

De dynamische levenscyclusanalyse: de impact van de energiemix

Ulrike Roose

Studentennummer: 01708496

Promotoren: prof. dr. ir. arch. Marijke Steeman, dr. ir. arch. Eline Himpe
Begeleiders: ir.-arch. Stijn Van de Putte, ir.-arch. Yanaika Decorte

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

Academiejaar 2021-2022

De dynamische levenscyclusanalyse: de impact van de energiemix

Ulrike Roose

Studentennummer: 01708496

Promotoren: prof. dr. ir. arch. Marijke Steeman, dr. ir. arch. Eline Himpe
Begeleiders: ir.-arch. Stijn Van de Putte, ir.-arch. Yanaika Decorte

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

Academiejaar 2021-2022

Voorwoord

De klimaatverandering is een problematiek die al een hele poos actueel is. Bovendien zal het belang van deze problematiek de komende jaren alsmear toenemen. Dit stijgende belang heeft mij overtuigd om een masterproef te kiezen met duurzaamheid als centraal element. In eerste instantie heb ik veel bijgeleerd en verdere inzichten gecreëerd in dit onderwerp. Vervolgens werden deze inzichten verwerkt, om zo tot mijn masterproef te komen als eindresultaat. Dit werk had ik onmogelijk alleen kunnen realiseren en daarom wil ik mij graag richten tot iedereen die mij bijstond in deze leerrijke periode.

In het bijzonder wens ik mijn beide promotoren prof. dr. ir. arch. Marijke Steeman en dr. ir. arch. Eline Himpe te bedanken voor de gekregen kansen, het vertrouwen en de gegeven tijd en ruimte om mij te kunnen ontplooien. Bovendien wil ik ook mijn twee begeleiders ir. arch. Stijn Van de Putte en ir. arch. Yanaika Decorte bedanken voor hun begeleidingssessies, tips en feedback tijdens het afgelopen jaar. Daarnaast wil ik ook graag dr. Sam Hamels bedanken om mij wegwijs te maken in zijn vakgebied en voor de bruikleen van zijn data. Deze data vormden een gedegen basis voor de start van mijn onderzoek.

Tenslotte zou ik graag mijn familie en vrienden bedanken voor de steun, hulp en interesse. Dankzij hen heb ik de kans gekregen om deze studie aan te vatten en tot een goed einde te brengen.

Verder wens ik de lezer veel leesgenot en hoop ik dat deze masterproef tot nieuwe inzichten kan leiden.

Ulrike Roose

Toelating tot bruikleen

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

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

Gent, 3 juni 2022

Ulrike Roose

Toelichting in verband met het masterproefwerk en de mondelingen uiteenzetting

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

Overzicht

De dynamische levenscyclusanalyse: de impact van de energiemix

Auteur: Ulrike Roose

Promotoren: prof. dr. ir. arch. Marijke Steeman
dr. ir. arch. Eline Himpe

Begeleiders: ir. arch. Stijn Van de Putte
ir. arch. Yanaika Decorte

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

Vakgroep Architectuur en Stedenbouw

Voorzitter: Johan Lagae

Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur

Universiteit Gent

Academiejaar: 2021-2022

Trefwoorden: Levenscyclusanalyse, dynamisch, elektriciteitsmix, energiemix

Abstract:

Deze masterproef onderzoekt hoe gedetailleerd een levenscyclusanalyse moet worden uitgevoerd om een realistisch beeld te krijgen van de milieueffecten. In de literatuurstudie worden de belangrijkste tijdsfactoren opgesomd. Daarnaast wordt de impact op een levenscyclusanalyse afgetoetst aan de hand van de huidige literatuur. Verder wordt gefocust op de dynamische integratie van één tijdsfactor in een levenscyclusanalyse. Deze tijdsfactor is de elektriciteitsmix. Het onderzoek verloopt in twee delen. Enerzijds wordt de elektriciteitsmix dynamisch opgesteld en wordt aan de hand van het softwareprogramma SimaPro de milieueffecten bepaald. Anderzijds wordt de dynamische elektriciteitsmix geïntegreerd in een levenscyclusanalyse van een rijwoning.

Uit het onderzoek blijkt weldegelijk dat het de moeite loont om de elektriciteitsmix dynamisch te simuleren en te integreren in een levenscyclusanalyse. De onderzochte elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank, waar SimaPro gebruik van maakt, is gebaseerd op verouderde data bijgevolg is deze elektriciteitsmix niet meer representatief voor de huidige mix. Hierdoor moet in eerste instantie kritisch omgegaan worden met de huidige beschikbare data. Daarnaast blijkt ook dat de verschillende effectenbeoordelingsmethode leiden tot uiteenlopende resultaten. Zo zal de elektriciteitsmix zwaarder doorwegen in de levenscyclusanalyse bij de CO₂-intensiteitsfactor dan bij de milieu-impact als effectenbeoordelingsmethode.

The dynamic life cycle analysis: the impact of the energy mix

Ulrike Roose

Supervisor(s): prof. dr. ir. arch. Marijke Steeman, dr. ir. arch. Eline Himpe,
ir. arch. Stijn Van de Putte, ir. arch. Yanaika Decorte

Abstract - This master thesis examines the environmental impact of implementing the electricity mix in a dynamic way by using a life cycle assessment in the software tool SimaPro. Thereby, the main objective of this master thesis is to improve the accuracy of the life cycle analysis. The research will be split into two parts. First of all, the electricity mix is set up dynamically and the environmental effects are determined. Second the dynamic electricity mix will be implemented in a life cycle assessment of a terraced house. At the end the sensitivity of the final results are tested by changing some parameters.

Keywords - Life cycle assessment, dynamic, electricity mix, energy mix

I. INTRODUCTION

In the fight against the climate change, the European Union has made an overarching objective that is called the EU Green Deal. With this deal the European Union wants to become the first climate neutral continent by 2050, resulting in a cleaner environment, more affordable energy, smarter transport, new jobs and an overall better life quality [1]. In order to achieve the objective, the building sector will have to make a contribution. Due to the responsibility of 40% of the CO₂-emissions worldwide [2]. As a result, the life cycle assessment has been developed to be able to estimate the environmental impact of buildings. The life cycle assessment is in Belgium supported by two existing standards: NBN EN ISO 14040:2006 [3] and NBN EN ISO 14044:2006 [4]. Those standards are limited to a framework that describes the fundamentals. In addition, there are different degrees of accuracy that each time suggest a tailor-made calculation. Therefore, the objective of this master thesis is to improve the accuracy of the calculation.

Much research has been done recently on how the accuracy of the life cycle assessment should be improved. The studies mainly focus on the implementation of the temporal and spatial variations during the life cycle of the building [5]. Mostly these parameters are changing frequently over the life cycle of a building and are usually not implemented in the life cycle assessment. That's why these parameters are called dynamic assessment elements and the calculations are called dynamic life cycle assessment [6]. In the literature review of this master thesis the most important time factors are listed. In addition, the impact on the life cycle assessment is tested against the current literature.

II. THE ENERGY MIX

The literature review of this master thesis showed that one of the most important dynamic assessment elements is the energy mix. The energy mix is the ratio of the different energy sources in a specific geographical region for example the energy mix of Belgium. The proportions between the various energy sources will fluctuate sharply in the coming years as a result of external factors such as the control from high authorities as politics and experts or entering taxes. For instance, the European Union is strongly committed to a greener and more climate-friendly energy mix through its policy (the European green deal). Another example is the policy that guides Belgium towards the extinction of nuclear energy. All those uncertainties make the predictions of the future energy mix very complex. Moreover, predicting the energy mix is a discipline in itself.

In addition, the fluctuations in the energy mix are expected to have a major impact on the life cycle assessment. As a consequence of the presence of the energy mix in all system boundaries and its underlying processes. However, the dynamics of the energy mix as an influencing factor is often lacking in a life cycle assessment. Although testing different scenarios of an energy mix in a life cycle assessment would lead to different results, which would lead to a more robust research [7].

III. THE DYNAMIC ELECTRICITY MIX

A commonly used synonym for energy mix is electricity mix, however there is a distinction between these terms. The energy mix is a collection of different primary energy sources that are responsible for the final energy consumption, with electricity as the largest part, but also includes heating, transport, etc. While the electricity mix is merely a collection of different primary energy sources that are responsible for the final energy consumption of electricity. Thus, the energy mix encompasses a much broader context.

This master thesis will focus on the electricity mix as a part of the energy mix. Firstly, the Belgian electricity mix is dynamically set up for 2022 to 2082. Subsequently, the environmental impact, the primary energy and the CO₂ intensity factor of the dynamic Belgian electricity mix were determined.

First, the environmental impact was investigated using the ReCiPe 2016 endpoint method. It became clear that the environmental impact first shows an increasing trend until 2030 and then a decreasing trend. In addition, it also became clear that the most important indicator is the non-carcinogenic human toxicity. Finally, the dynamic electricity mix was compared with the static electricity mix from the Ecoinvent

U. Roose is with the Department of Architecture and urban planning, Ghent University (UGent), Gent, Belgium. E-mail: Ulrike.Roose@UGent.be

database. The comparison was based on the total environmental impact over a lifespan of 60 years with an annual use of one kWh. These results showed that the static electricity mix make an overestimation of 102%.

Second, the primary energy use was investigated using the cumulative energy demand as the method. This research showed that the total electricity mix was becoming more and more efficient. If the dynamic electricity mix was compared with the static electricity mix from the Ecoinvent database with the same assumptions as for the environmental impact. Again, the static electricity mix is overestimating. This time the overestimation is 105%.

Finally, the CO₂ intensity factor of the dynamic Belgian electricity mix was investigated using the greenhouse gas method. The main conclusion here is that the CO₂ intensity factor will first increase before it decreases. If the dynamic electricity mix was again compared with the static electricity mix from the Ecoinvent database. This time the overestimation of the static electricity mix is 19%.

Based on this research, it can be concluded that the dynamic electricity mix for the three environmental effects differs strongly from the static electricity mix.

IV. THE IMPLEMENTATION IN THE LIFE CYCLE ASSESSMENT

In this chapter, the previously established dynamic Belgian electricity mix will be implemented in the life cycle assessment of a terraced house. The implementation of the electricity mix is based on four gradations. First, the static Belgian electricity mix from the Ecoinvent database will be used to calculate the life cycle assessment. Second, the static Belgian electricity mix will be replaced in module B6 by the current electricity mix of 2022 (from the previous chapter). Subsequently, the static electricity mix in module B6 will be replaced by the dynamic electricity mix. Finally, the dynamic electricity mix will be integrated into all the system boundaries. The environmental effects have been investigated for the four implementations by the environmental impact and the CO₂ intensity factor.

The first aspect of this chapter was the environmental impact of the terraced house with the static Belgian electricity mix from the Ecoinvent database. These results showed that 77% of the environmental impact is due the operational energy use (module B6). Subsequently, the static electricity mix from the Ecoinvent database was replaced by the electricity mix of 2022. This showed that the refinement of the static electricity mix results in a reduction of 21%. It is therefore important that the data provided in the Ecoinvent database are critically examined during the life cycle assessment. Afterwards, the static electricity mix was replaced by the dynamic electricity mix. This adjustment was only made in module B6: the operational energy use. Out of these results it is clear that the environmental impact of this variant causes an increase of 12% compared of the environmental impact of the terraced house with the implementation of the static Belgian electricity mix of 2022. This outcome can be explained by the changed environmental impact of the dynamic electricity mix. As a final sub-study, the environmental impact of the terraced house was investigated in which the implementation of the dynamic electricity mix in all system boundaries was applied with a limitation to the first rank processes. It became clear that the reduction of the environmental impact does not outweigh the extra work involved in further detailing the life cycle assessment. In addition, the research by Y. Decorte about whether or not the

electricity consumption of these building components takes place in the first rank processes shows that the results are very variable and depends on the type of materials or processes.

In addition to the environmental impact as an impact assessment method, the implementation of the dynamic Belgian electricity mix in the life cycle assessment of a terraced house was also tested against the CO₂ intensity factor. First, the CO₂ intensity factor was calculated using the static Belgian electricity mix from the Ecoinvent database. These results showed that 90% of the CO₂ intensity factor is the result of the operational energy use (module B6). Compared to the environmental impact, the electricity consumption has a higher impact in the CO₂ intensity factor as an assessment method. Subsequently, the static electricity mix from the Ecoinvent database was replaced by the electricity mix of 2022 (from previous chapter). This showed that the current electricity mix from the Ecoinvent database resulted in an underestimation of the CO₂ intensity factor. The refinement of the electricity mix resulted in an increase of 9%. These results once again indicate the importance of dealing with the Ecoinvent database. Afterwards, the static electricity mix was replaced by the dynamic electricity mix. This adjustment was only made in module B6: the operation energy use. These results made clear that the CO₂ intensity factor of this variant causes a decrease of 43% compared to the CO₂ intensity factor of the terraced house with the implementation of the static Belgian electricity mix of 2022. These results are caused by the changes within the dynamic electricity mix. The dynamics of the national trend toward achieving the European Union's climate and energy targets is clearly perceptible at the building level. This statement was not contradicted from the perspective of the environmental impact as an assessment method, but this conclusion is less noticeable in the results. As a third aspect, the CO₂ intensity factor of the terraced house was examined where the implementation of the dynamic electricity mix was applied in all system boundaries with the limitation of the first rank processes. The conclusions from the life cycle assessment with the environment impact as the assessment method was confirmed. It thus became clear that the reduction of the CO₂ intensity factor does not outweigh the extra work involved in further detailing the life cycle assessment. This conclusion depends on the type of material and the production process.

V. SENSITIVITY ANALYSIS

In the sensitivity analysis, the key assumptions are again questioned in order to create a more robust result. This sensitivity analysis consists of three major parts. First, the influence of the different scenarios for the dynamic electricity mixes on the result of the life cycle assessment at building level is tested. Subsequently, the environmental effects of the established electricity mix will be questioned again. The result is further refined by implementing the dynamic electricity mix as far as possible in the solar energy as an energy source. Finally, the established dynamic electricity mix is checked against current events. For example, there is now an ongoing debate about whether or not nuclear energy should be extinguished. This section examines what the impact of the extinguishing of nuclear energy would be on the environmental effects.

The first aspect of the sensitivity analysis shows that the type of scenario has hardly any influence on the total environmental impact. While the three scenarios clearly score differently in terms of CO₂ intensity factor. However, these

REFERENCES

- [1] European Commission, *The European Green Deal*, 2019.
- [2] IEA, *Global Status Report*, 2018.
- [3] Belgische instituut voor normalisatie, *Norm NBN EN ISO 14040:2006*, 2006.
- [4] Belgische instituut voor normalisatie, *Norm NBN EN ISO 14044:2006*, 2006.
- [5] William O. Collinge, Amy E. Landis, Alex K. Jones, Laura A. Schaefer and Melissa M. Bilec, *Dynamic life cycle assessment: framework and application to an institutional building*, *The International Journal of Life Cycle Assessment* 18, 538-552, 2013.
- [6] Shu Su, Xiaodong Li and Yimin Zhu, *Dynamic assessment elements and their prospective solutions in dynamic life cycle assessment of buildings*, *Building and Environment* 158, 248-259, 2019.
- [7] Negishi Koji, Tiruta-Barna Ligia, Schiopu Nicoleta, Lebert Alexandra and Chevalier Jacques, *An operational methodology for applying dynamic life cycle assessment to buildings*. *Buildings and Environment*, 611-621, 2018.

three scenarios lead to the same objective. In this way, the electricity mix for each of these scenarios evolves towards a greener mix. Moreover, the future forecast still contains many uncertainties. For example, the environmental impact of the operational energy consumption as a result of the electricity mix can still change significantly in both the positive and negative sense. It is logical that political policy has a strong influence on this. In addition, the European Union is pushing the electricity mix of Belgium and the other EU countries towards a climate friendly electricity mix. As a result, the three scenarios applied in this master thesis are closer to the expected reality. However, the more radical scenarios can lead to a more robust investigation.

The second aspect of the sensitivity analysis shows that the implementation of the dynamic electricity mix in solar energy does indeed result in a refinement of the total environmental impact of the dynamic electricity mix. For example, in 2050 the environmental impact of solar energy will decrease by 75% and the total environmental impact by 50%. This means that solar energy is a good alternative as a renewable energy source to invest in. The high environmental impact from the previously determined dynamic electricity mix is certainly due to the high electricity consumption. The environmental impact of solar energy consists for a large part of the environmental impact as a result of electricity consumption, in other words the environmental impact of solar energy consists for 43% to 49% of the dynamic aspect (the percentages depend on the generation systems).

The last aspect of the sensitivity analysis shows that nuclear energy would be a good alternative to invest in during the transition towards achieving the climate and energy objectives. However, large investments in nuclear energy will lead to a scarcity of uranium. In addition, building a nuclear power plant takes an average of 15 years, so a new nuclear power plant will not start operating until 2037. In combination with the proposed climate and energy objectives, this investment will be of no use. Since the share of renewably energy sources will be equal to 71% of the total electricity mix. Moreover, due to the emotional aspect, there will be no investment in nuclear energy. Considering the Chernobyl and Fukushima nuclear disasters in 1986 and 2011, people were negative about nuclear energy. So, the fight against climate change has not outweighed the emotional pain caused by these nuclear disasters.

VI. CONCLUSION

The master thesis shows that it is indeed worthwhile to dynamically simulate the electricity mix and integrate it in a life cycle analysis. The examined electricity mix from the Ecoinvent database, which SimaPro uses, is based on outdated data and appears to be no longer representative of the current mix. In the first instance, this means that the current data that is provided must be critically examined. In addition, it also appears that the different impact assessment methods lead to different results. For example, the electricity mix will play a more important role in the life cycle assessment for the CO₂ intensity factor than for the environmental impact as an impact assessment method.

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thank all the supervisors for their insights and suggestions leading to the final result of this master thesis.

Inhoud

Hoofdstuk 1: Inleiding	1
Situering en relevantie	1
Onderzoek	1
Literatuuronderzoek.....	3
Hoofdstuk 2: Dynamische levenscyclusanalyse	4
Statisch versus dynamisch.....	4
Doel en reikwijdte	6
Functionele eenheid.....	6
Tijdshorizon & Levensduur	6
Systeemgrenzen	7
Levenscyclusinventarisatie	12
Levenscyclusimpactanalyse.....	13
Interpretatie	13
Hoofdstuk 3: De energiemix.....	14
Situering en relevantie	14
Energienmix versus elektriciteitsmix.....	14
De toekomstige elektriciteitsmix.....	14
De Belgische elektriciteitsmix.....	15
De huidige elektriciteitsmix.....	15
De elektriciteitsmix in 2030.....	16
De Europese elektriciteitsmix volgens ENTSO-E	19
Hoofdstuk 4: De onderzoeksmethodologie	20
De onderzoeksvraag.....	20
Doel en Reikwijdte.....	21
Functionele eenheid.....	21
Tijdshorizon en levensduur	21
Systeemgrenzen	21
Levenscyclusinventarisatie	21
Levenscyclusimpactanalyse.....	22
Vooronderzoek.....	23
Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank	24
Situering en relevantie	24

De Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank	24
De samenstelling	24
De milieu-impact	25
De primaire energie.....	27
De CO ₂ -intensiteitsfactor.....	28
De energiebronnen	30
De milieu-impact	30
De primaire energie.....	30
De CO ₂ -intensiteitsfactor.....	31
Ingebedde energie vs. operationele energie	32
Zonne-energie	33
De milieu-impact	33
De primaire energie.....	35
De CO ₂ -intensiteitsfactor.....	35
De ingebedde energie vs. operationele energie	36
Conclusie	37
Onderzoek	39
Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix.....	40
Aanpak.....	40
Samenstelling dynamische Belgische elektriciteitsmix	40
Het vertrekpunt	40
De kantelpunten 2025, 2030 en 2040.....	40
De aannames van de energiebronnen	43
Het startpunt 2021	44
Het kantelpunt 2050.....	45
De aannames voor de koppeling naar de milieueffecten	46
De opgestelde dynamische Belgische elektriciteitsmix.....	47
De milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix	49
De aannames van de energiebronnen	49
De milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix	50
Het distributienet	54
De primaire energie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix.....	55
De primaire energie van de kantelpunten	57
De CO ₂ -intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix.....	59

De CO ₂ -intensiteitsfactor van de kantelpunten	61
Het operationele perspectief vs. het LCA-perspectief	62
Conclusie	63
Hoofdstuk 7: De milieueffecten van een rijwoning met de implementatie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix	65
Aanpak.....	65
Het referentiemodel.....	65
De gebouwcomponenten.....	66
De milieu-impact van een rijwoning	67
De milieu-impact van de gebouwcomponenten	67
De milieu-impact van module B6 via de statische Belgische elektriciteitsmix uit SimaPro	67
De milieu-impact van module B6 via de statische Belgische elektriciteitsmix van 2022	68
De milieu-impact van module B6 via de dynamische Belgische elektriciteitsmix.....	69
De milieu-impact van het referentiemodel met de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in alle systeemgrenzen	70
Conclusie	72
De CO ₂ -intensiteitsfactor van een rijwoning.....	73
De CO ₂ -intensiteitsfactor van de gebouwcomponenten	73
De CO ₂ -intensiteitsfactor van module B6 via de statische Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank.....	74
De CO ₂ -intensiteitsfactor van module B6 via de statische Belgische elektriciteitsmix van 2022 .	74
De CO ₂ -intensiteitsfactor van module B6 via de dynamische Belgische elektriciteitsmix	75
De CO ₂ -intensiteitsfactor van het referentiemodel met de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in alle systeemgrenzen	76
Conclusie	77
Hoofdstuk 8: De gevoeligheidsanalyse.....	79
Situering en relevantie	79
De invloed van de gekozen dynamische elektriciteitsmix in een levenscyclusanalyse.....	79
De milieu-impact van de rijwoning via de implementatie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix in module B6.....	80
De CO ₂ -intensiteitsfactor van de rijwoning via de implementatie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix in module B6.....	81
Conclusie	83
De implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in zonne-energie als energiebron.....	84
De milieu-impact van zonne-energie	84
De aanpak.....	85

Het vertrekpunt	85
De milieu-impact van het niet elektriciteit gebonden aspect	87
De milieu-impact van het elektriciteit gebonden aspect	87
Het aandeel zonne-energie in de elektriciteitsmix	90
De milieu-impact van zonne-energie na de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie	90
De milieu-impact van de dynamische elektriciteitsmix na de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie	95
Conclusie	97
Een toetsing aan de actualiteit	98
Het aandeel kernenergie in het kernscenario	98
Het aandeel kernenergie in het extreem kernscenario	101
De milieu-impact van het kernscenario en het extreem kernscenario	101
De primaire energie van het kernscenario en het extreem kernscenario	104
De CO ₂ -intensiteitsfactor van het kernscenario en het extreem kernscenario	107
Conclusie	109
Besluit	110
Hoofdstuk 9: Besluit	111
Perspectieven	113
Bibliografie	115
Bijlage A: De inventaris van de elektriciteitsmix	119
De Belgische elektriciteitsmix volgens de Ecoinvent databank	119
Biogas	120
Biomassa	121
Gas conventioneel	122
Gas CCGT	123
Hoogovengas	124
Hydro Pumped Storage	125
Hydro run of river	126
Kolenvergassing	127
Nucleaire energie	128
Olie zonder warmte als bijproduct	129
Olie met warmte als bijproduct	130
Steenkool	131
Wind offshore	132

Wind onshore vermogen <1MW	133
Wind onshore vermogen 1-3MW.....	134
Wind onshore vermogen >3MW.....	135
Bijlage B: De elektriciteitsmix van de import- en exportlanden van België	136
De nationale elektriciteitsmix voor 2025	137
De nationale elektriciteitsmix voor 2030	138
De nationale elektriciteitsmix voor 2040	139
Bijlage C: De dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 volgens de nationale trend	140
De dynamische Belgische elektriciteitsmix	141
De milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix	144
De primaire energie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix.....	147
De CO ₂ -intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix.....	150
Bijlage D: De milieu-impact van het referentiemodel volgens de nationale trend	153
De inventaris van het referentiemodel	153
De milieu-impact van de buitenmuur	154
De milieu-impact van het hellend dak	156
De milieu-impact van het plat dak	158
De milieu-impact van de vloer op volle grond	159
De milieu-impact van de ramen	160
De milieu-impact van de deuren	160
De jaarlijkse milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor het referentiemodel	161
De milieu-impact van de buitenmuur via de dynamische elektriciteitsmix.....	162
De milieu-impact van het hellend dak via de dynamische elektriciteitsmix.....	163
De milieu-impact van het plat dak via de dynamische elektriciteitsmix.....	164
De milieu-impact van de vloer op volle grond via de dynamische elektriciteitsmix.....	165
De milieu-impact van de ramen via de dynamische elektriciteitsmix.....	165
De milieu-impact van de deuren via de dynamische elektriciteitsmix	166
De CO ₂ -intensiteitsfactor van de buitenmuur.....	167
De CO ₂ -intensiteitsfactor van het hellend dak.....	168
De CO ₂ -intensiteitsfactor van het plat dak.....	169
De CO ₂ -intensiteitsfactor van de vloer op volle grond.....	170
De CO ₂ -intensiteitsfactor van de ramen	170
De CO ₂ -intensiteitsfactor van de deuren	171

De jaarlijkse CO ₂ -intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor het referentiemodel	171
De CO ₂ -intensiteitsfactor van de buitenmuur via de dynamische elektriciteitsmix	172
De CO ₂ -intensiteitsfactor van het hellend dak via de dynamische elektriciteitsmix	173
De CO ₂ -intensiteitsfactor van het plat dak via de dynamische elektriciteitsmix	174
De CO ₂ -intensiteitsfactor van de vloer op volle grond via de dynamische elektriciteitsmix	175
De CO ₂ -intensiteitsfactor van de ramen via de dynamische elektriciteitsmix	176
De CO ₂ -intensiteitsfactor van de deuren via de dynamische elektriciteitsmix	176
Bijlage E: De dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 volgens de globale ambitie en de gedistribueerde energie	177
De dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de globale ambitie	178
De dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de gedistribueerde energie	181
De milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de globale ambitie	184
De milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de gedistribueerde energie.....	187
De primaire energie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de globale ambitie..	190
De primaire energie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de gedistribueerde energie.....	193
De CO ₂ -intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de globale ambitie	196
De CO ₂ -intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de gedistribueerde energie.....	199
Bijlage F: De milieu-impact van het referentiemodel volgens de globale ambitie en de gedistribueerde energie.....	202
De jaarlijkse milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor het referentiemodel	202
De jaarlijkse CO ₂ -intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor het referentiemodel	203
Bijlage G: De implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie	205
Het geschatte elektriciteitsverbruik voor één kWh aan zonne-energie opgewekt door een privaat enkel PV-paneel.....	205
Het geschatte elektriciteitsverbruik voor één kWh aan zonne-energie opgewekt door een privaat dubbel PV-paneel	205
Het geschatte elektriciteitsverbruik voor één kWh aan zonne-energie opgewekt door een zonnepark.....	206
De jaarlijkse groei van zonne-energie in de dynamische elektriciteitsmix	207

De milieu-impact van één kWh zonne-energie opgewekt door het privaat enkel PV-paneel als opwekkingsstelsel	210
De milieu-impact van één kWh zonne-energie opgewekt door het privaat dubbel PV-paneel als opwekkingsstelsel	210
De milieu-impact van één kWh zonne-energie opgewekt door het industrieel zonnepark als opwekkingsstelsel	211
De milieu-impact van zonne-energie in de elektriciteitsmix voor het privaat dubbel PV-paneel als opwekkingsstelsel	212
De milieu-impact van zonne-energie in de elektriciteitsmix voor het industrieel zonnepark als opwekkingsstelsel	214
De milieu-impact van het extreem kernscenario	216
De primaire energie van het extreem kernscenario	217
De niet-hernieuwbare energiebron als indicator van de primaire energie van het extreem kernscenario	218
De CO ₂ -intensiteitsfactor van het extreem kernscenario	219

Lijst van tabellen

Tabel 1: Een overzichtstabel van de verschillende hoofdstukken	2
Tabel 2: Tijdsfactoren in de levenscyclusanalyse	5
Tabel 3: de onderzoeksvragen per onderzoeksgedeelte	20
Tabel 4: De aannames in de vereenvoudiging van de energiebronnen.....	43
Tabel 5: De opgestelde Belgische elektriciteitsmix voor 2025, 2030 en 2040.....	44
Tabel 6: De Belgische elektriciteitsmix van 2021 (ENTSO-E, 2022).....	44
Tabel 7: De aangepaste Belgische elektriciteitsmix van 2021.....	45
Tabel 8: De opgestelde Belgische elektriciteitsmix van 2050	45
Tabel 9: De opgestelde Belgische elektriciteitsmix voor 2021, 2025, 2030 en 2040	47
Tabel 10: De aannames per energiebron in de Ecoinvent databank	49
Tabel 11: De impact per energiebron op de niet-kankerverwekkende menselijke toxiciteit als indicator van de milieu-impact.....	53
Tabel 12: De impact per energiebron op de opwarming van de aarde (menselijke gezondheid) als indicator van de milieu-impact.....	53
Tabel 13: de CO ₂ -intensiteitsfactoren en primaire energieconversiefactoren voor de kantelpunten 2025, 2030 en 2040 vanuit het operationele als LCA-perspectief	63
Tabel 14: de vrijheidsparameters van het referentiemodel	66
Tabel 15: De milieu-impact per gebouwcomponent van het referentiemodel	67
Tabel 16: De milieu-impact van de statische Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank voor het referentiemodel.....	68
Tabel 17: De Belgische elektriciteitsmix van 2022	68
Tabel 18: De milieu-impact van de statische Belgische elektriciteitsmix van 2022 voor het referentiemodel	69
Tabel 19: De milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor het referentiemodel.....	69
Tabel 20: De milieu-impact per gebouwcomponent van het referentiemodel met de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in alle systeemgrenzen	70
Tabel 21: De CO ₂ -intensiteitsfactor per gebouwcomponent van het referentiemodel.....	74
Tabel 22: De CO ₂ -intensiteitsfactor van de statische Belgische elektriciteitsmix uit SimaPro voor het referentiemodel	74
Tabel 23: De CO ₂ -intensiteitsfactor van de statische Belgische elektriciteitsmix van 2022 voor het referentiemodel	75
Tabel 24: De CO ₂ -intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor het referentiemodel	75
Tabel 25: De CO ₂ -intensiteitsfactor per gebouwcomponent van het referentiemodel met de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in alle systeemgrenzen.....	76
Tabel 26: De milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de globale ambitie en de gedistribueerde energie voor het referentiemodel	80
Tabel 27: De CO ₂ -intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor het referentiemodel volgens de globale ambitie en de gedistribueerde energie	82
Tabel 28: De milieu-impact van het elektriciteit gebonden en het niet elektriciteit gebonden aspect voor één kWh zonne-energie	85
Tabel 29: De Belgische elektriciteitsmix van 2014 tot 2021 (ENTSO-E, 2022)	86
Tabel 30: De capaciteiten van de Belgische elektriciteitsmix van 2014 tot 2021 (ENTSO-E, 2022).....	87
Tabel 31: Het geschatte elektriciteitsverbruik voor één kWh zonne-energie per opwekkingsysteem.....	88

Lijst van figuren

Figuur 1: De drie scenario's uit het TYNDP Rapport van 2020 (ENTSO-E & ENTSOG, 2020).....	19
Figuur 2: Het vereenvoudigd model van het Europees elektriciteitsnetwerk	41
Figuur 3: Het grondplan van het gelijkvloers, het eerste verdiep en het zolderverdiep van het referentiemodel	65

Lijst van grafieken

Grafiek 1: De samenstelling van de elektriciteitsmix met bijhorende BKG-emissie (Potrč Obrecht, Jordan, Legat, & Passer, 2021)	8
Grafiek 2: De totale milieukost van één MJ elektriciteit voor de verschillende vooropgestelde scenario's.....	9
Grafiek 3: Elektriciteitsmix in België: 2021 (Elia Group, 2022).....	16
Grafiek 4: Toekomstvisie A: de elektriciteitsmix in België voor 2030 (Hamels, Albrecht, & Thomass, Energietrilemma, 2017).....	17
Grafiek 5: Toekomstvisie B: de elektriciteitsmix in België voor 2030 (Ramon & Allacker, 2021)	17
Grafiek 6: De samenstelling van de statische Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank..	25
Grafiek 7: De milieu-impact voor één kWh elektriciteitsproductie in België.....	26
Grafiek 8: De primaire energieconversiefactor voor één kWh elektriciteitsproductie in België	27
Grafiek 9: De CO ₂ -intensiteitsfactor voor één kWh elektriciteitsproductie in België [CO ₂ -equivalent]	29
Grafiek 10: De CO ₂ -intensiteitsfactor voor één kWh elektriciteitsproductie in België	29
Grafiek 11: De milieu-impact van één kWh elektriciteitsproductie per energiebron.....	30
Grafiek 12: De primaire energieconversiefactor voor één kWh elektriciteitsproductie per energiebron	31
Grafiek 13: De CO ₂ -intensiteitsfactor voor één kWh elektriciteitsproductie per energiebron.....	31
Grafiek 14: De ingebedde energie vs. de operationele energie voor niet-hernieuwbare energiebronnen.....	32
Grafiek 15: De ingebedde energie vs. de operationele energie voor hernieuwbare energiebronnen.	33
Grafiek 16: De milieu-impact voor één kWh elektriciteitsproductie door zonne-energie.....	34
Grafiek 17: De primaire energieconversiefactor voor één kWh elektriciteitsproductie door zonne-energie.....	35
Grafiek 18: De CO ₂ -intensiteitsfactor voor één kWh elektriciteitsproductie door zonne-energie	36
Grafiek 19: De ingebedde energie vs. de operationele energie voor zonne-energie	36
Grafiek 20: De Belgische elektriciteitsmix voor 2019 van (ElectricityMap.org, 2022)	42
Grafiek 21: De dynamische Belgische elektriciteitsmix voor 2022 tot 2082	48
Grafiek 22: De milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor 2022 tot 2082	51
Grafiek 23: De gedetailleerde milieu-impact van de kantelpunten van de dynamische elektriciteitsmix	52
Grafiek 24: De milieu-impact van het distributienet voor één kWh elektriciteitsproductie	54
Grafiek 25: De primaire energie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor 2022 tot 2082 .	56
Grafiek 26: De gedetailleerde primaire energie van de kantelpunten van de dynamische elektriciteitsmix.....	58
Grafiek 27: De CO ₂ -intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082	60
Grafiek 28: De gedetailleerde CO ₂ -intensiteitsfactor van de kantelpunten van de dynamische elektriciteitsmix	62
Grafiek 29: De onderlinge verhouding van de milieu-impact ten gevolge van de elektriciteit in het eerste rangproces, milieu-impact van de elektriciteit in de overige rangprocessen en de overige milieu-impact.....	71
Grafiek 30: De milieu-impact van het referentiemodel per implementatievariant van de elektriciteitsmix.....	73

Grafiek 31: De CO ₂ -intensiteitsfactor van het referentiemodel per implementatievariant van de elektriciteitsmix	78
Grafiek 32: De milieu-impact van het referentiemodel volgens de drie scenario's	81
Grafiek 33: De CO ₂ -intensiteitsfactor van het referentiemodel volgens de drie scenario's	82
Grafiek 34: De verhouding van de statische en de dynamische aspecten van zonne-energie.....	84
Grafiek 35: De milieu-impact van één kWh zonne-energie opgewekt door het privaat enkel PV-paneel als opwekkingsstelsel.....	89
Grafiek 36: Het aandeel zonne-energie in de dynamische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082	90
Grafiek 37: De formule van de milieu-impact van zonne-energie in de elektriciteitsmix voor het privaat enkel PV-paneel als opwekkingsstelsel	92
Grafiek 38: De asymptoot van de milieu-impact van de dynamische elektriciteitsmix.....	94
Grafiek 39: De asymptoot van de milieu-impact van de energiebron zonne-energie opgewekt door het privaat enkel PV-paneel als opwekkingsstelsel	94
Grafiek 40: De referentiewaarde van het basisscenario en het scenario met de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie	95
Grafiek 41: De milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix met de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie	96
Grafiek 42: De verhouding van het niet elektriciteit gebonden en het elektriciteit gebonden aspecten van windenergie	98
Grafiek 43: Het kernscenario voor 2022 tot 2082.....	100
Grafiek 44: Het extreem kernscenario voor 2022 tot 2082	101
Grafiek 45: De referentiewaarde van het verfijnde basisscenario, het kernscenario en het extreme kernscenario	102
Grafiek 46: De milieu-impact van het kernscenario voor 2022 tot 2082	103
Grafiek 47: De niet-hernieuwbare energiebronnen als indicator van de primaire energie voor het kernscenario	104
Grafiek 48: De referentiewaarde van de niet-hernieuwbare energiebronnen als indicator van de primaire energie voor het basisscenario, het kernscenario en het extreem kernscenario	105
Grafiek 49: De primaire energie van het kernscenario van 2022 tot 2082	106
Grafiek 50: De referentiewaarde van de CO ₂ -intensiteitsfactor voor het basisscenario, het kernscenario en het extreem kernscenario	107
Grafiek 51: De CO ₂ -intensiteitsfactor van het kernscenario van 2022 tot 2082.....	108

Lijst van afkortingen

LCA	Levenscyclusanalyse
DLCA	Dynamische levenscyclusanalyse
FU	Functionele eenheid
OVAM	Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij
BKG-emissie	Broeikasgasemissie
LCI	Levenscyclusinventarisatie
LCIA	Levenscyclusimpactanalyse
ECS	Energy Concept of Slovenia
NECP	National Energy and Climate Plans
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity
TSO	Transmission System Operators
TYNDP	Ten Year Network Development Plan
OCGT	Open Cycle Gas Turbine
CCGT	Combined Cycle Gas Turbine
PEF	Primary Energy Factor
CED	Cumulative Energy Demand
GHG	Greenhouse gas
P	Pieces
PV	Photovoltaic
SBR	Stichting Bouwresearch
DSR	Demand Side Respons
Hydro PS	Hydro Pumped Storage
Hydro RoR	Hydro Run of river
ACH	Air changes per hour
ETICS	External thermal insulation composite system
EU	Europese Unie

Hoofdstuk 1: Inleiding

Situering en relevantie

De klimaatverandering is momenteel wereldwijd de grootste uitdaging waarmee we geconfronteerd worden. Zo wordt er te veel ontbost, de lucht en het water te veel verontreinigd, de ozonlaag te veel aangetast en is er een te groot verlies aan biodiversiteit. Kortom het klimaat verandert gewoon te veel en te snel op een te korte tijdspanne. Daarnaast is de grootste problematiek de opwarming van de aarde. In België bijvoorbeeld, stijgt de gemiddelde jaartemperatuur met 1,9°C terwijl volgens het klimaatakkoord van Parijs moet gestreefd worden naar een maximale jaarlijkse temperatuurstijging van 1,5°C (FOD Volksgezondheid, 2021).

In de strijd tegen de klimaatverandering heeft de Europese Unie klimaat- en energiedoelstellingen vooropgesteld, namelijk *The European green deal*. Met deze doelstellingen wil de Europese Unie in 2050 het eerste klimaatneutrale continent zijn, wat moet resulteren in een gezonder klimaat, meer betaalbare energie, slimmer vervoer, nieuwe banen en een algehele betere levenskwaliteit (Europese Commissie, 2019). Als lidstaat van de Europese Unie heeft ook België ingetekend op dit samenwerkingsakkoord. Zo probeert ook België zijn steentje bij te dragen door de uitstoot van de broeikasgassen aanzienlijk te verminderen.

Uit statistieken van (IEA, 2018) blijkt dat de bouwsector verantwoordelijk is voor 40% van de CO₂-uitstoot wereldwijd. Daarnaast moet volgens de Confederatie Bouw België nog zo'n 135 000 renovaties per jaar realiseren om de Europese klimaat- en energiedoelstellingen tegen 2050 te behalen of met andere woorden zijn er zo'n vijftien renovaties per uur nodig. Er moet dus nog een enorme steen verlegd worden (Vanacker, 2021).

Naast de klimaatveranderingen, bestaat het tweede facet van de Europese Green Deal uit de energiedoelstellingen. Dit valt te verklaren doordat 36,6% van de totale broeikasgasemissies in België tijdens het jaar 2020 te wijten zijn aan het energiegebruik. Meer specifiek, wordt hiervan 17,9% uitgestoten tijdens industriële toepassingen, 13,8% voor de verwarming van residentiële gebouwen en 4,9% voor de verwarming van tertiaire gebouwen (FOD Volksgezondheid, 2021). Om de broeikasgasemissies te drukken besloot de Europese Unie via de Europese energiedoelstellingen om verder in te zetten op de volgende twee luiken: enerzijds streven naar een lager energieverbruik en anderzijds focussen op het milieuvriendelijker opwekken van energie. Hierdoor zal de energiemix of met andere woorden de onderlinge verhouding van de verschillende energiebronnen de komende jaren sterk wijzigen.

Onderzoek

Door het stijgende belang van de klimaatverandering werd verder een onderzoek verricht om een geschikte methode te vinden die de invloeden van materialen, processen, menselijke activiteiten zoals energieverbruik, ... in kaart brengt en kwantificeert. Zo werd de levenscyclusanalyse (voortaan afgekort met LCA) ontworpen als een wetenschappelijk en nauwkeurige benadering van de milieubelasting. Desondanks bevat deze methode veel aannames die leiden tot een grote foutmarge en moet er bijgevolg kritisch omgegaan worden met elke aanname alsook met de bekomen resultaten.

Om de levenscyclusanalyse uit te voeren, zijn er ter assistentie twee bestaande normen: (Norm NBN EN ISO 14040:2006) en (Norm NBN EN ISO 14044:2006). Deze normen zijn slechts beperkt tot een kader dat de fundamentele beschrijft. Bovendien zijn er verschillende gradaties van nauwkeurigheid die telkens een op maat gemaakte berekening suggereren. Het is dan ook de doelstelling van deze masterproef om de nauwkeurigheid van de berekening aan te scherpen.

De nauwkeurigheidsgraad van een levenscyclusanalyse wordt medebepaald door de integratie van dynamische parameters. In het vooropgestelde kader van de Belgische norm wordt al rekening gehouden met toekomstige veranderingen zoals vervangingen van materialen, het slopen van de constructie, het verwerken van het gecreëerde afval, ... Deze berekeningsmethode wordt de statische levenscyclusanalyse genoemd, maar er bestaan veel meer dynamische parameters dan de geïntegreerde parameters in de statische levenscyclusanalyse. Eenmaal in de berekening rekening wordt gehouden met extra dynamische parameters is er sprake van een dynamische levenscyclusanalyse. Vaak sluiten de dynamische parameters meer aan bij de realiteit, bijgevolg verhoogt de nauwkeurigheidsgraad van de LCA. De grootste focus van deze masterproef wordt gelegd op de dynamische parameters.

Deze masterproef bestaat uit vier grote delen. Het eerste deel is een literatuuronderzoek. Hierbij zal de LCA ontleed worden in zijn vier basisstappen: het vooropstellen van een doel en reikwijdte, een levenscyclusinventarisatie, een impactanalyse en de interpretatie. Per onderdeel zal telkens de huidige statische aanpak besproken worden en de bijhorende dynamische parameters aangekaart worden. Zo wordt een beeld gevormd van de verschillende tijdsfactoren binnen de analyse met de daarbij horende knelpunten en succesfactoren. Vervolgens wordt de dynamische elektriciteitsmix als belangrijkste tijdsfactor verder onderzocht. In het tweede deel wordt een vooronderzoek uitgevoerd op de huidige statische elektriciteitsmix. Hierbij worden de milieueffecten van zowel de statische elektriciteitsmix als de verschillende energiebronnen besproken. Het derde en grootste deel is het onderzoek. Hierbij wordt de elektriciteitsmix dynamisch gesimuleerd en vervolgens geïntegreerd in de levenscyclusanalyse. Verder is er een toetsing van de conclusies uit het onderzoek aan de hand van een gevoeligheidsanalyse. Tot slot omvat het vierde deel uit het overlopen van de belangrijkste conclusies en het bekomen van één overkoepelend besluit.

Literatuuronderzoek	Vooronderzoek	Onderzoek	Besluit
<p>Hoofdstuk 2: Dynamische levenscyclusanalyse</p> <p>Hoofdstuk 3: De energiemix</p> <p>Hoofdstuk 4: De onderzoeksmethodologie</p>	<p>Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit</p>	<p>Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix</p> <p>Hoofdstuk 7: De milieueffecten van een rijwoning met de implementatie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix</p> <p>Hoofdstuk 8: De gevoeligheidsanalyse</p>	<p>Hoofdstuk 9: Besluit</p>

Tabel 1: Een overzichtstabel van de verschillende hoofdstukken

Literatuuronderzoek

Hoofdstuk 2: Dynamische levenscyclusanalyse

Statisch versus dynamisch

Het grote onderscheid in nauwkeurigheid van een levenscyclusanalyse zit in de gebruikte methodologie. De eerste, meest ingeburgerde analyse is de statische levenscyclusanalyse. Dit is een statische aanpak, waarbij de milieu-impact berekend wordt op jaar 0 en nadien geïndexeerd wordt over de voorspelde levensduur. In deze benadering wordt er geen rekening gehouden met veranderingen in tijd en ruimte. Zoals vermeld in (Scheuer, Keoleian, & Reppe Peter, 2003), zal een statisch model (die geen rekening houdt met dynamische parameters) de milieu-impact overschatten. Deze overschatting valt te verklaren door de voortdurende evolutie die niet in rekening wordt gebracht.

De tweede, meer gesofisticeerde analyse is de dynamische levenscyclusanalyse (DLCA). Dit is een grondigere aanpak, waarbij de milieu-impact berekend wordt over de voorspelde levensduur rekening houdend met dynamische parameters zoals tijd en ruimte. Kijkend naar een DLCA specifiek voor gebouwen, wordt ruimte echter niet als een dynamische parameter beschouwd. Deze parameter is een constante, het gebouw zal niet fysiek verplaatst worden in de ruimte (Shu, Xiaodong, & Yimin, 2019). Daarnaast wordt de tijdsfactor in dit onderzoek als dynamische parameter onderverdeeld in vier grote categorieën: het technologisch proces, de dynamische karakterisatiefactoren, dynamische wegingsfactoren en de variatie van de gebruiker. Deze vier categorieën worden verder in dit hoofdstuk grondig toegelicht. Om toch al een tipje van de sluier te lichten worden de vier categorieën hieronder gedefinieerd:

- Het technologisch proces, als tijdsfactor, wordt beschouwd als enerzijds de verandering wegens een nieuwe vondst door de intellectuele vordering van de mens en anderzijds de groeiende implementatie op een steeds grotere schaal.
- De dynamische karakterisatiefactoren bepalen de dynamiek van de bijdrage aan een milieueffect.
- De dynamische wegingsfactoren zijn een opsomming van de externe factoren die de weging beïnvloeden zoals taksen, politiek en experts.
- De variatie van de gebruiker weerspiegelt de dynamiek van de handelingen van de mens.

De dynamische invloedsfactoren zijn ingebed in de verschillende fasen van de methodologie van DLCA. Hieronder is een overzichtstabel weergegeven met de verschillende tijdsfactoren per fase van de LCA. Deze tabel bakent de scope van dit literatuuronderzoek af. Echter kunnen in een DLCA veel meer dynamische invloedsfactoren geïmplementeerd worden dan weergegeven in onderstaande tabel. Deze invloedsfactoren worden buiten beschouwing gelaten omwille van de beperkte impact ervan.

In de volgende paragrafen zullen telkens de tijdsfactoren (uit Tabel 2) per fase besproken worden met aansluitend de verwachte impact op de DLCA.

		Levenscyclusanalyse				
Tijdsfactoren	Doel en reikwijdte		Systeemgrenzen	Levenscyclusinventarisatie (LCI)	Levenscyclusimpactanalyse (LCIA)	Interpretatie
	Functionele eenheid	Levensduur				
Technologisch proces Gegevensverwerking						
Dynamische karakterisatiefactoren Eenheid vervuiling Wegingsfactoren						
Dynamische wegingsfactoren						
Variatie van de gebruiker						

Tijdsfactoren	Systeemgrenzen																
	Productiefase (A1-A3)			Constructiefase (A4-A5)		Gebruiksfasen (B1-B7)					Sloopfase (C1-C4)			Afvalverwerkingsfase (D)			
	A1: Ontginning van de grondstoffen	A2: Transport	A3: Productie	A4: Transport	A5: Constructie & installatie proces	B1: Gebruik	B2: Onderhoud	B3: Reparatie	B4: Renovatie	B5: Vervanging	B6: Operationeel energiegebruik	B7: Operationeel waterverbruik	C1: De-constructie & sloop	C2: Transport	C3: Afvalverwerking	C4: Verwijdering	Hergebruik, herstel en recycldage potentieel
Technologisch proces Energimix Productieverbetering Productverbetering Verbetering van het product Degradatie van het product Verbetering afvalverwerking																	
Variatie van de gebruiker Verbruiksprofiel Bezettingsprofiel																	

Tabel 2: Tijdsfactoren in de levenscyclusanalyse

Doel en reikwijdte

De levenscyclusanalyse is onderhevig aan grote onzekerheden. Hierdoor kunnen enkele kleine aanpassingen in de fundamenteën van het onderzoek leiden tot uiteenlopende resultaten, bijgevolg is transparantie een vereiste in de berekening van de analyse. Deze eerste fase bepaalt dan ook de nauwkeurigheid van het onderzoek waarbij in deze fase al veel variabele factoren aan bod zullen komen.

Functionele eenheid

De functionele eenheid (FU) is het referentiepunt dat de leidraad vormt van het onderzoek. Deze functionele eenheid wordt voor alle scenario's gedurende het volledige onderzoek constant gehouden. Aan de hand van de vooropgestelde functionele eenheid kunnen alle gegevens worden omgezet en gelinkt. De gegevens die als input dienen en bovendien zijn omgerekend via de FU worden de referentiestromen genoemd. Deze referentiestromen zijn tijdsafhankelijk (Heijungs & Sangwon, 2002). Ter illustratie kan de functionele eenheid voor een halogeenlamp gekozen worden op 10 uur licht met een helderheid van 500 lux, hierdoor heeft een halogeenlamp een bepaalde referentiestroom. Deze referentiestroom is tijdsafhankelijk en zal bovendien variabel zijn tijdens haar levensduur.

Tijdshorizon & Levensduur

In een dynamische analyse is naast de functionele eenheid ook de correcte inschatting van enerzijds de levensduur en anderzijds de tijdshorizon van belang. De levensduur is de tijdsperiode waarin het materiaal zijn functie kan vervullen, bekeken vanuit zowel het esthetische als het functionele aspect. Door het verschil in aannames kan de bepaling van de levensduur variëren van bron tot bron. Om tot een eenduidige consensus te komen in Vlaanderen, heeft de Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij (OVAM) in 2018 een rapport uitgebracht met richtwaarden over de technische levensduur van gebouwcomponenten. Ter illustratie: baksteen, glaswol en behangpapier hebben volgens de OVAM een gemiddelde waarde van respectievelijk 60, 75 en 9 jaar (Mieke Vandenbroucke, 2018). Zoals werd aangehaald in (Torsten & Harald, 2022), zit in de aanname van de levensduur een grote onzekerheid vervat. In die mate is de onzekerheid te wijten aan de foutmarge bij de inschatting. Zo is het bijvoorbeeld niet vooraf duidelijk of het materiaal al dan niet goed onderhouden wordt tijdens de levensduur ervan. Daarnaast is de grote onzekerheid ook te verklaren door de kantelpunten in het gebruikersgedrag, waarbij het product al vervangen wordt vooraleer het einde van de levensduur wordt bereikt zoals bij nieuwe gebruikers, bij een noodgedwongen vervanging ten gevolge van vernieuwingen in de dieper gelegen structuren, ...

De impact op de DLCA van de verschillende aannames omtrent de levensduur valt moeilijk te kwantificeren ten gevolge van de grote onzekerheden. Bovendien kan er gesteld worden dat de levensduur als concept geen dynamische tijdsfactor is, maar een aanname. Echter zit de tijdsfactor ingebed op de onzekerheden van het gebruikersgedrag, meer bepaald de afwijking van de aangenomen levensduur van een gebouwcomponent ten opzichte van de keuze door de gebruiker om het gebouwcomponent al dan niet te vervangen.

De tijdshorizon is de tijdspanne van de analyse. Logischerwijs is de tijdshorizon sterk afhankelijk van het vooropgestelde doel en het soort onderzoek. Het onderzoek kan prospectief zijn (bouwen in de toekomst), retrospectief (bouwen in het verleden) of bouwen in de verschillende stadia van de huidige tijd (Negishi, Tiruta-Barna, Schiopu, Lebert, & Chevalier, 2018). Globaal wordt de tijdshorizon

vastgelegd in functie van de meegenomen korte- en lange-termijneffecten (Eriksson, Finnveden, Ekvall, & Björklund, 2007). Zo zal een analyse op grond van de energiemix vaak leiden tot een korte tijdshorizon, aangezien de energiemix zorgt voor toegevoegde onzekerheid bij een grotere tijdshorizon. Terwijl de klimaatverandering net een typisch grote tijdshorizon vergt, vermits de effecten traag fluctueren (Beloin-Saint-Pierre, et al., 2020).

Systeemgrenzen

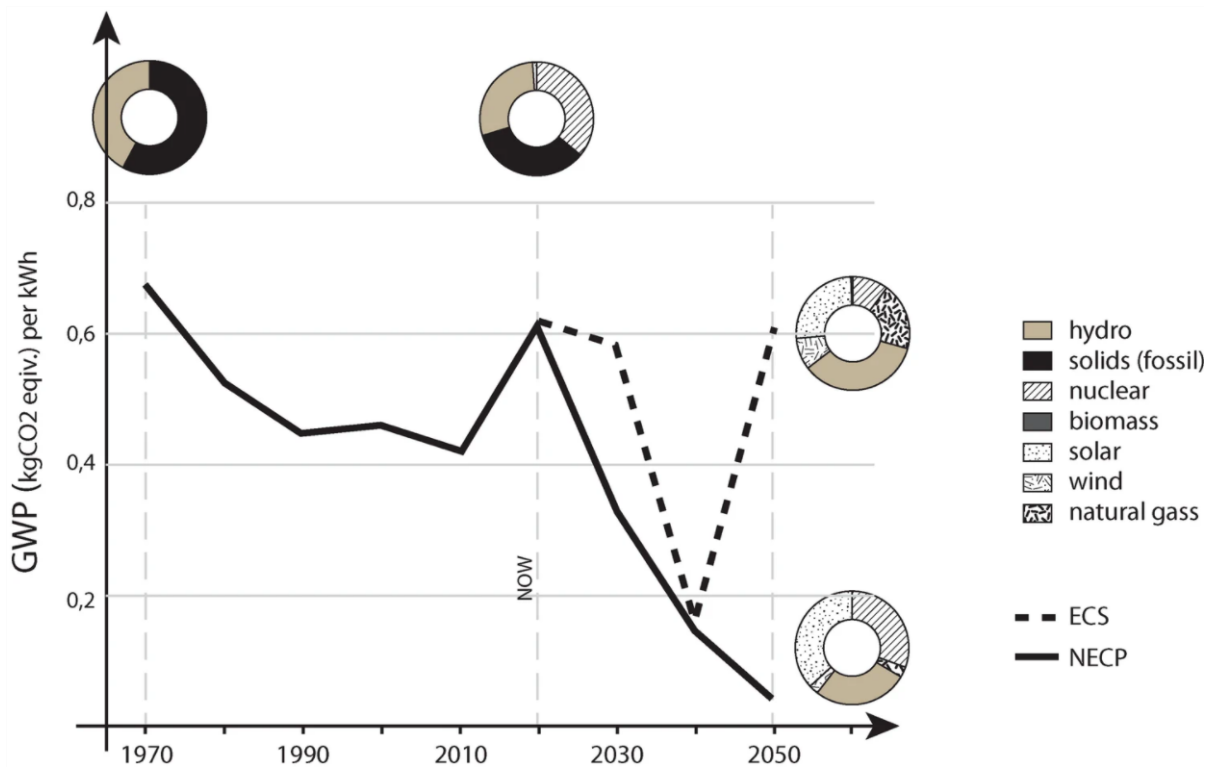
De levenscyclusanalyse is opgedeeld in verschillende systeemgrenzen om een duidelijk overzicht weer te geven van de eenheidsprocessen die al dan niet in rekening gebracht worden. Elke systeemgrens stemt overeen met een verandering in het proces, waarbij elk proces op zijn beurt tijdsfactoren als dynamische invloedsfactor bevat. De uitvergroting van Tabel 2 heeft een overzicht van de grootste tijdsfactoren per systeemgrens weer. Toch is deze tabel een summiere opsomming in vergelijking met de realiteit. Zo is er op elk aspect wel een tijdsfactor gevestigd. Echter zou een gehele opsomming leiden tot een onoverzichtelijke verhouding tussen de gradaties van invloedrijke tijdsfactoren. In de volgende paragrafen zullen telkens de tijdsfactoren aansluitend met de relevante systeemgrenzen overlopen worden, startend bij het technologisch proces.

Technologisch proces

De energiemix

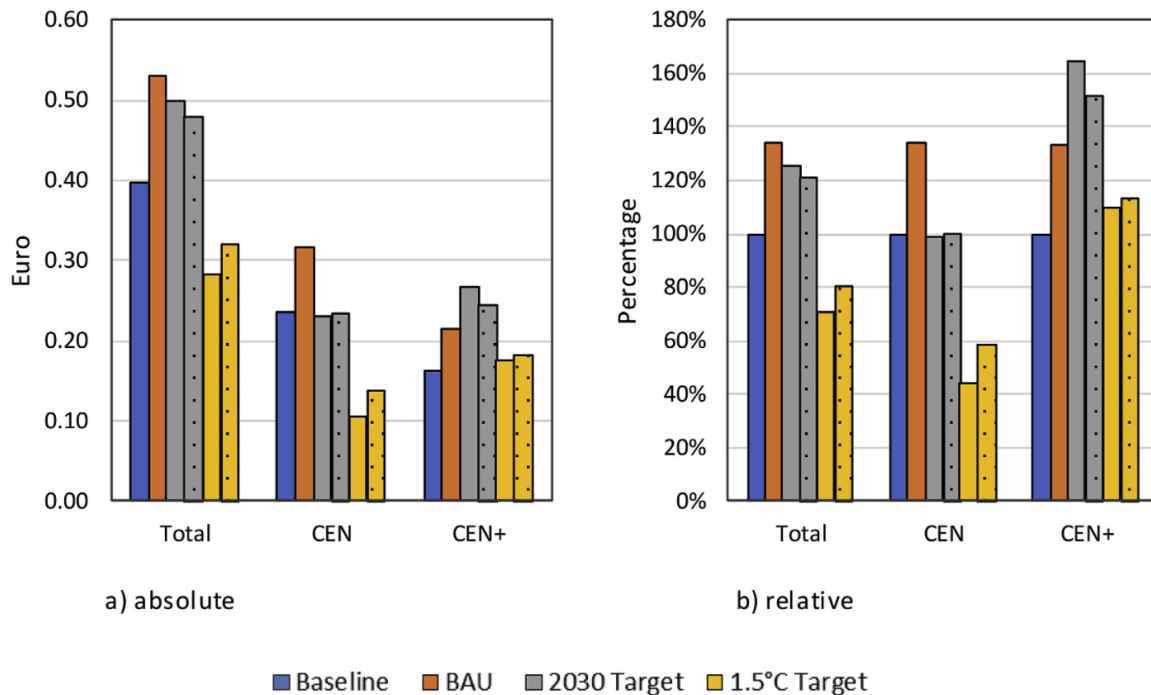
Zoals eerder vermeld wordt het technologisch proces, als tijdsfactor, beschouwd als enerzijds de verandering wegens een nieuwe vondst door de intellectuele vordering van de mens en anderzijds de groeiende implementatie op een steeds grotere schaal. Een voorbeeld van de groeiende implementatie is de verwachte toename van het aantal windturbines en PV-panelen in de nabije toekomst. Het eerste deelaspect van het technologisch proces is dan ook de verhouding van de verschillende energiebronnen, de energiemix. Zoals hierboven vermeld bakenen de systeemgrenzen verschillende eenheidsprocessen af. In elk van deze eenheidsprocessen zit energie gevestigd. Steunend op research worden er veelal scenario's, die een indicatie geven van de evolutie van de energiemix per land, opgesteld. Echter ontbreekt de dynamische energiemix als invloedsfactor frequent bij een LCA. Nochtans zou de toetsing van verschillende scenario's leiden tot diverse resultaten, wat op zijn beurt leidt tot een meer robuust onderzoek (Negishi, Tiruta-Barna, Schiopu, Lebert, & Chevalier, 2018).

Uit bovenstaande stelling dat de aanwezigheid van de energiemix gevestigd zit in alle systeemgrenzen en zijn achterliggende processen wordt een grote impact als hypothese gestaafd. Zoals werd aangetoond in (Potrč Obrecht, Jordan, Legat, & Passer, 2021), kan het relatieve aandeel van de broeikasgasemissie (BKG-emissie) van de dynamische elektriciteitsmix tot 20% variëren voor afzonderlijk bouwcomponenten bij de toetsing aan een statische energiemix. Als de dynamische elektriciteitsmix vervangen wordt door een elektriciteitsmix met een grotere milieu-emissie kan het relatieve aandeel van de BKG-emissie oplopen tot wel 30% en zelfs meer. Wanneer daarentegen de elektriciteitsmix vervangen wordt door een bijna koolstofvrije elektriciteitsmix, dan reduceert het relatieve aandeel van de BKG-emissie tot een verwaarloosbare waarde. De voorspelling van de elektriciteitsmix van Slovenië met bijhorende BKG-emissie per kWh is weergegeven in onderstaande grafiek. De afkortingen ECS en NECP staan respectievelijk voor Energy Concept of Slovenia en National Energy and Climate Plans.



Grafiek 1: De samenstelling van de elektriciteitsmix met bijhorende BKG-emissie (Potrč Obrecht, Jordan, Legat, & Passer, 2021)

Bovendien wordt ook in (Ramon & Allacker, 2021) bevestigd dat een verschil in elektriciteitsmix kan leiden tot grote variaties. Hierbij werd in het onderzoek de milieukost voor één MJ elektriciteit geproduceerd door verschillende elektriciteitsmixen vergeleken ten opzichte van de productie door de statische elektriciteitsmix van 2020 uit Ecoinvent 3.6. De uitkomst varieerde in beide opzichten, zo werd enerzijds voor zowel de elektriciteitsmix met doelstelling 2030 als voor de elektriciteitsmix zonder overheidsbeleid (BAU-scenario) een onderschatting van respectievelijk 34% en 26% gevonden. Terwijl anderzijds een overschatting van 29% werd gevonden voor de elektriciteitsmix met als doelstelling het akkoord van Parijs. Onderstaande grafiek geeft de milieukost weer voor zowel de CEN indicatoren, CEN+ indicatoren als de som van indicatoren. De staven aangeduid door stippen zijn telkens een variant op het scenario met de overeenkomstige kleur. Deze varianten stemmen overeen met een andere aanname. De vooronderstelling in de scenario's zonder stippen bestaat uit het aanhouden van een gelijkaardige trend tussen 2040 en 2050 als tussen 2030 en 2040, terwijl de aanname in de scenario's met stippen bestaat uit een elektriciteitsmix die vanaf 2040 ongewijzigd blijft.



Grafiek 2: De totale milieukost van één MJ elektriciteit voor de verschillende vooropgestelde scenario's

Voor de energiemix als tijdsfactor leggen beide onderzoeken een grote differentiatie bloot, hetgeen resulteert in het beklemtonen van het belang van de aannames en de nauwkeurigheid van het onderzoek in verhouding tot het vooropgesteld doel. In *Hoofdstuk 3: De energiemix* zal deze tijdsfactor verder uiteengezet worden.

Productieverbetering

Het tweede onderdeel van het technologisch proces wordt gecategoriseerd als de productieverbetering. Hierin worden alle tijdsafhankelijke veranderingen op elementniveau behandeld. Startend met het terugwinningspercentage als verbetering van de bouwtechnologie. Met behulp van de toekomstige verbetering in het productieproces zal de ontginning van de grondstoffen per eenheid van productie dalen. In die mate zal het productieproces efficiënter worden georganiseerd. Enerzijds leidt de efficiëntie tot een vermindering van het energiegebruik. Anderzijds zullen er ook minder grondstoffen nodig zijn om hetzelfde product te bekomen, bijgevolg wordt de verhouding van de uitgespaarde grondstoffen en energie op de totale productie, het terugwinningspercentage genoemd (Shu, Xiaodong, Yimin, & Borong, 2017). Kijkend naar de systeemgrenzen wordt zowel in module A1 als in module B5 grondstoffen ontgonnen. Evenwel is het terugwinningspercentage als tijdsfactor enkel geldig in B5, vermits A1 zich afspeelt in het jaar nul van de DLCA.

De dosis grondstoffen die nodig zijn voor de productie van het product, dat na zijn levensduur vervangen wordt, valt moeilijk te kwantificeren. Bovendien biedt de literatuur ook geen nieuwe inzichten. Echter wordt het fenomeen wel al meermaals aangekaart als dynamisch tijdsfactor onder andere in (Shu, Xiaodong, & Yimin, 2019). Toekomstgericht kan er nog verdere optimalisatie verwacht worden, weliswaar met een bepaalde bovengrens.

Daarnaast zijn er ook geen specifieke waarden voor de impact van de energie-efficiëntie van een productieproces terug te vinden. Echter wordt de tijdsfactor in sommige studies wel al meegenomen

als aanname in de berekeningen van DLCA. Zo wordt zowel in (Potrč Obrecht, Jordan, Legat, & Passer, 2021) als in (Van de moortel, Allacker, De Troyer, Stijnen, & Schoofs, 2019) gesproken over een toename van de energie-efficiëntie van het productieproces met 0,5%.

Productverbetering

Naast de productieverbetering kan ook de productverbetering als dynamische tijdsfactor beschouwd worden. Deze tijdsfactor omvat zowel de verbetering als degradatie van het product. Om te beginnen bij de verbetering van het product, bestaat hetzelfde product na de vervangingsfase uit een betere werking (omtrekt sterkte, isolatiewaarde, ...) in vergelijking met het startjaar van de analyse. Hieruit volgt dat ook deze invloedsfactor geldt vanaf de vervanging van het product. Daarnaast zijn ook hierbij de voorspellingen voor de verbetering van de producten moeilijk te becijferen. In de huidige berekeningen kan er niet gerekend worden op toekomstige vernieuwingen. Hierdoor wordt deze tijdsfactor zelden meegenomen in een dynamische LCA. Ook in de literatuur kan men uitsluitend rekenen op enkele vermeldingen in (Shu, Xiaodong, Yimin, & Borong, 2017) en (Negishi, Lebert, Almeida, Chevalier, & Tiruta-Barna, 2019). Echter kan men toekomstgericht enkel een stagnatie of een eventuele verbetering verwachten.

Naast de verbeterde eigenschappen van een product wordt ook de degradatie van het product op dezelfde wijze in beschouwing genomen. Bij de degradatie van materialen wordt er gekeken naar alle modificaties van de karakteristieken van het materiaal met belangrijkste degradatiefenomeen de verhoging van de warmtegeleidingscoëfficiënt over een langere tijdspanne (Klunder & van Nunen, 2003). Bij VIP-panelen is dit het gevolg van een toename in de dampdruk, bij rotswol van de stijging van het vochtgehalte en bij dubbelglas en polyurethaan (PU) wordt dit veroorzaakt door diffusie van drijfgassen. Deze fenomenen zitten gevestigd op de gebruiksfase. Bovendien kan ook de impact van de degradatie van het materiaal aan de LCA afgetoetst worden. Hierover is er geen link in de literatuur terug te vinden. Nochtans is er wel al onderzoek uitgevoerd op de reductie van de warmtegeleidingscoëfficiënt voor zowel rotswol als voor VIP-panelen. Voor rotswol werd zowel in (Langmans & Roels, 2015) als in (Stazi, Tittarelli, Politi, Di Perna, & Munafo, 2014) geconcludeerd dat een gemiddelde reductie van 12% over 25 jaar plaatsvond op de warmtegeleidingscoëfficiënt. Als deze waarde via conversiefactoren omgezet wordt tot een energiegebruik, bekomen we een stijging van 23% op het totale energiegebruik. Naast de degradatie van materialenkarakteristieken kan er ook degradatie ontstaan door het type montage. Een voorbeeld hiervan is het doorhangen van de dakisolatie door gebrek aan ondersteuning, bijgevolg zal ook het energiegebruik stijgen (I3E, 2017).

Verbetering afvalverwerking

Tot slot is het laatste aspect van het technologische proces de verbetering in de afvalverwerking (Negishi, Tiruta-Barna, Schiopu, Lebert, & Chevalier, 2018). Dit aspect valt zowel onder de slooffase (module C1-C4) als de afvalverwerkingsfase (module D). Doordat de afvalverwerking pas op het einde van de levensduur wordt uitgevoerd, zit op dit aspect van het technologisch proces een grote onzekerheid. Het afvalterugwinningspercentage speelt een belangrijke rol bij het optimaliseren van de milieu-impact van gebouwen. Enerzijds slinkt de afvalberg, terwijl anderzijds de productie vermindert door zowel hergebruik (waarbij het product opnieuw wordt gebruikt, al dan niet voor een ander doel) als recycling (waarbij het product wordt omgevormd tot een nieuw product) (Shu, Xiaodong, & Yimin, 2019). Gezien de grote onzekerheid is ook hier niet veel data om op terug te vallen. Echter werd in (Shu, Xiaodong, & Yimin, 2019) wel een onderzoek uitgevoerd, waarbij een inschatting van de invloed van deze tijdsfactor, op zowel de afvalverwerkingsfase als op de gehele

levensduur, aan de hand van speculaties werd bestudeerd. Er werden twee aannames besproken. De eerste hypothese was een verbetering van het recyclagepercentage met 15%, terwijl de tweede hypothese een recyclagepercentage van 100% in beschouwing nam. De vergelijking gebeurde op basis van de verschillen in de milieukost ten opzichte van het huidige recyclagepercentage. Beide aannames leverden een verbetering op met respectievelijk 20,5% en 13,1% op de afvalverwerkingsfase. Kijkend naar de volledige levensduur resulteerde dit slechts in een kleine impact van respectievelijk 1,3% en 1,0%.

Variatie van de gebruiker

De meest zonneklare dynamische parameter is de variatie van de gebruiker. Dit is een tijdsparameter die op twee niveaus varieert. Enerzijds bestaat het eerste niveau uit de verandering van de gebruiker op gebouwniveau over de levensduur een dynamische tijdsparameter. Zo werd in (Yu, Fung, Haghghat, Yoshino, & Morofsky, 2011) aangetoond dat de toename van het aantal gebruikers per woning leidt tot een toename in de energiegebruiken die niet per se lineair toenemen. Zo zou een verdubbeling van het aantal gebruikers niet leiden tot een verdubbeling van het energiegebruik. Anderzijds fluctueert het gebruik per gebruiker periodisch in uren, dagen, weken, maanden, seizoenen en jaren. Aansluitend werd er een gevalstudie in (Al-Mumin, Khattab, & Sridhar, 2003) uitgewerkt waarbij het elektriciteitsgebruik van één gebruiker, die in dezelfde woning in Koeweit met verschillende randvoorwaarden leeft, onderzocht. Het referentiescenario bestaat uit één gebruiker met een thermostaat op een constante temperatuur van 22°C. Hierbij werd ten opzichte van het referentiescenario een reductie gecreëerd van 39% op het elektriciteitsgebruik als de thermostaat op een constante temperatuur van 24°C staat en bovendien het licht automatisch wordt gedempt bij het verlaten van de kamer.

De variatie van de gebruiker kan opgesplitst worden in zowel het verbruiks- als het bezettingsprofiel, waarbij de profielen zowel afzonderlijke als gemeenschappelijke invloedsfactoren bevatten. Het verbruiksprofiel is gebaseerd op de identiteit van de gebruiker. Zo wordt er gekeken naar de leeftijd, het geslacht, het inkomen, ... Terwijl het bezettingsprofiel de handelswijze van het verbruik identificeert zoals de duur, de insteltemperatuur, de hoeveelheid water, ... Op gebouwniveau zijn beide profielen afhankelijk van het aantal gebruikers, de mogelijkheden (al dan niet de aanwezigheid van een bad, douche, etc.), ... Beide profielen kunnen nogmaals onderverdeeld worden in twee subcategorieën. Zo zijn er de gebeurtenissen als koken, baden, ... die in een profiel zichtbaar zijn als een momentopname, terwijl er ook constanten als koeling, verwarming, ... zijn (Shu, Xiaodong, Yimin, & Borong, 2017).

Zoals reeds besproken heeft de variatie van de gebruiker veel invloedsfactoren. Hierdoor is het dan ook een heel rijkelijk besproken thema dat een vakgebied op zichzelf vormt. De kwestie zit vooral op de gebruiksfase en op het operationeel water- en energiegebruik van de levenscyclusanalyse (module B6 en B7) gevestigd. Hoewel de variatie van de gebruiker een invloed heeft op de DLCA, is er geen duidelijk onderzoek te vinden die deze thema's linkt. Dit valt te verklaren doordat de DLCA als methode geen toegevoegde waarde biedt in het onderzoek indien er enkel gefocust wordt op het operationeel water- en energiegebruik, bijgevolg zal men eerder een beroep moeten doen op andere berekeningsmethoden.

Levenscyclusinventarisatie

De volgende stap in de DLCA is de levenscyclusinventarisatie (LCI). Hierbij worden alle nodige data verzameld, geordend en gekwantificeerd in het licht van de functionele eenheid. Nochtans moet er een kanttekening geplaatst worden bij de kwantificatie, vooraleer de dynamisch tijdsfactoren worden besproken. Zoals in (Negishi, Lebert, Almeida, Chevalier, & Tiruta-Barna, 2019) wordt vermeld, zal tijdens de LCI vaak enkele vereenvoudigingen worden gehanteerd. Zo wordt een onderdeel met een impact kleiner dan 1% op de totale analyse niet in rekening gebracht. De impact is dusdanig klein dat het onderdeel gekwantificeerd wordt als niet significant. Daarnaast wordt ook elk onderdeel met een volume kleiner dan 1% op de totale analyse niet in rekening gebracht. Bovendien wordt in (Finnveden, et al., 2009) een eenvoudige aanpak voorgesteld, namelijk de inventarisatie te starten in grote lijnen en nadien te verfijnen, zodanig dat alle data significant zijn.

Al de gegevens zijn samengebracht in een grote databank. In de Belgische context wordt veelal de Zwitserse databank Ecoinvent gebruikt. Deze databank is representatief voor de West-Europese context. Echter moet bepaalde data wel aangepast worden naar de Belgische context zoals de Belgische energiemix (Delem, et al., 2011). De inventarisatiegegevens bestaan telkens uit een product (zoals een materiaal, energie, etc.) met daaraan gekoppeld een hoeveelheid emissies (zoals broeikasgassen, fijnstof, etc.).

Tot slot kunnen de dynamische tijdsfactoren tijdens de levenscyclusinventarisatie besproken worden. De eerste tijdsfactor die aan bod komt, bevindt zich in het technologisch proces. Meer bepaald zal de gegevensverwerking op zowel energie- als materiaalniveau variabel zijn doorheen de tijd. Wegens de continue evolutie van de technologieën, kan enerzijds de data verder verfijnd worden terwijl anderzijds de verwerking op punt wordt gesteld. Omtrent de kwantificatie van de dynamiek in deze tijdsfactor is de literatuur heel beperkt. Bovendien zijn er geen duidelijke richtwaarden maar slechts enkele vermeldingen terug te vinden zoals in (Shu , Xiaodong , & Yimin , 2019) en in (Hayato Shimako, Tiruta-Barna, & Ahmadi, 2017).

Daarnaast is de tweede tijdsfactor gevestigd op de dynamische karakterisatiefactoren. Hierbij zal de impacttoekenning van een eenheid vervuiling evolueren. Zo is de impact van een eenheid aan vervuiling dezer dagen niet gelijkwaardig aan dezelfde eenheid aan vervuiling over afzienbare tijd (Shu, Xiaodong , Yimin, & Borong, 2017). Evenzeer wordt in (Negishi, Tiruta-Barna, Schiopu, Lebert, & Chevalier, 2018) dezelfde probleemstelling over de evolutie van een eenheid vervuiling beschreven. Hierbij wordt een vergelijking gemaakt tussen twee verschillende tijdspannes met op het einde van beide tijdspannes een gelijke uitstoot. De vraagstelling luidt als volgt: “Stel dat er tien kg CO₂-emissies wordt vrijgegeven in één jaar of er wordt één kg CO₂-emissies per jaar gedurende tien jaar vrijgegeven, zijn deze twee gevalstudies even belastend voor het milieu?”. Hierbij kan de onzekerheid van de tijdsfactor een rol spelen in het bepalen van de milieu-impact. Echter wordt deze dynamische parameter nog niet meegenomen in een levenscyclusanalyse, bijgevolg kan ook de impact van deze tijdsfactor niet gekwantificeerd worden.

Levenscyclusimpactanalyse

Vervolgens wordt de data uit de levenscyclusinventarisatie gecategoriseerd in impactcategorieën tijdens de levenscyclusimpactanalyse (LCIA). Daaropvolgend kunnen de impactcategorieën via wegingsfactoren opgeteld worden tot een éénduidig cijfer. De toegekende wegingsfactoren variëren naargelang de gekozen methode en evolueren in de loop der tijd. De twee meest gebruikte methodes zijn de ReCiPe endpoint methode uitgedrukt in milieupunten en de MMG-methode uitgedrukt in een milieukost.

Volgens de ReCiPe-methode wordt tijdens de impactanalyse alle impactcategorieën vereenvoudigd naar drie globale klassen nl. menselijke toxiciteit, klimaatverandering en ecotoxiciteit, terwijl de MMG-methode alle impactcategorieën vereenvoudigd tot zeven CEN indicatoren en zeven CEN+ indicatoren. Het aandeel van de milieu-impact per klasse of indicator varieert in functie van de tijd. Daar komt bij dat de wegingsfactor per impactcategorie vanuit hoge autoriteiten als politici en experts gestuurd wordt (Shu , Xiaodong , & Yimin , 2019). Zo zet de overheid in op hernieuwbare energie en bovendien voert de overheid taksen op milieubelastende effecten. Een voorbeeld van een reeds ingevoerde taks is de groene taxshift (Departement Omgeving, sd). Hierbij zal enerzijds de energiemix sterk veranderen terwijl anderzijds door het effect op het gedrag van de mens, een reductie op het energiegebruik plaatsvindt (Shu, Xiaodong , Yimin, & Borong, 2017).

Bovendien creëert de politiek doelstellingen met daarbij een vooropgestelde tijdsperiode om de voornemens door te voeren. Zo zijn 2030, 2040 en 2050 de drie evaluatiepunten voor de klimaat- en energiedoelstellingen van de Europese Unie. Tussen de evaluatiepunten zal de verhouding tussen de drie impactcategorieën evolueren en bijgevolg treedt er ook een verandering in wegingsfactoren op. Echter zijn de verschuivingen tussen twee evaluatiepunten moeilijk te prognosticeren en bovendien zeker niet lineair te beschouwen. Hierdoor worden de wegingsfactoren constant genomen tussen twee evaluatiepunten en verspringt de verhouding van de drie impactcategorieën bij elk evaluatiepunt, bijgevolg stijgt de foutmarge van de statische wegingsfactoren telkens bij de evaluatiepunten. Echter is de impact van deze tijdsfactor op de levenscyclusanalyse beperkt tot enkele procenten (Shu, Chen, & Xiaodong, 2019).

