk en OSB-beplating 4 m overspanning

Overspanning	=	4 m
Naalddhout C18 75x225		
hoh	=	0,3 m
dikte OSB vloer	=	18 mm
breedte naalddhout	=	75 mm
hoogte naalddhout	=	225 mm
A naalddhout	=	16875 mm ²
Lengte balk	=	6 m
aantal sec balken	=	21
breedte sec balk	=	0,075 m
hoogte sec balk	=	0,225 m
gewicht per balk	=	21,6 kg/balk
Vaste belasting	=	150 kg/m ²
	=	5,886 kN/m
Mobiel belasting	=	8 kN/m
	=	203,874 kg/m ²
secundaire balken + osb	=	119,6 kg/m
	=	4,693 kN/m

Berekening 6: Berekening potten en balken 4 en 6 m overspanning

Overspanning	=	4	m	
Vulpotten H12+3 Staltonbalken 6/14				
totale hoogte vloer	=	150	mm	
breedte pot	=	0,26	m	
breedte balk	=	0,14	m	
aantal balken over L balk	=	16		
aantal potten over L balk	=	15		
totaal aantal potten	=	240		
lengte pot	=	0,25	m	
vulbeton	=	58	l/m ²	
type vulbeton	=	C25/30		
Wapening balkje	=	157	mm ²	2x10
gewicht pot/stuk	=	7,65	kg	
gewicht balk/stuk/m	=	11,3	kg/m	
Lengte balk	=	6	m	
Vaste belasting	=	150	kg/m ²	
	=	5,886	kN/m	
Mobiel belasting	=	8	kN/m	
	=	203,874	kg/m ²	
potten en balken	=	220	kg/m ²	
	=	8,633	kN/m	
Overspanning	=	6	m	
Vulpotten T20 Rectorbalken R116				
totale hoogte vloer	=	240	mm	
breedte pot	=	0,5	m	
breedte balk	=	0,1	m	
aantal balken over L balk	=	11		
aantal potten over L balk	=	10		
totaal aantal potten	=	240		
lengte pot	=	0,25	m	
vulbeton	=	80	l/m ²	
type vulbeton	=	C25/30		
Wapening balkje	=	226	mm ²	2x12
gewicht pot/stuk	=	15,9	kg	
gewicht balk/stuk/m	=	11,3	kg/m	
Lengte balk	=	6	m	
Vaste belasting	=	150	kg/m ²	
	=	8,829	kN/m	
Mobiel belasting	=	12	kN/m	
	=	203,874	kg/m ²	
potten en balken	=	297	kg/m ²	
	=	17,481	kN/m	

Berekening 7: Berekening staalplaatbetonvloer 4 en 6 m overspanning

Overspanning	=	4 m
ComFlor E60		
hoogte steeldeck	=	120 mm
minimale opleg	=	5 cm
volume beton	=	85 l/m ²
gewicht staal	=	0,09 kN/m ²
	=	9,174 kg/m ²
A	=	1132 mm ² /m
Vaste belasting	=	150 kg/m ²
	=	5,886 kN/m
Mobiel belasting	=	8 kN/m
steeldeck	=	211,474 kg/m ²
	=	8,298 kN/m
Overspanning	=	6 m
ComFlor E100		
hoogte steeldeck	=	180 mm
minimale opleg	=	5 cm
volume beton	=	120 l/m ²
gewicht staal	=	0,12 kN/m ²
	=	12,232 kg/m ²
A	=	1571 mm ² /m
Vaste belasting	=	150 kg/m ²
	=	8,829 kN/m
Mobiel belasting	=	12 kN/m
steeldeck	=	297,832 kg/m ²
	=	17,530 kN/m

Berekening 8: Berekening systeemvloer met zwaluwstaartbeplating 4 m overspanning

Overspanning	=	4 m
Combifor + zwaluwstaartplaat		
hart-op-hart	=	0,75 m
gewicht zwaluwstaartplaat	=	5,8 kg/m ²
Lengte balk	=	6 m
aantal combifor	=	9
gewicht per combifor	=	6 kg/m
totale hoogte vloer	=	0,226 m
hoogte plaat	=	16 mm
aantal m ³ opvuldekvloer	=	0,18 m ³
Vaste belasting	=	150 kg/m ²
	=	5,886 kN/m
	=	1,472 kN/m ²
Mobiel belasting	=	8 kN/m
	=	2 kN/m ²
Systeemvloer	=	110,2 kg/m
	=	1,081 kN/m

Berekening 9: Berekening systeemvloer met OSB-beplating 4 m overspanning

Overspanning	=	4 m
Combifor + OSB		
hart-op-hart	=	0,75 m
dikte OSB vloer	=	18 mm
Lengte balk	=	6 m
aantal combifor	=	9
gewicht per combifor	=	6 kg/m
hoogte combifor	=	210 mm
hoogte plaat	=	18 mm
Vaste belasting	=	150 kg/m ²
	=	5,886 kN/m
	=	1,472 kN/m ²
Mobiel belasting	=	8 kN/m
	=	2 kN/m ²
Systeemvloer	=	79,992 kg/m
	=	0,785 kN/m

Berekening 10: Berekening voorgespannen welfsels 4 en 6 m overspanning

Overspanning	=	4 m
EC130/1200		
totale hoogte vloer	=	130 mm
hoogte welfsel	=	130 mm
breedte	=	1,2 m
A	=	98530 mm ²
voegvulling	=	4,8 l/m ²
aantal staven onder	=	12
diameter strengen onder	=	7,5 mm ²
aantal strengen boven	=	4
diameter staven boven	=	7,5 mm ²
wapening	=	706,5 mm ²
Vaste belasting	=	150 kg/m ²
	=	5,886 kN/m
Mobiel belasting	=	8 kN/m
	=	203,874 kg/m ²
voorgespannen welfsel	=	217 kg/m ²
	=	8,68 kN/m
Overspanning	=	6 m
DC160/1200		
totale hoogte vloer	=	160 mm
hoogte welfsel	=	160 mm
breedte	=	1,2 m
A	=	110172 mm ²
voegvulling	=	4,9 l/m ²
aantal staven onder	=	9
diameter strengen onder	=	9,3 mm ²
aantal strengen boven	=	4
diameter staven boven	=	7,5 mm ²
wapening	=	787,677 mm ²
Vaste belasting	=	150 kg/m ²
	=	8,829 kN/m
Mobiel belasting	=	12 kN/m
	=	203,874 kg/m ²
voorgespannen welfsel	=	242 kg/m ²
	=	14,52 kN/m

Bijlage B: Berekening balken

Berekening 11: Berekening betonnen balk (minimale hoogte) met breedplaatvloer 4 m overspanning ([1] = (Ritzen & Smet, 2012))

	Breedplaatvloer 50+80, 4m								
	Lengte balk	=	6	m					
	Eigengewicht balk	=	3,677	kN/m					
	C30/37								
	BE500								
	breedte balk	=	0,35	m					
	f_{yd}	=	435	N/mm ²					
	α	=	15						
	γ_s	=	1,15						
	γ_c	=	1,5						
dimensionering	M_d	=	185,853	kNm					
	β_{lim}	=	0,0161		[1]				
	ζ	=	0,866		[1]				
	d_{lim}	=	0,371	m					
	A_s	=	1330	mm ²					
	A	=	1570	mm ²	[1]		5	x	20
	c	=	30	mm					
	d_1	=	40	mm					
	h	=	0,411	m					
	h praktijk	=	0,45	m					
controles	x	=	166	mm					
	z	=	0,316	m					
	M_1	=	133,669	kNm					
	σ_s	=	269,72998	N/mm ²		<	400	N/mm ²	
	σ_c	=	14,572	N/mm ²		<	15	N/mm ²	
	M_3	=	108,469	kNm					
	σ_s	=	218,879	N/mm ²		<	300	N/mm ²	
	σ_c	=	11,824	N/mm ²		<	13,5	N/mm ²	
scheurvorming (M3)	Φ^*	=	22,625	mm	[1]				
	f_1	=	0,570						
	Φ_{max}	=	22,625	mm					
doorbuiging (M1)	ρ	=	0,010						
	L/d max	=	19,55		[1]				
	L/d	=	16,172			<	16,618		
beugels	V_{sd}	=	123,902	kN					
	$(s+d)/2$	=	0,261	m					
	L_v	=	3						
	V_d max	=	113,143	kN					
	k	=	1,734						
	V_{Rd1}	=	69,898	kN		<	V_d max		
	τ	=	11		[1]				
	V_{Rd2}	=	642,761	kN		>	V_d max		
	V_{wd}	=	43,245	kN					
	S	=	14,63		[1]	diam	8		
	l_w	=	1,047	m					
	d/l_w	=	0,354						
	A_{sw}	=	100,48	mm ²					
	scheurvak	=	0,334	m					
	s max 1	=	0,261	m					
	s max 2	=	0,297	m					
	s max 3	=	nvt	m					
	s_0	=	0,261	m					
	s_1	=	0,261	m					
	s_2	=	0,261	m					
	werkelijke spoed	=	0,25	m		24	over	6	m
	Volume 1 beugel	=	68,3264	cm ³		25	x	8	

Berekening 12: Berekening betonnen balk (minimale hoogte) met breedplaatvloer 6 m overspanning ([1] = (Ritzen & Smet, 2012))

dimensionering	Breedplaatvloer 50+80, 6m				
	Lengte balk	=	6 m		
	Eigengewicht balk	=	4,086 kN/m		
	C30/37				
	BE500				
	breedte balk	=	0,35 m		
	f_{yd}	=	435 N/mm ²		
	α	=	15		
	γ_s	=	1,15		
	γ_c	=	1,5		
	M_d	=	270,091 kNm		
	β_{lim}	=	0,0161	[1]	
	ζ	=	0,866	[1]	
	d_{lim}	=	0,447 m		
	A_s	=	1603 mm ²		
controles	A	=	1884 mm ²	[1]	6 x 20
	c	=	30 mm		
	d_1	=	40 mm		
	h	=	0,487 m		
	h praktijk	=	0,5 m		
	x	=	200 mm		
	z	=	0,381 m		
	M_1	=	194,068 kNm		
	σ_s	=	270,630 N/mm ²	<	400 N/mm ²
	σ_c	=	14,577 N/mm ²	<	15 N/mm ²
scheurvorming (M3)	M_3	=	156,268 kNm		
	σ_s	=	217,918 N/mm ²	<	300 N/mm ²
	σ_c	=	11,738 N/mm ²	<	13,5 N/mm ²
	Φ^*	=	22,75 mm	[1]	
doorbuiging (M1)	f_1	=	0,948		
	Φ_{max}	=	22,75 mm		
	ρ	=	0,011		
beugels	L/d max	=	19,495	[1]	
	L/d	=	13,415		< 16,571
	V_{sd}	=	180,061 kN		
	$(s+d)/2$	=	0,299 m		
	L_v	=	3		
	V_d max	=	162,137 kN		
	k	=	1,669		
	V_{Rd1}	=	83,186 kN		< V_d max
	τ	=	11	[1]	
	V_{Rd2}	=	774,855 kN		> V_d max
	V_{wd}	=	78,951 kN		
	S	=	17,80	[1]	diam 8
	l_w	=	1,315 m		
	d/l_w	=	0,340		
	A_{sw}	=	100,48 mm ²		
	scheurvak	=	0,403 m		
	s max 1	=	0,261 m		
	s max 2	=	0,268 m		
	s max 3	=	nvt		
	s_0	=	0,225 m		
	s_1	=	0,261 m		
	s_2	=	0,261 m		
	werkelijke spoed s_0	=	0,2 m	2*	5 over 1
	werkelijke spoed s_1	=	0,25 m	2*	0 over 0,5
	werkelijke spoed s_2	=	0,25 m	2*	8 over 2
	Volume 1 beugel	=	73,3504 cm ²		27 x 8

Berekening 13: Berekening betonnen balk (minimale hoogte) met cellenbetonvloer 4 m overspanning ([1] = (Ritzen & Smet, 2012))

	CC4/600								
	Lengte balk	=	6	m					
	Eigengewicht balk	=	3,268692	kN/m					
	C30/37								
	BE500								
	breedte balk	=	0,35	m					
	f_{yd}	=	435	N/mm ²					
	α	=	15						
	γ_s	=	1,15						
	γ_c	=	1,5						
dimensionering	M_d	=	138,221	kNm					
	β_{lim}	=	0,0161		[1]				
	ζ	=	0,866		[1]				
	d_{lim}	=	0,320	m					
	A_s	=	1147	mm ²					
	A	=	1256	mm ²	[1]		4	x	20
	c	=	30	mm					
	d_1	=	40	mm					
	h	=	0,360	m					
	h praktijk	=	0,4	m					
controles	x	=	139	mm					
	z	=	0,273	m					
	M_1	=	98,386	kNm					
	σ_s	=	286,433	N/mm ²		<	400	N/mm ²	
	σ_c	=	14,746	N/mm ²		<	15	N/mm ²	
	M_3	=	73,186	kNm					
	σ_s	=	213,067	N/mm ²		<	300	N/mm ²	
	σ_c	=	10,969	N/mm ²		<	13,5	N/mm ²	
scheurvorming (M3)	Φ^*	=	23,375	mm	[1]				
	f_1	=	0,500						
	Φ_{max}	=	23,375	mm					
doorbuiging (M1)	ρ	=	0,009						
	L/d max	=	18,67		[1]				
	L/d	=	18,753			>	15,87		
beugels	V_{sd}	=	92,147	kN					
	$(s+d)/2$	=	0,235	m					
	L_v	=	3						
	V_d max	=	84,930	kN					
	k	=	1,791						
	V_{Rd1}	=	60,092	kN		<	V_d max		
	τ	=	11		[1]				
	V_{Rd2}	=	554,309	kN		>	V_d max		
	V_{wd}	=	24,838	kN					
	S	=	12,66		[1]		diam	8	
	l_w	=	0,809	m					
	d/l_w	=	0,396						
	A_{sw}	=	100,48	mm ²					
	scheurvak	=	0,288	m					
	s max 1	=	0,261	m					
	s max 2	=	0,256	m					
	s max 3	=	nvt	m					
	s_0	=	0,256	m					
	s_1	=	0,256	m					
	s_2	=	0,256	m					
	werkelijke spoed	=	0,25	m		24	over	6	m
	Volume 1 beugel	=	63,3024	cm ²		25	x	8	

**Berekening 14: Berekening betonnen balk (minimale hoogte) met gewapende welfsels 4 m overspanning ([1]
= (Ritzen & Smet, 2012))**

