

14 juni 2018

## BACHELORTHESIS

SUDEVO AUTOMATISEERT DUURZAAM ONTWERPEN

# SUDEVO



## COLOFON

|                              |                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Titel:</b>                | SUDEVO AUTOMATISEERT DUURZAAM ONTWERPEN                                                                                                                                           |
| <b>Subtitel:</b>             | Een tool die de CO <sub>2</sub> -uitstoot van een constructie gedurende de ontwerpfase inzichtelijk maakt.                                                                        |
| <b>Type:</b>                 | Bachelorthesis                                                                                                                                                                    |
| <b>Status:</b>               | Definitief                                                                                                                                                                        |
| <b>Versie:</b>               | 1.0                                                                                                                                                                               |
| <b>Datum:</b>                | 14 juni 2018                                                                                                                                                                      |
| <b>Onderwijsinstelling:</b>  | Avans Hogeschool te 's-Hertogenbosch/Tilburg                                                                                                                                      |
| <b>Opleiding:</b>            | Civiele Techniek – Constructief Ontwerp/Technisch Bedrijfskunde                                                                                                                   |
| <b>Afstudeeratelier:</b>     | Constructief Ontwerpen en Materialen CT                                                                                                                                           |
| <b>Afstudeerdocenten:</b>    | Jaap van Veldhoven (eerste)<br>Michael van Nielen (tweede)                                                                                                                        |
| <b>Afstudeerbedrijf:</b>     | Wagemaker te Rosmalen                                                                                                                                                             |
| <b>Afstudeerbegeleiders:</b> | Johan de Groot (JDG)<br>Maarten van der Linden (MVL)                                                                                                                              |
| <b>Afstudeerteam:</b>        | Dirk Broers (DBR)<br>2082696<br>+31 (0) 6 23 62 09 88<br><i>dirkbroers@outlook.com</i><br><br>Sven van Es (SES)<br>2094988<br>+31 (0) 6 52 28 52 22<br><i>s.vanes@outlook.com</i> |

## VOORWOORD

Het afgelopen half jaar van onze studie hebben in het teken gestaan van ons afstudeeronderzoek voor de studie Civiele Techniek. Voor u ligt onze Bachelor Thesis 'SuDevo automatiseert duurzaam ontwerpen', het resultaat van half jaar bloed, zweet en C#. Dit resultaat zou niet mogelijk zijn geweest zonder de hulp van onze begeleiders, collega's bij Wagemaker, familie en vrienden, die allemaal op hun eigen manier een bijdrage hebben geleverd aan dit onderzoek.

In het bijzonder willen wij, Dirk Broers en Sven van Es, Wagemaker bedanken voor het beschikbaar stellen van dit onderwerp en daarbij ook de tijd en middelen. Wij hebben gedurende deze periode enorm veel geleerd. Specifiek willen wij Johan de Groot en Maarten van de Linden bedanken. Johan voor zijn onuitputtende enthousiasme en kritieke blik en Maarten voor zijn uitgebreide kennis en kunde omtrent de software en zijn goede uitleg.

Daarnaast willen wij ook Avans Hogeschool en met name Jaap van Veldhoven bedanken voor de begeleiding die wij de afgelopen periode hebben ontvangen om uiteindelijk een goede scriptie in te kunnen leveren. Zijn frisse en open blik hebben uiteindelijk geleid tot een beter eindresultaat. Michael van Nielen willen wij bedanken voor de ondersteuning en feedback op het onderzoek.

*"We are the first generation to feel the impact of climate change, and the last generation that can do something about it."*

U.S. President Barack Obama – The Week – September 23, 2014

Wij sluiten ons aan bij deze uitspraak van Barack Obama, omdat wij zelf ook inzien dat klimaatverandering een probleem is in de huidige samenleving. Daarnaast heeft Rijkswaterstaat als doel in 2030 energieneutraal te zijn. Dit houdt in: evenveel energie opwekken als verbruiken, volledig duurzaam. Daarnaast verlagen we onze CO<sub>2</sub>-uitstoot, tot uiteindelijk nul (Rijkswaterstaat, s.d.). Dit doel behalen kan Rijkswaterstaat niet alleen en daar is inbreng vanuit de branche voor nodig. Door dit onderzoek en de tool die ontwikkeld is, hopen wij bij te dragen aan bovenstaande doelstellingen.

### SuDevo

SuDevo is de naam van de tool die ontwikkeld is voor Wagemaker gedurende dit afstudeeronderzoek. SuDevo staat voor Sustainable Development en heeft daarnaast ook een relatie met de beginletters van de voornamen van de ontwikkelaars, oftewel Sven van Es en Dirk Broers.