Interpretatie

Tenslotte worden de bekomen resultaten gebundeld tot een genuanceerd besluit. Hiervoor is een voldoende terugkoppeling naar de gebruikte randvoorwaarden een vereiste. Zo heeft de dynamiek van elke tijdsfactor met zijn bijhorende effecten invloed op de milieu-impact. De meegenomen tijdsfactoren zijn afhankelijk van zowel het belang als het doel van de analyse. Zoals aangeduid in Tabel 2 heeft de interpretatie geen dynamische tijdsfactoren. Echter moet er tijdens de interpretatie alle tijdsfactoren per onderdeel van de DLCA afgetoetst worden om tot een goede analyse te komen.

Hoofdstuk 3: De energiemix

Situering en relevantie

Om de vooropgestelde Europese klimaat- en energiedoelstellingen te behalen wordt ook hard ingezet op een groenere energiemix. In het oorspronkelijke ontwerp streefde de Europese Unie naar een reductie van broeikasgassen in 2030 en 2050 met respectievelijk 40% en 80% (ten opzichte van 1990). Sinds december 2020 is het streefdoel voor 2030 opgetrokken naar een reductie van 55% (Raad van de Europese Unie, 2022). Om deze doelstellingen te kunnen behalen zal in de komende jaren de energiemix per land sterk hervormd moeten worden. Specifiek voor België staat in 2025 een uitfasering van de kernenergie gepland terwijl de kernenergie in 2021 het grootste aandeel aan energie leverde met 52,4% (Elia Group, 2022). Om deze energiebron te kunnen elimineren zonder enige tekorten zal de productievraag verlegd worden naar andere energiebronnen. De voorspellingen van de toekomstige energiemix (in België) is heel complex en een discipline op zichzelf. Enkele Belgische onderzoekers die deze tendensen in kaart brengen zijn Sam Hamels (Universiteit Gent) en Delphine Ramon (KU Leuven).

Energiemix versus elektriciteitsmix

Zoals (Shu, Xiaodong, Yimin, & Borong, 2017) vermeld is de dynamische energiemix de assemblage van fluctuerende energiebronnen die de energiestructuur in de levenscyclus van een gebouw weergeeft. Daarbij is een energiemix gefixeerd per geografische regio. Deze regio wordt vaak afgebakend door de landsgrenzen, tenzij het land te uitgestrekt is dat er geen uniforme energiedistributie plaatsvindt (Masanet, et al., 2013).

Een veelgebruikt synoniem voor energiemix is elektriciteitsmix, nochtans zit er meer schakering op deze begrippen. De energiemix is een verzameling van verschillende primaire energiebronnen die instaan voor het eindenergiegebruik met als grootste aandeel elektriciteit, maar daarnaast ook verwarming, vervoer, ... vervat. Terwijl de elektriciteitsmix louter een verzameling is van verschillende primaire energiebronnen die instaan voor het eindenergiegebruik van elektriciteit. Aldus omvat de energiemix een veel ruimere context.

Verder in deze masterproef zal louter gefocust worden op de elektriciteitsproductie, bijgevolg gaat het onderzoek over de elektriciteitsmix. Echter kan de energiemix ook als synoniem optreden in deze masterproef.

De toekomstige elektriciteitsmix

Alvorens de huidige en verwachte elektriciteitsmix van België te bespreken, zal de focus eerst gelegd worden op de totstandkoming van een onderbouwd onderzoek tot een toekomstige elektriciteitsmix. De meest bekende toetsingscriteria voor het opstellen van een elektriciteitsmix is de vijfstappenprocedure van Weidema (Buyle, Anthonissen, Van den Bergh, Braet, & Audenaert, 2019).

Als eerste stap in het proces worden de schaal en de tijdshorizon gedefinieerd. De schaal wordt bepaald in functie van de geografische regio en de tijdshorizon in functie van de soort toetsing. Als er sprake is van een marginale toetsing dan is het doel om kleine verschillen duidelijk te maken. Doordat de onzekerheid van de effectinschattingen groeit bij een langere tijdshorizon wordt vaak voor een marginale toetsing een korte tijdshorizon voorzien. Indien er sprake is van een gemiddelde toetsing dan is het doel om de stromen weer te geven. In dit geval zijn de beperkingen op de tijdshorizon minder relevant (Finnveden, et al., 2009).

De tweede stap is het definiëren van de marktgrenzen. Enerzijds kan er enkel rekening gehouden worden met de binnenlandse markt, anderzijds kan ook de import onder de loep genomen worden. De importlanden van de Belgische elektriciteitsmix zijn Nederland, Frankrijk en Luxemburg. Niettegenstaande wordt Luxemburg eerder beschouwd als een doorstroomland vanuit Duitsland.

Als derde stap wordt de markttrend bepaald. Hiervoor wordt er gekeken naar de historische gegevens zowel voor de totale elektriciteitsmix als op het niveau van de energiebronnen.

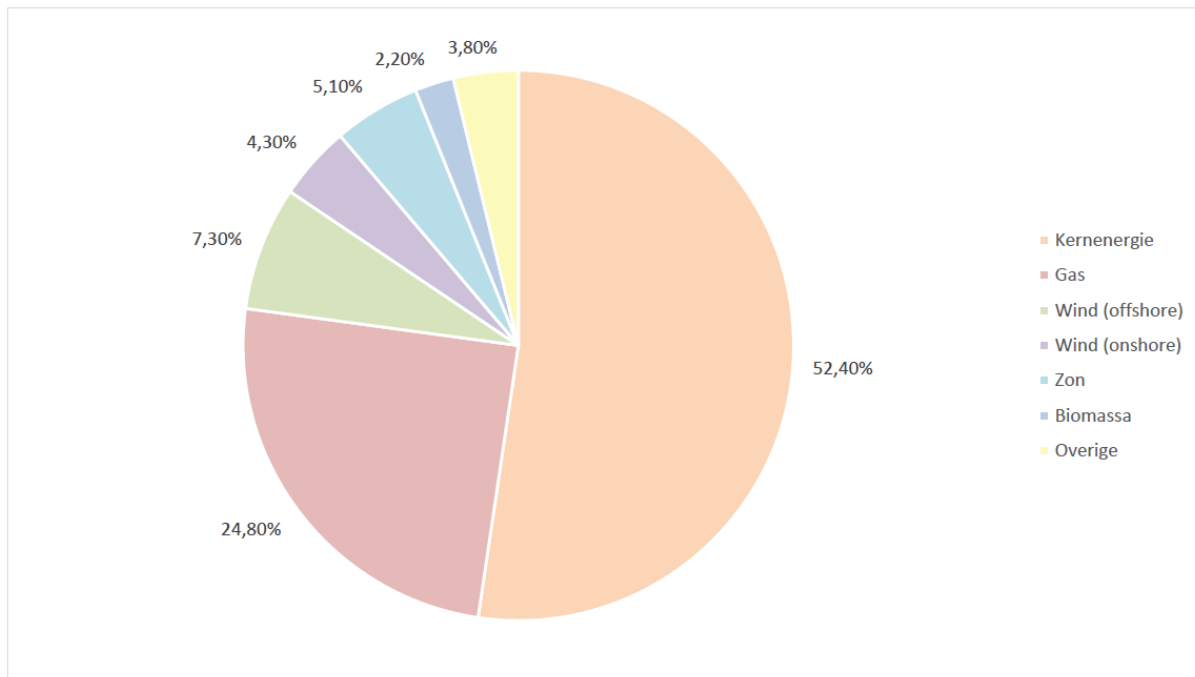
De vierde stap is het bekijken van alle beperkingen. Volgens Weidema zijn er 3 soorten beperkingen: politieke beperkingen, natuurlijke beperkingen en bijproducten. De politieke beperkingen zijn de wetten en afspraken die op alle niveaus van het recht worden opgelegd. De twee grootste niveaus van het recht zijn het federaal en Europees niveau. Het schoolvoorbeeld van de politieke beperking zijn de klimaat- en energiedoelstellingen van de Europese Unie. Daarnaast ontstaan de natuurlijke beperkingen ten gevolge van de geografische regio, die de mogelijkheid niet biedt tot uitbreiding van specifieke energiebronnen. Zo is er in de Belgische context een beperking om uit te breiden met energiebronnen uit waterkracht. De laatste in de groep beperkingen zijn de bijproducten. Als de energiebron een bijproduct van een groter geheel is, dan wordt de energieproductie gecontroleerd door de productie van het hoofdproduct. Een voorbeeld hiervan is energierecuperatie.

De vijfde en laatste stap is de toetsing van de gevoeligheid van de energiebronnen voor veranderingen. Zo kunnen hernieuwbare energiebronnen niet constant leveren en bovendien fluctueert de productie in functie van invloedsfactoren zoals het weer, tijd, ... terwijl gas als energiebron perfect de productievraag kan leveren.

De Belgische elektriciteitsmix

De huidige elektriciteitsmix

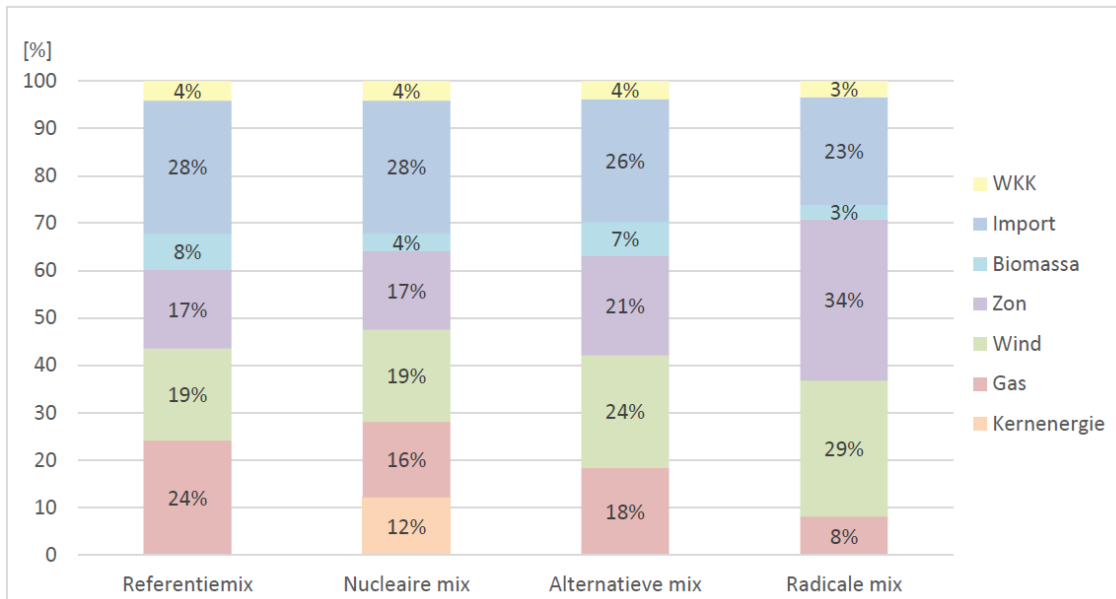
Het grootste aandeel in de huidige Belgische elektriciteitsmix (2021) bestaat uit nucleaire energie met 52,4%, gevolgd door gas met 24,8%. De hernieuwbare energiebronnen, wind- en zonne-energie, zijn slechts goed voor 16,7% met respectievelijk 11,6% en 5,1%. De verhoudingen zijn weergegeven in onderstaande grafiek. Daarnaast bestond de Belgische elektriciteitsmix van 2020 uit 40,3% nucleaire energie (Elia Group, 2022). Deze markttrend geeft een stijging weer van 12,1%. Als men in 2025 de nucleaire energie wil uitfasen, dan dringt de tijd om het tij te keren. Bovendien volgt uit de afname van de kernenergie dat de Belgische elektriciteitsmix een herverdeling vergt voor meer dan 50% van de productievraag bij de overige energiebronnen. Op basis van deze informatie kan de statische elektriciteitsmix geen representatieve waarde vormen voor de toekomst en is er nood aan een dynamische elektriciteitsmix.



Grafiek 3: Elektriciteitsmix in België: 2021 (Elia Group, 2022)

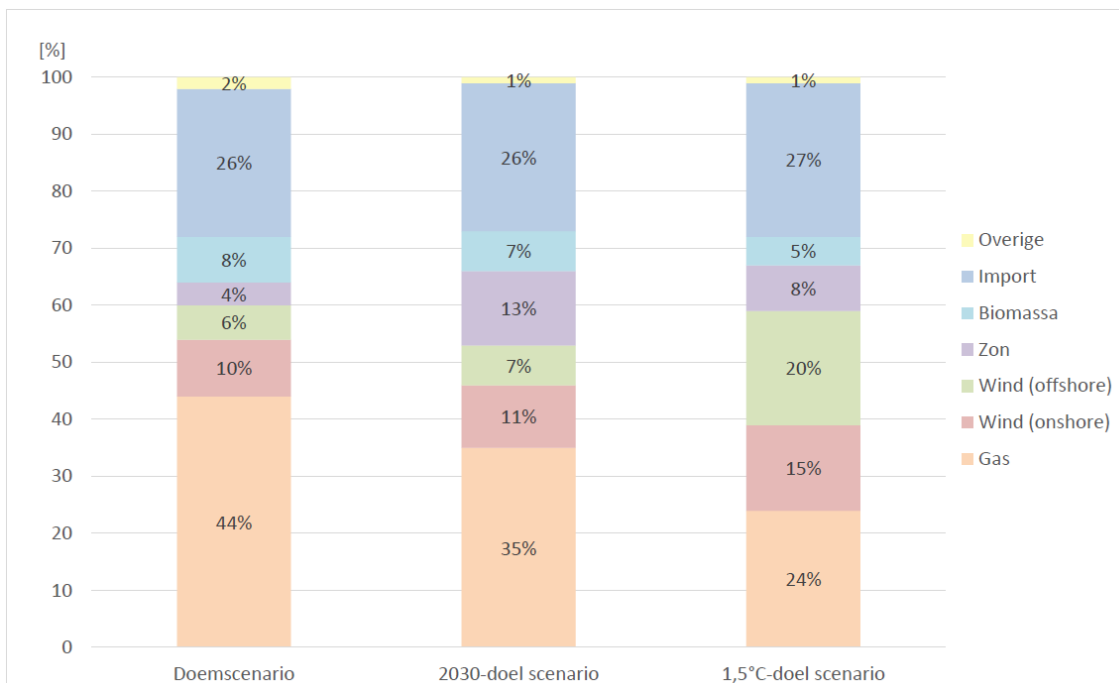
De elektriciteitsmix in 2030

Steunend op bovenstaande problematiek hebben zowel D. Ramon als S. Hamels nieuwe inzichten verworven en een toekomstige elektriciteitsmix opgesteld voor België. S. Hamels heeft samen met J. Albrecht en L. Thomass het boek *Energietrilemma* uitgebracht. Hierin wordt het Belgische elektriciteitslandschap in 2030 verkend. De toekomstvisie die besproken werd in het boek *Energietrilemma* voor 2030 bestaat uit vier strategieën waarin er telkens een inschatting gemaakt wordt over de toekomstige elektriciteitsmix steunend op data uit 2016. Deze vier strategieën worden voortaan gebundeld onder de naam: toekomstvisie A. De eerste elektriciteitsmix, de referentiemix, wordt opgemaakt aan de hand van conventionele assumpties. Zo werd er gekozen voor een eigentijdse marktrend met beperkte toename van de vraag. Daarnaast werd het huidige tempo van de groei van hernieuwbare energiebronnen aangehouden en bijkomend geïnvesteerd in biomassacentrales. De tweede elektriciteitsmix bestaat uit dezelfde strategie als de referentiemix met als enige verschil dat de uitfasering van de kernenergie niet plaatsvindt. Deze elektriciteitsmix wordt de nucleaire elektriciteitsmix genoemd. Als derde en alternatieve elektriciteitsmix wordt een groenere variant van de referentiemix voorzien. In deze mix wordt een hogere groei van hernieuwbare energie gecombineerd met een hogere import en een uitbreiding van de opslagcapaciteit van de waterkrachtcentrales. Als laatste elektriciteitsmix wordt een radicale elektriciteitsmix vooropgesteld met een sterke stijging van hernieuwbare energie, de energie-efficiëntie en de opslagcapaciteit van waterkrachtcentrales. Daarnaast wordt in deze strategie niet ingezet op het uitbouwen van de biomassa. Tot slot wordt in bovenstaande vier strategieën ook rekening gehouden met de groei aan elektrische wagens (Hamels, Albrecht, & Thomass, *Energietrilemma*, 2017). De exacte waarde en verhouding van de energiebronnen per strategie wordt weergegeven in onderstaande grafiek.



Grafiek 4: Toekomstvisie A: de elektriciteitsmix in België voor 2030 (Hamels, Albrecht, & Thomass, *Energietrilemma*, 2017)

Vervolgens werden ook drie scenario's met bijhorende elektriciteitsmix in *Integrating long term temporal changes in the Belgian electricity mix in environmental attributional life cycle assessment of buildings* uitgedacht. Deze scenario's worden gebundeld onder de naam: toekomstvisie B. Het eerste scenario vertegenwoordigt het business as usual scenario en wordt voortaan het doemscenario genoemd. Het bestaat uit een ongewijzigd beleid met enkele beperkte maatregelen opgesteld voor de klimaatverandering. Het tweede scenario, het 2030-doel scenario, wordt opgemaakt aan de hand van de Europese klimaat- en energiedoelstellingen. De vooropgestelde randvoorwaarden voor het 2030-doel scenario uit toekomstvisie A komt het beste overeen met de alternatieve elektriciteitsmix uit toekomstvisie B. Als laatste scenario wordt het 1,5°C-doel scenario opgesteld met het Akkoord van Parijs als randvoorwaarde (Ramon & Allacker, 2021).



Grafiek 5: Toekomstvisie B: de elektriciteitsmix in België voor 2030 (Ramon & Allacker, 2021)

Om beide denkpistes naast elkaar te leggen worden de referentiemix, alternatieve en radicale elektriciteitsmix van toekomstvisie A vergeleken met respectievelijk het doemscenario, het 2030-doel en het 1,5°C-doel scenario van toekomstvisie B. Voor de nucleaire elektriciteitsmix van toekomstvisie A is er geen overeenkomstige elektriciteitsmix uit toekomstvisie B.

Terwijl de referentiemix en het doemscenario voor 2030 veel overlappen, tellen ze ook evenveel tegenstrijdigheden. Allereerst vloeien beide elektriciteitsmixen voort uit eenzelfde concept met gelijkaardige benaderingen. Desondanks bestaat de referentiemix uit 24% gas, 36% hernieuwbare energie (19% windenergie en 17% zonne-energie), 8% biomassa, 28% import en 4% warmtekrachtkoppeling terwijl het doemscenario bestaat uit 44% gas, 20% hernieuwbare energie (16% windenergie en 4% zonne-energie), 8% biomassa, 26% import en 2% uit overige energiebronnen. Zowel de biomassa, windenergie, geïmporteerde energie als overige energiebronnen van de referentiemix en het doemscenario zijn van een analoge grootteorde. De grote differentiatie is er zowel gas als zonne-energie. In toekomstvisie A wordt de referentiemix (met 24% gas en 17% zonne-energie) rooskleuriger bekeken dan in het doemscenario (met 44% gas en 4% zonne-energie) van toekomstvisie B. Dit is te wijten aan het verschil in randvoorwaarden. Zo wordt in toekomstvisie B gefocust op de lange termijnveranderingen terwijl in toekomstvisie A gewerkt wordt met gedetailleerde gegevens omtrent de vraag.

De tweede vergelijking is de alternatieve elektriciteitsmix uit toekomstvisie A ten opzichte van het 2030-doel scenario uit toekomstvisie B. Dit zijn de meest realistische scenario's voor 2030. Hierbij wordt rekening gehouden met de beleidsmatige beperkingen door de energie- en klimaatdoelstellingen. Opnieuw zijn beide elektriciteitsmixen gebaseerd op eenzelfde concept, echter wordt in toekomstvisie A vertrokken van het doemscenario en in toekomstvisie B van de referentiemix. De adaptatie die zowel in het 2030-doel scenario als in de alternatieve elektriciteitsmix wordt doorgevoerd ten opzichte van respectievelijk het doemscenario en de referentiemix is het meer inzetten op hernieuwbare energiebronnen en minder op gas. Deze stroming wordt in toekomstvisie B optimistischer voorgesteld dan in toekomstvisie A. Zo stijgt de hernieuwbare energiebronnen met respectievelijk 11% en 9% voor het 2030-doel scenario en de alternatieve elektriciteitsmix. Daarnaast daalt het gas met achtereenvolgens 9% en 6% voor het 2030-doel scenario en de alternatieve elektriciteitsmix. Als er dieper gekeken wordt naar de hernieuwbare energiebronnen dan zal het 2030-doel scenario stijgen met 9% zonne-energie en 3% windenergie terwijl de alternatieve elektriciteitsmix zal toenemen met 4% zonne-energie en 5% windenergie. Hieruit blijkt dat de globale stroomlijnen vergelijkbaar uiteengezet worden doch stroken de proporties van de verschillende hernieuwbare energiebronnen niet. Dermate wordt in toekomstvisie A verondersteld dat de hernieuwbare energiebronnen in eenzelfde verhouding gelijk oplopen terwijl in toekomstvisie B verondersteld wordt dat er veel meer ingezet wordt op zonne-energie dan windenergie.

Als derde toetsing worden de radicale elektriciteitsmix en het 1,5°C-doel scenario naast elkaar gesteld. Beide scenario's hebben als opzet het allergroenste alternatief van het referentiemodel te benaderen. In toekomstvisie B wordt gestart vanuit het Akkoord van Parijs terwijl in toekomstvisie A eigen doelstellingen worden vooropgesteld. Opnieuw sluiten beide elektriciteitsmixen nauw bij elkaar aan. Ditmaal is het grote verschil tussen de elektriciteitsmixen het aandeel in gas en zonne-energie. De radicale elektriciteitsmix bestaat uit 34% zonne-energie en slechts uit 8% gas, terwijl het 1,5°C-doel scenario bestaat uit 24% gas en slechts 8% zonne-energie. Deze merkwaardige verschillen kunnen verklaard worden door een samenkomst van omstandigheden. Zoals eerder vermeld wordt

er in toekomstvisie B gefocust op lange termijnveranderingen, terwijl in toekomstvisie A gewerkt wordt met gedetailleerde gegevens omtrent de vraag. Bovendien kan gas op elk moment een constant aanbod leveren terwijl zonne-energie een wisselende productie levert in functie van de hoeveelheid zonuren. Tot slot wordt in de radicale elektriciteitsmix van toekomstvisie A een constante energievraag veronderstelt. Daarnaast wordt hierin ook gesteld dat de piekvraag in de radicale elektriciteitsmix lager ligt dan in de andere vooropgestelde elektriciteitsmixen. Hierdoor leidt een kleinere energievraag tot een geringere productievraag van gas en is het relatieve aandeel van zonne-energie groter.

De Europese elektriciteitsmix volgens ENTSO-E

De European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E) bestaat uit een team met 39 entiteiten verspreid over 35 landen die instaan voor het transmissienetbeheer. De Transmission System Operators (of TSO's) opereren onafhankelijk van de andere spelers op de elektriciteitsmarkt (ENTSO-E, 2022). Zo vertegenwoordigt Elia het transmissienetbeheer van België. Naast hun dagelijkse taak, bestaande uit transport van energie, verwerven de transmissienetbeheerders ook nieuwe inzichten in toekomstige elektriciteitsmixen. Om de twee jaar publiceren de TSO's het TYNDP rapport over de toekomstige elektriciteitsmixen. De laatste publicatie was in 2020. Dit rapport bespreekt drie scenario's: de nationale trend, de gedistribueerde energie en de globale ambitie. De nationale trend is een scenario dat voldoet aan de klimaat- en energiedoelstellingen van de Europese Unie. Terwijl de globale ambitie een scenario is dat voldoet aan de 1,5°C-doelstelling van de Overeenkomst van Parijs, waarbij ook rekening wordt gehouden met de klimaatdoelstelling van de Europese Unie voor 2030. Tot slot wordt de gedistribueerde energie gelijkaardig opgebouwd als de globale ambitie, waarbij bovendien rekening gehouden wordt met de consument die actief deelneemt aan de energiemarkt. Zo helpt de consument door lokaal te investeren in koolstofarme energie-opwekkingssystemen zoals zonnepanelen en thuisbatterijen. De drie scenario's worden verduidelijkt via de Europese elektriciteitsmix in onderstaande figuur (ENTSO-E & ENTSOG, 2020).



Figuur 1: De drie scenario's uit het TYNDP Rapport van 2020 (ENTSO-E & ENTSOG, 2020)

Hoofdstuk 4: De onderzoeksmethodologie

De onderzoeksvraag

In het onderzoeksgedeelte van deze masterproef zal de elektriciteitsmix als dynamische tijdsfactor onder de loep genomen worden. Het doel van deze masterproef is om een methodologisch kader uit te werken dat als hulpmiddel dient om bepaalde keuzes te verantwoorden. De onderzoeksvraag luidt dan ook als volgt: 'Indien men een dynamische levenscyclusanalyse wil uitvoeren, hoe gedetailleerd moet de dynamische energiemix als tijdsfactor geïntegreerd worden in een levenscyclusanalyse om een realistisch beeld te krijgen van de milieueffecten?'. Vooraleer het onderzoek van start gaat, wordt eerst nog een vooronderzoek uitgevoerd. Nadien komt het onderzoek, waarbij gebruik wordt gemaakt van een typische rijwoning als referentiemodel. Tot slot volgt een gevoeligheidsanalyse dat leidt tot enige robuustheid om het onderzoek te staven.

Enkele deelvragen die dienen als leidraad van het onderzoek, wordt weergegeven in onderstaande tabel. De tabel is opgedeeld in de verschillende delen van het onderzoek.

Het vooronderzoek	
	Wat is de samenstelling van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank?
	Wat is de milieu-impact, primaire energie en CO ₂ -intensiteitsfactor van één kWh elektriciteitsproductie van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank?
	Wat is de milieu-impact, primaire energie en CO ₂ -intensiteitsfactor van één kWh elektriciteitsproductie per energiebron?
Het onderzoek	
	Wat is de jaarlijkse milieu-impact, primaire energie en CO ₂ -intensiteitsfactor van één kWh van de dynamische Belgische elektriciteitsmix?
	Wat is de milieu-impact en de CO ₂ -intensiteitsfactor van een typische rijwoning aan de hand van zowel de statische als de dynamische Belgische energiemix over de levensduur van 60 jaar?
De gevoeligheidsanalyse	
	Blijven de conclusies uit het onderzoek voor de rijwoning gelden indien het scenario van de elektriciteitsmix verandert?
	Hoe veranderen de milieueffecten van zonne-energie indien de dynamische elektriciteitsmix geïmplementeerd wordt in de productie van pv-panelen?
	Hoe veranderen de milieueffecten van de dynamische elektriciteitsmix indien de uitfasering van kernenergie uitgesteld wordt tot 2035 of 2050?

Tabel 3: de onderzoeksvragen per onderzoeksgedeelte

Verder in dit hoofdstuk zal het doel en de reikwijdte van het onderzoek als eerste basisstap van de LCA uitgewerkt worden. Zo worden de vele vrijheidsparameters die ingebed zijn op de LCA doorgenomen en vastgelegd. Vervolgens wordt ook de aanpak in de levenscyclusinventarisatie en levenscyclusimpactanalyse besproken. Tot slot wordt voor een gedetailleerde beschrijving van het referentiemodel verwezen naar *Hoofdstuk 7: De milieueffecten van een rijwoning met de implementatie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix*.

Doel en Reikwijdte

Dit onderzoek heeft als doel om een methodologisch kader uit te werken. Op die manier kunnen er onderbouwde afwegingen gemaakt worden over de precisie van de studie. Bovendien is de doelstelling van deze masterproef om aan te tonen in welke systeemgrenzen het loont om de dynamische energiemix te integreren zodanig dat de levenscyclusanalyse verder wordt verfijnd. Daarnaast zal ook een dataset van de jaarlijkse milieu-impact, primaire energie en CO₂-intensiteitsfactor voor één kWh elektriciteitsproductie van de Belgische dynamische elektriciteitsmix beschikbaar worden gesteld zodanig dat naast de methodologie ook een aanzet tot het gebruik van een dynamische elektriciteitsmix wordt meegegeven.

Functionele eenheid

De functionele eenheid verschilt per deelonderzoek naargelang de focus en het perspectief. Tijdens het vooronderzoek zal de functionele eenheid telkens bestaan uit één kWh elektriciteitsproductie van een specifieke energiebron of elektriciteitsmix. Vervolgens kan het onderzoek opgesplitst worden in twee delen. In het eerste deel wordt dezelfde functionele eenheid doorgetrokken van het vooronderzoek. In het tweede deel is de functionele eenheid een typische rijwoning met een goede isolatiegraad over een levensduur van 60 jaar. Als er componenten aanwezig zijn met een kortere levensduur dan is verondersteld dat deze zullen worden vervangen door identieke componenten. De details van de functionele eenheid zal telkens vooraf aan het deelonderzoek toegelicht worden.

Tijdshorizon en levensduur

Zoals vermeld in de literatuurstudie is een correcte inschatting van enerzijds de levensduur en anderzijds de tijdshorizon van belang. Tijdens het vooronderzoek en de start van het onderzoek ligt de focus louter op de elektriciteitsmix. Hiervan is de levensduur moeilijk te bepalen doordat de elektriciteitsmix constant evolueert. Bovendien wordt bij een eenvoudige (statische) LCA de elektriciteitsmix voor één jaar berekend en nadien vermenigvuldigd met de aangenomen tijdshorizon maar met deze vereenvoudigingen moet voorzichtig omgegaan worden, omdat de elektriciteitsmix ook voor een deel bestaat uit infrastructuur zoals het distributienetwerk. Voor deze infrastructuur is de levensduur doorgaans 40 jaar (Frischknecht, Tuchschnid, Faist-Emmenegger, Bauer, & Dones, 2007). Hierdoor moet de vernieuwing van de infrastructuur meegerekend worden in de vervangingsfase. Daarnaast is de levensduur van de gebouwcomponenten gebaseerd op zowel het rapport van de OVAM (Mieke Vandenbroucke, 2018) als van het SBR (Vissering, Staub, Van Nunen, Janssen, & Liebrechts, 2011). Tot slot is ook de tijdshorizon van belang. In het vooronderzoek wordt de tijdshorizon niet gedefinieerd. Hierbij wordt louter rekening gehouden met module A. Tijdens het onderzoek is de tijdshorizon 60 jaar.

Systeemgrenzen

Zoals hiervoor vermeld, wordt tijdens het vooronderzoek louter rekening gehouden met module A. Tijdens het onderzoek wordt zowel rekening gehouden met module A als B. In deze masterproef wordt de eindelevensduurfase niet meegenomen omdat dit te ver reikt en buiten de scope van het onderzoek valt.

Levenscyclusinventarisatie

De data-invoer voor het simuleren van een component in SimaPro bestaat uit verschillende vereenvoudigingen en aannames. Zo wordt bij de selectie van materialen steeds gebruik gemaakt van *market*-processen. Deze processen komen overeen met module A. Hierbij wordt rekening

gehouden met de ontginning van de materialen, het transport tussen de plaats van ontginning en de fabriek en de productie. Het transport van de fabriek naar de werf wordt achteraf handmatige toegevoegd. Deze transportafstanden zijn gebaseerd op het rapport van de OVAM (Delem, et al., 2011). Daarnaast wordt voor de gebruiksfase (module B) enerzijds rekening gehouden met de vervangingen aan de hand van de eerder besproken levensduren. Anderzijds wordt voor systeemgrens B6, het operationeel energiegebruik, veronderstelt dat de eindenergieopwekking voor 100% bestaat uit elektriciteit. In het geval van de rijwoning zal de technische installatie een warmtepomp zijn.

Vervolgens wordt voor het opstellen van de Belgische elektriciteitsmix eerst de huidige elektriciteitsmix ontleedt. Hiervan is in *Bijlage A: De inventaris van de elektriciteitsmix* een overzichtsfiche per energiebron terug te vinden. In deze overzichtsfiche staat telkens de energiebron met de naam uit SimaPro en de stamboom van bron tot productie. Bovendien wordt hieraan de data van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit SimaPro gekoppeld.

Levenscyclusimpactanalyse

In het softwareprogramma SimaPro zijn er verschillende methodes om resultaten van de inventarisatiestap naar de milieueffecten te vertalen. In deze masterproef zal de milieu-impact begroot worden door middel van de ReCiPe 2016 methode. Deze methode is uitgedrukt in milieupunten. Nadien zal de primaire energieconversiefactor begroot worden door de cumulative energie demand (CED), met als eenheid MJ. Tot slot zal de CO₂-intensiteitsfactor begroot worden met behulp van de greenhouse gas methode (GHG), met als eenheid CO₂ equivalente kg. Voor meer informatie per methode wordt er verwezen naar *Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank*.

Vooronderzoek

Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank

Situering en relevantie

Vooraleer het onderzoek van start gaat, worden eerst enkele kleine vooronderzoeken uitgevoerd. Zo zal de focus van dit hoofdstuk tweeledig zijn. Enerzijds ligt de focus op het analyseren van de milieu-impact, primaire energie en CO₂-intensiteitsfactor van de statische Belgische elektriciteitsmix, die gebruikt wordt in SimaPro om een levenscyclusanalyse uit te voeren. Anderzijds zal de focus ook gelegd worden op de verschillende soorten wegingsmethodes. Dit hoofdstuk vat aan met de samenstelling van de statische Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank. Vervolgens wordt de milieu-impact, primaire energie en CO₂-intensiteitsfactor van één kWh elektriciteitsproductie in België gekwantificeerd. Nadien wordt het vooronderzoek verdergezet door de elektriciteitsmix op te splitsen in energiebronnen. Hierbij zal enerzijds de milieu-impact, primaire energie en CO₂-intensiteitsfactor van één kWh elektriciteitsproductie per energiebron opgesomd worden. Anderzijds zal de milieu-impact van de ingebodde energie vergeleken worden met de operationele energie per energiebron. In dit vooronderzoek wordt het distributienet niet mee in rekening gebracht tenzij anders vermeld.

De Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank

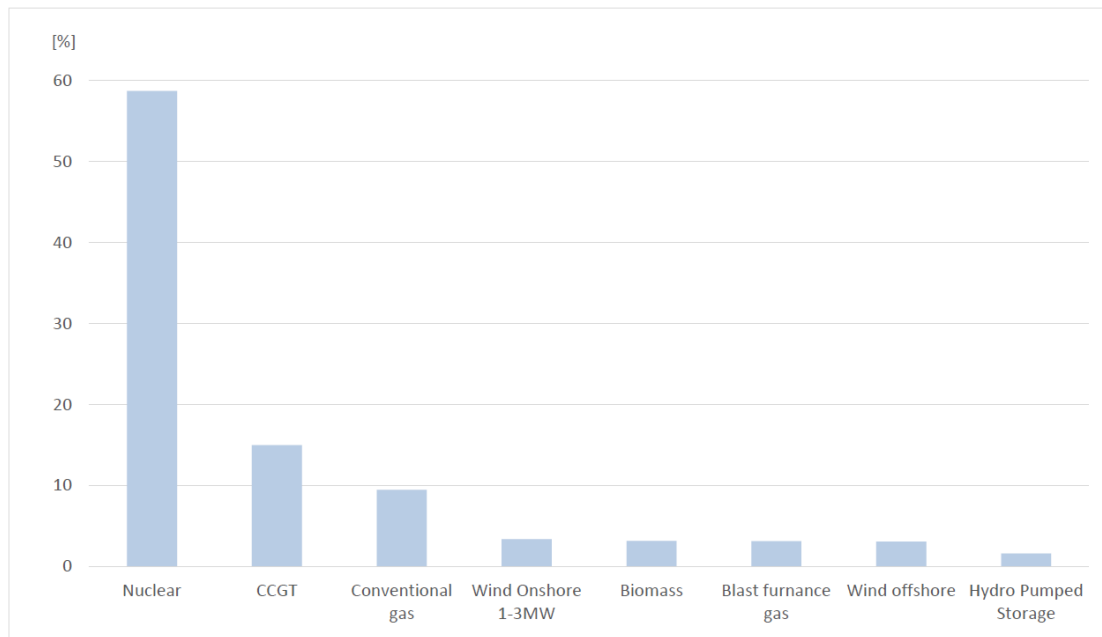
De samenstelling

De statische elektriciteitsmix, die in SimaPro gehanteerd wordt, dateert van 2014. Bovendien staat bij de opmerkingen van de Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank geschreven dat de data slechts geldig zijn tot 2019. Na drie jaar wachten, is de elektriciteitsmix nog steeds niet aangepast naar de huidige samenstelling. Desondanks valt er te concluderen dat de grootteorde van de energiebronnen van de huidige elektriciteitsmix ten opzichte van de statische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank min of meer overeenstemmen. Echter wordt er door de Europese klimaat- en energiedoelstellingen meer en meer geïnvesteerd in hernieuwbare energie. Dit is ook te merken in de vergelijking van de elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank met de huidige elektriciteitsmix (uit *Hoofdstuk 3: De energiemix*). Zo daalt de opwekking van elektriciteit door kern- en gascentrales respectievelijk van 59% naar 52% en van 28% naar 25%, bijgevolg stijgt de elektriciteitsopwekking door wind- en zonne-energie respectievelijk van 3% naar 7% en van 0% naar 5%. De andere opwekkingssystemen blijven nagenoeg constant.

Tot slot valt op te merken dat in de elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank nog geen sprake is van elektriciteitsproductie door zonne-energie voor industrieel gebruik, terwijl de zonneparken aan hun opmars begonnen zijn sinds 2008. Zo werden, in vergelijking met 2008, in 2011 de zonneparken verdrievoudigd (VREG, 2012). In dit hoofdstuk wordt de milieu-impact van de Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank onderzocht, maar wordt er geen rekening gehouden met de zonne-energie. Echter zal er op het einde van het hoofdstuk wel een gedetailleerde studie uitgevoerd worden over de zonne-energie.

De samenstelling van de statische elektriciteitsmix is weergegeven en gerangschikt van grootste tot kleinste aandeel in onderstaande grafiek. De energiebronnen die een kleiner aandeel dan 1% bevatten zijn niet mee opgenomen in de grafiek. Deze energiebronnen zijn: waterkracht (run-of-river), windenergie (onshore met een vermogen enerzijds groter dan drie MW en anderzijds kleiner

dan één MW), steenkool, biogas, kolenvergassing en aardolie (zowel met als zonder warmte als bijproduct). Exacte waarden zijn terug te vinden in *Bijlage A: De inventaris van de elektriciteitsmix*.

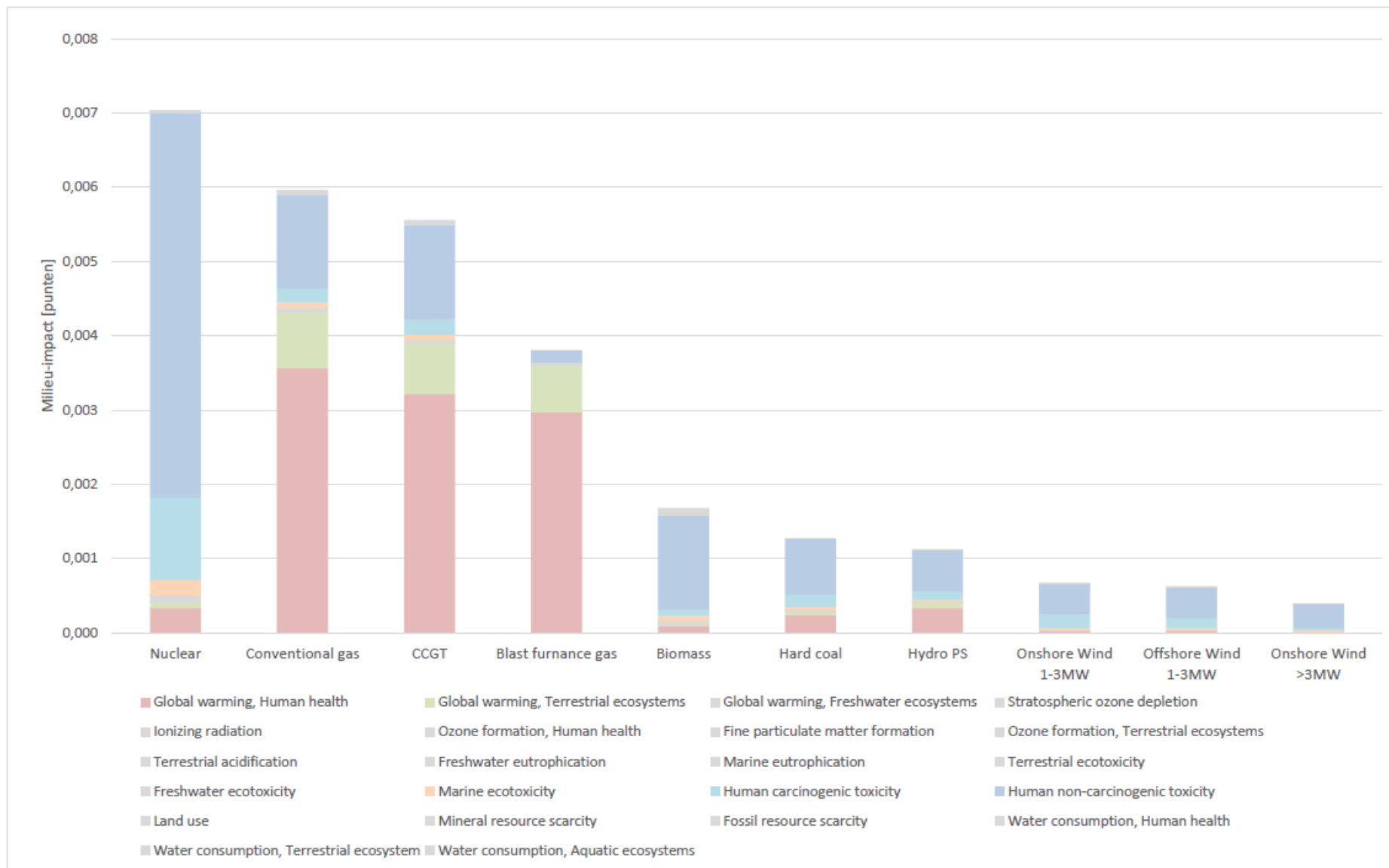


Grafiek 6: De samenstelling van de statische Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank

De milieu-impact

De totale milieu-impact om één kWh aan elektriciteit uit het stopcontact van de eindgebruiker te laten komen bedraagt 0,092 punten. Hierbij is het distributienet wel in rekening gebracht. Deze impact is te wijten aan vijf grote indicatoren nl. de maritieme ecotoxiciteit, de opwarming van de aarde (zowel menselijke gezondheid als terrestrisch) en de menselijke toxiciteit (zowel kankerverwekkend als niet-kankerverwekkend). De milieu-impact per indicator is weergegeven in onderstaande grafiek. Hierbij zijn de energiebronnen die een aandeel kleiner dan 1% bevatten van de milieu-impact niet mee opgenomen in de grafiek. Deze energiebronnen zijn: biogas, kolenvergassing, waterkracht (run-of-river) en aardolie (zowel met als zonder warmte als bijproduct). De indicatoren waarvan hun aandeel kleiner is dan 1% van de totale milieu-impact zijn aangeduid in het grijs. Bovendien is de grafiek onderverdeeld per energiebron. Hierbij moet rekening worden gehouden met de aandelen van de verschillende energiebronnen in de samenstelling van de Belgische elektriciteitsmix. Daarnaast zijn de energiebronnen in de grafiek gerangschikt van groot naar klein op het vlak van milieu-impact.

Hieruit valt af te leiden dat de grootste milieu-impact komt door de opwekking van elektriciteit door middel van kernenergie. Natuurlijk valt deze milieu-impact te nuanceren doordat kernenergie instaat voor meer dan de helft van de opwekking van elektriciteit. De milieu-impact van nucleaire energie komt overeen met 25% van de totale milieu-impact en dit is voor het merendeels te wijten aan de menselijke toxiciteit (niet-kankerverwekkend). Indien er gekeken wordt naar de milieu-impact van gas (m.a.w. de opwekking door zowel conventionele gascentrales als CCGT) dan scoort gas als energiebron bijna dubbel zo hoog qua milieu-impact in vergelijking met kernenergie, terwijl gas slechts instaat voor ongeveer een kwart van de totale product of m.a.w. voor de helft van de productie van kernenergie. Deze milieu-impact is voornamelijk te wijten aan de opwarming van de aarde (zowel menselijke gezondheid als terrestrisch) gevolgd door de menselijke toxiciteit (niet-kankerverwekkend).



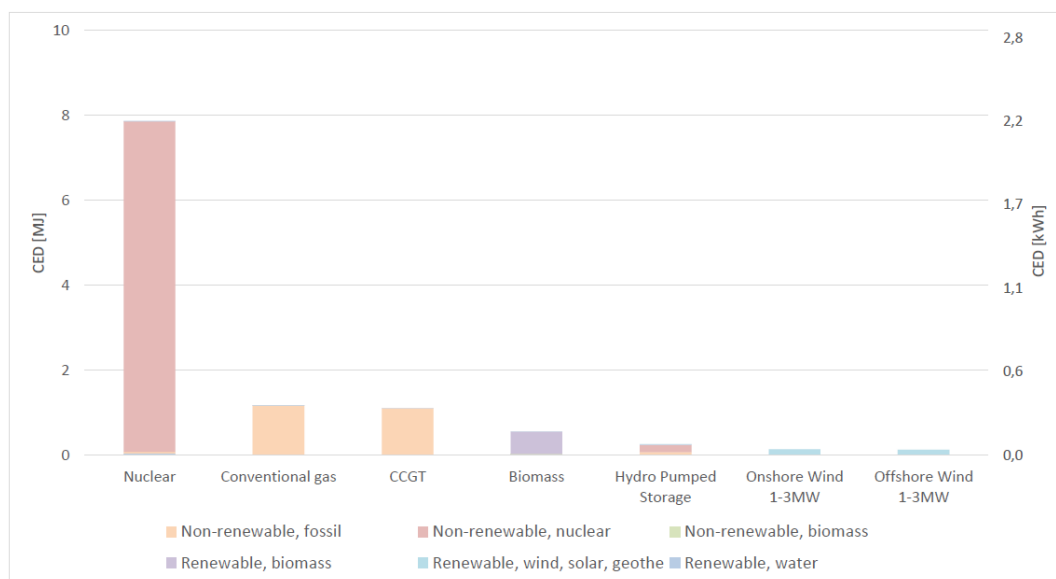
Grafiek 7: De milieu-impact voor één kWh elektriciteitsproductie in België

De primaire energie

Naast de milieu-impact werd ook de primaire energie onderzocht. Om het werkelijke gebruik bij de eindconsument te begroten, moet het gebruik vermenigvuldigd worden met een primaire energieconversiefactor f_p . Deze factor toont aan hoeveel primaire energie er nodig is om één eenheid aan eindenergie te voorzien en kan begroot worden vanuit verschillende invalshoeken. Indien er enkel gekeken wordt vanuit het operationele perspectief, dan spreekt men van primaire energiefactor of PEF (uitgedrukt in $\text{kWh}_p/\text{kWh}_e$). Daarnaast kan er ook vanuit het LCA-perspectief gekeken worden naar de primaire energieconversiefactor. Zo wordt de werkelijke milieu-impact van het gebruik bij de eindconsument begroot door de milieu-impact te vermenigvuldigen met de bijhorende primaire energieconversiefactor, het cumulative energy demand of CED genoemd (uitgedrukt in MJ). Volgens het onderzoek van (Hamels Sam, et al., 2021) wordt in 75% van de onderzoeken de PEF toegepast in plaats van de CED.

Voor de statische elektriciteitsmix uit SimaPro is de CED 3,14 MJ. Dit wil zeggen dat de energie die nodig is om één MJ aan elektriciteit uit het stopcontact van de eindgebruiker te laten komen, gelijk is aan 3,14 MJ (wat overeenkomt met 11,31 MJ voor één kWh elektriciteitsproductie). Hierbij wordt het distributienet niet meegerekend. Deze waarde valt vooral te verklaren door de emissieverliezen.

Onderstaande grafiek toont de primaire energieconversiefactor per energiebron voor één kWh elektriciteitsproductie in België. Opnieuw moet er rekening gehouden worden met de aandelen van de verschillende energiebronnen in de samenstelling van de Belgische elektriciteitsmix. Daarnaast zijn de energiebronnen in de grafiek gerangschikt van de grootste naar de kleinste primaire energieconversiefactor. De energiebronnen die een kleiner aandeel dan 1% van de energieconversiefactor CED bevatten, zijn niet mee opgenomen in de grafiek. Deze energiebronnen zijn: steenkool, waterkracht (run-of-river), windenergie (onshore met een vermogen enerzijds groter dan drie MW en anderzijds kleiner dan één MW), kolenvergassing, biogas, hoogovengas en aardolie (zowel met als zonder warmte als bijproduct). Uit de grafiek valt af te leiden dat de grootste energieverliezen van de elektriciteitsproductie van België uit SimaPro te wijten zijn aan nucleaire energie. Deze energiebron is verantwoordelijk voor 70% van de totale eindenergieproductie, terwijl deze slechts instaat voor 59% van de productie. De andere energiebronnen hebben duidelijker een hoger rendement.



Grafiek 8: De primaire energieconversiefactor voor één kWh elektriciteitsproductie in België

De CO₂-intensiteitsfactor

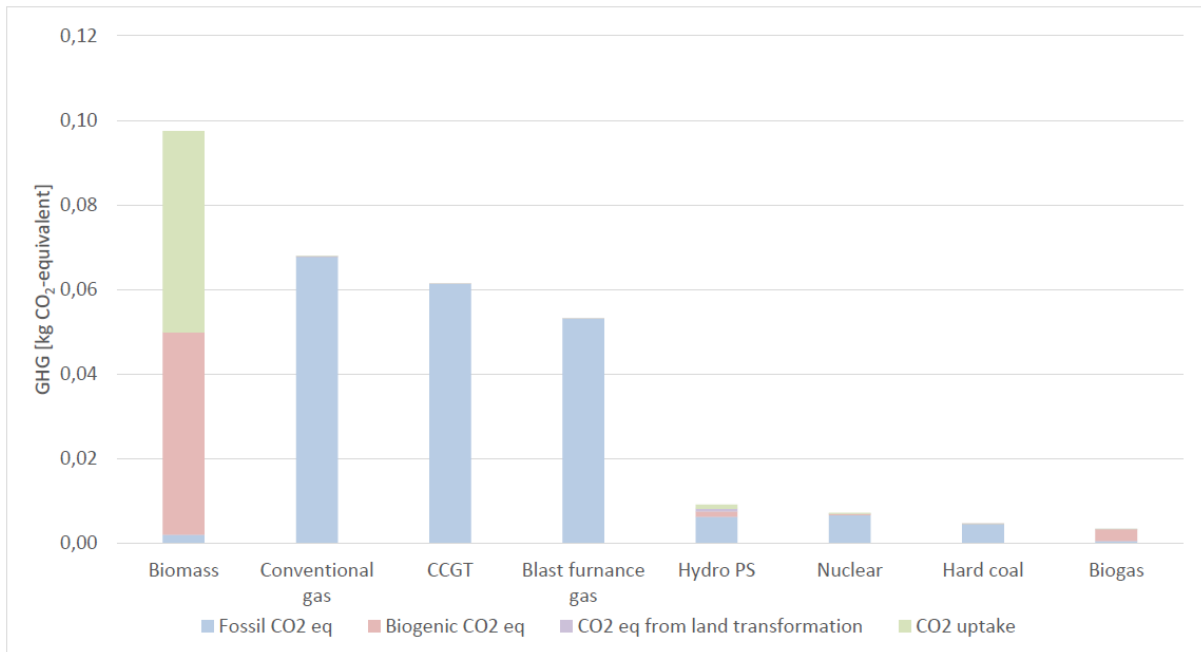
Er bestaat ook voor de CO₂-emissies een gelijkaardige methodologie als de energieconversiefactoren, maar er wordt nu gesproken over een CO₂-intensiteitsfactor in plaats van een energieconversiefactor. Daarnaast kan ook de CO₂-intensiteitsfactor opnieuw worden begroot vanuit verschillende invalshoeken. Zo kan er geopteerd worden om enerzijds enkel vanuit het operationele aspect te kijken. Anderzijds kan er ook vanuit het LCA-perspectief begroot worden. Bovendien kan er nog een verdere opsplitsing gemaakt worden door louter de CO₂-emissies in rekening te brengen of te werken met CO₂ equivalente emissies. Hierbij worden met equivalente emissies ook andere emissies zoals methaangas meegenomen in de berekening door middel van conversiefactoren. Zo wordt in SimaPro één kg aan methaan gelijkgesteld aan 30,50 kg CO₂.

Indien er eerst gekeken wordt naar de CO₂ equivalente emissies vanuit het LCA-perspectief dan wordt dit aan de hand van de greenhouse gas methode (of GHG) berekent. De CO₂-intensiteitsfactor is nogmaals opgedeeld in vier onderdelen. Het eerste onderdeel is fossiele koolstof. Dit zijn koolstoffen die afkomstig zijn uit fossiele brandstoffen. Het tweede onderdeel is biogene koolstof. Dit zijn koolstoffen die afkomstig zijn uit biogene bronnen zoals planten en bomen. Het derde onderdeel is koolstof uit landtransformatie. Dit zijn de directe effecten. Tot slotte is het laatste onderdeel de koolstofopname. Dit zijn koolstoffen die worden opgeslagen in planten en bomen terwijl ze groeien.

Op onderstaande grafiek worden de CO₂ equivalente emissies (in kg) per energiebron weergegeven voor één kWh elektriciteitsproductie in België volgens de Ecoinvent databank. De energiebronnen die een kleiner aandeel dan 1% van de CO₂-intensiteitsfactor GHG bevatten, zijn niet mee opgenomen in de grafiek. Deze energiebronnen zijn: windenergie (zowel onshore als offshore), kolenvergassing, aardolie (zowel met als zonder warmte als bijproduct), waterkracht (run-of-river). Hierbij moet rekening worden gehouden met de aandelen van de verschillende energiebronnen in de samenstelling van de Belgische elektriciteitsmix.

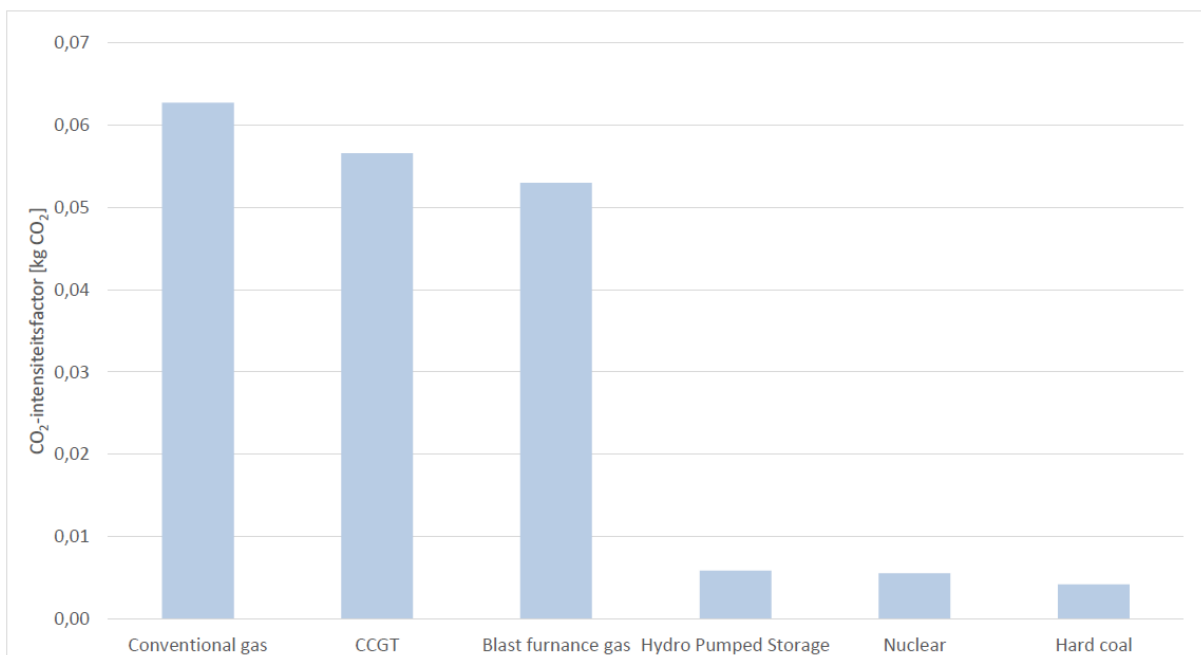
Uit de grafiek valt af te lezen dat biomassa het grootste gewicht CO₂ equivalente emissies produceert terwijl het aandeel van biomassa slechts 3% van de totale elektriciteitsproductie is. Dit zijn vooral de biogene koolstoffen en de koolstofopname. In deze masterproef wordt biomassa niet koolstofneutraal beschouwd. Om elektriciteit te produceren door biomassa als energiebron, moet deze energiebron verbrand worden. Zoals in (Himpe, et al., 2013) wordt aangehaald komt de ingebedde energie van biomassa tijdens de verbranding opnieuw vrij, daarom is biomassa als energiebron niet koolstofneutraal.

De volgende energiebronnen die een hoge CO₂ equivalente emissie opwekken zijn conventionele gas, CCGT en hoogovengas. Deze energiebronnen bevatten uitsluitend fossiele koolstoffen. Indien deze energiebronnen vereenvoudigen tot de overkoepelende energiebron gas, dan kan er geconcludeerd worden dat gas de hoogste CO₂ equivalente emissies opwekken met een totaal van 60%. Terwijl het aandeel gas slechts 27% van de elektriciteitsproductie is. Opvallend aan deze grafiek is ook dat de energiebron hoogovengas relatief hoog scoort terwijl het productie-aandeel slechts 3% is. Als laatste opmerking is te zien dat nucleaire energie relatief laag scoort terwijl deze energiebron instaat voor het merendeel van de elektriciteitsproductie.



Grafiek 9: De CO₂-intensiteitsfactor voor één kWh elektriciteitsproductie in België [CO₂-equivalent]

Indien er louter gekeken wordt naar de CO₂-emissies (zonder de equivalente CO₂-emissies) vanuit het LCA-perspectief dan wordt er enkel rekening gehouden met de fossiele koolstoffen. Dit is één aspect uit de vier onderdelen van de GHG methode. Hieruit kan geconcludeerd worden dat beide methodes meenemen voor het onderzoek geen meerwaarde biedt. De GHG methode omvat de grootste reikwijdte, bijgevolg primeert deze methode om te gebruiken als aftoetsing. In onderstaande grafiek zijn de CO₂-emissies (in kg) per energiebron weergegeven voor één kWh elektriciteitsproductie in België volgens de Ecoinvent databank. Bemerkt dat deze grafiek dezelfde waarde bevatten als de fossiele koolstoffen in Grafiek 9.

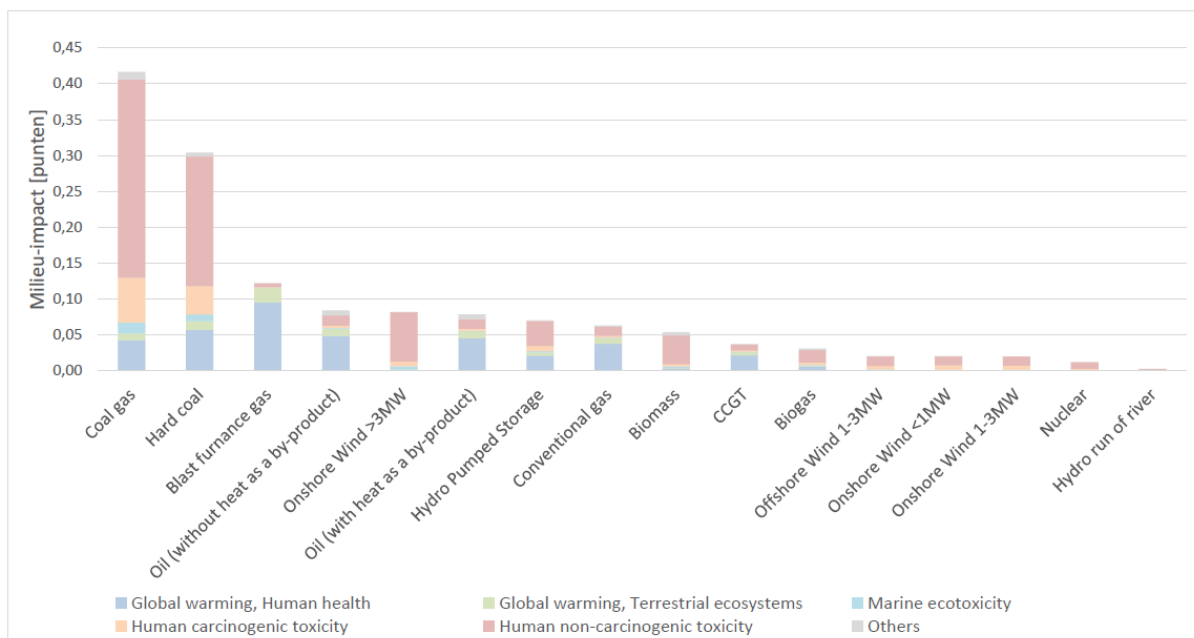


Grafiek 10: De CO₂-intensiteitsfactor voor één kWh elektriciteitsproductie in België

De energiebronnen

De milieu-impact

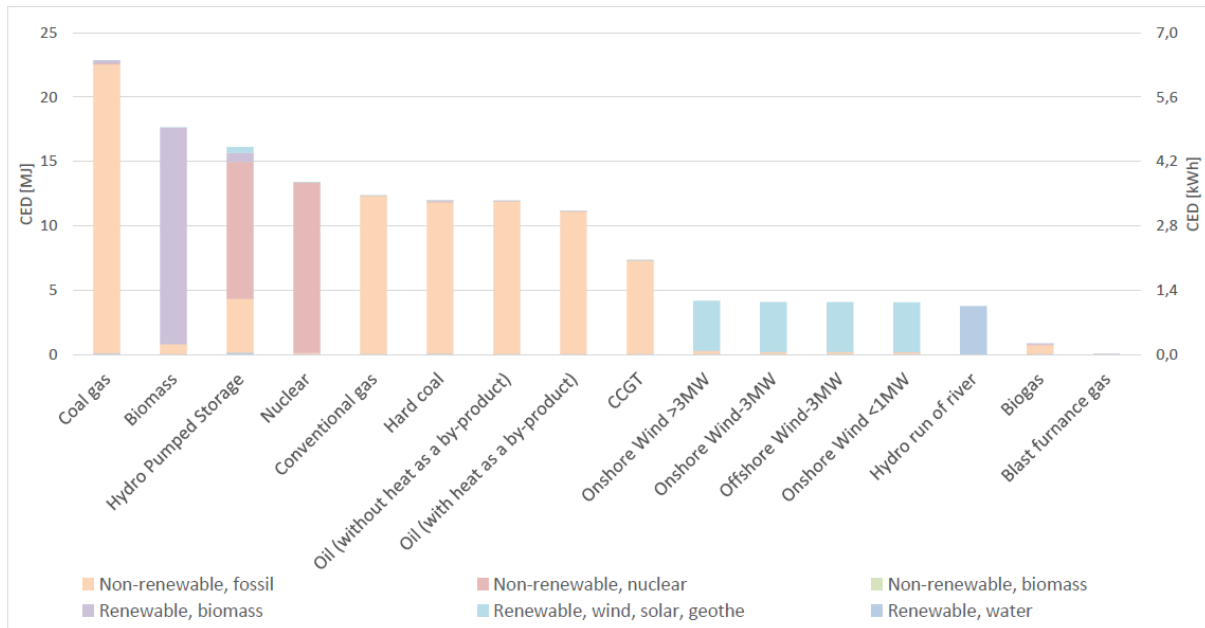
De energiebron met de grootste milieu-impact om één kWh op te wekken is kolenvergassing met 0,42 punten. Hierna volgt steenkool en hoogovengas met respectievelijk 0,30 en 0,12 punten. Daarnaast scoren de hernieuwbare energiebronnen relatief laag in vergelijking met de andere energiebronnen. Tot slot is de milieu-impact door nucleaire energie nagenoeg verwaarloosbaar. Deze uitkomst is in tegenstrijd met de milieu-impact van de Belgische elektriciteitsmix. Dit valt te verklaren doordat bovenstaande onderzoek bestond uit de Belgische elektriciteitsmix waarvan de energiebronnen niet op gelijke voet stonden. De milieu-impact is voor elke energiebron slechts afhankelijk van vijf grote indicatoren nl. de maritieme ecotoxiciteit, de opwarming van de aarde (zowel menselijke gezondheid als terrestrisch) en de menselijke toxiciteit (zowel kankerverwekkend als niet-kankerverwekkend). De milieu-impact per indicator is weergegeven in onderstaande grafiek. De indicatoren waarvan hun aandeel kleiner is dan 1% van de totale milieu-impact zijn aangeduid in het grijs en weergegeven als overige.



Grafiek 11: De milieu-impact van één kWh elektriciteitsproductie per energiebron

De primaire energie

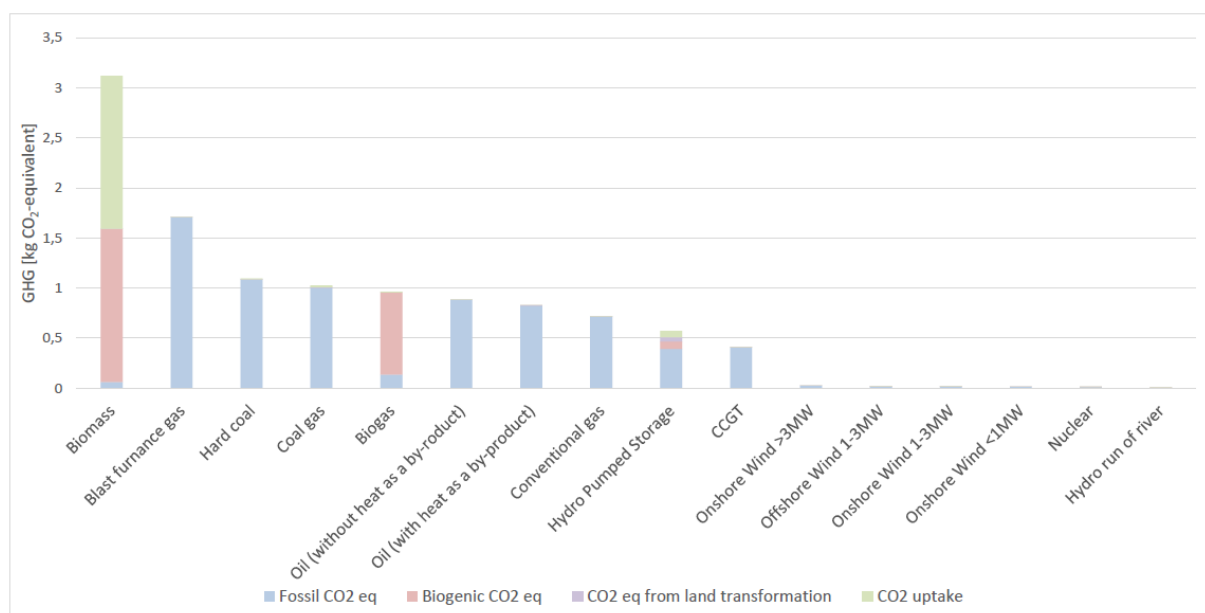
Naast de milieu-impact kan er ook gekeken worden naar de primaire energieconversiefactor voor één kWh per energiebron. Hierbij is er een opvallend onderscheid tussen hernieuwbare en niet-hernieuwbare energiebronnen. De hernieuwbare energiebronnen (met uitzondering van biomassa) bevatten de laagste primaire energieconversiefactor, op hoogovengas na. De nucleaire energie scoort voor de primaire energie, in tegenstelling tot de milieu-impact, relatief hoog. Terwijl steenkool zowel op milieu-impact als de primaire energieconversiefactoren het hoogste scoort. Onderstaande grafiek toont de primaire energieconversiefactor voor één kWh per energiebron. Uit de grafiek valt af te leiden dat de energiebronnen met de grootste energieverliezen zowel biomassa als de niet-hernieuwbare bronnen zijn.



Grafiek 12: De primaire energieconversiefactor voor één kWh elektriciteitsproductie per energiebron

De CO₂-intensiteitsfactor

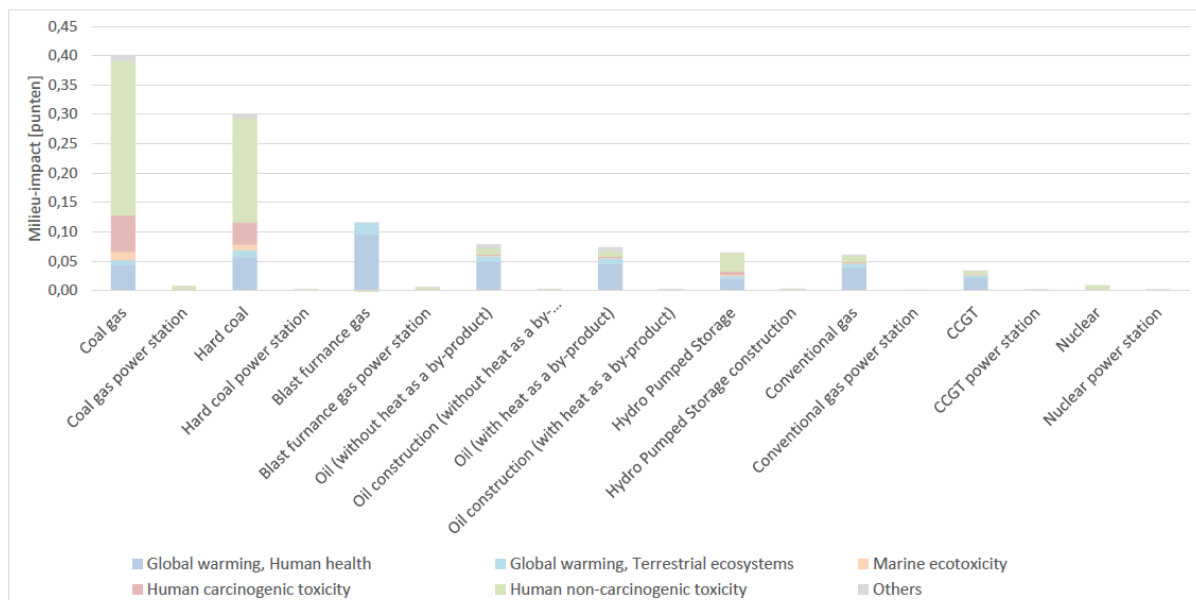
Vervolgens wordt er ook voor de energiebronnen de CO₂ equivalente emissies afgetoetst aan de hand van de GHG methode. De resultaten zijn terug te vinden in Grafiek 13. Uit de grafiek valt af te lezen dat biomassa het grootste gewicht CO₂ equivalente emissies produceert. Opnieuw bestaat de CO₂ equivalente emissies van biomassa vooral uit biogene koolstoffen en de koolstofopname. Bovendien scoorde biomassa ook hoog voor de primaire energie. Nadien wordt biomassa gevolgd door hoogovensgas, steenkool en vergassingskolen. Deze energiebronnen bevatten uitsluitend fossiele koolstoffen, bijgevolg bestaan deze energiebronnen dus louter uit rechtstreekse CO₂-emissies (zonder equivalente CO₂-emissies). Hieruit kan geconcludeerd worden dat de productie van elektriciteit door gas als energiebron altijd gepaard gaat met hoge CO₂-emissies. Tot slot is de CO₂-productie bij windenergie, waterkracht en nucleaire energie verwaarloosbaar.



Grafiek 13: De CO₂-intensiteitsfactor voor één kWh elektriciteitsproductie per energiebron

Ingebedde energie vs. operationele energie

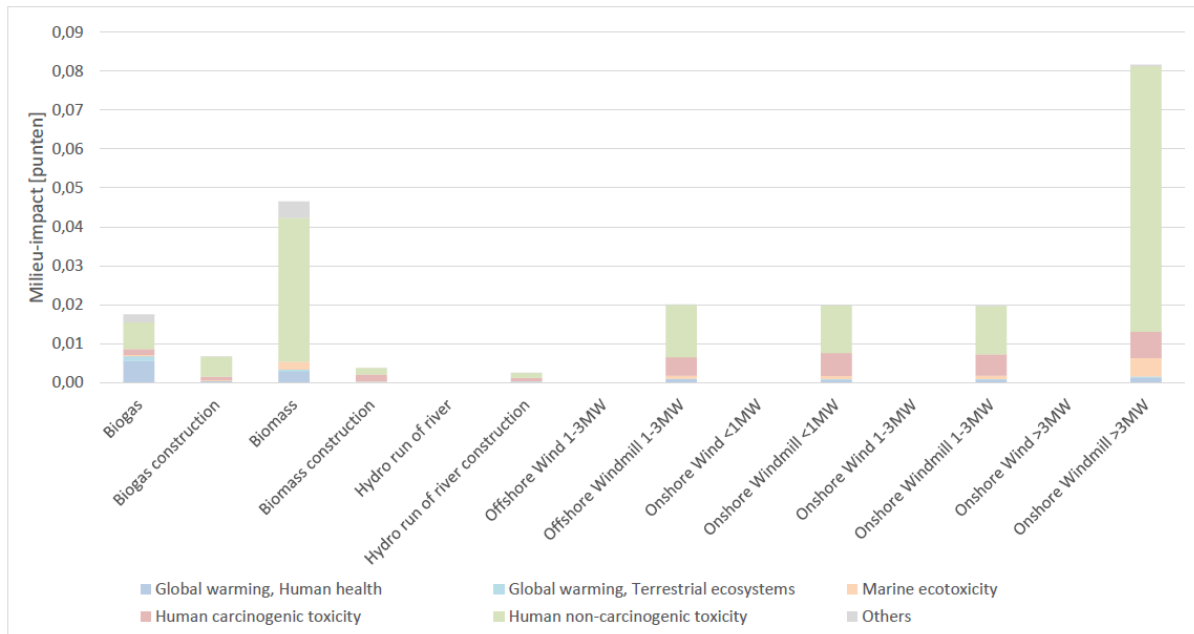
Tot slot wordt de milieu-impact van de ingebedde ten opzichte van de operationele energie bekeken. Voor elke energiebron wordt de milieu-impact voor één kWh elektriciteitsproductie begroot en vergeleken met de milieu-impact van de constructie. Hierbij wordt de milieu-impact van de constructie opgedeeld in een milieu-impact per eenheid productie (in dit geval per kWh). Daarnaast wordt een onderscheidt gemaakt tussen hernieuwbare en niet-hernieuwbare energiebronnen. Voor alle niet-hernieuwbare energiebronnen is duidelijk te zien dat het operationele energie veel hoger scoort dan de ingebedde energie. Deze score valt te verklaren doordat enerzijds de niet-hernieuwbare energiebronnen niet-hernieuwbare grondstoffen nodig hebben zoals gas of olie. Terwijl anderzijds er verschillende afvalstoffen vrijkomen zoals onder andere CO₂, bijgevolg leidt de uitputting van de grondstoffen en de uitstoot van de afvalstoffen tot een bepaalde milieu-impact. De hoogste milieuscore bij niet-hernieuwbare energiebronnen komt door elektriciteitsproductie van kolenvergassing. Hierbij is de operationele energie van kolenvergassing 55 keer groter dan de ingebedde energie. Terwijl dit bij nucleaire energie slechts 7 keer is. Zoals eerder vermeld zijn er slechts vijf indicatoren die de totale milieuscore begroten. In Grafiek 14 is de milieuscore voor elke niet-hernieuwbare energiebron met bijhorende constructie terug te vinden.



Grafiek 14: De ingebedde energie vs. de operationele energie voor niet-hernieuwbare energiebronnen

Indien er gekeken wordt naar de hernieuwbare energiebronnen is het duidelijk dat de verhouding van de milieu-impact van de ingebedde energie ten opzichte van de operationele energie anders ligt dan bij de niet-hernieuwbare energiebronnen. Voor alle hernieuwbare energiebronnen is de milieu-impact om elektriciteit op te wekken nagenoeg gelijk aan nul met uitzondering van biogas en biomassa. De hernieuwbare energiebronnen zoals windenergie en waterkracht hebben louter de kracht van de natuur (wind of water) nodig om elektriciteit op te wekken. Terwijl elektriciteitsopwekking door zowel biogas als biomassa gepaard gaat met een verbrandingsproces. Tijdens dit proces zijn de grondstoffen wel hernieuwbaar. Hierdoor is er geen bijkomende milieu-impact door uitputting van de grondstoffen maar er komen verschillende afvalstoffen vrij zoals onder andere CO₂, bijgevolg leidt deze uitstoot van de afvalstoffen tot een bepaalde milieu-impact.

Tot slot kan geconcludeerd worden dat de milieu-impact van de constructie bij hernieuwbare energiebronnen meer doorweegt in de totale milieu-impact van de energiebron dan bij niet-hernieuwbare energiebronnen. Hierdoor zal de focus bij hernieuwbare energiebronnen liggen op het milieuvriendelijker produceren van de opwekkingssystemen. Terwijl de focus bij niet-hernieuwbare energiebronnen ligt op het efficiënter produceren van elektriciteit.