	F130-500 Ruw								
	Lengte balk	=	6	m					
	Eigengewicht balk	=	3,269	kN/m					
	C30/37								
	BE500								
	breedte balk	=	0,35	m					
	f_{yd}	=	435	N/mm ²					
	α	=	15						
	γ_s	=	1,15						
	γ_c	=	1,5						
dimensionering	M_d	=	155,885	kNm					
	β_{lim}	=	0,0161		[1]				
	ζ	=	0,866		[1]				
	d_{lim}	=	0,340	m					
	A_s	=	1218	mm ²					
	A	=	1570	mm ²	[1]	5	x	20	
	c	=	30	mm					
	d_1	=	40	mm					
	h	=	0,380	m					
	h praktijk	=	0,4	m					
controles	x	=	157	mm					
	z	=	0,287	m					
	M_1	=	111,470	kNm					
	σ_s	=	246,972	N/mm ²		<	400	N/mm ²	
	σ_c	=	14,123	N/mm ²		<	15	N/mm ²	
	M_3	=	86,270	kNm					
	σ_s	=	191,139	N/mm ²		<	300	N/mm ²	
	σ_c	=	10,930	N/mm ²		<	13,5	N/mm ²	
scheurvorming (M3)	Φ^*	=	26,615	mm	[1]				
	f_1	=	0,664						
	Φ_{max}	=	26,615	mm					
doorbuiging (M1)	ρ	=	0,011						
	L/d max	=	20,815		[1]				
	L/d	=	17,659			<	17,693		
beugels	V_{sd}	=	103,923	kN					
	$(s+d)/2$	=	0,245	m					
	L_v	=	3						
	V_d max	=	95,440	kN					
	k	=	1,767						
	V_{Rd1}	=	67,845	kN		<	V_d max		
	τ	=	11		[1]				
	V_{Rd2}	=	588,664	kN		>	V_d max		
	V_{wd}	=	27,595	kN					
	S	=	13,45		[1]	diam	8		
	l_w	=	0,797	m					
	d/l_w	=	0,427						
	A_{sw}	=	100,48	mm ²					
	scheurvak	=	0,306	m					
	s max 1	=	0,261	m					
	s max 2	=	0,272	m					
	s max 3	=	nvt	m					
	s_0	=	0,261	m					
	s_1	=	0,261	m					
	s_2	=	0,261	m					
	werkelijke spoed	=	0,25	m		24 over	6	m	
	Volume 1 beugel	=	63,3024	cm ²		25 x	8		

**Berekening 15: Berekening betonnen balk (minimale hoogte) met gewapende welfsels 6 m overspanning ([1]
= (Ritzen & Smet, 2012))**

PAULI WPR 16/60 +4									
	Lengte balk	=	6	m					
	Eigengewicht balk	=	4,494	kN/m					
C30/37									
BE500									
	breedte balk	=	0,35	m					
	f_{yd}	=	435	N/mm ²					
	α	=	15						
	γ_s	=	1,15						
	γ_c	=	1,5						
dimensionering	M_d	=	289,372	kNm					
	β_{lim}	=	0,0161		[1]				
	ζ	=	0,866		[1]				
	d_{lim}	=	0,463	m					
	A_s	=	1659	mm ²					
	A	=	1884	mm ²	[1]	6	x	20	
	c	=	30	mm					
	d_1	=	40	mm					
	h	=	0,503	m					
	h praktijk	=	0,55	m					
controles	x	=	204	mm					
	z	=	0,395	m					
	M_1	=	208,350	kNm					
	σ_s	=	280,101	N/mm ²		<	400	N/mm ²	
	σ_c	=	14,757	N/mm ²		<	15	N/mm ²	
	M_3	=	170,550	kNm					
	σ_s	=	229,283	N/mm ²		<	300	N/mm ²	
scheurvorming (M3)	σ_c	=	12,079	N/mm ²		<	13,5	N/mm ²	
	Φ^*	=	21,375	mm	[1]				
	f_1	=	0,632						
doorbuiging (M1)	Φ_{max}	=	21,375	mm					
	ρ	=	0,010						
	L/d max	=	19		[1]				
beugels	L/d	=	12,961			<	16,15		
	V_{sd}	=	192,915	kN					
	$(s+d)/2$	=	0,306	m					
	L_v	=	3						
	V_d max	=	173,208	kN					
	k	=	1,657						
	V_{Rd1}	=	82,841	kN		<	V_d max		
	τ	=	11		[1]				
	V_{Rd2}	=	802,036	kN		>	V_d max		
	V_{wd}	=	90,367	kN					
	S	=	18,19		[1]	diam	8		
	l_w	=	1,405	m					
	d/l_w	=	0,329						
	A_{sw}	=	100,48	mm ²					
	scheurvak	=	0,417	m					
	s max 1	=	0,261	m					
	s max 2	=	0,278	m					
	s max 3	=	nvt	m					
	s_0	=	0,201	m					
	s_1	=	0,261	m					
	s_2	=	0,261	m					
	werkelijke spoed s_0	=	0,2	m		2*	5	over	1 m
	werkelijke spoed s_1	=	0,25	m		2*	0	over	0,5 m
	werkelijke spoed s_2	=	0,25	m		2*	8	over	2 m
	Volume 1 beugel	=	78,3744	cm ²			27	x	8

Berekening 16: Berekening betonnen balk (minimale hoogte) met potten en balken 4 m overspanning ([1] = (Ritzen & Smet, 2012))

Vulpotten H12+3 Staltonbalken 6/14									
dimensionering	Lengte balk	=	6	m					
	Eigengewicht balk	=	3,269	kN/m					
	C30/37								
	BE500								
	breedte balk	=	0,35	m					
	f_{yd}	=	435	N/mm ²					
	α	=	15						
	γ_s	=	1,15						
	γ_c	=	1,5						
	M_d	=	162,059	kNm					
	β_{lim}	=	0,0161		[1]				
	ζ	=	0,866		[1]				
	d_{lim}	=	0,346	m					
	A_s	=	1242	mm ²					
	A	=	1570	mm ²	[1]		5	x	20
controles	c	=	30	mm					
	d_1	=	40	mm					
	h	=	0,386	m					
	h praktijk	=	0,4	m					
	x	=	159	mm					
	z	=	0,293	m					
	M_1	=	116,044	kNm					
	σ_s	=	251,849	N/mm ²		<	400		N/mm ²
	σ_c	=	14,222	N/mm ²		<	15		N/mm ²
	M_3	=	90,844	kNm					
scheurvorming (M3)	σ_s	=	197,158	N/mm ²		<	300		N/mm ²
	σ_c	=	11,133	N/mm ²		<	13,5		N/mm ²
	Φ^*	=	25,538	mm	[1]				
	f_1	=	0,747						
doorbuiging (M1)	Φ_{max}	=	25,538	mm					
	ρ	=	0,011						
	L/d max	=	20,54		[1]				
beugels	L/d	=	17,319			<	17,459		
	V_{sd}	=	108,04	kN					
	$(s+d)/2$	=	0,25	m					
	L_v	=	3						
	V_d max	=	99,100	kN					
	k	=	1,760						
	V_{Rd1}	=	68,885	kN		<	V_d max		
	τ	=	11		[1]				
	V_{Rd2}	=	600,208	kN		>	V_d max		
	V_{wd}	=	30,215	kN					
	S	=	13,84		[1]		diam		8
	l_w	=	0,839	m					
	d/l_w	=	0,413						
	A_{sw}	=	100,48	mm ²					
	scheurvak	=	0,312	m					
	s max 1	=	0,261	m					
	s max 2	=	0,277	m					
	s max 3	=	nvt	m					
	s_0	=	0,261	m					
	s_1	=	0,261	m					
	s_2	=	0,261	m					
	werkelijke spoed	=	0,25	m		24	over		6 m
	Volume 1 beugel	=	63,3024	cm ²		25	x	8	

Berekening 17: Berekening betonnen balk (minimale hoogte) met potten en balken 6 m overspanning ([1] = (Ritzen & Smet, 2012))

	Vulpotten T20 Rectorbalken R116								
	Lengte balk	=	6	m					
	Eigengewicht balk C30/37	=	4,086	kN/m					
	BE500								
	breedte balk	=	0,35	m					
	f_{yd}	=	435	N/mm ²					
	α	=	15						
	γ_s	=	1,15						
	γ_c	=	1,5						
dimensionering	M_d	=	265,657	kNm					
	β_{lim}	=	0,0161		[1]				
	ζ	=	0,866		[1]				
	d_{lim}	=	0,444	m					
	A_s	=	1590	mm ²					
	A	=	1884	mm ²	[1]		6	x	20
	c	=	30	mm					
	d_1	=	40	mm					
	h	=	0,484	m					
	h praktijk	=	0,5	m					
controles	x	=	199	mm					
	z	=	0,377	m					
	M_1	=	190,783	kNm					
	σ_s	=	268,400	N/mm ²			<	400	N/mm ²
	σ_c	=	14,534	N/mm ²			<	15	N/mm ²
	M_3	=	152,983	kNm					
	σ_s	=	215,222	N/mm ²			<	300	N/mm ²
	σ_c	=	11,655	N/mm ²			<	13,5	N/mm ²
scheurvorming (M3)	Φ^*	=	23,125	mm	[1]				
	f_1	=	0,886						
	Φ_{max}	=	23,125	mm					
doorbuiging (M1)	ρ	=	0,011						
	L/d max	=	19,66		[1]				
	L/d	=	13,527				<	16,711	
beugels	V_{sd}	=	177,105	kN					
	$(s+d)/2$	=	0,297	m					
	L_v	=	3						
	V_d max	=	159,585	kN					
	k	=	1,671						
	V_{Rd1}	=	82,638	kN			<	V_d max	
	τ	=	11		[1]				
	V_{Rd2}	=	768,469	kN			>	V_d max	
	V_{wd}	=	76,947	kN					
	S	=	17,40		[1]		diam	8	
	l_w	=	1,303	m					
	d/l_w	=	0,340						
	A_{sw}	=	100,48	mm ²					
	scheurvak	=	0,399	m					
	s max 1	=	0,261	m					
	s max 2	=	0,266	m					
	s max 3	=	nvt	m					
	s_0	=	0,226	m					
	s_1	=	0,261	m					
	s_2	=	0,261	m					
	werkelijke spoed s_0	=	0,2	m		2*	5	over	1 m
	werkelijke spoed s_1	=	0,25	m		2*	0	over	0,5 m
	werkelijke spoed s_2	=	0,25	m		2*	8	over	2 m
	Volume 1 beugel	=	73,3504	cm ²			27	x	8

Berekening 18: Berekening betonnen balk (minimale hoogte) met voorgespannen welfsels 4 m overspanning
([1] = (Ritzen & Smet, 2012))

dimensionering	EC130/1200					
	Lengte balk	=	6	m		
	Eigengewicht balk	=	3,269	kN/m		
	C30/37					
	BE500					
	breedte balk	=	0,35	m		
	f_{yd}	=	435	N/mm ²		
	α	=	15			
	γ_s	=	1,15			
	γ_c	=	1,5			
	M_d	=	162,346	kNm		
	β_{lim}	=	0,0161		[1]	
	ζ	=	0,866		[1]	
	d_{lim}	=	0,347	m		
	A_s	=	1243	mm ²		
controles	A	=	1570	mm ²	[1]	5 x 20
	c	=	30	mm		
	d_1	=	40	mm		
	h	=	0,387	m		
	h praktijk	=	0,4	m		
	x	=	159	mm		
	z	=	0,294	m		
	M_1	=	116,256	kNm		
scheurvorming (M3)	σ_s	=	252,073	N/mm ²	<	400 N/mm ²
	σ_c	=	14,226	N/mm ²	<	15 N/mm ²
	M_3	=	91,056	kNm		
	σ_s	=	197,433	N/mm ²	<	300 N/mm ²
	σ_c	=	11,142	N/mm ²	<	13,5 N/mm ²
	Φ^*	=	25,538	mm	[1]	
doorbuiging (M1)	f_1	=	0,751			
	Φ_{max}	=	25,538	mm		
	ρ	=	0,011			
beugels	L/d max	=	20,54		[1]	
	L/d	=	17,304			< 17,459
	V_{sd}	=	108,231	kN		
	$(s+d)/2$	=	0,248	m		
	L_v	=	3,000			
	V_d max	=	99,270	kN		
	k	=	1,759			
	V_{Rd1}	=	68,933	kN		< V_d max
	τ	=	11		[1]	
	V_{Rd2}	=	600,739	kN		> V_d max
	V_{wd}	=	30,337	kN		
	S	=	13,84		[1]	diam 8
	l_w	=	0,841	m		
	d/l_w	=	0,412			
	A_{sw}	=	100,48	mm ²		
	scheurvak	=	0,312	m		
	s max 1	=	0,261	m		
	s max 2	=	0,277	m		
	s max 3	=	nvt	m		
	s_0	=	0,261	m		
	s_1	=	0,261	m		
	s_2	=	0,261	m		
	werkelijke spoed	=	0,25	m	24 over	6 m
	Volume 1 beugel	=	63,3024	cm ²	25 x	8

Berekening 19: Berekening betonnen balk (minimale hoogte) met voorgespannen welfsels 6 m overspanning
([1] = (Ritzen & Smet, 2012))

	DC160/1200								
	Lengte balk	=	6	m					
	Eigengewicht balk	=	4,086	kN/m					
	C30/37								
	BE500								
	breedte balk	=	0,35	m					
	f_{yd}	=	435	N/mm ²					
	α	=	15						
	γ_s	=	1,15						
	γ_c	=	1,5						
dimensionering	M_d	=	247,667	kNm					
	β_{lim}	=	0,0161		[1]				
	ζ	=	0,866		[1]				
	d_{lim}	=	0,428	m					
	A_s	=	1535	mm ²					
	A	=	1884	mm ²	[1]	6	x	20	
	c	=	30	mm					
	d_1	=	40	mm					
	h	=	0,468	m					
	h praktijk	=	0,5	m					
controles	x	=	194	mm					
	z	=	0,363	m					
	M_1	=	177,457	kNm					
	σ_s	=	259,130	N/mm ²		<	400	N/mm ²	
	σ_c	=	14,354	N/mm ²		<	15	N/mm ²	
	M_3	=	139,657	kNm					
	σ_s	=	203,932	N/mm ²		<	300	N/mm ²	
	σ_c	=	11,296	N/mm ²		<	13,5	N/mm ²	
scheurvorming (M3)	Φ^*	=	24,5	mm	[1]				
	f_1	=	0,697						
	Φ_{max}	=	24,5	mm					
doorbuiging (M1)	ρ	=	0,011						
	L/d max	=	20,155		[1]				
	L/d	=	14,010			<	17,132		
beugels	V_{sd}	=	165,111	kN					
	$(s+d)/2$	=	0,289	m					
	L_v	=	3						
	V_d max	=	149,198	kN					
	k	=	1,683						
	V_{Rd1}	=	80,358	kN		<	V_d max		
	τ	=	11		[1]				
	V_{Rd2}	=	741,992	kN		>	V_d max		
	V_{wd}	=	68,840	kN					
	S	=	17,01		[1]	diam	8		
	l_w	=	1,251	m					
	d/l_w	=	0,342						
	A_{sw}	=	100,48	mm ²					
	scheurvak	=	0,385	m					
	s max 1	=	0,261	m					
	s max 2	=	0,257	m					
	s max 3	=	nvt	m					
	s_0	=	0,247	m					
	s_1	=	0,257	m					
	s_2	=	0,257	m					
	werkelijke spoed s_0	=	0,2	m		2*	5	over	1 m
	werkelijke spoed s_1	=	0,25	m		2*	0	over	0,5 m
	werkelijke spoed s_2	=	0,25	m		2*	8	over	2 m
	Volume 1 beugel	=	73,3504	cm ²		27	x	8	