SuDevo is een Add-In voor Revit en dit betekent dat SuDevo extra functionaliteiten toevoegt aan de standaard Revit software. In dit geval is deze extra functionaliteit het inzichtelijk maken van de Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-uitstoot van de constructiematerialen in het model.

Mochten er nog vragen zijn of interesse in de tool, deins niet terug om contact met ons op te nemen.

Veel leesplezier,

D.D.K. Broers & S.A.M. van Es

's-Hertogenbosch, 14 juni 2018

## SAMENVATTING

De rijksoverheid stimuleert maatschappelijk verantwoord ondernemen (MVO) al een paar jaar. Steeds meer organisaties in de GWW-sector zien de noodzaak en voordelen van MVO in. SuDevo kan hieraan bijdragen door de inzichtelijkheid van de Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-uitstoot van constructiematerialen tijdens de ontwerpfase te vergroten.

### Doelstelling

Het doel van het afstudeeronderzoek is het inzichtelijk maken van de Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-uitstoot van constructiematerialen tijdens de ontwerpfase. Dit wordt op twee manieren bereikt, enerzijds door automatisering van een berekening met een tool, anderzijds door kennis te verrijken met dit onderzoek. In het onderzoek is met behulp van een literatuurstudie, interne dialogen en een marktonderzoek een tool ontwikkeld genaamd 'SuDevo'. Gebruikers kunnen met behulp van deze tool een Revit model met één druk op de knop analyseren. SuDevo weergeeft dan geautomatiseerd de totale Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-uitstoot van alle materialen in het model.

### SuDevo Development Pipeline

Voor de ontwikkeling van de tool is tijdens het vooronderzoek een flowchart, genaamd 'SuDevo Development Pipeline' ontwikkeld. Deze flowchart weergeeft het gehele proces dat is doorlopen tijdens het schrijven van deze scriptie. De flowchart heeft vooral bijgedragen bij het duidelijk in beeld brengen van het doel, de scope en de afbakening van het onderzoek.

### Uitgangspunten

Vanuit een literatuuronderzoek en interne dialogen is een kader opgesteld waarin SuDevo is ontwikkeld. SuDevo is geschreven in C# met behulp van Visual Studio. SuDevo analyseert daarbij Revit modellen. De materialen die berekend worden zijn de materialen die Wagemaker heeft opgenomen in haar Revit Template en die gebruikt bij het modelleren. De berekening die SuDevo uitvoert is op basis van de 'Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken' uitgevoerd. Deze is gebaseerd op de NEN-EN 15804:2012 + Amendement A1 (2013). Bij de berekening van de CO<sub>2</sub>-uitstoot wordt gebruik gemaakt van de carbonfactor uit de SuDevo Database. Deze carbonfactor is gebaseerd op de klimaatverandering (CO<sub>2</sub>-eq) milieu-effectscore uit de Nationale Milieudatabase.

Vanuit het marktonderzoek is er feedback gegeven op SuDevo waarmee input is gegeven aan de aanbevelingen voor de verdere ontwikkeling van SuDevo.

### Ontwikkeling SuDevo

Tijdens de ontwikkeling van SuDevo zijn vier fases doorlopen, namelijk Concept, Whitebox, Greybox en Blackbox. In de Concept fase is het concept van de tool opgesteld. Hierin zijn de functionaliteiten, conceptweergave en werking van de tool omschreven. In de Whitebox fase is SuDevo geprogrammeerd en zijn de verschillende onderdelen van de code toegelicht. In de Greybox fase is SuDevo uitvoerig getest en zijn de weergegeven resultaten gecontroleerd met behulp van handberekeningen en de schedule in Revit. In de Blackbox fase zijn nog de laatste opmerking doorgevoerd en is de tool voltooid.

## SuDevo

---

SuDevo staat voor Sustainable Development en heeft daarnaast ook een relatie met de beginletters van de voornamen van de ontwikkelaars, oftewel Sven van Es en Dirk Broers. SuDevo is een Add-In voor Revit en dit betekent dat SuDevo extra functionaliteiten toevoegt aan de standaard Revit software. In dit geval is deze extra functionaliteit het inzichtelijk maken van de Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-uitstoot van de constructiematerialen in het model.