Grafiek 15: De ingebodde energie vs. de operationele energie voor hernieuwbare energiebronnen

Zonne-energie

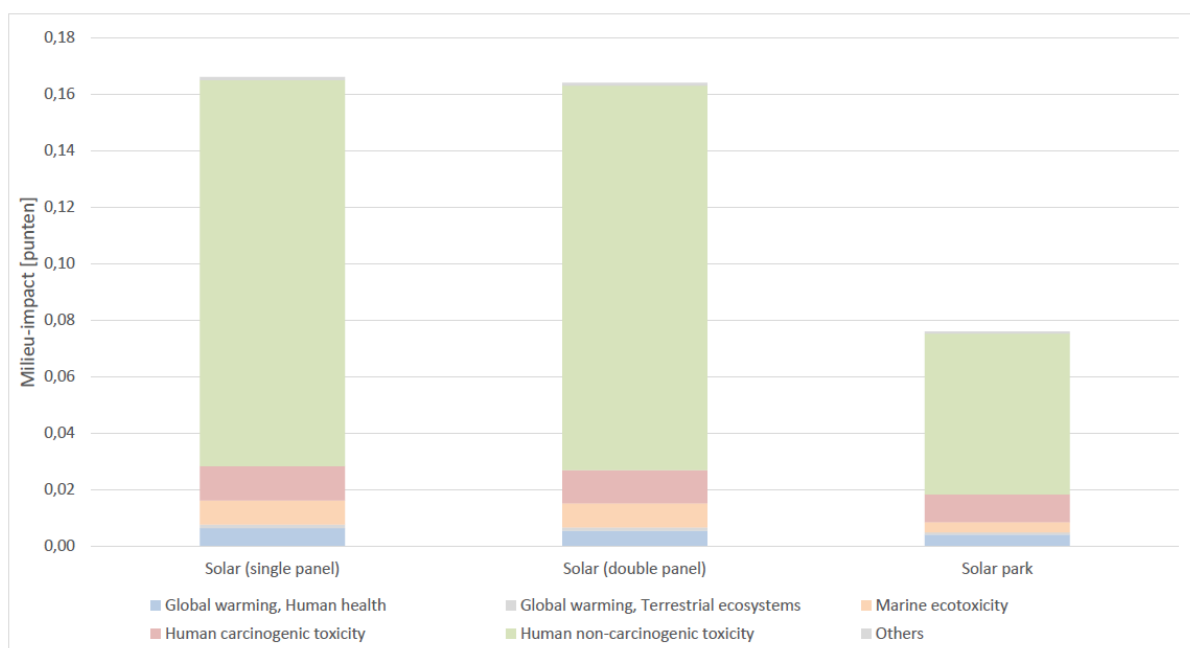
Sinds 2006 heeft de overheid voor het eerst groenestroomcertificaten uitgeschreven voor zonnepanelen (Zonnepanelen-info, 2022). Ondertussen is het huidige aandeel aan zonne-energie al gestegen tot 5,1% van de elektriciteitsmix (Elia Group, 2022). In de toekomst zal het aandeel zonne-energie alleen maar verder stijgen. Zoals eerder vermeld bevat de Belgische elektriciteitsmix uit SimaPro geen elektriciteitsopwekking door zonne-energie voor industrieel gebruik. Eerder werd er in dit hoofdstuk hiermee geen rekening gehouden. Doordat het onderzoek van deze masterproef bestaat uit het dynamisch simuleren van de elektriciteitsmix, wordt ook aan de zonne-energie als energiebron voldoende aandacht besteed. In wat volgt zal de focus gelegd worden op de milieu-impact, primaire energieconversiefactor en de CO₂-intensiteitsfactor van zonne-energie.

De milieu-impact

Om de milieu-impact van zonne-energie te begroten, moet er eerst een onderscheidt gemaakt worden tussen de verschillende opwekkingssystemen die hierop gebaseerd zijn. Allereerst kan een onderscheidt gemaakt worden tussen de energieopwekking door een publiek zonnepark of een privaat zonnepaneel. Hierbij kan de elektriciteit opgewekt door een publiek zonnepark gebruikt worden voor zowel industriële als private doeleinden terwijl de door de private zonnepanelen opgewekte elektriciteit enkel op het laagspanningsnet circuleert. Echter hangt de eindgebruiker van een publiek zonnepark af van de grootte en het ontwerp van de installatie. Om alle fotovoltaïsche installaties op dezelfde manier te behandelen (ongeacht de grootte, het ontwerp en het installatietype (geïntegreerd op een gebouw of in open weide)) maakt de Ecoinvent databank een vereenvoudiging. Hierdoor wordt aangenomen dat alle installaties geïnstalleerd zijn op het

laagspanningsnet. Bovendien wordt in de Ecoinvent databank voor een zonnepark 4273,5 m² oppervlakte aangenomen. Daarnaast kunnen private zonnepanelen bestaan uit zowel een enkel als een dubbel paneel met respectievelijk 22,1m² en 23,5m². Tot slot wordt in de Ecoinvent databank aangenomen dat respectievelijk 50%, 25% en 25% van de zonne-energie afkomstig is van dubbele PV-panelen, enkele PV-panelen en zonneparken.

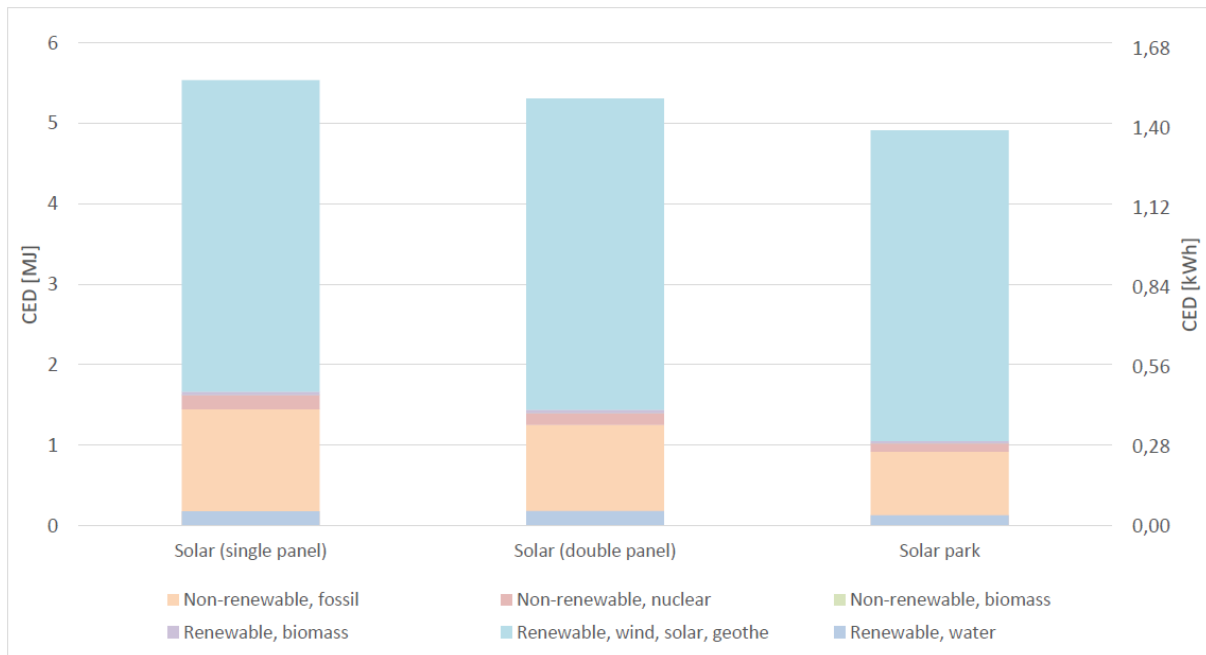
Vervolgens wordt van deze drie opwekkingsystemen de milieu-impact onderzocht voor één kWh aan zonne-energie. Hieruit blijkt dat de milieu-impact voor een enkel of een dubbel paneel nagenoeg gelijk scoort. Daarnaast is de milieu-impact van een zonnepaneel (zowel enkel als dubbel) twee keer zoveel als een zonnepark. Op het eerste gezicht vallen deze verschillen moeilijk te verklaren. Zowel het zonnepark als de zonnepanelen (enkel en dubbel) bestaan uit dezelfde opbouw met dezelfde efficiëntie. Echter is de productiefase, meer bepaald de installatie, per oppervlakte-eenheid veel energie-efficiënter bij een zonnepark dan een zonnepaneel. Bovendien wordt de milieu-impact van een PV-paneel grotendeels bepaald door de elektriciteitsproductie tijdens de productiefase. Hierdoor zou toekomstgericht de milieu-impact van de PV-panelen dalen omdat de elektriciteitsmix zou verduurzamen. Wanneer de milieu-impact van zonne-energie in een ruimer kader bekeken wordt, dan scoort de elektriciteitsopwekking door een zonnepaneel (zowel enkel als dubbel) relatief hoog. Enkel steenkool en kolenvergassing scoren nog hoger, terwijl de milieu-impact van een zonnepark quasi rond het gemiddelde scoort. Tot slot moet als kanttekening ook nog vermeld worden dat de eindelevensduurbehandeling niet is meegerekend. Specifiek voor PV-panelen is hierover bijzonder weinig geweten aangezien de meeste PV-panelen het einde van hun levensduur nog niet hebben behaald. In de Ecoinvent databank wordt een levensduur van 30 jaar aangenomen.



Grafiek 16: De milieu-impact voor één kWh elektriciteitsproductie door zonne-energie

De primaire energie

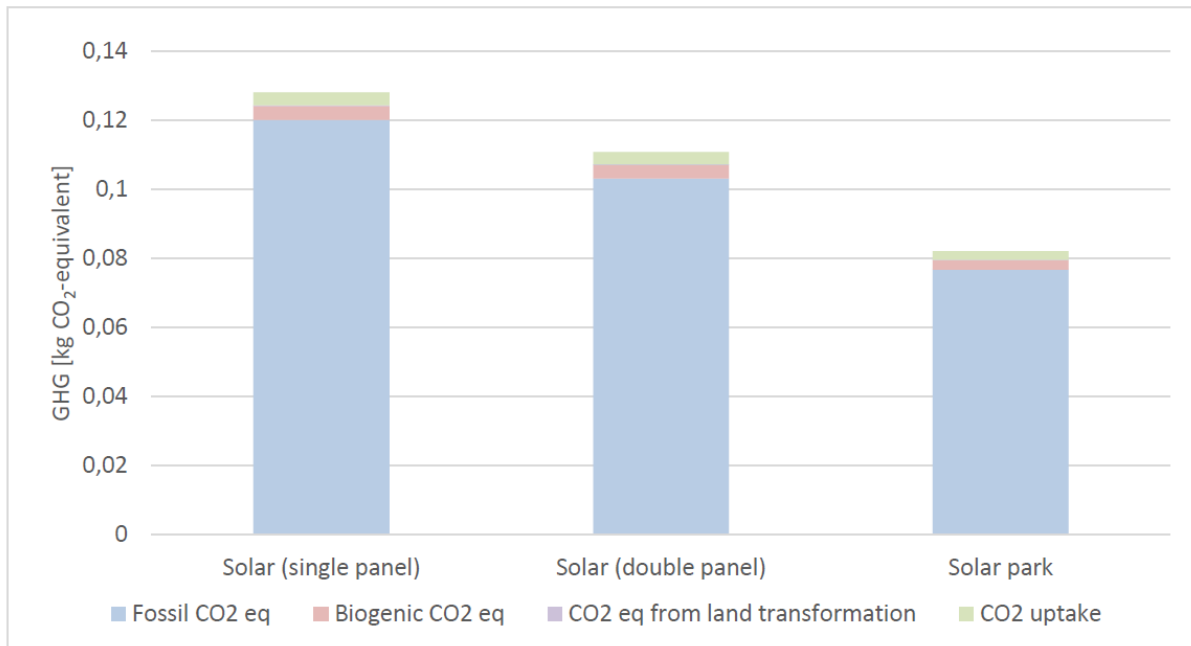
Er kan ook gekeken worden naar de primaire energieconversiefactor voor één kWh aan zonne-energie. Hierbij liggen de drie opwekkingssystemen nauw bij elkaar, met andere woorden blijkt dat een zonnepark evenveel energieverliezen bevat dan de zonnepanelen (zowel een enkel als een dubbel paneel). Deze waarden zijn terug te vinden in Grafiek 17. Verder kan de waarden van zonne-energie ook vergeleken met de primaire energie van de andere energiebronnen. Hieruit blijkt dat de zonne-energie rond het gemiddelde scoort. Meer bepaald scoort zonne-energie hoog in vergelijking met de hernieuwbare energiebronnen, maar scoren de niet-hernieuwbare energiebronnen etmalen hoger.



Grafiek 17: De primaire energieconversiefactor voor één kWh elektriciteitsproductie door zonne-energie

De CO₂-intensiteitsfactor

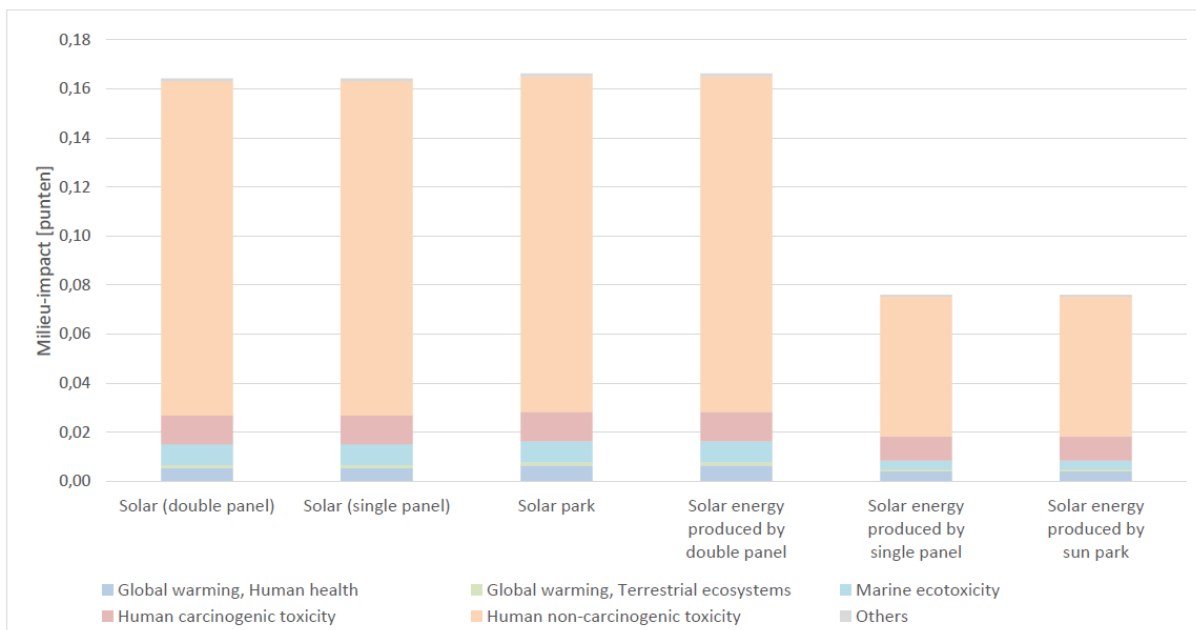
Tot slot worden ook de CO₂ equivalente emissies van één kWh aan zonne-energie via de drie verschillende opwekkingssystemen afgetoetst aan de hand van de GHG methode. De resultaten zijn terug te vinden in Grafiek 18. Uit deze grafiek valt af te lezen dat de PV-panelen hogere CO₂ equivalente emissies produceren. Ditmaal is er wel een verschil op te merken tussen de enkele en dubbele panelen ten gevolge van de fossiele CO₂-emissies. Terwijl zowel voor de primaire energie als de milieu-impact er geen noemenswaardige verschillen te bemerken zijn. Indien deze CO₂-intensiteiten naast de CO₂-intensiteiten van de hernieuwbare energiebronnen wordt gelegd dan valt de waarde van zonne-energie niet in dezelfde lijn. Zoals eerder vermeld zijn de CO₂-intensiteiten van de eerder onderzochte hernieuwbare energiebronnen verwaarloosbaar. Terwijl de CO₂-intensiteiten van één kWh zonne-energie oploopt tot 0,13 kg CO₂-equivalent. Indien hiervoor naar een verklaring wordt gezocht, blijkt dat het hoge elektriciteitsverbruik tijdens de productie van PV-panelen gepaard gaat met een hoge fossiele CO₂ productie.



Grafiek 18: De CO₂-intensiteitsfactor voor één kWh elektriciteitsproductie door zonne-energie

De ingebedde energie vs. operationele energie

Net zoals bij de hernieuwbare energiebronnen (buiten biomassa en biogas) bestaat ook de milieupact van zonne-energie louter uit de constructie van de opwekkingssystemen. In vergelijking met de andere hernieuwbare energiebronnen scoort de ingebedde energie van zonne-energie het hoogst. Het zijn louter biomassa en biogas die hoger scoren op vlak van operationele energie. Zoals eerder aangehaald heeft deze hoge score te maken met het verbrandingsproces van biomassa en biogas. Tot slot kan hieruit geconcludeerd worden dat het produceren van de opwekkingssystemen voor zonne-energie het inefficiëntst gebeurt in vergelijking met de andere hernieuwbare energiebronnen.



Grafiek 19: De ingebedde energie vs. de operationele energie voor zonne-energie

Conclusie

Vooraleer dit hoofdstuk wordt afgerond, zullen de belangrijkste conclusies hieronder samengevat worden. Om te beginnen bestaat de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank voor meer dan de helft uit kernenergie. Bovendien zorgt dit aandeel kernenergie ook voor het merendeel van de milieuscore. Echter moet deze score in het onderzoek genuanceerd worden door een eerlijke vergelijking tussen de energiebronnen. Hieruit blijkt dat de milieu-impact door kernenergie nagenoeg verwaarloosbaar is tegenover de andere energiebronnen. Vervolgens wordt de milieu-impact van alle energiebronnen telkens begroot door slechts vijf van de 22 indicatoren van de ReCiPe methode. Deze indicatoren zijn de maritieme ecotoxiciteit, de opwarming van de aarde (zowel menselijke gezondheid als terrestrisch) en de menselijke toxiciteit (zowel kankerverwekkend als niet-kankerverwekkend).

Verder is de primaire energie voor de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank 3,14 MJ. Dit duidt de energieverliezen aan door enerzijds de emissieverliezen en anderzijds de productie. Indien deze primaire energie werd opgesplitst in de verschillende energiebronnen, valt te besluiten dat de niet-hernieuwbare energiebronnen beduidend hoger scoren dan de hernieuwbare energiebronnen, met uitzondering van de biomassa. Het is dus duidelijk dat elektriciteitsproductie via biomassa nog veel productieverliezen bevat.

Vervolgens zijn de CO₂ equivalente emissies van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank vooral te wijten aan biomassa, terwijl de Belgische elektriciteitsmix voor slechts 3% bestaat uit biomassa. Echter bestaat de doorslaggevende factor uit CO₂ equivalenten als biogene koolstoffen en de koolstofopname. In het geval dat er geen rekening gehouden wordt met de equivalente emissies en dus louter gekeken wordt naar de CO₂-emissies, dan is biomassa geen cruciale factor meer. De energiebronnen met de hoogste CO₂-emissies zijn conventionele gas, CCGT en hoogovengas.

Tot slot kunnen de beoordelingsmethodes tegenover elkaar gesteld worden. Als eerste valt te concluderen dat op vlak van beoordelingsmethoden zowel de ReCiPe, CED als GHG methode op geen éénduidige lijn zitten. Terwijl de drie methodes wel starten vanuit het LCA-perspectief als eenzelfde insteek. Niettemin is de basisgedachte voor de ReCiPe, CED en GHG methode respectievelijk de milieu-impact, de primaire energie en de CO₂-intensiteit af te toetsen. Hoewel de uitkomsten verschillen is er toch een verband tussen de beoordelingsmethoden. Zo zal de milieu-impact dalen als de primaire energie daalt oftewel de elektriciteitsopwekking efficiënter verloopt. Daarnaast zal ook de CO₂-intensiteitsfactor dalen als de primaire energie daalt, wat op zijn beurt leidt tot een daling in de milieu-impact. Echter is de milieu-impact een allesomvattend begrip dat afhangt van veel invloedsfactoren en is bijgevolg het verband niet wederkerig. Stel dat de milieu-impact daalt, dan kan hierdoor niet verondersteld worden dat de primaire energie daalt. Kortom, de beoordelingsmethoden zijn indirect met elkaar in verband te brengen, maar het is beter om te focussen op de noden van het onderzoek en hierbij de best passende methode toepassen.

In het onderzoek van deze masterproef wordt enerzijds gefocust op het dynamisch simuleren van de elektriciteitsmix. Hierbij is zowel de primaire energie als de CO₂-intensiteitsfactor een goede beoordelingsmethode. Om die reden dat deze methoden wijdverspreide beoordelingsmethoden uit de literatuur zijn. Zo is een rechtstreekse toetsing aan andere onderzoeken uit de literatuur mogelijk. Anderzijds wordt de dynamische elektriciteitsmix geïmplementeerd in een levenscyclusanalyse

waarbij de milieu-impact en CO₂-intensiteitsfactor van een rijwoning wordt gekwantificeerd. Bovendien wordt deze analyse vergeleken met de milieu-impact en CO₂-intensiteitsfactor van een statische elektriciteitsmix. Om die reden wordt in het tweede deel van het onderzoek gebruik gemaakt van de milieu-impact en CO₂-intensiteitsfactor als beoordelingsmethode.

Onderzoek

Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix

Aanpak

In dit onderzoeksgedeelte wordt de dynamische Belgische elektriciteitsmix opgesteld voor 2022 tot 2082. Zo wordt er eerst gefocust op de startdata. Nadien worden aan de hand van enkele aannames de verdere data opgesteld. Bovendien wordt aan de dynamische Belgische elektriciteitsmix ook de milieueffecten gekoppeld. Zo wordt van deze data de milieu-impact, de primaire energieconversiefactor en de CO₂-intensiteitsfactor bekeken. Tot slot wordt er een dataset opgesteld en meegegeven voor verder onderzoek.

Samenstelling dynamische Belgische elektriciteitsmix

Het vertrekpunt

De elektriciteitsmix is een complex gegeven, dat economische operationele, locatie gebonden, sociale en beleidsmatige beperkingen met zich meebrengt (Masanet, et al., 2013). Hierdoor wordt in deze masterproef gestart vanuit de voorspelde Europese elektriciteitsmix door ENTSO-E. Dit is een wijdverspreide voorspelling dat alle aspecten van de complexiteit bekijkt. Bovendien bestaat ENTSO-E uit een gecombineerde expertise van 42 transmissiesysteembeheerders met elk hun eigen gedetailleerde kennis over de elektriciteitsvraag en de opwekkingscapaciteit binnen hun respectieve regelgebieden. De elektriciteitsmix die in deze masterproef verder uitgewerkt wordt is de nationale trend uit het TYNDP rapport van 2020. Deze elektriciteitsmix is opgesteld voor 2025, 2030 en 2040. Bovendien volgt deze trend het meest waarschijnlijke pad van de toekomst. Er wordt hierbij vooral gefocust op de nationale trends, die vooropgesteld zijn om de klimaat- en energiedoelstellingen van de Europese Unie te behalen.

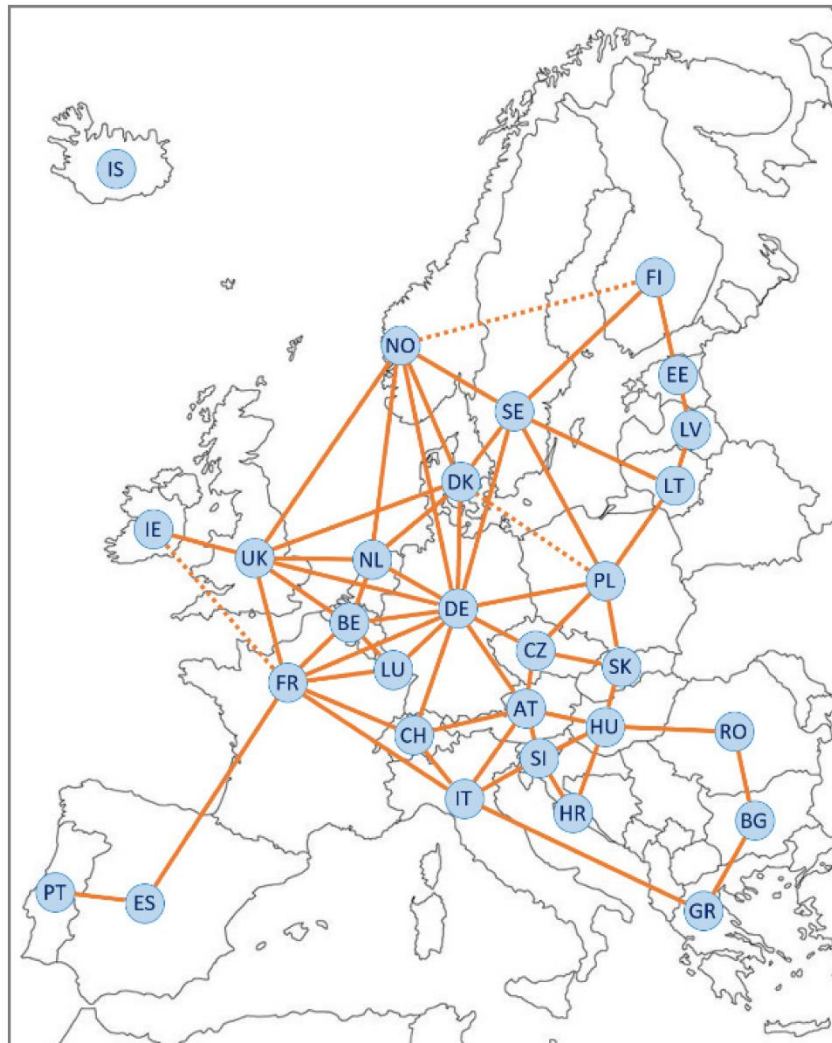
Vervolgens werd in (Hamels, 2021) op basis van het TYNDP rapport van ENTSO-E een dataset verworven met de CO₂-intensiteiten en primaire energiefactoren per toekomstscenario. Deze dataset heeft een breed geografisch bereik met een hoge temporele resolutie en houdt rekening met de internationale uitwisselingen van elektriciteit door middel van een flow-tracing-techniek. Echter wordt deze dataset louter bekeken vanuit het operationeel perspectief. Als tweede dimensie aan de dataset zal in deze masterproef het LCA-perspectief van de conversiefactoren opgesteld worden. Vooraleer de focus op de conversiefactoren wordt gelegd, moet er eerst aandacht besteed worden aan de verschillende aannames gedurende het gehele proces. Dit proces wordt verder in dit hoofdstuk opgedeeld in drie verschillende deelaspecten. Zo zal er gestart worden met het verwerken van de gegeven data voor de kantelpunten 2025, 2030 en 2040 uit (Hamels, 2021). Nadien zal de elektriciteitsmix jaarlijks worden opgesteld voor 2022 tot 2082 aan de hand van deze kantelpunten. Tot slot wordt aan elk jaar de milieueffecten gekoppeld om uiteindelijk het dynamisch verloop als resultaat te kunnen beoordelen en naast de resultaten uit (Hamels, 2021) te leggen.

De kantelpunten 2025, 2030 en 2040

De internationale uitwisseling

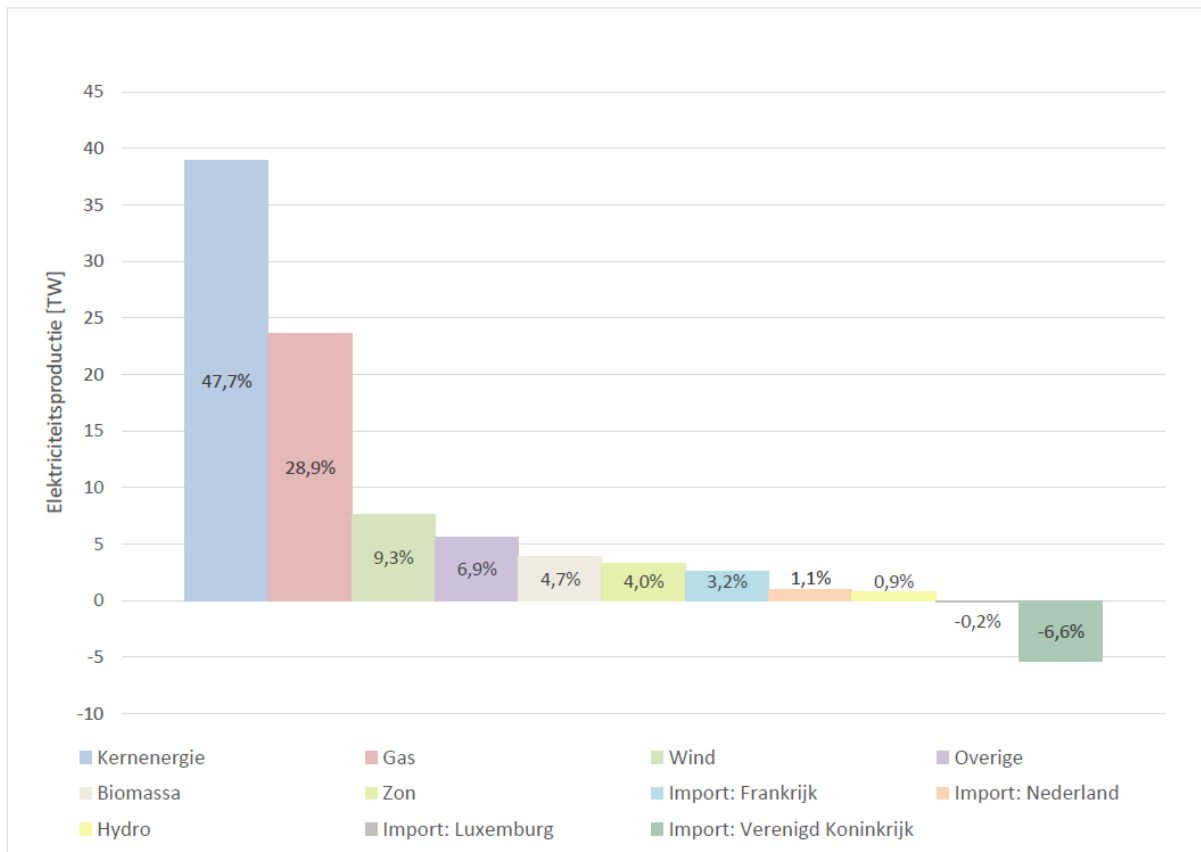
Om de dataset vanuit (Hamels, 2021) te vergelijken met de dataset uit deze masterproef, is het vanzelfsprekend om dezelfde aannames over te nemen. Zo wordt er gestart met het verwerken van de elektriciteitsmix die werd opgesteld door middel van de flow-tracing-techniek. Door het gebruik van deze techniek zit hierin ook de internationale uitwisselingen in verwerkt, waardoor het aandeel import gekend is. Desondanks is er geen kennis over de importaandelen per land. Hierdoor is een

eerste vereenvoudiging nodig. Tijdens het opstellen van het model voor de flow-tracing-techniek werd het elektriciteitsnetwerk voorgesteld door telkens één knooppunt per land te voorzien met daartussen verbindingslijnen. Deze lijnen stellen telkens de internationale uitwisselingen voor tussen de specifieke landen. Figuur 2 geeft een overzicht weer omtrent het Europees elektriciteitsnetwerk. De stippenlijnen op deze figuur tonen de toekomstige verbindingslijnen. Op onderstaande figuur is te zien dat België importeert van of exporteert naar de omliggende landen: Nederland, Duitsland, Luxemburg, Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk.



Figuur 2: Het vereenvoudigd model van het Europees elektriciteitsnetwerk

Vooraleer er bepaalde vereenvoudigingen worden afgewogen en doorgevoerd, wordt er eerst gekeken naar de huidige import en de veranderingen van de elektriciteitsmix van de omliggende landen. Volgens opgevraagde cijfers uit 2019 van ElectricityMap.org blijkt dat voor België de geïmporteerde elektriciteit slechts instaat voor 4,3% van de elektriciteitsmix en export voor 6,8%. De geïmporteerde landen zijn Frankrijk en Nederland terwijl de geëxporteerde landen Luxemburg en het Verenigd Koninkrijk zijn. Hieruit valt op te merken dat in deze data geen rekening wordt gehouden met Duitsland. Echter is in de literatuur gekend dat Luxemburg een doorstroomland is van Duitsland (Buyle , Anthonissen, Van den Bergh, Braet, & Audenaert, 2019). Onderstaande grafiek geeft de elektriciteitsmix voor België in 2019 weer (ElectricityMap.org, 2022).



Grafiek 20: De Belgische elektriciteitsmix voor 2019 van (ElectricityMap.org, 2022)

Zoals hierboven te zien is, zijn Import en export geen groot aandeel in de huidige elektriciteitsmix. Echter zal volgens de voorspellingen uit (Hamels, 2021) het aandeel import in de nabije toekomst stijgen, vervolgens stagneren en nadien langzaam dalen. Meer specifiek zal volgens de nationale trend het aandeel import van de Belgische elektriciteitsmix voor 2025, 2030 en 2040 respectievelijk 30,2%, 29,5% en 17,3% zijn. Door het stijgende belang van de internationale uitwisseling wordt er dieper gekeken naar de elektriciteitsmix van de naburige landen. Logischerwijs blijkt hieruit dat alle landen gaan inzetten op hernieuwbare energie om de energie- en klimaatdoelstellingen van de Europese Unie te halen. Daarnaast valt op dat Frankrijk als enige importland van België naast hernieuwbare energie ook blijft inzetten op kernenergie. Terwijl de overige importlanden inzetten op gas. Ten gevolge van de gelijklopende nationale trends in de importlanden van België wordt voor het verdere verloop van deze masterproef aangenomen dat het importgedeelte bestaat uit dezelfde elektriciteitsmix als de Belgische elektriciteitsmix. Voor specifieke data omtrent de import -en exportlanden van België in 2025, 2030 en 2040 wordt er verwezen naar *Bijlage B: De elektriciteitsmix van de import- en exportlanden van België*.

De aannames van de energiebronnen

De energiebronnen die werden vooropstelt in (Hamels, 2021) zijn heel uitgebreid. Dit onderzoek is gestart vanuit de capaciteiten die in het TYNDP rapport van ENTSO-E staan beschreven. Hierin wordt een onderscheidt gemaakt tussen de verschillende constructies op basis van de ouderdom, met als gevolg dat het rendement telkens nauwkeuriger kan worden toegeschreven aan de bijhorende constructie. Bovendien is ook de elektriciteitsmix veel nauwkeuriger bepaald doordat de elektriciteitsmix in functie is van enerzijds de capaciteiten per land en anderzijds de rendementen per capaciteit. Doordat deze masterproef verder werkt op de nauwkeurig opgestelde elektriciteitsmix en bijgevolg de rendementen in rekening brengt, kan in volgende stappen van het onderzoek de energiebronnen vereenvoudigd worden. Bovendien wordt in het verdere onderzoek louter de elektriciteitsmix gekoppeld aan de bijhorende milieueffecten. Deze milieueffecten hangen enerzijds af van de elektriciteitsproductie (die bepaald is door de nauwkeurige elektriciteitsmix) en anderzijds van de constructie (die verondersteld wordt dat ze nauwelijks afhangt van de rendementen). De vereenvoudiging van de energiebronnen is weergegeven in onderstaande tabel.

De energiebron uit (Hamels, 2021)	De vereenvoudigde energiebronnen
Gas CCGT new	Gas CCGT
Gas CCGT old 2	
Gas CCGT present 2	
Gas conventional old 2	Gas conventional
Gas OCGT new	Gas OCGT
Hard coal old 2 bio	Hard coal bio
Hydro battery	Hydro battery
Hydro Pumped Storage (closed)	Hydro Pumped Storage
Hydro run of river	Hydro run of river
Other non-RES	
Other RES	
Solar	Solar
Wind offshore	Wind offshore
Wind onshore	Wind onshore

Tabel 4: De aannames in de vereenvoudiging van de energiebronnen

Zoals te zien is in Tabel 4 zijn er nog twee energiebronnen die verder onder de loep moeten genomen worden. Deze zijn: overige hernieuwbare en overige niet-hernieuwbare energiebronnen. Doordat er geen duidelijkheid is over de details van deze energiebronnen en deze bovendien slechts enkele procenten van de totale elektriciteitsmix innemen, wordt dit aandeel verhoudingsgewijs verdeeld over de andere energiebronnen. Ter verduidelijking: de verdeling van de overige hernieuwbare energiebron gebeurt enkel over de andere hernieuwbare energiebronnen. Dezelfde aanpak wordt doorgetrokken voor de niet-hernieuwbare energiebronnen. Tot slot wordt voor de biologische steenkool als energiebron een steenkoolcentrale met biomassa als grondstof bedoeld, met andere woorden is dit een hernieuwbare energiebron.

Op grond van de hierboven besproken aannames kunnen de exacte waarden voor de elektriciteitsmix van de drie kantelpunten bepaald worden. Deze waarde is telkens de nodige hoeveelheid energie per energiebron voor één kWh elektriciteit uit 2025, 2030 of 2040 te produceren, uitgedrukt in een percentage. De waarden zijn terug te vinden in onderstaande tabel.

		2025	2030	2040
Gas CCGT	[%]	34,8	8,0	10,4
Gas conventional	[%]	11,3	12,5	8,8
Gas OCGT	[%]	0	0	0
Hard coal bio	[%]	8,7	7,1	5,9
Hydro battery	[%]	0,5	1,2	2,0
Hydro Pumped Storage	[%]	0,6	0,5	0,2
Hydro run of river	[%]	0,6	0,6	0,4
Solar	[%]	12,6	16,0	16,1
Wind offshore	[%]	15,4	29,8	32,6
Wind onshore	[%]	15,4	20,1	21,7

Tabel 5: De opgestelde Belgische elektriciteitsmix voor 2025, 2030 en 2040

Het startpunt 2021

Vooraleer de elektriciteitsmix jaarlijks kan opgesteld worden, moet eerst een startpunt worden gedefinieerd. Hiervoor is er geen data beschikbaar in (Hamels, 2021). Om zo dicht mogelijk aan te sluiten bij zijn aannames wordt de elektriciteitsmix van ENTSO-E gebruikt (ENTSO-E, 2022). Voor het opstellen van het startpunt van de elektriciteitsmix wordt de data uit het jaar 2021 gebruikt, maar het startpunt van de elektriciteitsmix voor de berekeningen is 2022. Doordat de graad van detail verschilt tussen de twee bronnen moet ook hierin de verschillende aannames besproken worden. Hieronder is een overzichtstabel weergegeven van de nodige hoeveelheid energie per energiebron voor één kWh aan elektriciteit in 2021 te produceren, uitgedrukt in een percentage.

		2021
Biomass	[%]	4,8
Gas	[%]	29,7
Hard coal bio	[%]	0,8
Hydro battery	[%]	1,0
Hydro	[%]	1,0
Nuclear	[%]	49,0
Oil	[%]	0,1
Solar	[%]	4,1
Wind	[%]	9,6

Tabel 6: De Belgische elektriciteitsmix van 2021 (ENTSO-E, 2022)

In vergelijking met Tabel 5 is te zien dat ENTSO-E (Tabel 6) veel minder gedetailleerde data ter beschikking heeft. Zo wordt CCGT, OCGT als conventioneel gas gezien als één overkoepelende energiebron. Om de elektriciteitsmix van 2021 aan te passen aan de graad van detail van de andere elektriciteitsmixen worden verhoudingsgewijs de energiebronnen opgesplitst. Meer specifiek wordt de verhoudingen bepaald door de elektriciteitsmix van 2025. Zo bestaat uit 2025 de energiebron gas uit 75,5% CCGT, 24,5% conventioneel en 0% OCGT, bijgevolg wordt in 2021 het gas opgesplitst in dezelfde verhoudingen. Naast gas geldt deze aanname ook voor hydro en wind. Onderstaande tabel geeft de aangepaste Belgisch elektriciteitsmix voor 2021 weer.

		2021
Biomass	[%]	4,8
Gas CCGT	[%]	22,4
Gas conventional	[%]	7,3
Gas OCGT	[%]	0
Hard coal bio	[%]	0,8
Hydro battery	[%]	1,0
Hydro Pumped Storage	[%]	0,5
Hydro run of river	[%]	0,5
Nuclear	[%]	49,0
Oil	[%]	0,1
Solar	[%]	4,1
Wind offshore	[%]	4,8
Wind onshore	[%]	4,8

Tabel 7: De aangepaste Belgische elektriciteitsmix van 2021

Het kantelpunt 2050

2050 is het kantelpunt van de Europese klimaat- en energiedoelstellingen. Hiervoor zijn nog geen voorspellingen beschikbaar. Er wordt echter wel verondersteld dat de Europese doelstellingen behaald worden, met andere woorden wordt vanaf 2050 energie opgewekt door louter hernieuwbare energiebronnen. Hiervoor worden de niet-hernieuwbare energiebronnen lineair uitgedoofd tussen 2040 en 2050. De hoeveelheid energie die afneemt bij de niet-hernieuwbare energiebronnen, wordt verhoudingsgewijs toegekend aan de hernieuwbare energiebronnen. Bovendien wordt vanuit de Europese klimaat- en energiedoelstellingen opgelegd dat vanaf 2050 de elektriciteitsproductie koolstofneutraal is. Hierdoor wordt de biologische steenkool niet meegenomen in de elektriciteitsmix van 2050 ondanks dat dit een hernieuwbare energiebron is.

De Belgische elektriciteitsmix van 2050 is terug te vinden in Tabel 8. Doordat de elektriciteitsmix in 2050 louter bestaat uit hernieuwbare energiebronnen kan men ook de bedenkingen maken in hoeverre deze voorspelling realistisch is. Zo kunnen hernieuwbare energiebronnen niet vraaggestuurd opwekken, bijgevolg moeten er ook voldoende batterijen voorzien worden om deze voorspelling te staven.

		2050
Biomass	[%]	0
Gas CCGT	[%]	0
Gas conventional	[%]	0
Gas OCGT	[%]	0
Hard coal bio	[%]	0
Hydro battery	[%]	2,8
Hydro Pumped Storage	[%]	0
Hydro run of river	[%]	0,6
Nuclear	[%]	0
Oil	[%]	0
Solar	[%]	22,1
Wind offshore	[%]	44,8
Wind onshore	[%]	29,8

Tabel 8: De opgestelde Belgische elektriciteitsmix van 2050

Na 2050 zijn er nog geen nieuwe doelstellingen bekend. Hierdoor wordt verondersteld dat de elektriciteitsmix van 2050 aangehouden wordt, met andere woorden wordt vanaf 2050 tot 2082 de elektriciteitsmix terug statisch. Dit heeft als gevolg dat ook de milieueffecten gekoppeld aan de elektriciteitsmix constant blijven. Enerzijds klopt deze veronderstelling voor het operationele aspect van de milieueffecten. De elektriciteitsproductie in 2050 zal even milieubelastend zijn als de elektriciteitsproductie in 2082. Anderzijds zullen de milieueffecten dalen indien er gekeken wordt vanuit het LCA-perspectief. Zo zal een windturbine die geplaatst is in 2040 en energie opwekt in 2050 het milieu meer belasten dan een windturbine die geplaatst is in 2050 en dezelfde energie opwekt in 2050. Dit komt doordat de eerste windturbine geproduceerd werd met de elektriciteitsmix uit 2040 en de tweede windturbine met de elektriciteitsmix uit 2050. Dit aspect is te verregaand en wordt niet meegenomen in deze masterproef.

De aannames voor de koppeling naar de milieueffecten

Tot slot worden ook de aannames in de Ecoinvent databank bekeken zodanig dat er zo een correct mogelijk milieueffect kan gekoppeld worden aan de elektriciteitsmix zonder dat de elektriciteitsmix nadien nog moet worden aangepast. Zo wordt er gekeken naar de Belgische elektriciteitsmix die in SimaPro wordt gehanteerd. Hierin valt op dat er een verder onderscheidt wordt gemaakt in biomassa, zonne-energie en onshore windenergie. Zo wordt biomassa verder opgedeeld in 11% biogas en 89% biomassa met hout als grondstof. Zoals besproken in *Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank* is de milieu-impact, de primaire energie en de CO₂-intensiteitsfactor voor biomassa met hout als grondstof respectievelijk twee, 20 en drie keer groter dan biogas. Door deze grote verschillen in milieueffecten wordt de verhouding 11% – 89% voor respectievelijk biogas en biomassa met hout als grondstof doorgetrokken in deze masterproef voor het opstellen van de elektriciteitsmix.

Daarnaast wordt ook zonne-energie verder opgesplitst in een enkel privaat paneel, een dubbel privaat paneel en een zonnepark. De verhouding in de Belgische elektriciteitsmix voor zonne-energie bestaat uit 25% enkel private panelen, 50% dubbele private panelen en 25% zonneparken. Daarnaast is uit *Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank* af te leiden dat er wel degelijk verschillen zijn op vlak van milieueffecten. Om deze verschillen te kunnen meenemen in het verdere onderzoek is er nood aan een onderlinge verhouding. De verhouding zoals gehanteerd in de Ecoinvent databank zal in dit onderzoek niet worden aangehouden, omdat de Belgische elektriciteitsmix uit SimaPro dateert van 2014, terwijl zonne-energie toen nog in zijn kinderschoenen stond. Ondertussen werd er verder geïnvesteerd in zonne-energie en sluiten de data van 2021 nauwer aan bij de realiteit. Hierdoor worden de cijfers van de energiekartaat gebruikt (Vlaamse overheid, 2019). Deze dataset geeft het totale vermogen per vermogensklasse per jaartal voor Vlaanderen weer. De vermogensklassen zijn opgesplitst in zonnepanelen met een vermogen kleiner dan (of gelijk aan) 10 kW, groter dan 10 kW maar kleiner dan (of gelijk aan) 40 kW, groter dan 40 kW maar kleiner dan (of gelijk aan) 250 kW, groter dan 250 kW maar kleiner dan (of gelijk aan) 750 kW en groter dan 750 kW. Vanaf een vermogen groter dan 10 kW is er sprake van een zonnepark, bijgevolg wordt de laagste vermogensklasse gerekend als een privaat paneel en de hogere vermogensklassen als een zonnepark. Volgens de energiekartaat kan een zonnepark uit verschillende vermogens bestaan. Echter is in de Ecoinvent databank louter één zonnepark met een vermogen van 570 kW beschikbaar. Hierdoor worden de vermogensklassen van de zonneparken samengenomen en vereenvoudigd tot één soort zonnepark. Zo is er een verhouding van 62,2% private panelen en 37,8% zonneparken. Het jaartal dat hiervoor gebruikt werd is 2021.

Vervolgens is er ook nood aan een onderlinge verhouding tussen een enkel en dubbel zonnepaneel. Door gebrek aan gedetailleerde data wordt hiervoor wel de onderlinge verhouding van de Ecoinvent databank aangehouden. Zo wordt voor een privaat zonnepaneel 1/3 gependend aan een enkel zonnepaneel en 2/3 aan een dubbel. Deze verhoudingen leiden vervolgens voor de totale zonne-energie tot 20,7% enkele zonnepanelen, 41,5% dubbele zonnepanelen en 37,8% zonneparken.

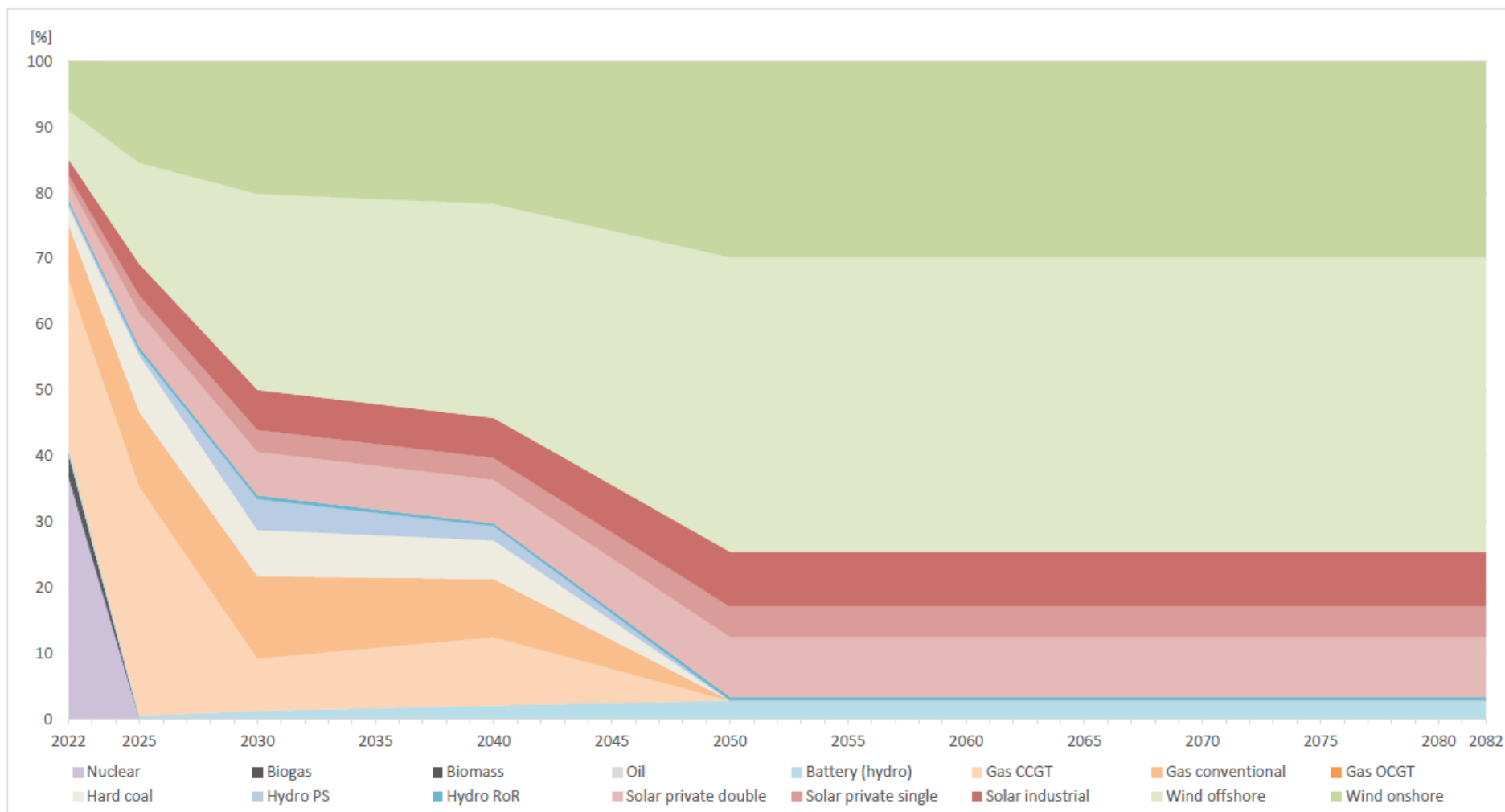
Tot slot wordt ook de onshore windenergie volgens de verschillende vermogens verder onderverdeeld in de Ecoinvent databank. Zo bestaat onshore windenergie uit 2% windturbines met een vermogen kleiner dan één MW, 87% met een vermogen tussen één en drie MW en 10% met een vermogen groter dan drie MW. Doordat uit het vooronderzoek bleek dat de milieueffecten gelijk oplopen voor de verschillende soorten windturbines, wordt verder in het onderzoek deze opsplitsing vereenvoudigd door de windturbine met een vermogen tussen één en drie MW. De definitieve elektriciteitsmix voor 2021, 2025, 2030, 2040 en 2050 worden in onderstaande tabel meegeven. Opnieuw definieert de tabel de nodige hoeveelheid energie per energiebron voor één kWh aan elektriciteit te produceren, uitgedrukt in een percentage.

		2021	2025	2030	2040	2050
Biogas	[%]	0,5	0	0	0	0
Biomass	[%]	4,3	0	0	0	0
Gas CCGT	[%]	22,4	34,8	8,0	10,4	0
Gas conventional	[%]	7,3	11,3	12,5	8,8	0
Gas OCGT	[%]	0	0	0	0	0
Hard coal bio	[%]	0,8	8,7	7,1	5,9	0
Hydro battery	[%]	1,0	0,5	1,2	2,0	2,8
Hydro Pumped Storage	[%]	0,5	0,6	4,7	2,2	0
Hydro run of river	[%]	0,5	0,6	0,6	0,4	0,6
Nuclear	[%]	49,0	0	0	0	0
Oil	[%]	0,1	0	0	0	0
Solar private single	[%]	0,9	2,6	3,3	3,3	4,6
Solar private double	[%]	1,7	5,2	6,7	6,7	9,2
Solar industrial	[%]	1,6	4,8	6,1	6,1	8,3
Wind offshore	[%]	4,8	15,4	29,8	32,6	44,8
Wind onshore	[%]	4,8	15,4	20,1	21,7	29,8

Tabel 9: De opgestelde Belgische elektriciteitsmix voor 2021, 2025, 2030 en 2040

De opgestelde dynamische Belgische elektriciteitsmix

De laatste stap om de Belgische elektriciteitsmix dynamische te laten verlopen van 2022 tot 2082 is om stapsgewijs de jaren tussen de kantelpunten lineair te laten verlopen. Grafiek 21 toont een overzicht weer van de verschillende trends in de Belgische elektriciteitsmix. Hierbij komen de kleurentinten overeen met de overkoepelende energiebronnen. Zo stelt groen windenergie voor, rood zonne-energie, blauw hydro en oranje gas. Bovendien is te zien dat de kernenergie uitfaseert tegen 2025, dat gas uitdooft tegen 2050 en dat zowel zonne-energie als windenergie de bovenhand nemen. Daarnaast zijn er geen grote investeringen in de hernieuwbare energiebronnen op basis van waterkracht doorgevoerd, wat te verklaren valt door de geografische beperkingen. De exacte data van de dynamische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 zijn zowel in *Bijlage C: De dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 volgens de nationale trend* als in de [database](#) terug te vinden.



Grafiek 21: De dynamische Belgische elektriciteitsmix voor 2022 tot 2082

De milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix

De aannames van de energiebronnen

De milieu-impact kan van de hierboven opgestelde elektriciteitsmix bepaald worden, hiervoor wordt elke opgestelde energiebron gelinkt aan de energiebronnen uit de Ecoinvent databank. Deze aannames zijn opgesomd in onderstaande tabel. Het distributienetwerk wordt niet in rekening gebracht bij de energiebronnen, maar wordt achteraf apart toegevoegd aan de totale milieu-impact van de elektriciteitsmix.

De energiebron	De SimaPro naam
Biogas	Electricity, high voltage {BE} heat and power co-generation, biogas, gas engine Cut-off, U
Biomass	Electricity, high voltage {BE} heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014 Cut-off, U
Gas conventional	Electricity, high voltage {BE} electricity production, natural gas, conventional power plant Cut-off, U
Gas (CCGT & OCGT)	Electricity, high voltage {BE} electricity production, natural gas, combined cycle power plant Cut-off, U
Hard coal bio	
Hydro battery	Electricity, high voltage {DE} electricity production, hydro, reservoir, non-alpine region Cut-off, U
Hydro Pumped Storage	Electricity, high voltage {BE} electricity production, hydro, pumped storage Cut-off, U
Hydro run of river	Electricity, high voltage {BE} electricity production, hydro, run-of-river Cut-off, U
Nuclear	Electricity, high voltage {BE} electricity production, nuclear, pressure water reactor Cut-off, U
Oil	Electricity, high voltage {BE} heat and power co-generation, oil Cut-off, U
Wind offshore	Electricity, high voltage {BE} electricity production, wind, 1-3MW turbine, offshore Cut-off, U
Wind onshore	Electricity, high voltage {BE} electricity production, wind, 1-3MW turbine, onshore Cut-off, U
Solar private single	Electricity, low voltage {BE} electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted Cut-off, U
Solar private double	Electricity, low voltage {BE} electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted Cut-off, U
Solar industrial	Electricity, low voltage {BE} electricity production, photovoltaic, 570kWp open ground installation, multi-Si Cut-off, U

Tabel 10: De aannames per energiebron in de Ecoinvent databank

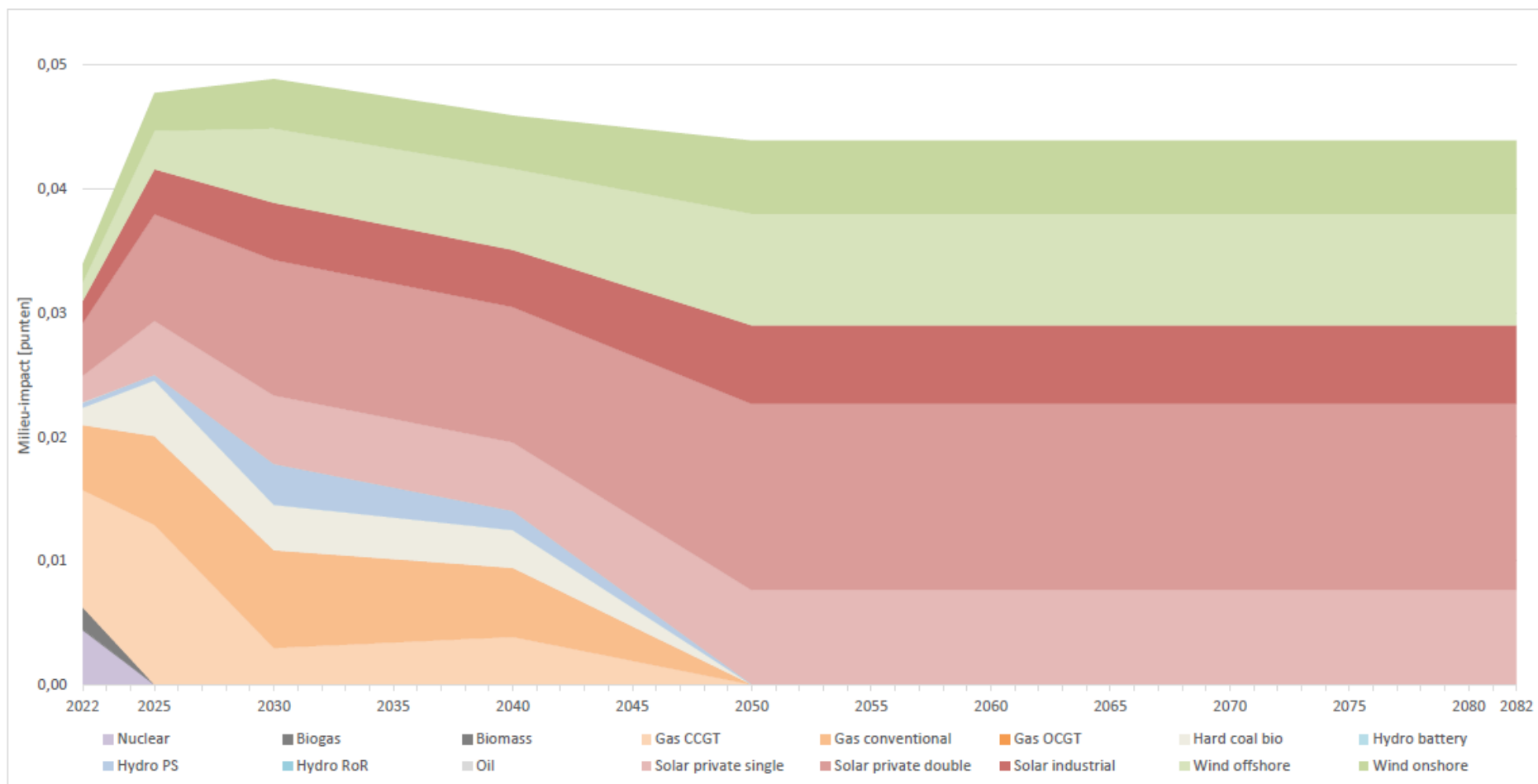
Zoals te zien is in Tabel 10 moet de biologische steenkool nog verder uitgezocht worden. Eerder werd al vermeld dat biologische steenkool een energiebron is die opgewekt wordt in een steenkoolcentrale maar in plaats van steenkool wordt biomassa gebruikt als grondstof. Het voordeel van deze energiebron is dat de huidige steenkoolcentrales niet moeten worden afgebroken en hergebruikt kunnen worden voor een hernieuwbare energiebron. Dit is een innovatieve hernieuwbare energiebron, daarom is deze energiebron nog niet terug te vinden in de Ecoinvent databank. Om toch de milieueffecten te kunnen kwantificeren, wordt een nieuwe energiebron in SimaPro opgebouwd. Deze energiebron bestaat uit een combinatie van de energiebronnen biomassa en steenkool. Zo worden enerzijds de aannames omtrent de steenkoolcentrale overgenomen uit de

energiebron steenkool en anderzijds worden de gegevens voor de elektriciteitsopwekking van de energiebron biomassa overgenomen. Doordat zowel de werking als de rendementen van de energiebron biomassa niet overeenstemmen met de energiebron biologische steenkool, zit op deze aanname een foutmarge vervat. Om deze foutmarge uit het onderzoek te halen is er nood aan meer gegevens, maar deze energiebron is nog volop in ontwikkeling, bijgevolg zijn deze gegevens nog niet gekend of gepubliceerd.

De milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix

Eenmaal de aannames voor de invoer in SimaPro gekend zijn, kan de milieu-impact gekwantificeerd worden. Hierbij wordt de milieu-impact voor één kWh elektriciteit per jaar bepaald en uitgedrukt in milieupunten. Opnieuw zijn deze exacte data van de milieu-impact van de dynamische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 zowel in *Bijlage C: De dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 volgens de nationale trend* als in de [database](#) terug te vinden. In *Bijlage C: De dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 volgens de nationale trend* is enkel de totale milieu-impact per energiebron weergegeven, terwijl in de [database](#) ook de milieu-impact per categorie van de energiebron beschikbaar is.

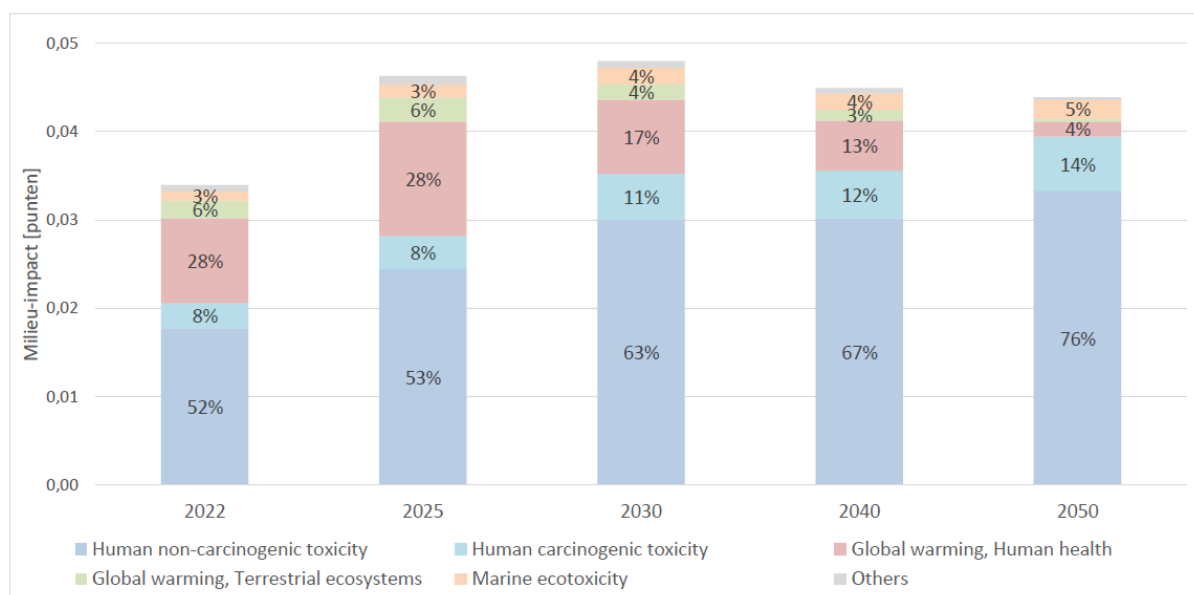
Vervolgens is in Grafiek 22 de milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix weergegeven. Hierbij is opnieuw dezelfde kleurcode aangehouden als in Grafiek 21. Daarnaast is te zien dat de totale milieu-impact doorheen de jaren eerst een stijgende trend tot in 2030 vertoont en nadien een dalende. Tussen de eerste kantelpunten (2022 en 2025) is het duidelijk dat de stijgende trend van de milieu-impact een gevolg is van zowel de toename van de elektriciteitsproductie door gas, wind- en zonne-energie als de afname van de nucleaire energie. Nadien neemt de totale milieu-impact verder toe tot in 2030. In dezelfde tijdspanne neemt de productie van gas geleidelijk af. Deze productie-afname wordt opgevangen door een stijging in de productie van windenergie. Hierbij zijn windenergie en zonne-energie opgewekt in een zonnepark minder milieubelastend dan gas. Terwijl zonne-energie opgewekt door private zonnepanelen wel meer milieubelastend zijn (zie *Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank*). Het is dan ook de zonne-energie opgewekt door de private zonnepanelen die de doorslaggevende factor is in de toename van de totale milieu-impact. Vanaf 2040 neemt de zonne-energie nog meer de bovenhand van de totale milieu-impact. Tot uiteindelijk in 2050, de zonne-energie verantwoordelijk is voor zelfs 66% van de totale milieu-impact terwijl deze energiebron slechts instaat voor 22% van de elektriciteitsmix. Hieruit kan besloten worden dat zonne-energie geen goed alternatief is als hernieuwbare energiebron om in te investeren. Hoewel het produceren van zonnepanelen vooral bestaat uit een hoog elektriciteitsgebruik, bijgevolg zou theoretisch gezien de milieu-impact van de zonnepanelen sterk moeten dalen doorheen de jaren door het vergroenen van de elektriciteitsmix, maar zoals eerder vermeld werd deze dynamiek niet meegenomen in dit onderzoek. Tot slot is het duidelijk dat vanuit het LCA-perspectief het investeren in windturbines als hernieuwbare energie een goed alternatief is om de milieu-impact laag te houden.



Grafiek 22: De milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor 2022 tot 2082

De milieu-impact van de kantelpunten

Om een beter beeld te krijgen van de milieu-impact, wordt er verder ingezoomd op de kantelpunten. Zo wordt in Grafiek 23 de totale milieu-impact per kantelpunt opgesplitst in de verschillende CEN en CEN+ indicatoren. Ook voor de dynamische elektriciteitsmix zijn er slecht vijf indicatoren die de totale milieu-impact begroten. Dezelfde bevinding werd in *Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank* voor de statische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank ook vastgesteld. De indicatoren die een rol spelen zijn de maritieme ecotoxiciteit, de opwarming van de aarde (zowel menselijke gezondheid als terrestrisch) en de menselijke toxiciteit (zowel kankerverwekkend als niet-kankerverwekkend). Vanuit de globale trends van de grafiek is te zien dat de niet-kankerverwekkende menselijke toxiciteit doorheen de jaren toeneemt terwijl de opwarming van de aarde (menselijke gezondheid) afneemt en dat de overige indicatoren nagenoeg constant blijven.



Grafiek 23: De gedetailleerde milieu-impact van de kantelpunten van de dynamische elektriciteitsmix

Hieruit valt in eerste instantie af te leiden dat de totale milieu-impact voor meer dan de helft te verklaren valt door de menselijke toxiciteit, meer specifiek de niet-kankerverwekkende indicator. Het belang van deze indicator stijgt ook doorheen de jaren tot uiteindelijk een aandeel van 76% in 2050. Indien er gekeken wordt op het niveau van de energiebronnen, dan blijkt dat de oorzaak van deze milieu-impact niet kan toegewezen worden aan één energiebron, alhoewel in 2022 36% van de milieu-impact op vlak van niet-kankerverwekkende menselijke toxiciteit kan verklaard worden door de energiebron zonne-energie. Tijdens de productie van een PV-paneel wordt een hoeveelheid zink geloosd in het water. Deze partikels zijn schadelijk voor de mens, maar niet-kankerverwekkend. Dit verklaart rechtstreeks de impact op de niet-kankerverwekkende menselijke toxiciteit als indicator. Doorheen de jaren stijgt de elektriciteitsopwekking door zonne-energie verder, bijgevolg neemt het belang alsnar toe. Daarnaast doven de niet-hernieuwbare energiebronnen uit tegen 2050. Hierdoor wordt er sterk geïnvesteerd in windenergie en neemt ook het aandeel windenergie in de niet-kankerverwekkende menselijke toxiciteit als indicator toe. Deze toename is in 2050 25% en valt opnieuw te verklaren door het lozen van zink in water. Een overzichtstabel van de energiebronnen met hun aandelen is hieronder weergegeven. Hierbij zijn alle energiebronnen met een aandeel kleiner dan 1% niet opgenomen in deze tabel.

		2022	2025	2030	2040	2050
Nuclear	[%]	18	0	0	0	0
Biomass	[%]	7	0	0	0	0
Gas CCGT	[%]	12	12	2	2	0
Gas conventional	[%]	6	6	5	3	0
Hard coal bio	[%]	6	14	9	5	0
Hydro PS	[%]	1	1	4	2	0
Solar private single	[%]	20	24	30	32	38
Solar private double	[%]	10	15	15	17	19
Solar industrial	[%]	6	8	14	16	18
Wind offshore	[%]	8	11	11	13	14
Wind onshore	[%]	5	8	9	10	11

Tabel 11: De impact per energiebron op de niet-kankerverwekkende menselijke toxiciteit als indicator van de milieu-impact

Verder is de opwarming van de aarde (menselijke gezondheid) een tweede belangrijke indicator. Deze indicator neemt in dezelfde grootorde af als de niet-kankerverwekkende menselijke toxiciteit als indicator toeneemt. Indien de opwarming van de aarde (menselijke gezondheid) als indicator bekeken wordt op het niveau van de energiebronnen blijkt dat de oorzaak van deze milieu-impact in 2022 voor 90% te wijten is aan de energiebron gas. Tijdens de elektriciteitsproductie door gas als energiebron komen emissies vrij in de lucht, meer bepaald fossiele CO₂-emissies. Hierdoor stijgt de indicator: opwarming van de aarde (menselijke gezondheid). Vervolgens daalt de elektriciteitsproductie door gas als energiebron in de dynamische elektriciteitsmix. Terwijl de hernieuwbare energiebronnen zoals wind- en zonne-energie toenemen. Hierdoor verschuift de oorzaak van de milieu-impact van de opwarming van de aarde (menselijke gezondheid) naar niet-kankerverwekkende menselijke toxiciteit. In onderstaande tabel is de impact per energiebron op de opwarming van de aarde (menselijke gezondheid) als indicator van de milieu-impact weergegeven. De energiebronnen met een aandeel kleiner dan 1% zijn niet opgenomen in de grafiek.

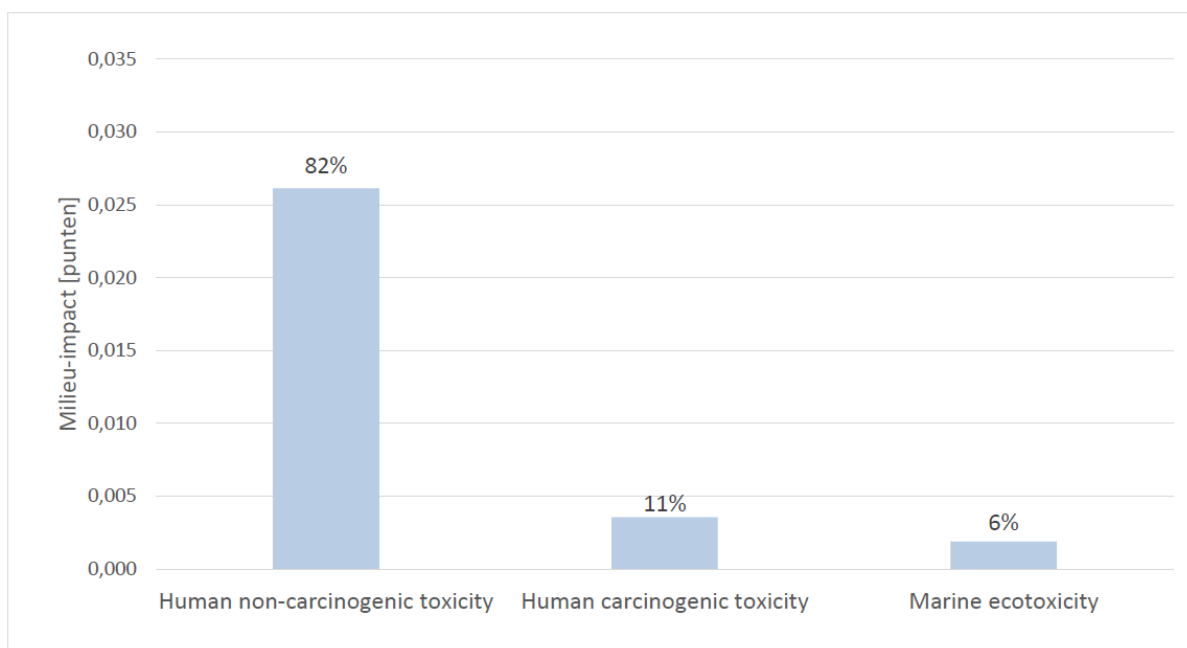
	Gas CCGT [%]	Gas conventional [%]	Hard coal bio [%]	Solar private single [%]	Solar private double [%]	Wind offshore [%]	Wind onshore [%]
2022	57	33	1	1	1	1	1
2025	58	33	2	2	1	1	1
2030	22	51	2	4	2	3	2
2040	28	41	2	7	4	5	3
2050	0	0	0	29	17	20	13

Tabel 12: De impact per energiebron op de opwarming van de aarde (menselijke gezondheid) als indicator van de milieu-impact

Het distributienet

Het distributienetwerk wordt niet in rekening gebracht bij de energiebronnen, maar wordt achteraf apart toegevoegd aan de totale milieu-impact van de elektriciteitsmix. Dit distributienet heeft een levensduur van 40 jaar en wordt volgens de Ecoinvent databank in rekening gebracht per kWh elektriciteit. Het is met andere woorden de schade die aan het milieu wordt verricht door één kWh elektriciteit doorheen het distributienet te laten stromen. De exacte benaming van het distributienet in SimaPro is Distribution network, electricity, low voltage {GLO}| market for | Cut-off, U.

Zoals te zien is in Grafiek 24 bestaat de milieu-impact van het distributienet vooral uit niet-kankerverwekkende menselijke toxiciteit met daaropvolgend de kankerverwekkende menselijke toxiciteit en de maritieme ecotoxiciteit. De indicatoren waarvan het aandeel kleiner zijn dan 1% worden niet mee opgenomen in de grafiek. Daarnaast valt in vergelijking met de milieu-impact van de elektriciteitsmix ook op dat de milieu-impact van het distributienet in dezelfde grootorde scoort. Vanaf 2050 zal de totale milieu-impact voor het opwekken van de elektriciteit tot de distributie en het gebruik bij de eindgebruiker gelijk zijn aan 0,075 milieupunten per kWh elektriciteitsproductie waarvan 41,9% te wijten is aan het distributienet. Hierdoor heeft men er alle belang bij om ook het distributienet verder te optimaliseren.

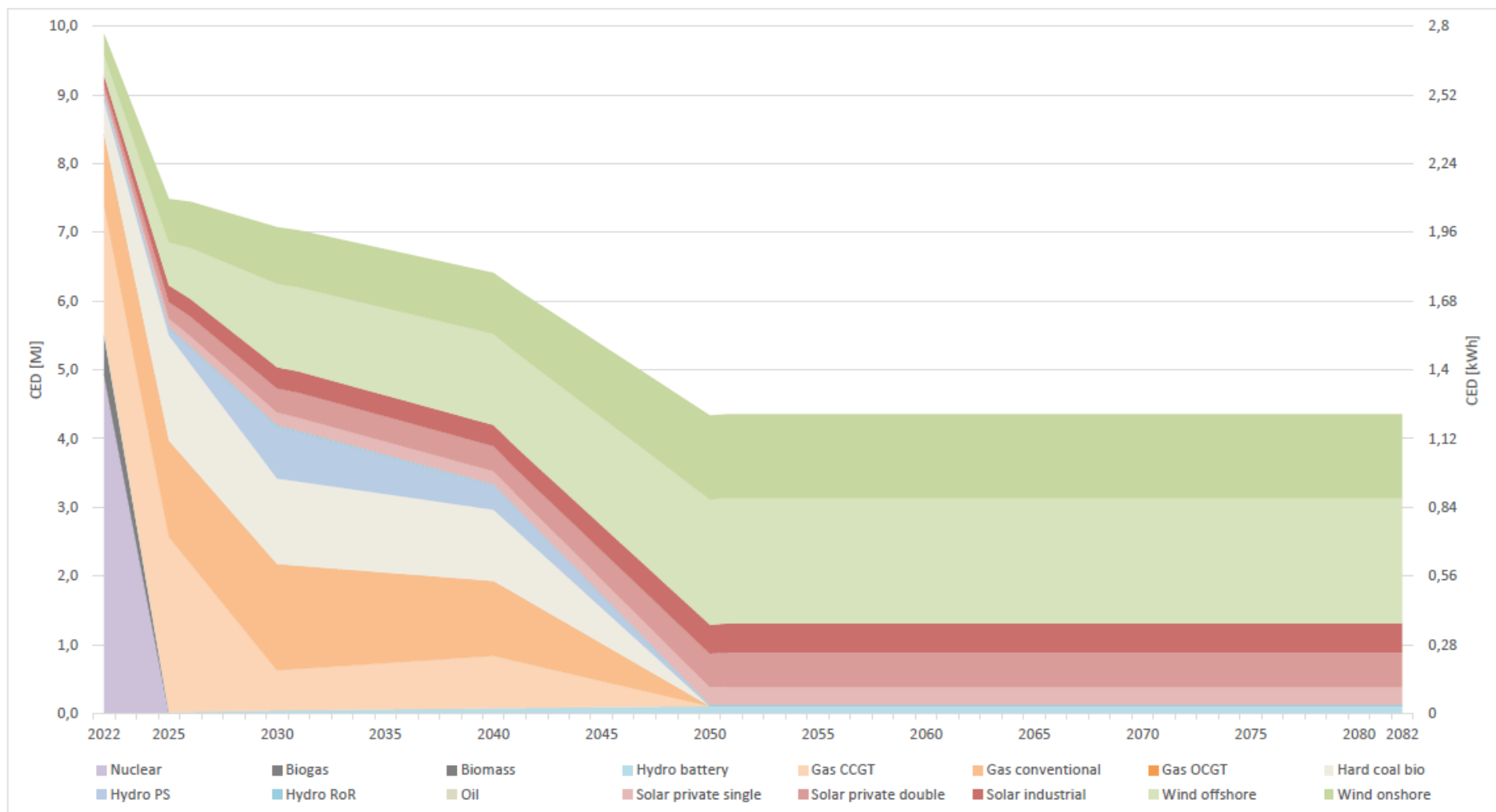


Grafiek 24: De milieu-impact van het distributienet voor één kWh elektriciteitsproductie

De primaire energie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix

Als derde onderdeel van dit hoofdstuk wordt de primaire energie vanuit het LCA-perspectief bekeken. Hiervoor wordt jaarlijks de primaire energieconversiefactor voor één kWh elektriciteitsproductie in België gekwantificeerd. De totale primaire conversiefactoren van de dynamische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 zijn terug te vinden in *Bijlage C: De dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 volgens de nationale trend*. Voor een gedetailleerd overzicht van de primaire energie met zijn subcategorieën wordt er verwezen naar de [database](#).

Op Grafiek 25 is te zien dat de primaire energie doorheen de jaren een dalende trend volgt, bijgevolg wordt de totale elektriciteitsmix alsmaar efficiënter. Hierbij is opnieuw dezelfde kleurcode aangehouden als in Grafiek 21 en Grafiek 22. In 2022 is de primaire energie van de elektriciteitsmix gelijk aan 9,88 MJ terwijl de statische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank gelijk is aan 11,31 MJ. Dit valt direct te verklaren door de verouderde inventaris van de Ecoinvent databank. Sinds de laatste aanpassing van de Belgische elektriciteitsmix uit SimaPro (2014) is de elektriciteitsopwekking door middel van nucleaire energie gedaald en door zonne-energie gestegen. Bovendien bleek uit *Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank* dat de primaire energie voor één kWh aan nucleaire energie veel hoger scoorde dan door zonne-energie. Dit verklaart direct de lagere waarde in 2022 in vergelijking met de statische elektriciteitsmix. Deze verklaring kan ook direct doorgetrokken worden voor de dalende trend tussen de kantelpunten 2022 en 2025. Zoals in Grafiek 21 wordt aangetoond zal de kernenergie uitfaseren en de elektriciteitsproductie opgevangen worden door steenkool, gas en zonne-energie. Alle drie de energiebronnen hebben een lagere primaire energieconversiefactor dan kernenergie. Tussen 2025 en 2030 alsook tussen 2030 en 2040 neemt de dalende trend geleidelijk aan af. In deze tijdspanne daalt vooral de productie door CCGT gas en stijgt de productie door windenergie. Het verschil in primaire energie van deze energiebronnen is nagenoeg klein. Hierdoor neemt de daling af. Tot slot daalt de totale primaire energie tussen 2040 en 2050 verder van 6,40 MJ naar 4,33 MJ. Deze daling kan verklaard worden door het uitdoven van de niet-hernieuwbare energiebronnen. Globaal werd in *Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank* geconcludeerd dat hernieuwbare energiebronnen (met uitzondering biomassa) lager scoorde op vlak van primaire energie in vergelijking met de niet-hernieuwbare energiebronnen.