**Berekening 20: Berekening betonnen balk (economische hoogte) met breedplaatvloer 4 m overspanning ([1]
= (Ritzen & Smet, 2012))**

	Breedplaatvloer 50+80, 4m								
	Lengte balk	=	6	m					
	Eigengewicht balk	=	3,677	kN/m					
	C30/37								
	BE500								
	breedte balk	=	0,35	m					
	f_{yd}	=	435	N/mm ²					
	α	=	15						
	γ_s	=	1,15						
	γ_c	=	1,5						
dimensionering	M_d	=	185,853	kNm					
	β_{lim}	=	0,0177		[1]				
	ζ	=	0,892		[1]				
	d_{lim}	=	0,408	m					
	A_s	=	1174	mm ²					
	A	=	1256	mm ²	[1]		4	x	20
	c	=	30	mm					
	d_1	=	40	mm					
	h	=	0,448	m					
	h praktijk	=	0,45	m					
controles	x	=	163	mm					
	z	=	0,354	m					
	M_1	=	133,669	kNm					
	σ_s	=	300,89001	N/mm ²		<	400	N/mm ²	
	σ_c	=	13,288	N/mm ²		<	15	N/mm ²	
	M_3	=	108,469	kNm					
	σ_s	=	244,164	N/mm ²		<	300	N/mm ²	
	σ_c	=	10,783	N/mm ²		<	13,5	N/mm ²	
scheurvorming (M3)	Φ^*	=	19,6	mm	[1]				
	f_1	=	1,068						
	Φ_{max}	=	20,936	mm					
doorbuiging (M1)	ρ	=	0,008						
	L/d max	=	17,845		[1]				
	L/d	=	14,711			<	15,168		
beugels	V_{sd}	=	123,902	kN					
	$(s+d)/2$	=	0,279	m					
	L_v	=	3						
	V_d max	=	112,382	kN					
	k	=	1,700						
	V_{Rd1}	=	69,938	kN		<	V_d max		
	τ	=	11		[1]				
	V_{Rd2}	=	706,638	kN		>	V_d max		
	V_{wd}	=	42,443	kN					
	S	=	16,22		[1]	diam	8		
	l_w	=	1,028	m					
	d/l_w	=	0,397						
	A_{sw}	=	100,48	mm ²					
	scheurvak	=	0,367	m					
	s max 1	=	0,261	m					
	s max 2	=	0,3	m					
	s max 3	=	nvt	m					
	s_0	=	0,261	m					
	s_1	=	0,261	m					
	s_2	=	0,261	m					
	werkelijke spoed	=	0,25	m		24 over	6	m	
	Volume 1 beugel	=	68,3264	cm ²		25 x	8		

**Berekening 21: Berekening betonnen balk (economische hoogte) met breedplaatvloer 6 m overspanning ([1]
= (Ritzen & Smet, 2012))**

Breedplaatvloer 50+80, 6m									
	Lengte balk	=	6	m					
	Eigengewicht balk	=	4,494	kN/m					
C30/37									
BE500									
	breedte balk	=	0,35	m					
	f_{yd}	=	435	N/mm ²					
	α	=	15						
	γ_s	=	1,15						
	γ_c	=	1,5						
dimensionering	M_d	=	272,574	kNm					
	β_{lim}	=	0,0177		[1]				
	ζ	=	0,892		[1]				
	d_{lim}	=	0,494	m					
	A_s	=	1422	mm ²					
	A	=	1570	mm ²	[1]		5	x	20
	c	=	30	mm					
	d_1	=	40	mm					
	h	=	0,534	m					
	h praktijk	=	0,55	m					
controles	x	=	199	mm					
	z	=	0,428	m					
	M_1	=	195,906	kNm					
	σ_s	=	291,846	N/mm ²		<	400	N/mm ²	
	σ_c	=	13,146	N/mm ²		<	15	N/mm ²	
	M_3	=	158,106	kNm					
	σ_s	=	235,535	N/mm ²		<	300	N/mm ²	
scheurvorming (M3)	Φ^*	=	20,5	mm	[1]				
	f_1	=	0,981						
	Φ_{max}	=	20,5	mm					
doorbuiging (M1)	ρ	=	0,008						
	L/d max	=	18,34		[1]				
	L/d	=	12,147			<	15,589		
beugels	V_{sd}	=	181,716	kN					
	$(s+d)/2$	=	0,322	m					
	L_v	=	3						
	V_d max	=	162,213	kN					
	k	=	1,636						
	V_{Rd1}	=	82,126	kN		<	V_d max		
	τ	=	11		[1]				
	V_{Rd2}	=	855,765	kN		>	V_d max		
	V_{wd}	=	80,087	kN					
	S	=	19,38		[1]	diam	8		
	l_w	=	1,322	m					
	d/l_w	=	0,374						
	A_{sw}	=	100,48	mm ²					
	scheurvak	=	0,445	m					
	s max 1	=	0,261	m					
	s max 2	=	0,296	m					
	s max 3	=	nvt	m					
	s_0	=	0,242	m					
	s_1	=	0,261	m					
	s_2	=	0,261	m					
	werkelijke spoed s_0	=	0,2	m		2*	5	over	1
	werkelijke spoed s_1	=	0,25	m		2*	0	over	0,5
	werkelijke spoed s_2	=	0,25	m		2*	8	over	2
	Volume 1 beugel	=	78,3744	cm ²			27	x	8

**Berekening 22: Berekening betonnen balk (economische hoogte) met cellenbetonvloer 4 m overspanning ([1]
= (Ritzen & Smet, 2012))**

	CC4/600								
	Lengte balk	=	6	m					
	Eigengewicht balk	=	3,269	kN/m					
	C30/37								
	BE500								
	breedte balk	=	0,35	m					
	f_{yd}	=	435	N/mm ²					
	α	=	15						
	γ_s	=	1,15						
	γ_c	=	1,5						
dimensionering	M_d	=	138,221	kNm					
	β_{lim}	=	0,0177		[1]				
	ζ	=	0,892		[1]				
	d_{lim}	=	0,352	m					
	A_s	=	1013	mm ²					
	A	=	1256	mm ²	[1]		4	x	20
	c	=	30	mm					
	d_1	=	40	mm					
	h	=	0,392	m					
	h praktijk	=	0,4	m					
controles	x	=	148	mm					
	z	=	0,302	m					
	M_1	=	98,386	kNm					
	σ_s	=	259,049	N/mm ²		<	400		N/mm ²
	σ_c	=	12,556	N/mm ²		<	15		N/mm ²
	M_3	=	73,186	kNm					
	σ_s	=	192,698	N/mm ²		<	300		N/mm ²
	σ_c	=	9,340	N/mm ²		<	13,5		N/mm ²
scheurvorming (M3)	Φ^*	=	26,256	mm	[1]				
	f_1	=	0,829						
	Φ_{max}	=	26,256	mm					
doorbuiging (M1)	ρ	=	0,009						
	L/d max	=	20,155		[1]				
	L/d	=	17,058			<	17,132		
beugels	V_{sd}	=	92,147	kN					
	$(s+d)/2$	=	0,251	m					
	L_v	=	3						
	V_d max	=	84,441	kN					
	k	=	1,754						
	V_{Rd1}	=	64,714	kN		<	V_d max		
	τ	=	11		[1]				
	V_{Rd2}	=	609,395	kN		>	V_d max		
	V_{wd}	=	19,728	kN					
	S	=	13,84		[1]		diam		8
	l_w	=	0,642	m					
	d/l_w	=	0,548						
	A_{sw}	=	100,48	mm ²					
	scheurvak	=	0,317	m					
	s max 1	=	0,261	m					
	s max 2	=	0,281	m					
	s max 3	=	nvt	m					
	s_0	=	0,261	m					
	s_1	=	0,261	m					
	s_2	=	0,261	m					
	werkelijke spoed	=	0,25	m		24	over		6 m
	Volume 1 beugel	=	63,3024	cm ²		25	x	8	

Berekening 23: Berekening betonnen balk (economische hoogte) met gewapende welfsel 4 m overspanning
([1] = (Ritzen & Smet, 2012))

	F130-500 Ruw								
	Lengte balk	=	6	m					
	Eigengewicht balk	=	3,677	kN/m					
	C30/37								
	BE500								
	breedte balk	=	0,35	m					
	f_{yd}	=	435	N/mm ²					
	α	=	15						
	γ_s	=	1,15						
	γ_c	=	1,5						
dimensionering	M_d	=	158,367	kNm					
	β_{lim}	=	0,0177		[1]				
	ζ	=	0,892		[1]				
	d_{lim}	=	0,377	m					
	A_s	=	1084	mm ²					
	A	=	1256	mm ²	[1]		4	x	20
	c	=	30	mm					
	d_1	=	40	mm					
	h	=	0,417	m					
	h praktijk	=	0,45	m					
controles	x	=	155	mm					
	z	=	0,325	m					
	M_1	=	113,309	kNm					
	σ_s	=	277,598	N/mm ²		<	400		N/mm ²
	σ_c	=	12,889	N/mm ²		<	15		N/mm ²
	M_3	=	88,109	kNm					
	σ_s	=	215,860	N/mm ²		<	300		N/mm ²
	σ_c	=	10,023	N/mm ²		<	13,5		N/mm ²
scheurvorming (M3)	Φ^*	=	23	mm	[1]				
	f_1	=	0,612						
	Φ_{max}	=	23	mm					
doorbuiging (M1)	ρ	=	0,008						
	L/d max	=	19,11		[1]				
	L/d	=	15,936			<	16,244		
beugels	V_{sd}	=	105,578	kN					
	$(s+d)/2$	=	0,263	m					
	L_v	=	3						
	V_d max	=	96,313	kN					
	k	=	1,729						
	V_{Rd1}	=	65,645	kN		<	V_d max		
	τ	=	11		[1]				
	V_{Rd2}	=	652,296	kN		>	V_d max		
	V_{wd}	=	30,668	kN					
	S	=	15,03		[1]		diam		8
	l_w	=	0,871	m					
	d/l_w	=	0,432						
	A_{sw}	=	100,48	mm ²					
	scheurvak	=	0,339	m					
	s max 1	=	0,261	m					
	s max 2	=	0,3	m					
	s max 3	=	nvt	m					
	s_0	=	0,261	m					
	s_1	=	0,261	m					
	s_2	=	0,261	m					
	werkelijke spoed	=	0,25	m		24	over		6 m
	Volume 1 beugel	=	68,3264	cm ²		25	x	8	

Berekening 24: Berekening betonnen balk (economische hoogte) met gewapende welfsel 6 m overspanning
([1] = (Ritzen & Smet, 2012))

PAULI WPR 16/60 +4									
	Lengte balk	=	6	m					
	Eigengewicht balk	=	4,494	kN/m					
C30/37									
BE500									
	breedte balk	=	0,35	m					
	f_{yd}	=	435	N/mm ²					
	α	=	15						
	γ_s	=	1,15						
	γ_c	=	1,5						
dimensionering	M_d	=	289,372	kNm					
	β_{lim}	=	0,0177		[1]				
	ζ	=	0,892		[1]				
	d_{lim}	=	0,509	m					
	A_s	=	1465	mm ²					
	A	=	1570	mm ²	[1]		5	x	20
	c	=	30	mm					
	d_1	=	40	mm					
	h	=	0,549	m					
	h praktijk	=	0,55	m					
controles	x	=	203	mm					
	z	=	0,441	m					
	M_1	=	208,350	kNm					
	σ_s	=	300,719	N/mm ²		<	400	N/mm ²	
	σ_c	=	13,295	N/mm ²		<	15	N/mm ²	
	M_3	=	170,550	kNm					
	σ_s	=	246,161	N/mm ²		<	300	N/mm ²	
scheurvorming (M3)	σ_c	=	10,883	N/mm ²		<	13,5	N/mm ²	
	Φ^*	=	19,4	mm	[1]				
	f_1	=	1,340						
	Φ_{max}	=	25,987	mm					
doorbuiging (M1)	ρ	=	0,008						
	L/d max	=	17,845		[1]				
	L/d	=	11,789			<	15,168		
beugels	V_{sd}	=	192,915	kN					
	$(s+d)/2$	=	0,329	m					
	L_v	=	3						
	V_d max	=	171,728	kN					
	k	=	1,627						
	V_{Rd1}	=	84,130	kN		<	V_d max		
	τ	=	11		[1]				
	V_{Rd2}	=	881,741	kN		>	V_d max		
	V_{wd}	=	87,598	kN					
	S	=	20,17		[1]	diam	8		
	l_w	=	1,362	m					
	d/l_w	=	0,374						
	A_{sw}	=	100,48	mm ²					
	scheurvak	=	0,458	m					
	s max 1	=	0,261	m					
	s max 2	=	0,3	m					
	s max 3	=	nvt	m					
	s_0	=	0,230	m					
	s_1	=	0,261	m					
	s_2	=	0,261	m					
	werkelijke spoed s_0	=	0,2	m		2*	5	over	1 m
	werkelijke spoed s_1	=	0,25	m		2*	0	over	0,5 m
	werkelijke spoed s_2	=	0,25	m		2*	8	over	2 m
	Volume 1 beugel	=	78,3744	cm ²			27	x	8

**Berekening 25: Berekening betonnen balk (economische hoogte) met potten en balken 4 m overspanning ([1]
= (Ritzen & Smet, 2012))**

Vulpotten H12+3 Staltonbalken 6/14					
	Lengte balk	=	6 m		
	Eigengewicht balk	=	3,677 kN/m		
	C30/37				
	BE500				
	breedte balk	=	0,35 m		
	f_{yd}	=	435 N/mm ²		
	α	=	15		
	γ_s	=	1,15		
	γ_c	=	1,5		
dimensionering	M_d	=	164,541 kNm		
	β_{lim}	=	0,0177	[1]	
	ζ	=	0,892	[1]	
	d_{lim}	=	0,384 m		
	A_s	=	1105 mm ²		
	A	=	1256 mm ²	[1]	4 x 20
	c	=	30 mm		
	d_1	=	40 mm		
	h	=	0,424 m		
	h praktijk	=	0,45 m		
controles	x	=	156 mm		
	z	=	0,332 m		
	M_1	=	117,882 kNm		
	σ_s	=	283,014 N/mm ²	<	400 N/mm ²
	σ_c	=	12,984 N/mm ²	<	15 N/mm ²
	M_3	=	92,682 kNm		
	σ_s	=	222,514 N/mm ²	<	300 N/mm ²
	σ_c	=	10,208 N/mm ²	<	13,5 N/mm ²
scheurvorming (M3)	Φ^*	=	22,125 mm	[1]	
	f_1	=	0,680		
	Φ_{max}	=	22,125 mm		
doorbuiging (M1)	ρ	=	0,008		
	L/d max	=	18,835	[1]	
	L/d	=	15,634		< 16,01
beugels	V_{sd}	=	109,694 kN		
	$(s+d)/2$	=	0,267 m		
	L_v	=	3		
	V_d max	=	99,935 kN		
	k	=	1,722		
	V_{Rd1}	=	66,644 kN		< V_d max
	τ	=	11	[1]	
	V_{Rd2}	=	664,890 kN		> V_d max
	V_{wd}	=	33,291 kN		
	S	=	15,03	[1]	diam 8
	l_w	=	0,910 m		
	d/l_w	=	0,422		
	A_{sw}	=	100,48 mm ²		
	scheurvak	=	0,345 m		
	s max 1	=	0,261 m		
	s max 2	=	0,3 m		
	s max 3	=	nvt m		
	s_0	=	0,261 m		
	s_1	=	0,261 m		
	s_2	=	0,261 m		
	werkelijke spoed	=	0,25 m	24 over	6 m
	Volume 1 beugel	=	68,3264 cm ²	25 x	8