## Aanbevelingen

---

Om SuDevo verder door te ontwikkelen zijn er diverse aanbevelingen geschreven. Deze aanbevelingen zijn gebaseerd op ideeën die voortgekomen zijn vanuit eigen kennis en ervaringen, ideeën vanuit Sven en Dirk die voortkomen uit interviews en ideeën van geïnterviewden. Om de aanbevelingen op een systematische manier weer te geven zijn deze onderverdeeld in vier categorieën, namelijk prioritaire aanbevelingen en aanbevelingen met een korte, middellange en lange ontwikkeltijd. Voor deze samenvatting worden enkel de prioritaire aanbevelingen benoemd, omdat deze de eerste stappen aangeven richting de verdere ontwikkeling van SuDevo. Tot deze prioritaire aanbevelingen behoren:

- + SuDevo zou ook IFC-bestanden moeten kunnen analyseren.
- + De SuDevo Database omzetten naar een MySQL database.
- + Wagemaker zou zelf ook advies moeten aanbieden op het gebied van duurzaamheid en DuboCalc.
- + Op het moment dat de gebruiker een materiaal selecteert in SuDevo, zou de bijbehorende elementen in Revit moeten oplichten.
- + SuDevo zou een exportfunctie moeten hebben naar pdf en Excel.

## SUMMARY

The national government (rijksoverheid) has been promoting sustainable business development (maatschappelijk verantwoord ondernemen MVO) for a couple of years. More and more organizations in the civil engineering sector see the necessity and benefits of MVO. SuDevo can contribute to this by increasing the knowledge of Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-emissions of construction materials during the design phase.

### Research Goal

---

The goal of this bachelor research is to provide insight into the Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-emissions of construction materials during the design phase. This is achieved in two ways, on one hand by automatization of a calculation with a tool, on the other hand by enrichment of knowledge with this research. In the research, a tool called 'SuDevo' was developed with the help of a literature study, internal dialogues and market research. Users can use this tool to analyse a Revit model with a push on the button. SuDevo then automatically displays the total Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-emissions of all materials in the model.

### SuDevo Development Pipeline

---

For the development of the tool, a flowchart called 'SuDevo Development Pipeline' was developed during the setup of the plan for this research. This flow chart represents the entire process that was followed during the writing of this thesis. The flowchart has mainly contributed to clarifying the goal, the scope and the boundaries of the research in detail.

### Assumptions of the research

---

Based on a literature study and the internal dialogues, a framework has been developed in which SuDevo has been developed. SuDevo is written in C# using Visual Studio. SuDevo analyses Revit models. The materials that are calculated are the materials that Wagemaker has included in its Revit Template and that are used in while modelling a project. The calculation that SuDevo performs is based on the 'Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken'. This is based on NEN-EN 15804: 2012 + Amendment A1 (2013). The carbon factor from the SuDevo Database is used to calculate the CO<sub>2</sub>-emissions. This carbon factor is based on the climate change (CO<sub>2</sub>-eq) environmental impact score from the 'Nationale Milieudatabase'.

The market research provided feedback on SuDevo with which input was given to the recommendations for the further development of SuDevo.

### Developing SuDevo

---

During the development of SuDevo, four phases were completed, namely Concept, Whitebox, Greybox and Blackbox. The concept of the tool was drawn up in the Concept phase. This describes SuDevo's functionalities, concept design and operations it performs. In the Whitebox phase, SuDevo was programmed and the various parts of the code were explained. In the Greybox phase, SuDevo was extensively tested and the displayed results were checked using hand calculations and the Schedule in Revit. In the Blackbox phase, the final comments on the tool were fixed and SuDevo was completed.

## SuDevo

---

SuDevo stands for Sustainable Development and also has a relationship with the initials of the forenames of the developers, Sven van Es and Dirk Broers. SuDevo is an Add-In for Revit and this means that SuDevo adds extra functionalities to the standard Revit software. In this case, this extra functionality provides insight into the Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-emissions of the construction materials in the Revit model.

## Recommendations

---

To further develop SuDevo, several recommendations were made. These recommendations are based on ideas that originate from our own knowledge and experiences, ideas from Sven and Dirk that originate from interviews and ideas of the interviewees. In order to present the recommendations in a systematic way, they are divided into four categories, namely priority recommendations and recommendations with a short, medium and long development time. For this summary, only the priority recommendations are named, because these indicate the first steps towards the further development of SuDevo. These priority recommendations include:

-  SuDevo should also be able to analyse IFC files.
-  Convert the SuDevo Database to a MySQL database.
-  Wagemaker should also offer advice on sustainability and DuboCalc.
-  Whenever the user selects a material in SuDevo, the corresponding elements in Revit should light up.
-  SuDevo should have an export function to pdf and Excel.