Grafiek 25: De primaire energie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor 2022 tot 2082

De primaire energie van de kantelpunten

Ook voor de primaire energie kan er dieper ingezoomd worden op de verschillende indicatoren per kantelpunt. Zoals in de globale grafiek al duidelijk werd is ook hier te zien dat de primaire energie daalt doorheen de jaren. Deze daling valt te verklaren door de daling in de primaire energie van de niet-hernieuwbare energiebronnen. Bovendien is ook te zien dat de primaire energie van de hernieuwbare energiebronnen stijgen. Verder hebben zowel de niet-hernieuwbare energie door biomassa als de indicator hernieuwbare energie door water weinig invloed op de totale primaire energie van de dynamische elektriciteitsmix.

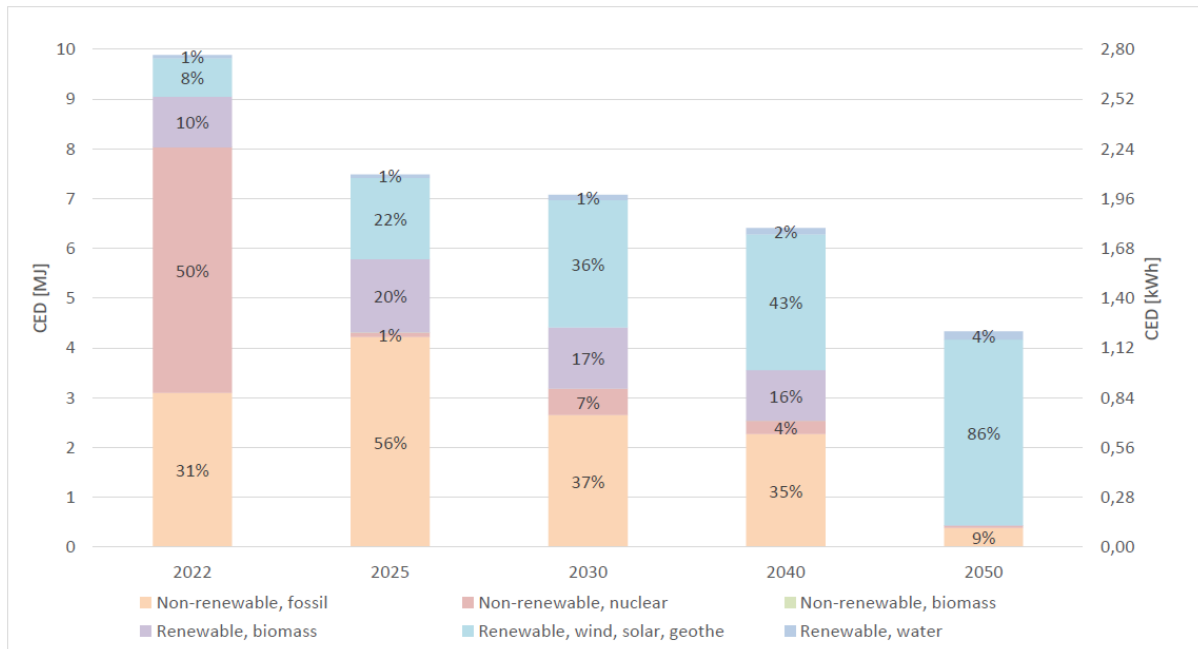
In 2022 bestaat de primaire energie vooral uit niet-hernieuwbare nucleaire energie. Door de uitfasering van de nucleaire energie valt dit aspect weg vanaf 2025. Natuurlijk wordt de elektriciteitsproductie door kernenergie opgevangen door andere energiebronnen, bijgevolg veranderd de onderlinge verhouding tussen de indicatoren. Zoals in *Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank* werd bevestigd bevat nucleaire energie een hoge primaire energie, bijgevolg is nucleaire energie niet energie-efficiënt. Dit valt te verklaren door de grondstof die nodig is om de elektriciteit te produceren. Zo heeft Uranium een primaire energie nodig van 13,3 MJ voor één kWh elektriciteitsproductie.

Vervolgens bestaat de primaire energie in 2022 voor 31% uit niet-hernieuwbare fossiele energie. Nadien neemt deze indicator in 2025 toe om daarna terug te dalen. Indien er gekeken wordt op het niveau van de energiebronnen, dan blijkt dat de oorzaak van deze primaire energie duidelijk kan toegewezen worden aan één specifieke energiebron. Deze energiebron is gas en staat in voor 93% van de niet-hernieuwbare fossiele energie in 2022. De overige 7% is verspreid over alle andere energiebronnen. Dit verklaart ook direct de trend van de niet-hernieuwbare fossiele energie. Zo zal ook gas als energiebron eerst toenemen tot in 2025 om nadien te dalen en vervolgens uit te doven in 2050. Tot slot is de primaire energie van de energiebron gas te verklaren door de energie-efficiëntie van gas als grondstof. Zo heeft één kWh elektriciteitsproductie in een CCGT centrale 7,23 MJ energie van gas nodig en in een conventionele gascentrale is dit 12,2 MJ.

Daarnaast stijgt het aandeel hernieuwbare energie door biomassa van 10% in 2022 naar 20% in 2025. Deze stijging valt te verklaren door twee energiebronnen: enerzijds is dit biomassa en anderzijds is dit biologische steenkool. De verhoudingen van deze energiebronnen ten opzichte van de totale dynamische energiemix is relatief klein. Bovendien bevatten beide energiebronnen een hoge primaire energie, bijgevolg is de elektriciteitsproductie via biomassa of biologisch steenkool een inefficiënt energieproces. Zo werd de primaire energie van biomassa al onderzocht in *Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank*. Dit onderzoek leverde een primaire energie op van 17,6 MJ. Daarnaast is de primaire energie van biologisch steenkool gelijk aan de primaire energie van biomassa. Dit komt doordat eerder werd aangenomen dat het proces van de elektriciteitsproductie door biologisch steenkool gelijk is aan het proces van biomassa. Tot slot daalt het aandeel hernieuwbare energie door biomassa van 20% in 2025 naar 16% in 2040 en uiteindelijk 0% in 2050. Dit komt door het uitdoven van de biomassa in 2025 en de biologische steenkool in 2050.

De laatste indicator dat onder de loep wordt genomen is de hernieuwbare energie door wind, zon en geothermie. Hiervan stijgt het aandeel in de totale primaire energie aanzienlijk. Zo start deze indicator in 2022 met een aandeel van 8% om uiteindelijk in 2050 te groeien tot 86%. Dit komt omdat

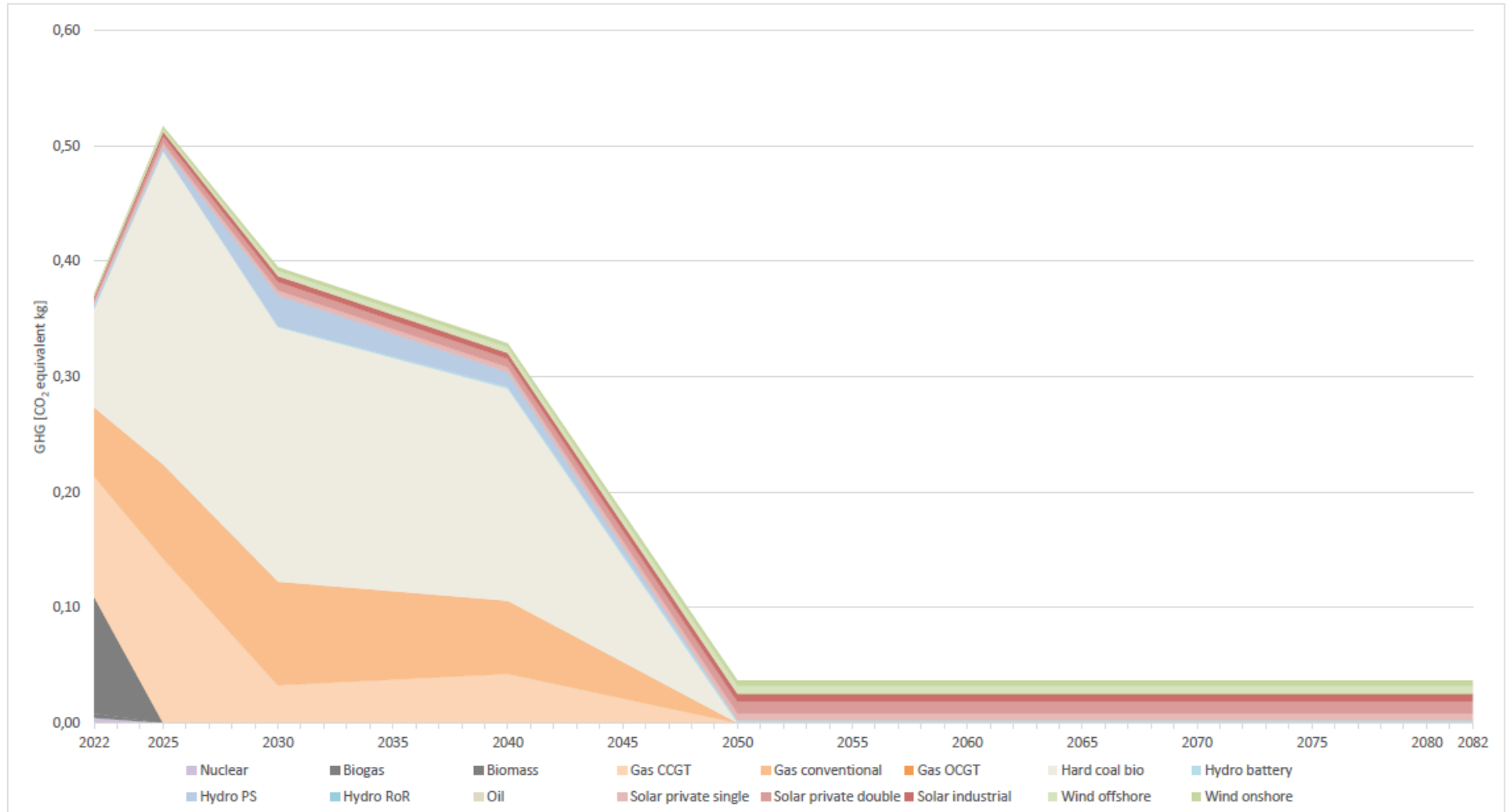
er alsmaar meer wordt ingezet op wind- en zonne-energie. Tot slot is de primaire energie voor windenergie gelijk aan de primaire energie voor zonne-energie. Zo heeft één kWh elektriciteitsproductie door een windturbine 3,87 MJ energie aan wind nodig en een zonnepaneel 3,87 MJ energie aan zon nodig.



Grafiek 26: De gedetailleerde primaire energie van de kantelpunten van de dynamische elektriciteitsmix

De CO₂-intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix

Als laatste milieueffect kan ook de CO₂-intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix afgetoetst worden voor één kWh. De totale CO₂-intensiteitsfactor van de dynamische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 is terug te vinden in *Bijlage C: De dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 volgens de nationale trend*. Voor zowel de CO₂-emissies (zonder equivalente CO₂-emissies) als de andere subcategorieën wordt er verwezen naar de [database](#). Op Grafiek 27 is het verloop van de CO₂-intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix te zien. Hierbij zal tussen de eerste twee kantelpunten de totale CO₂-intensiteitsfactor stijgen om nadien te dalen. Deze toename kan toegewezen worden aan voornamelijk biologisch steenkool maar ook aan gas. Zo stijgt biologisch steenkool met 216% en gas met 36%. Daarnaast bleek uit *Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank* dat steenkool bij de top drie van de hoogste CO₂-intensiteitsfactoren behoort. Na het hoogtepunt in 2025, daalt de CO₂-emissie in drie grote delen om vanaf 2050 constant te worden verondersteld. Tussen 2025 en 2030 is de daling te wijten aan de productie-afname van zowel CCGT gas als biologisch steenkool. Tijdens deze tijdspanne daalt de elektriciteitsproductie door CCGT gas van 34,8% naar 8,0%, bijgevolg dalen de CO₂-emissies ook met 0,11 kg CO₂ equivalent. Daarnaast daalt de elektriciteitsproductie door biologisch steenkool slechts 1,6% terwijl de CO₂-emissies dalen met 0,05 kg CO₂ equivalent. De andere energiebronnen blijven zo goed als stagneren. Vervolgens zwakt de daling af van 2030 tot 2040. Deze tragere afname heeft te maken met enerzijds een daling van biologisch steenkool als energiebron en anderzijds een toename van het CCGT gas. Beide energiebronnen produceren tijdens de elektriciteitsproductie veel CO₂-emissies, bijgevolg veroorzaken deze energiebronnen door kleine verschillen in het productievolume, grote fluctuaties van CO₂-emissies. Tot slot is de grootste daling qua CO₂-emissies tussen 2040 en 2050 het gevolg van het uitdoven van zowel alle niet-hernieuwbare energiebronnen als het biologisch steenkool. Vanaf 2050 zijn de CO₂-emissies constant. Deze CO₂-emissies zijn louter de ingebedde CO₂. Indien er tijdens dit onderzoek enkel werd gekeken naar het operationele aspect dan was de CO₂-intensiteitsfactor vanaf 2050 gelijk aan nul geweest.



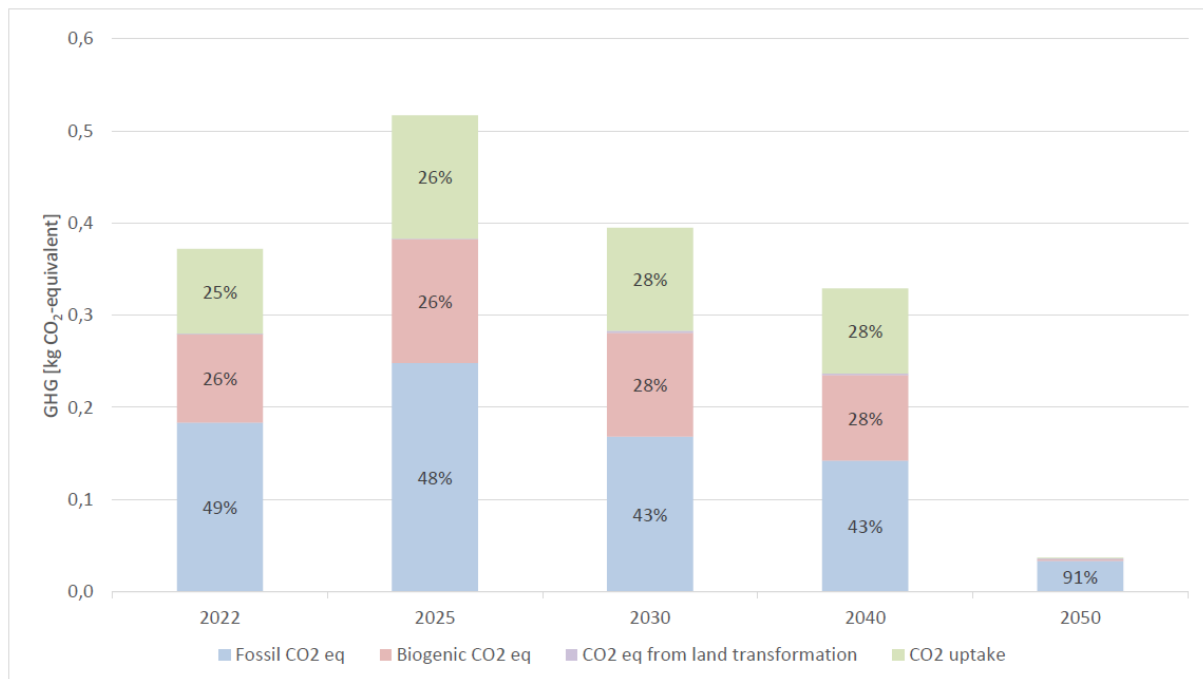
Grafiek 27: De CO₂-intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082

De CO₂-intensiteitsfactor van de kantelpunten

Tot slot wordt ook voor de CO₂-intensiteitsfactor dieper ingezoomd op de verschillende indicatoren per kantelpunt. Zoals in Grafiek 27 al duidelijk werd, is ook hier te zien dat de CO₂-intensiteitsfactor eerst zal stijgen tot in 2025 om nadien sterk te dalen. Deze stijging valt te verklaren door de stijging van de elektriciteitsproductie door zowel biologische steenkool als gas. Hierbij stijgen de fossiele CO₂-emissies ten gevolge van de toename van de elektriciteitsproductie door gas. Terwijl de biogene CO₂-emissies en de koolstofopname stijgen ten gevolge van de toename van de elektriciteitsproductie door biologisch steenkool. De onderlinge verhouding tussen de verschillende indicatoren zijn nagenoeg constant. Bovendien is de toename van de elektriciteitsproductie door gas van 2022 tot 2025 16%, terwijl de toename van de elektriciteitsproductie door biologisch steenkool slechts 8% is. Dus biologisch steenkool stoot meer koolstof uit tijdens de elektriciteitsproductie dan gas. Dit komt omdat biomassa in dit onderzoek niet als koolstofneutraal wordt beschouwd.

Van 2025 tot 2030 daalt de CO₂-intensiteitsfactor met 31%. Deze daling komt door de afname van de elektriciteitsproductie door gas. Tijdens de verbranding van gas wordt elektriciteit geproduceerd, hierbij komen fossiele koolstoffen in de lucht en deze koolstoffen zorgen voor de hoge CO₂-intensiteitsfactor. In vergelijking met de andere energiebronnen van de dynamische elektriciteitsmix geeft gas (zowel CCGT als conventioneel) de meeste CO₂-emissies vrij. Aangezien de elektriciteitsproductie door gas als energiebron daalt zal ook de CO₂-intensiteitsfactor mee dalen. Deze verklaring is geldig voor zowel het verloop van 2025 tot 2030 als voor het volgend verloop van 2030 tot 2040.

Tussen 2040 en 2050 dooft de elektriciteitsproductie door zowel de niet-hernieuwbare energiebronnen als het biologisch steenkool uit. De impact ervan is ook direct merkbaar aan de CO₂-intensiteitsfactor. Zo bestaat de CO₂-intensiteitsfactor nog voornamelijk uit fossiele koolstoffen. De reductie van de biogene koolstoffen en koolstofopname komt door het uitdoven van de elektriciteitsproductie door het biologisch steenkool. Daarnaast verminderen ook de fossiele koolstoffen met 324% en dit komt voornamelijk door het uitdoven van de niet-hernieuwbare energiebronnen. De overige productie van fossiele koolstoffen in 2050 komt niet door de elektriciteitsproductie van hernieuwbare energiebronnen, maar door de ingebedde koolstoffen. Deze koolstoffen komen vrij tijdens de productie van de constructie-elementen.



Grafiek 28: De gedetailleerde CO₂-intensiteitsfactor van de kantelpunten van de dynamische elektriciteitsmix

Het operationele perspectief vs. het LCA-perspectief

Als laatste onderzoek in dit hoofdstuk worden de gevonden resultaten naast de resultaten uit (Hamels, 2021) gelegd, er wordt dus een vergelijking opgesteld tussen het operationele en LCA-perspectief. Hierbij kan enkel gekeken worden naar de kantelpunten 2025, 2030 en 2040 omdat dit de enige gegevens zijn die vanuit het operationele perspectief voor de nationale trend werd onderzocht. Uit de database van (Hamels, 2021) worden de CO₂-intensiteiten en primaire energieconversiefactoren op jaarbasis vanuit het consumptie perspectief vergeleken met de data uit deze masterproef. Naast consumptie perspectief kan er ook gekeken worden vanuit het operationeel perspectief. Dit perspectief is niet meegenomen in de vergelijking omdat het aandeel import bij het operationeel perspectief niet in rekening wordt gebracht en bijgevolg strookt deze aanname niet met het onderzoek uit deze masterproef.

Zowel de CO₂-intensiteiten als de primaire energieconversiefactoren voor zowel het operationeel perspectief als het LCA-perspectief zijn opgesomd in onderstaande tabel. Voor de primaire energieconversiefactor wordt er vanuit het operationeel perspectief een onderscheid gemaakt tussen de twee methodes. Zo is er de nul-equivalentiemethode en de fysieke energie-inhoud methode. Deze methoden nemen respectievelijk een 0 en 1 waarde aan voor de wind-, zonne- en waterkrachttechnologieën. Beide methoden worden meegenomen in de vergelijking.

De eenheid van de primaire energieconversiefactor vanuit het operationeel perspectief is kWh_p/kWh_e. Dit is de verhouding van de elektriciteitsproductie op de geleverde elektriciteit. Daarnaast heeft de primaire energieconversiefactor vanuit het LCA-perspectief MJ als eenheid. Dit staat voor de hoeveelheid energie die nodig is (in MJ) om een eenheid aan elektriciteit te leveren. Indien deze eenheid gelijk wordt gesteld aan één MJ kunnen beide primaire energieconversiefactoren met elkaar vergeleken worden.

Daarnaast zijn de CO₂-intensiteiten vanuit het operationeel perspectief opgesteld door louter rekening te houden met de CO₂-emissies, er werd dus geen rekening gehouden met de CO₂

equivalente emissies. Hierdoor wordt ook voor de CO₂-intensiteiten vanuit het LCA-perspectief dezelfde aanname doorgetrokken.

	Het operationeel perspectief			Het LCA-perspectief	
	CO ₂ -intensiteit [g]	PEF ₀ [kWh _p /kWh _e]	PEF ₁ [kWh _p /kWh _e]	CO ₂ -intensiteit [g]	Primaire energie [MJ]
2025	144,61	1,41	1,78	516,99	2,07
2030	75,40	1,00	1,60	394,85	1,96
2040	61,81	0,69	1,39	328,88	1,78

Tabel 13: de CO₂-intensiteitsfactoren en primaire energieconversiefactoren voor de kantelpunten 2025, 2030 en 2040 vanuit het operationele als LCA-perspectief

Logischerwijs valt uit Tabel 13 te concluderen dat alle factoren vanuit het LCA-perspectief hoger scoren. Dit is te verklaren doordat het operationele perspectief louter rekening houdt met de milieueffecten van de elektriciteitsproductie, terwijl het LCA-perspectief ook rekening houdt met de milieueffecten van de constructie en de bijhorende ingebedde energie. Daarnaast dalen alle factoren door de vergroening van de elektriciteitsmix, maar er is geen direct verband te zien tussen de dalende trend van de factoren vanuit het operationele en het LCA-perspectief. Tot slot kan vanuit de vergelijking tussen het operationeel en het LCA-perspectief besloten worden dat de CO₂-intensiteit ten gevolge van de constructie alsmear belangrijker wordt. In 2025 bestaat de CO₂-intensiteit voor 72% uit ingebedde CO₂ en dit evolueert verder naar 81% voor 2040. Hetzelfde besluit kan doorgetrokken worden voor de primaire energie. Hierbij weegt de primaire energie voor de constructie met bijhorende ingebedde energie alsmear meer door dan de primaire energie voor de productie. Zo daalt de operationele energie van 68% in 2025 naar 39% in 2040 indien de primaire energie bepaald wordt aan de hand van de nul-equivalentiemethode. Vervolgens daalt de operationele energie van 86% naar 78% indien er rekening wordt gehouden met de fysieke energie-inhoud methode.

Conclusie

Vooraleer het eerste deel van het onderzoek wordt afgerond, zullen hieronder nog de belangrijkste conclusies worden meegegeven. Om te beginnen werd eerst de dynamische elektriciteitsmix samengesteld op basis van twee grote bronnen: enerzijds was dit (Hamels, 2021) en anderzijds het TYNDP rapport van ENTSO-E (ENTSO-E & ENTSOE, 2020). Daarnaast werden tijdens het opstellen de verschillende soorten aannames besproken. Uiteindelijk leidde dit deelonderzoek tot een dynamische elektriciteitsmix. Verder konden aan de hand van deze elektriciteitsmix de milieueffecten gekoppeld worden.

Eerst werd de milieu-impact onderzocht. Hierbij werd duidelijk dat de milieu-impact eerst een stijgende trend tot in 2030 vertoont en nadien een dalende. Daarnaast werd ook duidelijk dat vanaf 2040 de zonne-energie instaat voor een alsmear belangrijker aandeel van de milieu-impact. Dit kon echter genuanceerd worden door kritisch om te gaan met de aannames in dit onderzoek. Zo werd de dynamiek van de elektriciteitsmix niet doorgevoerd in de verdere rangordes, met andere woorden de constructie-elementen. Doordat het produceren van PV-panelen gepaard gaat met een hoog elektriciteitsgebruik, weegt deze aanname sterk door in de totale milieu-impact. Vervolgens werd de milieu-impact van de verschillende kantelpunten grondiger onderzocht. Zo werd geconcludeerd dat de belangrijkste indicator de niet-kankerverwekkende menselijke toxiciteit is. Bovendien kon voor de beginjaren deze indicator niet aan één energiebron gekoppeld worden. Tegen 2050 stijgt het belang

van zonne-energie en veroorzaakt zonne-energie 75% van de milieu-impact van de niet-kankerverwekkende menselijke toxiciteit. Tot slot werd in *Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank* de totale milieu-impact voor één kWh van de statische elektriciteitsmix uit SimaPro gekwantificeerd en gelijkgesteld aan 0,092 milieupunten, waardoor de totale milieu-impact over een levensduur van 60 jaar met een jaarlijks gebruik van één kWh gelijk is aan 5,52 punten. Terwijl dezelfde aannames voor de dynamische elektriciteitsmix een milieuscore van 2,73 punten oplevert. Hierdoor maakt de statische elektriciteitsmix een overschatting van 102%.

Naast de milieu-impact werd ook de primaire energie onderzocht. Hieruit bleek dat de totale elektriciteitsmix alsmat efficiënter werd. Daarnaast werd de eerste dalende trend verklaard door de uitfasering van kernenergie. De tweede trend kwam door de daling van de elektriciteitsproductie door CCGT gas en de derde trend door het uitdoven van de niet-hernieuwbare energie. Indien meer ingezoomd werd op de primaire energie per kantelpunt, is het duidelijk dat de nucleaire niet-hernieuwbare energie in 2022 verantwoordelijk is voor meer van de helft van de primaire energie. Vanaf 2025 valt deze indicator weg en wordt de dominerende indicator de niet-hernieuwbare fossiele energie. Uiteindelijk wordt deze indicator alsmat minder belangrijk ten gevolge van de toename in de hernieuwbare energie door zon, wind en geothermie. De primaire energie voor één kWh van de statische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank werd in *Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank* gelijkgesteld aan 11,31 MJ, bijgevolg is de totale primaire energie over een levensduur van 60 jaar met een jaarlijks gebruik van één kWh gelijk aan 678,6 MJ. Indien de primaire energie met dezelfde aannames voor de dynamische elektriciteitsmix wordt gekwantificeerd, wordt er een totaal bekomen van 330,23 MJ. Opnieuw maakt de statische elektriciteitsmix een overschatting met ditmaal 105%.

Tot slot werd ook de CO₂-intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix afgetoetst voor één kWh. Hier is de belangrijkste conclusie dat de CO₂-intensiteitsfactor eerst zal stijgen vooraleer deze factor daalt. Deze trend kan vooral toegewezen worden aan de elektriciteitsproductie van zowel biologisch steenkool als gas. Daarnaast voedt de energiebron gas vooral de fossiele CO₂-emissies als indicator, terwijl het biologisch steenkool als energiebron vooral een invloed heeft op de biogene koolstof en de koolstofopname als indicatoren van de CO₂-intensiteitsfactor. Indien men ook voor dit milieueffect de dynamische elektriciteitsmix aftoetst aan de statische, wordt er opnieuw een overschatting gevonden van 19%. De statische en dynamische elektriciteitsmix hebben een CO₂-intensiteitsfactor van respectievelijk 12,43 en 10,44 kg CO₂ equivalent over een levensduur van 60 jaar. Als laatste opmerking voor het afsluiten van dit hoofdstuk, werd in de bovenstaande vergelijking van de statische en dynamische elektriciteitsmix zonne-energie als energiebron niet meegenomen in de statische elektriciteitsmix, terwijl dit in de dynamische elektriciteitsmix wel gebeurde. Echter zou de toevoeging van zonne-energie bij de statische elektriciteitsmix leiden tot een grotere foutmarge.

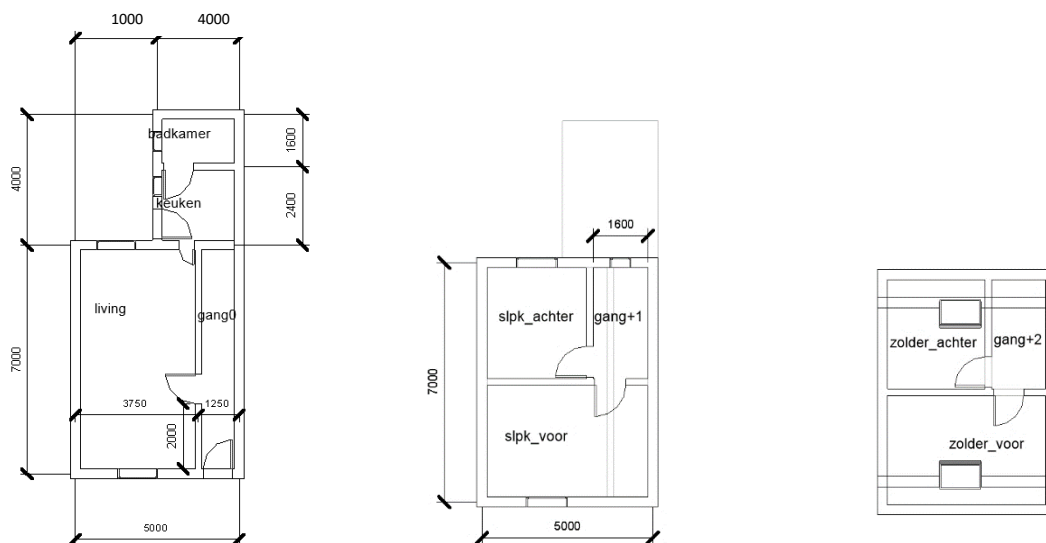
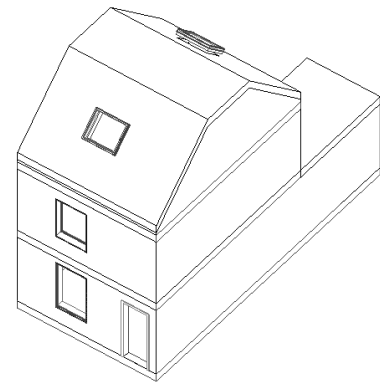
Hoofdstuk 7: De milieueffecten van een rijwoning met de implementatie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix

Aanpak

In dit hoofdstuk zal de eerder opgestelde dynamische Belgische elektriciteitsmix geïmplementeerd worden in de levenscyclusanalyse van een rijwoning. Hiervoor wordt eerst de rijwoning als referentiemodel met de bijhorende aannames besproken. Vervolgens zal dit hoofdstuk bestaan uit twee delen. In het eerste deel zal de milieu-impact van de rijwoning gekwantificeerd worden, terwijl in het tweede deel de CO₂-intensiteit van de rijwoning bepaald wordt. De implementatie van de elektriciteitsmix gebeurt aan de hand van vier gradaties. Eerst zal de statische Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank gebruikt worden om de LCA te berekenen. Nadien zal de statische Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank in module B6 vervangen worden door de huidige elektriciteitsmix van 2022. Daarna zal de statische elektriciteitsmix in module B6 vervangen worden door de dynamische elektriciteitsmix. Uiteindelijk zal de dynamische elektriciteitsmix geïntegreerd worden in alle systeemgrenzen.

Het referentiemodel

Voor het tweede deel van het onderzoek wordt beroep gedaan op een typische rijwoning. Hierbij is van belang om op te merken dat in het onderzoek getracht wordt om conclusies te trekken die niet enkel belang hebben op deze specifieke woning, maar algemeen doorgetrokken kunnen worden naar andere rijwoningen. De geometrie van het referentiemodel bestaat uit een gelijkvloers met een achterbouw, een eerste verdieping en een zolderverdieping. De verdiepingshoogte is voor het gelijkvloer 2,70 m en voor het eerste verdiep en het zolderverdiep 2m60. In Figuur 3 is het referentiemodel met de indeling en bijhorende afmetingen weergegeven.



Figuur 3: Het grondplan van het gelijkvloers, het eerste verdiep en het zolderverdiep van het referentiemodel

Alvorens de milieu-impact van het referentiemodel wordt gekwantificeerd, worden eerst alle vrijheidsparameters vastgelegd. Zo wordt voor het gebruikersprofiel de woning opgesplitst in twee zones. De leefruimte, keuken en badkamer worden beschouwd als de leefzone en is verwarmd met een setpunt van 21°C. De slaapkamers, zolderkamers en circulatie worden beschouwd als slaapzone met een setpunt van 17°C. Het referentiemodel wordt in totaal 15 uur per dag verwarmd. De tweede vrijheidsparameter is de isolatiegraad. Er wordt aangenomen dat de woning goed is geïsoleerd. Zo wordt als U-waarde voor het dak, de vloer en de muren minimum 0,24 W/m²K gehanteerd. Voor de beglazing van de ramen wordt aangenomen dat er dubbel glas aanwezig is, dit komt overeen met een U-waarde van 2,90 W/m²K. De derde vrijheidsparameter is de graad van ventilatie. Hiervoor wordt aangenomen dat de woning voorzien is van natuurlijke ventilatie met een gemiddelde luchtwisseling oftewel 0,2 ACH. Tot slot is er nog een overzichtstabel van de aannames hieronder weergegeven.

De geometrie		
De breedte van het hoofdgebouw	5	m
De breedte van het achterbouw	4	m
De diepte van het hoofdgebouw	7	m
De diepte van het achterbouw	4	m
De verdiepingshoogte van het gelijkvloers	2,7	m
De verdiepingshoogte van het eerste verdiep	2,6	m
De verdiepingshoogte van het tweede verdiep	2,6	m
De grootte van een raamopening	5	m ²
Het gebruiksprofiel		
De verwarmingstijd	15	uur
Setpunt leefzone	21	°C
Setpunt slaapzone	17	°C
Isolatiegraad		
U-waarde dak	0,24	W/m ² K
U-waarde vloer	0,24	W/m ² K
U-waarde muren	0,24	W/m ² K
U-waarde ramen	2,90	W/m ² K
Natuurlijke ventilatie		
Ventilatievoud	0,2	ACH

Tabel 14: de vrijheidsparameters van het referentiemodel

De gebouwcomponenten

Aan de hand van bovenstaande vrijheidsparameters kunnen alle gebouwcomponenten bepaald worden. Zo wordt de buitenmuur opgebouwd aan de hand van een ETICS-systeem. Daarnaast bestaat het hellend dak uit een houten dakstructuur. Terwijl het plat dak bestaat uit ter plaatste gegoten beton. Tot slot bestaan de ramen uit dubbel glas met een aluminium omkadering en de deur uit hout en aluminium. Voor de specifieke opbouw wordt verwezen naar *Bijlage D: De milieu-impact van het referentiemodel*.

Uit deze opbouwen in combinatie met de vorige aannames kan het energieverbruik per jaar geschat worden. Het energieverbruik is bepaald aan de hand van een tool ontwikkelt aan de onderzoeksgroep bouwfysica van de Universiteit van Gent in het kader van het doctoraat van Marc Delghust (Delghust, Improving the predictive power of simplified residential space heating demand models: a field data and model driven study, 2015). Zoals ook werd beschreven in (Delghust, Strobbe, De Meyer, &

Janssens, 2015). Voor deze referentiewoning wordt voor de leefzone en de slaapzone respectievelijk een verbruik van 4774 kWh en 186 kWh aan warmte geschat. Dit levert een totaal verbruik van 4960 kWh per jaar op. Hiervoor wordt een warmtepomp als opwekkingsstelsel voorzien.

Om een inschatting te maken van de milieu-impact van het referentiemodel worden enkele vereenvoudigingen gehanteerd. Zo wordt er enkel rekening gehouden met de bouwschil. Er worden geen binnenwanden, deuren of technische installaties gemodelleerd.

De milieu-impact van een rijwoning

De milieu-impact van de gebouwcomponenten

Zoals eerder besproken in *Hoofdstuk 4: De onderzoeksmethodologie* is het doel om een methodologisch kader voor de dynamische levenscyclusanalyse uit te werken door middel van een typische rijwoning aan de hand van verschillende aannames te onderzoeken. Om dit onderzoek te vereenvoudigen worden enkel module A en B meegenomen. De details over de milieu-impact per gebouwcomponent is terug te vinden in *Bijlage D: De milieu-impact van het referentiemodel*. Hierin wordt ook een tabel meegegeven met de materiaalsoort en de bijhorende benaming uit de Ecoinvent databank. De samenvattende tabel van de oppervlakte, de milieu-impact per oppervlak en de totale milieu-impact per gebouwcomponent is hieronder weergegeven.

	Oppervlakte [m ²]	Milieu-impact per oppervlakte [punten/m ²]	Totale milieu-impact [punten]
Buitenmuur	71,00	16,77	1191
Hellend dak	48,70	13,67	666
Plat dak	15,00	49,30	740
Vloer	50,00	64,54	3227
Ramen	17,50	97,26	1702
Deuren	4,00	204,22	817
Totale milieu-impact			8342 punten

Tabel 15: De milieu-impact per gebouwcomponent van het referentiemodel

De milieu-impact van module B6 via de statische Belgische elektriciteitsmix uit SimaPro
 Vervolgens wordt de milieu-impact van de Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank berekend voor module B6: het operationeel energiegebruik. Deze berekening verloopt volgens de statische methode. Zo wordt het energieverbruik voor één jaar berekend en hieraan de milieu-impact toegekend. Deze milieu-impact wordt vervolgens vermenigvuldigd over de levensduur van 60 jaar. Het totale energieverbruik per jaar van het referentiemodel is 4960 kWh. Daarnaast is de milieu-impact voor één kWh elektriciteitsproductie van de statische Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank gelijk aan 0,06 milieupunten. De totale milieu-impact van het energieverbruik voor één jaar is bijgevolg gelijk aan 298 punten en voor 60 jaar gelijk aan 17860 punten. Hierbij is het distributienet nog niet rekening gebracht. Dit wordt nadien apart toegevoegd. Tabel 16 geeft een overzicht weer voor de totale milieu-impact van de statische Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank.

	Energieverbruik [kWh/jaar]	Levensduur [jaar]	Totaal energieverbruik [kWh]	Milieu-impact per kWh [punten/kWh]	Totale milieu-impact [punten]
Elektriciteitsmix	4960	60	297699	0,0600	17860
Distributie	4960	60	297699	0,0317	9444

Totale milieu-impact	27304 punten
----------------------	--------------

Tabel 16: De milieu-impact van de statische Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank voor het referentiemodel

Tot slot is de totale milieu-impact van het referentiemodel gelijk aan de som van milieu-impact van de gebouwcomponenten en de milieu-impact van het energieverbruik. In dit geval is de totale milieu-impact over een levensduur van 60 jaar gelijk aan 35646 punten. Om een referentiewaarde mee te geven wordt deze milieu-impact ook per m² vloeroppervlakte meegegeven. Deze referentiewaarde is gelijk aan 238 punten/m². Hiervoor is het totale vloeroppervlak van 150 m² gebruikt. Vervolgens valt hierbij op te merken dat dit vloeroppervlak bestaat uit zowel het oppervlak van het gelijkvloer, de eerste verdieping als de zolderverdieping. De milieu-impact werd louter bepaald door de bouwschil, bijgevolg werd de vloer van het eerste verdiep en de zolderverdieping niet mee in rekening gebracht.

De milieu-impact van module B6 via de statische Belgische elektriciteitsmix van 2022

Zoals eerder vermeld is de elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank gedateerd. Hierdoor wordt als eerste adaptatie de Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank vervangen door de elektriciteitsmix van 2022, maar de berekening wordt nog steeds statisch uitgevoerd. In Tabel 17 wordt de elektriciteitsmix van 2022, die in *Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix* werd opgesteld, meegegeven. Tot slot wordt in Tabel 18 de milieu-impact van deze elektriciteitsmix berekend via dezelfde werkwijze als hiervoor.

		2022
Biogas	[%]	0,4
Biomass	[%]	3,2
Gas CCGT	[%]	25,5
Gas conventional	[%]	8,3
Gas OCGT	[%]	0
Hard coal bio	[%]	2,8
Hydro battery	[%]	0,9
Hydro Pumped Storage	[%]	0,5
Hydro run of river	[%]	0,5
Nuclear	[%]	36,7
Oil	[%]	0,1
Solar private single	[%]	1,3
Solar private dubbel	[%]	2,6
Solar industrial	[%]	2,4
Wind offshore	[%]	7,4
Wind onshore	[%]	7,4

Tabel 17: De Belgische elektriciteitsmix van 2022

	Energieverbruik [kWh/jaar]	Levensduur [jaar]	Totaal energieverbruik [kWh]	Milieu-impact per kWh [punten/kWh]	Totale milieu-impact [punten]
Elektriciteitsmix	4960	60	297699	0,0409	10106
Distributie	4960	60	297699	0,0317	9444
Totale milieu-impact				19550 punten	

Tabel 18: De milieu-impact van de statische Belgische elektriciteitsmix van 2022 voor het referentiemodel

De totale milieu-impact van het referentiemodel over een levensduur van 60 jaar met de statische Belgische elektriciteitsmix van 2022 is gelijk aan 27892 punten. De bijhorende referentiewaarde is gelijk aan 186 punten/m². In vergelijking met de elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank levert de verfijning van de statische elektriciteitsmix een reductie van 22% op. Hieruit valt af te leiden dat sinds 2014 tot nu de milieu-impact van de elektriciteitsmix gedaald is.

De milieu-impact van module B6 via de dynamische Belgische elektriciteitsmix

Om de milieu-impact van het operationeel energiegebruik dynamisch te berekenen, wordt de jaarlijkse milieu-impact voor één kWh van de dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de nationale trend uit *Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix* toegepast op dit referentiemodel. De jaarlijkse milieueffecten van de dynamische elektriciteitsmix voor het referentiemodel zijn terug te vinden in *Bijlage D: De milieu-impact van het referentiemodel*. Onderstaande tabel geeft de totale milieu-impact over de levensduur van 60 jaar weer.

	Energieverbruik [kWh/jaar]	Levensduur [jaar]	Totaal energieverbruik [kWh]	Milieu-impact per kWh [punten/kWh]	Totale milieu-impact [punten]
Elektriciteitsmix	4960	60	297699	-	13331
Distributie	4960	60	297699	0,0317	9444
Totale milieu-impact				22774 punten	

Tabel 19: De milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor het referentiemodel

De totale milieu-impact van het referentiemodel over een levensduur van 60 jaar is gelijk aan 33116 punten, waarvan 73% te verklaren valt door het operationeel energieverbruik aan de hand van de dynamische elektriciteitsmix. De referentiewaarde is 207 punten/m². In vergelijking met de statische elektriciteitsmix van 2022 leidt de dynamische berekening tot een stijging van 12%. Deze overschatting valt te verklaren doordat de laagste milieu-impact van de dynamische elektriciteitsmix in het jaar 2022 valt. Hierdoor wordt toevallig de laagste waarde vermenigvuldigd over de volledige levensduur. Terwijl de dynamische elektriciteitsmix zodanig evolueert dat de milieu-impact van de elektriciteitsmix van 2022 zelfs tot 31% kan afwijken van de dynamische elektriciteitsmix. Bovendien valt de beperkte stijging van 12% te verklaren door de dynamiek van de elektriciteitsmix. Zoals aangehaald in *Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix* zal de eerste jaren de milieu-impact van de elektriciteitsmix stijgen om nadien pas te dalen. Deze fluctuatie zorgt ervoor dat de stijging en de daling van de milieu-impact over een levensduur van 60 jaar elkaar opheffen. Hierdoor blijft de stijging van de milieu-impact van de referentiewoning nagenoeg beperkt. Bovendien is de elektriciteitsmix dynamisch gesimuleerd maar blijft het distributienet een statische factor, die bij de dynamische elektriciteitsmix nog steeds verantwoordelijk is voor 30% van de milieu-

impact (in module B6). Hieruit kan besloten worden dat het van belang is dat de milieu-impact van het verder distributienet geoptimaliseerd wordt.

De milieu-impact van het referentiemodel met de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in alle systeemgrenzen

Als laatste onderdeel in dit onderzoek wordt de dynamische elektriciteitsmix maximaal geïntegreerd in het referentiemodel. Zo wordt de dynamische elektriciteitsmix niet alleen ingezet voor het berekenen van de milieu-impact voor module B6, maar voor alle systeemgrenzen. Hierbij wordt de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix beperkt tot de eerste rang processen. Dit zijn de onderlinge processen die in de Ecoinvent database tevoorschijn komen bij het eerste maal openklikken van een proces.

Voor de gebouwcomponenten wordt het aandeel elektriciteit uit de huidige berekening gehaald en gekoppeld aan de dynamische elektriciteitsmix. Voor de productiefase van de gebouwcomponenten is er geen verschil waarneembaar tussen een statische of dynamische elektriciteitsmix, maar dit moet verder genuanceerd worden. In dit onderzoek zal er wel degelijk een verschil zijn tussen de statische en dynamische elektriciteitsmix omdat de elektriciteitsmix van 2022 in de dynamische mix niet overeenkomt met de huidige elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank. Bovendien zitten in de huidige processen de statische elektriciteitsmix van de Ecoinvent databank vervat, terwijl in dit onderzoek de elektriciteitsmix uit 2022 wordt gebruikt. Daarnaast zal de dynamische elektriciteitsmix voor de vervangingsfase wel een impactsverschil veroorzaken.

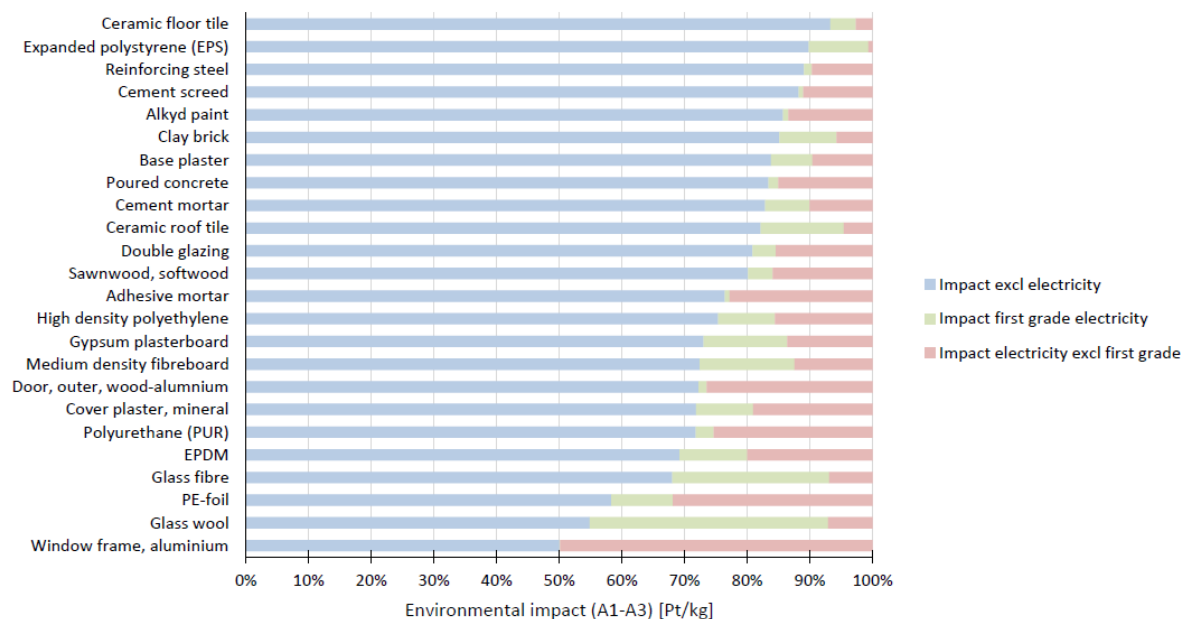
In *Bijlage D: De milieu-impact van het referentiemodel* zijn opnieuw de details van de berekeningen voor de milieu-impact van de gebouwcomponenten toegevoegd. Ditmaal wordt ook in de tabel het elektriciteitsaandeel per materiaal met bijhorende milieu-impact meegegeven. In de samenvattende tabel worden zowel de totale milieu-impact per oppervlak en per gebouwcomponent als de milieu-impact van het gedeelte elektriciteit per oppervlak en per gebouwcomponent meegegeven.

	Energieverbruik [kWh]	Milieu-impact elektriciteit [punten]	Milieu-impact per oppervlakte [punten/m ²]	Totale milieu-impact [punten]
Buitenmuur	505,199	30,289	17	1181
Hellend dak	863,807	46,155	14	683
Plat dak	53,637	3,935	49	738
Vloer	598,502	31,775	53	2649
Ramen	47,680	8,020	95	1660
Deuren	22,080	2,312	204	816
Totale milieu-impact				7728 punten

Tabel 20: De milieu-impact per gebouwcomponent van het referentiemodel met de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in alle systeemgrenzen

Uit de overzichtstabel valt af te leiden dat de milieu-impact voor de gebouwcomponenten overeenkomt met 7728 punten. De totale milieu-impact van het referentiemodel met de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in alle systeemgrenzen is bijgevolg 30503 punten. De referentiewaarde is 203 punten/m². In vergelijking met de milieu-impact van het referentiemodel, waarin de dynamische elektriciteitsmix louter is geïmplementeerd in module B6, bevat de implementatie van de elektriciteitsmix in alle systeemgrenzen een daling van amper 2%.

Deze beperkte daling kan verklaard worden door de relatief lage elektriciteitsvraag tijdens de eerste rang processen van het productieproces. Verder kan 94% van de daling toegewezen worden aan de elektriciteitsvraag voor de vloer op volle grond. Indien meer specifiek naar de materialen wordt gekeken valt op dat de productie van de keramische tegel bestaat uit een hoge elektriciteitsvraag tijdens het eerste rang proces, bijgevolg levert deze elektriciteitsvraag een hogere milieu-impact op. Bovendien blijkt dat de hogere elektriciteitsvraag instaat voor slechts 4% van de milieu-impact van de keramische tegel. Uit dit onderzoek blijkt dat de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in alle systeemgrenzen in de eerste rang processen voor de referentiewoning geen meerwaarde levert. Desondanks kan er uit dit onderzoek niet geconcludeerd worden dat de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in alle systeemgrenzen geen meerwaarde oplevert. Zo onderzocht Yanaika Decorte in kader van een lopend onderzoek aan de onderzoeksgroep bouwfysica van de Universiteit van Gent of het elektriciteitsverbruik van deze gebouwcomponenten al dan niet in het eerste rang proces plaatsvindt. De resultaten zijn terug te vinden in Grafiek 29. Hierbij is te zien dat de onderlinge verhoudingen hard kunnen verschillen. Zo bevatten materialen die uit meerdere componenten bestaan (zoals een raam dat bestaat uit glas en een omkadering) een elektriciteitsvraag dat voornamelijk gevestigd op de diepere gelegen processen. Hierbij bestaat het eerste rang proces voornamelijk uit het samenbrengen van materialen, bijgevolg komt hier weinig elektriciteit bij te pas. Indien gekeken wordt naar een materiaal dat uit één component bestaat zoals glaswol dan zit de elektriciteitsvraag voornamelijk gevestigd in het eerste rang proces.



Grafiek 29: De onderlinge verhouding van de milieu-impact ten gevolge van de elektriciteit in het eerste rangproces, milieu-impact van de elektriciteit in de overige rangprocessen en de overige milieu-impact

Conclusie

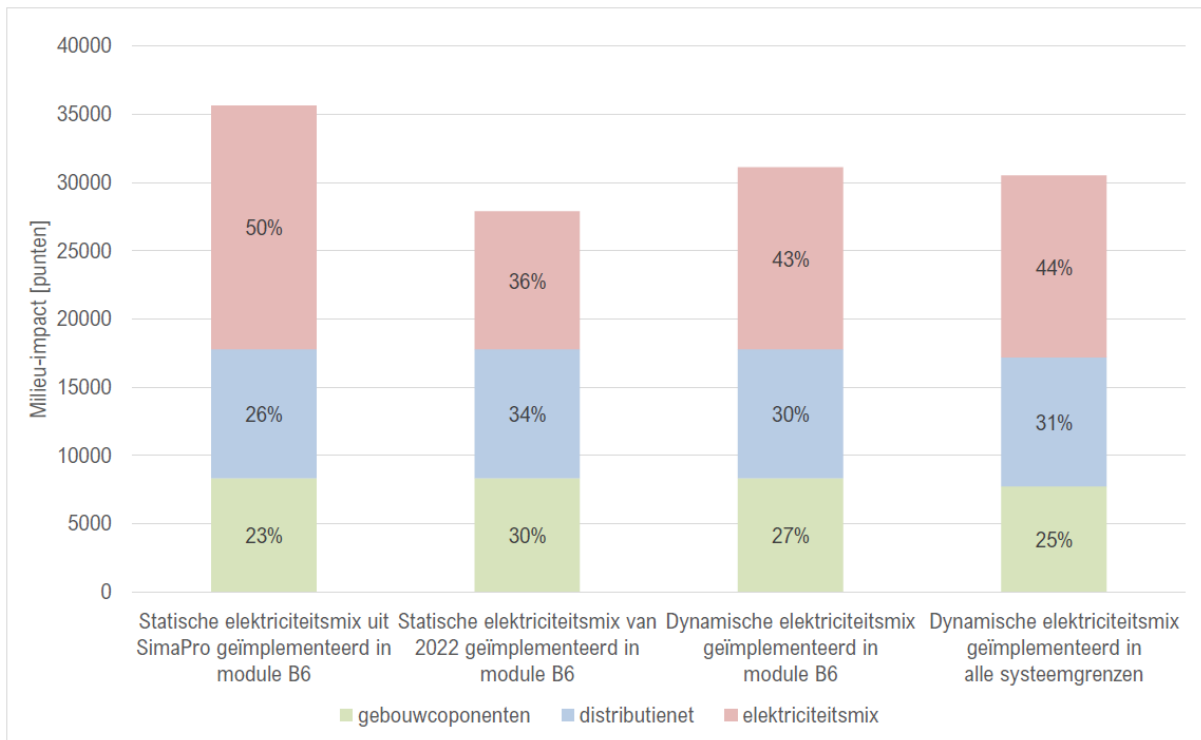
Het eerste aspect van dit hoofdstuk was de milieu-impact van het rijhuis met de statische Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank berekenen. Hieruit bleek dat deze milieu-impact voor 77% het gevolg is van het operationeel energiegebruik (module B6).

Vervolgens werd de statische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank vervangen door de elektriciteitsmix van 2022 uit *Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix*. Hieruit bleek dat de verfijning van de statische elektriciteitsmix een reductie van 21% oplevert. Deze reductie valt te verklaren door de nieuwe samenstelling die bestaat uit veel meer zonne- en windenergie. Hierdoor is het belangrijk dat er tijdens een levenscyclusanalyse kritisch wordt omgegaan met de data die toegereikt wordt in SimaPro.

Nadien werd de statische elektriciteitsmix voor het eerst vervangen door de dynamische elektriciteitsmix. Deze aanpassing werd enkel doorgevoerd in module B6: het operationeel energiegebruik. Hierdoor werd duidelijk dat de milieu-impact van deze variant een stijging veroorzaakt van 12% in vergelijking met de milieu-impact van de referentiewoning met de implementatie van de statische Belgische elektriciteitsmix van 2022. Deze uitkomst werd verklaard door de veranderde milieu-impact van de dynamische elektriciteitsmix. Zo zal de milieu-impact van de elektriciteitsmix voor België eerst stijgen om nadien te dalen. Dit verloop is kenmerkend voor de elektriciteitsmix van België en is te verklaren door de uitfasering van de nucleaire energie. Verder werd ook duidelijk dat het distributienet verantwoordelijk is voor een relatief groot aandeel van de milieu-impact van de elektriciteitsmix.

Als laatste deelonderzoek werd de milieu-impact onderzocht van het referentiemodel waarbij de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in alle systeemgrenzen werd toegepast. Hierbij werd duidelijk dat de reductie van de milieu-impact niet opweegt tegenover het extra werk van de verdere detaillering van de levenscyclusanalyse. Uit het extra onderzoek van Y. Decorte werd duidelijk dat de resultaten zeer wisselend zijn en bovendien afhankelijk van de soort materialen of processen.

Tot slot valt vanuit deze bevindingen te bemerken dat in eerste instantie de statische elektriciteitsmix de huidige situatie moet representeren. Doordat de elektriciteitsmix in een constante evolutie zit, moet er kritisch omgegaan worden met de huidige data. Bovendien is deze bevinding een dynamische tijdsfactor die besproken werd in de *Levenscyclusinventarisatie van Hoofdstuk 2: Dynamische levenscyclusanalyse*. Vervolgens verfijnt het implementeren van een dynamische elektriciteitsmix in de levenscyclusanalyse van een woning weldegelijk het onderzoek. Hierbij kan de toepassing van de dynamische elektriciteitsmix in de module B6: het operationeel energiegebruik aangeraden worden. Daarnaast valt verdere implementatie in de eerste rang processen van de andere systeemgrenzen niet aan te raden door de beperkte invloed op de milieu-impact. In Grafiek 30 wordt een overzicht weergegeven van de verschillende implementaties van de elektriciteitsmix met de bijhorende milieu-impact van het referentiemodel.



Grafiek 30: De milieu-impact van het referentiemodel per implementatievariant van de elektriciteitsmix

De CO₂-intensiteitsfactor van een rijwoning

In het voorgaande werd telkens de milieu-impact volgens de ReCiPe Endpoint methode in beschouwing genomen. Bovendien werd vanuit de bekomen resultaten conclusies genomen, maar deze conclusies hangen sterk af van de gebruikte methode. Hierdoor zal in dit onderdeel de ReCiPe methode vervangen worden door de GHG methode. Zo wordt er vanuit een ander perspectief gekeken naar de resultaten, waardoor de bovenstaande bevindingen opnieuw in vraag worden gesteld.

De CO₂-intensiteitsfactor van de gebouwcomponenten

Voor het tweede luik van het onderzoek worden dezelfde aannames uit het eerste deel overgenomen. Zo zal ook enkel module A en B meegenomen worden in de LCA. Hierbij worden alle onderdelen van de gebouwcomponenten, zoals hout, koolstofneutraal beschouwd. Dit komt omdat de afvalverwerkingsfase niet wordt meegenomen in het onderzoek, bijgevolg worden alle constructie-onderdelen in het gebouw verwerkt en blijven deze onderdelen tijdens de scope van het onderzoek intact. Hierbij komen de opgenomen koolstoffen niet opnieuw vrij.

De details over de CO₂-intensiteitsfactor per gebouwcomponent is terug te vinden in *Bijlage D: De milieu-impact van het referentiemodel*. Hierin wordt ook een tabel meegegeven met de materiaalsoort en de bijhorende benaming uit de Ecoinvent databank. De samenvattende tabel van de oppervlakte, de CO₂-intensiteitsfactor per oppervlak en de totale CO₂-intensiteitsfactor per gebouwcomponent is hieronder weergegeven.

	Oppervlakte [m ²]	CO ₂ -intensiteitsfactor per oppervlakte [kg CO ₂ equivalent/m ²]	Totale CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]
Buitenmuur	71,00	113,13	4793
Hellend dak	48,70	34,70	-319
Plat dak	15,00	149,70	1517
Vloer	50,00	127,47	4971
Ramen	17,50	11,93	188
Deuren	4,00	31,09	62

Totale CO ₂ -intensiteitsfactor	11213 kg CO ₂ equivalent
--	-------------------------------------

Tabel 21: De CO₂-intensiteitsfactor per gebouwcomponent van het referentiemodel

De CO₂-intensiteitsfactor van module B6 via de statische Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank

Vervolgens wordt de CO₂-intensiteitsfactor van de Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank berekend voor module B6: het operationeel energiegebruik. Deze berekening loopt volgens de statische methode zoals bij de milieu-impact. De energiebronnen zoals biomassa worden niet koolstofneutraal beschouwd, omdat de grondstoffen verbrand worden tijdens de elektriciteitsopwekking en bijgevolg worden de opgenomen koolstoffen terug afgegeven aan de omgeving. De CO₂-intensiteitsfactor van het energieverbruik voor 60 jaar is gelijk aan 100111 kg CO₂ equivalent. Het distributienet wordt hier niet in rekening gebracht, maar nadien afzonderlijk toegevoegd. Tabel 22 geeft een overzicht weer voor de totale CO₂-intensiteitsfactor van de statische Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank.

	Totaal energieverbruik [kWh]	CO ₂ -intensiteitsfactor per kWh [kg CO ₂ equivalent /kWh]	Totale CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]
Electriciteitsmix	297699	0,336	100111
Distributie	297699	0,016	464

Totale CO ₂ -intensiteitsfactor	100574 kg CO ₂ equivalent
--	--------------------------------------

Tabel 22: De CO₂-intensiteitsfactor van de statische Belgische elektriciteitsmix uit SimaPro voor het referentiemodel

De totale CO₂-intensiteitsfactor van het referentiemodel is gelijk aan de som van de CO₂-intensiteitsfactor van de gebouwcomponenten en de CO₂-intensiteitsfactor van het energieverbruik. In dit geval is de totale CO₂-intensiteitsfactor over een levensduur van 60 jaar gelijk aan 111787 kg CO₂ equivalent. De referentiewaarde is 745 kg CO₂ equivalent/m². De verhouding van de gebouwcomponenten ten opzichte van het energieverbruik is verschoven van 23% en 77% bij de milieu-impact naar 10% en 90% bij de CO₂-intensiteitsfactor.

Tot slot zal in het verdere verloop van het onderzoek de CO₂-intensiteitsfactor van het referentiemodel opnieuw berekend worden mits enkele adaptaties. Zo zal de statische Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank vervangen worden door de huidige elektriciteitsmix van 2022. Daaropvolgend zal de statische elektriciteitsmix vervangen worden door de dynamische elektriciteitsmix en deze zal uiteindelijk geïntegreerd worden in alle systeemgrenzen.

De CO₂-intensiteitsfactor van module B6 via de statische Belgische elektriciteitsmix van 2022

Als eerste aanpassing wordt de elektriciteitsmix uit SimaPro vervangen door de statische elektriciteitsmix van 2022. Deze elektriciteitsmix werd in *Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de*

dynamische Belgische elektriciteitsmix opgesteld. Tot slot wordt in Tabel 23 de CO₂-intensiteitsfactor van deze elektriciteitsmix berekend via dezelfde werkwijze als hierboven.

	Totaal energieverbruik [kWh]	CO ₂ -intensiteitsfactor per kWh [kg CO ₂ equivalent /kWh]	Totale CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]
Elektriciteitsmix	297699	0,336	110698
Distributie	297699	0,016	464

Totale CO ₂ -intensiteitsfactor	111161 kg CO ₂ equivalent
--	--------------------------------------

Tabel 23: De CO₂-intensiteitsfactor van de statische Belgische elektriciteitsmix van 2022 voor het referentiemodel

De totale CO₂-intensiteitsfactor van het referentiemodel over een levensduur van 60 jaar met de statische Belgische elektriciteitsmix van 2022 is gelijk aan 122374 kg CO₂ equivalent. De bijhorende referentiewaarde is gelijk aan 816 kg CO₂ equivalent/m². In vergelijking met de elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank= levert de verfijning van de statische elektriciteitsmix een stijging van 9% op. Hieruit valt af te leiden dat sinds 2014 de CO₂-intensiteitsfactor van de elektriciteitsmix gestegen is. Daarnaast is het opmerkelijk dat het distributienet een verwaarloosbaar aandeel van de CO₂-intensiteitsfactor van het totale energieverbruik inneemt, terwijl in het eerste luik van het onderzoek het distributienet een hoge milieu-impact vertoonde.

De CO₂-intensiteitsfactor van module B6 via de dynamische Belgische elektriciteitsmix

Om de CO₂-intensiteitsfactor van het operationeel energiegebruik dynamisch te berekenen, wordt de jaarlijkse CO₂-intensiteitsfactor voor één kWh van de dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de nationale trend uit *Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix* toegepast op dit referentiemodel. De jaarlijkse milieueffecten van de dynamische elektriciteitsmix voor het referentiemodel is terug te vinden in *Bijlage D: De milieu-impact van het referentiemodel*. Onderstaande tabel geeft de totale milieu-impact over de levensduur van 60 jaar weer.

	Totaal energieverbruik [kWh]	CO ₂ -intensiteitsfactor per kWh [kg CO ₂ equivalent /kWh]	Totale CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]
Elektriciteitsmix	297699	-	51603
Distributie	297699	0,016	464

Totale CO ₂ -intensiteitsfactor	52067 kg CO ₂ equivalent
--	-------------------------------------

Tabel 24: De CO₂-intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor het referentiemodel

Vervolgens is de totale CO₂-intensiteitsfactor van het referentiemodel over een levensduur van 60 jaar gelijk aan 63280 kg CO₂ equivalent waarvan 82% te verklaren valt door het operationeel energieverbruik aan de hand van de dynamische elektriciteitsmix. De referentiewaarde is 422 kg CO₂ equivalent/m². In vergelijking met de statische elektriciteitsmix van 2022 leidt de dynamische berekening tot een reductie van 43%. Deze daling is frappant en te verklaren door de vooropgestelde doelstellingen van de elektriciteitsmix. Zo werd in *Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix* aangehaald dat de gedachtegang achter de nationale trend van de elektriciteitsmix bestaat uit het behalen van de Europese klimaat- en energiedoelstellingen. Hierdoor daalt de CO₂-intensiteitsfactor van de elektriciteitsmix aanzienlijk en is deze daling ook te voelen op gebouwniveau.

De CO₂-intensiteitsfactor van het referentiemodel met de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in alle systeemgrenzen

Ten slotte wordt de dynamische elektriciteitsmix maximaal geïntegreerd in het referentiemodel. Zo wordt de dynamische elektriciteitsmix niet alleen ingezet voor het berekenen van de CO₂-intensiteitsfactor voor module B6 maar ook voor alle systeemgrenzen. Hierbij wordt net zoals bij de milieu-impact de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix beperkt tot de eerste rang processen.

In *Bijlage D: De milieu-impact van het referentiemodel* zijn opnieuw de details van de berekeningen voor de CO₂-intensiteitsfactor van de gebouwcomponenten toegevoegd. Ditmaal wordt ook in de tabel het elektriciteitsaandeel per materiaal met bijhorende CO₂-intensiteitsfactor meegegeven. In de samenvattende tabel worden zowel de totale CO₂-intensiteitsfactor per oppervlak en per gebouwcomponent als de CO₂-intensiteitsfactor van het gedeelte elektriciteit per oppervlak en per gebouwcomponent meegegeven.

	Energie-verbruik [kWh]	CO ₂ -intensiteitsfactor van de elektriciteit [kg CO ₂ equivalent]	CO ₂ -intensiteitsfactor per oppervlakte [kg CO ₂ equivalent/m ²]	Totale CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]
Buitenmuur	505,199	30,289	17	1181
Hellend dak	863,807	46,155	14	683
Plat dak	53,637	3,935	49	738
Vloer	598,502	31,775	53	2649
Ramen	47,680	8,020	95	1660
Deuren	22,080	2,312	204	816

Totale CO ₂ -intensiteitsfactor	11468 kg CO ₂ equivalent
--	-------------------------------------

Tabel 25: De CO₂-intensiteitsfactor per gebouwcomponent van het referentiemodel met de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in alle systeemgrenzen

Uit deze tabel valt af te leiden dat de totale CO₂-intensiteitsfactor voor de gebouwcomponenten overeenkomt met 11468 kg CO₂ equivalent. De totale milieu-impact van het referentiemodel met de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in alle systeemgrenzen is bijgevolg 63534 kg CO₂ equivalent. De referentiewaarde is 424 kg CO₂ equivalent/m². In vergelijking met de milieu-impact van het referentiemodel, waarin de dynamische elektriciteitsmix louter is geïmplementeerd in systeemgrens B6, vertoont de implementatie van de elektriciteitsmix in alle systeemgrenzen een stijging van amper 0,04%.

Deze stagnatie bevestigt nogmaals de hiervoor gemaakte conclusies. Naast het onderzoek met de milieu-impact als methode kan nu ook door de CO₂-intensiteitsfactor als methode bevestigd worden dat de dynamische elektriciteitsmix in alle systeemgrenzen in de eerste rang processen voor de referentiewoning geen meerwaarde levert. Naast het verschil tussen de soort materialen of processen, hangen de resultaten ook af van het productieproces. Zo zou de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix bij energie-intensievere materialen wel een impact kunnen hebben op de resultaten. Zoals aangekaart in *Hoofdstuk 2: Dynamische levenscyclusanalyse* zal deze impact doorheen de tijd dalen. Dit komt doordat de productieprocessen alsmat energie-efficiënter worden ontworpen. Anderzijds wordt in dit onderzoek enkel rekening gehouden met de bouwschil. Resultaten over afwerkingsmaterialen, binnendeuren, ... zijn in deze masterproef niet onderzocht.

Conclusie

Het doel van dit onderzoek was om de dynamische Belgische elektriciteitsmix te implementeren in de levenscyclusanalyse van een rijwoning. De LCA werd beoordeeld in het eerste deel van dit hoofdstuk aan de hand van de milieu-impact. In het tweede deel werd de milieu-impact vervangen door de CO₂-intensiteitsfactor. In wat volgt zullen de belangrijkste conclusies voor het tweede onderzoek samengevat worden en afgetoetst worden aan de eerder bevonden resultaten.

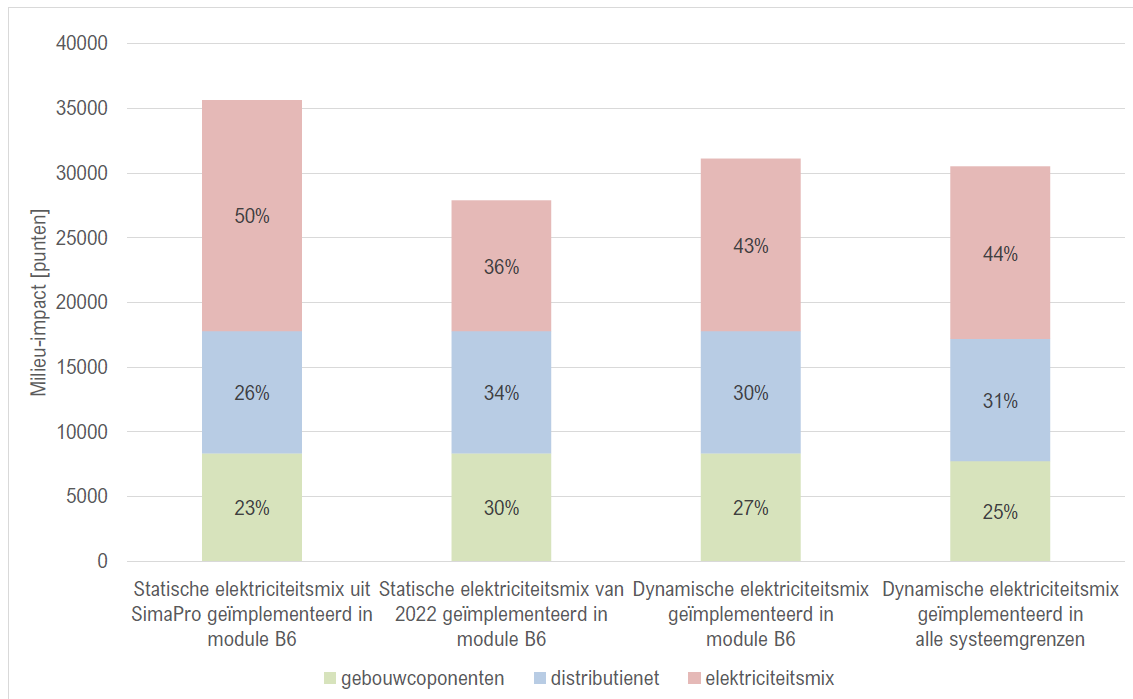
Om te beginnen werd een referentiewaarde opgesteld van rijhuis door de CO₂-intensiteitsfactor met de statische Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank te berekenen. Hieruit bleek dat deze CO₂-intensiteitsfactor voor 90% het gevolg is van het operationeel energiegebruik (module B6). In vergelijking met de milieu-impact weegt het elektriciteitsverbruik in de CO₂-intensiteitsfactor als beoordelingsmethode meer door.

Vervolgens werd de statische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank vervangen door de elektriciteitsmix van 2022 uit *Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix*. Hieruit bleek dat de huidige elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank zorgde voor een onderschatting van de CO₂-intensiteitsfactor. De verfijning van de elektriciteitsmix leverde een stijging op van 9%. Deze stijging komt door de verschuiving in de energiebronnen. Zo daalt de elektriciteitsproductie door nucleaire energie en stijgt de elektriciteitsproductie door biologisch steenkool en gas. Deze opvallende cijfers duiden nogmaals het belang aan dat er kritisch wordt omgegaan met de Ecoinvent database die beschikbaar wordt gesteld in het softwareprogramma SimaPro.

Nadien werd de statische elektriciteitsmix voor het eerst vervangen door de dynamische elektriciteitsmix. Deze aanpassing werd enkel doorgevoerd in module B6: het operationeel energiegebruik. Hier werd duidelijk dat de CO₂-intensiteitsfactor van deze variant een daling veroorzaakt van 43% in vergelijking met de CO₂-intensiteitsfactor van de referentiewoning met de implementatie van de statische Belgische elektriciteitsmix van 2022. Deze resultaten zijn volledig te wijten aan de veranderingen binnen de elektriciteitsmix. De dynamiek van de nationale trend om de klimaat- en energiedoelstellingen van de Europese Unie te behalen is duidelijk waarneembaar op gebouwniveau. Vanuit de milieu-impact als beoordelingsmethode werd deze stelling niet tegengesproken, maar is deze conclusie wel minder waar te nemen in de resultaten.

Als derde aspect werd de CO₂-intensiteitsfactor onderzocht van het referentiemodel waarbij de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in alle systeemgrenzen werd toegepast. Hierbij werd de conclusie vanuit de LCA met de milieu-impact als beoordelingsmethode bevestigd. Zo werd duidelijk dat de reductie van de CO₂-intensiteitsfactor niet opweegt tegenover het extra werk van de verdere detaillering van de levenscyclusanalyse. Deze conclusie hangt af van het soort materiaal en het productieproces.

Verder werd ook duidelijk dat het distributienet in de LCA met de milieu-impact als beoordelingsmethode verantwoordelijk is voor een relatief groot aandeel van de totale milieu-impact. Terwijl het distributienet in de LCA met de CO₂-intensiteitsfactor als beoordelingsmethode een verwaarloosbaar klein aandeel bevat. Tot slot wordt in Grafiek 31 een overzicht weergegeven van de verschillende implementaties van de elektriciteitsmix met de bijhorende milieu-impact van het referentiemodel.



Grafiek 31: De CO₂-intensiteitsfactor van het referentiemodel per implementatievariant van de elektriciteitsmix

Vanuit al deze bevindingen valt te bemerken dat de resultaten sterk afhangen van de gebruikte beoordelingsmethoden. Zo zal de elektriciteitsmix een grotere rol spelen in de LCA bij de CO₂-intensiteitsfactor dan bij de milieu-impact als beoordelingsmethode. Terwijl het distributienet tijdens de levenscyclusanalyse met de milieu-impact als beoordelingsmethode in verhouding staat tot de totale milieu-impact, valt het distributienet in het tweede deelonderzoek volledig weg ten opzichte van de totale CO₂-intensiteitsfactor.

Hoofdstuk 8: De gevoeligheidsanalyse

Situering en relevantie

Het onderzoek van deze masterproef werd gestart met een vooronderzoek in *Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank*. Hierin werd kennis gemaakt met de milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix. Aan de hand van drie beoordelingsmethoden werd de huidige elektriciteitsmix ontleed en werd er voeling gecreëerd met de typische grootordes en inzichten verkregen in de voor- en nadelen van alle energiebronnen.

Het onderzoek zette zich verder in *Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix*. Hierin werd een toekomstvisie opgesteld voor de komende 60 jaar. Mits enkele aannames werd de nationale trend voor België bepaald. Ook deze dynamische elektriciteitsmix werd onderzocht aan de hand van de drie beoordelingsmethoden. Daarnaast kon door middel van de inzichten uit het vooronderzoek dieper ingegaan worden op de verschuivingen in de milieueffecten. Tot slot werd in dit hoofdstuk verklaringen gezocht voor deze specifieke dynamiek.

Vervolgens werd in *Hoofdstuk 7: De milieueffecten van een rijwoning met de implementatie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix* een levenscyclusanalyse berekend van een rijwoning. Hierbij werd de opgestelde elektriciteitsmix uit het vorige hoofdstuk in verschillende gradaties geïmplementeerd. Zo werd op gebouwniveau onderzocht in welke mate een dynamische elektriciteitsmix invloed heeft op een LCA. De effectenbeoordelingsmethode voor dit onderzoek was zowel de milieu-impact als de CO₂-intensiteitsfactor.

Vooraleer het onderzoek wordt afgesloten, wordt eerst de gevoeligheid van de verkregen resultaten onderzocht. Zo kunnen de belangrijkste aannames opnieuw in vraag worden gesteld en wordt er een robuuster resultaat gecreëerd. Deze gevoeligheidsanalyse zullen bestaan uit drie grote delen. Eerst wordt de invloed van de verschillende scenario's voor de dynamische elektriciteitsmix op het resultaat van de LCA op gebouwniveau afgetoetst. Vervolgens zal de milieueffecten van de opgestelde elektriciteitsmix opnieuw in vraag gesteld worden. Hierbij wordt het resultaat verder verfijnt door de dynamische elektriciteitsmix zo ver mogelijk te implementeren in de zonne-energie als energiebron. Tot slot wordt de opgestelde dynamische elektriciteitsmix afgetoetst aan de actualiteit en wordt een nieuw scenario voorzien voor de dynamische elektriciteitsmix indien kernenergie niet zou uitfaseren in 2025, maar in 2035 of 2050. Ook van dit nieuwe scenario werden de milieueffecten onderzocht.

De invloed van de gekozen dynamische elektriciteitsmix in een levenscyclusanalyse

Zoals vermeld werd in (Ramon & Allacker, 2021) zullen verschillende scenario's om de energiemix te modelleren een robuustheid creëren in een levenscyclusanalyse. Zo zal in dit deel van de gevoeligheidsanalyse het resultaat van de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix (opgesteld volgens de nationale trend) in de levenscyclusanalyse van de rijwoning uit *Hoofdstuk 7: De milieueffecten van een rijwoning met de implementatie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix* vergeleken worden met de implementatie van twee dynamische Belgische elektriciteitsmixen, die opgesteld zijn volgens de andere twee scenario's van het TYNDP rapport. Deze vergelijking gebeurt aan de hand van de milieu-impact en de CO₂-intensiteitsfactor als beoordelingsmethode.