**Berekening 26: Berekening betonnen balk (economische hoogte) met potten en balken 6 m overspanning ([1]
= (Ritzen & Smet, 2012))**

	Vulpotten T20 Rectorbalken R116								
	Lengte balk	=	6	m					
	Eigengewicht balk C30/37	=	4,494	kN/m					
	BE500								
	breedte balk	=	0,35	m					
	f_{yd}	=	435	N/mm ²					
	α	=	15						
	γ_s	=	1,15						
	γ_c	=	1,5						
dimensionering	M_d	=	268,140	kNm					
	β_{lim}	=	0,0177		[1]				
	ζ	=	0,892		[1]				
	d_{lim}	=	0,490	m					
	A_s	=	1411	mm ²					
	A	=	1570	mm ²	[1]		5	x	20
	c	=	30	mm					
	d_1	=	40	mm					
	h	=	0,530	m					
	h praktijk	=	0,55	m					
controles	x	=	198	mm					
	z	=	0,424	m					
	M_1	=	192,622	kNm					
	σ_s	=	289,454	N/mm ²		<	400	N/mm ²	
	σ_c	=	13,105	N/mm ²		<	15	N/mm ²	
	M_3	=	154,822	kNm					
	σ_s	=	232,652	N/mm ²		<	300	N/mm ²	
	σ_c	=	10,534	N/mm ²		<	13,5	N/mm ²	
scheurvorming (M3)	Φ^*	=	20,875	mm	[1]				
	f_1	=	0,915						
	Φ_{max}	=	20,875	mm					
doorbuiging (M1)	ρ	=	0,008						
	L/d max	=	18,505		[1]				
	L/d	=	12,247			<	15,729		
beugels	V_{sd}	=	178,760	kN					
	$(s+d)/2$	=	0,320	m					
	L_v	=	3						
	V_d max	=	159,695	kN					
	k	=	1,639						
	V_{Rd1}	=	81,585	kN		<	V_d max		
	τ	=	11		[1]				
	V_{Rd2}	=	848,776	kN		>	V_d max		
	V_{wd}	=	78,109	kN					
	S	=	19,379		[1]	diam	8		
	l_w	=	1,311	m					
	d/l_w	=	0,374						
	A_{sw}	=	100,48	mm ²					
	scheurvak	=	0,441	m					
	s max 1	=	0,261	m					
	s max 2	=	0,294	m					
	s max 3	=	nvt	m					
	s_0	=	0,248	m					
	s_1	=	0,261	m					
	s_2	=	0,261	m					
	werkelijke spoed s_0	=	0,2	m		2*	5	over	1 m
	werkelijke spoed s_1	=	0,25	m		2*	0	over	0,5 m
	werkelijke spoed s_2	=	0,25	m		2*	8	over	2 m
	Volume 1 beugel	=	78,3744	cm ²			27	x	8

Berekening 27: Berekening betonnen balk (economische hoogte) met voorgespannen welfsels 4 m overspanning ([1] = (Ritzen & Smet, 2012))

dimensionering	EC130/1200						
	Lengte balk	=	6	m			
	Eigengewicht balk	=	3,677	kN/m			
	C30/37						
	BE500						
	breedte balk	=	0,35	m			
	f_{yd}	=	435	N/mm ²			
	α	=	15				
	γ_s	=	1,15				
	γ_c	=	1,5				
	M_d	=	164,828	kNm			
	β_{lim}	=	0,0177		[1]		
	ζ	=	0,892		[1]		
	d_{lim}	=	0,384	m			
	A_s	=	1106	mm ²			
controles	A	=	1256	mm ²	[1]	4 x 20	
	c	=	30	mm			
	d_1	=	40	mm			
	h	=	0,424	m			
	h praktijk	=	0,45	m			
	x	=	157	mm			
	z	=	0,332	m			
	M_1	=	118,095	kNm			
scheurvorming (M3)	σ_s	=	283,263	N/mm ²		<	400 N/mm ²
	σ_c	=	12,988	N/mm ²		<	15 N/mm ²
	M_3	=	92,895	kNm			
	σ_s	=	222,818	N/mm ²		<	300 N/mm ²
	σ_c	=	10,217	N/mm ²		<	13,5 N/mm ²
	Φ^*	=	22,125	mm	[1]		
	f_1	=	0,683				
doorbuiging (M1)	Φ_{max}	=	22,125	mm			
	ρ	=	0,008				
	L/d max	=	18,835		[1]		
beugels	L/d	=	15,621			<	16,01
	V_{sd}	=	109,885	kN			
	$(s+d)/2$	=	0,267	m			
	L_v	=	3				
	V_d max	=	100,103	kN			
	k	=	1,722				
	V_{Rd1}	=	66,690	kN		<	V_d max
	τ	=	11		[1]		
	V_{Rd2}	=	665,469	kN		>	V_d max
	V_{wd}	=	33,413	kN			
	S	=	15,03		[1]	diam	8
	l_w	=	0,912	m			
	d/l_w	=	0,421				
	A_{sw}	=	100,48	mm ²			
	scheurvak	=	0,346	m			
	s max 1	=	0,261	m			
	s max 2	=	0,3	m			
	s max 3	=	nvt	m			
	s_0	=	0,261	m			
	s_1	=	0,261	m			
	s_2	=	0,261	m			
	werkelijke spoed	=	0,25	m		24 over	6 m
	Volume 1 beugel	=	68,3264	cm ²		25 x	8

Berekening 28: Berekening betonnen balk (economische hoogte) met voorgespannen welfsels 6 m overspanning ([1] = (Ritzen & Smet, 2012))

	DC160/1200								
	Lengte balk	=	6	m					
	Eigengewicht balk	=	4,494	kN/m					
	C30/37								
	BE500								
	breedte balk	=	0,35	m					
	f_{yd}	=	435	N/mm ²					
	α	=	15						
	γ_s	=	1,15						
	γ_c	=	1,5						
dimensionering	M_d	=	250,149	kNm					
	β_{lim}	=	0,0177		[1]				
	ζ	=	0,892		[1]				
	d_{lim}	=	0,473	m					
	A_s	=	1362	mm ²					
	A	=	1570	mm ²	[1]		5	x	20
	c	=	30	mm					
	d_1	=	40	mm					
	h	=	0,513	m					
	h praktijk	=	0,55	m					
controles	x	=	194	mm					
	z	=	0,409	m					
	M_1	=	179,296	kNm					
	σ_s	=	279,515	N/mm ²		<	400		N/mm ²
	σ_c	=	12,934	N/mm ²		<	15		N/mm ²
	M_3	=	141,496	kNm					
	σ_s	=	220,586	N/mm ²		<	300		N/mm ²
	σ_c	=	10,207	N/mm ²		<	13,5		N/mm ²
scheurvorming (M3)	Φ^*	=	22,375	mm	[1]				
	f_1	=	0,716						
	Φ_{max}	=	22,375	mm					
doorbuiging (M1)	ρ	=	0,008						
	L/d max	=	19		[1]				
	L/d	=	12,680			<	16,15		
beugels	V_{sd}	=	166,766	kN					
	$(s+d)/2$	=	0,312	m					
	L_v	=	3						
	V_d max	=	149,445	kN					
	k	=	1,650						
	V_{Rd1}	=	79,339	kN		<	V_d max		
	τ	=	11		[1]				
	V_{Rd2}	=	819,807	kN		>	V_d max		
	V_{wd}	=	70,106	kN					
	S	=	18,59		[1]	diam	8		
	l_w	=	1,261	m					
	d/l_w	=	0,375						
	A_{sw}	=	100,48	mm ²					
	scheurvak	=	0,426	m					
	s max 1	=	0,261	m					
	s max 2	=	0,284	m					
	s max 3	=	nvt	m					
	s_0	=	0,261	m					
	s_1	=	0,261	m					
	s_2	=	0,261	m					
	werkelijke spoed s_0	=	0,25	m					
	werkelijke spoed s_1	=	0,25	m		24	over	6	m
	werkelijke spoed s_2	=	0,25	m					
	Volume 1 beugel	=	78,3744	cm ²		25	x	8	

Berekening 29: Berekening houten balk met cellenbetonvloer 4 m overspanning ([2] = (Design of Timber Structures, 2008))

	CC4/600				
	Lengte balk	=	6 m		
	Eigengewicht primaire balk	=	0,564 kN/m		
dimensionering	GL28h				
	f m,k	=	28 N/mm ²	[2]	
	f v,k	=	3,2 N/mm ²	[2]	
	f c,90,k	=	3 N/mm ²	[2]	
	k mod	=	0,6	[2]	
	breedte balk	=	0,25 m		
	ym	=	1,25		
	hoogte balk	=	0,5 m		
	f md	=	13,44 N/mm ²		
	f vd	=	1,536 N/mm ²		
	f v,90,d	=	1,44 N/mm ²		
	Vd	=	81,193 kN		
	Md	=	121,790 kNm		
	σ m,d	=	11,692 N/mm ²		
	/f md	=	0,870	<	1
	τ v,d	=	0,974 N/mm ²		
	/f vd	=	0,634	<	1
doorbuiging	belasting	=	19,159 kN/m		
	I	=	2,604E+09 mm ⁴		
	E	=	12600 N/mm ²		
	doorbuiging	=	9,9 mm	<	L/300 20 mm

Berekening 30: Berekening houten balk met secundaire I-Joist balken met OSB-beplating 4 m overspanning ([2] = (Design of Timber Structures, 2008))

	STEICO JOIST SJ 45x240				
	Lengte balk	=	6 m		
	Eigengewicht primaire balk	=	0,564 kN/m		
dimensionering	GL28h				
	f m,k	=	28 N/mm ²	[2]	
	f v,k	=	3,2 N/mm ²	[2]	
	f c,90,k	=	3 N/mm ²	[2]	
	k mod	=	0,6	[2]	
	breedte balk	=	0,25 m		
	ym	=	1,25		
	hoogte balk	=	0,5 m		
	f md	=	13,44 N/mm ²		
	f vd	=	1,536 N/mm ²		
	f v,90,d	=	1,44 N/mm ²		
	Vd	=	74,540 kN		
	Md	=	111,810 kNm		
	σ m,d	=	10,734 N/mm ²		
	/f md	=	0,799	<	1
	τ v,d	=	0,894 N/mm ²		
	/f vd	=	0,582	<	1
doorbuiging	belasting	=	17,516 kN/m		
	I	=	2,604E+09 mm ⁴		
	E	=	12600 N/mm ²		
	doorbuiging	=	9,0 mm	<	L/300 20 mm

Berekening 31: Berekening houten balk met secundaire I-Joist balken met OSB-beplating 6 m overspanning ([2] = (Design of Timber Structures, 2008))

STEICO JOIST SJ 60x360				
	Lengte balk	=	6 m	
	Eigengewicht primaire balk	=	0,677 kN/m	
dimensionering	GL28h			
	f m,k	=	28 N/mm ²	[2]
	f v,k	=	3,2 N/mm ²	[2]
	f c,90,k	=	3 N/mm ²	[2]
	k mod	=	0,6	[2]
	breedte balk	=	0,25 m	
	ym	=	1,25	
	hoogte balk	=	0,6 m	
	f md	=	13,44 N/mm ²	
	f vd	=	1,536 N/mm ²	
	f v,90,d	=	1,44 N/mm ²	
	Vd	=	126,540 kN	
	Md	=	189,810 kNm	
	σ m,d	=	12,654 N/mm ²	
	/f md	=	0,942	< 1
τ v,d	=	1,265 N/mm ²		
	/ f vd	=	0,824 N/mm ²	< 1
doorbuiging	belasting	=	29,911 kN/m	
	I	=	4,5E+09 mm^4	
	E	=	12600 N/mm ²	
	doorbuiging	=	8,9 mm	< L/300 20 mm

Berekening 32: Berekening houten balk met secundaire naaldhouten balken met OSB-beplating 4 m overspanning ([2] = (Design of Timber Structures, 2008))

	Naaldhout C18 75x225				
	Lengte balk	=	6	m	
	Eigengewicht primaire balk	=	0,564	kN/m	
dimensionering	GL28h				
	f m,k	=	28	N/mm ²	[2]
	f v,k	=	3,2	N/mm ²	[2]
	f c,90,k	=	3	N/mm ²	[2]
	k mod	=	0,6		[2]
	breedte balk	=	0,25	m	
	ym	=	1,25		
	hoogte balk	=	0,5	m	
	f md	=	13,44	N/mm ²	
	f vd	=	1,536	N/mm ²	
	f v,90,d	=	1,44	N/mm ²	
	Vd	=	81,130	kN	
	Md	=	121,695	kNm	
	σ m,d	=	11,683	N/mm ²	
	/f md	=	0,869	<	1
τ v,d	=	0,974	N/mm ²		
	/ f vd	=	0,634	<	1
doorbuiging	belasting	=	19,143	kN/m	
	I	=	2,604E+09	mm^4	
	E	=	12600	N/mm ²	
	doorbuiging	=	9,8	mm	< L/300
					20 mm

Berekening 33: Berekening stalen ligger met breedplaatvloer 4 m overspanning ([3] = (Sections and Merchant Bars, 2013))

Breedplaatvloer 50+80, 4m				
	Lengte balk	=	6 m	
	Eigengewicht ligger S235	=	0,560 kN/m	
	f y	=	235 N/mm ²	
	γ _m	=	1	
dimensionering	M _d	=	166,916 kNm	
	V _d	=	111,277 kN	
	W	=	710,281 cm ³	
IPE330	hoogte ligger	=	360 mm	[3]
	W	=	904 cm ³	[3]
	A	=	72,7 cm ²	[3]
	t _w	=	8 mm	[3]
	t _f	=	12,7 mm	[3]
	r	=	18 mm	[3]
	b	=	170 mm	[3]
	G	=	57,1 kg/m	[3]
	I _y	=	16270 cm ⁴	[3]
	E	=	210000 N/mm ²	[3]
controle	M _{pl,Rd}	=	212,44 kNm	
	M _d / M _{pl,Rd}	=	0,786	< 1
	A _v	=	3510,8 mm ²	
	V _{pl,Rd}	=	476,336 kN	
	V _d / V _{pl,Rd}	=	0,234	< 1
doorbuiging	belasting	=	26,587 kN/m	
	doorbuiging	=	13,1 mm	< L/300 20 mm

Berekening 34: Berekening stalen ligger met breedplaatvloer 6 m overspanning ([3] = (Sections and Merchant Bars, 2013))