# INHOUDSOPGAVE

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| Colofon .....                         | 2  |
| Voorwoord .....                       | 3  |
| Samenvatting.....                     | 4  |
| Summary .....                         | 6  |
| Inhoudsopgave .....                   | 8  |
| Figuren- en Tabellenlijst .....       | 10 |
| Begrippenlijst.....                   | 11 |
| 1. Inleiding .....                    | 12 |
| 1.1 Aanleiding.....                   | 12 |
| 1.2 Probleemstelling.....             | 12 |
| 1.3 Doelstelling.....                 | 12 |
| 1.4 Onderzoeksvragen.....             | 13 |
| 1.5 Relevantie .....                  | 14 |
| 1.6 Afbakening.....                   | 16 |
| 1.7 Evaluatie .....                   | 17 |
| 2. Methodiek .....                    | 19 |
| 2.1 Sudevo Development Pipeline ..... | 19 |
| 3. Idea .....                         | 23 |
| 3.1 Instruments .....                 | 23 |
| 3.2 Calculations .....                | 33 |
| 3.3 Materials.....                    | 37 |
| 3.4 Internal .....                    | 39 |
| 4. Concept .....                      | 41 |
| 4.1 Varianten .....                   | 41 |
| 4.2 Concept .....                     | 45 |
| 4.3 Concept Optimalisatie .....       | 47 |
| 5. Market .....                       | 48 |
| 5.1 Organisaties.....                 | 48 |
| 5.2 Interviewresultaten .....         | 49 |
| 6. Program .....                      | 54 |
| 6.1 Whitebox .....                    | 54 |
| 6.2 Greybox .....                     | 56 |



|     |                          |    |
|-----|--------------------------|----|
| 6.3 | Blackbox.....            | 59 |
| 7.  | Conclusie .....          | 61 |
| 7.1 | De onderzoeksvragen..... | 61 |
| 8.  | Aanbevelingen .....      | 65 |
|     | Bibliografie .....       | 69 |
|     | Bijlagenlijst .....      | 75 |

## FIGUREN- EN TABELLENLIJST

### Lijst van figuren:

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figuur 1 Schip uit de Development Pipeline (Cloud Imperium Games, 2018) .....                    | 19 |
| Figuur 2 Instruments .....                                                                       | 23 |
| Figuur 3 Tijdlijn ontwikkelingen .....                                                           | 23 |
| Figuur 4 Madaster (Stichting Madaster Foundation, s.d.-b) .....                                  | 27 |
| Figuur 5 Inlogschermb DuboCalc 5.0 .....                                                         | 29 |
| Figuur 6 Grafische weergave verdeling Projectschermb .....                                       | 29 |
| Figuur 7 Milieuprofiel van de productie van 1 ton wapeningsstaal (Simmons & de Rijk, 2015) ..... | 31 |
| Figuur 8 Calculations .....                                                                      | 33 |
| Figuur 9 Relatie Bepalingsmethode, EPD, NMD en instrumenten .....                                | 34 |
| Figuur 10 Milieuprofiel (A1-3) .....                                                             | 35 |
| Figuur 11 Milieuprofiel (A1-3) C+D .....                                                         | 35 |
| Figuur 12 Revit model handberekening .....                                                       | 36 |
| Figuur 13 Materials .....                                                                        | 37 |
| Figuur 14 Internal .....                                                                         | 39 |
| Figuur 15 Concept .....                                                                          | 41 |
| Figuur 16 Revit Plug-In .....                                                                    | 42 |
| Figuur 17 DuboCalc koppeling .....                                                               | 43 |
| Figuur 18 IFC-bestandsformaat .....                                                              | 44 |
| Figuur 19 Conclusie concept .....                                                                | 45 |
| Figuur 20 Code concept uitwerking .....                                                          | 45 |
| Figuur 21 SuDevo Concept Resultaatweergave .....                                                 | 46 |
| Figuur 22 Concept optimalisatie diagram .....                                                    | 47 |
| Figuur 23 Market .....                                                                           | 48 |
| Figuur 24 Concept optimalisatie diagram .....                                                    | 54 |
| Figuur 25 Greybox .....                                                                          | 56 |
| Figuur 26 SuDevo analyse handberekening model .....                                              | 56 |
| Figuur 27 SuDevo analyse duiker model .....                                                      | 57 |
| Figuur 28 Revit Schedule van duiker model .....                                                  | 58 |
| Figuur 29 Blackbox .....                                                                         | 59 |
| Figuur 30 Weergave Totale CO <sub>2</sub> -uitstoot SuDevo .....                                 | 59 |
| Figuur 31 SuDevo Eindresultaat .....                                                             | 60 |

### Lijst van tabellen:

|                              |    |
|------------------------------|----|
| Tabel 1 Handberekening ..... | 36 |
| Tabel 2 Handberekening ..... | 56 |