Voor het opstellen van deze twee scenario's worden alle aannames uit *Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix* aangehouden. Zo zal opnieuw gebruik worden gemaakt van de dataset uit (Hamels, 2021). Daarnaast worden de aannames in verband met geïmporteerde en geëxporteerde elektriciteit aangehouden. Ook de kantelpunten worden op een gelijkaardige manier opgebouwd. Tot slot kan vanuit al deze aannames de dynamische elektriciteitsmix worden opgesteld. Ditmaal niet voor de nationale trend maar de globale ambitie en de gedistribueerde energie. De exacte data van de dynamische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 zijn zowel in *Bijlage E: De dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 volgens de globale ambitie en de gedistribueerde energie* als in de database terug te vinden.

Eénmaal de dynamische elektriciteitsmix is opgesteld, kan deze geïmplementeerd worden in de levenscyclusanalyse van de referentiewoning. De implementatie zal op dezelfde manier worden doorgevoerd als in *Hoofdstuk 7: De milieueffecten van een rijwoning met de implementatie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix*. Zo zal de implementatie eerst plaatsvinden in systeemgrens B6: het operationeel energieverbruik. Nadien zal de implementatie doorgevoerd worden in de eerste rang processen van alle systeemgrenzen.

De milieu-impact van de rijwoning via de implementatie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix in module B6

Als eerste implementatie wordt de milieu-impact van het operationeel energieverbruik van de rijwoning berekend via de dynamische Belgische elektriciteitsmix. Doordat de implementatie zich niet afspeelt op het niveau van de gebouwcomponenten, kan de milieu-impact van de gebouwcomponenten uit *Hoofdstuk 7: De milieueffecten van een rijwoning met de implementatie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix* overgenomen worden. De exacte data kunnen worden teruggevonden in *Tabel 15: De milieu-impact per gebouwcomponent van het referentiemodel*.

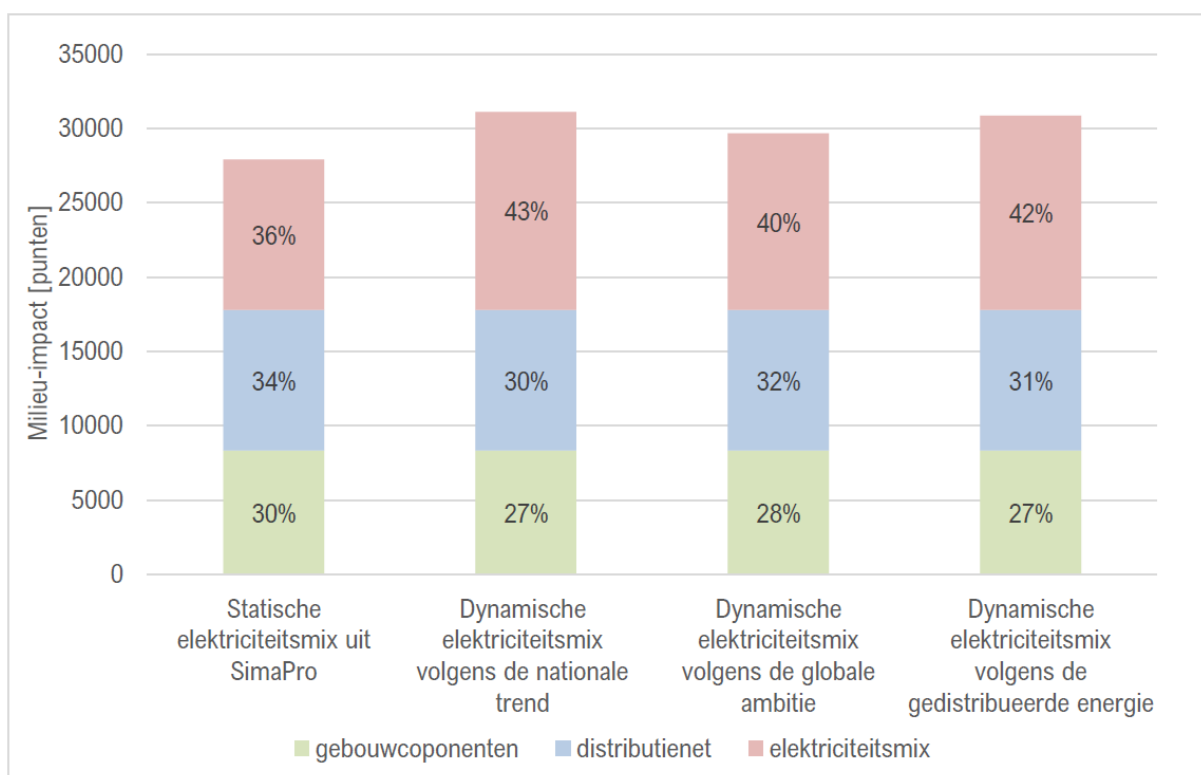
Daarnaast kan het operationeel energieverbruik worden bepaald door de jaarlijkse milieu-impact voor één kWh van de dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de globale ambitie en de gedistribueerde energie toe te passen op het referentiemodel. De jaarlijkse milieueffecten van de dynamische elektriciteitsmix voor het referentiemodel is terug te vinden in *Bijlage F: De milieu-impact van het referentiemodel volgens de* . Onderstaande tabellen geven de totale milieu-impact over de levensduur van 60 jaar weer voor beide scenario's.

	Energie- verbruik [kWh/jaar]	Levens- duur [jaar]	Totaal energieverbruik [kWh]	Milieu-impact per kWh [punten/kWh]	Totale milieu-impact [punten]
Elektriciteitsmix Globale ambitie	4960	60	297699	-	13062
Elektriciteitsmix Gedistribueerde energie	4960	60	297699	-	11879
Distributie	4960	60	297699	0,0317	9444

Totale milieu-impact volgens de globale ambitie	22506 punten
Totale milieu-impact volgens de gedistribueerde energie	21322 punten

Tabel 26: De milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de globale ambitie en de gedistribueerde energie voor het referentiemodel

De totale milieu-impact van het referentiemodel volgens de globale ambitie gelijk aan 30848 punten, terwijl deze volgens de gedistribueerde energie gelijk is aan 29664 punten. Van de totale milieu-impact bestaat het operationeel energieverbruik respectievelijk voor de globale ambitie en de gedistribueerde energie uit 73% en 72%. Ook bij de nationale trend nam het operationeel energiegebruik 73% van de totale milieu-impact in. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de drie scenario's leiden tot een milieu-impact dat in dezelfde grootteorde ligt. Deze conclusie is ook zichtbaar in Grafiek 32. Bovendien is ook te zien dat de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in het operationeel energieverbruik van de referentiewoning volgens de drie scenario's leidt tot een hogere milieu-impact ten opzichte van de implementatie van de statische elektriciteitsmix. De verfijning van de dynamische elektriciteitsmix volgens de nationale trend, de globale ambitie en de gedistribueerde energie is respectievelijk 12%, 6% en 11% ten opzichte van de statische elektriciteitsmix.



Grafiek 32: De milieu-impact van het referentiemodel volgens de drie scenario's

De CO₂-intensiteitsfactor van de rijwoning via de implementatie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix in module B6

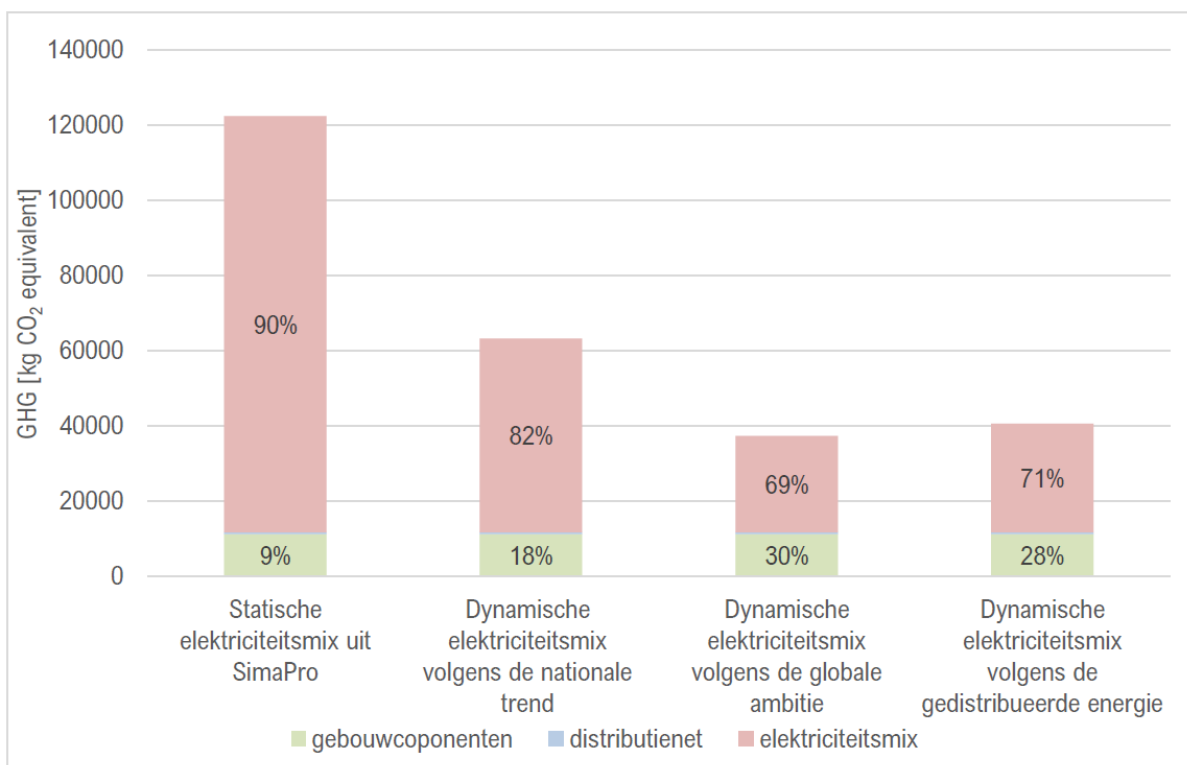
Naast de milieu-impact wordt ook de CO₂-intensiteitsfactor van de referentiewoning afgetoetst. Hierbij worden de verschillende scenario's van de elektriciteitsmix in het operationeel energieverbruik geïmplementeerd. De jaarlijkse milieueffecten van de dynamische elektriciteitsmix voor het referentiemodel is terug te vinden in *Bijlage F: De milieu-impact van het referentiemodel volgens de globale ambitie en de gedistribueerde energie*. De tabel hieronder geeft de totale milieu-impact over de levensduur van 60 jaar weer.

	Totaal energieverbruik [kWh]	CO ₂ -intensiteitsfactor per kWh [kg CO ₂ equivalent /kWh]	Totale CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]
Elektriciteitsmix Globale ambitie	297699	-	25674
Elektriciteitsmix Gedistribueerde energie	297699	-	28926
Distributie	297699	0,016	464

Totale CO ₂ -intensiteitsfactor volgens de globale ambitie	26138 kg CO ₂ equivalent
Totale CO ₂ -intensiteitsfactor volgens de gedistribueerde energie	29390 kg CO ₂ equivalent

Tabel 27: De CO₂-intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor het referentiemodel volgens de globale ambitie en de gedistribueerde energie

Vervolgens is de totale CO₂-intensiteitsfactor van het referentiemodel volgens de globale ambitie gelijk aan 26138 kg CO₂ equivalent. Terwijl de CO₂-intensiteitsfactor van het referentiemodel volgens de gedistribueerde energie gelijk is aan 29390 kg CO₂ equivalent. Van de totale CO₂-intensiteitsfactor bestaat het operationeel energieverbruik voor de globale ambitie en de gedistribueerde energie uit respectievelijk 82% en 69%. Ook bij de nationale trend nam het operationeel energiegebruik 90% van de CO₂-intensiteitsfactor in. Uit deze waarden en uit de onderstaande grafiek blijkt duidelijk dat de implementatie van een dynamische elektriciteitsmix in het operationeel energieverbruik van de referentiewoning overeenkomt met een sterke reductie van de CO₂-intensiteitsfactor ten opzichte van een statische elektriciteitsmix. Bovendien is ook duidelijk dat de meer ambitieuzere elektriciteitsmix leidt tot een lagere CO₂-intensiteitsfactor. Verder is ook te zien dat, eenmaal de elektriciteitsmix geoptimaliseerd is, het belang van de gebouwcomponenten terug zal toenemen.



Grafiek 33: De CO₂-intensiteitsfactor van het referentiemodel volgens de drie scenario's

Conclusie

Uit dit alles blijkt dat de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix wel degelijk een verfijning van het onderzoek oplevert. Ook werd duidelijk dat het soort scenario weinig invloed heeft op de totale milieu-impact. Terwijl de drie scenario's op vlak van CO₂-intensiteitsfactor duidelijk anders scoren, maar deze scenario's leiden wel naar eenzelfde doelstelling. Zo evolueert de elektriciteitsmix voor elk van deze scenario's naar een groenere mix. Het verschil tussen de drie scenario's is louter bepaald door de grootte van de ambitie. Hierdoor valt er weinig verschil op te merken tussen de scenario's onderling op vlak van milieu-impact. Het verschil tussen de CO₂-intensiteitsfactor van de drie scenario's heeft te maken met de snelheid waarop gas als energiebron uitdooft en de snelheid waarmee de hernieuwbare energiebronnen toenemen. Zoals kan geconcludeerd worden uit *Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank* bevat de elektriciteitsproductie door gas als energiebron een hogere CO₂-intensiteitsfactor dan door hernieuwbare energiebronnen. Zo zal de nationale trend relatief gezien langer (en meer) bestaan uit gas over de volledige levensduur van de elektriciteitsmix.

Om een elektriciteitsvraag te beantwoorden wordt de elektriciteitsmix altijd opgebouwd via een vast stramien. Zo wordt de geproduceerde elektriciteit door hernieuwbare energiebronnen eerst gebruikt. Nadien wordt de overige elektriciteitsvraag opgevangen door vraaggestuurde energiebronnen zoals gas. Aldus zullen, ten gevolge van de groei in hernieuwbare energiebronnen, vraaggestuurde energiebronnen met voornamelijk gas afnemen. Deze denkpiste kan pas in realiteit toegepast worden als er ook voldoende batterijen en opslag worden voorzien om de elektriciteitsproductie van hernieuwbare energiebronnen op te slaan.

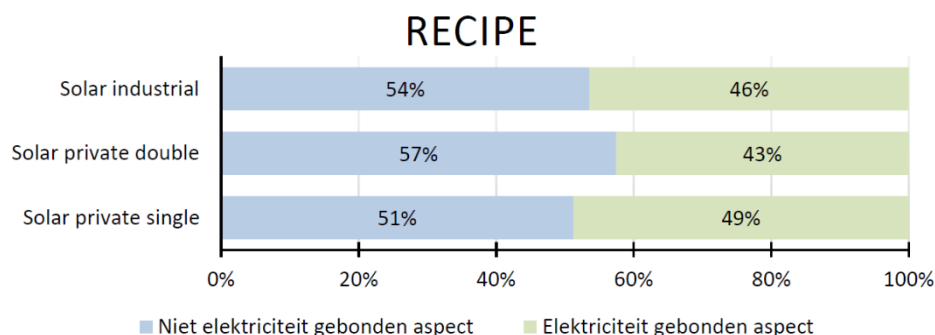
Indien een huidig scenario vervangen wordt door een radicaler scenario, zal ook het gedrag van de totale milieu-impact veranderen. Bovendien bevatten de toekomstige voorspellingen nog veel onzekerheden, zo kan de milieu-impact van het operationeel energieverbruik ten gevolge van de elektriciteitsmix nog sterk veranderen in zowel de positieve als negatieve zin. Het is vanzelfsprekend dat het beleid vanuit de politiek hierop een sterke invloed heeft. Bovendien duwt de Europese Unie de elektriciteitsmix van België en de andere EU-landen richting een klimaatvriendelijk elektriciteitsmix. Hierdoor leunen de drie scenario's, die toegepast zijn in deze masterproef, dichter aan bij de verwachte realiteit, maar mogen de radicalere scenario's niet uit het oog verloren worden en kunnen deze scenario's leiden tot een robuuster onderzoek.

De implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in zonne-energie als energiebron

In deze gevoeligheidsanalyse wordt de conclusie uit *Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix* afgetoetst. Zo werd, weliswaar kort door de bocht, gesteld dat zonne-energie geen goed alternatief is als hernieuwbare energiebron om in te investeren. Deze stelling werd direct genuanceerd door te vermelden dat het produceren van zonnepanelen vooral bestaat uit een hoog elektriciteitsverbruik, bijgevolg is de milieu-impact van zonne-energie vooral te wijten aan de elektriciteitsproductie tijdens de productiefase van PV-panelen en zou de milieu-impact van de PV-panelen moeten dalen doorheen de jaren door het vergroenen van de elektriciteitsmix. Deze dynamiek werd nog niet meegenomen in het onderzoek maar zal nu verder worden uitgewerkt.

De milieu-impact van zonne-energie

Vooraleer de dynamische elektriciteitsmix zo ver mogelijk geïntegreerd wordt in zonne-energie, wordt eerst de milieu-impact van zonne-energie verder onderzocht. Zo wordt de milieu-impact voor één kWh zonne-energie opgesplitst in twee delen. Het eerste deel bestaat uit de milieu-impact van het totale elektriciteitsverbruik dat nodig is om één kWh zonne-energie te produceren. Voortaan zal dit onderdeel als het elektriciteit gebonden aspect of aandeel worden bestempeld. Het tweede deel van de totale milieu-impact bestaat uit al de andere elementen die nodig zijn om zonne-energie op te wekken, zoals de constructie-elementen van PV-panelen. Dit deel wordt vanaf nu het niet elektriciteit gebonden aspect of aandeel genoemd. De ontleding van de totale milieu-impact in deze twee delen werd door Yanaika Decorte onderzocht in kader van een lopend onderzoek aan de onderzoeksgroep bouwfysica van de Universiteit van Gent. De onderlinge verhouding van het elektriciteit gebonden en het niet elektriciteit gebonden aandeel van zonne-energie is weergegeven in onderstaande grafiek. Hieruit valt af te lezen dat de milieu-impact van zonne-energie voor iets minder dan de helft bestaat uit het elektriciteit gebonden aspect. Hierdoor zal de invloed van de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix wel degelijk voelbaar zijn. Tot slot is in Tabel 28 de totale milieu-impact als de milieu-impact van elk aspect opgesomd voor één kWh aan zonne-energie.



Grafiek 34: De verhouding van de statische en de dynamische aspecten van zonne-energie

	Milieu-impact		Totale milieu-impact [punten]
	Niet elektriciteit gebonden aspect [punten]	Electriciteit gebonden aspect [punten]	
Solar industrial	0,0113	0,0098	0,0211
Solar private double	0,0262	0,0194	0,0456
Solar private single	0,0236	0,0225	0,0462

Tabel 28: De milieu-impact van het elektriciteit gebonden en het niet elektriciteit gebonden aspect voor één kWh zonne-energie

De aanpak

Voor de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in zonne-energie zijn er telkens drie elementen nodig om tot een totale milieu-impact te komen. Het eerste element is het niet elektriciteit gebonden aspect van zonne-energie, het tweede element is het elektriciteit gebonden aspect van zonne-energie en het laatste is het aandeel van zonne-energie in de dynamische elektriciteitsmix. Aan de hand van volgende formule kan de milieu-impact bepaald worden van de dynamische simulatie van zonne-energie:

$$\begin{array}{l} \text{De milieu-impact} \\ \text{van zonne-energie in} \\ \text{de elektriciteitsmix} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Het aandeel} \\ \text{zonne-energie in} \\ \text{de elektriciteitsmix} \end{array} \times \left(\begin{array}{l} \text{De milieu-impact van} \\ \text{het niet elektriciteit} \\ \text{gebonden aspect} \end{array} + \begin{array}{l} \text{De milieu-impact} \\ \text{van het elektriciteit} \\ \text{gebonden aspect} \end{array} \right)$$

In wat volgt zal eerst het vertrekpunt gedefinieerd worden. Nadien zal de milieu-impact van het niet elektriciteit gebonden aspect besproken worden als eerste element. Verder volgt de milieu-impact van het elektriciteit gebonden aspect als tweede element uit de formule. Eenmaal deze twee elementen bepaald zijn, kan ook de milieu-impact van één kWh zonne-energie bepaald worden door de som te nemen van deze elementen. Tot slot kan deze som vermenigvuldigd worden met het aandeel zonne-energie in de elektriciteitsmix om zo de milieu-impact van zonne-energie in de elektriciteitsmix te bepalen.

Het vertrekpunt

De implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in het elektriciteit gebonden aspect van zonne-energie is een complex gegeven omdat deze processen in een lus aan elkaar hangen. Zo kan een PV-paneel dynamisch gesimuleerd worden als de dynamische elektriciteitsmix geïntegreerd wordt in het elektriciteit gebonden aspect, maar de elektriciteitsmix is maar dynamisch als het elektriciteit gebonden aspect van de PV-panelen dynamisch gesimuleerd zijn. Om deze loop te doorbreken moet het vertrekpunt duidelijk gedefinieerd worden.

De voor de hand liggende oplossing is om terug te keren naar de elektriciteitsmix zonder zonne-energie als energiebron, zodanig dat vanaf de productie van het eerste zonnepaneel de dynamische elektriciteitsmix mee in rekening kan gebracht worden. Echter is de elektriciteitsproductie door zonne-energie in de beginjaren van deze energiebron verwaarloosbaar ten opzichte van de andere energiebronnen en zal de milieu-impact hiervan bijgevolg verwaarloosbaar zijn.

Het is pas vanaf 2014 dat de elektriciteitsproductie door zonne-energie opgang maakte. Hierdoor zal in eerste instantie 2014 als vertrekpunt beschouwd worden. Om meer inzicht te krijgen in de geschiedenis van de elektriciteitsvraag worden de historische data van de jaarlijkse elektriciteitsmix voor België onderzocht. Hiervoor werd opnieuw dezelfde bron gehanteerd als in het onderzoek

(ENTSO-E, 2022). In Tabel 29 wordt de elektriciteitsmix (uitgedrukt in %) weergegeven. Hierbij is de elektriciteitsmix opgesteld vanuit het productie perspectief door de ontbrekende informatie van importgegevens. Het onderzoek van deze thesis werd berekend vanuit het consumptie perspectief. Echter werd de geïmporteerde elektriciteit in dit onderzoek vereenvoudigd tot eenzelfde elektriciteitsmix als de Belgische elektriciteitsmix. Bovendien werd in dit onderzoek geen rekening gehouden met de totale productievraag doordat er louter gekeken werd naar de nodige hoeveelheid energie per energiebron voor één kWh aan elektriciteit te halen uit het stopcontact van de eindgebruiker, uitgedrukt in een percentage. Vanuit deze twee argumenten kan geconcludeerd worden dat de resultaten van het onderzoek zowel gelden vanuit het consumptie als productie perspectief.

		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Biomass	[%]	-	4,0	3,4	3,6	4,3	2,9	2,8	4,8
Gas	[%]	-	34,7	28,0	28,7	37,8	28,6	28,1	29,7
Hard coal	[%]	-	3,5	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hard coal bio	[%]	-	0,0	0,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Hydro	[%]	-	3,5	2,9	2,8	3,1	2,4	2,7	1,0
Nuclear	[%]	-	40,9	55,0	52,8	37,2	50,5	38,8	49,0
Oil	[%]	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Solar	[%]	-	5,0	3,9	3,8	6,7	4,3	5,0	4,1
Wind	[%]	-	8,5	6,4	7,5	10,1	10,4	13,8	9,6

Tabel 29: De Belgische elektriciteitsmix van 2014 tot 2021 (ENTSO-E, 2022)

Vervolgens is in Tabel 30 de jaarlijkse capaciteiten van de Belgische elektriciteitsmix (uitgedrukt in MW) weergegeven. Hierin is te zien dat de capaciteiten groeien van 2014 tot 2021. Zo stijgt ook zonne-energie met 70%, terwijl in de Belgische elektriciteitsmix het aandeel zonne-energie nagenoeg constant blijft. Hieruit kan besloten worden dat zowel de capaciteiten stijgen alsook de totale elektriciteitsvraag in België. Bovendien werd hiervoor vermeld dat er louter gekeken werd naar de nodige hoeveelheid energie per energiebron voor één kWh aan elektriciteit te halen uit het stopcontact van de eindgebruiker. Uit de vaststelling dat zonne-energie nagenoeg constant blijft en dat de Belgische elektriciteitsmix van 2014 tot 2021 niet bijster dynamisch verloopt, kan besloten worden dat het elektriciteit gebonden aspect niet dynamisch maar vrijwel statisch zal verlopen. Hieruit volgt dat de verfijning van het dynamisch simuleren van zonne-energie, startend van 2014 en lopend tot 2021, in zeer beperkte mate zal optreden. Hierdoor kan de geschiedenis van zonne-energie vereenvoudigd worden en moet het vertrekpunt niet starten in 2014 maar kan het starten in 2021. Echter heeft de historische elektriciteitsmix ook invloed op de toekomstige elektriciteitsmix. Zo zal het productiejaar bepalen wanneer het PV-paneel vervangen moet worden. Indien deze aanname niet correct gebeurt, dan zal het PV-paneel niet correct vervangen worden en bijgevolg zal een elektriciteitsmix van een fout jaar gelinkt worden aan het nieuwe PV-paneel. Hierdoor zal het vertrekpunt van de productie van PV-panelen toch 2014 zijn, maar zal de elektriciteitsmix gekoppeld aan het elektrisch gebonden aspect tussen 2014 en 2021 van het jaar 2021 zijn. Zodanig dat enerzijds de productie van de PV-panelen correct worden gesimuleerd. Anderzijds wordt de werklust beperkt door de elektriciteitsmix tussen 2014 en 2021 niet op te stellen omdat het overtollig werk toch geen significante bijdrage zal leveren in de verwachte resultaten.

		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Biomass	[MW]	693	573	590	598	598	619	647	672
Gas	[MW]	6107	6753	6429	6464	6534	6642	6799	7282
Hard coal	[MW]	470	470	470	0	0	0	0	0
Hard coal bio	[MW]	0	0	0	470	470	470	470	470
Hydro	[MW]	1423	1470	1476	1478	1479	1480	1483	1484
Nuclear	[MW]	5926	5943	5943	5943	5943	5943	5943	5943
Oil	[MW]	237	229	214	224	239	242	246	275
Solar	[MW]	2818	2818	2953	2953	2953	3369	3887	4788
Wind	[MW]	1835	1961	1861	2622	3157	3796	4670	4883
Totaal	[MW]	19509	20217	20036	20752	21373	22561	24145	25797

Tabel 30: De capaciteiten van de Belgische elektriciteitsmix van 2014 tot 2021 (ENTSO-E, 2022)

De milieu-impact van het niet elektriciteit gebonden aspect

De milieu-impact van het niet elektriciteit gebonden aspect voor één kWh zonne-energie werd eerder bepaald en is bovendien terug te vinden in Tabel 28. In deze waarde zit geen dynamiek gevestigd. Hierdoor blijft deze waarde een constante factor in de totale milieu-impact. Voor de drie types opwekkingsystemen van zonne-energie ligt de verhouding tussen het elektriciteit gebonden en niet elektriciteit gebonden aspect in dezelfde grootorde. Zo zal voor deze drie types het niet elektriciteit gebonden aspect verantwoordelijk zijn voor meer dan de helft van de totale milieu-impact.

De milieu-impact van het elektriciteit gebonden aspect

Als tweede element van de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in het aandeel zonne-energie van de dynamische elektriciteitsmix wordt het elektriciteit gebonden aspect opgesteld. Om dit aspect te kunnen opstellen moet in eerste instantie het totale elektriciteitsverbruik dat nodig is om één kWh zonne-energie te produceren gekend zijn, zodanig dat aan het elektriciteitsverbruik een nieuwe milieu-impact toegekend kan worden. Deze milieu-impact zal variëren afhankelijk van het productiejaar.

Doordat louter de milieu-impact van het elektriciteitsverbruik gekend is, moet er handmatig in het softwareprogramma SimaPro doorgeklikt worden op de verschillende processen om het totale elektriciteitsverbruik te kennen. Om dit proces te vergemakkelijken worden de drie stambomen van zonne-energie, opgewekt door de drie verschillende opwekkingsystemen, uitgezet. De achterliggende processen waarvan de milieu-impact kleiner is dan 1% van de totale milieu-impact werden niet mee opgenomen in de stamboom. Vervolgens kon uit deze stambomen het elektriciteitsverbruik worden opgeteld.

Het elektriciteitsverbruik dat gepaard gaat bij het proces zonne-energie kan niet gelinkt worden aan louter één elektriciteitsmix. Bovendien komt de elektriciteitsmix uit België niet of nauwelijks voor in de processen. Door de verschillende elektriciteitsmixen zijn ook de gekoppelde milieueffecten verschillend. Om hiermee rekening te houden wordt een imaginair, equivalent elektriciteitsverbruik opgesteld dat overeenstemt met een elektriciteitsverbruik uit de Belgische elektriciteitsmix. Zo wordt voor elke elektriciteitsmix en voor het elektriciteitsverbruik per mix de milieu-impact bepaald. Vervolgens wordt aan de hand van de hoeveelheid elektriciteit een gewogen gemiddelde genomen van de milieu-impact. Nadien kan de milieu-impact van de Belgische elektriciteitsmix gedeeld worden door de gewogen milieu-impact om een inschatting te maken van het elektriciteitsverbruik dat gepaard gaat bij het proces zonne-energie. In Tabel 31 wordt een overzicht gegeven van het

geschatte elektriciteitsverbruik voor de drie opwekkingssystemen van zonne-energie. De berekening per opwekkingssysteem is ook terug te vinden in *Bijlage G: De implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie*.

	Elektriciteitsverbruik per kWh zonne-energie [kWh/kWh]
Solar single panel	0,263
Solar double panel	0,156
Solar industrial	0,175

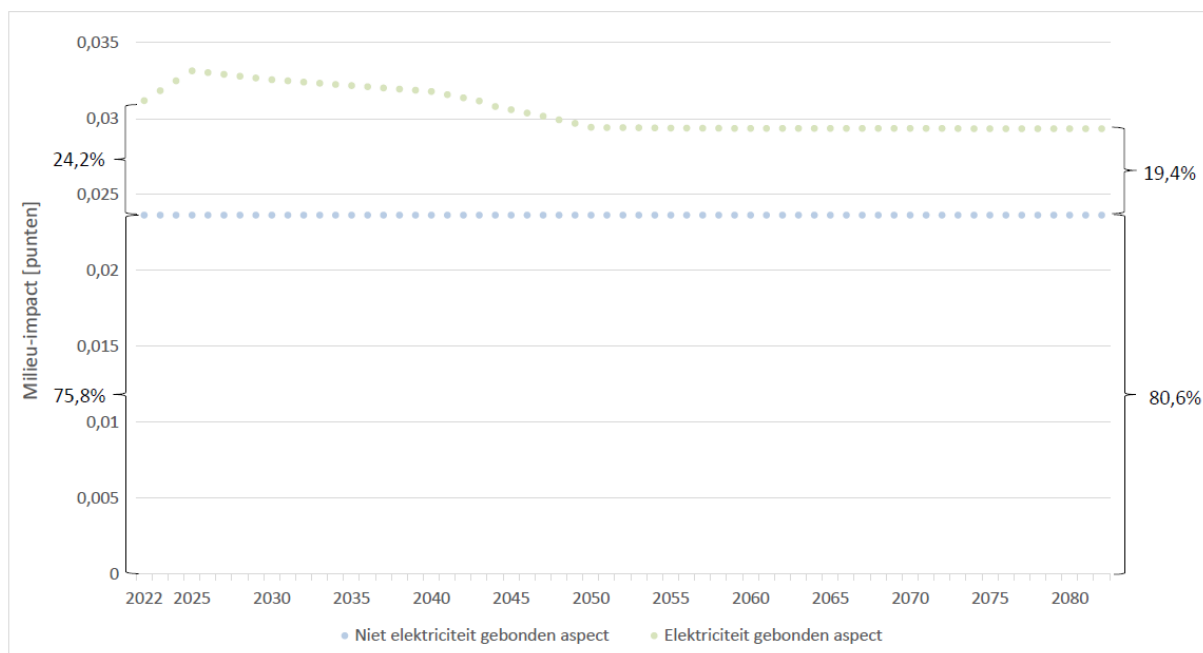
Tabel 31: Het geschatte elektriciteitsverbruik voor één kWh zonne-energie per opwekkingssysteem

De milieu-impact van het elektriciteit gebonden aspect kan aan de hand van het elektriciteitsverbruik berekend worden door deze te vermenigvuldigen met de dynamische elektriciteitsmix. In theorie wordt elk zonnepaneel geproduceerd met een andere elektriciteitsmix. Zo wordt het eerste zonnepaneel geproduceerd met de huidige elektriciteitsmix. Nadien wordt dit zonnepaneel in gebruik genomen, bijgevolg wordt het tweede zonnepaneel geproduceerd met een iets wat groenere elektriciteitsmix, maar deze detaillering graad stemt niet overeen met de lage temporele resolutie van het huidige onderzoek. Zo werd de dynamische elektriciteitsmix in dit onderzoek jaarlijks opgesteld, bijgevolg zal ook deze gevoeligheidsanalyse jaarlijks worden opgebouwd. Ondanks deze vereenvoudiging kan toch de redenering achter het theoretisch model standhouden. Zo kan gesteld worden dat de zonnepanelen die in gebruik worden genomen in het jaar 0 van de levensduur, geproduceerd zijn geweest in het jaar voordien, dus het jaar -1. Kortom worden de zonnepanelen, die vanaf 2022 zullen dienen om elektriciteit op te wekken, geproduceerd in het jaar 2021. Deze theorie houdt steek vanaf de definiëring van het vertrekpunt, want de PV-panelen die vanaf 2021 zullen dienen om elektriciteit op te wekken werden geproduceerd in 2020. Deze loop werd hiervoor reeds besproken met de historische data. Uit deze analyse werd geconcludeerd dat de elektriciteitsmix van 2014 tot 2021 vrijwel statisch verloopt, bijgevolg kan ter vereenvoudiging worden aangenomen dat de PV-panelen die in 2021 dienen om elektriciteit op te wekken, ook geproduceerd zijn met dezelfde elektriciteitsmix van het jaar 2021. Bovendien kan deze conclusie verder doorgetrokken worden tot het vertrekpunt 2014, met andere woorden wordt het elektriciteit gebonden aspect van de PV-panelen die in 2014 werden geproduceerd, berekend aan de hand van de elektriciteitsmix uit 2021.

Verder moet de jaarlijkse groei aan zonne-energie gekend zijn, zodanig dat de juiste elektriciteitsmix gekoppeld kan worden aan het productiejaar van de opwekkingssystemen voor zonne-energie. Zoals eerder vermeld werd hiervoor 2014 als vertrekpunt gehanteerd. In *Bijlage G: De implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie* wordt de jaarlijkse toename aan zonne-energie opgesomd. Daarnaast moet er ook rekening gehouden worden met de levensduur van de opwekkingssystemen. Zo gaan de drie opwekkingssystemen 30 jaar mee. Nadien worden deze opwekkingssystemen vervangen en bijgevolg wordt ook het elektriciteit gebonden aspect 30 jaar later vervangen. Indien de elektriciteitsmix na 30 jaar een lagere milieu-impact heeft, zal ook de milieu-impact van het elektriciteit gebonden aspect verlagen.

Aansluitend wordt de milieu-impact voor één kWh zonne-energie, opgewekt door het enkel privaat PV-paneel als opwekkingssysteem, weergegeven in Grafiek 35. Volgens de Ecoinvent databank wordt voor één kWh 0,00002 deeltjes aan een enkel PV-paneel als opwekkingssysteem mee in rekenschap gebracht. Deze waarde werd bepaald door de levensduur te vermenigvuldigen met de capaciteit en

het jaarlijks rendement, bijgevolg is in Grafiek 35 ook gerekend met 0,00002 deeltjes aan een enkel PV-paneel als opwekkingsstelsel. Op deze grafiek is zowel het elektriciteit gebonden als het niet elektriciteit gebonden aspect per jaar weergegeven. Bovendien wordt hierbij al rekening gehouden met de nieuwe elektriciteitsmix, waarbij het elektriciteit gebonden aspect van de PV-panelen is begroot door de dynamisch elektriciteitsmix uit een verder onderdeel van dit hoofdstuk: *De milieu-impact van zonne-energie na de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie*. Deze dynamiek valt echter niet op in de totale dynamische elektriciteitsmix en bijgevolg valt dit aspect ook weg in deze grafiek. Als kanttekening kan wel gesteld worden dat, indien de dynamische elektriciteitsmix vervangen wordt door louter de energiebron zonne-energie opgewekt door het privaat enkel PV-paneel als opwekkingsstelsel, de dynamiek wel duidelijk voelbaar zal zijn. Deze grafiek is terug te vinden in *Bijlage G: De implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie* en duidt dan ook de absolute milieu-impact aan van deze energiebron.



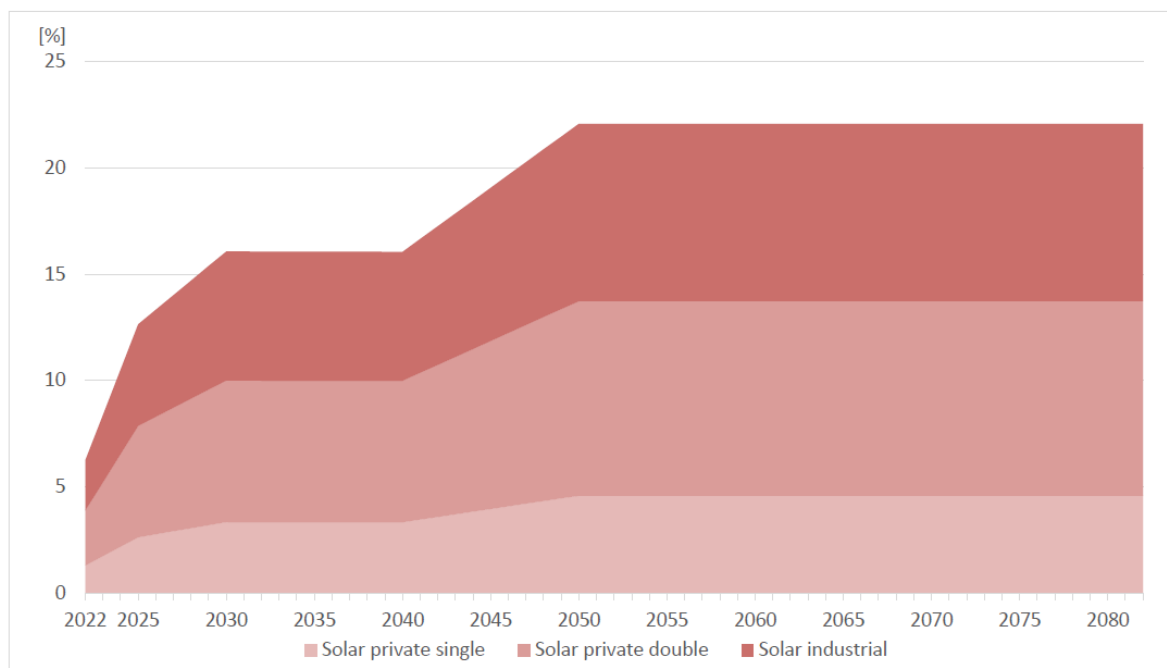
Grafiek 35: De milieu-impact van één kWh zonne-energie opgewekt door het privaat enkel PV-paneel als opwekkingsstelsel

Op deze grafiek is te zien dat vanaf het beginjaar 2021 de verhouding van de milieu-impact van het elektriciteit gebonden en de milieu-impact van het niet elektriciteit gebonden aspect zich anders gedraagt dan de verhouding die aangereikt wordt in de Ecoinvent databank. Zo verandert de verhouding van de milieu-impact van het elektriciteit gebonden aspect van 49% naar 23% van de totale milieu-impact voor één kWh zonne-energie opgewekt door het privaat enkel PV-paneel als opwekkingsstelsel. Zoals te zien is op de grafiek zal de productie van één kWh zonne-energie opgewekt door het privaat enkel PV-paneel als opwekkingsstelsel de eerste jaren een hogere milieu-impact vertonen dan in 2021. Het is pas vanaf het jaar 2046 dat de productie van één kWh zonne-energie opgewekt door het privaat enkel PV-paneel als opwekkingsstelsel een lagere milieu-impact vertoont dan in 2021. Daarnaast volgt de milieu-impact van het elektriciteit gebonden aspect dezelfde trend als de milieu-impact van de dynamische elektriciteitsmix. Hierbij wordt er niet verwezen naar de milieu-impact van de dynamische elektriciteitsmix uit *Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix* maar naar de milieu-impact van de dynamische elektriciteitsmix uit het onderdeel: *De milieu-impact van zonne-energie na de*

implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie van dit hoofdstuk. Tot slot verandert de verhouding in 2082 naar 80,6% en 19,4% voor respectievelijk het niet elektriciteit gebonden aspect en het elektriciteit gebonden aspect. Voor de andere twee types opwekkingsystemen is een gelijkaardig verloop waar te nemen. Deze grafieken zijn te zien in *Bijlage G: De implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie*.

Het aandeel zonne-energie in de elektriciteitsmix

Het laatste element van de formule is het aandeel zonne-energie. Dit onderdeel werd al eerder bepaald tijdens het opstellen van de dynamische elektriciteitsmix in *Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix*. Voor de verduidelijking wordt dit aandeel nogmaals weergegeven in onderstaande grafiek. Hierbij is zonne-energie opgesplitst in zonne-energie opgewekt door private PV-panelen (zowel enkel als dubbel) en zonne-energie opgewekt door zonneparken. Op deze grafiek is vooral te zien dat zonne-energie het minst opgewekt wordt door een enkel privaat PV-paneel en het meest door een dubbel privaat PV-paneel. Vanaf 2050 zal de dynamische Belgische elektriciteitsmix bestaan uit 22,1% zonne-energie.



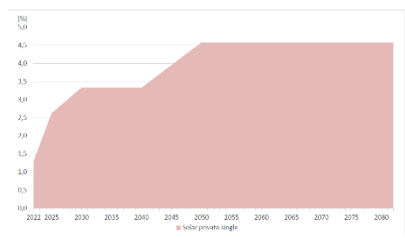
Grafiek 36: Het aandeel zonne-energie in de dynamische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082

De milieu-impact van zonne-energie na de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie

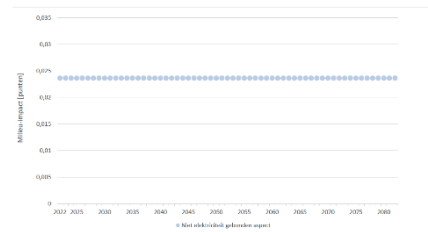
Zoals eerder vermeld waren er drie elementen nodig om de totale milieu-impact van het aandeel zonne-energie in de dynamische elektriciteitsmix te bepalen. Deze drie elementen werden hiervoor besproken. Hierdoor kan de formule uit het onderdeel *Het aandeel zonne-energie in de elektriciteitsmix* van dit hoofdstuk ingevuld worden. Deze formule zal in dit onderdeel vervangen worden door de bijhorende grafieken om zo de tussenstappen duidelijk weer te geven. Hierbij wordt enkel het privaat enkel PV-paneel als opwekkingsstelsel uitgewerkt. De uitwerking van de andere twee types opwekkingsstelsels zijn terug te vinden in *Bijlage G: De implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie*. Uiteindelijk wordt de milieu-impact van de dynamische elektriciteitsmix na de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie bekomen.

De milieu-impact van zonne-energie in de elektriciteitsmix = Het aandeel zonne-energie in de elektriciteitsmix x (De milieu-impact van het niet elektriciteit gebonden aspect + De milieu-impact van het elektriciteit gebonden aspect)

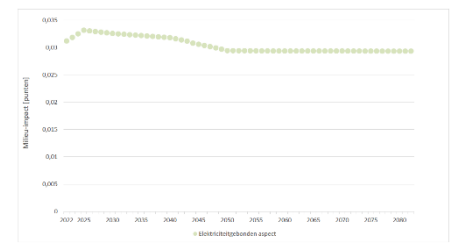
De milieu-impact van Van zonne-energie in = de elektriciteitsmix



x (

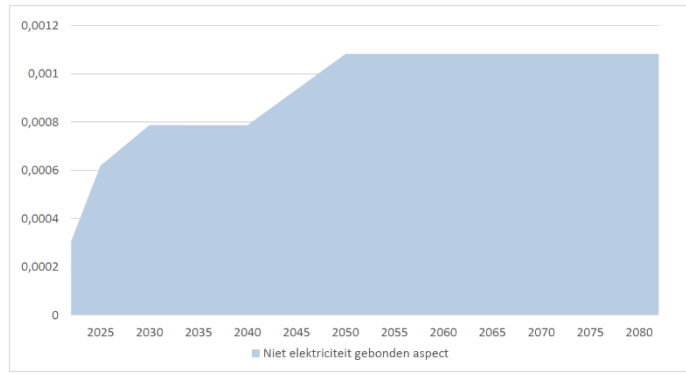


+

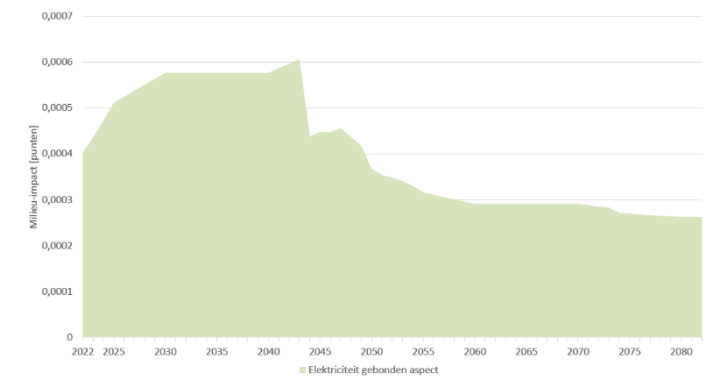


)

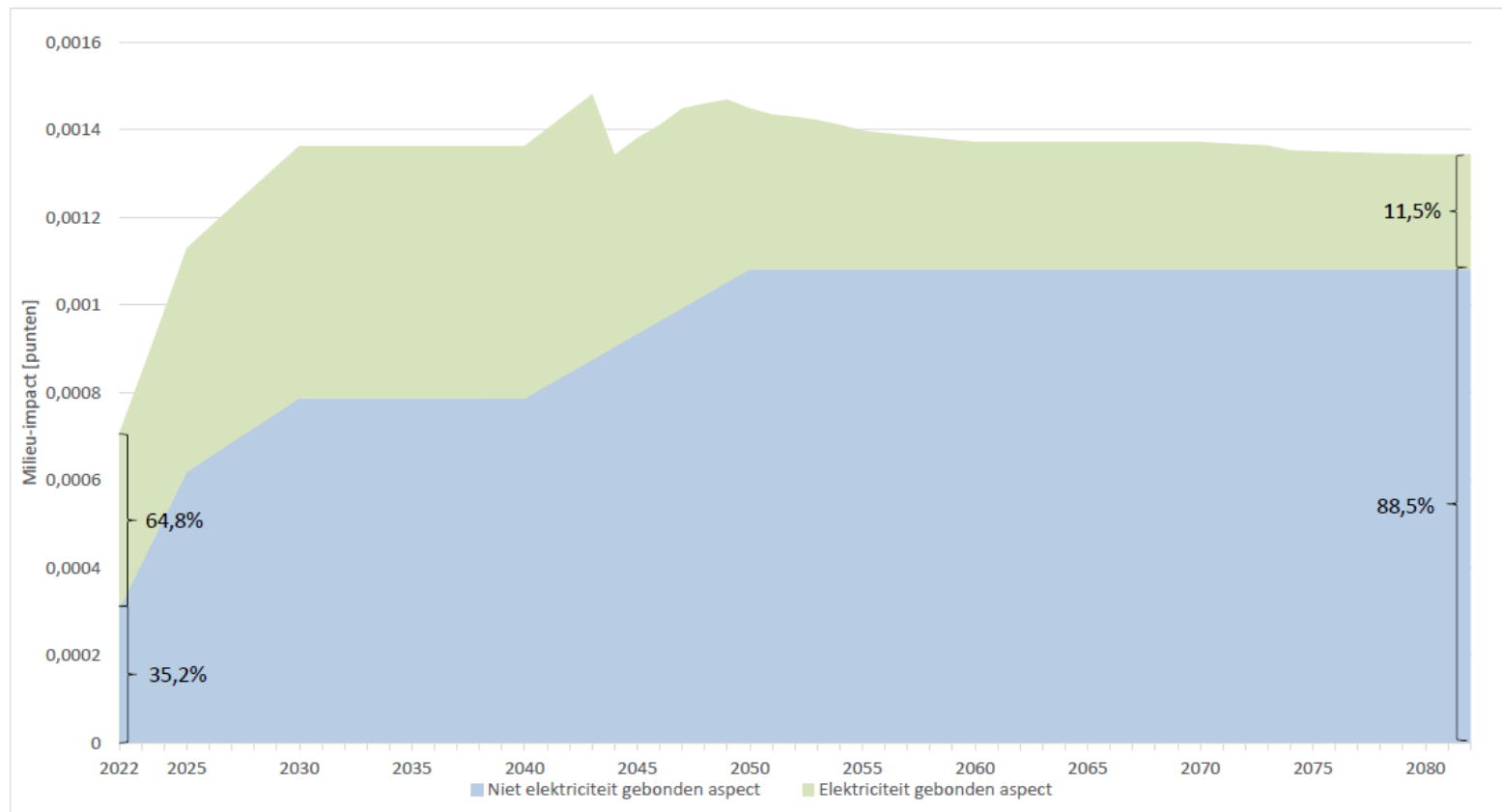
De milieu-impact van Van zonne-energie in = de elektriciteitsmix



+



De milieu-impact van
Van zonne-energie in =
de elektriciteitsmix



Grafiek 37: De formule van de milieu-impact van zonne-energie in de elektriciteitsmix voor het privaat enkel PV-paneel als opwekkingsysteem

Tijdens de uitwerking van de formules komen de drie elementen voor het eerst samen. Hierop is logischerwijs te zien dat, eenmaal het aandeel zonne-energie gecombineerd wordt met de milieu-impact van het niet elektriciteit gebonden aspect, de trend van het aandeel zonne-energie behouden wordt. Deze conclusie spreekt voor zich omdat de niet elektriciteit gebonden aspect een constante is.

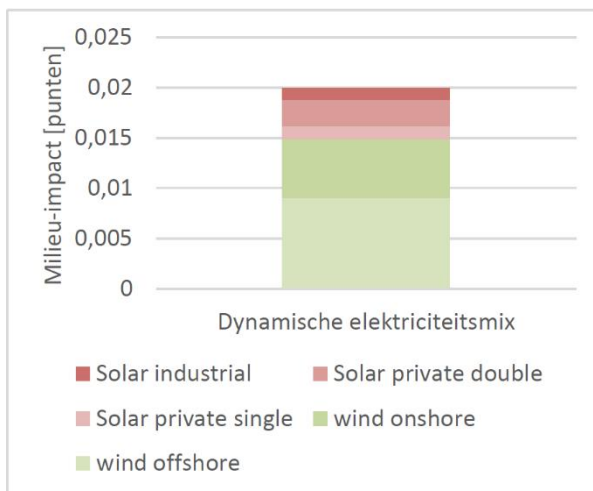
Daarnaast werd ook het aandeel zonne-energie gecombineerd met de milieu-impact van het elektriciteit gebonden aspect. Hierop is te zien dat tussen 2021 en 2025 de milieu-impact van het elektriciteit gebonden aspect van het aandeel zonne-energie in de dynamische elektriciteitsmix stijgt. Deze stijging is een combinatie van enerzijds de stijging van de milieu-impact van de dynamische elektriciteitsmix en anderzijds de stijging van het aandeel zonne-energie in de dynamische elektriciteitsmix. Vervolgens stijgt de milieu-impact van het elektriciteit gebonden aspect tussen 2025 en 2030. Deze stijging kan verklaard worden door een sterke stijging in het aandeel zonne-energie van de dynamische elektriciteitsmix. Deze stijging is opmerkelijk omdat de milieu-impact voor één kWh zonne-energie opgewekt door een privaat enkel PV-paneel vanaf 2025 begon te dalen. Deze daling in combinatie met de sterke stijging in het aandeel zonne-energie resulteert in een toename van de totale milieu-impact. Dit globale beeld blijft dan wel een toename, maar de daling van de milieu-impact van het dynamisch aspect voor de elektriciteitsproductie van zonne-energie zorgt wel voor een minder sterke stijging. Verder blijft tussen 2030 en 2040 de curve constant. Deze stagnatie valt te verklaren door de afwezigheid van een groei in het aandeel zonne-energie van de dynamische elektriciteitsmix. Vervolgens verloopt de milieu-impact van het elektriciteit gebonden aspect van het aandeel zonne-energie tussen 2040 en 2044 in een stijgende lijn. Vanaf 2044 daalt de milieu-impact van het elektriciteit gebonden aspect aanzienlijk. Deze daling valt te verklaren doordat de PV-panelen uit 2014 hun eindelevensduur bereikt hebben. Zo worden de opwekkingssystemen uit 2014 vervangen door nieuwe opwekkingssystemen in 2044, bijgevolg wordt de elektriciteitsmix van 2043 (het productiejaar) gekoppeld aan het elektriciteit gebonden aspect van zonne-energie. De milieu-impact van de dynamische elektriciteitsmix is vele malen kleiner in 2043 dan in 2021. Hiervoor kan niet teruggekeken worden naar de milieu-impact bepaald in *Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix* doordat in deze milieu-impact de extra dimensie van de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie nog niet werd toegepast. Voor de dynamische elektriciteitsmix met de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie wordt verwezen naar verder in dit hoofdstuk. Tot slot zal vanaf 2044 het elektriciteit gebonden aspect van het aandeel zonne-energie in de dynamische elektriciteitsmix blijven dalen. Dit komt doordat het aandeel zonne-energie in de dynamische elektriciteitsmix constant blijft. Bovendien zullen vanaf 2044 de oude opwekkingssystemen jaarlijks vervangen worden. Hierdoor blijft de dynamische elektriciteitsmix dalen en daalt dus ook het elektriciteit gebonden aspect. Ten opzichte van 2021 is in 2082 de verhouding tussen het elektriciteit gebonden aspect en het niet elektriciteit gebonden aspect verandert van respectievelijk 64,8% en 35,2% naar 11,5% en 88,5%. Indien dezelfde aannames zich verderzetten na 2082 zullen zowel de dynamische elektriciteitsmix als het elektriciteit gebonden aspect blijven dalen. Beide waarden evalueren naar een horizontale asymptoot. Als laatste kanttekening over deze grafiek zou kunnen worden verondersteld dat een kortere levensduur van de PV-panelen zou leiden naar een totaal lagere milieu-impact. Door de kortere levensduur van de PV-panelen zal de sterke daling van de milieu-impact in 2044 vroeger plaatsvinden en zal de totale milieu-impact verlagen. Echter moet met deze conclusie voorzichtig worden omgegaan. Zo werd in

dit onderzoek geen rekening gehouden met module C en D. Bovendien zal de afvalverwerkingsfase voor een PV-paneel een relatief hoog aandeel bevatten van de totale milieu-impact.

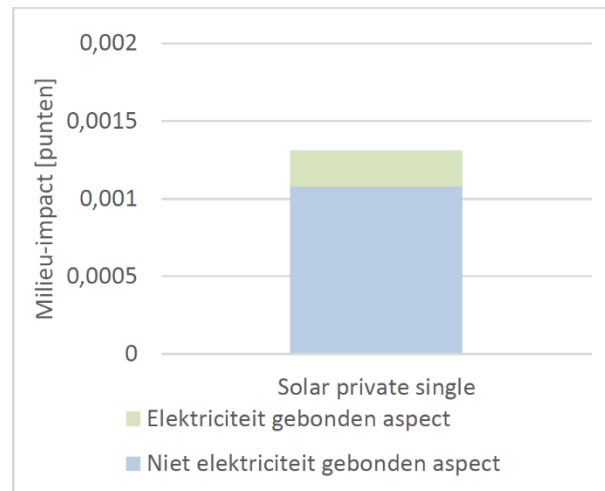
De horizontale asymptoot

De horizontale asymptoot dat hiervoor werd aangehaald zal in dit onderdeel worden begroot. Bovendien kan gesteld worden dat de horizontale asymptoot van zonne-energie, opgewekt door het privaat enkel PV-paneel als opwekkingsstelsel, niet nul is. Zo zal het elektriciteit gebonden aspect altijd een constante factor bevatten omdat de dynamische elektriciteitsmix ook een constante factor bevat. Tijdens elke vervanging van een PV-paneel wordt ook meer en meer gestreefd naar deze asymptoot.

De asymptoot van het elektriciteit gebonden aspect is gelijk aan de milieu-impact van het niet elektriciteit gebonden aspect van het aandeel zonne-energie, opgewekt door het privaat enkel PV-paneel als opwekkingsstelsel. Hierbij is de milieu-impact van het niet elektriciteit gebonden aspect begroot door de dynamische elektriciteitsmix waarin de milieu-impact van het elektriciteit gebonden aspect van de energiebron zonne-energie gelijk wordt gesteld aan nul. Bovendien zal door de eerder besproken loop ook de dynamische elektriciteitsmix evalueren naar een asymptoot. Deze asymptoot is gelijk aan de milieu-impact van de dynamische elektriciteitsmix waarin de milieu-impact van het elektriciteit gebonden aspect van de energiebron zonne-energie gelijk wordt gesteld aan nul. Ter verduidelijking zijn beide asymptoten begroot in Grafiek 38 en Grafiek 39. Voor de andere twee types opwekkingsystemen van zonne-energie wordt een gelijkaardig verloop gevonden.



Grafiek 38: De asymptoot van de milieu-impact van de dynamische elektriciteitsmix



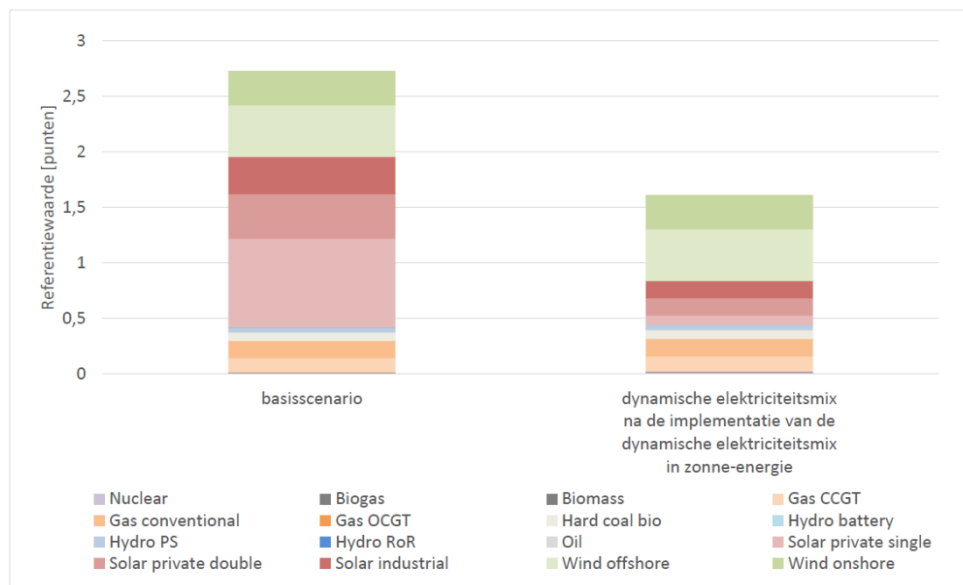
Grafiek 39: De asymptoot van de milieu-impact van de energiebron zonne-energie opgewekt door het privaat enkel PV-paneel als opwekkingsstelsel

Als kanttekening kan worden aangebracht dat Indien de vooropgestelde aannames veranderen, de asymptoot ook zal mee veranderen. Zo zal de asymptoot mee veranderen met de verandering in de onderlinge verhouding van de verschillende energiebronnen. Verder werd verondersteld dat de elektriciteitsmix vanaf 2050 constant verloopt, terwijl dit in realiteit niet zo zal zijn. Bovendien zullen tegen 2050 ook al nieuwe doelstellingen vooropgesteld worden. Hierdoor zal het elektriciteit gebonden aspect nooit kunnen evolueren naar de asymptoot, maar blijft het theoretisch model wel gelden.

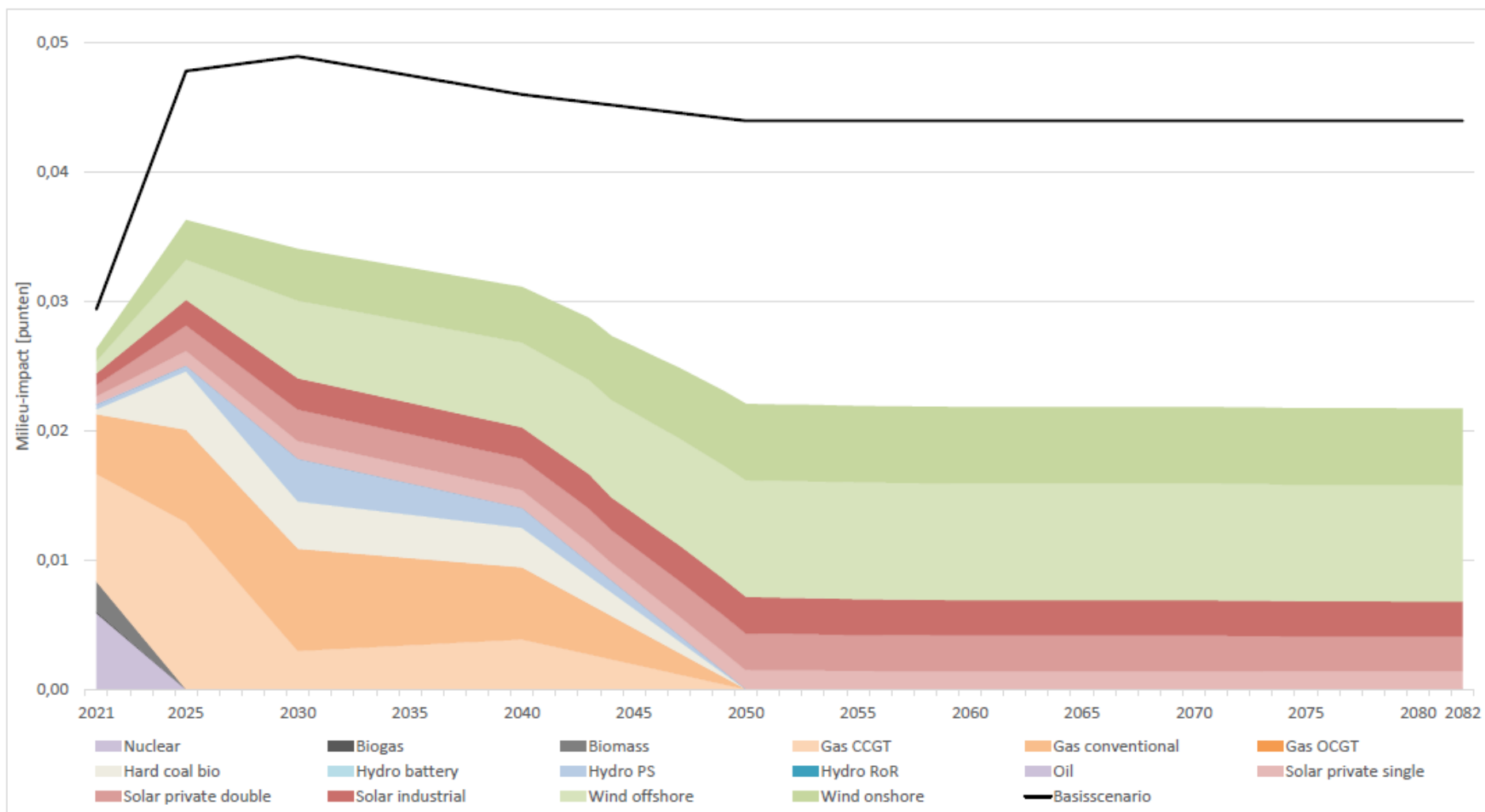
De milieu-impact van de dynamische elektriciteitsmix na de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie

Als laatste aspect van dit deelonderzoek wordt de totale milieu-impact van de dynamische elektriciteitsmix opgesteld en weergegeven in Grafiek 41. Hierbij is in het aandeel zonne-energie de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix doorgevoerd. Verder kan hieruit geconcludeerd worden dat de milieu-impact van de energiebron zonne-energie sterk gereduceerd is. Zo neemt de milieu-impact van windenergie na 2050 overduidelijk de bovenhand. Terwijl dit in het basisscenario uit *Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix* niet het geval was. Daarnaast valt het dynamisch aspect van de milieu-impact in zonne-energie niet op in de totale milieu-impact van de dynamische elektriciteitsmix. Hiervoor moet er dieper ingezoomd worden op de milieu-impact van zonne-energie zoals in Grafiek 37.

Om een duidelijk beeld te schetsen omtrent de impact van de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie, werd het basisscenario in Grafiek 41 aangeduid met een volle zwarte lijn. Bovendien kan deze impact ook gekwantificeerd worden door de jaarlijkse milieu-impact van één kWh op te tellen tot één getal of met andere woorden het oppervlak onder de curve op te tellen. Deze waarde is in het basisscenario gelijk aan 2,76 punten, terwijl dit na de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie daalt naar 1,61 punten. Hierdoor kan gesteld worden dat dit onderzoek een verfijning oplevert van 42%. Beide referentiewaarden zijn weergegeven in onderstaande grafiek.



Grafiek 40: De referentiewaarde van het basisscenario en het scenario met de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie



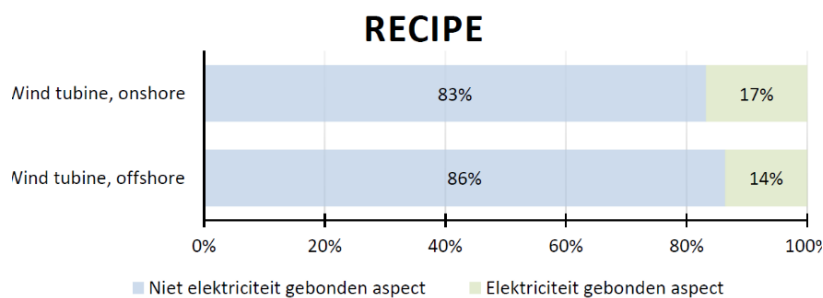
Grafiek 41: De milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix met de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie

Conclusie

Uit deze gevoeligheidsanalyse blijkt dat de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in zonne-energie als energiebron wel degelijk een verfijning van de totale milieu-impact van de dynamische elektriciteitsmix oplevert. Zo daalt in 2050 de milieu-impact van zonne-energie met 75% en de totale milieu-impact met 50%. Bovendien zal de referentiewaarde van het basisscenario naar het scenario met de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie zakken van 2,76 punten naar 1,61 punten en levert dit een reductie op van 42%. Hierdoor kan gesteld worden dat zonne-energie wel een goed alternatief is als hernieuwbare energiebron om in te investeren. De oorzaak van de hoge milieu-impact uit *Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix* ligt weldegelijk aan het hoog elektriciteitsverbruik.

Verder moet opnieuw worden benadrukt dat de milieu-impact van het aandeel zonne-energie louter bekomen is door het doorvoeren van enkele aannames. Zo werd handmatig het elektriciteitsverbruik uit SimaPro opgeteld. Hierbij werden de achterliggende processen met een milieu-impact kleiner dan 1% van de totale milieu-impact niet mee opgenomen in het onderzoek. Vervolgens kan deze onnauwkeurigheid in het onderzoek zorgen voor een milieu-impact dat lager ligt dan de milieu-impact waarbij gewerkt werd met een gedetailleerde berekening.

Daarnaast werd deze implementatie van de dynamische elektriciteitsmix louter doorgevoerd in de energiebron zonne-energie. In de andere energiebronnen werd het elektriciteitsverbruik niet dynamisch geïmplementeerd. Indien het elektriciteitsverbruik van deze energiebronnen ook dynamisch werden opgesteld, zouden enerzijds de milieu-impact van deze energiebronnen dalen en anderzijds zou deze daling ook een invloed hebben op de milieu-impact van het elektriciteit gebonden aspect van zonne-energie. Hierdoor daalt de milieu-impact van zonne-energie opnieuw. Echter bestaat de milieu-impact van hernieuwbare energiebronnen louter uit de constructie van de opwekkingssystemen. Hierbij bestaat de milieu-impact van de energiebron zonne-energie voor een groot aandeel uit de milieu-impact ten gevolge van het elektriciteitsverbruik, met andere woorden bestaat de milieu-impact van zonne-energie voor 43% tot 49% uit het dynamisch aspect (de percentages hangen af in functie van de opwekkingssystemen), terwijl bij niet-hernieuwbare energiebronnen de milieu-impact bestaat uit enerzijds de milieu-impact van de constructie en anderzijds de milieu-impact van de elektriciteitsproductie. Hierdoor is bij niet-hernieuwbare energiebronnen het aandeel van het dynamisch aspect relatief gezien kleiner dan bij hernieuwbare energiebronnen, omdat er rekening moet gehouden worden met de milieu-impact van de elektriciteitsproductie. De exacte verhouding tussen de ingebodde energie en de operationele energie werd reeds onderzocht in *Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank*. Indien er naast de milieu-impact van de hernieuwbare energiebron zonne-energie ook gekeken wordt naar de milieu-impact van windenergie dan is duidelijk dat de milieu-impact ten gevolge van het elektriciteit gebonden aspect bij windenergie vele malen kleiner is. Hierdoor zal het effect van de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in windenergie kleiner zijn dan bij zonne-energie. De exacte verhouding tussen het niet elektriciteit gebonden en het elektriciteit gebonden aspect van windenergie is weergegeven in Grafiek 42. Deze waarden zijn opnieuw onderzocht door Y. Decorte.



Grafiek 42: De verhouding van het niet elektriciteit gebonden en het elektriciteit gebonden aspecten van windenergie

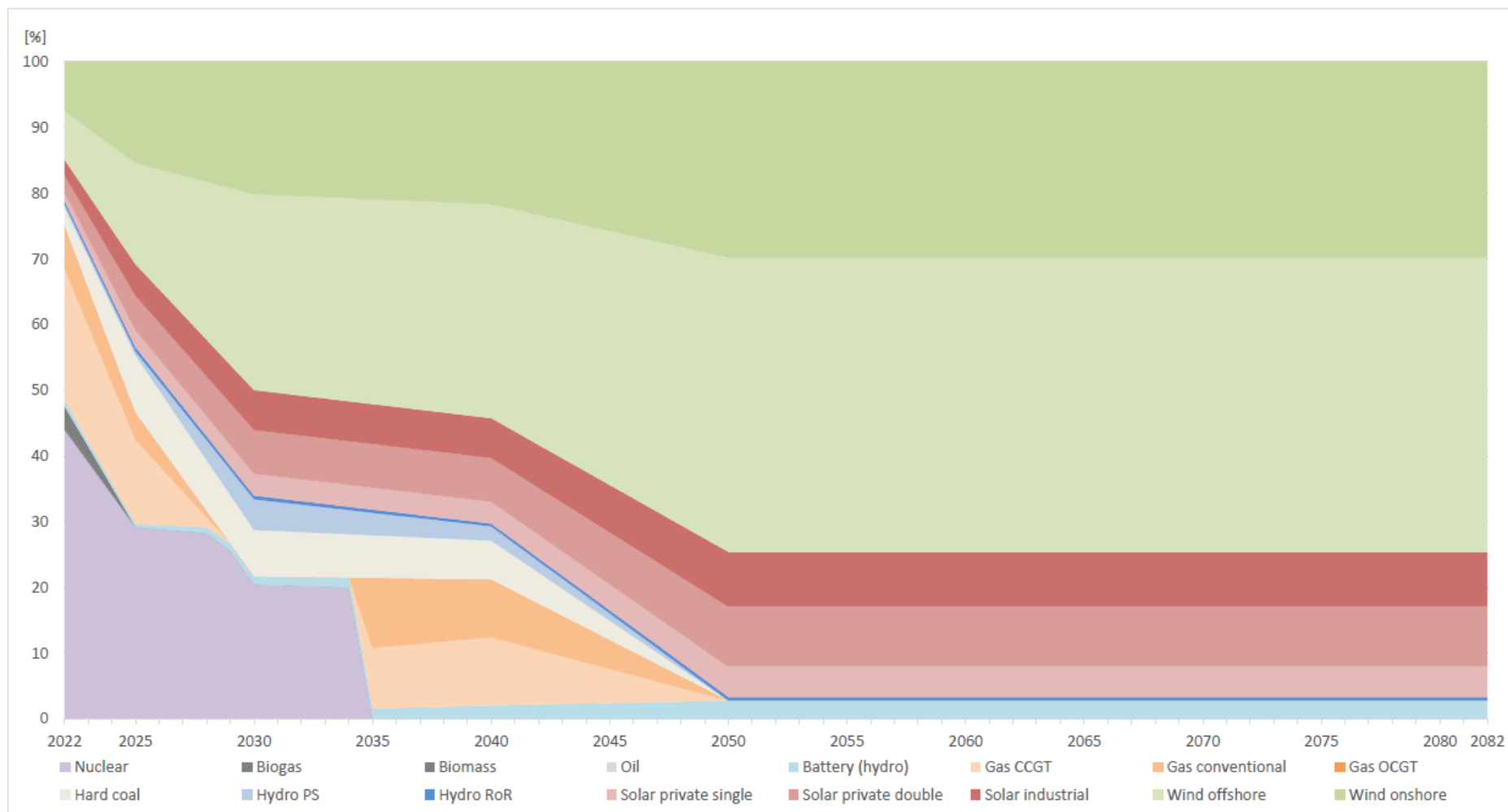
Een toetsing aan de actualiteit

Als laatste deelonderzoek van de gevoeligheidsanalyse worden de bekomen resultaten uit *Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix* afgetoetst aan de actualiteit. Zo zou België de elektriciteitscentrales in Doel vier en Tihange drie, die eigenlijk in 2025 zouden sluiten, nu toch nog blijven gebruiken tot in 2035. Dit komt door de huidige prijsstijgingen van gas als energiebron als gevolg van de oorlog in Oekraïne. Indien België de elektriciteitscentrales in Doel vier en Tihange drie langer zouden ophouden, zou België één miljard euro extra kunnen investeren in de overgang naar hernieuwbare energie. Echter is het nog niet zeker dat de centrales ook daadwerkelijk zullen openblijven. Hiervoor zal de huidige regeringscoalitie nog verder moeten onderhandelen (RTL nieuws, 2022). In deze gevoeligheidsanalyse zullen een kernscenario en een extreem kernscenario worden voorzien voor de dynamische elektriciteitsmix, zodanig dat de impact van het beleid op de milieueffecten van de dynamische elektriciteitsmix kan afgetoetst worden.

Het aandeel kernenergie in het kernscenario

In het huidige voorstel is er sprake om enkel Doel vier en Tihange drie als kerncentrale open te houden. Deze twee centrales komen overeen met een continue elektriciteitsproductie van twee GW op jaarbasis of met andere woorden 17520 GWh per jaar. Om deze elektriciteitsproductie te kunnen implementeren in het basisscenario, moeten andere energiebronnen inboeten aan elektriciteitsproductie. Dit komt omdat er wordt verondersteld dat de elektriciteitsvraag constant blijft. Het is louter de onderlinge verhouding tussen de energiebronnen die zal veranderen. Om deze onderlinge verhouding zo realistisch mogelijk op te bouwen, wordt er terug verwezen naar het vast stramien van de opbouw van een elektriciteitsmix. Dit onderdeel werd in de conclusie van de eerste gevoeligheidsanalyse besproken. Hierbij werd gesteld dat de geproduceerde elektriciteit door hernieuwbare energiebronnen ten allen tijde eerst zal worden gebruikt. Nadien wordt de overige elektriciteitsvraag opgevangen door vraaggestuurde energiebronnen zoals gas en kernenergie, maar kernenergie is niet zuiver een vraaggestuurde energiebron. Zo wekt een kerncentrale continue elektriciteit op aan een vast tempo en is het niet mogelijk om de elektriciteitsproductie door kernenergie sterk te laten variëren, terwijl de elektriciteitsproductie door de energiebron gas op elk moment kan wisselen. Deze elektriciteitsproductie hangt louter af van de hoeveelheid gas dat verbrand wordt per tijdseenheid. Desalniettemin heeft elke gascentrale een maximaal vermogen en bijgevolg dus ook een productielimiet. Doordat de elektriciteitsproductie door kernenergie binnen het stramien van de elektriciteitsmix het meeste aansluit bij de elektriciteitsproductie door gas, wordt deze productie één-op-één vervangen.

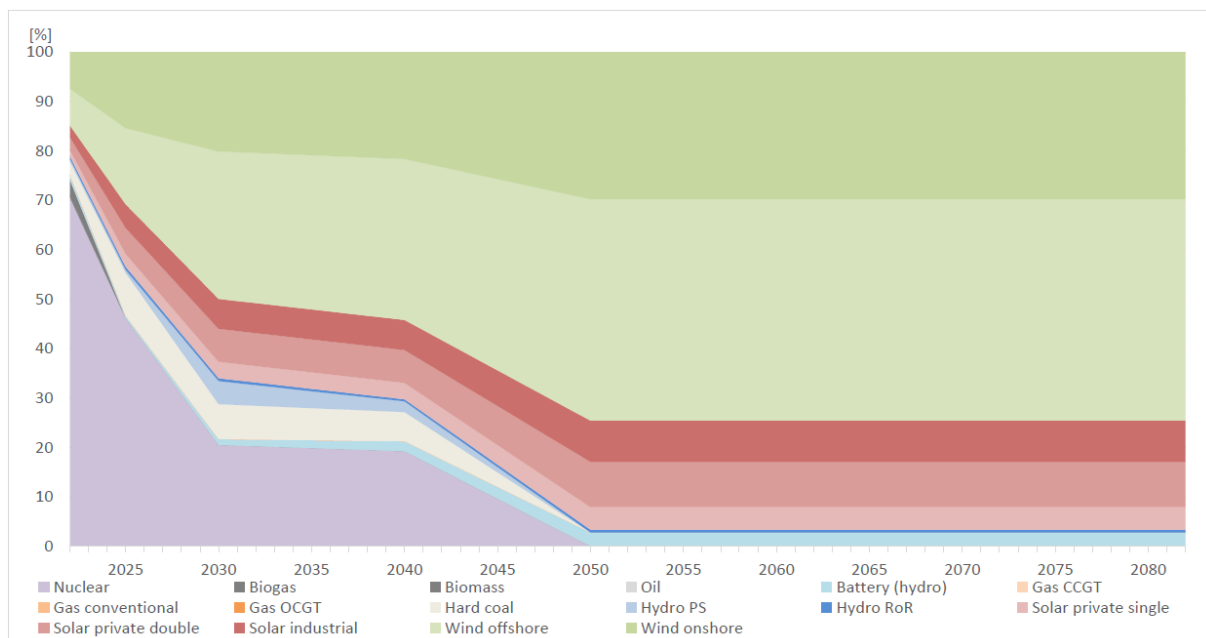
Voor het opstellen van het kernscenario worden de aannames uit *Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix* behouden. Zo zal ook tussen 2022 en 2025 de kernenergie lineair afnemen door het sluiten van de verschillende kerncentrales, maar zullen in dit scenario zowel de kerncentrale Doel vier als Tihange drie opengehouden worden. Vanaf 2025 zal in theorie de elektriciteitsproductie door kernenergie constant zijn en zal dus ook het aandeel kernenergie in de dynamische elektriciteitsmix constant zijn tot in 2035. Daarentegen zal volgens de aannames uit *Hoofdstuk 6: De milieueffecten van de dynamische Belgische elektriciteitsmix* de elektriciteitsproductie van de energiebron gas alsmaar meer afnemen en uiteindelijk uitdoven in 2050. Hierdoor zal vanaf 2028 meer elektriciteit geproduceerd worden door kernenergie dan door de energiebron gas. Bovendien kan, zoals hierboven vermeld, de elektriciteitsproductie door kernenergie niet zomaar variëren, bijgevolg wordt verondersteld dat het overschot aan elektriciteitsproductie door kernenergie zal worden geëxporteerd naar het buitenland. Verder zullen in 2035 de overige twee kerncentrales gesloten worden. Tot slot is de onderlinge verhouding van het kernscenario te zien in Grafiek 43.