Breedplaatvloer 50+80, 6m				
	Lengte balk	=	6 m	
	Eigengewicht ligger S235	=	0,650 kN/m	
	f y	=	235 N/mm ²	
	γ _m	=	1	
dimensionering	M _d	=	249,221 kNm	
	V _d	=	166,147 kN	
	W	=	1060,515 cm ³	
IPE330	hoogte ligger	=	400 mm	[3]
	W	=	1160 cm ³	[3]
	A	=	84,5 cm ²	[3]
	t _w	=	8,6 mm	[3]
	t _f	=	13,5 mm	[3]
	r	=	21 mm	[3]
	b	=	180 mm	[3]
	G	=	66,3 kg/m	[3]
	I _y	=	23130 cm ⁴	[3]
	E	=	210000 N/mm ²	[3]
controle	M _{pl,Rd}	=	272,6 kNm	
	M _d / M _{pl,Rd}	=	0,914	< 1
	A _v	=	4273,1 mm ²	
	V _{pl,Rd}	=	579,763 kN	
	V _d / V _{pl,Rd}	=	0,287	< 1
doorbuiging	belasting	=	39,691 kN/m	
	doorbuiging	=	13,8 mm	< L/300 20 mm

Berekening 35: Berekening stalen ligger met cellenbetonvloer 4 m overspanning ([3] = (Sections and Merchant Bars, 2013))

CC4/600				
dimensionering	Lengte balk	=	6 m	
	Eigengewicht ligger	=	0,414 kN/m	
	S235			
	f y	=	235 N/mm ²	
	γ _m	=	1	
	M _d	=	120,878 kNm	
	V _d	=	80,586 kN	
	W	=	514,376 cm ³	
	IPE330			
	hoogte ligger	=	300 mm	[3]
controle	W	=	557 cm ³	[3]
	A	=	53,8 cm ²	[3]
	t _w	=	7,1 mm	[3]
	t _f	=	10,7 mm	[3]
	r	=	15 mm	[3]
	b	=	150 mm	[3]
	G	=	42,2 kg/m	[3]
	I _y	=	8356 cm ⁴	[3]
	E	=	210000 N/mm ²	[3]
	M _{pl,Rd}	=	130,895 kNm	
doorbuiging	M _d / M _{pl,Rd}	=	0,923	< 1
	A _v	=	2566,97 mm ²	
	V _{pl,Rd}	=	348,280 kN	
	V _d / V _{pl,Rd}	=	0,231	< 1
	belasting	=	19,009 kN/m	
	doorbuiging	=	18,3 m	< L/300 20 mm

Berekening 36: Berekening stalen ligger met gewapende welfsels 4 m overspanning ([3] = (Sections and Merchant Bars, 2013))

dimensionering	F130-500 Ruw			
	Lengte balk	=	6 m	
	Eigengewicht ligger	=	0,482 kN/m	
	S235			
	f y	=	235 N/mm ²	
	γ _m	=	1	
	M _d	=	138,954 kNm	
	V _d	=	92,636 kN	
	W	=	591,293 cm ³	
	IPE330			
	hoogte ligger	=	330 mm	[3]
	W	=	713 cm ³	[3]
	A	=	62,6 cm ²	[3]
	t _w	=	7,5 mm	[3]
	t _f	=	11,5 mm	[3]
	r	=	18 mm	[3]
	b	=	160 mm	[3]
	G	=	49,1 kg/m	[3]
	I _y	=	11770 cm ⁴	[3]
	E	=	210000 N/mm ²	[3]
controle	M _{pl,Rd}	=	167,555 kNm	
	M _d / M _{pl,Rd}	=	0,829	< 1
	A _v	=	3080,25 mm ²	
	V _{pl,Rd}	=	417,920 kN	
	V _d / V _{pl,Rd}	=	0,222	< 1
doorbuiging	belasting	=	21,984 kN/m	
	doorbuiging	=	15,0 mm	< L/300 20 mm

Berekening 37: Berekening stalen ligger met gewapende welfsels 6 m overspanning ([3] = (Sections and Merchant Bars, 2013))

PAULI WPR 16/60 +4				
	Lengte balk	=	6 m	
	Eigengewicht ligger	=	0,650 kN/m	
	S235			
	f y	=	235 N/mm ²	
	γ _m	=	1	
dimensionering	M _d	=	266,020 kNm	
	V _d	=	177,347 kN	
	W	=	1131,999 cm ³	
IPE330	hoogte ligger	=	400 mm	[3]
	W	=	1160 cm ³	[3]
	A	=	84,5 cm ²	[3]
	t _w	=	8,6 mm	[3]
	t _f	=	13,5 mm	[3]
	r	=	21 mm	[3]
	b	=	180 mm	[3]
	G	=	66,3 kg/m	[3]
	I _y	=	23130 cm ⁴	[3]
	E	=	210000 N/mm ²	[3]
controle	M _{pl,Rd}	=	272,6 kNm	
	M _d / M _{pl,Rd}	=	0,976	< 1
	A _v	=	4273,1 mm ²	
	V _{pl,Rd}	=	579,763 kN	
	V _d / V _{pl,Rd}	=	0,306	< 1
doorbuiging	belasting	=	42,456 kN/m	
	doorbuiging	=	14,7 mm	< L/300 20 mm

Berekening 38: Berekening stalen ligger met potten en balken 4 m overspanning ([3] = (Sections and Merchant Bars, 2013))

Vulpotten H12+3 Staltonbalken 6/14				
	Lengte balk	=	6 m	
	Eigengewicht ligger	=	0,482 kN/m	
	S235			
	f y	=	235 N/mm ²	
	γ _m	=	1	
dimensionering	M _d	=	145,128 kNm	
	V _d	=	96,752 kN	
	W	=	617,565 cm ³	
IPE330	hoogte ligger	=	330 mm	[3]
	W	=	713 cm ³	[3]
	A	=	62,6 cm ²	[3]
	t _w	=	7,5 mm	[3]
	t _f	=	11,5 mm	[3]
	r	=	18 mm	[3]
	b	=	160 mm	[3]
	G	=	49,1 kg/m	[3]
	I _y	=	11770 cm ⁴	[3]
	E	=	210000 N/mm ²	[3]
controle	M _{pl,Rd}	=	167,555 kNm	
	M _d / M _{pl,Rd}	=	0,866	< 1
	A _v	=	3080,25 mm ²	
	V _{pl,Rd}	=	417,92004 kN	
	V _d / V _{pl,Rd}	=	0,232	< 1
doorbuiging	belasting	=	23,000 kN/m	
	doorbuiging	=	15,7 m	< L/300 20 mm

Berekening 39: Berekening stalen ligger met potten en balken 6 m overspanning ([3] = (Sections and Merchant Bars, 2013))

	Vulpotten T20 Rectorbalken R116			
	Lengte balk	=	6 m	
	Eigengewicht ligger	=	0,650 kN/m	
	S235			
	f y	=	235 N/mm ²	
	γ _m	=	1	
dimensionering	M _d	=	244,787 kNm	
	V _d	=	163,191 kN	
	W	=	1041,647 cm ³	
IPE330	hoogte ligger	=	400 mm	[3]
	W	=	1160 cm ³	[3]
	A	=	84,5 cm ²	[3]
	t _w	=	8,6 mm	[3]
	t _f	=	13,5 mm	[3]
	r	=	21 mm	[3]
	b	=	180 mm	[3]
	G	=	66,3 kg/m	[3]
	I _y	=	23130 cm ⁴	[3]
	E	=	210000 N/mm ²	[3]
controle				
	M _{pl,Rd}	=	272,6 kNm	
	M _d / M _{pl,Rd}	=	0,898	< 1
	A _v	=	4273,1 mm ²	
	V _{pl,Rd}	=	579,763 kN	
	V _d / V _{pl,Rd}	=	0,281	< 1
doorbuiging	belasting	=	38,961 kN/m	
	doorbuiging	=	13,5 m	< L/300 20 mm

Berekening 40: Berekening stalen ligger met staalplaatbetonvloer 4 m overspanning ([3] = (Sections and Merchant Bars, 2013))

	ComFlor E60			
	Lengte balk	=	6 m	
	Eigengewicht ligger	=	0,482 kN/m	
	S235			
	f y	=	235 N/mm ²	
	γ _m	=	1	
dimensionering	M _d	=	143,095 kNm	
	V _d	=	95,397 kN	
	W	=	608,917 cm ³	
IPE330	hoogte ligger	=	330 mm	[3]
	W	=	713 cm ³	[3]
	A	=	62,6 cm ²	[3]
	t _w	=	7,5 mm	[3]
	t _f	=	11,5 mm	[3]
	r	=	18 mm	[3]
	b	=	160 mm	[3]
	G	=	49,1 kg/m	[3]
	I _y	=	11770 cm ⁴	[3]
	E	=	210000 N/mm ²	[3]
controle				
	M _{pl,Rd}	=	167,555 kNm	
	M _d / M _{pl,Rd}	=	0,854	< 1
	A _v	=	3080,25 mm ²	
	V _{pl,Rd}	=	417,92004 kN	
	V _d / V _{pl,Rd}	=	0,228	< 1
doorbuiging	belasting	=	22,666 kN/m	
	doorbuiging	=	15,5 m	< L/300 20 mm

Berekening 41: Berekening stalen ligger met staalplaatbetonvloer 6 m overspanning ([3] = (Sections and Merchant Bars, 2013))

	ComFlor E100			
	Lengte balk	=	6 m	
	Eigengewicht ligger	=	0,650 kN/m	
	S235			
	f y	=	235 N/mm ²	
	γ _m	=	1	
dimensionering	M _d	=	245,085 kNm	
	V _d	=	163,390 kN	
	W	=	1042,913 cm ³	
IPE330	hoogte ligger	=	400 mm	[3]
	W	=	1160 cm ³	[3]
	A	=	84,5 cm ²	[3]
	t _w	=	8,6 mm	[3]
	t _f	=	13,5 mm	[3]
	r	=	21 mm	[3]
	b	=	180 mm	[3]
	G	=	66,3 kg/m	[3]
	I _y	=	23130 cm ⁴	[3]
	E	=	210000 N/mm ²	[3]
controle				
	M _{pl,Rd}	=	272,6 kNm	
	M _d / M _{pl,Rd}	=	0,899	< 1
	A _v	=	4273,1 mm ²	
	V _{pl,Rd}	=	579,763 kN	
	V _d / V _{pl,Rd}	=	0,282	< 1
doorbuiging	belasting	=	39,010 kN/m	
	doorbuiging	=	13,6 m	< L/300 20 mm

**Berekening 42: Berekening stalen ligger met systeenvloer met zwaluwstaartbeplating 4 m overspanning ([3]
= (Sections and Merchant Bars, 2013))**

Combifor + zwaluwstaartplaat				
	Lengte balk	=	6 m	
	Eigengewicht ligger	=	0,414 kN/m	
	S235			
	f y	=	235 N/mm ²	
	γ _m	=	1	
dimensionering	M _d	=	98,840 kNm	
	V _d	=	65,893 kN	
	W	=	420,595 cm ³	
IPE330	hoogte ligger	=	300 mm	[3]
	W	=	557 cm ³	[3]
	A	=	53,8 cm ²	[3]
	t _w	=	7,1 mm	[3]
	t _f	=	10,7 mm	[3]
	r	=	15 mm	[3]
	b	=	150 mm	[3]
	G	=	42,2 kg/m	[3]
	I _y	=	8356 cm ⁴	[3]
	E	=	210000 N/mm ²	[3]
controle	M _{pl,Rd}	=	130,895 kNm	
	M _d / M _{pl,Rd}	=	0,755	< 1
	A _v	=	2566,97 mm ²	
	V _{pl,Rd}	=	348,280 kN	
	V _d / V _{pl,Rd}	=	0,189	< 1
doorbuiging	belasting	=	15,381 kN/m	
	doorbuiging	=	14,8 m	< L/300 20 mm

Berekening 43: Berekening stalen ligger met systeemvloer met OSB-beplating 4 m overspanning ([3] = (Sections and Merchant Bars, 2013))

Combifor + OSBplaat				
	Lengte balk	=	6 m	
	Eigengewicht ligger	=	0,414 kN/m	
	S235			
	f y	=	235 N/mm ²	
	γ _m	=	1	
dimensionering	M _d	=	97,040 kNm	
	V _d	=	64,693 kN	
	W	=	412,934 cm ³	
IPE330	hoogte ligger	=	300 mm	[3]
	W	=	557 cm ³	[3]
	A	=	53,8 cm ²	[3]
	t _w	=	7,1 mm	[3]
	t _f	=	10,7 mm	[3]
	r	=	15 mm	[3]
	b	=	150 mm	[3]
	G	=	42,2 kg/m	[3]
	I _y	=	8356 cm ⁴	[3]
	E	=	210000 N/mm ²	[3]
controle	M _{pl,Rd}	=	130,895 kNm	
	M _d / M _{pl,Rd}	=	0,741	< 1
	A _v	=	2566,97 mm ²	
	V _{pl,Rd}	=	348,280 kN	
	V _d / V _{pl,Rd}	=	0,186	< 1
doorbuiging	belasting	=	15,085 kN/m	
	doorbuiging	=	14,5 m	< L/300 20 mm

Berekening 44: Berekening stalen ligger met voorgespannen welfsel 4 m overspanning ([3] = (Sections and Merchant Bars, 2013))

EC130/1200				
	Lengte balk	=	6 m	
	Eigengewicht ligger	=	0,482 kN/m	
	S235			
	f y	=	235 N/mm ²	
	γ _m	=	1	
dimensionering	M _d	=	145,415 kNm	
	V _d	=	96,943 kN	
	W	=	618,786 cm ³	
IPE330	hoogte ligger	=	330 mm	[3]
	W	=	713 cm ³	[3]
	A	=	62,6 cm ²	[3]
	t _w	=	7,5 mm	[3]
	t _f	=	11,5 mm	[3]
	r	=	18 mm	[3]
	b	=	160 mm	[3]
	G	=	49,1 kg/m	[3]
	I _y	=	11770 cm ⁴	[3]
	E	=	210000 N/mm ²	[3]
controle				
	M _{pl,Rd}	=	167,555 kNm	
	M _d / M _{pl,Rd}	=	0,868	< 1
	A _v	=	3080,25 mm ²	
	V _{pl,Rd}	=	417,92004 kN	
doorbuiging	V _d / V _{pl,Rd}	=	0,232	< 1
	belasting	=	23,048 kN/m	
	doorbuiging	=	15,7 m	< L/300 20 mm

Berekening 45: Berekening stalen ligger met voorgespannen welfsel 6 m overspanning ([3] = (Sections and Merchant Bars, 2013))

	DC160/1200			
	Lengte balk	=	6 m	
	Eigengewicht balk	=	0,650 kN/m	
	S235			
	f _y	=	235 N/mm ²	
	γ _m	=	1	
dimensionering	M _d	=	226,796 kNm	
	V _d	=	151,198 kN	
	W	=	965,091 cm ³	
IPE330	hoogte ligger	=	400 mm	[3]
	W	=	1160 cm ³	[3]
	A	=	84,5 cm ²	[3]
	t _w	=	8,6 mm	[3]
	t _f	=	13,5 mm	[3]
	r	=	21 mm	[3]
	b	=	180 mm	[3]
	G	=	66,3 kg/m	[3]
	I _y	=	23130 cm ⁴	[3]
	E	=	210000 N/mm ²	[3]
controle				
	M _{pl,Rd}	=	272,6 kNm	
	M _d / M _{pl,Rd}	=	0,832	< 1
	A _v	=	4273,1 mm ²	
	V _{pl,Rd}	=	579,763 kN	
	V _d / V _{pl,Rd}	=	0,261	< 1
doorbuiging	belasting	=	35,999 kN/m	
	doorbuiging	=	12,5 m	< L/300 20 mm

Bijlage C: Materiaalhoeveelheden

Tabel 49: Materiaalhoeveelheden beton en cementmortel van systemen met betonnen balk (minimale hoogte) in combinatie met breedplaatvloeren of gewapende welfsels.