## BEGRIPPENLIJST

1. **CO<sub>2</sub>-uitstoot:** De hoeveelheid koolstofdioxide dat onder andere vrijkomt door het produceren van constructiematerialen.
2. **Cradle-to-Gate:** Cradle-to-Gate is een beoordelingsmethode voor een gedeelte van de levensloop van producten. Tot deze beoordelingsmethode behoort de extractie van de grondstoffen tot en met de fabricage van het materiaal/product, oftewel voordat het materiaal/product vervoerd wordt naar de klant/bouwplaats. In deze methode wordt de gebruiks- en vernietigingsfase niet meegenomen (Circular Ecology, s.d.).
3. **DuboCalc:** “DuboCalc is het instrument waarmee kan worden berekend welke duurzaamheidswaarde een ontwerp heeft. Middels deze score kunnen dus verschillende ontwerpen en/of inschrijvingen objectief worden vergeleken.” (Rijkswaterstaat, s.d.-a)
4. **MilieuKostenIndicator (MKI):** “De MKI-waarde geeft de milieubelasting van een civieltechnisch werk aan. Hoe lager de waarde, hoe minder milieubelasting. Ontwerpen die qua materialen flink van elkaar verschillen, verschillen ook qua milieukwaliteit.” (Rijkswaterstaat, s.d.-b)
5. **Schaduwkostenmethode:** “In de schaduwkostenmethode worden de in equivalenten uitgedrukte milieueffecten vermenigvuldigd met monetariserings- of schaduwkostengetallen per milieueffect. Door het optellen van alle schaduwkosten ontstaat een totaal milieukostenplaatje, een gewogen score in één getal.” (Nibe, 2018)

# 1. INLEIDING

Deze inleiding zal bestaan uit een introductie tot het onderwerp. Dit betekent dat er wordt ingegaan op de aanleiding, de probleemstelling en de doelstelling. Vervolgens zal de relevantie omschreven worden. Daarna zullen de onderzoeksvragen aanbod komen gevolgd door de afbakening. Ten slotte zal de inleiding afgerond worden met een evaluatie.

Het gehele onderzoek is op basis van een flowchart uitgevoerd. Deze flowchart heeft het afstudeerproces bepaald en is ook gehanteerd voor de opbouw van deze thesis. Een beschrijving van deze flowchart is gegeven in hoofdstuk 2. Doordat de indeling van deze flowchart ook gehanteerd is voor de opbouw van deze thesis, omvat hoofdstuk 2 ook direct de leeswijzer.

## 1.1 AANLEIDING

De aanleiding voor dit onderzoek ligt bij de vraag vanuit Wagemaker om meer inzicht te krijgen in de CO<sub>2</sub>-uitstoot van een ontwerp. Een ontwerp van Wagemaker wordt hier vrijwel nooit op beoordeeld. Tevens is er geen referentiekader om een constructie in de civiele branche aan te meten. Hierdoor is het idee ontstaan bij Wagemaker om een tool te ontwikkelen waarmee gedurende de ontwerpfase van een project de CO<sub>2</sub>-uitstoot inzichtelijk gemaakt kan worden. Deze tool maakt het mogelijk om al gedurende een vroeg stadium van de ontwerpfase keuzes te maken in relatie tot CO<sub>2</sub>-uitstoot.

## 1.2 PROBLEEMSTELLING

Binnen Wagemaker is het probleem voornamelijk het gebrek aan kennis op het gebied van duurzaamheid, DuboCalc, CO<sub>2</sub>-uitstoot, databases en andere gebieden die hiermee te maken hebben. Daarnaast is het probleem ook gerelateerd aan de impact van CO<sub>2</sub>-uitstoot op het milieu. Onder andere heeft deze impact invloed gehad op de klimaatverandering op aarde (Milieu Centraal, s.d.). Door de klimaatverandering en de oorzaak van dit probleem, oftewel de leefwijze van de mens, is de mens zich steeds meer gaan realiseren dat hun CO<sub>2</sub>-uitstoot gereduceerd moet worden. Om dit mogelijk te maken zijn er echter diverse zaken belangrijk, namelijk inzichtelijkheid en het veranderen van de huidige mentaliteit. Tot op heden is het echter lastig om de CO<sub>2</sub>-uitstoot inzichtelijk te maken door het feit dat er nog te weinig gegevens beschikbaar zijn om de huidige uitstoot in beeld te brengen. Daarnaast vereisen dergelijke berekeningen veel tijd en kennis. Daarbij komt ook de mentaliteit naar voren dat de werkwijze en materialen die tot op heden toegepast zijn en waarvan aangetoond kan worden dat ze werken, al tientallen jaren gebruikt worden. Dit creëert vaak de vraag: "Waarom zou men hier iets aan veranderen of aanpassen (Bedrijven, 2017)?"