Grafiek 43: Het kernscenario voor 2022 tot 2082

Het aandeel kernenergie in het extreem kernscenario

Vervolgens kan naast het kernscenario ook een extreem kernscenario uitgewerkt worden. Hiervoor zal opnieuw het basisscenario als vertrekpunt worden beschouwd, maar zal de vraaggestuurde energiebron gas volledig vervangen worden door nucleaire energie. Dit scenario is weliswaar onrealistisch, maar het biedt wel inzichten in de investeringsmogelijkheden. Zo kan dit scenario een duidelijk beeld scheppen over de verschillen tussen de energiebronnen gas en kernenergie. Daarnaast kan vanuit de milieueffecten bepaald worden of de federale regering via het beleid de Belgische elektriciteitsmix in een milieuvriendelijke richting stuurt. Bovendien worden de onderlinge verschillen in milieueffecten tussen het basisscenario en het kernscenario duidelijker door een extreem kernscenario eraan toe te voegen. Kortom het extreem kernscenario is een scenario dat is toegevoegd om meer duiding te geven over de transitie naar het behalen van de klimaat- en energiedoelstellingen. De verhouding van de verschillende energiebronnen van het extreem kernscenario is weergegeven in onderstaande grafiek.



Grafiek 44: Het extreem kernscenario voor 2022 tot 2082

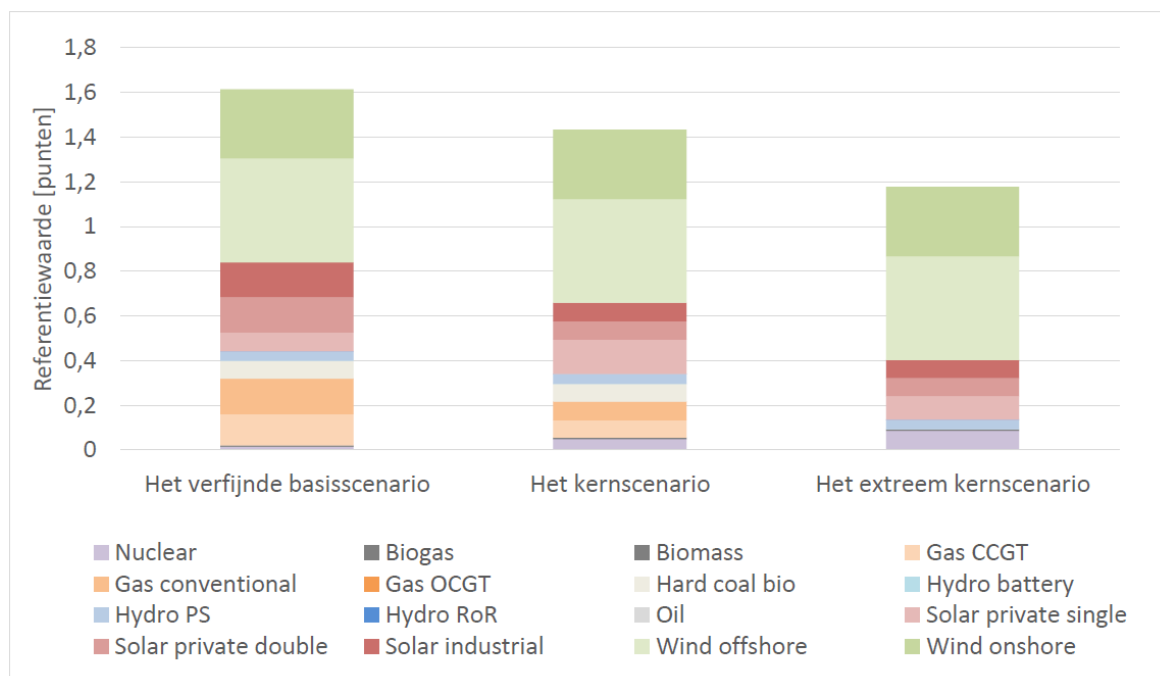
De milieu-impact van het kernscenario en het extreem kernscenario

Als volgende stap in deze analyse worden de milieueffecten bepaald. Zoals al vaak aangehaald in deze masterproef streeft de Europese Unie tegen 2050 naar een klimaatneutraal continent. Hierdoor ligt het eindpunt (voorlopig) al vast. Het is echter de transitie naar het behalen van de klimaat- en energiedoelstellingen dat doorweegt in de weerslag op de klimaatverandering. Om meer inzicht te krijgen in de milieueffecten van het kernscenario, zal dit scenario telkens vergeleken worden met het basisscenario en het extreem kernscenario. Enkel bij de milieu-impact zal niet vergeleken worden met het basisscenario, maar met het scenario waarbij de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie al is doorgevoerd. Voortaan zal dit scenario het verfijnde basisscenario worden genoemd.

Als eerste milieueffect wordt de milieu-impact onderzocht. De dynamiek van de milieu-impact is weergegeven in Grafiek 46. Hierop is te zien dat de milieu-impact van het kernscenario vanaf 2022 tot in 2082 lager scoort dan het verfijnde basisscenario. Daarnaast is ook te zien dat het extreem

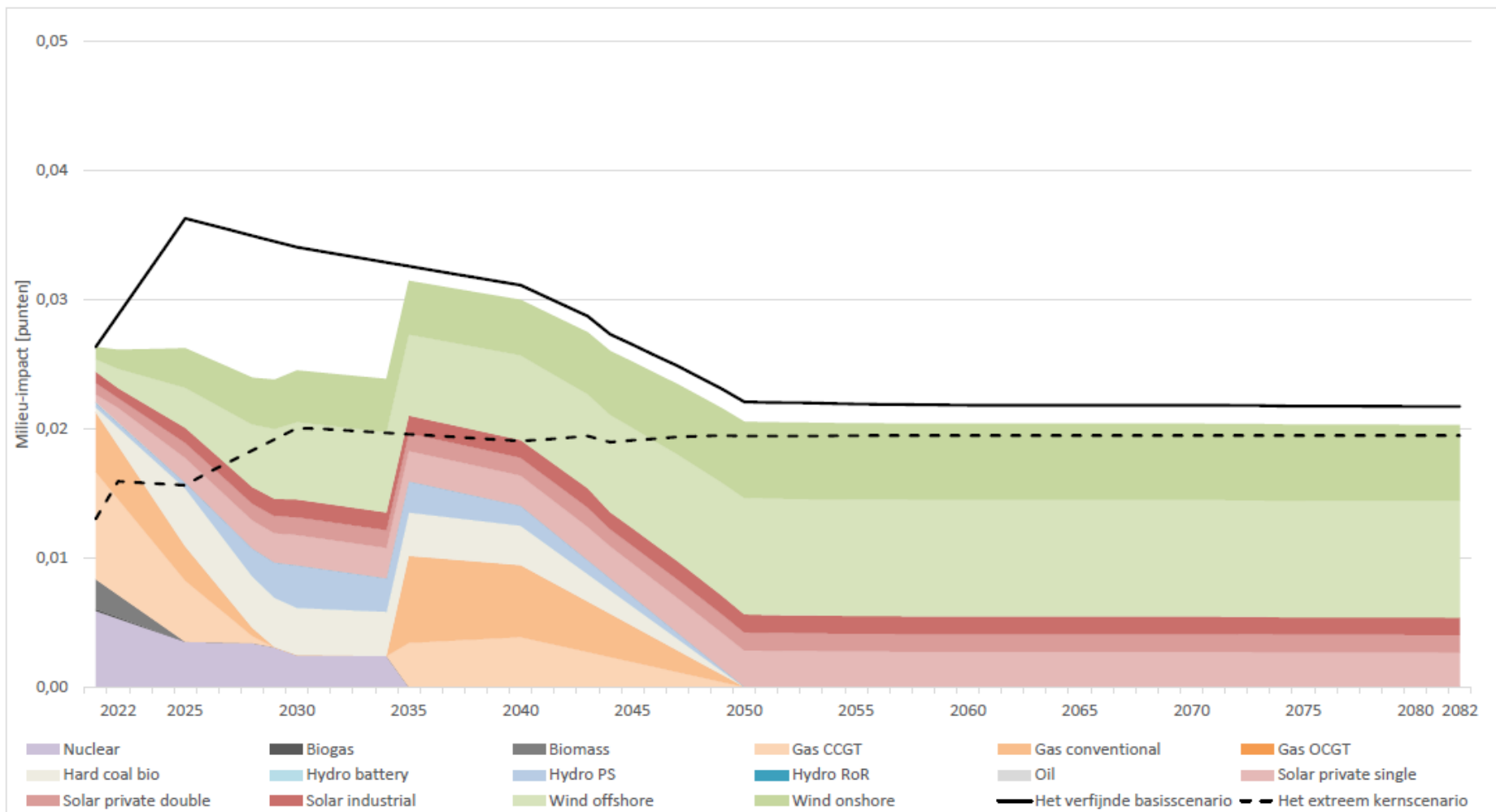
kernscenario nog lager scoort dan het kernscenario vanaf 2022 tot in 2082. In eerste instantie kan de daling van de milieu-impact van 2022 tot 2035 verklaard worden door de afname van de energiebron gas en de toename van kernenergie. Zo werd in *Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank* verklaard dat de milieu-impact van kernenergie laag scoort in vergelijking met de andere energiebronnen. Terwijl de energiebron gas vele malen hoger scoorde. Bovendien is in het extreem kernscenario nog duidelijker dat de Belgische elektriciteitsmix zonder gas als energiebron beter scoort op vlak van milieu-impact dan met gas als energiebron. Desondanks zal de daling van de milieu-impact niet volledig te wijten zijn aan deze verklaring. Zo zal de lagere milieu-impact van het kernscenario ook zijn invloed hebben op de milieu-impact van de energiebron zonne-energie. Dit komt doordat in het verfijnde basisscenario al rekening werd gehouden met de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie. Deze bevinding is geldig van 2022 tot 2082. Bovendien bevestigen deze resultaten nogmaals de conclusie uit de tweede gevoeligheidsanalyse. Zo zal inderdaad de milieu-impact van de energiebron zonne-energie verder dalen indien de milieu-impact van de andere energiebronnen dalen.

Verder kunnen deze bevindingen gekwantificeerd worden aan de hand van een referentiewaarde. Deze referentiewaarde is nog steeds de som van de jaarlijkse milieu-impact van één kWh elektriciteitsproductie of met andere woorden het oppervlak onder de curve. Deze waarde is in het basisscenario, kernscenario en het extreem kernscenario gelijk aan respectievelijk 1,61 punten, 1,43 punten en 1,18 punten. Zo levert het kernscenario en het extreem kernscenario een verbetering van 12% en 37% op ten opzichte van het verfijnde basisscenario. Hierdoor kan gesteld worden dat vanuit de milieu-impact het kernscenario een beter scenario is om in te investeren dan het verfijnde basisscenario. De referentiewaarden zijn weergegeven in onderstaande grafiek.



Grafiek 45: De referentiewaarde van het verfijnde basisscenario, het kernscenario en het extreme kernscenario

Tot slot werd ook de onderlinge verhouding van de milieu-impact van het extreem kernscenario mee opgenomen in *Bijlage G: De implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie*.

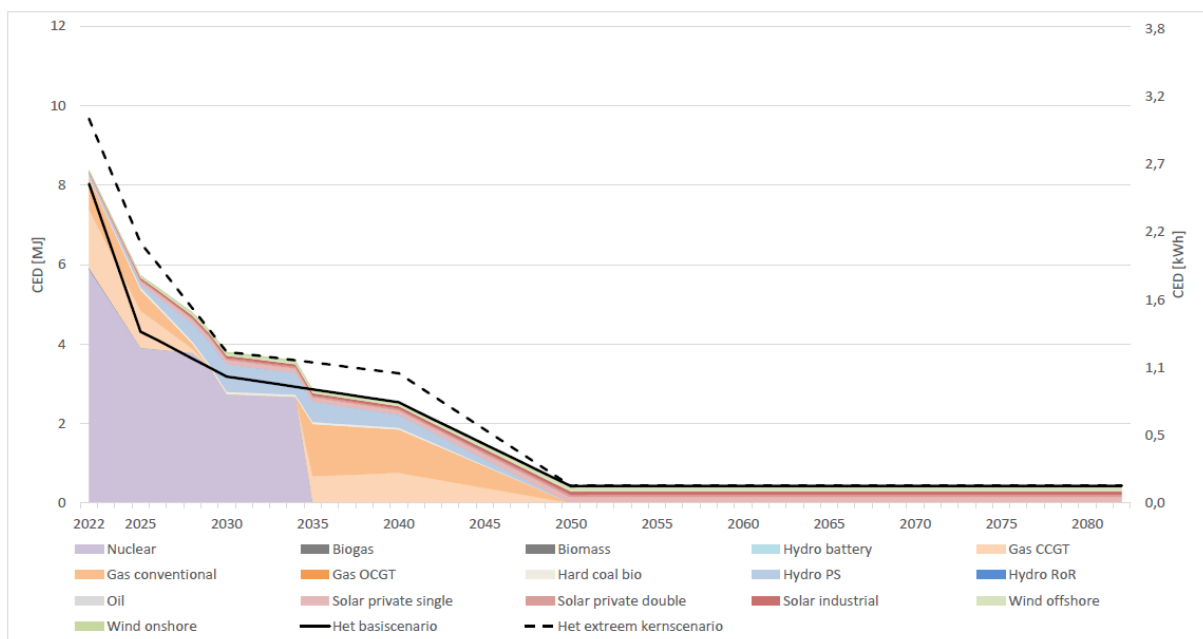


Grafiek 46: De milieu-impact van het kernscenario voor 2022 tot 2082

De primaire energie van het kernscenario en het extreem kernscenario

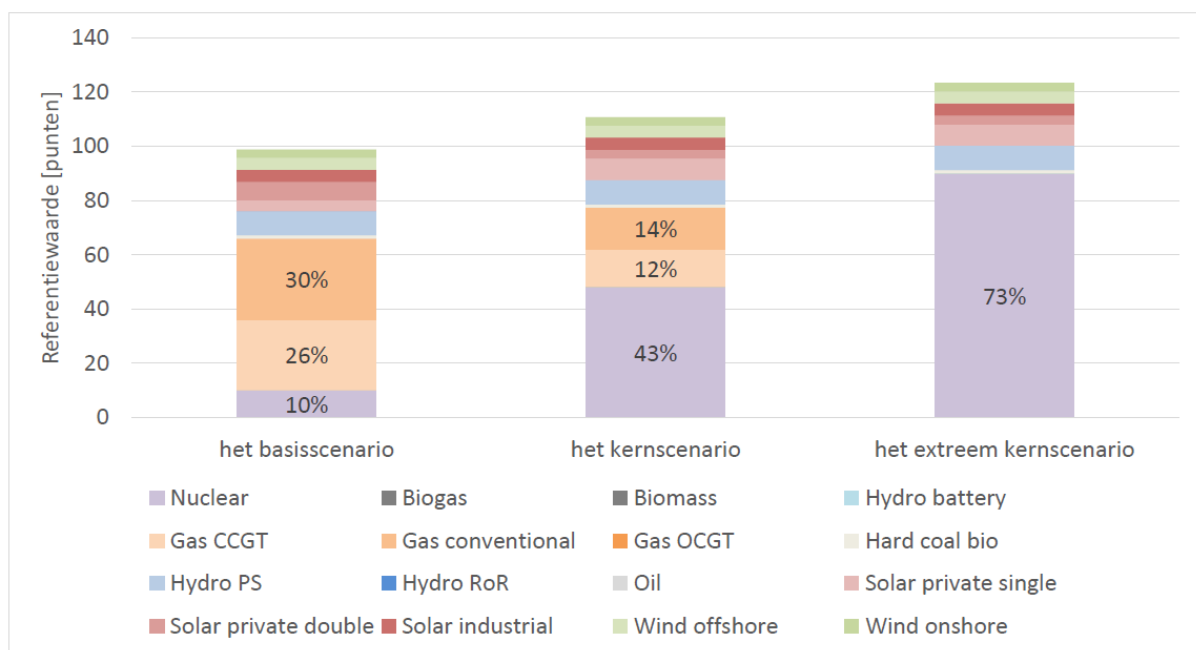
Als tweede milieueffect kan ook de primaire energie onderzocht worden. Op Grafiek 49 is te zien dat van 2022 tot en met 2035 de primaire energie van het kernscenario en het extreem kernscenario hoger scoren dan van het basisscenario, dus is de elektriciteitsproductie van de dynamische elektriciteitsmix volgens het kernscenario en volgens het extreem kernscenario minder energie-efficiënt. Deze bevinding kan verklaard worden door het feit dat de elektriciteitsopwekking door kernenergie inefficiënter gebeurt dan door gas als energiebron. Vanaf 2035 faseert de kernenergie in het kernscenario uit en is vanaf 2035 de primaire energie van het kernscenario gelijk aan de primaire energie van het basisscenario, terwijl de kernenergie in het extreem kernscenario pas uitdooft in 2050 en is de primaire energie van het extreem kernscenario vanaf 2022 tot in 2050 hoger dan het basisscenario. Daarnaast wordt ook voor de gedetailleerde versie van de primaire energie van het extreem kernscenario verwezen naar *Bijlage G: De implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie*.

Om een duidelijker beeld te scheppen van de weerslag op de klimaatveranderingen door de inefficiëntie van de energiebronnen, werd ook in onderstaande grafiek de niet-hernieuwbare energiebronnen als indicator van de primaire energie weergegeven voor het kernscenario. Hierop is te zien dat de primaire energie van 2022 tot 2050 gedomineerd worden door slechts twee energiebronnen. Deze energiebronnen zijn kernenergie en gas. Hierdoor is de primaire energie van het kernscenario louter een afweging tussen de onderlinge verhouding van het aandeel gas en het aandeel kernenergie in de totale elektriciteitsmix. Bovendien kan vanuit *Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank* geconcludeerd worden dat de primaire energie van de energiebronnen gas en kernenergie nauw bij elkaar aansluiten. Opnieuw werd voor het extreem kernscenario de grafiek van de niet-hernieuwbare energiebron als indicator van de primaire energie toegevoegd aan *Bijlage G: De implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie*.



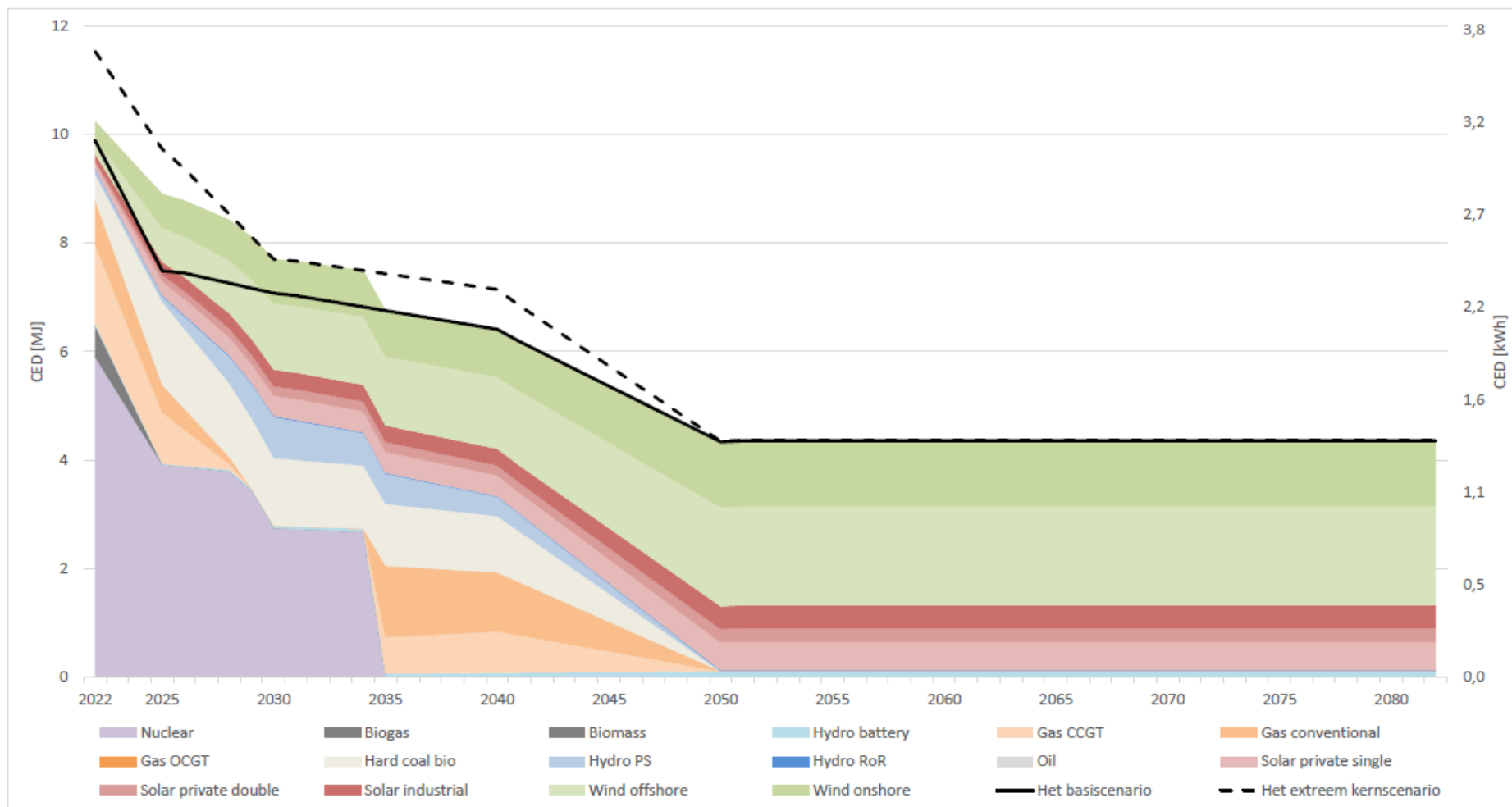
Grafiek 47: De niet-hernieuwbare energiebronnen als indicator van de primaire energie voor het kernscenario

Verder kan aan de hand van de referentiewaarde een inschatting gemaakt worden over de dominantie van gas of kernenergie in de primaire energie van de dynamische elektriciteitsmix volgens het basisscenario, het kernscenario en het extreem kernscenario. Uit Grafiek 48 wordt duidelijk dat in het basisscenario gas als energiebron dominantier is ten opzichte van kernenergie. Zo bestaat de referentiewaarde van de niet-hernieuwbare energiebronnen als indicator van de primaire energie van gas uit 56% terwijl de referentiewaarde voor kernenergie 10% is. Vervolgens evolueert de verhouding van de referentiewaardes van gas en kernenergie bij het kernscenario naar respectievelijk 26% en 43%, tot uiteindelijk bij het extreem kernscenario de kernenergie de bovenhand neemt met 73%. De totale referentiewaardes voor het basisscenario, het kernscenario en het extreem kernscenario zijn respectievelijk 98,8 punten, 110,7 punten en 123,4 punten. Hierdoor stijgen de referentiewaardes van het kernscenario en het extreem kernscenario met 12% en 25% ten opzichte van het basisscenario.



Grafiek 48: De referentiewaarde van de niet-hernieuwbare energiebronnen als indicator van de primaire energie voor het basisscenario, het kernscenario en het extreem kernscenario

Tot slot kan vanuit de primaire energie geconcludeerd worden dat het langer openhouden van de kerncentrales, als transitie naar het behalen van de klimaat- en energiedoelstellingen, op het eerste gezicht geen goede investering te zijn. Nochtans blijft de primaire energie in de drie scenario's wel dalen en zijn al deze scenario's een goed alternatief om in te investeren. Indien de drie scenario's met elkaar vergeleken worden, kan er geconcludeerd worden dat het basisscenario een betere oplossing is.

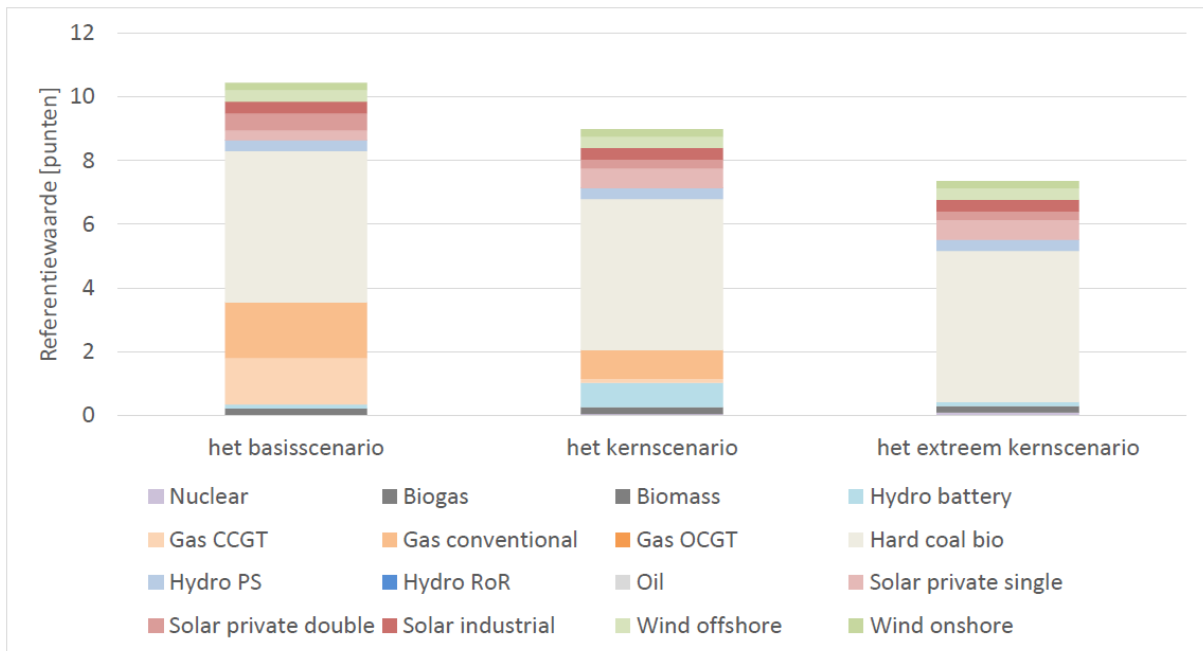


Grafiek 49: De primaire energie van het kernscenario van 2022 tot 2082

De CO₂-intensiteitsfactor van het kernscenario en het extreem kernscenario

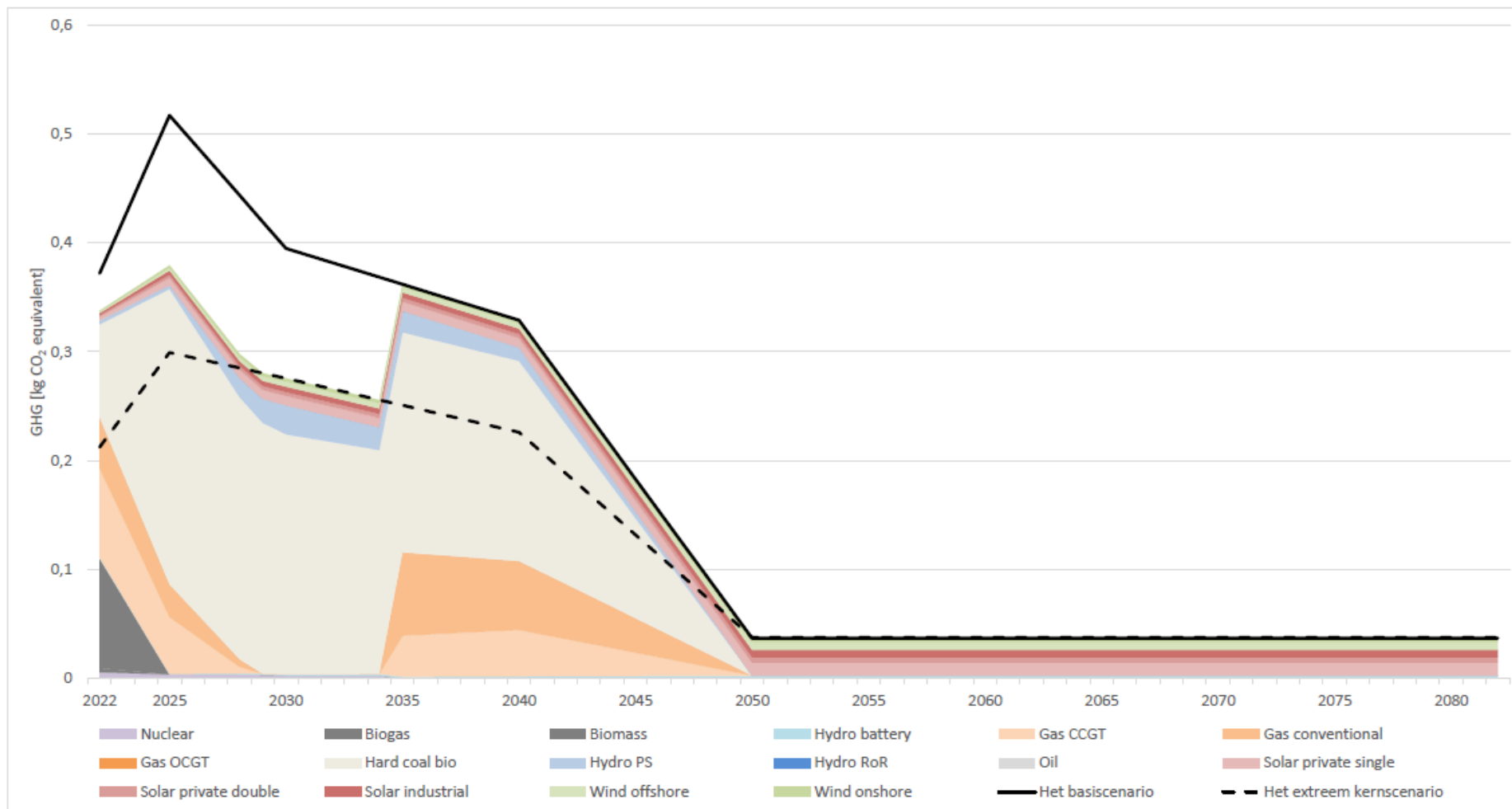
Tot slot kan ook de CO₂-intensiteitsfactor als milieueffect bekeken worden. Op Grafiek 51 is te zien dat de CO₂-intensiteitsfactor vooral bepaald wordt door de energiebronnen gas en biologisch steenkool, maar niet door kernenergie. Hierdoor daalt de CO₂-intensiteitsfactor indien het aandeel gas in de dynamische elektriciteitsmix daalt en neemt het aandeel kernenergie bijgevolg toe. Zo daalt de CO₂-intensiteitsfactor van het basisscenario naar het kernscenario en van het kernscenario naar het extreem kernscenario. Vanuit dit opzicht is het duidelijk dat er beter geïnvesteerd wordt in het kernscenario dan in het basisscenario.

Indien ook gekeken wordt naar de referentiewaarde, dan blijkt dat de CO₂-intensiteitsfactor kan gereduceerd worden tot 30% van het basisscenario naar het extreem kernscenario. Daarnaast levert het kernscenario een reductie op van de referentiewaarde met 14% ten opzichte van het basisscenario. De referentiewaarden voor het basisscenario, het kernscenario en het extreem kernscenario zijn respectievelijk 10,4 punten, 9,0 punten en 7,4 punten. Verder kan hieruit enkel geconcludeerd worden dat meer investeren in kernenergie een goede zaak is voor de CO₂-intensiteitsfactor.



Grafiek 50: De referentiewaarde van de CO₂-intensiteitsfactor voor het basisscenario, het kernscenario en het extreem kernscenario

Tot slot werd ook de onderlinge verhouding van de CO₂-intensiteitsfactor van het extreem kernscenario mee opgenomen in *Bijlage G: De implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie*.



Grafiek 51: De CO₂-intensiteitsfactor van het kernscenario van 2022 tot 2082

Conclusie

Het doel van deze gevoeligheidsanalyse was het aftoetsen van het basisscenario aan de actualiteit. Hiervoor werden twee nieuw scenario's opgesteld: enerzijds werd het scenario opgesteld dat de actualiteit zou vertegenwoordigen (namelijk het kernscenario) en anderzijds werd een heel extreem scenario uiteengezet zodanig dat er meer duiding werd gegeven over de transitie naar het behalen van de klimaat- en energiedoelstellingen. Dit scenario werd het extreem kernscenario genoemd.

Verder werden de milieueffecten van deze twee scenario's afgetoetst aan het basisscenario. Hieruit bleek dat vanuit de milieu-impact het kernscenario een beter scenario is om in te investeren dan het verfijnde basisscenario. Vervolgens werd vanuit de primaire energie gesteld dat het langer openhouden van de kerncentrales als transitie naar het behalen van de klimaat- en energiedoelstellingen geen goede investering blijkt te zijn. Nochtans bleef de primaire energie in het kernscenario wel dalen waardoor naast het basisscenario het kernscenario ook een goed alternatief is om in te investeren. Echter blijft het basisscenario een betere oplossing. Tot slot werd ook de CO₂-intensiteitsfactor van de drie scenario's vergeleken. Hieruit bleek opnieuw dat er beter geïnvesteerd wordt in het kernscenario dan in het basisscenario. Kortom het kernscenario bleek uit deze gevoeligheidsanalyse een goed scenario als transitie naar het behalen van de klimaat- en energiedoelstellingen.

Logischerwijs volgt hieruit de prangende vraag: 'Hoe komt het dat er vanuit het vroegere beleid toch meer werd ingezet op de energiebron gas dan kernenergie, als kernenergie beter scoort dan de energiebron gas volgens de onderzochte milieueffecten?'. Dit heeft onder andere te maken met de verschillende aannames in de levenscyclusanalyse. In die mate werden de milieueffecten bepaald zonder rekening te houden met de dynamiek van de wegingsfactoren. Zo zullen in beide kernscenario's de bron uranium schaarser worden aangezien deze grondstof niet onuitputtelijk is en bijgevolg zal met verloop van de tijd de milieu-impact van kernenergie stijgen omdat de wegingsfactoren in verband met de uitputting van grondstoffen zullen verhogen. Een gelijkaardig voorbeeld was de energiebron steenkool. Hierbij werd de ontginning alsmaar moeilijker omdat de mijnwerkers alsmaar dieper in de mijnen moest trekken, waardoor de ontginning gevaarlijker werd en de milieu-impact van steenkool verhoogt.

Daarnaast is het bouwen van een nieuwe kerncentrale relatief moeilijk. Hierdoor kan de bouwfase al snel oplopen tot 15 jaar. Indien vanuit het huidige beleid nu verder ingezet wordt op kernenergie, dan zullen de nieuwe kerncentrales pas in werking treden vanaf 2037. In combinatie met de vooropgestelde klimaat- en energiedoelstellingen heeft deze investering weinig nut. Zo zal in 2037 het aandeel hernieuwbare energiebronnen al gegroeid zijn tot 71% van de totale elektriciteitsmix.

Ten slotte moet er naar een veel ruimere context gekeken worden dan naar louter de milieueffecten om op deze vraag een volledig antwoord te kunnen bieden. Dermate speelt niet enkel de milieueffecten mee maar ook het emotionele aspect. Zo wordt er sinds de kernrampen van Tsjernobyl en Fukushima in respectievelijk 1986 en 2011 met een negatieve blik gekeken naar kernenergie en weegt de strijd van de klimaatverandering niet op tegen de emotionele leed dat deze kernrampen teweegbrachten.

Besluit

Hoofdstuk 9: Besluit

Deze masterproef had als doel de nauwkeurigheidsgraad van de levenscyclusanalyse aan te scherpen. Hiervoor werd op de volgende onderzoeksvraag een antwoord gezocht: indien men een dynamische levenscyclusanalyse wil uitvoeren, hoe gedetailleerd moet een dynamische elektriciteitsmix als tijdsfactor geïntegreerd worden in een levenscyclusanalyse om een realistisch beeld te krijgen van de milieueffecten. De masterproef bestond uit vier grote delen.

Als eerste luik van deze masterproef werd in de literatuurstudie voeling gecreëerd met de voornaamste dynamische parameters. Bovendien werd de impact van de tijdsfactor op een levenscyclusanalyse afgetoetst aan de hand van de huidige literatuur. De voornaamste bevinding uit deze studie bleek dat de energiemix een tijdsfactor is dat invloed heeft op alle systeemgrenzen. De andere besproken tijdsfactoren hebben binnen de levenscyclusanalyse slechts een beperkte reikwijdte. Nochtans wil deze conclusie niet zeggen dat de impact op de levenscyclusanalyse van de andere tijdsfactoren ook beduidend kleiner zijn dan de energiemix.

In het tweede luik werd een vooronderzoek uitgevoerd op de statische Belgische elektriciteitsmix van de Ecoinvent databank. Hierin werd kennis gemaakt met de milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix. Aan de hand van de ReCiPe, CED en GHG methode werd de huidige elektriciteitsmix ontleed, werd er voeling gecreëerd met de typische grootordes en inzichten verkregen in de voor- en nadelen van alle energiebronnen. De eerste belangrijke conclusie is dat de milieu-impact van alle energiebronnen telkens begroot werd door slechts vijf van de 22 indicatoren van de ReCiPe methode. Deze indicatoren zijn de maritieme ecotoxiciteit, de opwarming van de aarde (zowel menselijke gezondheid als terrestrisch) en de menselijke toxiciteit (zowel kankerverwekkend als niet-kankerverwekkend). Verder werden de drie beoordelingsmethodes tegenover elkaar gesteld. Hieruit viel te concluderen dat op vlak van beoordelingsmethoden zowel de ReCiPe, CED als GHG methode op geen éénduidige lijn zitten. Terwijl de drie methodes wel starten vanuit het LCA-perspectief als eenzelfde insteek. Niettemin is de fundatie voor de ReCiPe, CED en GHG methode om respectievelijk de milieu-impact, de primaire energie en de CO₂-intensiteit af te toetsen. Hoewel de uitkomsten verschillen werd er toch een indirect verband gevonden tussen de drie beoordelingsmethoden.

Vervolgens werd in het derde luik, het onderzoek, gefocust op zowel het opstellen van de dynamische elektriciteitsmix als het integreren van deze elektriciteitsmix in een levenscyclusanalyse van een rijwoning. Door het opstellen van de dynamische elektriciteitsmix werd een toekomstvisie opgesteld voor de komende 60 jaar (van 2022 tot 2082). Mits enkele aannames werd de nationale trend voor België bepaald. Vervolgens werd deze dynamische elektriciteitsmix onderzocht aan de hand van de drie beoordelingsmethoden. Daarnaast kon door middel van de inzichten uit het vooronderzoek dieper ingegaan worden op de verschuivingen in de milieueffecten. Eerst werd de milieu-impact onderzocht. Hierbij werd duidelijk dat de milieu-impact eerst een stijgende trend tot in 2030 vertoont en nadien een dalende. Vervolgens werd de primaire energie onderzocht. Hieruit bleek dat de totale elektriciteitsmix alsnar efficiënter werd. Tot slot werd ook de CO₂-intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix afgetoetst voor één kWh. Hierbij is de belangrijkste conclusie dat de CO₂-intensiteitsfactor eerst zal stijgen vooraleer deze factor daalt.

Het tweede aspect van het onderzoek is de dynamische elektriciteitsmix integreren in een levenscyclusanalyse van een rijwoning. Hierbij werd de opgestelde elektriciteitsmix uit het eerste aspect van het onderzoek in verschillende gradaties geïmplementeerd. Zo werd op gebouwniveau

onderzocht in welke mate een dynamische elektriciteitsmix invloed heeft op een LCA. De effectenbeoordelingsmethode voor dit onderzoek was zowel de milieu-impact als de CO₂-intensiteitsfactor. Om te beginnen werd geconcludeerd dat zowel vanuit de milieu-impact als vanuit de CO₂-intensiteitsfactor bleek dat de elektriciteitsmix in een levenscyclusanalyse een grote impact heeft op gebouwniveau. In vergelijking met de milieu-impact weegt het elektriciteitsverbruik in de CO₂-intensiteitsfactor als beoordelingsmethode meer door. Vervolgens werd geconcludeerd dat met de implementatie van de statische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent database de milieu-impact van de LCA wordt onderschat, terwijl met de CO₂-intensiteitsfactor de LCA werd overschat. Deze conclusie werd verklaard doordat de statische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank verouderd is. Bovendien werd gesteld dat er kritisch moet worden omgegaan met de Ecoinvent database die beschikbaar wordt gesteld in SimaPro. Verder werd besloten dat vanuit de CO₂-intensiteitsfactor de nationale trend om de klimaat- en energiedoelstellingen van de Europese Unie te behalen duidelijk waarneembaar was op gebouwniveau. Vanuit de milieu-impact als beoordelingsmethode werd deze stelling niet tegengesproken, maar werd deze conclusie wel minder waargenomen in de resultaten. Tenslotte werd zowel vanuit de CO₂-intensiteitsfactor als vanuit de milieu-impact geconcludeerd dat de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in alle systeemgrenzen niet opwoog tegenover het extra werk van de verdere detaillering van de levenscyclusanalyse. Deze conclusie hing af van het soort materiaal en het productieproces.

Tot slot bestaat het vierde en laatste luik uit de gevoeligheidsanalyse. Hierbij werden de belangrijkste aannames uit het onderzoek opnieuw in vraag gesteld om zo een robuuster resultaat te bekomen. De gevoeligheidsanalyse bestond uit drie grote delen. In het eerste deel werd de invloed van de verschillende scenario's voor de dynamische elektriciteitsmix op het resultaat van de levenscyclusanalyse op gebouwniveau getest. Hieruit bleek dat de eerdere conclusie over de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix kon bevestigd worden en leverde de dynamische elektriciteitsmix weldegelijk een verfijning op. Daarnaast werd ook duidelijk dat het soort scenario weinig invloed had op de totale milieu-impact, terwijl de drie scenario's op vlak van CO₂-intensiteitsfactor duidelijk anders scoorden. Echter leidden deze drie scenario's naar eenzelfde doelstelling. Zo evolueerde de elektriciteitsmix voor elk van deze scenario's naar een groenere mix. Het verschil tussen de drie scenario's was louter bepaald door de grootte van de ambitie. Hierbij werd als kanttekening vermeld dat, indien één van de drie scenario's vervangen zou worden door een radicaler scenario, dat ook het gedrag van de verschillende milieueffecten zou veranderen. Bovendien werd geconcludeerd dat de toekomstige voorspellingen nog veel onzekerheden bevatten. Hierdoor kan de milieu-impact van het operationeel energieverbruik ten gevolge van de elektriciteitsmix nog sterk veranderen in zowel positieve als negatieve zin. Vervolgens werd hieraan toegevoegd dat het vanzelfsprekend is dat het beleid vanuit de politiek hierop een sterke invloed heeft zoals de Europese unie met de green deal.

In het tweede deel van de gevoeligheidsanalyse werd de totale milieu-impact als resultaat van de dynamische elektriciteitsmix verder verfijnd door de dynamische elektriciteitsmix zo ver mogelijk te implementeren in zonne-energie als energiebron. Hierbij werd geconcludeerd dat de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix weldegelijk een verfijning opleverde. Zo daalde de milieu-impact van de elektriciteitsproductie door zonne-energie in 2050 met 72% en de totale milieu-impact van de dynamische elektriciteitsmix met 47%. Bovendien werd gesteld dat zonne-energie als energiebron een goed alternatief was om in te investeren. Daarnaast werd ook verklaard dat de hoge milieu-

impact van de vooraf bepaalde dynamische elektriciteitsmix uit het onderzoek het gevolg is van het hoge elektriciteitsverbruik tijdens de productie van PV-panelen.

Tot slot is het laatste aspect van de gevoeligheidsanalyse het aftoetsen van de bekomen resultaten aan de actualiteit. Zo werden twee alternatieve scenario voorzien voor de dynamische elektriciteitsmix indien kernenergie niet zou uitfaseren in 2025, maar in 2035 of in 2050. Daarnaast werden ook van deze twee nieuwe scenario's de milieueffecten onderzocht en vergeleken met het basisscenario. De belangrijkste conclusie was dat kernenergie een goed alternatief bleek te zijn als energiebron om in te investeren tijdens de transitie naar het behalen van de klimaat- en energiedoelstellingen. Echter zullen grote investeringen in kernenergie leiden tot een schaarste van uranium. Daarnaast is het bouwen van een kerncentrale relatief moeilijk en duurt de bouw van een nieuwe kerncentrale gemiddeld 15 jaar, waardoor een hedendaagse investering in kernenergie pas loont in 2037. In combinatie met de vooropgestelde klimaat- en energiedoelstellingen heeft deze investering weinig nut, aangezien in 2037 het aandeel hernieuwbare energiebronnen al gegroeid zullen zijn tot 71% van de totale elektriciteitsmix. Bovendien moet er ook gekeken worden naar een veel ruimere context dan louter de milieueffecten. Zo speelt ook het emotionele aspect mee. Sinds de kernrampen van Tsjernobyl en Fukushima in respectievelijk 1986 en 2011 wordt er met een negatieve blik gekeken naar kernenergie en weegt de strijd van de klimaatverandering niet op tegen de emotionele leed dat deze kernrampen teweegbrachten.

Perspectieven

Als laatste aspect van deze masterproef worden nog enkele perspectieven meegedeeld die eventueel kunnen dienen als start voor een verder onderzoek. Om te beginnen werd er in het onderzoek van deze masterproef louter gefocust op één tijdsfactor dynamisch te simuleren: de elektriciteitsmix. Dit onderzoek kan in eerste instantie uitgebreid worden naar het dynamisch simuleren van de energiemix. Verder werd in *Hoofdstuk 2: Dynamische levenscyclusanalyse* ook andere belangrijke tijdsfactoren aangehaald. Dit hoofdstuk kan de aanzet vormen voor een onderzoek naar een andere tijdsfactor of naar een combinatie van verschillende tijdsfactoren. Zodanig dat de dynamische levenscyclusanalyse vanuit een ander perspectief kan verfijnd worden.

Vervolgens kan een volgend onderzoek bestaan uit het grondig analyseren van de verschillende energiebronnen. In deze masterproef werd in *Hoofdstuk 5: De milieueffecten van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank* de milieueffecten van de verschillende energiebronnen bepaald. Echter zat aan elke energiebron één of meerdere verschillende elektriciteitsmixen gekoppeld. Deze mixen wogen indirect door in het bepalen van de milieueffecten. Indien de elektriciteitsmix van het elektriciteit gebonden aspect van elke energiebron vervangen wordt door de onderzochte energiebron, dan kunnen de milieueffecten van elke energiebron met een absolute impact bepaald worden. Zo kan bijvoorbeeld voor de energiebron zonne-energie de elektriciteitsmix van het elektriciteit gebonden aspect vervangen worden door een elektriciteitsmix dat louter uit zonne-energie bestaat.

Daarnaast kan het onderzoek uit *Hoofdstuk 7: De milieueffecten van een rijwoning met de implementatie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix* verder uitgewerkt worden. Zo kan enerzijds de dynamische elektriciteitsmix geïmplementeerd worden in verschillende types woningen. Anderzijds kan ook de rijwoning als referentiemodel behouden worden en de focus leggen op

verschillende varianten. Hierbij kan de woning variëren in isolatiediktes, compactheid, gebruiksprofiel, ... Zodanig dat het gebouwenpark van België wordt weerspiegelt in het onderzoek.

Tot slot kan ook de tweede gevoeligheidsanalyse in verband met de implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie verder uitgewerkt worden in een nieuw onderzoek. Zo kan een dynamische elektriciteitsmix opgesteld worden door de dynamische elektriciteitsmix te implementeren in alle energiebronnen.

Bibliografie

- Al-Mumin, A., Khattab, O., & Sridhar, G. (2003, Juli). Occupants' behavior and activity patterns influencing the energy consumption in the Kuwaiti residences. *Energy and Buildings*(35), 549-559. doi:[https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00167-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00167-6)
- Belgisch instituut voor normalisatie. (2006, September). *Norm NBN EN ISO 14040:2006*. Opgehaald van NBN: https://www.nbn.be/shop/nl/norm/nbn-en-iso-14040-2006_27674/#
- Belgisch instituut voor normalisatie. (2006, Augustus). *Norm NBN EN ISO 14044:2006*. Opgehaald van NBN: https://www.nbn.be/shop/nl/norm/nbn-en-iso-14044-2006_27723/
- Beloin-Saint-Pierre, D., Albers, A., Hélias, A., Tiruta-Barna, L., Fantke, P., Levasseur, A., . . . Collet, P. (2020, November 15). Addressing temporal considerations in life cycle assessment. *Science of the Total Environment*, 140700. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140700>
- Buyle, M., Anthonissen, J., Van den Bergh, W., Braet, J., & Audenaert, A. (2019). Analysis of the Belgian electricity mix used in environmental life cycle assessment studies: how reliable is theecoinvent 3.1 mix? *Energy efficiency*, 1105-1121. doi:<https://doi.org/10.1007/s12053-018-9724-7>
- Delem, L., Van Dessel, J., Janssen, A., Debacker, W., Spirinckx, C., Allacker, K., & De Troyer, F. (2011). *Bepalingsmethode Milieugerelateerde Materiaalprestatie van Gebouwelementen (MMG)*.
- Delghust, M. (2015). *Improving the predictive power of simplified residential space heating demand models: a field data and model driven study*. Ghent, Belgium: Ghent University. Faculty of Engineering and Architecture. Opgehaald van <https://biblio.ugent.be/publication/6988905>
- Delghust, M., Strobbe, T., De Meyer, R., & Janssens, A. (2015). Enrichment of single-zone EPB-data into multi-zone models using BIM-based parametric typologies. *14th International Conference of IBPSA: Building Simulation 2015*. Hyderabad, India: IIIT Hyderabad and IBSPA.
- Departement Omgeving. (sd). *Vergroening van de fiscaliteit*. Opgehaald van Omgeving Vlaanderen: <https://omgeving.vlaanderen.be/vergroening-van-de-fiscaliteit>
- Elia Group. (2022). *Elektriciteitsmix 2021 voor België: record aan export door lichte stijging hernieuwbare productie en stabiel nucleair park*. Brussel: Elia Group.
- ENTSO-E. (2022). *ENTSO-E Member Companies*. Opgehaald van ENTSO-E: <https://www.entsoe.eu/about/inside-entsoe/members/>
- ENTSO-E. (2022, April 4). *ENTSO-E transparency platform*. Opgehaald van ENTSO-E: <https://transparency.entsoe.eu/dashboard/show>
- ENTSO-E, & ENTSOG. (2020). *TYNDP 2020 scenario report*.
- Eriksson, O., Finnveden, G., Ekvall, T., & Björklund, A. (2007, Februari). Life cycle assessment of fuels for district heating: A comparison of waste incineration, biomass- and natural gas combustion. *Energy Policy*, 1346-1362. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.04.005>
- Europese Commissie. (2019). *De Europese Green Deal*. Brussel.

- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., . . . Suh, S. (2009, Oktober). Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management* (Volume 91), 1-21. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>
- FOD Volksgezondheid. (2019). *De uitstoot in de belangrijkste sectoren*. Opgehaald van [Klimaat.be](https://klimaat.be): <https://klimaat.be/in-belgie/klimaat-en-uitstoot/uitstoot-van-broeikasgassen/uitstoot-per-sector>
- FOD Volksgezondheid. (2021). *Waargenomen veranderingen in België*. Opgehaald van [Klimaat.be](https://klimaat.be): <https://klimaat.be/in-belgie/klimaat-en-uitstoot/waarmeningen>
- Frischknecht, R., Tuchschild, M., Faist-Emmenegger, M., Bauer, C., & Dones, R. (2007). *Srommix und Stromnetz*. Dübendorf.
- Hamels Sam, Himpe, E., Laverge, J., Delghust, M., Van den Brande, K., Janssens, A., & Albrecht, J. (2021). The use of primary energy factors and CO2 intensities for electricity in the European context - A systematic methodological review and critical evaluation of the contemporary literature. *Renewably and Sustainable Energy Reviews*, 111182. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111182>
- Hamels, S. (2021). CO2 Intensities and Primary Energy Factors in the Future European Electricity System. *energies*, 14. doi:<https://doi.org/10.3390/en14082165>
- Hamels, S., Albrecht, J., & Thomass, L. (2017). *Energietrilemma*. Gent: Skribis.
- Hayato Shimako, A., Tiruta-Barna, L., & Ahmadi, A. (2017, December 1). Operational integration of time dependent toxicity impact category in dynamic LCA. *Science of The Total Environment*(599-600), 806-819. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.211>
- Heijungs, R., & Sangwon, S. (2002). *The Computational Structure of Life Cycle Assessment* (1 ed.). Dordrecht, Netherlands: Springer. doi:<https://doi.org/10.1007/978-94-015-9900-9>
- Himpe, E., Trappers, L., Debacker, W., Delghust, M., Laverge, J., n, A. M., & Van Holm, M. (2013). Life cycle energy analysis of a zero-energy house. *Building Research & Information*. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2013.777329>
- I3E. (2017). *Rapport d'étude*. Frankrijk: Oktober.
- IEA. (2018). *Global Status Report*. Paris. Opgehaald van <https://www.iea.org/reports/2018-global-status-report>
- Klunder, G., & van Nunen, H. (2003). The factor of time in the life cycle assessment of housing. *Open House International*, 20-27.
- Langmans, J., & Roels, S. (2015). Durability assessment of mineral wool insulation: what are the thermal properties after 20 years?
- Masanet, E., Chang, Y., Gopal, A. R., Larsen, Peter, Morrow III, W. R., . . . Zhai, P. (2013, Augustus 7). Life-Cycle Assessment of Electric Power System. *Advance*(Vol. 38), 107-136. doi:<https://doi.org/10.1146/annurev-environ-010710-100408>

- Mieke Vandenbroucke. (2018). *Rapport - Technische levensduur van gebouwcomponenten*. Mechelen, België: Openbare Vlaamse Afvalmaatschappij.
- Negishi, K., Lebert, A., Almeida, D., Chevalier, J., & Tiruta-Barna, L. (2019, Oktober 15). Evaluating climate change pathways through a building's lifecycle based on. *Building and Environment*, 106377. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106377>
- Negishi, K., Tiruta-Barna, L., Schiopu, N., Lebert, A., & Chevalier, J. (2018, September 05). An operational methodology for applying dynamic Life Cycle assessment to buildings. *Buildings and Environment*, 611-621. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.005>
- Potrč Obrecht, T., Jordan, S., Legat, A., & Passer, A. (2021). The role of electricity mix and production efficiency improvements on greenhouse gas (GHG) emissions of building components and future refurbishment measures. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 839-851. doi:<https://doi.org/10.1007/s11367-021-01920-2>
- Raad van de Europese Unie. (2022, Februari 3). *Klimaatverandering: wat onderneemt de EU?* Opgehaald van Consilium Europa: <https://www.consilium.europa.eu/nl/policies/climate-change/#:~:text=In%20december%202020%20kwamen%20de,een%20verlaging%20van%2040%25%20voorzag.>
- Ramon, D., & Allacker, K. (2021, Mei 15). Integrating long term temporal changes in the Belgian electricity mix in environmental attributional life cycle assessment of buildings. *Journal of Cleaner Production*, 126624. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126624>
- RTL nieuws. (2022, maart 18). *België houdt kerncentrales toch langer open*. Opgehaald van RTLNieuws: <https://www.rtlnieuws.nl/nieuws/buitenland/artikel/5295971/kerncentrales-belgie-doel-tihange-gas-oekraine>
- Scheuer, C., Keoleian, G. A., & Reppe Peter. (2003, Juli 29). Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications. *Energy and Buildings*, 1049-1064. doi:[https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(03\)00066-5](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(03)00066-5)
- Shu, S., Xiaodong, L., & Yimin, Z. (2019, Juli). Dynamic assessment elements and their prospective solutions in dynamic life cycle assessment of buildings. *Building and Environment*, 248-259. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.05.008>
- Shu, S., Chen, Z., & Xiaodong, L. (2019, Mei 20). A dynamic weighting system considering temporal variations using the DTT approach in LCA of buildings. *Journal of Cleaner Production*(220), 398-407. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.140>
- Shu, S., Xiaodong, L., Yimin, Z., & Borong, L. (2017, Mei 17). Dynamic LCA framework for environmental impact assessment of buildings. *Energy and Buildings*, 310-320. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.042>
- Stazi, F., Tittarelli, F., Politi, G., Di Perna, C., & Munafò, P. (2014, Januari). Assessment of the actual hygrothermal performance of glass mineral wool insulation applied 25 years ago in masonry cavity walls. *Energy and Buildings*, 292-304. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.09.032>

- Torsten, H., & Harald, D. (2022, Januari). When to replace products with which (circular) strategy? An optimization approach and lifespan indicator. *Resources, Conservation and Recycling*, 105899. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105704>
- Van de moortel, E., Allacker, K., De Troyer, F., Stijnen, L., & Schoofs, E. (2019). Life cycle environmental impact of refurbishment of social housing. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 012013. doi:<https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012013>
- Vanacker, L. (2021, Februari 25). Vijftien renovaties per uur nodig om Europese klimaatdoelen te halen. *De tijd*.
- Vissering, C., Staub, A., Van Nunen, H., Janssen, R., & Liebrechts, M. (2011). *Levensduur van bouwproducten*. Zwijndrecht: Deckers Snoeck.
- Vlaamse overheid. (2019, mei 14). *Cijfers energiekartaar*. Opgehaald van Vlaanderen is energie en klimaat: <https://www.energiesparen.be/energiekaart/cijfers>
- VREG. (2012). *Aantal uitgereikte groenestroomcertificaten*.
- Yu, Z., Fung, B. C., Haghghat, F., Yoshino, H., & Morofsky, E. (2011, Juni). A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption. *Energy and Buildings*(43), 1409-1417. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.02.002>
- Zonnepanelen-info. (2022). *Groenestroomcertificaten zonnepanelen*. Opgehaald van Zonnepanelen-info: <https://www.zonnepanelen-info.be/groenestroomcertificaten-zonnepanelen/>

Bijlage A: De inventaris van de elektriciteitsmix

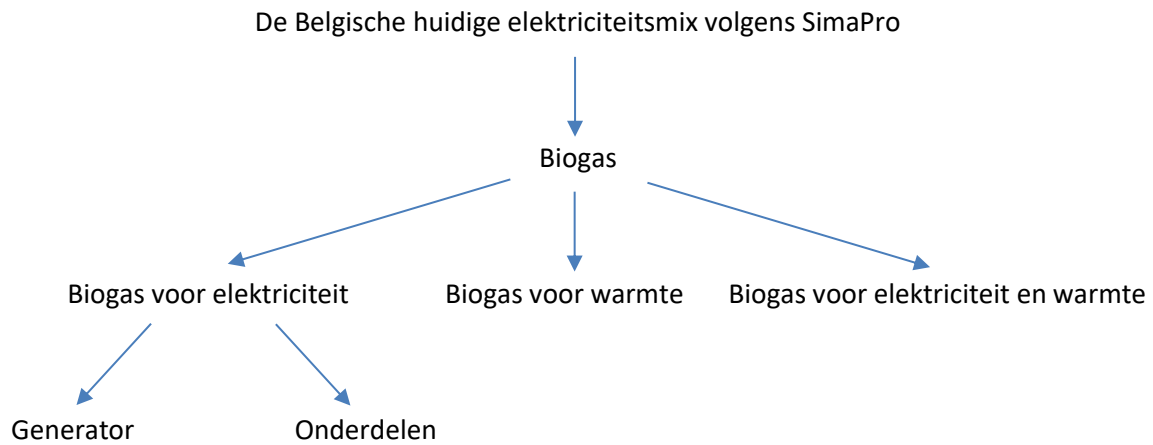
In deze bijlage wordt de Belgische elektriciteitsmix volgens de Ecoinvent databank uiteengezet. Eerst wordt er een overzichtstabel van de Belgische elektriciteitsmix meegegeven. Vervolgens wordt de Belgische elektriciteitsmix volledig ontleedt tot op het niveau van de installatie-onderdelen. Hiervoor is in het onderstaande telkens een overzichtsfiche per energiebron terug te vinden. In deze overzichtsfiches staan telkens het type energiebron met de bijhorende naam uit SimaPro en de stamboom van bron tot productie. Bovendien wordt hieraan de data van de huidige Belgische elektriciteitsmix uit de Ecoinvent databank gekoppeld.

De Belgische elektriciteitsmix volgens de Ecoinvent databank

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens de Ecoinvent databank: Electricity, high voltage {BE} market for Cut-off, U		
0,34%	Biogas	Electricity, high voltage {BE} heat and power co-generation, biogas, gas engine Cut-off, U
3,13%	Biomassa	Electricity, high voltage {BE} heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014 Cut-off, U
9,45%	Gas conventioneel	Electricity, high voltage {BE} electricity production, natural gas, conventional power plant Cut-off, U
14,99%	Gas CCGT	Electricity, high voltage {BE} electricity production, natural gas, combined cycle power plant Cut-off, U
3,11%	Hoogovengas	Electricity, high voltage {BE} treatment of blast furnace gas, in power plant Cut-off, U
1,59%	Hydro Pumped Storage	Electricity, high voltage {BE} electricity production, hydro, pumped storage Cut-off, U
0,53%	Hydro run of river	Electricity, high voltage {BE} electricity production, hydro, run-of-river Cut-off, U
0,42%	Kolenvergassing	Electricity, high voltage {BE} treatment of coal gas, in power plant Cut-off, U
58,73%	Nucleaire energie	Electricity, high voltage {BE} electricity production, nuclear, pressure water reactor Cut-off, U
0,01%	Olie zonder warmte als bijproduct	Electricity, high voltage {BE} electricity production, oil Cut-off, U
0,01%	Olie met warmte als bijproduct	Electricity, high voltage {BE} heat and power co-generation, oil Cut-off, U
4,17%	Steenkool	Electricity, high voltage {BE} electricity production, hard coal Cut-off, U
3,05%	Wind offshore	Electricity, high voltage {BE} electricity production, wind, 1-3MW turbine, offshore Cut-off, U
0,11%	Wind onshore vermogen <1MW	Electricity, high voltage {BE} electricity production, wind, <1MW turbine, onshore Cut-off, U
3,34%	Wind onshore vermogen 1-3MW	Electricity, high voltage {BE} electricity production, wind, 1-3MW turbine, onshore Cut-off, U
0,48%	Wind onshore vermogen >3MW	Electricity, high voltage {BE} electricity production, wind, >3MW turbine, onshore Cut-off, U

Tabel A1: De inventaris van de Belgische elektriciteitsmix

Biogas



Figuur A1: Stamboom biogas

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro:

Electricity, high voltage {BE}| market for | Cut-off, U

Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	61798795367 kWh
Aandeel biogas:	0,003445154 kWh
Aandeel Productievolume biogas:	208419782,6 kWh

Biogas:

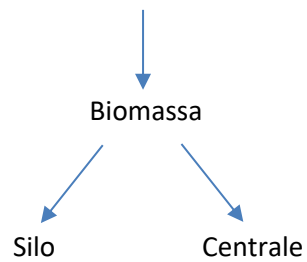
Electricity, high voltage {BE}| heat and power co-generation, biogas, gas engine | Cut-off, U

Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	812000000 kWh
Aandeel biogas:	0,3443252917012 m ³
Aandeel elektriciteit:	0,0000000391 p
Aandeel warmte:	0,0000000391 p
Aandeel elektriciteit + warmte:	0,0000000391 p

Tabel A2: De inventaris van biogas

Biomassa

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro



Figuur A2: Stamboom biomassa

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro:

Electricity, high voltage {BE}| market for | Cut-off, U

Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	61798795367 kWh
Aandeel biomassa:	0,0312703 kWh
Aandeel Productievolume biomassa:	25210704,8 kWh

Biomassa:

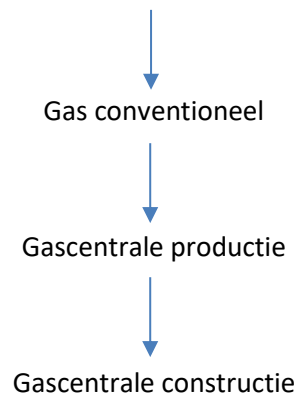
Electricity, high voltage {BE}| heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014 | Cut-off, U

Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	3685000000 kWh
Aandeel biomassa:	0,000000008283 p

Tabel A3: De inventaris van biomassa

Gas conventioneel

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro



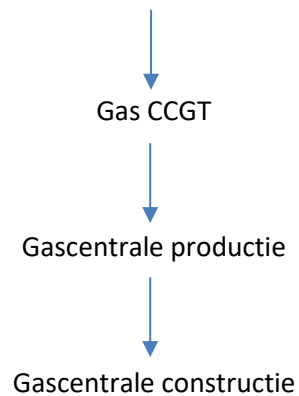
Figuur A3: Stamboom gas conventioneel

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro: Electricity, high voltage {BE} market for Cut-off, U	
Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	61798795367 kWh
Aandeel gas conventioneel:	0,09446319 kWh
Aandeel Productievolume gas conventioneel:	5714692677 kWh
Gas conventioneel: Electricity, high voltage {BE} electricity production, natural gas, conventional power plant Cut-off, U	
Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	10501836556 kWh
Aandeel gas conventioneel:	0,000000000542 p

Tabel A4: De inventaris van gas conventioneel

Gas CCGT

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro



Figuur A4: Stamboom gas CCGT

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro:

Electricity, high voltage {BE}| market for | Cut-off, U

Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	61798795367 kWh
Aandeel gas CCGT:	0,149878815 kWh
Aandeel Productievolume gas CCGT:	9067144243 kWh

Gas CCGT:

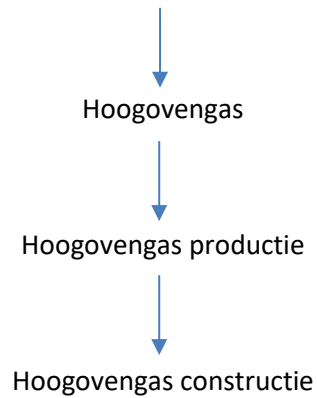
Electricity, high voltage {BE}| electricity production, natural gas, combined cycle power plant | Cut-off, U

Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	12337783444 kWh
Aandeel gas CCGT:	0,000000000026 p

Tabel A5: De inventaris van gas CCGT

Hoogovengas

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro



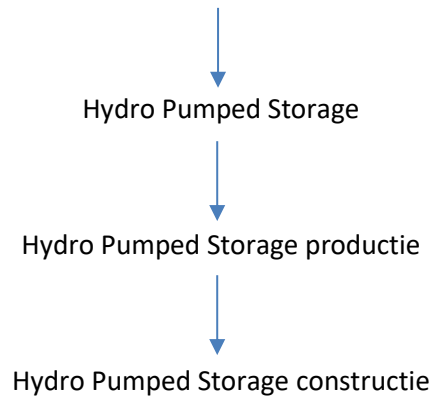
Figuur A5: Stamboom hoogovengas

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro: Electricity, high voltage {BE} market for Cut-off, U	
Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	61798795367 kWh
Aandeel hoogovengas:	0,031089738 kWh
Aandeel Productievolume hoogovengas:	1880820457 kWh
Hoogovengas: Electricity, high voltage {BE} treatment of blast furnace gas, in power plant Cut-off, U	
Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	1998000000 kWh
Aandeel hoogovengas:	0,000000000416 p

Tabel A6: De inventaris van hoogovengas

Hydro Pumped Storage

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro



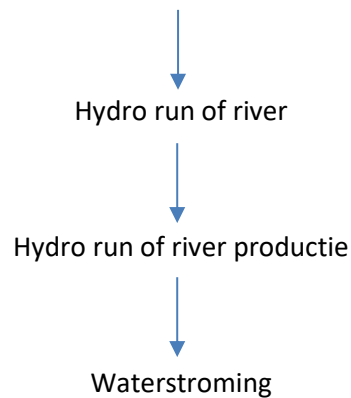
Figuur A6: Stamboom Hydro Pumped Storage

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro: Electricity, high voltage {BE} market for Cut-off, U	
Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	61798795367 kWh
Aandeel Hydro Pumped Storage:	0,015902772 kWh
Aandeel Productievolume Hydro Pumped Storage:	962062079,7 kWh
Hydro Pumped Storage: Electricity, high voltage {BE} electricity production, hydro, pumped storage Cut-off, U	
Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	1288980000 kWh
Aandeel Hydro Pumped Storage:	0,00000000000004 p

Tabel A7: De inventaris van Hydro Pumped Storage

Hydro run of river

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro



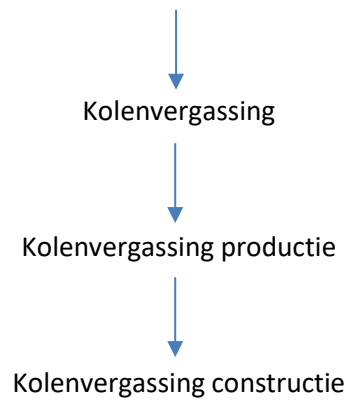
Figuur A7: Stamboom Hydro run of river

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro: Electricity, high voltage {BE} market for Cut-off, U	
Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	61798795367 kWh
Aandeel Hydro run of river:	0,005258289 kWh
Aandeel Productievolume Hydro run of river:	318108105 kWh
Hydro run of river: Electricity, high voltage {BE} electricity production, hydro, run-of-river Cut-off, U	
Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	353430000 kWh
Aandeel waterstroming:	0,0000000000000807 p

Tabel A8: De inventaris van Hydro run of river

Kolenvergassing

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro



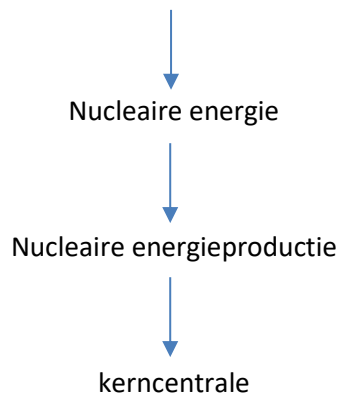
Figuur A8: Stamboom kolenvergassing

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro: Electricity, high voltage {BE} market for Cut-off, U	
Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	61798795367 kWh
Aandeel kolenvergassing:	0,000166701 kWh
Aandeel Productievolume kolenvergassing:	10084828,19 kWh
Kolenvergassing: Electricity, high voltage {BE} treatment of coal gas, in power plant Cut-off, U	
Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	16000000 kWh
Aandeel steenkool:	0,000000000508 p

Tabel A9: De inventaris van kolenvergassing

Nucleaire energie

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro



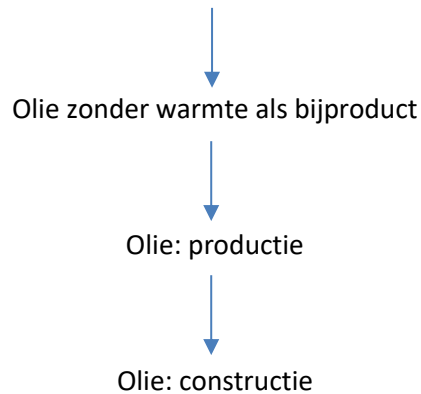
Figuur A9: Stamboom nucleaire energie

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro: Electricity, high voltage {BE} market for Cut-off, U	
Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	61798795367 kWh
Aandeel nucleaire energie:	0,587292179 kWh
Aandeel Productievolume nucleaire energie:	35529123425 kWh
Nucleaire energie: Electricity, high voltage {BE} electricity production, nuclear, pressure water reactor Cut-off, U	
Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	37877300000 kWh
Aandeel kernenergie:	0,0000000000032 p

Tabel A10: De inventaris van nucleaire energie

Olie zonder warmte als bijproduct

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro



Figuur A10: Stamboom olie zonder warmte als bijproduct

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro:

Electricity, high voltage {BE}| market for | Cut-off, U

Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	61798795367 kWh
Aandeel olie:	0,0000972 kWh
Aandeel Productievolume olie:	5882816,444 kWh

Olie zonder warmte als bijproduct:

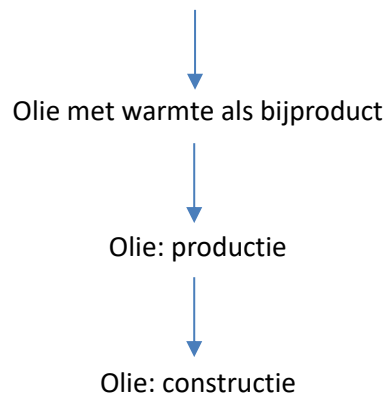
Electricity, high voltage {BE}| electricity production, oil | Cut-off, U

Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	64020000 kWh
Aandeel olie:	0,000000000012 p

Tabel A11: De inventaris van olie zonder warmte als bijproduct

Olie met warmte als bijproduct

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro



Figuur A11: Stamboom olie met warmte als bijproduct

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro:

Electricity, high voltage {BE}| market for | Cut-off, U

Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	61798795367 kWh
Aandeel olie:	0,0000834 kWh
Aandeel Productievolume olie:	5042414,095 kWh

Olie met warmte als bijproduct:

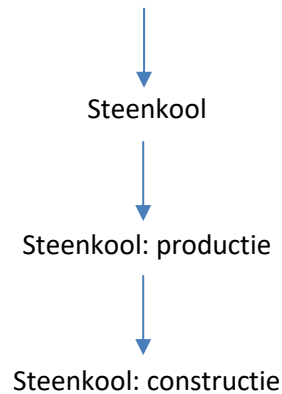
Electricity, high voltage {BE}| heat and power co-generation, oil | Cut-off, U

Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	247350000 kWh
Aandeel olie:	0,000000000012 p

Tabel A12: De inventaris van olie met warmte als bijproduct

Steenkool

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro



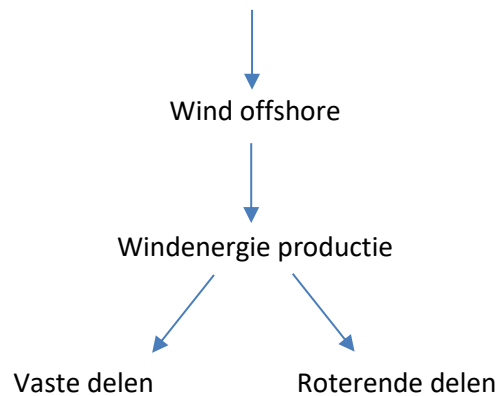
Figuur A12: Stamboom steenkool

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro: Electricity, high voltage {BE} market for Cut-off, U	
Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	61798795367 kWh
Aandeel steenkool:	0,004167525 kWh
Aandeel Productievolume steenkool:	252120704,8 kWh
Steenkool: Electricity, high voltage {BE} electricity production, hard coal Cut-off, U	
Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	3286360000 kWh
Aandeel steenkool:	0,409315068 p

Tabel A13: De inventaris van steenkool

Wind offshore

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro



Figuur A13: Stamboom wind offshore

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro:

Electricity, high voltage {BE}| market for | Cut-off, U

Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	61798795367 kWh
Aandeel wind offshore:	0,030533731 kWh
Aandeel Productievolume wind offshore:	1847183964 kWh

Wind offshore:

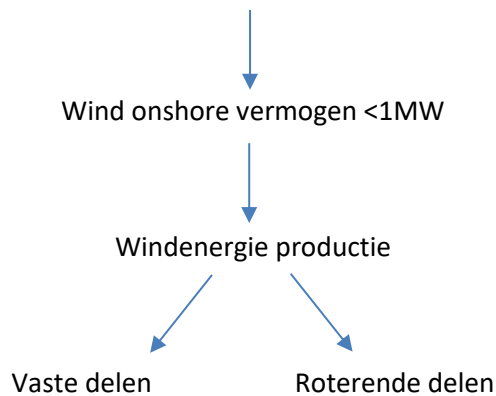
Electricity, high voltage {BE}| electricity production, wind, 1-3MW turbine, offshore | Cut-off, U

Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	1080895560 kWh
Aandeel wind:	3,87 MJ

Tabel A14: De inventaris van wind offshore

Wind onshore vermogen <1MW

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro



Figuur A14: Stamboom wind onshore vermogen <1MW

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro:

Electricity, high voltage {BE}| market for | Cut-off, U

Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	61798795367 kWh
Aandeel wind onshore:	0,001100772 kWh
Aandeel Productievolume wind onshore:	66592878,98 kWh

Wind onshore:

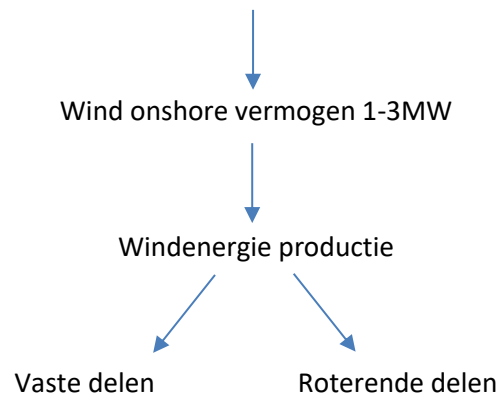
Electricity, high voltage {BE}| electricity production, wind, <1MW turbine, onshore | Cut-off, U

Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	38928631,16 kWh
Aandeel wind:	3,87 MJ
Vermogen windturbine:	0,8 MW

Tabel A15: De inventaris van wind onshore <1MW

Wind onshore vermogen 1-3MW

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro



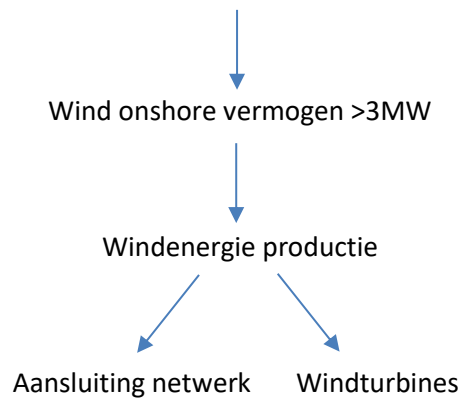
Figuur A15: Stamboom wind onshore vermogen 1-3MW

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro: Electricity, high voltage {BE} market for Cut-off, U	
Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	61798795367 kWh
Aandeel wind onshore:	0,030533731 kWh
Aandeel Productievolume wind onshore:	2448568869 kWh
Wind onshore: Electricity, high voltage {BE} electricity production, wind, 1-3MW turbine, onshore Cut-off, U	
Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	1433302116 kWh
Aandeel wind:	3,87 MJ
Vermogen windturbine	2 MW

Tabel A16: De inventaris van wind onshore 1-3MW

Wind onshore vermogen >3MW

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro



Figuur A16: Stamboom wind onshore vermogen >3MW

De Belgische huidige elektriciteitsmix volgens SimaPro: Electricity, high voltage {BE} market for Cut-off, U	
Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	61798795367 kWh
Aandeel wind onshore:	0,004775658 kWh
Aandeel Productievolume wind onshore:	288910634,4 kWh
Wind onshore: Electricity, high voltage {BE} electricity production, wind, >3MW turbine, onshore Cut-off, U	
Productie-eenheid:	1 kWh elektriciteit
Totaal productievolume:	169373693,5 kWh
Aandeel wind:	3,87 MJ
Vermogen windturbine	4,5 MW

Tabel A17: De inventaris van wind onshore >3MW

Bijlage B: De elektriciteitsmix van de import- en exportlanden van België

In deze bijlage wordt de elektriciteitsmix voor enerzijds België en anderzijds de import- en exportlanden van België opgesomd. Deze import- en exportlanden zijn Duitsland, Luxemburg, Nederland, Frankrijk en Verenigd Koninkrijk. Deze elektriciteitsmix wordt weergegeven aan de hand van tabellen. Zo is in het onderstaande drie tabellen voor de drie kantelpunten (2025, 2030 en 2040) terug te vinden. In deze tabellen worden telkens de aandelen groter dan 10% van de elektriciteitsmix aangeduid om een duidelijker beeld te scheppen van de verschillende nationale trends.