				BREEDPLAAT -VLOER		GEWAPENDE WELFSEL	
ALGEMEEN	info	L	m	4	6	4	6
		Type		Breedplaat vloer 50+80, 4m	Breedplaat vloer 50+80, 6m	F130-500 Ruw	PAULI WPR 16/60 +4
	Afmetingen	h vloerelem	m	0,130	0,130	0,130	0,200
		h balk	m	0,450	0,500	0,400	0,550
		h balk	m	0,450	0,500	0,400	0,550
		h tot	m	0,580	0,630	0,530	0,750
		L balk	m	6,000	6,000	6,000	6,000
		B balk	m	0,350	0,350	0,350	0,350
BETON	Volume	balk	m ³	0,933	1,036	0,828	1,141
		vloerelement	m ³	1,176	1,764	1,863	3,796
		druklaag	m ³	1,902	2,852	0,000	1,412
		TOTAAL	m³	4,011	5,652	2,691	6,349
	Massa	balk	kg	2221,180	2465,948	1971,579	2715,525
		vloerelement	kg	2798,245	4197,368	4432,839	9034,745
		druklaag	kg	4525,735	6788,602	0,000	3361,402
		TOTAAL	kg	9545,160	13451,918	6404,418	15111,672
	Volume/m ² vloer	balk	m ³ /m ²	0,039	0,029	0,035	0,032
		vloerelement	m ³ /m ²	0,049	0,049	0,078	0,105
		druklaag	m ³ /m ²	0,079	0,079	0,000	0,039
		TOTAAL	m³/m²	0,167	0,157	0,112	0,176
	Massa/m ² vloer	balk	kg/m ²	92,549	68,499	82,149	75,431
		vloerelement	kg/m ²	116,594	116,594	184,702	250,965
		druklaag	kg/m ²	188,572	188,572	0,000	93,372
		TOTAAL	kg/m²	397,715	373,664	266,851	419,769
CEMENTMORTEL	Volume	voegvulling	m ³	0,000	0,000	0,216	0,396
		TOTAAL	m³	0,000	0,000	0,216	0,396
	Massa	voegvulling	kg	0,000	0,000	410,400	942,480
		TOTAAL	kg	0,000	0,000	410,400	942,480
	Volume e/m ² vloer	vulbeton	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,009	0,011
		TOTAAL	m³/m²	0,000	0,000	0,009	0,011
	Massa /m ² vloer	vulbeton	kg/m ²	0,000	0,000	17,100	26,180
		TOTAAL	kg/m²	0,000	0,000	17,100	26,180

Tabel 50: Materiaalhoeveelheden staal van systemen met betonnen balk (minimale hoogte) in combinatie met breedplaatvloeren of gewapende welfsels.

				BREEDPLAAT- VLOER		GEWAPENDE WELFSEL	
ALGEMEEN	info	L	m	4	6	4	6
		Type		Breedplaat vloer 50+80, 4m	Breedplaat vloer 50+80, 6m	F130-500 Ruw	PAULI WPR 16/60 +4
STAAL	Volume	balk lw	cm ³	9420	11304	9420	11304
		balk beug	cm ³	1708	1980	1583	2116
		balk ow	cm ³	603	603	603	603
		balkwap	cm³	11731,04	13887,34	11605,44	14022,99
		vloerelem	cm ³	24267	36400	31952,64	34288,8
		druklaag	cm ³	18431	27646	0	27646
		TOTAAL	cm³	54428	77933	43558	75958
	Massa	balk lw	kg	73,476	88,171	73,476	88,171
		balk beug	kg	13,324	15,448	12,344	16,506
		balk ow	kg	4,702	4,702	4,702	4,702
		balkwap	kg	91,502	108,321	90,522	109,379
		vloerelem	kg	189,280	283,920	249,231	267,453
		druklaag	kg	143,760	215,640	0,000	215,640
		TOTAAL	kg	424,542	607,881	339,753	592,472
	Volume/m ² vloer	balk lw	cm ³ /m ²	393	314	393	314
		balk beug	cm ³ /m ²	71	55	66	59
		balk ow	cm ³ /m ²	25	17	25	17
		balkwap	cm³/m²	489	386	484	390
		vloerelem	cm ³ /m ²	1011	1011	1331	952
		druklaag	cm ³ /m ²	768	768	0	768
		TOTAAL	cm³/m²	2268	2165	1815	2110
	Massa/m ² vloer	balk lw	kg/m ²	3,062	2,449	3,062	2,449
		balk beug	kg/m ²	0,555	0,429	0,514	0,458
		balk ow	kg/m ²	0,196	0,131	0,196	0,131
		balkwap	kg/m²	3,813	3,009	3,772	3,038
		vloerelem	kg/m ²	7,887	7,887	10,385	7,429
		druklaag	kg/m ²	5,990	5,990	0,000	5,990
		TOTAAL	kg/m²	17,689	16,886	14,156	16,458

Tabel 51: Materiaalhoeveelheden beton en keramiek van systemen met betonnen balk (minimale hoogte) in combinatie met voorgespannen welfsels, potten en balken of een cellenbetonvloer

				VOORGESPANNEN WELFSEL		POTTEN EN BALKEN		CELLENBETON- VLOER
ALGEMEEN	info	L	m	4	6	4	6	4
		Type		EC130/ 1200	DC160/120 0	Vulpotte n H12+3 Staltonba lken 6/14	Vulpotte n T20 Rectorba lken R116	CC4/600
	Afmetingen	h vloerelem	m	0,130	0,160	0,150	0,240	0,200
		h balk	m	0,400	0,500	0,400	0,500	0,400
		h balk	m	0,400	0,500	0,400	0,500	0,400
		h tot	m	0,530	0,660	0,550	0,740	0,600
		L balk	m	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
		B balk	m	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350
BETON	Volume	balk	m ³	0,828	1,036	0,828	1,036	0,830
		vloerelement	m ³	1,956	3,282	0,294	0,298	0,000
		druklaag	m ³	0,000	0,000	1,374	2,852	0,000
		TOTAAL	m³	2,785	4,318	2,496	4,187	0,830
	Massa	balk	kg	1971,579	2465,948	1971,579	2465,948	1976,063
		vloerelement	kg	4656,399	7810,041	699,286	710,300	0,000
		druklaag	kg	0,000	0,000	3269,095	6788,602	0,000
		TOTAAL	kg	6627,978	10275,989	5939,960	9964,850	1976,063
	Volume/m ² vloer	balk	m ³ /m ²	0,035	0,029	0,035	0,029	0,035
		vloerelement	m ³ /m ²	0,082	0,091	0,012	0,008	0,000
		druklaag	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,057	0,079	0,000
		TOTAAL	m³/m²	0,116	0,120	0,104	0,116	0,035
	Massa/m ² vloer	balk	kg/m ²	82,149	68,499	82,149	68,499	82,336
		vloerelement	kg/m ²	194,017	216,946	29,137	19,731	0,000
		druklaag	kg/m ²	0,000	0,000	136,212	188,572	0,000
		TOTAAL	kg/m²	276,166	285,444	247,498	276,801	82,336
KERAMIEK	Volume	Potten	m ³	0,000	0,000	1,080	2,245	0,000
		TOTAAL	m³	0,000	0,000	1,080	2,245	0,000
	Massa	Potten	kg	0,000	0,000	1836,000	3816,000	0,000
		TOTAAL	kg	0,000	0,000	1836,000	3816,000	0,000
	Volume/m ² vloer	Potten	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,045	0,062	0,000
		TOTAAL	m³/m²	0,000	0,000	0,045	0,062	0,000
	Massa/m ² vloer	Potten	kg/m ²	0,000	0,000	76,500	106,000	0,000
		TOTAAL	kg/m²	0,000	0,000	76,500	106,000	0,000

Tabel 52: Materiaalhoeveelheden cementmortel en cellenbeton van systemen met betonnen balk (minimale hoogte) in combinatie met voorgespannen welfsels, potten en balken of een cellenbetonvloer

				VOORGESPANNEN WELFSEL		POTTEN EN BALKEN		CELLENBETONVLOER
ALGEMEEN	info	L	m	4	6	4	6	4
	Type			EC130/ 1200	DC160/1200	Vulpotten H12+3 Staltonbal ken 6/14	Vulpotten T20 Rectorbalk en R116	CC4/600
CEMENTMORTEL	Volum e	voegvulling	m ³	0,1152	0,176	0,000	0,000	0,12
		TOTAAL	m³	0,115	0,176	0,000	0,000	0,120
	Massa	voegvulling	kg	218,880	335,160	0,000	0,000	228,000
		TOTAAL	kg	218,880	335,160	0,000	0,000	228,000
	Volum e/m ² vloer	vulbeton	m ³ /m ²	0,005	0,005	0,000	0,000	0,005
		TOTAAL	m³/m²	0,005	0,005	0,000	0,000	0,005
	Massa /m ² vloer	vulbeton	kg/m ²	9,120	9,310	0,000	0,000	9,500
		TOTAAL	kg/m²	9,120	9,310	0,000	0,000	9,500
CELLENBETON	Volum e	vloerelement	m ³	0,000	0,000	0,000	0,000	4,8
		TOTAAL	m³	0,000	0,000	0,000	0,000	4,800
	Massa	vloerelement	kg	0,000	0,000	0,000	0,000	2880,000
		TOTAAL		0,000	0,000	0,000	0,000	2880,000
	Volum e/m ² vloer	Vloerelement	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200
		TOTAAL	m³/m²	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200
	Massa /m ² vloer	Vloerelement	kg/m ²	0,000	0,000	0,000	0,000	120,000
		TOTAAL	kg/m²	0,000	0,000	0,000	0,000	120,000

Tabel 53: Materiaalhoeveelheden staal van systemen met betonnen balk (minimale hoogte) in combinatie met voorgespannen welfsels, potten en balken of een cellenbetonvloer

				VOORGESPANNEN WELFSEL		POTTEN EN BALKEN		CELLENBETONVLOER
ALGEMEEN	info	L	m	4	6	4	6	4
		Type		EC130/1 200	DC160/12 00	Vulpotten H12+3 Staltonbalke n 6/14	Vulpotte n T20 Rectorba lken R116	CC4/600
STAAL	Volume	balk lw	cm ³	9420	11304	9420	11304	7536
		balk beug	cm ³	1583	1980	1583	1980	1583
		balk ow	cm ³	603	603	603	603	603
		balkwap	cm³	11605	13887	11605	13887	9721
		vloerelem	cm ³	14130	23630	10048	14916	33218
		druklaag	cm ³	0	0	18431	27646	1130
		TOTAAL	cm³	25735	37518	40084	56449	44070
	Massa	balk lw	kg	73,476	88,171	73,476	88,171	58,781
		balk beug	kg	12,344	15,448	12,344	15,448	12,344
		balk ow	kg	4,702	4,702	4,702	4,702	4,702
		balkwap	kg	90,522	108,321	90,522	108,321	75,827
		vloerelem	kg	110,214	184,316	78,374	116,345	259,104
		druklaag	kg	0,000	0,000	143,760	215,640	8,817
		TOTAAL	kg	200,736	292,638	312,657	440,306	343,748
	Volume/m ² vloer	balk lw	cm ³ /m ²	393	314	393	314	314
		balk beug	cm ³ /m ²	66	55	66	55	66
		balk ow	cm ³ /m ²	25	17	25	17	25
		balkwap	cm³/m²	484	386	484	386	405
		vloerelem	cm ³ /m ²	589	656	419	414	1384
		druklaag	cm ³ /m ²	0	0	768	768	47
		TOTAAL	cm³/m²	1072	1042	1670	1568	1836
	Massa/m ² vloer	balk lw	kg/m ²	3,062	2,449	3,062	2,449	2,449
		balk beug	kg/m ²	0,514	0,429	0,514	0,429	0,514
		balk ow	kg/m ²	0,196	0,131	0,196	0,131	0,196
		balkwap	kg/m²	3,772	3,009	3,772	3,009	3,159
		vloerelem	kg/m ²	4,592	5,120	3,266	3,232	10,796
		druklaag	kg/m ²	0,000	0,000	5,990	5,990	0,000
		TOTAAL	kg/m²	8,364	8,129	13,027	12,231	13,955

Tabel 54: Materiaalhoeveelheden beton en cementmortel van systemen met betonnen balk (economische hoogte) in combinatie met breedplaatvloeren of gewapende welfsels.

				BREEDPLAAT -VLOER		GEWAPENDE WELFSEL	
ALGEMEEN	info	L	m	4	6	4	6
		Type		Breedplaat vloer 50+80, 4m	Breedplaat vloer 50+80, 6m	F130-500 Ruw	PAULI WPR 16/60 +4
	Afmetingen	h vloerelem	m	0,130	0,130	0,130	0,200
		h balk	m	0,450	0,550	0,400	0,550
		h balk	m	0,450	0,550	0,400	0,550
		h tot	m	0,580	0,680	0,530	0,750
		L balk	m	6,000	6,000	6,000	6,000
		B balk	m	0,350	0,350	0,350	0,350
BETON	Volume	balk	m ³	0,935	1,143	0,830	1,143
		vloerelement	m ³	1,176	1,764	1,863	3,796
		druklaag	m ³	1,902	2,852	0,000	1,412
		TOTAAL	m³	4,012	5,759	2,693	6,351
	Massa	balk	kg	2225,664	2720,009	1975,764	2720,009
		vloerelement	kg	2798,245	4197,368	4432,839	9034,745
		druklaag	kg	4525,735	6788,602	0,000	3361,402
		TOTAAL	kg	9549,644	13705,979	6408,603	15116,156
	Volume/m ² vloer	balk	m ³ /m ²	0,039	0,032	0,035	0,032
		vloerelement	m ³ /m ²	0,049	0,049	0,078	0,105
		druklaag	m ³ /m ²	0,079	0,079	0,000	0,039
		TOTAAL	m³/m²	0,167	0,160	0,112	0,176
	Massa/m ² vloer	balk	kg/m ²	92,736	75,556	82,324	75,556
		vloerelement	kg/m ²	116,594	116,594	184,702	250,965
		druklaag	kg/m ²	188,572	188,572	0,000	93,372
		TOTAAL	kg/m²	397,902	380,722	267,025	419,893
CEMENTMORTEL	Volume	voegvulling	m ³	0,000	0,000	0,216	0,396
		TOTAAL	m³	0,000	0,000	0,216	0,396
	Massa	voegvulling	kg	0,000	0,000	410,400	942,480
		TOTAAL	kg	0,000	0,000	410,400	942,480
	Volume e/m ² vloer	vulbeton	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,009	0,011
		TOTAAL	m³/m²	0,000	0,000	0,009	0,011
	Massa /m ² vloer	vulbeton	kg/m ²	0,000	0,000	17,100	26,180
		TOTAAL	kg/m²	0,000	0,000	17,100	26,180

Tabel 55: Materiaalhoeveelheden staal van systemen met betonnen balk (economische hoogte) in combinatie met breedplaatvloeren of gewapende welfsels.