## 1.3 DOELSTELLING

Wagemaker wil gedurende de ontwerpfase al inzichtelijk maken wat de effecten zijn van de keuzes tussen verschillende bouwmaterialen in relatie tot de CO<sub>2</sub>-uitstoot. Door het inzichtelijk maken van deze effecten zijn Wagemaker en mogelijk andere partijen in staat om optimalisaties door te voeren op het gebied van CO<sub>2</sub>-reductie. Het doel is een tool te ontwikkelen waarmee gedurende de ontwerpfase van een constructie geautomatiseerd de Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-uitstoot inzichtelijk gemaakt kan worden. Daarbij worden op basis van marktonderzoek aanbevelingen aangehaald voor de verdere ontwikkeling van SuDevo. Daarnaast draagt dit onderzoek ook bij aan de verruiming van de kennis binnen Wagemaker over onder andere duurzaamheid, DuboCalc en databases.

## 1.4 ONDERZOEKSVRAGEN

Bovenstaande probleem- en doelstelling geven invulling aan de hoofd- en deelvragen van dit onderzoek. De vragen zijn bedoeld om het afstudeeronderzoek richting en invulling te geven. In de conclusie worden antwoorden gegeven op zowel de hoofd- als de deelvragen, echter komen de deelvragen in de diverse hoofdstukken al naar voren.

Hoe kan geautomatiseerd de Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-uitstoot van constructiematerialen inzichtelijk gemaakt worden tijdens de ontwerpfase?

### *Deelvraag 1*

Wat is er beschikbaar om de milieu-impact te bepalen?

-  *Subvraag 1*  
Welke ontwikkelingen hebben tot op heden plaatsgevonden binnen de GWW rondom milieu-impact? (hoofdstuk 3.1.1)
-  *Subvraag 2*  
Welke tools zijn momenteel beschikbaar binnen de GWW? (hoofdstuk 3.1.2)
-  *Subvraag 3*  
Kunnen deze tools bijdragen aan de Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-uitstoot? (hoofdstuk 3.1.2)
-  *Subvraag 4*  
Welke milieudatabases zijn er bekend in relatie tot CO<sub>2</sub>-uitstoot? (hoofdstuk 3.1.2.2)
-  *Subvraag 5*  
Welke milieudatabase is geschikt voor onze tool? (hoofdstuk 3.3)
-  *Subvraag 6*  
Aan welke eisen moet de inputdata voldoen? (hoofdstuk 3.2.1)

### *Deelvraag 2*

Hoe wordt de tool ontwikkeld?

-  *Subvraag 1*  
Op welke manier wordt de tool ontwikkeld? (hoofdstuk 2.1)
-  *Subvraag 2*  
Op welke manier wordt de tool getest? (hoofdstuk 3.2.3)

### Deelvraag 3

Wat is er nodig om de CO<sub>2</sub>-berekening te automatiseren?



#### Subvraag 1

Welke standaarden worden gebruikt om CO<sub>2</sub>-uitstoot te berekenen? (hoofdstuk 3.2.1)



#### Subvraag 2

Welke softwarepakketten zijn bruikbaar voor CO<sub>2</sub>-berekeningen? (hoofdstuk 3.4)



#### Subvraag 3

Welk softwarepakket is het meest geschikt in combinatie met het onderzoek? (hoofdstuk 3.4)

### Deelvraag 4

Wat zijn de wensen vanuit de markt in relatie tot de tool?



#### Subvraag 1

Welke organisaties/bedrijven zijn actief bezig met verduurzaming en het inzichtelijk maken van CO<sub>2</sub>-uitstoot? (hoofdstuk 5.1)



#### Subvraag 2

Welke functies moeten verwerkt zijn in de tool? (hoofdstuk 5.2.6)



#### Subvraag 3

Wat is de gewenste resultaatweergave? (hoofdstuk 5.2.5)

## 1.5 RELEVANTIE

Het onderzoek is zeer relevant, omdat het goed aansluit bij de begrippen maatschappelijk verantwoord ondernemen (MVO), LEAN en BIM. De 3 P's, oftewel People, Planet en Profit vormen de basis voor MVO (Swink, 2014). Daarnaast sluit het onderzoek ook goed aan bij de maatschappelijke ontwikkelingen die nu in de branche spelen.

Tevens is de voornaamste beweegreden van deze vraagstelling ontstaan doordat de overheid sinds een aantal jaren pusht op het zo duurzaam mogelijk uitvoeren van projecten, waarbij CO<sub>2</sub>-reductie een van de belangrijkste factoren is (Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden & Ondernemen (SKAO), 2017).