De nationale elektriciteitsmix voor 2025

	België		Duitsland		Frankrijk		Luxemburg		Nederland		Verenigd Koninkrijk	
	Capaciteit [MW]	Aandeel [%]	Capaciteit [MW]	Aandeel [%]	Capaciteit [MW]	Aandeel [%]	Capaciteit [MW]	Aandeel [%]	Capaciteit [MW]	Aandeel [%]	Capaciteit [MW]	Aandeel [%]
Bruinkool	0	0	0	0	61761	38	0	0	486	1	7149	7
DSR	982	4	1361	1	3400	2	5	0	700	2	1312	1
Gas conventioneel	781	3	3114	1	246	0	0	0	0	0	57	0
Gas CCGT	6751	26	15861	7	6653	4	0	0	10350	24	30919	28
Gas OCGT	292	1	3384	1	636	4	0	0	643	1	943	1
Hydro batterij	410	2	0	0	0	0	0	0	0	0	410	0
Hydro PS	1395	5	9850	4	3500	2	1310	63	0	0	2954	3
Hydro reservoir	0	0	1297	1	8389	5	0	0	0	0	0	0
Hydro RoR	134	1	4036	2	13629	8	43	2	43	0	1938	2
Kernenergie	0	0	0	0	61761	38	0	0	486	1	7149	7
Olie	140	1	1059	0	152	0	0	0	0	0	726	1
Overige hernieuwbare energie	275	1	7935	3	2551	2	46	2	540	1	4680	4
Overige niet-hernieuwbare energie	1244	5	12875	5	6534	4	70	3	4350	10	7316	7
Steenkool	616	2	13650	6	0	0	0	0	4001	9	3684	3
Wind offshore	2271	9	10800	5	2920	2	0	0	5200	12	17635	16
Wind onshore	3430	13	70501	30	26536	17	350	17	5700	13	15106	14
Zon	7587	29	73300	31	23870	15	250	12	10900	25	15005	14
Totaal	26308	100	238435	100	160677	100	2074	100	42912	100	109852	100

Tabel B1: De nationale elektriciteitsmix voor 2025

De nationale elektriciteitsmix voor 2030

	België		Duitsland		Frankrijk		Luxemburg		Nederland		Verenigd Koninkrijk	
	Capaciteit [MW]	Aandeel [%]	Capaciteit [MW]	Aandeel [%]	Capaciteit [MW]	Aandeel [%]	Capaciteit [MW]	Aandeel [%]	Capaciteit [MW]	Aandeel [%]	Capaciteit [MW]	Aandeel [%]
Bruinkool	0	0	9232	3	0	0	0	0	0	0	18	0
DSR	1800	5	1816	1	3400	2	9	0	700	1	2046	2
Gas conventioneel	787	2	2939	1	246	9	0	0	0	0	57	0
Gas CCGT	7606	22	15966	6	6553	3	0	0	8652	15	36388	27
Gas OCGT	292	1	3229	1	636	0	0	0	643	1	2240	2
Hydro batterij	740	2	3990	1	0	0	0	0	0	0	510	0
Hydro PS	1395	4	10037	4	3500	2	1310	53	0	0	4004	3
Hydro reservoir	0	0	1297	0	8389	4	0	0	0	0	0	0
Hydro RoR	148	0	4036	1	13638	7	47	2	47	0	1969	1
Kernenergie	0	0	0	0	58213	30	0	0	486	1	9281	7
Olie	158	0	840	0	152	0	0	0	0	0	565	0
Overige hernieuwbare energie	206	1	6635	2	2558	1	54	2	540	1	4891	4
Overige niet-hernieuwbare energie	1324	4	15810	6	6534	3	54	2	540	1	4891	4
Steenkool	541	2	9852	4	0	0	0	0	3381	6	3984	3
Wind offshore	4271	13	11300	4	17053	9	0	0	4920	9	25100	19
Wind onshore	4279	13	81501	30	36060	18	425	17	7800	14	17504	13
Zon	10454	31	91300	34	38955	20	1310	55	2500	45	17123	13
Totaal	34002	100	269780	100	195892	100	2486	100	55939	100	133122	100

Tabel B2: De nationale elektriciteitsmix voor 2030

De nationale elektriciteitsmix voor 2040

	België		Duitsland		Frankrijk		Luxemburg		Nederland		Verenigd Koninkrijk	
	Capaciteit [MW]	Aandeel [%]	Capaciteit [MW]	Aandeel [%]	Capaciteit [MW]	Aandeel [%]	Capaciteit [MW]	Aandeel [%]	Capaciteit [MW]	Aandeel [%]	Capaciteit [MW]	Aandeel [%]
Bruinkool	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0
DSR	1800	4	1816	1	3400	2	8	0	700	1	2173	1
Gas conventioneel	787	2	2627	1	246	0	0	0	0	0	57	0
Gas CCGT	7606	18	15299	5	6552	3	0	0	8651	12	36387	21
Gas OCGT	292	1	3250	1	392	0	0	0	642	1	2240	1
Hydro batterij	1841	4	8114	3	5975	3	280	8	3475	5	4553	3
Hydro PS	1395	3	10037	3	3500	2	1310	37	0	0	4004	2
Hydro reservoir	0	0	1297	0	8389	4	0	0	0	0	0	0
Hydro RoR	148	0	4036	1	13638	6	46	1	46	0	1969	1
Kernenergie	0	0	0	0	43129	20	0	0	0	0	14290	8
Olie	158	0	223	0	0	0	0	0	0	0	6793	4
Overige hernieuwbare energie	206	0	5235	2	2558	1	53	2	540	1	5141	3
Overige niet-hernieuwbare energie	1324	3	20565	7	6533	3	53	2	540	1	7441	4
Steenkool	540	1	0	0	0	0	0	0	3381	5	3984	2
Wind offshore	6072	15	35551	12	8363	4	0	0	16151	23	35465	21
Wind onshore	5409	13	90800	31	60011	27	350	10	3770	5	18259	11
Zon	14295	34	97400	33	58381	26	1424	41	25000	35	26900	16
Totaal	41873	100	296250	100	221072	100	3505	100	71738	100	169674	100

Tabel B3: De nationale elektriciteitsmix voor 2040

Bijlage C: De dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 volgens de nationale trend

Deze bijlage bestaat uit vier delen. Het eerste deel is een tabel met de data van de dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082. Deze tabel is uitgedrukt in de nodige hoeveelheid energie per energiebron voor één kWh elektriciteit te produceren, uitgedrukt in een percentage. Vervolgens bestaat het tweede deel uit het kwantificeren van de milieu-impact voor één kWh elektriciteit per jaar. De tabel is uitgedrukt in milieupunten. In het derde deel wordt de primaire energie voor één kWh elektriciteitsproductie door de dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 opgesomd. Hierbij is de primaire energie uitgedrukt in MJ. Als laatste deel wordt ook de CO₂-intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix meegegeven. Deze factor is uitgedrukt in kg CO₂ equivalent.

De dynamische Belgische elektriciteitsmix

	Biogas	Biomass	Gas			Hard coal bio	Hydro			Nuclear	Oil	Solar			Wind	
			CCGT	conventional	OCGT		battery	PS	RoR			private single	private double	industrial	offshore	onshore
2021	0,50	0,04	29,7			0,80	1,00	1,00		49,00	0,1	0,85	1,70	1,55	9,55	
2022	0,40	3,23	25,52	8,29	0	2,75	0,88	0,51	0,52	36,72	0,07	1,29	2,59	2,36	7,43	7,44
2023	0,27	2,16	28,62	9,30	0	4,74	0,74	0,54	0,55	24,48	0,05	1,74	3,47	3,17	10,09	10,10
2024	0,13	1,08	31,72	10,31	0	6,72	0,60	0,58	0,59	12,24	0,02	2,18	4,36	3,97	12,74	12,76
2025	0	0	34,82	11,31	0	8,71	0,47	0,61	0,62	0	0	2,62	5,24	4,78	15,40	15,42
2026	0	0	29,46	11,55	0	8,38	0,61	1,42	0,61	0	0	2,76	5,53	5,04	18,28	16,36
2027	0	0	24,09	11,79	0	8,06	0,76	2,23	0,60	0	0	2,90	5,81	5,30	21,16	17,31
2028	0	0	18,72	12,02	0	7,73	0,90	3,04	0,59	0	0	3,05	6,09	5,55	24,05	18,25
2029	0	0	13,35	12,26	0	7,40	1,05	3,85	0,58	0	0	3,19	6,38	5,81	26,93	19,20
2030	0	0	7,98	12,49	0	7,07	1,19	4,67	0,57	0	0	3,33	6,66	6,07	29,81	20,14
2031	0	0	8,23	12,12	0	6,96	1,27	4,42	0,56	0	0	3,33	6,66	6,07	30,09	20,30
2032	0	0	8,47	11,76	0	6,84	1,36	4,17	0,54	0	0	3,33	6,66	6,07	30,36	20,45
2033	0	0	8,71	11,39	0	6,72	1,44	3,92	0,52	0	0	3,33	6,66	6,07	30,64	20,60
2034	0	0	8,95	11,02	0	6,60	1,52	3,67	0,51	0	0	3,33	6,66	6,07	30,92	20,75
2035	0	0	9,19	10,65	0	6,49	1,60	3,42	0,49	0	0	3,33	6,66	6,07	31,19	20,90
2036	0	0	9,43	10,28	0	6,37	1,69	3,17	0,47	0	0	3,33	6,66	6,07	31,47	21,06
2037	0	0	9,68	9,91	0	6,25	1,77	2,92	0,46	0	0	3,33	6,66	6,07	31,74	21,21
2038	0	0	9,92	9,55	0	6,13	1,85	2,67	0,44	0	0	3,33	6,66	6,07	32,02	21,36
2039	0	0	10,16	9,18	0	6,02	1,94	2,42	0,43	0	0	3,33	6,66	6,07	32,29	21,51
2040	0	0	10,40	8,81	0	5,90	2,02	2,18	0,41	0	0	3,33	6,66	6,07	32,57	21,66
2041	0	0	9,36	7,93	0	5,31	2,09	1,96	0,43	0	0	3,45	6,90	6,29	33,79	22,48
2042	0	0	8,32	7,05	0	4,72	2,17	1,74	0,44	0	0	3,58	7,15	6,52	35,01	23,29
2043	0	0	7,28	6,17	0	4,13	2,25	1,52	0,46	0	0	3,70	7,40	6,75	36,24	24,10
2044	0	0	6,24	5,29	0	3,54	2,32	1,31	0,47	0	0	3,83	7,65	6,98	37,46	24,92
2045	0	0	5,20	4,40	0	2,95	2,40	1,09	0,49	0	0	3,95	7,90	7,21	38,68	25,73

2046	0	0	4,16	3,52	0	2,36	2,47	0,87	0,50	0	0	4,08	8,15	7,43	39,90	26,54
2047	0	0	3,12	2,64	0	1,77	2,55	0,65	0,52	0	0	4,20	8,40	7,66	41,13	27,35
2048	0	0	2,08	1,76	0	1,18	2,62	0,44	0,53	0	0	4,33	8,65	7,89	42,35	28,17
2049	0	0	1,04	0,88	0	0,59	2,70	0,22	0,55	0	0	4,45	8,90	8,12	43,57	28,98
2050	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2051	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2052	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2053	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2054	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2055	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2056	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2057	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2058	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2059	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2060	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2061	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2062	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2063	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2064	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2065	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2066	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2067	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2068	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2069	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2070	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2071	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2072	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2073	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2074	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79

2075	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2076	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2077	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2078	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2079	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2080	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2081	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79
2082	0	0	0	0	0	0	2,78	0	0,56	0	0	4,58	9,15	8,34	44,79	29,79

Tabel C1: De opgestelde Belgische dynamische elektriciteitsmix voor 2021 tot 2082 [%]

De milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix

	Biogas	Biomass	Gas			Hard coal bio	Hydro			Nuclear	Oil	Solar			Wind	
			CCGT	conventional	OCGT		battery	PS	RoR			private single	private double	industrial	offshore	onshore
2022	0,0001	0,0017	0,0095	0,0052	0	0,0014	0	0,00036	0	0,0044	0,0001	0,0022	0,0043	0,0018	0,0015	0,0015
2023	0,0001	0,0012	0,0106	0,0059	0	0,0025	0	0,00038	0	0,0029	0	0,0029	0,0057	0,0024	0,0020	0,0020
2024	0	0,0006	0,01178	0,0065	0	0,0035	0	0,00040	0	0,0015	0	0,0036	0,0072	0,0030	0,0026	0,0025
2025	0	0	0,0129	0,0071	0	0,0045	0	0,00043	0	0	0	0,0044	0,0086	0,0036	0,0031	0,0031
2026	0	0	0,0109	0,0073	0	0,0044	0	0,00100	0	0	0	0,0046	0,0091	0,0038	0,0037	0,0032
2027	0	0	0,0089	0,0074	0	0,0042	0	0,00157	0	0	0	0,0048	0,0095	0,0040	0,0043	0,0034
2028	0	0	0,0069	0,0076	0	0,0040	0	0,00214	0	0	0	0,0051	0,0100	0,0042	0,0043	0,0036
2029	0	0	0,0050	0,0077	0	0,0038	0	0,00271	0	0	0	0,0053	0,0105	0,0044	0,0054	0,0038
2030	0	0	0,0029	0,0079	0	0,0037	0	0,00328	0	0	0	0,0055	0,0109	0,0046	0,0059	0,0040
2031	0	0	0,0031	0,0077	0	0,0036	0	0,00310	0	0	0	0,0055	0,0109	0,0046	0,0060	0,0040
2032	0	0	0,0031	0,0074	0	0,0036	0	0,00293	0	0	0	0,0055	0,0109	0,0046	0,0061	0,0041
2033	0	0	0,0032	0,0072	0	0,0035	0	0,00275	0	0	0	0,0055	0,0109	0,0046	0,0062	0,0041
2034	0	0	0,0033	0,0070	0	0,0034	0	0,00258	0	0	0	0,0055	0,0109	0,0046	0,0062	0,0041
2035	0	0	0,0034	0,0065	0	0,0034	0	0,00240	0	0	0	0,0055	0,0109	0,0046	0,0063	0,0041
2036	0	0	0,0035	0,0065	0	0,0033	0	0,00223	0	0	0	0,0055	0,0109	0,0046	0,0063	0,0042
2037	0	0	0,0036	0,0063	0	0,0032	0	0,00205	0	0	0	0,0055	0,0109	0,0046	0,0064	0,0042
2038	0	0	0,0037	0,0060	0	0,0032	0	0,00188	0	0	0	0,0055	0,0109	0,0046	0,0064	0,0042
2039	0	0	0,0038	0,0058	0	0,0031	0	0,00170	0	0	0	0,0055	0,0109	0,0046	0,0065	0,0043
2040	0	0	0,0039	0,0056	0	0,0031	0	0,00153	0	0	0	0,0055	0,0109	0,0046	0,0066	0,0043
2041	0	0	0,0035	0,0050	0	0,0028	0	0,00137	0	0	0	0,0054	0,0113	0,0048	0,0068	0,0045
2042	0	0	0,0031	0,0045	0	0,0025	0	0,00122	0	0	0	0,0059	0,0118	0,0050	0,0070	0,0046

2043	0	0	0,0027	0,0039	0	0,0021	0	0,00107	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0073	0,0048
2044	0	0	0,0023	0,0033	0	0,0018	0	0,00092	0	0	0	0,0064	0,0126	0,0053	0,0075	0,0049
2045	0	0	0,0019	0,0028	0	0,0015	0	0,00076	0	0	0	0,0066	0,0130	0,0055	0,0078	0,0051
2046	0	0	0,0015	0,0022	0	0,0012	0	0,00061	0	0	0	0,0068	0,0134	0,0057	0,0080	0,0053
2047	0	0	0,0012	0,0017	0	0,0009	0	0,00046	0	0	0	0,0070	0,0138	0,0058	0,0083	0,0054
2048	0	0	0,0008	0,0011	0	0,0006	0	0,00031	0	0	0	0,0072	0,0142	0,0060	0,0085	0,0056
2049	0	0	0,0004	0,0006	0	0,0003	0	0,00015	0	0	0	0,0074	0,0146	0,0062	0,0088	0,0058
2050	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2051	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2052	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2053	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2054	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2055	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2056	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2057	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2058	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2059	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2060	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2061	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2062	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2063	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2064	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2065	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2066	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059

2067	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2068	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2069	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2070	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2071	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2072	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2073	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2074	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2075	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2076	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2077	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2078	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2079	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2081	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059
2082	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0076	0,0150	0,0063	0,0090	0,0059

Tabel C2: De milieu-impact van de opgestelde dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 [milieupunten]

De primaire energie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix

	Biogas	Biomass	Gas			Hard coal bio	Hydro			Nuclear	Oil	Solar			Wind	
			CCGT	conventional	OCGT		battery	PS	RoR			private single	private double	industrial	offshore	onshore
2022	0,0035	0,5700	1,8699	1,0242	0,0003	0,4846	0,0338	0,0823	0,0198	4,9236	0,0082	0,0487	0,0935	0,1190	0,3027	0,3039
2023	0,0023	0,3800	2,0970	1,1487	0,0003	0,8343	0,0285	0,0879	0,0211	3,2824	0,0055	0,0740	0,1421	0,1598	0,4109	0,4125
2024	0,0012	0,1900	2,3242	1,2731	0,0003	1,1841	0,0233	0,0935	0,0224	1,6412	0,0028	0,1000	0,1907	0,2005	0,5190	0,5211
2025	0	0	2,5513	1,3975	0,0003	1,5338	0,0180	0,0991	0,0238	0	0	0,1246	0,2393	0,2412	0,6272	0,6297
2026	0	0	2,1581	1,4267	0,0003	1,4762	0,0236	0,2307	0,0234	0	0	0,1499	0,2879	0,2542	0,7446	0,6683
2027	0	0	1,7648	1,4558	0,0002	1,4186	0,0291	0,3623	0,0230	0	0	0,1580	0,3035	0,2673	0,8621	0,7070
2028	0	0	1,3715	1,4850	0,0002	1,3611	0,0347	0,4939	0,0227	0	0	0,1661	0,3191	0,2804	0,9796	0,74560
2029	0	0	0,9783	1,5141	0,0002	1,3035	0,0402	0,6255	0,0223	0	0	0,1743	0,3347	0,2934	1,0970	0,7842
2030	0	0	0,5850	1,5432	0,0002	1,2459	0,0458	0,7571	0,0219	0	0	0,1824	0,3503	0,3065	1,2145	0,8229
2031	0	0	0,6027	1,4977	0,0002	1,2252	0,0490	0,7167	0,0213	0	0	0,1905	0,3658	0,3065	1,2257	0,8291
2032	0	0	0,6204	1,4522	0,0001	1,2045	0,0522	0,6763	0,0207	0	0	0,1905	0,3658	0,3064	1,2369	0,8353
2033	0	0	0,6381	1,4067	0,0001	1,1838	0,0554	0,6359	0,0201	0	0	0,1905	0,3658	0,3064	1,2482	0,8415
2034	0	0	0,6558	1,3612	0,0001	1,1632	0,0585	0,5955	0,0194	0	0	0,1904	0,3658	0,3064	1,2594	0,8477
2035	0	0	0,6735	1,3157	0,0001	1,1425	0,0617	0,5550	0,0188	0	0	0,1904	0,3657	0,3064	1,2706	0,8539
2036	0	0	0,6912	1,2702	0,0001	1,1218	0,0649	0,5146	0,0182	0	0	0,1904	0,3657	0,3063	1,2819	0,8601
2037	0	0	0,7090	1,2247	0,0001	1,1011	0,0681	0,4742	0,0176	0	0	0,1904	0,3657	0,3063	1,2931	0,8663
2038	0	0	0,7267	1,1792	0	1,0805	0,0713	0,4338	0,0170	0	0	0,1904	0,3656	0,3063	1,3043	0,8725
2039	0	0	0,7444	1,1337	0	1,0598	0,0745	0,3934	0,0164	0	0	0,1904	0,3656	0,3063	1,3156	0,8787
2040	0	0	0,7621	1,0882	0	1,0391	0,0777	0,3530	0,0157	0	0	0,1904	0,3656	0,3063	1,3268	0,8849
2041	0	0	0,6859	0,9794	0	0,9352	0,0806	0,3177	0,0163	0	0	0,1903	0,3656	0,3177	1,3766	0,9182
2042	0	0	0,6097	0,8706	0	0,8313	0,0835	0,2824	0,0169	0	0	0,1975	0,3793	0,3292	1,4264	0,9514

2043	0	0	0,5335	0,7618	0	0,7274	0,0864	0,2471	0,0175	0	0	0,2046	0,3930	0,3407	1,4762	0,9846
2044	0	0	0,4573	0,6530	0	0,6235	0,0893	0,2118	0,0181	0	0	0,2118	0,4067	0,3522	1,5260	1,0178
2045	0	0	0,3810	0,5441	0	0,5196	0,0923	0,1765	0,0187	0	0	0,2189	0,4204	0,3637	1,5758	1,0510
2046	0	0	0,3048	0,4353	0	0,4156	0,0952	0,1412	0,0193	0	0	0,2261	0,4342	0,3752	1,6256	1,0842
2047	0	0	0,2286	0,3265	0	0,3117	0,0981	0,1059	0,0199	0	0	0,2332	0,4479	0,3867	1,6754	1,1174
2048	0	0	0,1524	0,2177	0	0,2078	0,1010	0,0706	0,0205	0	0	0,2403	0,4616	0,3982	1,7251	1,1506
2049	0	0	0,0762	0,1088	0	0,1039	0,1039	0,0353	0,0211	0	0	0,2475	0,4753	0,4097	1,7749	1,1838
2050	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2546	0,4890	0,4212	1,8247	1,2170
2051	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2052	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2053	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2054	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2055	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2056	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2057	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2058	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2059	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2060	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2061	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2062	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2063	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2064	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2065	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2066	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170

2067	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2068	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2069	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2070	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2071	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2072	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2073	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2074	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2075	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2076	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2077	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2078	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2079	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2080	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2081	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170
2082	0	0	0	0	0	0	0,1068	0	0,0216	0	0	0,2618	0,5027	0,4227	1,8247	1,2170

Tabel C3: De primaire energie van de opgestelde dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 [MJ]

De CO₂-intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix

	Biogas	Biomass	Gas			Hard coal bio	Hydro			Nuclear	Oil	Solar			Wind	
			CCGT	conventional	OCGT		battery	PS	RoR			private single	private double	industrial	offshore	onshore
2022	0,0038	0,1008	0,1045	0,0595	0	0,0018	0,0008	0,0029	0	0,0045	0,0006	0,0017	0,0029	0,0019	0,0012	0,0011
2023	0,0026	0,0672	0,1172	0,0668	0	0,0031	0,0007	0,0031	0	0,0030	0,0004	0,0022	0,0038	0,0026	0,0016	0,0015
2024	0,0013	0,0336	0,1299	0,0740	0	0,0044	0,0005	0,0033	0	0,0015	0,0002	0,0028	0,0048	0,0033	0,0020	0,0019
2025	0	0	0,1426	0,0812	0	0,0058	0,0004	0,0035	0	0	0	0,0034	0,0058	0,0039	0,0024	0,0023
2026	0	0	0,1206	0,0829	0	0,0055	0,0005	0,0081	0	0	0	0,0035	0,0061	0,0041	0,0028	0,0024
2027	0	0	0,0987	0,0846	0	0,0053	0,0007	0,0127	0	0	0	0,0037	0,0064	0,0043	0,0033	0,0026
2028	0	0	0,0767	0,0863	0	0,0051	0,0008	0,0174	0	0	0	0,0039	0,0068	0,0046	0,0037	0,0027
2029	0	0	0,0547	0,0880	0	0,0049	0,0009	0,0220	0	0	0	0,0041	0,0071	0,0048	0,0042	0,0028
2030	0	0	0,0327	0,0897	0	0,0047	0,0011	0,0266	0	0	0	0,0043	0,0074	0,0050	0,0046	0,0030
2031	0	0	0,0337	0,0870	0	0,0046	0,0011	0,0252	0	0	0	0,0043	0,0074	0,0050	0,0047	0,0030
2032	0	0	0,0347	0,0844	0	0,0045	0,0012	0,0238	0	0	0	0,0043	0,0074	0,0050	0,0047	0,0030
2033	0	0	0,0357	0,0817	0	0,0044	0,0013	0,0224	0	0	0	0,0043	0,0074	0,0050	0,0048	0,0031
2034	0	0	0,0367	0,0791	0	0,0044	0,0014	0,0209	0	0	0	0,0043	0,0074	0,0050	0,0048	0,0031
2035	0	0	0,0377	0,0765	0	0,0043	0,0014	0,0195	0	0	0	0,0043	0,0074	0,0050	0,0049	0,0031
2036	0	0	0,0386	0,0738	0	0,0042	0,0015	0,0181	0	0	0	0,0043	0,0074	0,0050	0,0049	0,0031
2037	0	0	0,0396	0,0712	0	0,0041	0,0016	0,0167	0	0	0	0,0043	0,0074	0,0050	0,0049	0,0031
2038	0	0	0,0406	0,0685	0	0,0041	0,0017	0,0153	0	0	0	0,0043	0,0074	0,0050	0,0050	0,0032
2039	0	0	0,0416	0,0659	0	0,0040	0,0017	0,0138	0	0	0	0,0043	0,0074	0,0050	0,0050	0,0032
2040	0	0	0,0426	0,0632	0	0,0039	0,0018	0,0124	0	0	0	0,0043	0,0074	0,0050	0,0051	0,0032
2041	0	0	0,0383	0,0569	0	0,0035	0,0019	0,0112	0	0	0	0,0044	0,0077	0,0052	0,0053	0,0033
2042	0	0	0,0341	0,0506	0	0,0031	0,0019	0,0099	0	0	0	0,0046	0,0079	0,0054	0,0055	0,0035
2043	0	0	0,0298	0,0443	0	0,0027	0,0020	0,0087	0	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0056	0,0036
2044	0	0	0,0256	0,0379	0	0,0023	0,0021	0,0074	0	0	0	0,0049	0,0085	0,0057	0,0058	0,0037
2045	0	0	0,0213	0,0316	0	0,0020	0,0021	0,0062	0	0	0	0,0051	0,0088	0,0059	0,0060	0,0038
2046	0	0	0,0170	0,0253	0	0,0016	0,0022	0,0050	0	0	0	0,0052	0,0090	0,0061	0,0062	0,0039

2047	0	0	0,0128	0,0190	0	0,0012	0,0023	0,0037	0	0	0	0,0054	0,0093	0,0063	0,0064	0,0041
2048	0	0	0,0085	0,0126	0	0,0008	0,0024	0,0025	0	0	0	0,0055	0,0096	0,0065	0,0066	0,0042
2049	0	0	0,0043	0,0063	0	0,0004	0,0024	0,0012	0	0	0	0,0057	0,0099	0,0067	0,0068	0,0043
2050	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2051	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2052	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2053	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2054	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2055	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2056	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2057	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2058	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2059	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2060	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2061	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2062	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2063	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2064	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2065	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2066	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2067	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2068	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2069	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2070	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2071	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2072	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2073	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2074	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2075	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044

2076	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2077	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2078	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2079	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2080	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2081	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044
2082	0	0	0	0	0	0	0,0025	0	0	0	0	0,0059	0,0101	0,0068	0,0070	0,0044

Tabel C4: De CO₂-intensiteitsfactor van de opgestelde dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 [kg CO₂ equivalent]

Bijlage D: De milieu-impact van het referentiemodel volgens de nationale trend

In deze bijlage wordt de milieu-impact van het referentiemodel uitgewerkt. Eerst wordt in een tabel alle materialen met de bijhorende benaming uit SimaPro opgesomd. Vervolgens bestaat deze bijlage uit twee grote delen. In het eerste deel wordt de milieu-impact bepaald voor de gebouwcomponenten en het operationeel energieverbruik. Vervolgens wordt in het tweede deel de milieu-impact als effectenbeoordelingsmethode vervangen door de CO₂-intensiteitsfactor.

De inventaris van het referentiemodel

Adhesive mortar	Adhesive mortar {CH} production Cut-off, U
Alkyd paint Fixed to stony waste	Alkyd paint, white, without water, in 60% solution state {RER} alkyd paint production, white, water-based, product in 60% solution state Cut-off, U
Base plaster Fixed to stony waste	Base plaster {CH} production Cut-off, U
Cement mortar	Cement mortar {CH} production Cut-off, U
Cement screed	Cement cast plaster floor {CH} production Cut-off, U
Ceramic floor tile	Ceramic tile {CH} production Cut-off, U
Ceramic roof tile	Roof tile {RER} production Cut-off, U
Cover plaster, mineral Fixed to stony waste	Cover plaster, mineral {CH} production Cut-off, U
Door, outer, wood-aluminium	Door, outer, wood-aluminium {RER} production Cut-off, U
Double glazing	Glazing, double, U<1.1 W/m ² K {RER} production Cut-off, U
EPDM	Synthetic rubber {RER} production Cut-off, U
Expanded polystyrene (EPS)	Polystyrene foam slab {RER} production Cut-off, U
Glass fibre Plaster Fixed to stony waste	Glass fibre {RER} production Cut-off, U
Glass wool	Glass wool mat {CH} production Cut-off, U
Gypsum plaster Fixed to stony waste	Base plaster {CH} production Cut-off, U
Gypsum plasterboard	Base plaster {CH} production Cut-off, U
High density polyethylene plugs	Polyethylene, high density, granulate {RER} production Cut-off, U
Hollow clay brick	Clay brick {RER} production Cut-off, U
Medium density fibreboard	Medium density fibreboard {RER} medium density fibre board production, uncoated Cut-off, U
PE-foil	Packaging film, low density polyethylene {RER} production Cut-off, U
Polyurethane (PUR)	Polyurethane, rigid foam {RER} production Cut-off, U
Poured concrete	Concrete, normal {CH} unreinforced concrete production, with cement CEM II/A Cut-off, U
Reinforcing steel	Reinforcing steel {RER} production Cut-off, U
Sawnwood, softwood Untreated	Sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed {RER} market for Cut-off, U
Window frame, aluminium	Window frame, aluminium, U=1.6 W/m ² K {RER} production Cut-off, U

Tabel D1: De inventaris van de verschillende materialen in het referentiemodel

De milieu-impact van de buitenmuur

	Fractie [-]	Dikte [m]	Lambda [W/mK]	R-waarde [m ² K/W]	Volume [m ³ /m ²]	Dichtheid [kg/m ³]	Massa [kg/m ²]	Totale massa [kg]
Cover plaster, mineral Fixed to stony waste	1,00	0,003	0,700	0,004	0,003	1400	4,20	298
Glass fibre Plaster Fixed to stony waste	1,00	0,000	-	-	0,000	2500	0,20	14
Base plaster Fixed to stony waste	1,00	0,005	0,820	0,006	0,005	1400	7,00	497
Expanded polystyrene (EPS)	1,00	0,120	0,034	3,529	0,120	15	1,80	128
High density polyethylene plugs	0,00	0,120	-	-	0,000	950	0,08	6
Adhesive mortar	1,00	0,005	0,820	0,006	0,005	1080	5,40	383
Hollow clay brick	0,90	0,140	0,260	0,430	0,126	1050	132,63	9416
Cement mortar	0,10	0,140	0,930	-	0,014	1900	26,01	1847
Gypsum plaster Fixed to stony waste	1,00	0,012	0,520	0,023	0,012	1000	12,00	852
Alkyd paint Fixed to stony waste	1,00	0,000	-	-	0,000	1500	0,19	13

U-waarde	0,240	W/m ² K
Totaal oppervlak	71,0	m ²

Tabel D2: De aannames van de buitenmuur

	Productiefase	Transport				Vervangingsfase		Totale milieu-impact [punten]
	Milieu-impact [punten]	afstand [km]	Soort vrachtwagen [-]	Milieu-impact [punten/tkm]	Totale milieu-impact [punten]	Levensduur [jaar]	Aantal vervangingen [-]	
Cover plaster, mineral Fixed to stony waste	7,538	117,5	7,5-32	0,060	2,094	33	2	19
Glass fibre Plaster Fixed to stony waste	11,514	117,5	7,5-32	0,060	0,100	33	2	23
Base plaster Fixed to stony waste	17,506	117,5	7,5-32	0,060	3,491	33	2	42
Expanded polystyrene (EPS)	78,980	117,5	16-32	0,049	0,734	75	1	80
High density polyethylene plugs	2,675	117,5	16-32	0,049	0,035	60	1	3
Adhesive mortar	187,467	117,5	16-32	0,049	2,203	60	1	190
Hollow clay brick	471,176	117,5	16-32	0,049	54,108	100	1	525
Cement mortar	61,509	117,5	16-32	0,049	10,611	60	1	72
Gypsum plaster Fixed to stony waste	30,010	117,5	16-32	0,049	4,896	33	2	70
Alkyd paint Fixed to stony waste	27,649	117,5	3,5-16	0,135	0,211	10	6	167

Totale milieu-impact	1191	Punten
----------------------	------	--------

Tabel D3: De milieu-impact van de buitenmuur

De milieu-impact van het hellend dak

	Fractie [-]	Dikte [m]	Lambda [W/mK]	R-waarde [m ² K/W]	Volume [m ³ /m ²]	Dichtheid [kg/m ³]	Massa [kg/m ²]	Totale massa [kg]
Ceramic roof tile	1,00	0,011	1,280	-	0,011	2100	23,10	1125
Sawnwood, softwood Untreated	0,18	0,026	0,150	-	0,005	460	2,13	104
Sawnwood, softwood Untreated	0,07	0,020	0,150	-	0,001	460	0,61	30
Medium density fibreboard	1,00	0,016	0,180	0,089	0,016	600	9,60	468
Glass wool	0,88	0,180	0,036	5,000	0,159	30	4,77	232
Sawnwood, softwood Untreated	0,12	0,180	0,130	1,385	0,021	460	9,73	474
PE-foil	1,00	0,000	-	-	0,000	950	0,19	9
Gypsum plasterboard	1,00	0,012	0,250	0,048	0,012	900	10,80	526
Alkyd paint Fixed to stony waste	1,00	0,000	-	-	0,000	1500	0,19	9

U-waarde	0,237	W/m ² K
Totaal oppervlak	48,7	m ²

Tabel D4: De aannames van het hellend dak

	Productiefase	Transport				Vervangingsfase		Totale milieu-impact [punten]
	Milieu-impact [punten]	afstand [km]	Soort vrachtwagen [-]	Milieu-impact [punten/tkm]	Totale milieu-impact [punten]	Levensduur [jaar]	Aantal vervangingen [-]	
Ceramic roof tile	70,778	117,5	16-32	0,049	0,000	75	1	71
Sawnwood, softwood Untreated	9,560	117,5	16-32	0,049	0,244	75	1	10
Sawnwood, softwood Untreated	2,758	117,5	16-32	0,049	0,244	75	1	3
Medium density fibreboard	188,163	117,5	16-32	0,049	1,388	40	1	190
Glass wool	182,742	117,5	16-32	0,049	0,005	75	1	183
Sawnwood, softwood Untreated	43,746	117,5	16-32	0,049	0,244	75	1	44
PE-foil	7,315	117,5	16-32	0,049	0,005	30	2	15
Gypsum plasterboard	18,526	117,5	16-32	0,049	0,000	33	2	37
Alkyd paint Fixed to stony waste	18,965	117,5	3,5-16	0,135	0,033	10	6	114

Totale milieu-impact	666	Punten
----------------------	-----	--------

Tabel D5: De milieu-impact van het hellend dak

De milieu-impact van het plat dak

	Fractie [-]	Dikte [m]	Lambda [W/mK]	R-waarde [m ² K/W]	Volume [m ³ /m ²]	Dichtheid [kg/m ³]	Massa [kg/m ²]	Totale massa [kg]
EPDM	1,00	0,001	0,250	0,005	0,001	1200	1,44	22
Polyurethane (PUR)	1,00	0,090	0,023	3,913	0,090	30	2,70	41
PE-foil	1,00	0,000	-	-	0,000	950	0,19	3
Poured concrete	1,00	0,050	1,700	0,029	0,050	2370	118,50	1778
Poured concrete	0,98	0,150	1,700	0,088	0,148	2370	350,03	5250
Reinforcing steel	0,02	0,150	-	-	0,002	7800	18,00	270
Gypsum plaster Fixed to stony waste	1,00	0,012	0,520	0,023	0,012	1000	12,00	180
Alkyd paint Fixed to stony waste	1,00	0,000	-	-	0,000	1500	00,19	3

U-waarde	0,238	W/m ² K
Totaal oppervlak	45,0	m ²

Tabel D6: De aannames van het plat dak

	Productiefase	Transport				Vervangingsfase		Totale milieu-impact [punten]
	Milieu-impact [punten]	afstand [km]	Soort vrachtwagen [-]	Milieu-impact [punten/tkm]	Totale milieu-impact [punten]	Levensduur [jaar]	Aantal vervangingen [-]	
EPDM	27,132	117,5	16-32	0,049	0,007	30	2	54
Polyurethane (PUR)	85,961	117,5	16-32	0,049	0,012	75	1	86
PE-foil	2,253	117,5	16-32	0,049	0,005	30	2	5
Poured concrete	20,499	100,0	16-32	0,049	0,134	100	1	21
Poured concrete	60,552	100,0	16-32	0,049	0,134	100	1	61
Reinforcing steel	465,549	117,5	16-32	0,049	0,010	100	1	466
Gypsum plaster Fixed to stony waste	6,340	117,5	16-32	0,049	0,000	33	2	13
Alkyd paint Fixed to stony waste	5,481	117,5	3,5-16	0,135	0,033	10	6	35

Totale milieu-impact	740	Punten
----------------------	-----	--------

Tabel D7: De milieu-impact van het plat dak

De milieu-impact van de vloer op volle grond

	Fractie [-]	Dikte [m]	Lambda [W/mK]	R-waarde [m ² K/W]	Volume [m ³ /m ²]	Dichtheid [kg/m ³]	Massa [kg/m ²]	Totale massa [kg]
Ceramic floor tile	0,98	0,016	0,810	0,019	0,016	2000	31,37	1568
Cement mortar	0,02	0,016	1,500	-	0,000	1900	0,60	30
Cement screed	1,00	0,050	1,350	0,037	0,050	1700	84,80	4240
Reinforcing steel	0,00	0,050	-	-	0,000	7800	0,93	47
Polyurethane (PUR)	1,00	0,080	0,028	2,857	0,080	35	2,80	140
PE-foil	1,00	0,000	-	-	0,000	950	0,19	10
Poured concrete	0,98	0,150	1,700	0,088	0,148	2370	350,03	17502
Reinforcing steel	0,02	0,150	-	-	0,002	7800	18,00	900

U-waarde	0,240	W/m ² K
Totaal oppervlak	50,0	m ²

Tabel D8: De aannames van de vloer op volle grond

	Productiefase	Transport			Vervangingsfase		Totale milieu-impact [punten]	
	Milieu-impact [punten]	afstand [km]	Soort vrachtwagen [-]	Milieu-impact [punten/tkm]	Totale milieu-impact [punten]	Levensduur [jaar]		Aantal vervangingen [-]
Ceramic floor tile	845,201	117,5	16-32	0,049	0,003	50	1	845
Cement mortar	0,998	117,5	16-32	0,049	0,000	60	1	1
Cement screed	117,189	117,5	16-32	0,049	0,000	30	2	234
Reinforcing steel	80,279	117,5	16-32	0,049	0,010	100	1	80
Polyurethane (PUR)	297,148	117,5	16-32	0,049	0,012	75	1	297
PE-foil	7,511	117,5	16-32	0,049	0,005	30	2	15
Poured concrete	201,839	100,0	16-32	0,049	0,134	100	1	202
Reinforcing steel	1551,830	117,5	16-32	0,049	0,010	100	1	1552

Totale milieu-impact	3227	Punten
----------------------	------	--------

Tabel D9: De milieu-impact van de vloer op volle grond

De milieu-impact van de ramen

	Fractie [-]	Dikte [m]	Lambda [W/mK]	R-waarde [m ² K/W]	Volume [m ³ /m ²]	Dichtheid [kg/m ³]	Massa [kg/m ²]	Totale massa [kg]
Window frame, aluminium	0,25	0,060	-	1,600	0,015	845	12,68	222
Double glazing	0,75	0,024	-	1,100	0,018	838	15,08	264

U-waarde	1,405	W/m ² K
Totaal oppervlak	17,5	m ²

Tabel D10: De aannames van de ramen

	Productiefase	Transport			Vervangingsfase		Totale milieu-impact [punten]	
	Milieu-impact [punten]	afstand [km]	Soort vrachtwagen [-]	Milieu-impact [punten/tkm]	Totale milieu-impact [punten]	Levensduur [jaar]		Aantal vervangingen [-]
Window frame, aluminium	1330,88	117,5	3,5-32	0,106	3,796	75	1	1335
Double glazing	183,473	117,5	3,5-32	0,106	0,174	30	2	367

Totale milieu-impact	1702	Punten
----------------------	------	--------

Tabel D11: De milieu-impact van de ramen

De milieu-impact van de deuren

	Fractie [-]	Dikte [m]	Lambda [W/mK]	R-waarde [m ² K/W]	Volume [m ³ /m ²]	Dichtheid [kg/m ³]	Massa [kg/m ²]	Totale massa [kg]
Door, outer, wood-aluminium	1,00	0,054	-	2,000	0,054	719	38,80	155

U-waarde	2,000	W/m ² K
Totaal oppervlak	4,0	m ²

Tabel D12: De aannames van de deuren

	Productiefase	Transport				Vervangingsfase		Totale milieu-impact [punten]
	Milieu-impact [punten]	afstand [km]	Soort vrachtwagen [-]	Milieu-impact [punten/tkm]	Totale milieu-impact [punten]	Levensduur [jaar]	Aantal vervangingen [-]	
Door, outer, wood-aluminium	407,169	117,5	3,5-32	0,106	1,270	30	2	817
Totale milieu-impact							817	Punten

Tabel D13: De milieu-impact van de deuren

De jaarlijkse milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor het referentiemodel

Jaar	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Milieu-impact	168,436	191,248	214,061	236,873	237,991	239,109	240,227	241,345	242,463	241,000	239,537	238,074	236,611	235,148	233,685
Jaar	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051
Milieu-impact	232,222	230,759	229,296	227,832	226,829	225,825	224,821	223,818	222,814	221,810	220,806	219,803	218,799	217,795	217,795
Jaar	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066
Milieu-impact	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795
Jaar	2067	2068	2069	2070	2071	2072	2073	2074	2075	2076	2077	2078	2079	2080	2081
Milieu-impact	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795	217,795

Tabel D14: De jaarlijkse milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor het referentiemodel [punten]

De milieu-impact van de buitenmuur via de dynamische elektriciteitsmix

	De totale statische milieu-impact [punten]	De statische milieu-impact elektriciteit [punten]	De productiefase		De vervangingsfase		De totale dynamische milieu-impact [punten]
			De elektriciteitsproductie [kWh]	De milieu-impact elektriciteit [punten]	Het vervangingsjaar [jaar]	De milieu-impact elektriciteit [punten]	
Cover plaster, mineral Fixed to stony waste	19	0,868	8,290	0,282	2055	0,364	19
Glass fibre Plaster Fixed to stony waste	23	2,394	22,862	0,776	2055	1,004	23
Base plaster Fixed to stony waste	42	1,447	13,817	0,469	2055	0,607	42
Expanded polystyrene (EPS)	80	0	0	0	2097	0	80
High density polyethylene plugs	3	0,136	2,599	0,088	2082	0	3
Adhesive mortar	190	0,558	10,650	0,362	2082	0	189
Hollow clay brick	525	19,422	372,010	12,599	2122	0	518
Cement mortar	72	2,687	51,336	1,743	2082	0	71
Gypsum plaster Fixed to stony waste	70	2,480	23,686	0,804	2055	1,040	69
Alkyd paint Fixed to stony waste	167	0,298	0,950	0,032	2032	0,046	167
					2042	0,043	
					2052	0,042	
					2062	0,042	
					2072	0,042	
					2082	0	

Totale milieu-impact	1181	Punten
----------------------	------	--------

Tabel D15: De milieu-impact van de buitenmuur via de dynamische elektriciteitsmix

De milieu-impact van het hellend dak via de dynamische elektriciteitsmix

	De totale statische milieu-impact [punten]	De statische milieu-impact elektriciteit [punten]	De productiefase		De vervangingsfase		De totale dynamische milieu-impact [punten]
			De elektriciteits-productie [kWh]	De milieu-impact elektriciteit [punten]	Het vervangingsjaar [jaar]	De milieu-impact elektriciteit [punten]	
Ceramic roof tile	71	4,711	89,998	3,056	2097	0	69
Sawnwood, softwood Untreated	10	0	0	0	2097	0	10
Sawnwood, softwood Untreated	3	0	0	0	2097	0	3
Medium density fibreboard	190	11,523	220,111	14,459	2062	16,650	219
Glass wool	183	28,186	538,425	18,284	2097	0	173
Sawnwood, softwood Untreated	44	0	0	0	2097	0	44
PE-foil	15	0	0	0	2052	0	15
Gypsum plasterboard	37	1,531	14,622	0,497	2055	0,642	37
Alkyd paint Fixed to stony waste	114	0,651	0,651	0,022	2032	0,044	114
					2042	0,037	
					2052	0,029	
					2062	0,029	
					2072	0,029	
					2082	0	
Totale milieu-impact						683	Punten

Tabel D16: De milieu-impact van het hellend dak via de dynamische elektriciteitsmix

De milieu-impact van het plat dak via de dynamische elektriciteitsmix

	De totale statische milieu-impact [punten]	De statische milieu-impact elektriciteit [punten]	De productiefase		De vervangingsfase		De totale dynamische milieu-impact [punten]
			De elektriciteits-productie [kWh]	De milieu-impact elektriciteit [punten]	Het vervangingsjaar [jaar]	De milieu-impact elektriciteit [punten]	
EPDM	54	1,626	15,530	0,527	2052	0,682	54
Polyurethane (PUR)	86	0,884	16,889	0,574	2097	0	86
PE-foil	5	0	0	0	2052	0	5
Poured concrete	21	0,212	4,050	0,138	2122	0	21
Poured concrete	61	0,626	11,963	0,406	2122	0	60
Reinforcing steel	466	0	0	0	2122	0	466
Gypsum plaster Fixed to stony waste	13	0,524	5,004	0,170	2055	0,220	13
Alkyd paint Fixed to stony waste	35	0,063	0,201	0,007	2032	0,014	35
					2042	0,012	
					2052	0,009	
					2062	0,009	
					2072	0,009	
					2082	0	

Totale milieu-impact	738	Punten
----------------------	-----	--------

Tabel D17: De milieu-impact van het plat dak via de dynamische elektriciteitsmix

De milieu-impact van de vloer op volle grond via de dynamische elektriciteitsmix

	De totale statische milieu-impact [punten]	De statische milieu-impact elektriciteit [punten]	De productiefase		De vervangingsfase		De totale dynamische milieu-impact [punten]
			De elektriciteits-productie [kWh]	De milieu-impact elektriciteit [punten]	Het vervangingsjaar [jaar]	De milieu-impact elektriciteit [punten]	
Ceramic floor tile	845	25,700	490,932	25,700	2072	0	371
Cement mortar	1	0,044	0,833	0,044	2082	0	0
Cement screed	234	0,888	8,480	0,888	2052	0	227
Reinforcing steel	80	0	0	0	2122	0	80
Polyurethane (PUR)	297	3,056	58,380	3,056	2097	0	241
PE-foil	15	0	0	0	2052	0	15
Poured concrete	202	2,088	39,877	2,088	2122	0	163
Reinforcing steel	1552	0	0	0	2122	0	1552

Totale milieu-impact	2649	Punten
----------------------	------	--------

Tabel D18: De milieu-impact van de vloer op volle grond via de dynamische elektriciteitsmix

De milieu-impact van de ramen via de dynamische elektriciteitsmix

	De totale statische milieu-impact [punten]	De statische milieu-impact elektriciteit [punten]	De productiefase		De vervangingsfase		De totale dynamische milieu-impact [punten]
			De elektriciteits-productie [kWh]	De milieu-impact elektriciteit [punten]	Het vervangingsjaar [jaar]	De milieu-impact elektriciteit [punten]	
Window frame, aluminium	1335	0,291	5,556	0,189	2097	0	1329
Double glazing	367	7,729	42,123	2,767	2052	3,186	331

Totale milieu-impact	1660	Punten
----------------------	------	--------

Tabel D19: De milieu-impact van de ramen via de dynamische elektriciteitsmix

De milieu-impact van de deuren via de dynamische elektriciteitsmix

	De totale statische milieu-impact [punten]	De statische milieu-impact elektriciteit [punten]	De productiefase		De vervangingsfase		De totale dynamische milieu-impact [punten]
			De elektriciteits-productie [kWh]	De milieu-impact elektriciteit [punten]	Het vervangingsjaar [jaar]	De milieu-impact elektriciteit [punten]	
Door, outer, wood-aluminium	817	2,312	22,080	0,750	2052	0,970	816

Totale milieu-impact	816	Punten
----------------------	-----	--------

Tabel D20: De milieu-impact van de deuren via de dynamische elektriciteitsmix

De CO₂-intensiteitsfactor van de buitenmuur

	Productiefase			Vervangingsfase		Totale CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]
	CO ₂ -intensiteitsfactor per kg [kg CO ₂ equivalent/kg]	CO ₂ -intensiteitsfactor per m ³ [kg CO ₂ equivalent/m ³]	Totale CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]	Levensduur [jaar]	Aantal vervangingen [-]	
Cover plaster, mineral Fixed to stony waste	0,105	-	31,337	33	2	63
Glass fibre Plaster Fixed to stony waste	2,123	-	30,152	33	2	60
Base plaster Fixed to stony waste	0,229	-	113,724	33	2	227
Expanded polystyrene (EPS)	4,087	-	522,282	75	1	522
High density polyethylene plugs	1,938	-	11,653	60	1	12
Adhesive mortar	1,039	-	398,525	60	1	399
Hollow clay brick	0,238	-	2240,258	100	1	2240
Cement mortar	0,206	-	379,516	60	1	380
Gypsum plaster Fixed to stony waste	0,229	-	194,956	33	2	390
Alkyd paint Fixed to stony waste	6,259	-	83,323	10	6	500

Totale CO ₂ -intensiteitsfactor	4793 kg CO ₂ equivalent
--	------------------------------------

Tabel D21: De CO₂-intensiteitsfactor van de buitenmuur

De CO₂-intensiteitsfactor van het hellend dak

	Productiefase			Vervangingsfase		Totale CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]
	CO ₂ -intensiteitsfactor per kg [kg CO ₂ equivalent/kg]	CO ₂ -intensiteitsfactor per m ³ [kg CO ₂ equivalent/m ³]	Totale CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]	Levensduur [jaar]	Aantal vervangingen [-]	
Ceramic roof tile	0,354	-	398,196	75	1	398
Sawnwood, softwood Untreated	-	-1262,416	-284,173	75	1	-284
Sawnwood, softwood Untreated	-	-1262,416	-81,973	75	1	-82
Medium density fibreboard	-	71,589	55,782	40	1	56
Glass wool	1,107	-	256,953	75	1	257
Sawnwood, softwood Untreated	-	-1262,416	-1300,295	75	1	-1300
PE-foil	2,882	-	26,669	30	2	53
Gypsum plasterboard	0,229	-	120,351	33	2	241
Alkyd paint Fixed to stony waste	6,259	-	57,153	10	6	343

Totale CO ₂ -intensiteitsfactor	-319 kg CO ₂ equivalent
--	------------------------------------

Tabel D22: De CO₂-intensiteitsfactor van het hellend dak

De CO₂-intensiteitsfactor van het plat dak

	Productiefase			Vervangingsfase		Totale CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]
	CO ₂ -intensiteitsfactor per kg [kg CO ₂ equivalent/kg]	CO ₂ -intensiteitsfactor per m ³ [kg CO ₂ equivalent/m ³]	Totale CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]	Levensduur [jaar]	Aantal vervangingen [-]	
EPDM	2,348	-	50,718	30	2	101
Polyurethane (PUR)	5,747	-	232,759	75	1	233
PE-foil	2,882	-	8,214	30	2	16
Poured concrete	-	150,477	112,858	100	1	113
Poured concrete	-	150,477	333,364	100	1	333
Reinforcing steel	1,972	-	532,384	100	1	532
Gypsum plaster Fixed to stony waste	0,229	-	41,188	33	2	82
Alkyd paint Fixed to stony waste	6,259	-	17,604	10	6	106

Totale CO ₂ -intensiteitsfactor	1517 kg CO ₂ equivalent
--	------------------------------------

Tabel D23: De CO₂-intensiteitsfactor van het plat dak

De CO₂-intensiteitsfactor van de vloer op volle grond

	Productiefase			Vervangingsfase		Totale CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]
	CO ₂ -intensiteitsfactor per kg [kg CO ₂ equivalent/kg]	CO ₂ -intensiteitsfactor per m ³ [kg CO ₂ equivalent/m ³]	Totale CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]	Levensduur [jaar]	Aantal vervangingen [-]	
	Ceramic floor tile	0,428	-	670,585	50	
Cement mortar	0,206	-	6,155	60	1	6
Cement screed	0,159	-	673,620	30	2	1347
Reinforcing steel	1,972	-	0,004	100	1	0
Polyurethane (PUR)	5,747	-	6,897	75	1	7
PE-foil	2,882	-	27,381	30	2	55
Poured concrete	-	150,477	1111,213	100	1	1111

Totale CO₂-intensiteitsfactor 4971 kg CO₂ equivalent

Tabel D24 De CO₂-intensiteitsfactor van de vloer op volle grond

De CO₂-intensiteitsfactor van de ramen

	Productiefase			Vervangingsfase		Totale CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]
	CO ₂ -intensiteitsfactor per kg [kg CO ₂ equivalent/kg]	CO ₂ -intensiteitsfactor per m ³ [kg CO ₂ equivalent/m ³]	Totale CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]	Levensduur [jaar]	Aantal vervangingen [-]	
	Window frame, aluminium	-	637,088	1167,236	75	
Double glazing	-	33,035	10,406	30	2	21

Totale CO₂-intensiteitsfactor 188 kg CO₂ equivalent

Tabel D25 De CO₂-intensiteitsfactor van de ramen

De CO₂-intensiteitsfactor van de deuren

	Productiefase			Vervangingsfase		Totale CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]
	CO ₂ -intensiteitsfactor per kg [kg CO ₂ equivalent/kg]	CO ₂ -intensiteitsfactor per m ³ [kg CO ₂ equivalent/m ³]	Totale CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]	Levensduur [jaar]	Aantal vervangingen [-]	
Door, outer, wood-aluminium	-	32,894	31,085	30	2	62

Totale CO ₂ -intensiteitsfactor	62 kg CO ₂ equivalent
--	----------------------------------

Tabel D26 De CO₂-intensiteitsfactor van de deuren

De jaarlijkse CO₂-intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor het referentiemodel

Jaar	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
CO ₂ -intensiteitsfactor	0,372	0,420	0,469	0,517	0,493	0,468	0,444	0,419	0,395	0,388	0,382	0,375	0,368	0,362	0,355
Jaar	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051
CO ₂ -intensiteitsfactor	0,349	0,342	0,335	0,329	0,300	0,270	0,241	0,212	0,183	0,154	0,124	0,095	0,066	0,037	0,037
Jaar	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066
CO ₂ -intensiteitsfactor	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037
Jaar	2067	2068	2069	2070	2071	2072	2073	2074	2075	2076	2077	2078	2079	2080	2081
CO ₂ -intensiteitsfactor	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037

Tabel D27: De jaarlijkse CO₂-intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor het referentiemodel [kg CO₂ equivalent]

De CO₂-intensiteitsfactor van de buitenmuur via de dynamische elektriciteitsmix

	De totale statische CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]	De statische CO ₂ -intensiteitsfactor elektriciteit [kg CO ₂ equivalent]	De productiefase		De vervangingsfase		De totale dynamische CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]
			De elektriciteitsproductie [kWh]	De CO ₂ -intensiteitsfactor elektriciteit [kg CO ₂ equivalent]	Het vervangingsjaar [jaar]	De CO ₂ -intensiteitsfactor elektriciteit [kg CO ₂ equivalent]	
Cover plaster, mineral Fixed to stony waste	63	4,106	8,290	3,084	2055	0,305	62
Glass fibre Plaster Fixed to stony waste	60	11,324	22,862	8,504	2055	0,840	58
Base plaster Fixed to stony waste	227	6,843	13,817	5,139	2055	0,508	226
Expanded polystyrene (EPS)	522	0	0	0	2097	0	522
High density polyethylene plugs	12	0,644	2,599	0,967	2082	0	12
Adhesive mortar	399	2,638	10,650	3,961	2082	0	400
Hollow clay brick	2240	91,884	371,010	138,004	2122	0	2286
Cement mortar	380	12,714	51,336	19,095	2082	0	386
Gypsum plaster Fixed to stony waste	390	11,732	23,686	8,810	2055	0,871	388
Alkyd paint Fixed to stony waste	500	1,411	0,950	0,353	2032	0,362	500
					2042	0,257	
					2052	0,035	
					2062	0,035	
					2072	0,035	
					2082	0	

Totale CO ₂ -intensiteitsfactor	4840	kg CO ₂ equivalent
--	------	-------------------------------

Tabel D28: De CO₂-intensiteitsfactor van de buitenmuur via de dynamische elektriciteitsmix

De CO₂-intensiteitsfactor van het hellend dak via de dynamische elektriciteitsmix

	De totale statische CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]	De statische CO ₂ -intensiteitsfactor elektriciteit [kg CO ₂ equivalent]	De productiefase		De vervangingsfase		De totale dynamische CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]
			De elektriciteitsproductie [kWh]	De CO ₂ -intensiteitsfactor elektriciteit [kg CO ₂ equivalent]	Het vervangingsjaar [jaar]	De CO ₂ -intensiteitsfactor elektriciteit [kg CO ₂ equivalent]	
Ceramic roof tile	398	22,289	89,998	33,476	2097	0	409
Sawnwood, softwood Untreated	-284	0	0	0	2097	0	-284
Sawnwood, softwood Untreated	-82	0	0	0	2097	0	-82
Medium density fibreboard	56	54,512	220,111	81,874	2062	8,092	91
Glass wool	257	133,346	538,425	200,277	2097	0	324
Sawnwood, softwood Untreated	-1300	0	0	0	2097	0	-1300
PE-foil	53	0	0	0	2052	0	53
Gypsum plasterboard	241	7,242	14,622	5,439	2055	0,538	239
Alkyd paint Fixed to stony waste	343	0,968	0,651	0,242	2032	0,249	343
					2042	0,176	
					2052	0,024	
					2062	0,024	
					2072	0,024	
					2082	0	

Totale CO ₂ -intensiteitsfactor	-206	kg CO ₂ equivalent
--	------	-------------------------------

Tabel D29: De CO₂-intensiteitsfactor van het hellend dak via de dynamische elektriciteitsmix

De CO₂-intensiteitsfactor van het plat dak via de dynamische elektriciteitsmix

	De totale statische CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]	De statische CO ₂ -intensiteitsfactor elektriciteit [kg CO ₂ equivalent]	De productiefase		De vervangingsfase		De totale dynamische CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]
			De elektriciteitsproductie [kWh]	De CO ₂ -intensiteitsfactor elektriciteit [kg CO ₂ equivalent]	Het vervangingsjaar [jaar]	De CO ₂ -intensiteitsfactor elektriciteit [kg CO ₂ equivalent]	
EPDM	101	0,261	0,527	0,196	2052	0,019	101
Polyurethane (PUR)	233	0,142	0,574	0,213	2097	0	233
PE-foil	16	0	0	0	2052	0	16
Poured concrete	113	0,034	0,138	0,051	2122	0	113
Poured concrete	333	0,101	0,406	0,151	2122	0	333
Reinforcing steel	532	0	0	0	2122	0	532
Gypsum plaster Fixed to stony waste	82	0,084	0,170	0,063	2055	0,006	82
Alkyd paint Fixed to stony waste	106	0,010	0,007	0,003	2032	0,003	106
					2042	0,002	
					2052	0	
					2062	0	
					2072	0	
					2082	0	

Totale CO ₂ -intensiteitsfactor	1517	kg CO ₂ equivalent
--	------	-------------------------------

Tabel D30: De CO₂-intensiteitsfactor van het plat dak via de dynamische elektriciteitsmix

De CO₂-intensiteitsfactor van de vloer op volle grond via de dynamische elektriciteitsmix

	De totale statische CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]	De statische CO ₂ -intensiteitsfactor elektriciteit [kg CO ₂ equivalent]	De productiefase		De vervangingsfase		De totale dynamische CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]
			De elektriciteitsproductie [kWh]	De CO ₂ -intensiteitsfactor elektriciteit [kg CO ₂ equivalent]	Het vervangingsjaar [jaar]	De CO ₂ -intensiteitsfactor elektriciteit [kg CO ₂ equivalent]	
Ceramic floor tile	671	121,584	490,932	182,611	2072	18,048	750
Cement mortar	6	0,206	0,833	0,310	2082	0	6
Cement screed	1347	4,200	8,480	3,154	2052	0	1347
Reinforcing steel	0	0	0	0	2122	0,312	0
Polyurethane (PUR)	7	14,458	58,380	21,715	2097	0	14
PE-foil	55	0	0	0	2052	0	55
Poured concrete	1111	9,876	39,877	14,833	2122	0	1116
Reinforcing steel	1775	0	0	0	2122	0	1775

Totale CO ₂ -intensiteitsfactor	5062	kg CO ₂ equivalent
--	------	-------------------------------

Tabel D31: De CO₂-intensiteitsfactor van de vloer op volle grond via de dynamische elektriciteitsmix

De CO₂-intensiteitsfactor van de ramen via de dynamische elektriciteitsmix

	De totale statische CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]	De statische CO ₂ -intensiteitsfactor elektriciteit [kg CO ₂ equivalent]	De productiefase		De vervangingsfase		De totale dynamische CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]
			De elektriciteitsproductie [kWh]	De CO ₂ -intensiteitsfactor elektriciteit [kg CO ₂ equivalent]	Het vervangingsjaar [jaar]	De CO ₂ -intensiteitsfactor elektriciteit [kg CO ₂ equivalent]	
Window frame, aluminium	167	11,808	47,680	11,808	2097	17,74	173
Double glazing	21	0	0	0	2052	0	21

Totale CO ₂ -intensiteitsfactor	194	kg CO ₂ equivalent
--	-----	-------------------------------

Tabel D32: De CO₂-intensiteitsfactor van de ramen via de dynamische elektriciteitsmix

De CO₂-intensiteitsfactor van de deuren via de dynamische elektriciteitsmix

	De totale statische CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]	De statische CO ₂ -intensiteitsfactor elektriciteit [kg CO ₂ equivalent]	De productiefase		De vervangingsfase		De totale dynamische CO ₂ -intensiteitsfactor [kg CO ₂ equivalent]
			De elektriciteitsproductie [kWh]	De CO ₂ -intensiteitsfactor elektriciteit [kg CO ₂ equivalent]	Het vervangingsjaar [jaar]	De CO ₂ -intensiteitsfactor elektriciteit [kg CO ₂ equivalent]	
Door, outer, wood-aluminium	62	10,937	22,080	5,47	2052	0,81	60

Totale CO ₂ -intensiteitsfactor	60	kg CO ₂ equivalent
--	----	-------------------------------

Tabel D32: De CO₂-intensiteitsfactor van de deuren via de dynamische elektriciteitsmix

Bijlage E: De dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 volgens de globale ambitie en de gedistribueerde energie

Deze bijlage bestaat uit vier delen. Het eerste deel is een tabel met de data van de dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 volgens de globale ambitie en de gedistribueerde energie. Deze tabel is uitgedrukt in de nodige hoeveelheid energie per energiebron voor één kWh elektriciteit te produceren, uitgedrukt in een percentage. Vervolgens bestaat het tweede deel uit het kwantificeren van de milieu-impact voor één kWh elektriciteit per jaar. De tabel is uitgedrukt in milieupunten. In het derde deel wordt de primaire energie voor één kWh elektriciteitsproductie door de dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 opgesomd. Hierbij is de primaire energie uitgedrukt in MJ. Als laatste deel wordt ook de CO₂-intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix meegegeven. Deze factor is uitgedrukt in kg CO₂ equivalent.

De dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de globale ambitie

	Biogas	Biomass	Gas			Hard coal bio	Hydro			Nuclear	Oil	Solar			Wind	
			CCGT	conventional	OCGT		battery	PS	RoR			private single	private double	industrial	offshore	onshore
2021	0,50	0,04	29,7			0,80	1,00	1,00		49,00	0,1	0,85	1,70	1,55	9,55	
2022	0,47	3,83	27,42	1,17	0	1,58	0,93	1,05	0,05	43,52	0,09	1,04	2,07	1,89	12,08	2,80
2023	0,41	3,35	25,14	2,35	0	2,39	0,85	1,15	0,11	38,08	0,08	1,22	2,44	2,23	14,59	5,60
2024	0,36	2,87	22,86	3,52	0	3,20	0,77	1,24	0,16	32,64	0,07	1,41	2,81	2,57	17,11	8,40
2025	0,30	2,39	20,58	4,70	0	4,02	0,69	1,34	0,22	27,20	0,05	1,59	3,18	2,90	19,63	11,20
2026	0,24	1,92	18,30	5,87	0	4,83	0,61	1,44	0,27	21,76	0,04	1,78	3,56	3,24	22,15	14,00
2027	0,18	1,44	16,02	7,05	0	5,64	0,53	1,53	0,33	16,32	0,03	1,96	3,93	3,58	24,67	16,80
2028	0,12	0,96	13,73	8,22	0	6,45	0,44	1,63	0,38	10,88	0,02	2,15	4,30	3,92	27,19	19,60
2029	0,06	0,48	11,45	9,40	0	7,27	0,36	1,73	0,44	5,44	0,01	2,33	4,67	4,26	29,71	22,40
2030	0	0	9,17	10,57	0	8,08	0,28	1,82	0,49	0	0	2,52	5,04	4,59	32,23	25,20
2031	0	0	8,97	10,50	0	8,04	0,37	1,92	0,48	0	0	2,54	5,07	4,62	32,07	25,41
2032	0	0	8,78	10,43	0	8,00	0,46	2,03	0,47	0	0	2,55	5,10	4,65	31,92	25,61
2033	0	0	8,58	10,36	0	7,96	0,55	2,13	0,46	0	0	2,57	5,14	4,68	31,77	25,81
2034	0	0	8,38	10,29	0	7,93	0,63	2,23	0,44	0	0	2,59	5,17	4,71	31,62	26,02
2035	0	0	8,18	10,21	0	7,89	0,72	2,33	0,43	0	0	2,60	5,20	4,74	31,46	26,22
2036	0	0	7,98	10,14	0	7,85	0,81	2,43	0,42	0	0	2,62	5,24	4,78	31,31	26,42
2037	0	0	7,79	10,07	0	7,81	0,90	2,53	0,41	0	0	2,64	5,27	4,81	31,16	26,63
2038	0	0	7,59	10,00	0	7,77	0,99	2,63	0,40	0	0	2,65	5,30	4,84	31,00	26,83
2039	0	0	7,39	9,93	0	7,74	1,07	2,73	0,38	0	0	2,67	5,34	4,87	30,85	27,03
2040	0	0	7,19	9,85	0	7,70	1,16	2,83	0,37	0	0	2,69	5,37	4,90	30,70	27,24
2041	0	0	6,47	8,87	0	6,93	1,21	2,55	0,39	0	0	2,79	5,58	5,08	31,87	28,27
2042	0	0	5,75	7,88	0	6,16	1,25	2,27	0,40	0	0	2,89	5,78	5,27	33,04	29,31
2043	0	0	5,03	6,90	0	5,39	1,29	1,98	0,41	0	0	2,99	5,98	5,46	34,21	30,35
2044	0	0	4,31	5,91	0	4,62	1,34	1,70	0,43	0	0	3,09	6,19	5,64	35,38	31,39
2045	0	0	3,60	4,93	0	3,85	1,38	1,42	0,44	0	0	3,20	6,39	5,83	36,54	32,42

2046	0	0	2,88	3,94	0	3,08	1,43	1,13	0,46	0	0	3,30	6,60	6,02	37,71	33,46
2047	0	0	2,16	2,96	0	2,31	1,47	0,85	0,47	0	0	3,40	6,80	6,20	38,88	34,50
2048	0	0	1,44	1,97	0	1,54	1,52	0,57	0,48	0	0	3,50	7,01	6,39	40,05	35,53
2049	0	0	0,72	0,99	0	0,77	1,56	0,28	0,50	0	0	3,61	7,21	6,57	41,22	36,57
2050	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2051	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2052	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2053	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2054	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2055	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2056	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2057	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2058	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2059	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2060	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2061	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2062	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2063	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2064	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2065	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2066	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2067	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2068	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2069	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2070	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2071	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2072	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2073	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2074	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61

2075	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2076	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2077	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2078	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2079	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2080	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2081	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61
2082	0	0	0	0	0	0	1,60	0	0,51	0	0	3,71	7,42	6,76	42,39	37,61

Tabel E1: De opgestelde Belgische dynamische elektriciteitsmix voor 2021 tot 2082 volgens de globale ambitie [%]

De dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de gedistribueerde energie

	Biogas	Biomass	Gas			Hard coal bio	Hydro			Nuclear	Oil	Solar			Wind	
			CCGT	conventional	OCGT		battery	PS	RoR			private single	private double	industrial	offshore	onshore
2021	0,50	0,04	29,7			0,80	1,00	1,00		49,00	0,1	0,85	1,70	1,55	9,55	
2022	0,47	3,83	28,60	0,96	0	1,42	0,99	1,04	0,05	43,52	0,09	1,14	2,27	2,07	11,06	2,50
2023	0,41	3,35	27,49	1,92	0	2,07	0,96	1,12	0,10	38,08	0,08	1,42	2,84	2,59	12,57	4,99
2024	0,36	2,87	26,38	2,88	0,01	2,72	0,94	1,21	0,15	32,64	0,07	1,71	3,41	3,11	14,07	7,49
2025	0,30	2,39	25,28	3,84	0,01	3,37	0,91	1,29	0,19	27,20	0,05	1,99	3,98	3,63	15,57	9,99
2026	0,24	1,92	24,17	4,80	0,01	4,02	0,88	1,37	0,24	21,76	0,04	2,28	4,55	4,15	17,08	12,49
2027	0,18	1,44	23,06	5,76	0,01	4,67	0,86	1,46	0,29	16,32	0,03	2,56	5,12	4,67	18,58	14,98
2028	0,12	0,96	21,95	6,72	0,01	5,32	0,83	1,54	0,34	10,88	0,02	2,85	5,69	5,19	20,09	17,48
2029	0,06	0,48	20,85	7,68	0,01	5,97	0,81	1,63	0,39	5,44	0,01	3,13	6,26	5,71	21,59	19,98
2030	0	0	19,74	8,64	0,02	6,63	0,78	1,71	0,44	0	0	3,42	6,83	6,23	23,09	22,48
2031	0	0	19,64	8,45	0,02	6,49	0,86	1,73	0,42	0	0	3,39	6,77	6,17	23,09	22,96
2032	0	0	19,55	8,27	0,02	6,36	0,95	1,75	0,41	0	0	3,35	6,71	6,12	23,09	23,43
2033	0	0	19,45	8,08	0,02	6,22	1,03	1,77	0,39	0	0	3,32	6,65	6,06	23,09	23,91
2034	0	0	19,36	7,89	0,02	6,09	1,11	1,79	0,38	0	0	3,29	6,59	6,00	23,09	24,39
2035	0	0	19,26	7,70	0,02	5,96	1,20	1,81	0,36	0	0	3,26	6,52	5,95	23,09	24,87
2036	0	0	19,17	7,52	0,02	5,82	1,28	1,83	0,34	0	0	3,23	6,46	5,89	23,09	25,34
2037	0	0	19,07	7,33	0,02	5,69	1,36	1,86	0,33	0	0	3,20	6,40	5,83	23,09	25,82
2038	0	0	18,98	7,14	0,02	5,55	1,45	1,88	0,31	0	0	3,17	6,34	5,78	23,09	26,30
2039	0	0	18,88	6,95	0,02	5,42	1,53	1,90	0,30	0	0	3,14	6,28	5,72	23,09	26,78
2040	0	0	18,79	6,76	0,02	5,28	1,61	1,92	0,28	0	0	3,11	6,22	5,67	23,09	27,25
2041	0	0	16,91	6,09	0,02	4,76	1,69	1,72	0,29	0	0	3,26	6,52	5,94	24,22	28,58
2042	0	0	15,03	5,41	0,02	4,23	1,77	1,53	0,31	0	0	3,41	6,82	6,22	25,34	29,91
2043	0	0	13,15	4,73	0,01	3,70	1,85	1,34	0,32	0	0	3,56	7,12	6,49	26,47	31,24
2044	0	0	11,27	4,06	0,01	3,17	1,93	1,15	0,34	0	0	3,71	7,43	6,77	27,59	32,57
2045	0	0	9,39	3,38	0,01	2,64	2,01	0,96	0,35	0	0	3,87	7,73	7,05	28,72	33,90

2046	0	0	7,51	2,71	0,01	2,11	2,09	0,77	0,36	0	0	4,02	8,03	7,32	29,85	35,23
2047	0	0	5,64	2,03	0,01	1,59	2,16	0,57	0,38	0	0	4,17	8,34	7,60	30,97	36,55
2048	0	0	3,76	1,35	0	1,06	2,24	0,38	0,39	0	0	4,32	8,64	7,88	32,10	37,88
2049	0	0	1,88	0,68	0	0,53	2,32	0,19	0,40	0	0	4,47	8,94	8,15	33,22	39,21
2050	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2051	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2052	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2053	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2054	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2055	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2056	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2057	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2058	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2059	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2060	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2061	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2062	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2063	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2064	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2065	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2066	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2067	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2068	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2069	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2070	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2071	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2072	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2073	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2074	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54

2075	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2076	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2077	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2078	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2079	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2080	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2081	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54
2082	0	0	0	0	0	0	2,40	0	0,42	0	0	4,62	9,24	8,43	34,35	40,54

Tabel E2: De opgestelde Belgische dynamische elektriciteitsmix voor 2021 tot 2082 volgens de gedistribueerde energie [%]

De milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de globale ambitie

	Biogas	Biomass	Gas			Hard coal bio	Hydro			Nuclear	Oil	Solar			Wind	
			CCGT	conventional	OCGT		battery	PS	RoR			private single	private double	industrial	offshore	onshore
2022	0,0002	0,0021	0,0102	0,0007	0	0,0008	0	0,0007	0	0,0052	0,0001	0,0017	0,0034	0,0014	0,0024	0,0006
2023	0,0001	0,0018	0,0093	0,0015	0	0,0012	0	0,0008	0	0,0046	0,0001	0,0020	0,0040	0,0017	0,0029	0,0011
2024	0,0001	0,0015	0,0085	0,0022	0	0,0017	0	0,0009	0	0,0039	0,0001	0,0023	0,0046	0,0020	0,0034	0,0017
2025	0,0001	0,0013	0,0076	0,0030	0	0,0021	0	0,0009	0	0,0033	0	0,0027	0,0052	0,0022	0,0040	0,0022
2026	0,0001	0,0010	0,0068	0,0037	0	0,0025	0	0,0010	0	0,0026	0	0,0030	0,0058	0,0025	0,0045	0,0028
2027	0,0001	0,0008	0,0059	0,0045	0	0,0029	0	0,0011	0	0,0020	0	0,0033	0,0065	0,0027	0,0050	0,0033
2028	0	0,0005	0,0051	0,0052	0	0,0034	0	0,0011	0	0,0013	0	0,0036	0,0071	0,0030	0,0055	0,0039
2029	0	0,0003	0,0042	0,0059	0	0,0038	0	0,0012	0	0,0007	0	0,0039	0,0077	0,0032	0,0060	0,0044
2030	0	0	0,0034	0,0067	0	0,0042	0	0,0013	0	0	0	0,0042	0,0083	0,0035	0,0065	0,0050
2031	0	0	0,0033	0,0066	0	0,0042	0	0,0014	0	0	0	0,0042	0,0083	0,0035	0,0065	0,0050
2032	0	0	0,0033	0,0066	0	0,0042	0	0,0014	0	0	0	0,0042	0,0084	0,0035	0,0064	0,0051
2033	0	0	0,0032	0,0065	0	0,0041	0	0,0015	0	0	0	0,0043	0,0084	0,0036	0,0064	0,0051
2034	0	0	0,0031	0,0065	0	0,0041	0	0,0016	0	0	0	0,0043	0,0085	0,0036	0,0064	0,0052
2035	0	0	0,0030	0,0065	0	0,0041	0	0,0016	0	0	0	0,0043	0,0086	0,0036	0,0063	0,0052
2036	0	0	0,0030	0,0064	0	0,0041	0	0,0017	0	0	0	0,0044	0,0086	0,0036	0,0063	0,0052
2037	0	0	0,0029	0,0064	0	0,0040	0	0,0018	0	0	0	0,004	0,0087	0,0037	0,0063	0,0053
2038	0	0	0,0028	0,0063	0	0,0040	0	0,0018	0	0	0	0,0044	0,0087	0,0037	0,0062	0,0053
2039	0	0	0,0027	0,0063	0	0,0040	0	0,0019	0	0	0	0,0044	0,0088	0,0037	0,0062	0,0054
2040	0	0	0,0027	0,0062	0	0,0040	0	0,0020	0	0	0	0,0045	0,0088	0,0037	0,0062	0,0054
2041	0	0	0,0024	0,0056	0	0,0036	0	0,0018	0	0	0	0,0046	0,0092	0,0039	0,0064	0,0056
2042	0	0	0,0021	0,0050	0	0,0032	0	0,0016	0	0	0	0,0048	0,0095	0,0040	0,0066	0,0058
2043	0	0	0,0019	0,0044	0	0,0028	0	0,0014	0	0	0	0,0050	0,0098	0,0042	0,0069	0,0060
2044	0	0	0,0016	0,0037	0	0,0024	0	0,0011	0	0	0	0,0051	0,0102	0,0043	0,0071	0,0062
2045	0	0	0,0013	0,0031	0	0,0020	0	0,0010	0	0	0	0,0053	0,0105	0,0044	0,0074	0,0064
2046	0	0	0,0011	0,0025	0	0,0016	0	0,0008	0	0	0	0,0055	0,0108	0,0046	0,0076	0,0066