				BREEDPLAAT- VLOER		GEWAPENDE WELFSEL	
ALGEMEEN	info	L	m	4	6	4	6
		Type		Breedplaat vloer 50+80, 4m	Breedplaat vloer 50+80, 6m	F130-500 Ruw	PAULI WPR 16/60 +4
STAAL	Volume	balk lw	cm ³	7536	9420	7536	9420
		balk beug	cm ³	1708	2116	1708	2116
		balk ow	cm ³	603	603	603	603
		balkwap	cm³	9847	12139	9847	12139
		vloerelem	cm ³	24267	36400	31953	34289
		druklaag	cm ³	18431	27646	0	27646
		TOTAAL	cm³	52544	76185	41800	74074
	Massa	balk lw	kg	58,781	73,476	58,781	73,476
		balk beug	kg	13,324	16,506	13,324	16,506
		balk ow	kg	4,702	4,702	4,702	4,702
		balkwap	kg	76,807	94,684	76,807	94,684
		vloerelem	kg	189,280	283,920	249,231	267,453
		druklaag	kg	143,760	215,640	0,000	215,640
		TOTAAL	kg	409,847	594,244	326,038	577,777
	Volume/m ² vloer	balk lw	cm ³ /m ²	314	262	314	262
		balk beug	cm ³ /m ²	71	59	71	59
		balk ow	cm ³ /m ²	25	17	25	17
		balkwap	cm³/m²	410	337	410	337
		vloerelem	cm ³ /m ²	1011	1011	1331	952
		druklaag	cm ³ /m ²	768	768	0	768
		TOTAAL	cm³/m²	2189	2116	1742	2058
	Massa/m ² vloer	balk lw	kg/m ²	2,449	2,041	2,449	2,041
		balk beug	kg/m ²	0,555	0,458	0,555	0,458
		balk ow	kg/m ²	0,196	0,131	0,196	0,131
		balkwap	kg/m²	3,200	2,630	3,200	2,630
		vloerelem	kg/m ²	7,887	7,887	10,385	7,429
		druklaag	kg/m ²	5,990	5,990	0,000	5,990
		TOTAAL	kg/m²	17,077	16,507	13,585	16,049

Tabel 56: Materiaalhoeveelheden beton en keramiek van systemen met betonnen balk (economische hoogte) in combinatie met voorgespannen welfsels, potten en balken of een cellenbetonvloer

				VOORGESPANNEN WELFSEL		POTTEN EN BALKEN		CELLENBETON- VLOER
ALGEMEEN	info	L	m	4	6	4	6	4
		Type		EC130/ 1200	DC160/120 0	Vulpotte n H12+3 Staltonba lken 6/14	Vulpotte n T20 Rectorba lken R116	CC4/600
	Afmetingen	h vloerelem	m	0,130	0,160	0,150	0,240	0,200
		h balk	m	0,400	0,500	0,400	0,500	0,400
		h balk	m	0,400	0,500	0,400	0,500	0,400
		h tot	m	0,530	0,660	0,550	0,740	0,600
		L balk	m	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
		B balk	m	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350
BETON	Volume	balk	m ³	0,830	1,038	0,830	1,038	0,830
		vloerelement	m ³	1,956	3,282	0,294	0,298	0,000
		druklaag	m ³	0,000	0,000	1,374	2,852	0,000
		TOTAAL	m³	2,787	4,320	2,498	4,189	0,830
	Massa	balk	kg	1975,764	2470,482	1975,764	2470,109	1976,063
		vloerelement	kg	4656,399	7810,041	699,286	710,300	0,000
		druklaag	kg	0,000	0,000	3269,095	6788,602	0,000
		TOTAAL	kg	6632,163	10280,523	5944,145	9969,011	1976,063
	Volume/m ² vloer	balk	m ³ /m ²	0,035	0,029	0,035	0,029	0,035
		vloerelement	m ³ /m ²	0,082	0,091	0,012	0,008	0,000
		druklaag	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,057	0,079	0,000
		TOTAAL	m³/m²	0,116	0,120	0,104	0,116	0,035
	Massa/m ² vloer	balk	kg/m ²	82,324	68,625	82,324	68,614	82,336
		vloerelement	kg/m ²	194,017	216,946	29,137	19,731	0,000
		druklaag	kg/m ²	0,000	0,000	136,212	188,572	0,000
		TOTAAL	kg/m²	276,340	285,570	247,673	276,917	82,336
KERAMIEK	Volume	Potten	m ³	0,000	0,000	1,080	2,245	0,000
		TOTAAL	m³	0,000	0,000	1,080	2,245	0,000
	Massa	Potten	kg	0,000	0,000	1836,000	3816,000	0,000
		TOTAAL	kg	0,000	0,000	1836,000	3816,000	0,000
	Volume/m ² vloer	Potten	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,045	0,062	0,000
		TOTAAL	m³/m²	0,000	0,000	0,045	0,062	0,000
	Massa/m ² vloer	Potten	kg/m ²	0,000	0,000	76,500	106,000	0,000
		TOTAAL	kg/m²	0,000	0,000	76,500	106,000	0,000

Tabel 57: Materiaalhoeveelheden cementmortel en cellenbeton van systemen met betonnen balk (economische hoogte) in combinatie met voorgespannen welfsels, potten en balken of een cellenbetonvloer

				VOORGESPANNEN WELFSEL		POTTEN EN BALKEN		CELLENBETONVLOER
ALGEMEEN	info	L	m	4	6	4	6	4
		Type		EC130/1200	DC160/1200	Vulpotten H12+3 Staltonbalken 6/14	Vulpotten T20 Rectorbalk en R116	CC4/600
CEMENTMORTEL	Volum e	voegvulling	m ³	0,115	0,176	0,000	0,000	0,120
		TOTAAL	m³	0,115	0,176	0,000	0,000	0,120
	Massa	voegvulling	kg	218,880	335,160	0,000	0,000	228,000
		TOTAAL	kg	218,880	335,160	0,000	0,000	228,000
	Volum e/m ² vloer	vulbeton	m ³ /m ²	0,005	0,005	0,000	0,000	0,005
		TOTAAL	m³/m²	0,005	0,005	0,000	0,000	0,005
	Massa /m ² vloer	vulbeton	kg/m ²	9,120	9,310	0,000	0,000	9,500
		TOTAAL	kg/m²	9,120	9,310	0,000	0,000	9,500
	Volum e	vloerelement	m ³	0,000	0,000	0,000	0,000	4,800
		TOTAAL	m³	0,000	0,000	0,000	0,000	4,800
CELLENBETON	Massa	vloerelement	kg	0,000	0,000	0,000	0,000	2880,000
		TOTAAL		0,000	0,000	0,000	0,000	2880,000
	Volum e/m ² vloer	Vloerelement	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200
		TOTAAL	m³/m²	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200
	Massa /m ² vloer	Vloerelement	kg/m ²	0,000	0,000	0,000	0,000	120,000
		TOTAAL	kg/m²	0,000	0,000	0,000	0,000	120,000

Tabel 58: Materiaalhoeveelheden staal van systemen met betonnen balk (economische hoogte) in combinatie met voorgespannen welfsels, potten en balken of een cellenbetonvloer

				VOORGESPANNEN WELFSEL		POTTEN EN BALKEN		CELLENBETONVLOER
ALGEMEEN	info	L	m	4	6	4	6	4
		Type		EC130/1 200	DC160/12 00	Vulpotten H12+3 Staltonbalke n 6/14	Vulpotte n T20 Rectorba lken R116	CC4/600
STAAL	Volume	balk lw	cm ³	7536	9420	7536	9420	7536
		balk beug	cm ³	1708	1959	1708	2116	1583
		balk ow	cm ³	603	603	603	603	603
		balkwap	cm³	9847	11982	9847	12139	9721
		vloerelem	cm ³	14130	23630	10048	14916	33218
		druklaag	cm ³	0	0	18431	27646	1130
		TOTAAL	cm³	23977	35613	38326	54701	44070
	Massa	balk lw	kg	58,781	73,476	58,781	73,476	58,781
		balk beug	kg	13,324	15,283	13,324	16,506	12,344
		balk ow	kg	4,702	4,702	4,702	4,702	4,702
		balkwap	kg	76,807	93,461	76,807	94,684	75,827
		vloerelem	kg	110,214	184,316	78,374	116,345	259,104
		druklaag	kg	0,000	0,000	143,760	215,640	8,817
		TOTAAL	kg	187,021	277,778	298,941	426,669	343,748
	Volume/m ² vloer	balk lw	cm ³ /m ²	314	262	314	262	314
		balk beug	cm ³ /m ²	71	54	71	59	66
		balk ow	cm ³ /m ²	25	17	25	17	25
		balkwap	cm³/m²	410	333	410	337	405
		vloerelem	cm ³ /m ²	589	656	419	414	1384
		druklaag	cm ³ /m ²	0	0	768	768	47
		TOTAAL	cm³/m²	999	989	1597	1519	1836
	Massa/m ² vloer	balk lw	kg/m ²	2,449	2,041	2,449	2,041	2,449
		balk beug	kg/m ²	0,555	0,425	0,555	0,458	0,514
		balk ow	kg/m ²	0,196	0,131	0,196	0,131	0,196
		balkwap	kg/m²	3,200	2,596	3,200	2,630	3,159
		vloerelem	kg/m ²	4,592	5,120	3,266	3,232	10,796
		druklaag	kg/m ²	0,000	0,000	5,990	5,990	0,000
		TOTAAL	kg/m²	7,793	7,716	12,456	11,852	13,955

Tabel 59: Materiaalhoeveelheden beton en staal van systemen met stalen ligger in combinatie met breedplaatvloeren of gewapende welfsels

				BREEDPLAAT- VLOER		GEWAPENDE WELFSEL	
ALGEMEEN	info	L	m	4	6	4	6
		Type		Breedplaat- vloer 50+80, 4m	Breedplaat- vloer 50+80, 6m	F130-500 Ruw	PAULI WPR 16/60 +4
	Afmetingen	h vloerelem	m	0,130	0,130	0,130	0,200
		h balk	m	0,36	0,4	0,33	0,4
		h tot	m	0,490	0,530	0,460	0,600
		L balk		6,000	6,000	6,000	6,000
		B balk		0,170	0,180	0,160	0,180
BETON	Volume beton	vloerelement	m ³	1,176	1,764	1,863	3,796
		druklaag	m ³	1,902	2,852	0,000	1,412
		TOTAAL	m³	3,077	4,616	1,863	5,208
	Massa beton	vloerelement	kg	2798,245	4197,368	4432,839	9034,745
		druklaag	kg	4525,735	6788,602	0,000	3361,402
		TOTAAL	kg	7323,980	10985,970	4432,839	12396,147
	Volume beton/m ² vloer	vloerelement	m ³ /m ²	0,049	0,049	0,078	0,105
		druklaag	m ³	0,079	0,079	0,000	0,039
		TOTAAL	m³/m²	0,128	0,128	0,078	0,145
	Massa beton/m ² vloer	vloerelement	m ³ /m ²	116,594	116,594	184,702	250,965
		druklaag	m ³	188,572	188,572	0,000	93,372
		TOTAAL	m³/m²	305,166	305,166	184,702	344,337
STAAL	Volume staal	balk	m ³	0,0439	0,0510	0,0378	0,0510
		vloerelem	m ³	0,0243	0,0364	0,0320	0,0343
		druklaag	m ³	0,0184	0,0276	0,0000	0,0276
		TOTAAL	m³	0,0866	0,1150	0,0697	0,1129
	Massa staal	balk	kg	342,600	397,800	294,600	397,800
		vloerelem	kg	189,280	283,920	249,231	267,453
		druklaag	kg	143,760	215,640	0,000	215,640
		TOTAAL	kg	675,640	897,360	543,831	880,893
	Volume staal/m ² vloer	balk	cm ³ /m ²	1830,128	1416,667	1573,718	1416,667
		vloerelem	cm ³ /m ²	1011,111	1011,111	1331,360	952,467
		druklaag	cm ³ /m ²	767,949	767,949	0,000	767,949
		TOTAAL	cm³/m²	3609,188	3195,726	2905,078	3137,082
	Massa staal/m ² vloer	balk	kg/m ²	14,275	11,05	12,275	11,05
		vloerelem	kg/m ²	7,887	7,887	10,385	7,429
		druklaag	kg/m ²	5,990	5,990	0,000	5,990
		TOTAAL	kg/m²	28,152	24,927	22,660	24,469

Tabel 60: Materiaalhoeveelheden keramiek, cementmortel en cellenbeton van systemen met stalen ligger in combinatie met breedplaatvloeren of gewapende welfsels

				BREEDPLAATVLOER		GEWAPENDE WELFSEL	
ALGEMEEN	info	L	m	4	6	4	6
		Type		Breedplaat- vloer 50+80, 4m	Breedplaat- vloer 50+80, 6m	F130- 500 Ruw	PAULI WPR 16/60 +4
KERAMIEK	Volum e	Potten	m ³	0,000	0,000	0,000	0,000
		TOTAAL	m³	0,000	0,000	0,000	0,000
	Massa	Potten	m ³	0,000	0,000	0,000	0,000
		TOTAAL	m³	0,000	0,000	0,000	0,000
	Volum e/m ² vloer	Potten	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,000	0,000
		TOTAAL	m³/m²	0,000	0,000	0,000	0,000
	Massa /m ² vloer	Potten	kg/m ²	0,000	0,000	0,000	0,000
		TOTAAL	kg/m²	0,000	0,000	0,000	0,000
CEMENTMORTEL	Volum e	voegvulling	m ³	0,000	0,000	0,216	0,396
		TOTAAL	m³	0,000	0,000	0,216	0,396
	Massa	voegvulling	kg	0,000	0,000	410,400	942,480
		TOTAAL	kg	0,000	0,000	410,400	942,480
	Volum e/m ² vloer	vulbeton	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,009	0,011
		TOTAAL	m³/m²	0,000	0,000	0,009	0,011
	Massa /m ² vloer	vulbeton	kg/m ²	0,000	0,000	17,100	26,180
		TOTAAL	kg/m²	0,000	0,000	17,100	26,180
CELLENBETON	Volum e	vloerelement	m ³	0,000	0,000	0,000	0,000
		TOTAAL	m³	0,000	0,000	0,000	0,000
	Massa	vloerelement	kg	0,000	0,000	0,000	0,000
		TOTAAL	kg	0,000	0,000	0,000	0,000
	Volum e/m ² vloer	Vloerelement	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,000	0,000
		TOTAAL	m³/m²	0,000	0,000	0,000	0,000
	Massa /m ² vloer	Vloerelement	kg/m ²	0,000	0,000	0,000	0,000
		TOTAAL	kg/m²	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabel 61: Materiaalhoeveelheden beton en staal van systemen met stalen ligger in combinatie met voorgespannen welfsels, potten en balken of een cellenbetonvloer