Door bovenstaande zijn vrijwel alle, dan wel niet alle bedrijven binnen de Civiele Techniek of die er op een of andere manier iets mee te maken hebben, bezig om CO<sub>2</sub>-uitstoot te reduceren en het meer inzichtelijk maken van CO<sub>2</sub>-uitstoot (Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden & Ondernemen (SKAO), 2017). SuDevo zorgt er dus voor dat de gebruiker zich op meer aspecten dan de laagste prijs kan profileren en in de tenderfase eenvoudiger keuzes gemaakt kunnen worden op het gebied van duurzaamheid. Dit maakt het mogelijk om projecten minder milieubelastend te maken.

De Rijksoverheid is al sinds 2010 verplicht 100% duurzaam in te kopen. Om invulling aan deze eis te geven is door Rijkswaterstaat onder andere de software DuboCalc ontwikkeld. Deze software maakt het mogelijk om constructies op milieugebied te toetsen met behulp van LCA-gegevens. De berekeningen die hierbij gebruikt worden zijn gebaseerd op de Europese normen NEN-EN 15804:2012 en NEN-EN 15978:2012.

DuboCalc maakt daarnaast ook gebruik van de Nationale Milieudatabase en de schaduwkostenmethode. Met deze gegevens rekent DuboCalc de milieueffecten om tot de zogenoemde MilieuKostenIndicator (MKI). Door middel van deze waarde kunnen verschillende ontwerpen objectief met elkaar vergeleken worden (Nibe, s.d.). De MKI-waarde is opgebouwd uit verschillende impactcategorieën, waaronder klimaatverandering (CO<sub>2</sub>-eq), oftewel CO<sub>2</sub>-uitstoot. De totale MKI-waarde in DuboCalc hangt af van diverse parameters, deze moeten met de hand ingevuld worden. Het invullen van deze parameters kost echter veel tijd en vereist kennis van het programma. SuDevo zal er uiteindelijk voor zorgen dat gegevens die voortkomen uit een model automatisch verwerkt worden tot een resultaat, oftewel de CO<sub>2</sub>-uitstoot. Hierdoor kan eenvoudiger en sneller de CO<sub>2</sub>-uitstoot van een project/model bepaald, oftewel inzichtelijk gemaakt worden.

### 1.5.1 Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen

---

Met SuDevo wordt naast bovenstaande punten op diverse manieren bijgedragen aan maatschappelijk verantwoord ondernemen en dus People, Planet en Profit. De invloed die SuDevo heeft op deze drie begrippen kan op de volgende manieren omschreven worden:

**People: Automatisering, efficiëntie en het vergroten van het bewustzijn.**

Door automatisering en dus een efficiëntere werkwijze zijn werknemers minder lang bezig met het berekenen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van een project. Hierdoor is de druk op dit gebied lager en is het mogelijk om sneller projecten en aanpassingen op duurzaamheid te beoordelen. Daarnaast maakt SuDevo het ook mogelijk voor bedrijven om op een betere manier richting de buitenwereld aantoonbaar te maken dat zij aan duurzaamheid werkt binnen een project. Daarbij wordt ook het bewustzijn van de tekenaars en modelleurs vergroot, doordat zij kunnen zien welke invloed bepaalde materialen hebben op het milieu. Door dit bewustzijn zullen ook zij eerder nadenken over het toepassen van andere materialen, waarvan bewezen kan worden dat deze beter zijn voor het milieu.

**Planet: SuDevo maakt het mogelijk om CO<sub>2</sub>-uitstoot te managen, te reduceren en inzichtelijk te vergroten.**

Door SuDevo kan CO<sub>2</sub>-uitstoot gemanaged worden en kunnen er onderbouwde keuzes gemaakt worden om bepaalde materialen toe te passen in een project. Deze keuzes kunnen onder andere gemaakt worden op basis van de hoeveelheid CO<sub>2</sub>-reductie die het nieuwe materiaal met zich meebrengt. Net als bij People is het vergroten van het bewustzijn ook hier een belangrijke factor, omdat door het vergroten van het bewustzijn werknemers in zowel de zakelijke als hun persoonlijke situatie onderbouwde keuzes kunnen maken om juist voor een duurzaam product te kiezen. Deze keuzes zullen dus uiteindelijk leiden tot een verduurzaming van de wereld.

**Profit: EMVI-korting, gunning van projecten en besparing op milieukosten.**

Doordat SuDevo CO<sub>2</sub>-uitstoot inzichtelijk maakt is het mogelijk om op het gebied van duurzaamheid jezelf als bedrijf meer te onderscheiden tegenover concurrenten. Dit resulteert in hogere EMVI-kortingen en vergroot de kans op het winnen van een aanbesteding. Daarnaast kan door SuDevo ook eenvoudiger de milieukosten van een project in kaart gebracht worden. Keuzes in relatie tot reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot zullen resulteren in lagere milieukosten. Dit alles levert uiteindelijk winst op voor de gehele samenleving en niet alleen als economische winst, maar ook als maatschappelijke winst. De maatschappelijke winst is namelijk een verbetering van het milieu en een gezondere leefomgeving voor mens en dier.