2047	0	0	0,0008	0,0019	0	0,0012	0	0,0006	0	0	0	0,0057	0,0112	0,0047	0,0078	0,0068
2048	0	0	0,0005	0,0012	0	0,0008	0	0,0004	0	0	0	0,0058	0,0115	0,0049	0,0081	0,0070
2049	0	0	0,0003	0,0006	0	0,0004	0	0,0002	0	0	0	0,0060	0,0118	0,0050	0,0083	0,0073
2050	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2051	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2052	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2053	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2054	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2055	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2056	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2057	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2058	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2059	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2060	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2061	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2062	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2063	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2064	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2065	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2066	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2067	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2068	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2069	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2070	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2071	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2072	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2073	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2074	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2075	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075

2076	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2077	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2078	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2079	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2081	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075
2082	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0051	0,0085	0,0075

Tabel E3: De milieu-impact van de opgestelde dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 volgens de globale ambitie [milieupunten]

De milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de gedistribueerde energie

	Biogas	Biomass	Gas			Hard coal bio	Hydro			Nuclear	Oil	Solar			Wind	
			CCGT	conventional	OCGT		battery	PS	RoR			private single	private double	industrial	offshore	onshore
2022	0,0002	0,0021	0,0106	0,0006	0	0,0007	0	0,0007	0	0,0052	0,0001	0,0019	0,0037	0,0016	0,0022	0,0005
2023	0,0001	0,0018	0,0102	0,00121	0	0,0011	0	0,0008	0	0,0046	0,0001	0,0024	0,0047	0,00120	0,0025	0,0010
2024	0,0001	0,0015	0,0098	0,0018	0	0,0014	0	0,0009	0	0,0039	0,0001	0,0028	0,0056	0,0024	0,0028	0,0015
2025	0,0001	0,0013	0,0094	0,0024	0	0,0018	0	0,0009	0	0,0033	0	0,0033	0,0065	0,0028	0,0031	0,0020
2026	0,0001	0,0010	0,0090	0,0030	0	0,0021	0	0,0010	0	0,0026	0	0,0038	0,0075	0,0032	0,0034	0,0025
2027	0,0001	0,0008	0,0086	0,0036	0	0,0024	0	0,0010	0	0,0020	0	0,0043	0,0084	0,0036	0,0037	0,0030
2028	0	0,0005	0,0081	0,0042	0	0,0028	0	0,0011	0	0,0013	0	0,0047	0,0094	0,0039	0,0040	0,0035
2029	0	0,0003	0,0077	0,0049	0	0,0031	0	0,0011	0	0,0007	0	0,0052	0,0103	0,0043	0,0043	0,0040
2030	0	0	0,0073	0,0055	0	0,0034	0	0,0012	0	0	0	0,0057	0,0112	0,0047	0,0046	0,0045
2031	0	0	0,0073	0,0053	0	0,0034	0	0,0012	0	0	0	0,0056	0,0111	0,0047	0,0046	0,0046
2032	0	0	0,0072	0,0052	0	0,0033	0	0,0012	0	0	0	0,0056	0,0110	0,0047	0,0046	0,0047
2033	0	0	0,0072	0,0051	0	0,0032	0	0,0012	0	0	0	0,0055	0,0109	0,0046	0,0046	0,0047
2034	0	0	0,0072	0,0050	0	0,0032	0	0,0012	0	0	0	0,0055	0,0108	0,0046	0,0046	0,0048
2035	0	0	0,0071	0,0049	0	0,0031	0	0,0013	0	0	0	0,0054	0,0107	0,0045	0,0046	0,0049
2036	0	0	0,0071	0,0048	0	0,0030	0	0,0013	0	0	0	0,0054	0,0106	0,0045	0,0046	0,0050
2037	0	0	0,0071	0,0046	0	0,0030	0	0,0013	0	0	0	0,0053	0,0105	0,0044	0,0046	0,0051
2038	0	0	0,0070	0,0045	0	0,0029	0	0,0013	0	0	0	0,0053	0,0104	0,0044	0,0046	0,0052
2039	0	0	0,0070	0,0044	0	0,0028	0	0,0013	0	0	0	0,0052	0,0103	0,0044	0,0046	0,0053
2040	0	0	0,0061	0,0043	0	0,0027	0	0,0014	0	0	0	0,0052	0,0102	0,0043	0,0046	0,0054
2041	0	0	0,0063	0,0038	0	0,0025	0	0,0012	0	0	0	0,0054	0,0107	0,0045	0,0049	0,0057
2042	0	0	0,0056	0,0034	0	0,0022	0	0,0011	0	0	0	0,0057	0,0112	0,0047	0,0051	0,0059
2043	0	0	0,0046	0,0030	0	0,0019	0	0,0009	0	0	0	0,0059	0,0117	0,0049	0,0053	0,0062
2044	0	0	0,0049	0,0026	0	0,0016	0	0,0008	0	0	0	0,0062	0,0122	0,0052	0,0056	0,0065
2045	0	0	0,0032	0,0021	0	0,0014	0	0,0007	0	0	0	0,0064	0,0127	0,0054	0,0058	0,0067
2046	0	0	0,0025	0,0017	0	0,0011	0	0,0005	0	0	0	0,0067	0,0132	0,0056	0,0060	0,0070

2047	0	0	0,0028	0,0013	0	0,0008	0	0,0004	0	0	0	0,0069	0,0137	0,0058	0,0062	0,0073
2048	0	0	0,0011	0,0009	0	0,0006	0	0,0003	0	0	0	0,0072	0,0142	0,0060	0,0065	0,0075
2049	0	0	0,0004	0,0004	0	0,0003	0	0,0001	0	0	0	0,0074	0,0147	0,0062	0,0067	0,0078
2050	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0151	0,0064	0,0069	0,0080
2051	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2052	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2053	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2054	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2055	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2056	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2057	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2058	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2059	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2060	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2061	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2062	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2063	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2064	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2065	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2066	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2067	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2068	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2069	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2070	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2071	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2072	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2073	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2074	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2075	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080

2076	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2077	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2078	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2079	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2081	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080
2082	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0077	0,0152	0,0064	0,0069	0,0080

Tabel E4: De milieu-impact van de opgestelde dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 volgens de gedistribueerde energie [milieupunten]

De primaire energie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de globale ambitie

	Biogas	Biomass	Gas			Hard coal bio	Hydro			Nuclear	Oil	Solar			Wind	
			CCGT	conventional	OCGT		battery	PS	RoR			private single	private double	industrial	offshore	onshore
2022	0,0042	0,6756	2,0092	0,1451	0	0,2779	0,0359	0,1704	0,0021	5,8354	0,0098	0,0487	0,0935	0,0954	0,0013	0,1144
2023	0,0037	0,5911	1,8421	0,2903	0	0,4210	0,0328	0,1860	0,0042	5,1060	0,0085	0,0593	0,1139	0,1124	0,5945	0,2288
2024	0,0031	0,5067	1,6749	0,4354	0	0,5641	0,0296	0,2017	0,0063	4,3765	0,0073	0,0699	0,1342	0,1295	0,6972	0,3432
2025	0,0026	0,4223	1,5077	0,5805	0	0,7072	0,0265	0,2174	0,0084	3,6471	0,0061	0,0805	0,1546	0,1466	0,7998	0,4576
2026	0,0021	0,3378	1,3406	0,7257	0	0,8503	0,0234	0,2331	0,0105	2,9177	0,0049	0,0911	0,1749	0,16361	0,9024	0,5720
2027	0,0016	0,2534	1,1734	0,8708	0	0,9934	0,0202	0,2488	0,0126	2,1883	0,0037	0,1017	0,1953	0,1807	1,0050	0,6864
2028	0,0010	0,1689	1,0063	1,0159	0	1,1365	0,0171	0,2645	0,0147	1,4588	0,0024	0,1123	0,2157	0,1977	1,1076	0,8008
2029	0,0005	0,0845	0,8391	1,1611	0	1,2796	0,0140	0,2801	0,0168	0,7294	0,0012	0,1229	0,2360	0,2148	1,2102	0,9152
2030	0	0	0,6719	1,3062	0	1,4227	0,0108	0,2958	0,0189	0	0	0,1335	0,2564	0,2318	1,3128	1,0296
2031	0	0	0,6574	1,2973	0	1,4160	0,0142	0,3122	0,0184	0	0	0,1441	0,2767	0,2334	1,3066	1,0379
2032	0	0	0,6429	1,2884	0	1,4093	0,0176	0,3286	0,0180	0	0	0,1450	0,2786	0,2349	1,3004	1,0462
2033	0	0	0,6284	1,2795	0	1,4026	0,0210	0,3450	0,0175	0	0	0,1460	0,2804	0,2364	1,2941	1,0545
2034	0	0	0,6139	1,2706	0	1,3959	0,0244	0,3614	0,0170	0	0	0,1469	0,2822	0,2380	1,2879	1,0628
2035	0	0	0,5994	1,2617	0	1,3892	0,0278	0,3778	0,0166	0	0	0,1479	0,2841	0,2395	1,2817	1,0711
2036	0	0	0,5849	1,2528	0	1,3825	0,0311	0,3942	0,0161	0	0	0,1489	0,2859	0,2410	1,2755	1,0794
2037	0	0	0,5704	1,2439	0	1,3758	0,0345	0,4106	0,0156	0	0	0,1498	0,2877	0,2426	1,2693	1,0877
2038	0	0	0,5559	1,2350	0	1,3691	0,0379	0,4270	0,0152	0	0	0,1508	0,2895	0,2441	1,2631	1,0960
2039	0	0	0,5414	1,2261	0	1,3624	0,0413	0,4434	0,0147	0	0	0,1517	0,2914	0,2456	1,2568	1,1043
2040	0	0	0,5269	1,2172	0	1,3557	0,0447	0,4598	0,0142	0	0	0,1527	0,2932	0,2472	1,2506	1,1126
2041	0	0	0,4742	1,0955	0	1,2201	0,0464	0,4138	0,0148	0	0	0,1536	0,2950	0,2566	1,2982	1,1550
2042	0	0	0,4212	0,9738	0	1,0846	0,0481	0,3678	0,0153	0	0	0,1595	0,3063	0,2660	1,3459	1,1974
2043	0	0	0,3685	0,8521	0	0,9490	0,0498	0,3219	0,0159	0	0	0,1653	0,3175	0,2754	1,3935	1,2397
2044	0	0	0,3161	0,7303	0	0,8134	0,0515	0,2759	0,0164	0	0	0,1712	0,3287	0,2848	1,4411	1,2821
2045	0	0	0,2634	0,6086	0	0,6778	0,0532	0,2299	0,0170	0	0	0,1770	0,3400	0,2942	1,4887	1,3245
2046	0	0	0,2107	0,4869	0	0,5423	0,0549	0,1839	0,0175	0	0	0,1829	0,3512	0,3036	1,5363	1,3668

2047	0	0	0,1581	0,3652	0	0,4067	0,0566	0,1379	0,0180	0	0	0,1887	0,3624	0,3130	1,5840	1,4092
2048	0	0	0,1054	0,2434	0	0,2711	0,0583	0,0920	0,0186	0	0	0,1946	0,3737	0,3224	1,6316	1,4516
2049	0	0	0,0527	0,1217	0	0,1356	0,0600	0,0460	0,0191	0	0	0,2004	0,3849	0,3319	1,6792	1,4939
2050	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2063	0,3961	0,3413	1,7268	1,5363
2051	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2052	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2053	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2054	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2055	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2056	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2057	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2058	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2059	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2060	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2061	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2062	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2063	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2064	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2065	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2066	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2067	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2068	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2069	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2070	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2071	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2072	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2073	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2074	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2075	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363

2076	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2077	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2078	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2079	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2080	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2081	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363
2082	0	0	0	0	0	0	0,0617	0	0,0197	0	0	0,2121	0,4074	0,3413	1,7268	1,5363

Tabel E5: De primaire energie van de opgestelde dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 volgens de globale ambitie [MJ]

De primaire energie van de dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de gedistribueerde energie

	Biogas	Biomass	Gas			Hard coal bio	Hydro			Nuclear	Oil	Solar			Wind	
			CCGT	conventional	OCGT		battery	PS	RoR			private single	private double	industrial	offshore	onshore
2022	0,0042	0,6756	2,0953	0,1186	0,0001	0,2495	0,0380	0,1683	0,0019	5,8354	0,0098	0,0487	0,09345	0,1046	0,0012	0,1020
2023	0,0037	0,5911	2,0141	0,2372	0,0003	0,3642	0,0370	0,1820	0,0037	5,1060	0,0085	0,0650	0,1248	0,1308	0,5119	0,2040
2024	0,0031	0,5067	1,9330	0,3558	0,0004	0,4788	0,0360	0,1957	0,0056	4,3765	0,0073	0,0813	0,156	0,15701	0,5731	0,3061
2025	0,0026	0,4223	1,8518	0,4744	0,0005	0,5935	0,0350	0,2094	0,0075	3,6471	0,0061	0,0976	0,1874	0,1832	0,6344	0,4081
2026	0,0021	0,3378	1,7707	0,5931	0,0007	0,7082	0,0340	0,2230	0,0093	2,9177	0,0049	0,1139	0,2187	0,2095	0,6957	0,5101
2027	0,0016	0,2534	1,6896	0,7117	0,0008	0,8229	0,0330	0,2367	0,0112	2,1883	0,0037	0,1302	0,2500	0,2357	0,7570	0,6121
2028	0,0010	0,1689	1,6084	0,8303	0,0009	0,9376	0,0320	0,2504	0,0131	1,4588	0,0024	0,1465	0,2813	0,2619	0,8182	0,7141
2029	0,0005	0,0845	1,5273	0,9489	0,0011	1,0522	0,0310	0,2640	0,0150	0,7294	0,0012	0,1628	0,3127	0,2882	0,8795	0,8162
2030	0	0	1,4461	1,0675	0,0012	1,1669	0,0300	0,2777	0,0168	0	0	0,1791	0,3440	0,3144	0,9408	0,9182
2031	0	0	1,4391	1,0443	0,0012	1,1433	0,0332	0,2810	0,0162	0	0	0,1954	0,3753	0,3116	0,9408	0,9377
2032	0	0	1,4322	1,0211	0,0012	1,1197	0,0364	0,2844	0,0156	0	0	0,1936	0,3719	0,3087	0,9407	0,9572
2033	0	0	1,4252	0,9979	0,0013	1,0961	0,0396	0,2877	0,0150	0	0	0,1919	0,3685	0,3059	0,9407	0,9767
2034	0	0	1,4182	0,9747	0,0013	1,0724	0,0428	0,2910	0,0144	0	0	0,1901	0,3651	0,3030	0,9407	0,9963
2035	0	0	1,4112	0,9515	0,0013	1,0488	0,0461	0,2944	0,0138	0	0	0,1883	0,3617	0,3002	0,9407	1,0158
2036	0	0	1,4042	0,9283	0,0013	1,0252	0,0493	0,2977	0,0132	0	0	0,1866	0,3583	0,2974	0,9407	1,0353
2037	0	0	1,3972	0,9051	0,0014	1,0016	0,0525	0,3010	0,0126	0	0	0,1848	0,3549	0,2945	0,9407	1,0548
2038	0	0	1,3903	0,8819	0,0014	0,9780	0,0557	0,3043	0,0120	0	0	0,1831	0,3516	0,2917	0,9407	1,0743
2039	0	0	1,3833	0,8587	0,0014	0,9544	0,0589	0,3077	0,0114	0	0	0,1813	0,3482	0,2888	0,9407	1,0938
2040	0	0	1,3763	0,8355	0,0014	0,9308	0,0621	0,3110	0,0108	0	0	0,1795	0,3448	0,2860	0,9407	1,1133
2041	0	0	1,2387	0,7520	0,0013	0,8377	0,0651	0,2799	0,0113	0	0	0,1778	0,3414	0,2999	0,9866	1,1676
2042	0	0	1,1017	0,6684	0,0011	0,7446	0,0681	0,2488	0,0118	0	0	0,1864	0,3580	0,3139	1,0324	1,2219
2043	0	0	0,9634	0,5849	0,0010	0,6515	0,0712	0,2177	0,0123	0	0	0,1951	0,3747	0,3278	1,0783	1,2762
2044	0	0	0,8258	0,5013	0,0009	0,5585	0,0742	0,1866	0,0129	0	0	0,2038	0,3913	0,3418	1,1241	1,3304
2045	0	0	0,6882	0,4178	0,0007	0,4654	0,0772	0,1555	0,0134	0	0	0,2128	0,4080	0,3557	1,1700	1,3847
2046	0	0	0,5505	0,3342	0,0006	0,3723	0,0802	0,1244	0,0139	0	0	0,2210	0,4246	0,3697	1,2158	1,4390

2047	0	0	0,4129	0,2507	0,0003	0,2792	0,0833	0,0933	0,0144	0	0	0,2291	0,4412	0,3836	1,2617	1,4932
2048	0	0	0,2753	0,1671	0,0003	0,1862	0,0863	0,0622	0,0149	0	0	0,2384	0,4579	0,3975	1,3075	1,5475
2049	0	0	0,1376	0,0836	0,0001	0,0931	0,0893	0,0311	0,0155	0	0	0,2470	0,4745	0,4115	1,3534	1,6018
2050	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2551	0,4912	0,4254	1,3992	1,6560
2051	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2052	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2053	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2054	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2055	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2056	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2057	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2058	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2059	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2060	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2061	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2062	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2063	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2064	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2065	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2066	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2067	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2068	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2069	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2070	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2071	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2072	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2073	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2074	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2075	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560

2076	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2077	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2078	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2079	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2080	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2081	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560
2082	0	0	0	0	0	0	0,0923	0	0,0160	0	0	0,2644	0,5078	0,4254	1,3992	1,6560

Tabel E6: De primaire energie van de opgestelde dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 volgens de gedistribueerde energie [MJ]

De CO₂-intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de globale ambitie

	Biogas	Biomass	Gas			Hard coal bio	Hydro			Nuclear	Oil	Solar			Wind	
			CCGT	conventional	OCGT		battery	PS	RoR			private single	private double	industrial	offshore	onshore
2022	0,0046	0,1195	0,1123	0,0084	0	0,0010	0,0060	0	0,0008	0,0053	0,0007	0,0013	0,0023	0,0016	0,0019	0,0004
2023	0,0040	0,1045	0,1030	0,0169	0	0,0016	0,0065	0	0,0008	0,0046	0,0006	0,0016	0,0027	0,0018	0,0023	0,0008
2024	0,0034	0,0896	0,0936	0,0253	0	0,0021	0,0071	0	0,0007	0,0040	0,0005	0,0018	0,0031	0,0021	0,0027	0,0012
2025	0,0028	0,0747	0,0843	0,0337	0	0,0027	0,0076	0	0,0006	0,0033	0,0005	0,0020	0,0035	0,0024	0,0031	0,0017
2026	0,0023	0,0597	0,0749	0,0422	0	0,0032	0,0082	0	0,0005	0,0027	0,0004	0,0023	0,0039	0,0027	0,0035	0,0021
2027	0,0017	0,0448	0,0656	0,0506	0	0,0037	0,0087	0	0,0005	0,0020	0,0003	0,0025	0,0044	0,0029	0,0038	0,0025
2028	0,0011	0,0299	0,0563	0,0590	0	0,0043	0,0093	0	0,0004	0,0013	0,0002	0,0028	0,0048	0,0032	0,0042	0,0029
2029	0,0006	0,0149	0,0469	0,0675	0	0,0048	0,0099	0	0,0003	0,0007	0,0001	0,0030	0,0052	0,0035	0,0046	0,0033
2030	0	0	0,0376	0,0759	0	0,0053	0,0104	0	0,0003	0	0	0,0032	0,0056	0,0038	0,0050	0,0037
2031	0	0	0,0368	0,0754	0	0,0053	0,0110	0	0,0003	0	0	0,0032	0,0056	0,0038	0,0050	0,0038
2032	0	0	0,0359	0,0749	0	0,0053	0,0116	0	0,0004	0	0	0,0033	0,0057	0,0038	0,0050	0,0038
2033	0	0	0,0351	0,0744	0	0,0053	0,0121	0	0,0005	0	0	0,0033	0,0057	0,0038	0,0050	0,0038
2034	0	0	0,0343	0,0738	0	0,0052	0,0127	0	0,0006	0	0	0,0033	0,0057	0,0039	0,0049	0,0039
2035	0	0	0,0335	0,0733	0	0,0052	0,0133	0	0,0006	0	0	0,0033	0,0058	0,0039	0,0049	0,0039
2036	0	0	0,0327	0,0728	0	0,0052	0,0139	0	0,0007	0	0	0,0034	0,0058	0,0039	0,0049	0,0039
2037	0	0	0,0319	0,0723	0	0,0052	0,0144	0	0,0008	0	0	0,0034	0,0058	0,0039	0,0049	0,0039
2038	0	0	0,0311	0,0718	0	0,0051	0,0150	0	0,0009	0	0	0,0034	0,0059	0,0040	0,0048	0,0040
2039	0	0	0,0303	0,0713	0	0,0051	0,0156	0	0,0010	0	0	0,0034	0,0059	0,0040	0,0048	0,0040
2040	0	0	0,0295	0,0707	0	0,0051	0,0162	0	0,0010	0	0	0,0034	0,0060	0,0040	0,0048	0,0040
2041	0	0	0,0265	0,0637	0	0,0046	0,0146	0	0,0011	0	0	0,0036	0,0062	0,0042	0,0050	0,0042
2042	0	0	0,0236	0,0566	0	0,0041	0,0129	0	0,0011	0	0	0,0037	0,0064	0,0043	0,0052	0,0043
2043	0	0	0,0206	0,0495	0	0,0036	0,0113	0	0,0012	0	0	0,0038	0,0066	0,0045	0,0053	0,0045
2044	0	0	0,0177	0,0424	0	0,0031	0,0097	0	0,0012	0	0	0,0040	0,0069	0,0046	0,0055	0,0047
2045	0	0	0,0147	0,0354	0	0,0025	0,0081	0	0,0012	0	0	0,0041	0,0071	0,0048	0,0057	0,0048
2046	0	0	0,0118	0,0283	0	0,0020	0,0065	0	0,0013	0	0	0,0042	0,0073	0,0049	0,0059	0,0050

2047	0	0	0,0088	0,0212	0	0,0015	0,0049	0	0,0013	0	0	0,0044	0,0075	0,0051	0,0061	0,0051
2048	0	0	0,0059	0,0141	0	0,0010	0,0032	0	0,0014	0	0	0,0045	0,0078	0,0052	0,0062	0,0053
2049	0	0	0,0029	0,0071	0	0,0005	0,0016	0	0,0014	0	0	0,0046	0,0080	0,0054	0,0064	0,0054
2050	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2051	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2052	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2053	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2054	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2055	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2056	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2057	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2058	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2059	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2060	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2061	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2062	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2063	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2064	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2065	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2066	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2067	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2068	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2069	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2070	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2071	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2072	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2073	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2074	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2075	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056

2076	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2077	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2078	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2079	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2080	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2081	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056
2082	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014	0	0	0,0047	0,0082	0,0055	0,0066	0,0056

Tabel E7: De CO₂-intensiteitsfactor van de opgestelde dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 volgens de globale ambitie [kg CO₂ equivalent]

De CO₂-intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix volgens de gedistribueerde energie

	Biogas	Biomass	Gas			Hard coal bio	Hydro			Nuclear	Oil	Solar			Wind	
			CCGT	conventional	OCGT		battery	PS	RoR			private single	private double	industrial	offshore	onshore
2022	0,0046	0,1195	0,1171	0,0069	0	0,0009	0,0009	0,0059	0	0,0053	0,0007	0,0015	0,0025	0,0017	0,0017	0,0004
2023	0,0040	0,1045	0,1126	0,0138	0	0,0014	0,0009	0,0064	0	0,0046	0,0006	0,0018	0,0031	0,0021	0,0020	0,0007
2024	0,0034	0,0896	0,1081	0,0207	0	0,0018	0,0008	0,0069	0	0,0040	0,0005	0,0022	0,0038	0,0026	0,0022	0,0011
2025	0,0028	0,0747	0,1035	0,0276	0	0,0022	0,0008	0,0074	0	0,0033	0,0005	0,0026	0,0044	0,0030	0,0024	0,0015
2026	0,0023	0,0597	0,0990	0,0345	0	0,0027	0,0008	0,0078	0	0,0027	0,0004	0,0029	0,0050	0,0034	0,0027	0,0019
2027	0,0017	0,0448	0,0945	0,0414	0	0,0031	0,0008	0,0083	0	0,0020	0,0003	0,0033	0,0057	0,0038	0,0029	0,0022
2028	0,0011	0,0299	0,0899	0,0482	0	0,0035	0,0007	0,0088	0	0,0013	0,0002	0,0036	0,0063	0,0043	0,0031	0,0026
2029	0,0006	0,0149	0,0854	0,0551	0	0,0039	0,0007	0,0093	0	0,0007	0,0001	0,0040	0,0069	0,0047	0,0034	0,0030
2030	0	0	0,0808	0,0620	0	0,0044	0,0007	0,0098	0	0	0	0,0044	0,0076	0,0051	0,0036	0,0033
2031	0	0	0,0805	0,0607	0	0,0043	0,0008	0,0099	0	0	0	0,0043	0,0075	0,0051	0,0036	0,0034
2032	0	0	0,0801	0,0593	0	0,0042	0,0008	0,0100	0	0	0	0,0043	0,0074	0,0050	0,0036	0,0035
2033	0	0	0,0797	0,0580	0	0,0041	0,0009	0,0101	0	0	0	0,0043	0,0074	0,0050	0,0036	0,0035
2034	0	0	0,0793	0,0566	0	0,0040	0,0010	0,0102	0	0	0	0,0042	0,0073	0,0049	0,0036	0,0036
2035	0	0	0,0789	0,0553	0	0,0039	0,0011	0,0104	0	0	0	0,0042	0,0072	0,0049	0,0036	0,0037
2036	0	0	0,0785	0,0539	0	0,0038	0,0011	0,0105	0	0	0	0,0041	0,0072	0,0048	0,0036	0,0038
2037	0	0	0,0781	0,0526	0	0,0038	0,0012	0,0106	0	0	0	0,0041	0,0071	0,0048	0,0036	0,0038
2038	0	0	0,0777	0,0513	0	0,0037	0,0013	0,0107	0	0	0	0,0041	0,0070	0,0047	0,0036	0,0039
2039	0	0	0,0773	0,0499	0	0,0036	0,0014	0,0108	0	0	0	0,0040	0,0070	0,0047	0,0036	0,0040
2040	0	0	0,0769	0,0486	0	0,0035	0,0014	0,0109	0	0	0	0,0040	0,0069	0,0046	0,0036	0,0040
2041	0	0	0,0692	0,0437	0	0,0031	0,0015	0,0098	0	0	0	0,0042	0,0072	0,0049	0,0038	0,0042
2042	0	0	0,0616	0,0388	0	0,0028	0,0016	0,0087	0	0	0	0,0044	0,0076	0,0051	0,0040	0,0044
2043	0	0	0,0539	0,0340	0	0,0024	0,0017	0,0077	0	0	0	0,0046	0,0079	0,0053	0,0041	0,0046
2044	0	0	0,0462	0,0291	0	0,0021	0,0017	0,0066	0	0	0	0,0048	0,0082	0,0056	0,0043	0,0048
2045	0	0	0,0385	0,0243	0	0,0017	0,0018	0,0055	0	0	0	0,0050	0,0086	0,0058	0,0045	0,0050
2046	0	0	0,0308	0,0194	0	0,0014	0,0019	0,0044	0	0	0	0,0051	0,0089	0,0060	0,0047	0,0052

2047	0	0	0,0231	0,0146	0	0,0010	0,0019	0,0033	0	0	0	0,0053	0,0092	0,0062	0,0048	0,0054
2048	0	0	0,0154	0,0097	0	0,0007	0,0020	0,0022	0	0	0	0,0055	0,0096	0,0065	0,0050	0,0056
2049	0	0	0,0077	0,0049	0	0,0003	0,0021	0,0011	0	0	0	0,0057	0,0099	0,0067	0,0052	0,0058
2050	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2051	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2052	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2053	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2054	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2055	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2056	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2057	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2058	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2059	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2060	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2061	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2062	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2063	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2064	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2065	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2066	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2067	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2068	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2069	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2070	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2071	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2072	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2073	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2074	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2075	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060

2076	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2077	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2078	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2079	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2080	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2081	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060
2082	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0	0	0	0,0059	0,0102	0,0069	0,0054	0,0060

Tabel E8: De CO₂-intensiteitsfactor van de opgestelde dynamische Belgische elektriciteitsmix van 2022 tot 2082 volgens de gedistribueerde energie [kg CO₂ equivalent]

Bijlage F: De milieu-impact van het referentiemodel volgens de globale ambitie en de gedistribueerde energie

In deze bijlage wordt de milieu-impact van het referentiemodel uitgewerkt volgens de globale ambitie en de gedistribueerde energie. Deze bijlage bestaat uit twee grote delen. Eerst wordt de milieu-impact bepaald voor de gebouwcomponenten en het operationeel energieverbruik. Vervolgens wordt de milieu-impact als effectenbeoordelingsmethode vervangen door de CO₂-intensiteitsfactor.

De jaarlijkse milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor het referentiemodel

Jaar	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Milieu-impact	146,246	154,615	162,985	171,354	179,723	188,092	196,462	204,831	213,2	213,435	213,67	213,905	214,14	214,375	214,61
Jaar	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051
Milieu-impact	214,845	215,08	215,316	215,551	213,574	211,598	209,622	207,646	205,67	203,694	201,718	199,742	197,766	195,79	195,79
Jaar	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066
Milieu-impact	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79
Jaar	2067	2068	2069	2070	2071	2072	2073	2074	2075	2076	2077	2078	2079	2080	2081
Milieu-impact	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79	195,79

Tabel F1: De jaarlijkse milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor het referentiemodel volgens de globale ambitie [punten]

Jaar	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Milieu-impact	149,095	160,313	171,53	182,748	193,966	205,184	216,401	227,619	238,837	237,301	235,765	234,228	232,692	231,156	229,62
Jaar	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051
Milieu-impact	228,083	226,547	225,011	223,475	223,064	222,654	222,244	221,833	221,423	221,013	220,603	220,192	219,782	219,372	219,372
Jaar	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066
Milieu-impact	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372
Jaar	2067	2068	2069	2070	2071	2072	2073	2074	2075	2076	2077	2078	2079	2080	2081
Milieu-impact	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372	219,372

Tabel F2: De jaarlijkse milieu-impact van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor het referentiemodel volgens de gedistribueerde energie [punten]

De jaarlijkse CO₂-intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor het referentiemodel

Jaar	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
CO ₂ -intensiteitsfactor	1320,083	1248,584	1177,084	1105,584	1034,085	962,585	891,085	819,586	748,086	745,066	742,047	739,028
Jaar	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
CO ₂ -intensiteitsfactor	736,008	732,989	729,969	726,950	723,930	720,911	717,892	662,053	606,215	550,376	494,538	438,700
Jaar	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057
CO ₂ -intensiteitsfactor	382,861	327,023	271,184	215,346	159,508	159,508	159,508	159,508	159,508	159,508	159,508	159,508
Jaar	2058	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069
CO ₂ -intensiteitsfactor	159,508	159,508	159,508	159,508	159,508	159,508	159,508	159,508	159,508	159,508	159,508	159,508
Jaar	2070	2071	2072	2073	2074	2075	2076	2077	2078	2079	2080	2081
CO ₂ -intensiteitsfactor	159,508	159,508	159,508	159,508	159,508	159,508	159,508	159,508	159,508	159,508	159,508	159,508

Tabel F3: De jaarlijkse CO₂-intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor het referentiemodel volgens de globale ambitie [kg CO₂ equivalent]

Jaar	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
CO ₂ -intensiteitsfactor	1337,15	1282,72	1228,29	1173,86	1119,43	1065	1010,57	956,144	901,714	893,194	884,674	876,153
Jaar	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
CO ₂ -intensiteitsfactor	867,633	859,112	850,592	842,071	833,551	825,03	816,51	753,02	689,529	626,039	562,549	499,059
Jaar	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057
CO ₂ -intensiteitsfactor	435,569	372,079	308,588	245,098	181,608	181,608	181,608	181,608	181,608	181,608	181,608	181,608
Jaar	2058	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069
CO ₂ -intensiteitsfactor	181,608	181,608	181,608	181,608	181,608	181,608	181,608	181,608	181,608	181,608	181,608	181,608
Jaar	2070	2071	2072	2073	2074	2075	2076	2077	2078	2079	2080	2081
CO ₂ -intensiteitsfactor	181,608	181,608	181,608	181,608	181,608	181,608	181,608	181,608	181,608	181,608	181,608	181,608

Tabel F4: De jaarlijkse CO₂-intensiteitsfactor van de dynamische Belgische elektriciteitsmix voor het referentiemodel volgens de gedistribueerde energie [kg CO₂ equivalent]

Bijlage G: De implementatie van de dynamische elektriciteitsmix in de energiebron zonne-energie

Het geschatte elektriciteitsverbruik voor één kWh aan zonne-energie opgewekt door een privaat enkel PV-paneel

	Elektriciteit [kWh]	Milieu-impact per kWh [punten/kWh]	Gewogen gemiddelde [%]	Gewogen milieu-impact [punten x %]
Electricity, medium voltage {RER} market	0,012	0,179	15,3	0,0003
Electricity, high voltage {RAS} market group for	0,009	0,201	11,3	0,0002
Electricity, medium voltage {RAS} market	0,042	0,211	52,1	0,0046
Electricity, medium voltage {RNA} market	0,017	0,206	21,3	0,0008
Totaal	0,080	-	100	0,0059

Schatting elektriciteitsverbruik per kWh zonne-energie 0,263 kWh/kWh

Tabel G1: De schatting van het elektriciteitsverbruik voor één kWh zonne-energie opgewekt door een privaat enkel PV-paneel

Het geschatte elektriciteitsverbruik voor één kWh aan zonne-energie opgewekt door een privaat dubbel PV-paneel

	Elektriciteit [kWh]	Milieu-impact per kWh [punten/kWh]	Gewogen gemiddelde [%]	Gewogen milieu-impact [punten x %]
Electricity, medium voltage {RER} market	0,011	0,179	18,7	0,0004
Electricity, high voltage {RAS} market group for	0,026	0,201	46,1	0,0024
Electricity, medium voltage {RAS} market	0,011	0,211	19,1	0,0004
Electricity, medium voltage {RNA} market	0,009	0,206	16,9	0,0003
Totaal	0,057	-	100	0,0035

Schatting elektriciteitsverbruik per kWh zonne-energie 0,156 kWh/kWh

Tabel G2: De schatting van het elektriciteitsverbruik voor één kWh zonne-energie opgewekt door een privaat dubbel PV-paneel

Het geschatte elektriciteitsverbruik voor één kWh aan zonne-energie opgewekt door een zonnepark

	Elektriciteit [kWh]	Milieu-impact per kWh [punten/kWh]	Gewogen gemiddelde [%]	Gewogen milieu-impact [punten x %]
Electricity, medium voltage {RER} market	0,007	0,179	11,8	0,0002
Electricity, medium voltage, aluminium	0,006	1,179	9,9	0,0007
Electricity, high voltage {RAS} market group for	0,025	0,201	39,1	0,0019
Electricity, medium voltage {RAS} market	0,017	0,211	26,9	0,0010
Electricity, medium voltage {RNA} market	0,006	0,206	9,2	0,0001
Electricity, high voltage {DE} electricity	0,001	1n206	1,8	0
Electricity, high voltage {AU} electricity	0,001	2,206	1,3	0
Totaal	0,063	-	100	0,0039

Schatting elektriciteitsverbruik per kWh zonne-energie 0,175 kWh/kWh

Tabel G3: De schatting van het elektriciteitsverbruik voor één kWh zonne-energie opgewekt door een zonnepark

De jaarlijkse groei van zonne-energie in de dynamische elektriciteitsmix

	Solar private single Jaarlijkse groei			Solar private double Jaarlijkse groei			Solar industrial Jaarlijkse groei		
	Productiefase [%]	Vervangingsfase		Productiefase [%]	Vervangingsfase		Productiefase [%]	Vervangingsfase	
		1 [%]	2 [%]		1 [%]	2 [%]		1 [%]	2 [%]
2014	0,49			0,98			0,90		
2015	0,00			0,00			0,00		
2016	0,02			0,05			0,04		
2017	0,00			0,00			0,00		
2018	0,07			0,15			0,13		
2019	0,07			0,15			0,14		
2020	0,15			0,30			0,28		
2021	0,04			0,07			0,07		
2022	0,44			0,88			0,81		
2023	0,44			0,88			0,81		
2024	0,44			0,88			0,81		
2025	0,44			0,88			0,81		
2026	0,14			0,28			0,26		
2027	0,14			0,28			0,26		
2028	0,14			0,28			0,26		
2029	0,14			0,28			0,26		
2030	0,14			0,28			0,26		
2031	0,00			0,00			0,00		
2032	0,00			0,00			0,00		
2033	0,00			0,00			0,00		
2034	0,00			0,00			0,00		
2035	0,00			0,00			0,00		
2036	0,00			0,00			0,00		
2037	0,00			0,00			0,00		

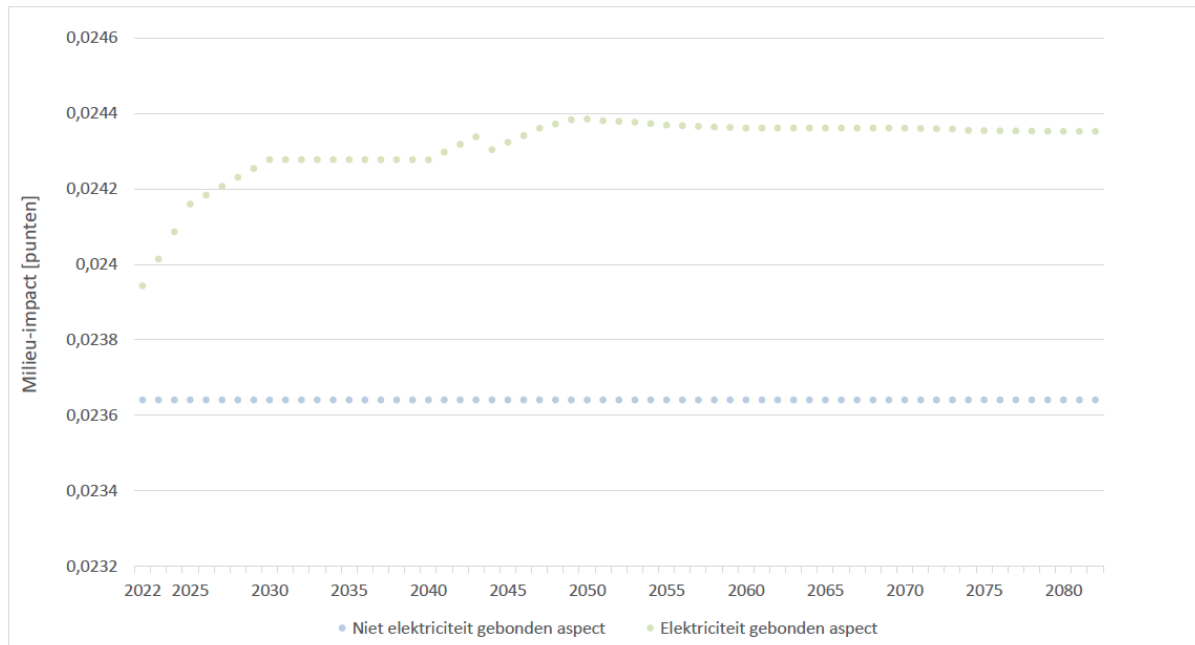
2038	0,00			0,00			0,00		
2039	0,00			0,00			0,00		
2040	0,00			0,00			0,00		
2041	0,12			0,25			0,23		
2042	0,12			0,25			0,23		
2043	0,12			0,25			0,23		
2044	0,12	0,49		0,25	0,98		0,23	0,90	
2045	0,12	0,00		0,25	0,00		0,23	0,00	
2046	0,12	0,02		0,25	0,05		0,23	0,04	
2047	0,12	0,00		0,25	0,00		0,23	0,00	
2048	0,12	0,07		0,25	0,15		0,23	0,13	
2049	0,12	0,07		0,25	0,15		0,23	0,14	
2050	0,12	0,15		0,25	0,30		0,23	0,28	
2051	0,00	0,04		0,00	0,07		0,00	0,07	
2052	0,00	0,44		0,00	0,88		0,00	0,81	
2053	0,00	0,44		0,00	0,88		0,00	0,81	
2054	0,00	0,44		0,00	0,88		0,00	0,81	
2055	0,00	0,44		0,00	0,88		0,00	0,81	
2056	0,00	0,14		0,00	0,28		0,00	0,26	
2057	0,00	0,14		0,00	0,28		0,00	0,26	
2058	0,00	0,14		0,00	0,28		0,00	0,26	
2059	0,00	0,14		0,00	0,28		0,00	0,26	
2060	0,00	0,14		0,00	0,28		0,00	0,26	
2061	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	
2062	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	
2063	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	
2064	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	
2065	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	
2066	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	
2067	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	

2068	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	
2069	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	
2070	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	
2071	0,00	0,12		0,00	0,25		0,00	0,23	
2072	0,00	0,12		0,00	0,25		0,00	0,23	
2073	0,00	0,12		0,00	0,25		0,00	0,23	
2074	0,00	0,12	0,49	0,00	0,25	0,98	0,00	0,23	0,90
2075	0,00	0,12	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,23	0,00
2076	0,00	0,12	0,02	0,00	0,25	0,05	0,00	0,23	0,04
2077	0,00	0,12	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,23	0,00
2078	0,00	0,12	0,07	0,00	0,25	0,15	0,00	0,23	0,13
2079	0,00	0,12	0,07	0,00	0,25	0,15	0,00	0,23	0,14
2080	0,00	0,12	0,15	0,00	0,25	0,30	0,00	0,23	0,28
2081	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,07
2082	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00	0,88	0,00	0,00	0,81

Tabel G4: De jaarlijkse groei aan zonne-energie in de dynamische elektriciteitsmix

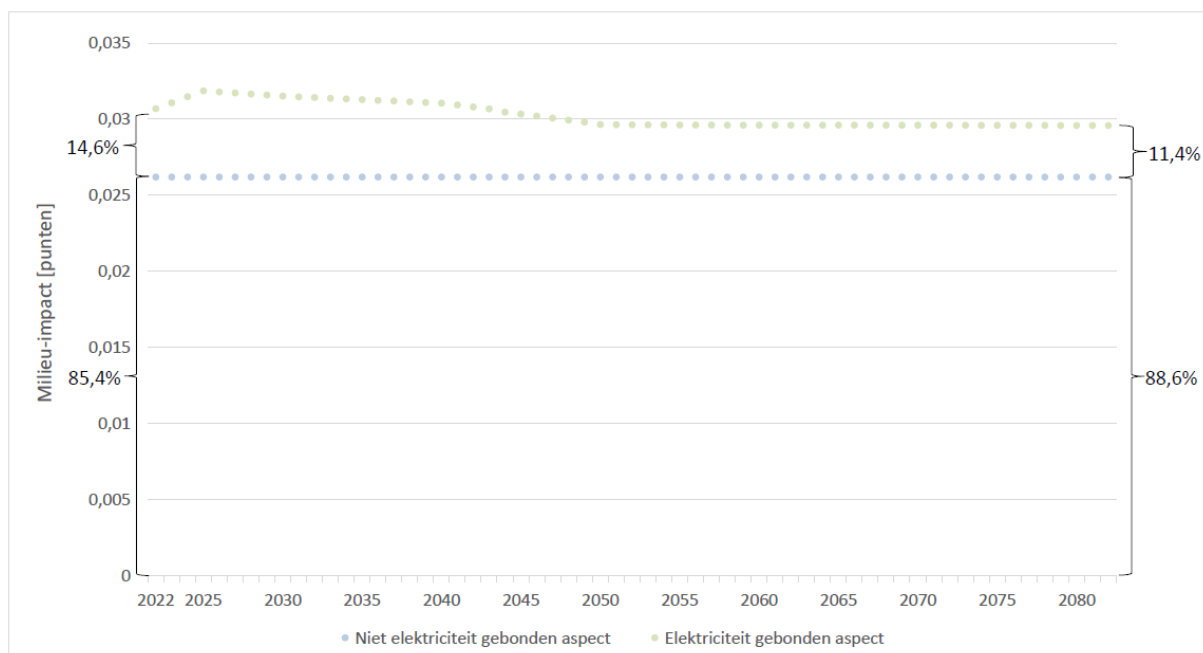
De milieu-impact van één kWh zonne-energie opgewekt door het privaat enkel PV-paneel als opwekkingsysteem

Opgelet de y-as van deze grafiek start niet bij nul maar bij 0,0234 zodanig dat de dynamiek duidelijk waarneembaar is.



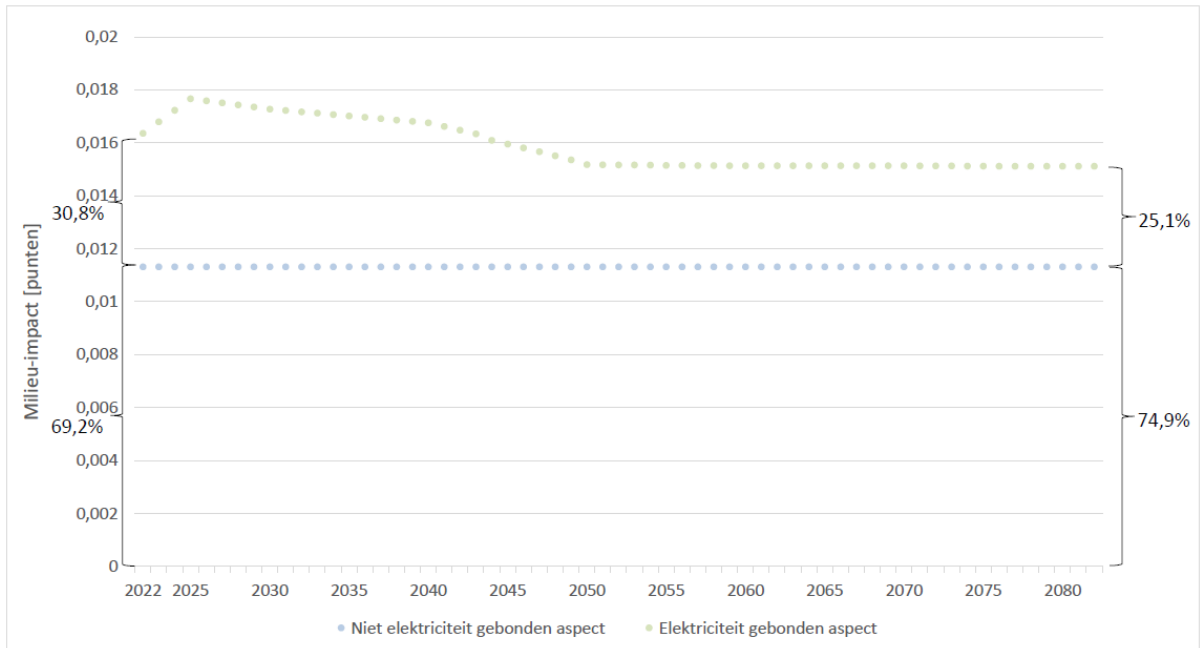
Grafiek G1: De milieu-impact van één kWh zonne-energie opgewekt door het privaat enkel PV-paneel als opwekkingsysteem met de implementatie van zonne-energie opgewekt door het privaat enkel PV-paneel als dynamische elektriciteitsmix

De milieu-impact van één kWh zonne-energie opgewekt door het privaat dubbel PV-paneel als opwekkingsysteem



Grafiek G2: De milieu-impact van één kWh zonne-energie opgewekt door het privaat dubbel PV-paneel als opwekkingsysteem

De milieu-impact van één kWh zonne-energie opgewekt door het industrieel zonnepark als opwekkingsysteem

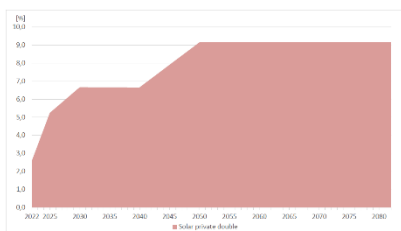


Grafiek G3: De milieu-impact van één kWh zonne-energie opgewekt door het industrieel zonnepark als opwekkingsysteem

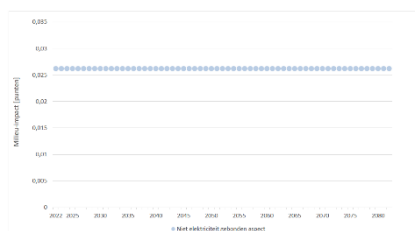
De milieu-impact van zonne-energie in de elektriciteitsmix voor het privaat dubbel PV-paneel als opwekkingsysteem

De milieu-impact van zonne-energie in de elektriciteitsmix = Het aandeel zonne-energie in de elektriciteitsmix x (De milieu-impact van het niet elektriciteit gebonden aspect + De milieu-impact van het elektriciteit gebonden aspect)

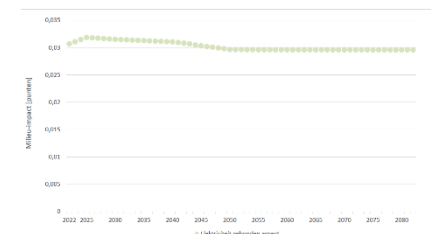
De milieu-impact van Van zonne-energie in = de elektriciteitsmix



x (

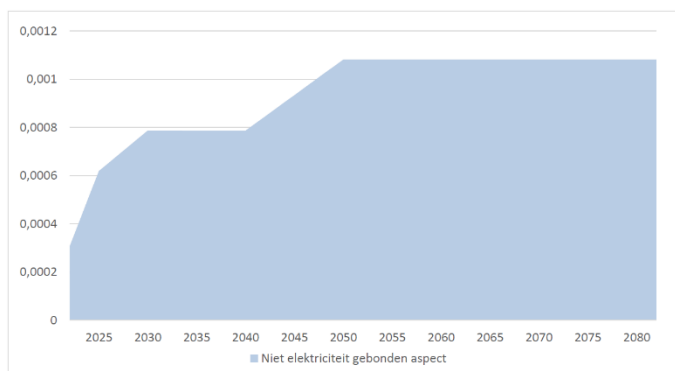


+

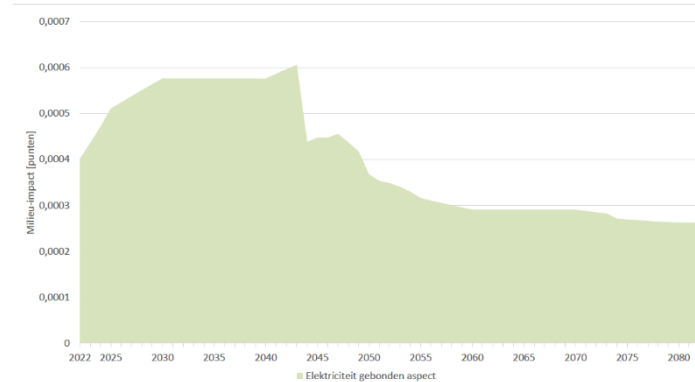


)

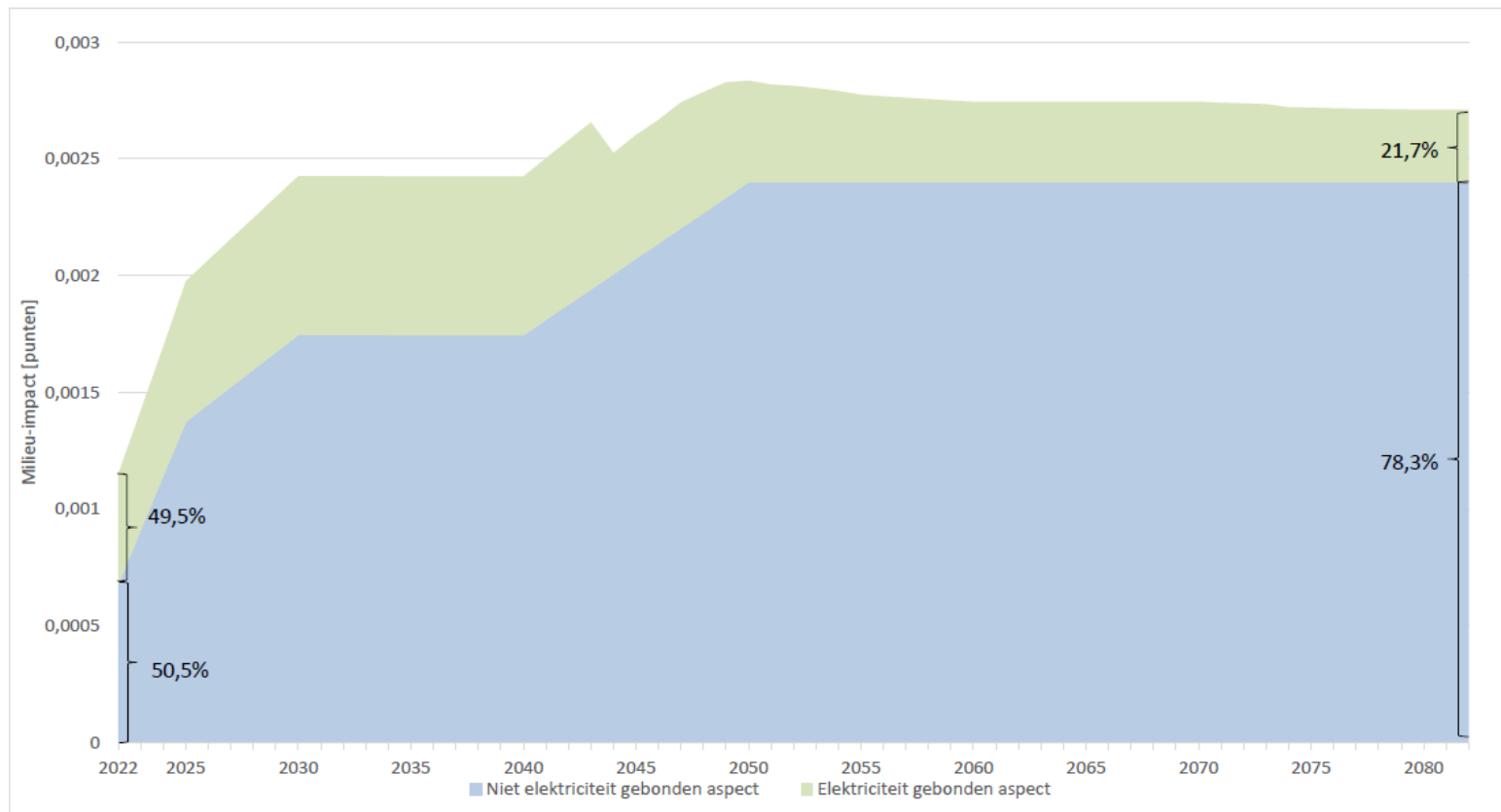
De milieu-impact van Van zonne-energie in = de elektriciteitsmix



+



De milieu-impact van
Van zonne-energie in =
de elektriciteitsmix

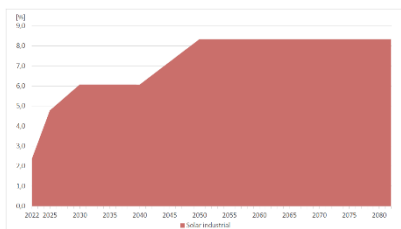


Grafiek G4: De formule van de milieu-impact van zonne-energie in de elektriciteitsmix voor het privaat dubbel PV-paneel als opwekkingsysteem

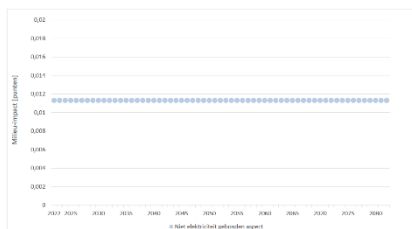
De milieu-impact van zonne-energie in de elektriciteitsmix voor het industrieel zonnepark als opwekkingsstelsel

De milieu-impact van zonne-energie in de elektriciteitsmix = Het aandeel zonne-energie in de elektriciteitsmix x (De milieu-impact van het niet elektriciteit gebonden aspect + De milieu-impact van het elektriciteit gebonden aspect)

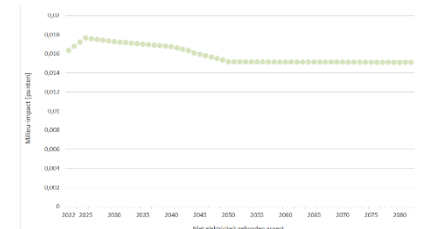
De milieu-impact van Van zonne-energie in = de elektriciteitsmix



x (

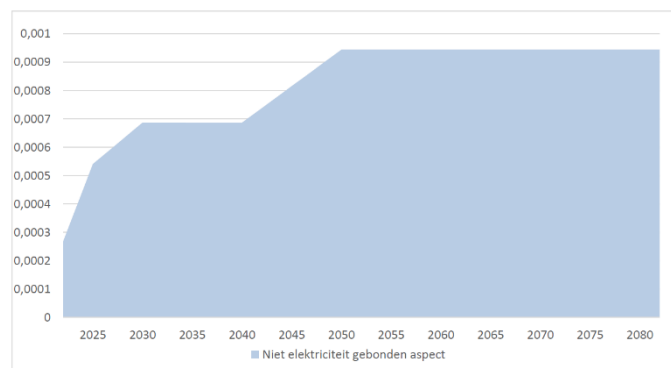


+

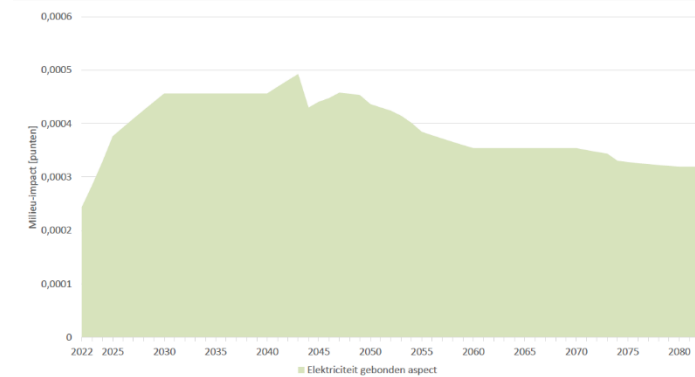


)

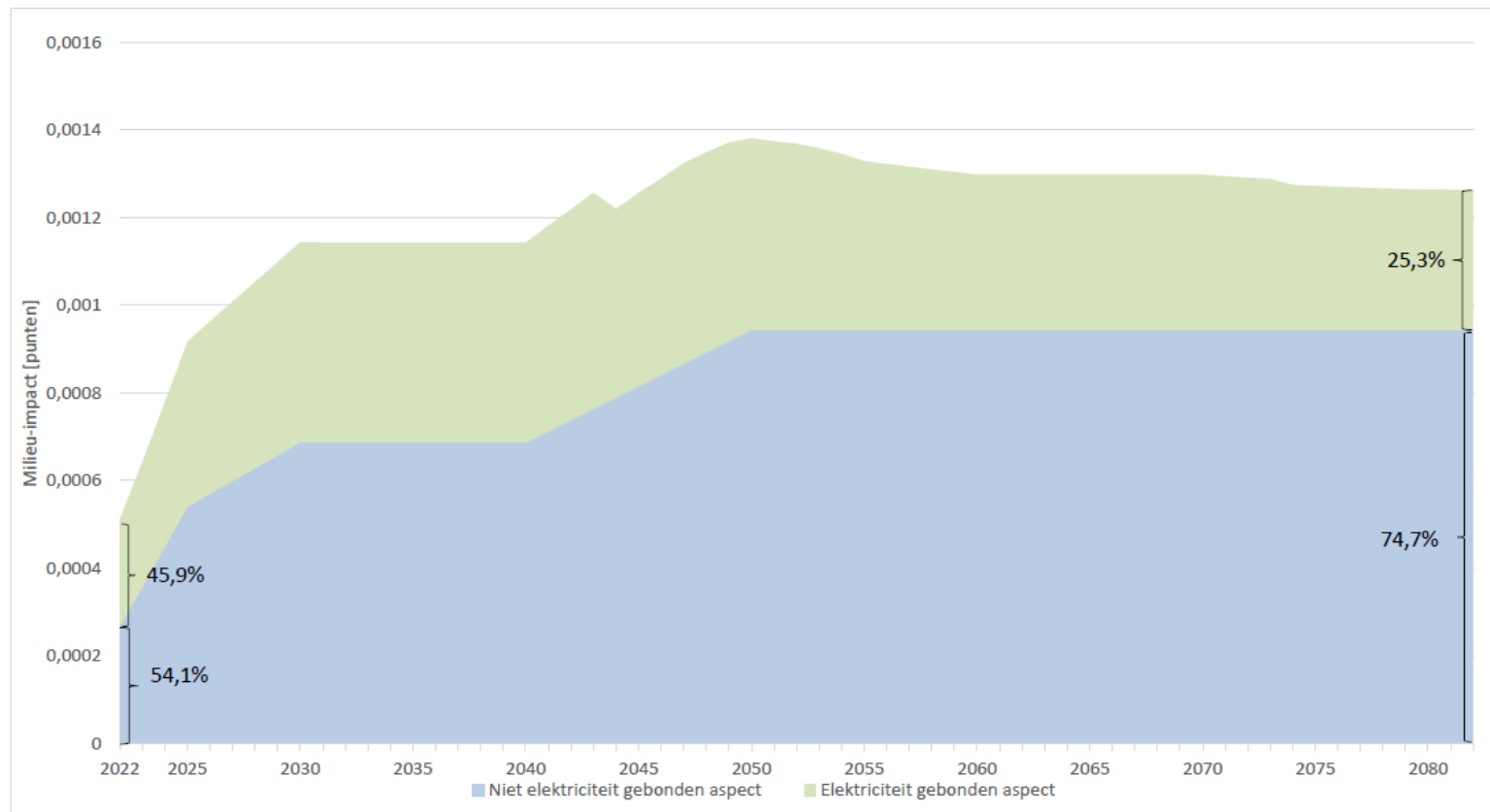
De milieu-impact van Van zonne-energie in = de elektriciteitsmix



+

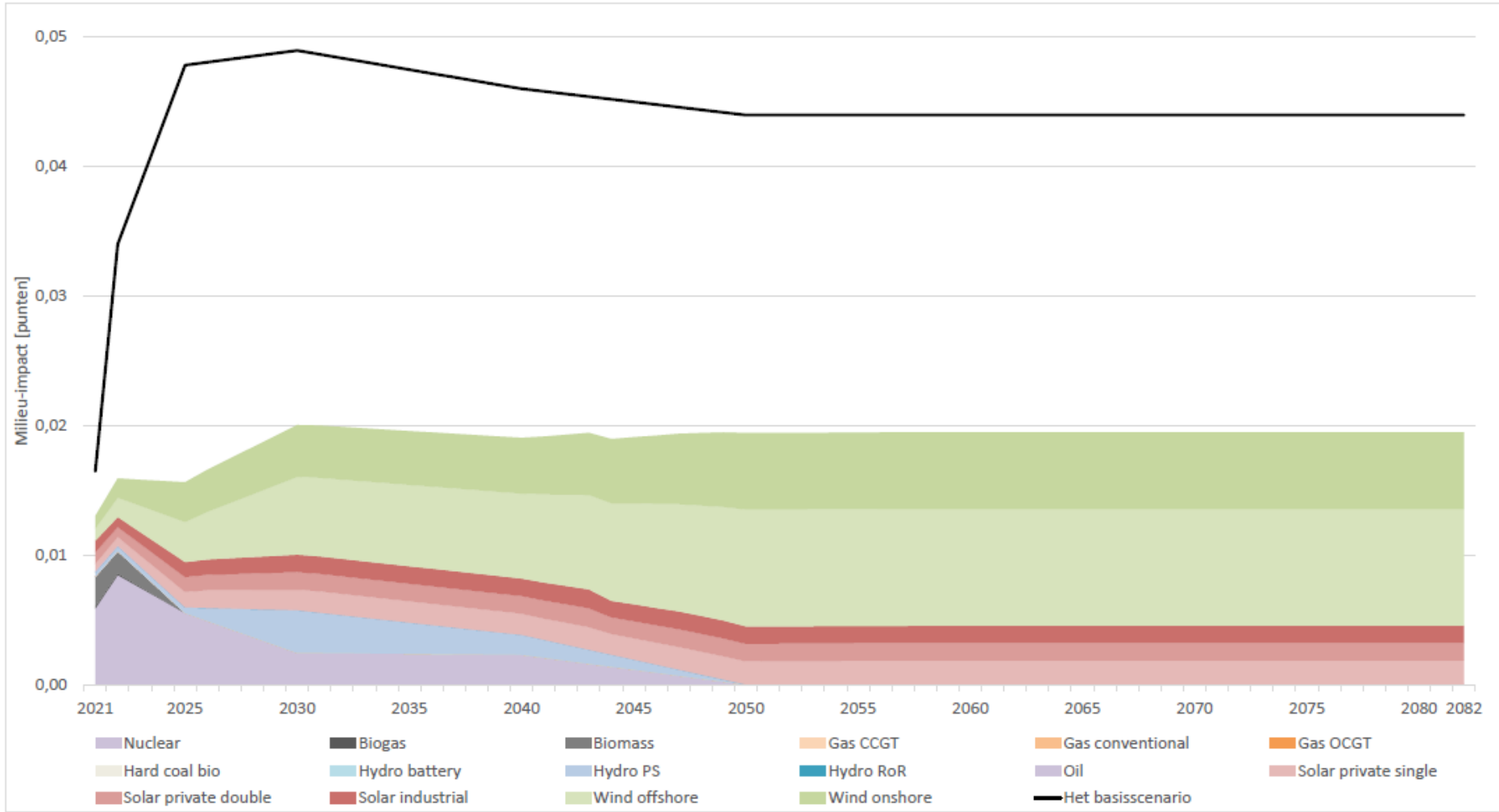


De milieu-impact van
Van zonne-energie in =
de elektriciteitsmix



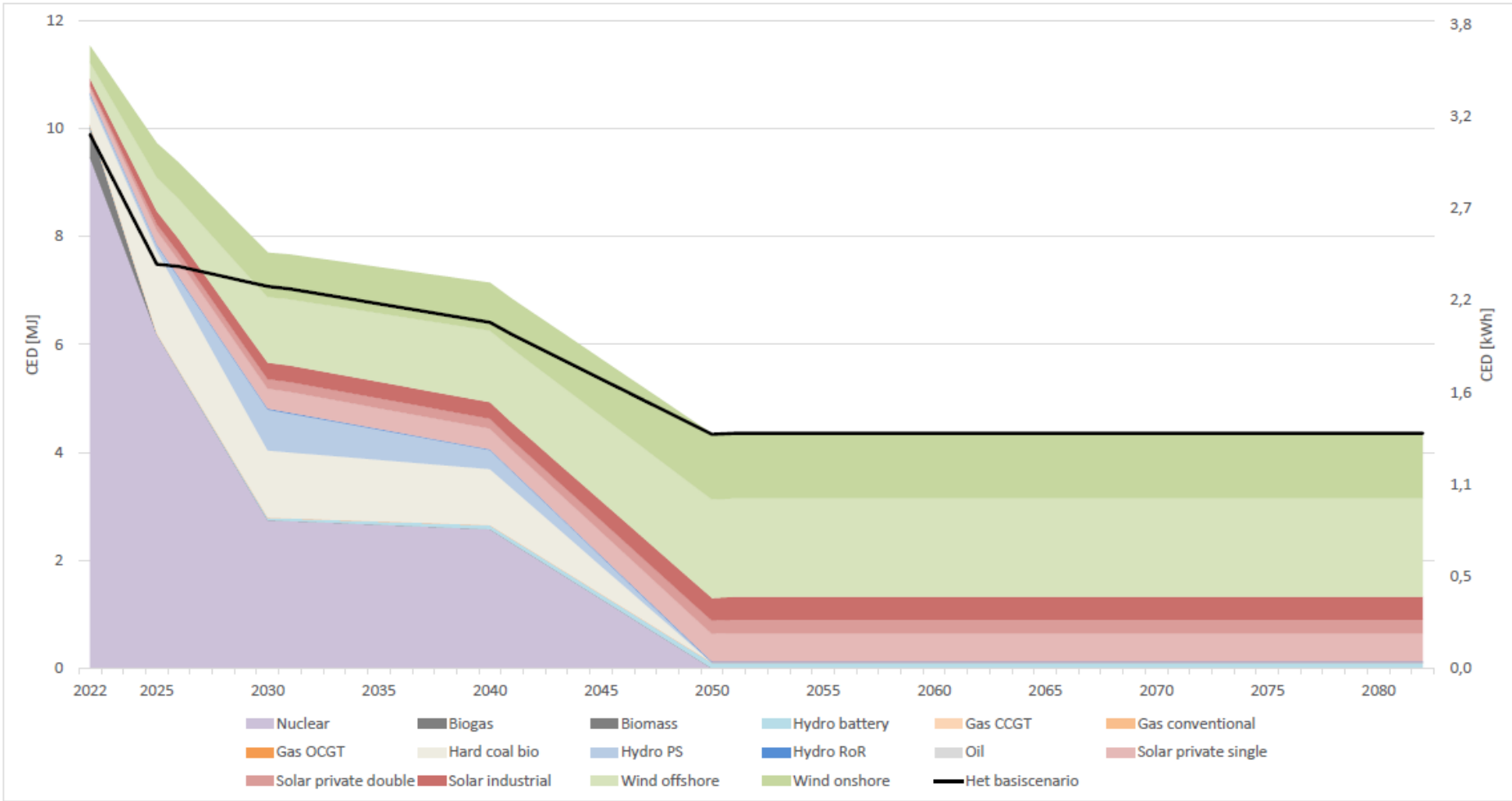
Grafiek G5: De formule van de milieu-impact van zonne-energie in de elektriciteitsmix voor het industrieel zonnepark als opwekkingsstelsel

De milieu-impact van het extreem kernscenario



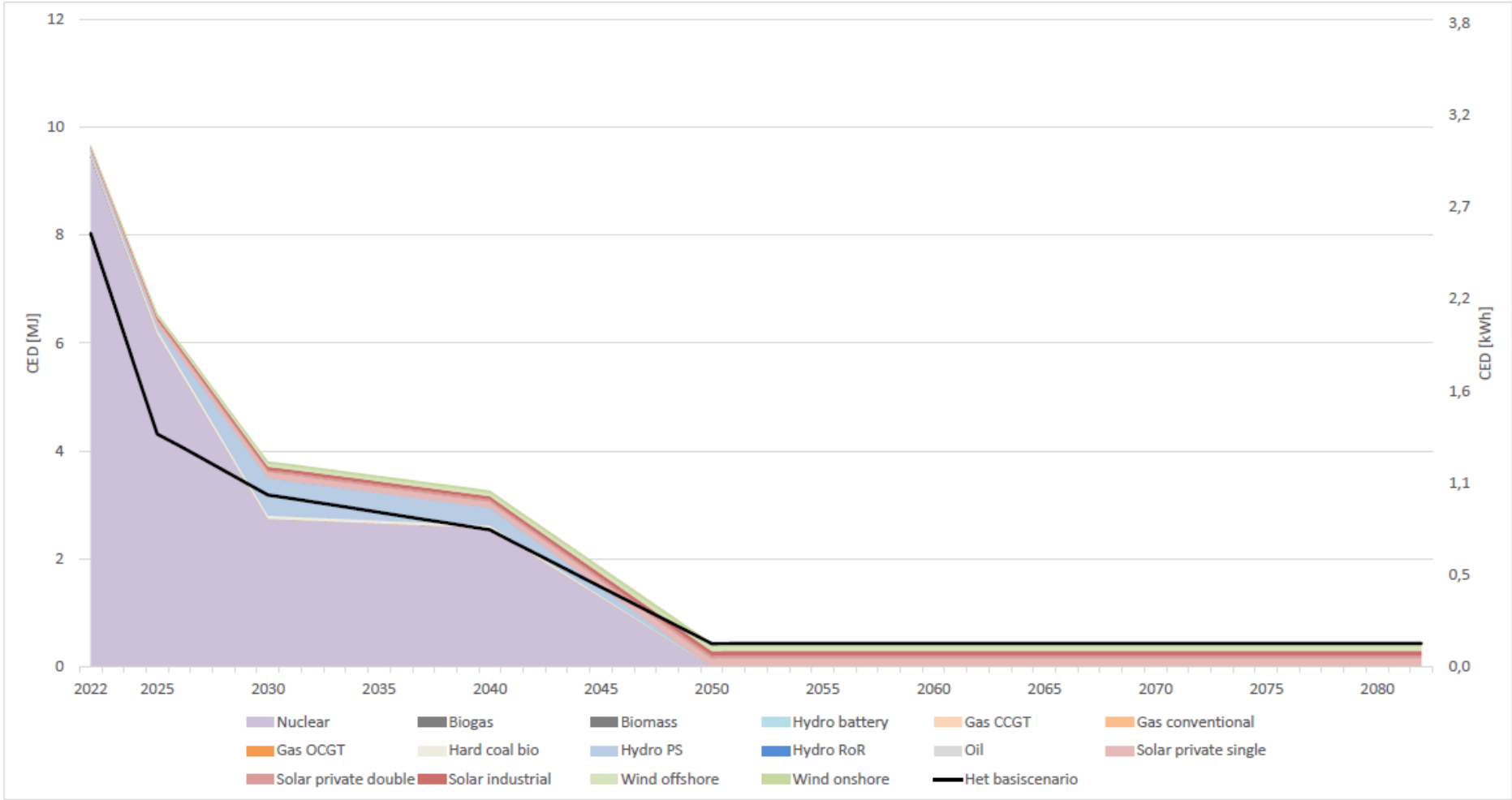
Grafiek G6: De milieu-impact van het extreem kernscenario van 2022 tot 2082

De primaire energie van het extreem kernscenario



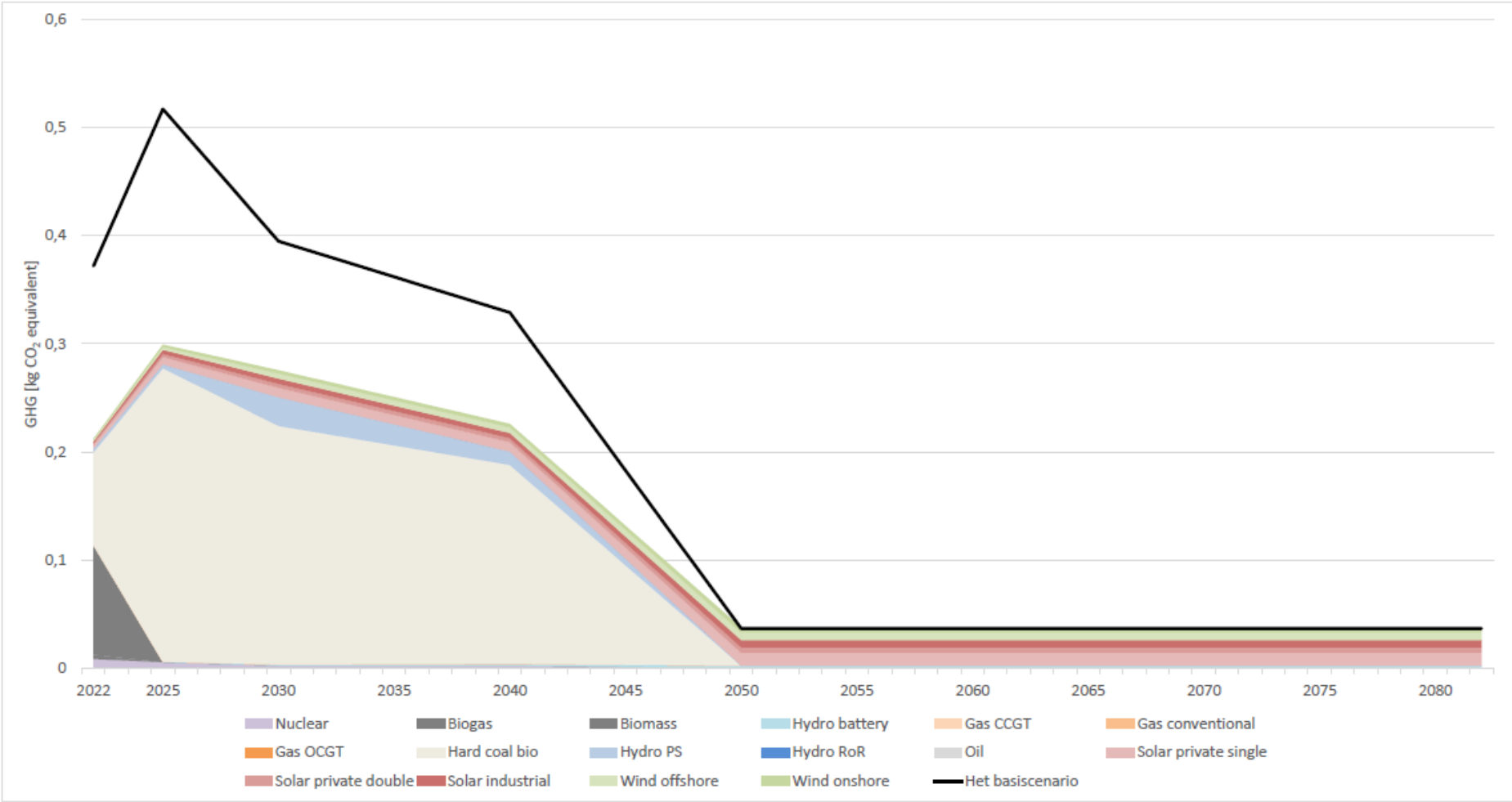
Grafiek G7: De primaire energie van het extreem kernscenario van 2022 tot 2082

De niet-hernieuwbare energiebron als indicator van de primaire energie van het extreem kernscenario



Grafiek G8: De niet-hernieuwbare energiebron als indicator van de primaire energie van het extreem kernscenario van 2022 tot 2082

De CO₂-intensiteitsfactor van het extreem kernscenario



Grafiek G9: De CO₂-intensiteitsfactor van het extreem kernscenario van 2022 tot 2082

De dynamische levenscyclusanalyse: de impact van de energiemix

Ulrike Roose

Studentennummer: 01708496

Promotoren: prof. dr. ir. arch. Marijke Steeman, dr. ir. arch. Eline Himpe
Begeleiders: ir.-arch. Stijn Van de Putte, ir.-arch. Yanaika Decorte

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

Academiejaar 2021-2022