				VOOR- GESPANNE N WELFSEL		POTTEN EN BALKEN		CELLENBET ON-VLOER
ALGEMEEN	info	L	m	4	6	4	6	4
		Type		EC130/ 1200	DC160/ 1200	Vulpotten H12+3 Staltonbal ken 6/14	Vulpotten T20 Rectorbal ken R116	CC4/600
	Afmetingen	h vloerelem	m	0,120	0,160	0,150	0,210	0,200
		h balk	m	0,33	0,4	0,33	0,4	0,3
		h tot	m	0,450	0,560	0,480	0,610	0,500
		L balk		6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
		B balk		0,160	0,160	0,160	0,180	0,150
BETON	Volume beton	vloerelement	m ³	1,956	3,282	0,294	0,298	0,000
		druklaag	m ³	0,000	0,000	1,374	2,852	0,000
		TOTAAL	m³	1,956	3,282	1,667	3,151	0,000
	Massa beton	vloerelement	kg	4656,399	7810,041	699,286	710,300	0,000
		druklaag	kg	0,000	0,000	3269,095	6788,602	0,000
		TOTAAL	kg	4656,399	7810,041	3968,381	7498,902	0,000
	Volume beton/m ² vloer	vloerelement	m ³ /m ²	0,082	0,091	0,012	0,008	0,000
		druklaag	m ³	0,000	0,000	0,057	0,079	0,000
		TOTAAL	m³/m²	0,082	0,091	0,069	0,088	0,000
	Massa beton/m ² vloer	vloerelement	m ³ /m ²	194,017	216,946	29,137	19,731	0,000
		druklaag	m ³	0,000	0,000	136,212	188,572	0,000
		TOTAAL	m³/m²	194,017	216,946	165,349	208,303	0,000
STAAL	Volume staal	balk	m ³	0,038	0,051	0,038	0,051	0,032
		vloerelem	m ³	0,014	0,024	0,010	0,015	0,033
		druklaag	m ³	0,000	0,000	0,018	0,028	0,001
		TOTAAL	m³	0,052	0,075	0,066	0,094	0,067
	Massa staal	balk	kg	294,600	397,800	294,600	397,800	253,200
		vloerelem	kg	110,214	184,316	78,374	116,345	259,104
		druklaag	kg	0,000	0,000	143,760	215,640	8,817
		TOTAAL	kg	404,814	582,116	516,734	729,785	521,121
	Volume staal/m ² vloer	balk	cm ³ /m ²	1573,718	1416,667	1573,718	1416,667	1352,564
		vloerelem	cm ³ /m ²	588,750	656,397	418,667	414,333	1384,103
		druklaag	cm ³ /m ²	0,000	0,000	767,949	767,949	0,000
		TOTAAL	cm³/m²	2162,468	2073,064	2760,333	2598,949	2736,667
	Massa staal/m ² vloer	balk	kg/m ²	12,275	11,050	12,275	11,050	10,550
		vloerelem	kg/m ²	4,592	5,120	3,266	3,232	10,796
		druklaag	kg/m ²	0,000	0,000	5,990	5,990	0,000
		TOTAAL	kg/m²	16,867	16,170	21,531	20,272	21,346

Tabel 62: Materiaalhoeveelheden keramiek, cementmortel en cellenbeton van systemen met stalen ligger in combinatie met voorgespannen welfsels, potten en balken of een cellenbetonvloer

				VOORGESPANNEN WELFSEL		POTTEN EN BALKEN		CELLENBETONVLOER
ALGEMEEN	info	L	m	4	6	4	6	4
		Type		EC130/ 1200	DC160/ 1200	Vulpotten H12+3 Staltonbal ken 6/14	Vulpotte n T20 Rectorba lken R116	CC4/600
KERAMIEK	Volum e	Potten	m ³	0,000	0,000	1,080	2,245	0,000
		TOTAAL	m ³	0,000	0,000	1,080	2,245	0,000
	Massa	Potten	m ³	0,000	0,000	1836,000	3816,000	0,000
		TOTAAL	m ³	0,000	0,000	1836,000	3816,000	0,000
	Volum e/m ² vloer	Potten	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,045	0,062	0,000
		TOTAAL	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,045	0,062	0,000
	Massa /m ² vloer	Potten	kg/m ²	0,000	0,000	76,500	106,000	0,000
		TOTAAL	kg/m ²	0,000	0,000	76,500	106,000	0,000
CEMENTMORTEL	Volum e	voegvulling	m ³	0,115	0,176	0,000	0,000	0,120
		TOTAAL	m ³	0,115	0,176	0,000	0,000	0,120
	Massa	voegvulling	kg	218,880	335,160	0,000	0,000	228,000
		TOTAAL	kg	218,880	335,160	0,000	0,000	228,000
	Volum e/m ² vloer	vulbeton	m ³ /m ²	0,005	0,005	0,000	0,000	0,005
		TOTAAL	m ³ /m ²	0,005	0,005	0,000	0,000	0,005
	Massa /m ² vloer	vulbeton	kg/m ²	9,120	9,310	0,000	0,000	9,500
		TOTAAL	kg/m ²	9,120	9,310	0,000	0,000	9,500
CELLENBETON	Volum e	vloerelement	m ³	0,000	0,000	0,000	0,000	4,800
		TOTAAL	m ³	0,000	0,000	0,000	0,000	4,800
	Massa	vloerelement	kg	0,000	0,000	0,000	0,000	2880,000
		TOTAAL	kg	0,000	0,000	0,000	0,000	2880,000
	Volum e/m ² vloer	Vloerelement	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200
		TOTAAL	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200
	Massa /m ² vloer	Vloerelement	kg/m ²	0,000	0,000	0,000	0,000	120,000
		TOTAAL	kg/m ²	0,000	0,000	0,000	0,000	120,000

Tabel 63: Materiaalhoeveelheden beton en staal van systemen met stalen ligger in combinatie met staalplaatbetonvloeren of systeemvloeren

				STEELDECK		SYSTEEM-VLOER	SYSTEEM-VLOER
ALGEMEEN	info	L	m	4	6	4	4
		Type		ComFlor E60	ComFlor E100	Combifor + zwaluwstaar tplaat	Combifor + OSBplaat
	Afmetingen	h vloerelem	m	0,120	0,180	0,226	
		h balk	m	0,330	0,400	0,300	0,300
		h tot	m	0,450	0,580	0,526	
		L balk		6,000	6,000	6,000	6,000
		B balk		0,160	0,180	0,150	0,150
BETON	Volume beton	vloerelement	m ³	0,000	0,000	0,000	0,000
		druklaag	m ³	1,980	4,229	0,000	0,000
		TOTAAL	m³	1,980	4,229	0,000	0,000
	Massa beton	vloerelement	kg	0,000	0,000	0,000	0,000
		druklaag	kg	4711,440	10065,960	0,000	0,000
		TOTAAL	kg	4711,440	10065,960	0,000	0,000
	Volume beton/m ² vloer	vloerelement	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,000	0,000
		druklaag	m ³	0,082	0,117	0,000	0,000
		TOTAAL	m³/m²	0,082	0,117	0,000	0,000
	Massa beton/m ² vloer	vloerelement	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,000	0,000
		druklaag	m ³	196,310	279,610	0,000	0,000
		TOTAAL	m³/m²	196,310	279,610	0,000	0,000
STAAL	Volume staal	balk	m ³	0,038	0,051	0,032	0,032
		vloerelem	m ³	0,027	0,057	0,046	0,028
		druklaag	m ³	0,018	0,028	0,000	0,000
		TOTAAL	m³	0,083	0,135	0,078	0,060
	Massa staal	balk	kg	294,600	397,800	253,200	253,200
		vloerelem	kg	211,910	441,137	355,200	216,000
		druklaag	kg	143,760	215,640	0,000	0,000
		TOTAAL	kg	650,270	1054,577	608,400	469,200
	Volume staal/m ² vloer	balk	cm ³ /m ²	1573,718	1416,667	1352,564	1352,564
		vloerelem	cm ³ /m ²	1132,000	1571,000	1897,436	1153,846
		druklaag	cm ³ /m ²	767,949	767,949	0,000	0,000
		TOTAAL	cm³/m²	3473,667	3755,615	3250,000	2506,410
	Massa staal/m ² vloer	balk	kg/m ²	12,275	11,050	10,550	10,550
		vloerelem	kg/m ²	8,830	12,254	14,800	9,000
		druklaag	kg/m ²	5,990	5,990	0,000	0,000
		TOTAAL	kg/m²	27,095	29,294	25,350	19,550

Tabel 64: Materiaalhoeveelheden keramiek, cementmortel en cellenbeton van systemen met stalen ligger in combinatie met staalplaatbetonvloeren of systeemvloeren

				STEELECK		SYSTEEMVLOER	SYSTEEMVLOER
ALGEMEEN	info	L	m	4	6	4	4
		Type		ComFlor E60	ComFlor E100	Combifor + zwaluwstaar tplaat	Combifor + OSBplaat
KERAMIEK	Volum e	Potten	m ³	0,000	1,000	0,000	0,000
		TOTAAL	m ³	0,000	1,000	0,000	0,000
	Massa	Potten	m ³	0,000	1,000	0,000	0,000
		TOTAAL	m ³	0,000	1,000	0,000	0,000
	Volum e/m ² vloer	Potten	m ³ /m ²	0,000	0,028	0,000	0,000
		TOTAAL	m ³ /m ²	0,000	0,028	0,000	0,000
	Massa /m ² vloer	Potten	kg/m ²	0,000	0,028	0,000	0,000
		TOTAAL	kg/m ²	0,000	0,028	0,000	0,000
	Volum e	voegvulling	m ³	0,000	0,000	0,000	0,000
		TOTAAL	m ³	0,000	0,000	0,000	0,000
CEMENTMORTEL	Massa	voegvulling	kg	0,000	0,000	0,000	0,000
		TOTAAL	kg	0,000	0,000	0,000	0,000
	Volum e/m ² vloer	vulbeton	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,000	0,000
		TOTAAL	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,000	0,000
	Massa /m ² vloer	vulbeton	kg/m ²	0,000	0,000	0,000	0,000
		TOTAAL	kg/m ²	0,000	0,000	0,000	0,000
	Volum e	vloerelement	m ³	0,000	0,000	0,000	0,000
		TOTAAL	m ³	0,000	0,000	0,000	0,000
	Massa	vloerelement	kg	0,000	0,000	0,000	0,000
		TOTAAL	kg	0,000	0,000	0,000	0,000
CELLENBETON	Volum e/m ² vloer	Vloerelement	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,000	0,000
		TOTAAL	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,000	0,000
	Massa /m ² vloer	Vloerelement	kg/m ²	0,000	0,000	0,000	0,000
		TOTAAL	kg/m ²	0,000	0,000	0,000	0,000
	Volum e	vloerelement	m ³	0,000	0,000	0,000	0,000
		TOTAAL	m ³	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabel 65: Materiaalhoeveelheden van systemen met houten balk

				SEC. NAALDHOUTBAL KEN MET OSB	SEC. I-JOIST MET OSB		CELLENBETONVL OER	
ALGEMEEN	info	L	m		4	4	6	4
		Type			Naaldhout C18 75x225	STEICO JOIST SJ 45x240	STEICO JOIST SJ 60x360	CC4/600
	Afmetingen	h vloerelem	m		0,243	0,258	0,378	0,200
		h balk	m		0,500	0,500	0,600	0,500
		h tot	m		0,500	0,500	0,600	0,500
		L balk	m		6,000	6,000	6,000	6,000
		B balk	m		0,250	0,250	0,250	0,250
HOOUT	Volume hout	glulam	balk	m³	0,750	0,750	0,900	0,750
		naaldhout	sec balk	m³	1,418	0,000	0,000	0,000
		osb	plaat	m³	0,432	0,432	0,648	0,000
			lijfplaat	m³	0,000	0,115	0,288	0,000
		lvl	flens	m³	0,000	0,259	0,518	0,000
	Massa hout	glulam	balk	kg	345,000	345,000	414,000	345,000
		naaldhout	sec balk	kg	453,600	0,000	0,000	0,000
		osb	plaat	kg	263,952	263,952	395,928	0,000
			lijfplaat	kg	0,000	70,387	175,968	0,000
		lvl	flens	kg	0,000	124,416	248,832	0,000
	Volume hout/m² vloer	glulam	balk	m³/m²	0,031	0,031	0,025	0,031
		naaldhout	sec balk	m³/m²	0,059	0,000	0,000	0,000
		osb	plaat	m³/m²	0,018	0,018	0,018	0,000
			lijfplaat	m³/m²	0,000	0,005	0,008	0,000
		lvl	flens	m³/m²	0,000	0,011	0,014	0,000
	Massa hout/m² vloer	glulam	balk	kg/m²	14,375	14,375	11,500	14,375
		naaldhout	sec balk	kg/m²	18,900	0,000	0,000	0,000
		osb	plaat	kg/m²	10,998	10,998	10,998	0,000
			lijfplaat	kg/m²	0,000	2,933	4,888	0,000
		lvl	flens	kg/m²	0,000	5,184	6,912	0,000

Tabel 66: Materiaalhoeveelheden van systemen met houten balk

				SEC. NAALDHOUTBALKEN MET OSB	SEC. I-JOIST MET OSB		CELLENBETONVLOER
ALGEMEEN	info	L	m	4	4	6	4
		Type		Naalddhout C18 75x225	STEICO JOIST SJ 45x240	STEICO JOIST SJ 60x360	CC4/600
CELLENBETON	Volum e	vloerelement	m ³	0,000	0,000	0,000	4,800
			TOTAAL	0,000	0,000	0,000	4,800
	Massa	vloerelement	kg	0,000	0,000	0,000	2880,000
			TOTAAL	0,000	0,000	0,000	2880,000
	Volum e/m ² vloer	vloerelement	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,000	0,200
			TOTAAL	0,000	0,000	0,000	0,200
	Massa /m ² vloer	vloerelement	kg/m ²	0,000	0,000	0,000	120,000
			TOTAAL	0,000	0,000	0,000	120,000
CEMENTMORTEL	Volum e	voegvulling	m ³	0,000	0,000	0,000	0,120
			TOTAAL	0,000	0,000	0,000	0,120
	Massa	voegvulling	kg	0,000	0,000	0,000	228,000
			TOTAAL	0,000	0,000	0,000	228,000
	Volum e/m ² vloer	vulbeton	m ³ /m ²	0,000	0,000	0,000	0,005
			TOTAAL	0,000	0,000	0,000	0,005
	Massa /m ² vloer	vulbeton	kg/m ²	0,000	0,000	0,000	9,500
			TOTAAL	0,000	0,000	0,000	9,500