### 1.5.2 LEAN

Binnen het begrip LEAN zal SuDevo bijdragen aan de automatisering van de bestaande methoden. Dit zal dus resulteren in een efficiëntere, snellere en betere werkwijze. Momenteel worden er veel handelingen verricht om uiteindelijk tot het gewenste resultaat te komen. Het softwarepakket (deze pakketten kunnen onder andere DuboCalc of een LCA-programma, zoals SimaPro of GaBi zijn) dat de organisatie gebruikt bepaald het aantal handelingen dat benodigd is, echter maakt SuDevo grote/de eerste stappen om veel van deze handelingen te vervangen door een geautomatiseerd proces.

### 1.5.3 BIM

In de huidige branche wordt BIM (Bouw Informatie Mode) steeds belangrijk en ook steeds meer toegepast. In deze modellen moet zoveel mogelijk informatie opgeslagen worden over het project en het koppelen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot is een goede aanvulling. Door het koppelen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot wordt de informatie welke in het model geïntegreerd is steeds uitgebreider en kan de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van een project ook inzichtelijker gemaakt worden.

## 1.6 AFBAKENING

In deze paragraaf wordt toegelicht wat wel en niet binnen de scope van dit onderzoek zal behoren. Om te voorkomen dat de afstudeerperiode wordt overschreden is er een afbakening opgesteld. Tot de scope behoort:

1. Het onderzoek zal worden uitgevoerd op basis van de Nederlandse normen en eisen voor zover deze van toepassing zijn op de berekeningen. De uitkomsten zullen hierdoor enkel toepassing hebben op Nederlandse constructies;
2. Het onderzoek zal zich enkel richten op droge infra kunstwerken;
3. Het onderzoek zal zich richten op de Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-uitstoot van de constructiematerialen;
4. Het transporteren van de constructiematerialen vanaf de productie- tot aan de projectlocatie wordt niet meegenomen in het onderzoek;
5. De uitvoeringsmethode en het materieelgebruik heeft geen invloed op de CO<sub>2</sub>-uitstoot die berekend wordt met de tool;
6. Het resultaat zal enkel de totale Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-uitstoot weergeven;
7. Het onderzoek richt zich enkel op CO<sub>2</sub>-uitstoot en niet op de uitstoot van andere broeikasgassen;
8. Het onderzoek is alleen gericht op het inzichtelijk maken van CO<sub>2</sub>-uitstoot en niet op de stappen die daarop volgen, waaronder het reduceren van CO<sub>2</sub>-uitstoot in projecten of het optimaliseren hiervan;
9. Het onderzoek zal zich enkel richten op de tools die in Nederland ontwikkeld zijn, welke gebruik maken van de Nationale Milieudatabase en welke berekeningen uitvoeren op basis van de 'Bepalingsmethode milieuprestatie van gebouwen en GWW-werken';
10. Het onderzoek zal zich enkel richten op databases die in Nederland ontwikkeld zijn;
11. Enkel materialen uit de database van Stichting Bouwkwiteit worden toegepast in de tool;

12. De functies van de tool zijn beperkt tot een selectie van functies volgend uit het marktonderzoek op basis van rangorde;
13. Het onderzoek zal zich richten op de ontwerpfase.

## 1.7 EVALUATIE

In deze paragraaf zal ingegaan worden op de punten die anders gelopen zijn dan in het Plan van Aanpak bedacht is. Deze punten hebben te maken met de deelvragen en de afbakening die in het Plan van Aanpak zijn opgesteld en vastgelegd. Het Plan van Aanpak dat voor deze studie is opgesteld is terug te vinden in bijlage X.

Gedurende het onderzoek is gebleken dat een aantal deelvragen niet specifiek genoeg waren, niet van toepassing waren of later binnen een andere deelvraag beantwoord zouden worden. Het gaat hier dus om de oorspronkelijke deelvragen (zoals aangegeven in het Plan van Aanpak) 1, 2 en 3. Gedurende het vooronderzoek bleek deelvraag 1 niet specifiek genoeg te zijn en om die reden is de deelvraag aangepast, zijn er een drietal subvragen toegevoegd en ook één subvraag specifiek gemaakt. De volgende subvragen zijn aan deelvraag 1 toegevoegd, namelijk:

- + Subvraag 1: Welke ontwikkelingen hebben tot op heden plaatsgevonden binnen de GWW rondom milieu-impact?
- + Subvraag 3: Kunnen deze tools bijdragen aan de Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-uitstoot?
- + Subvraag 5: Welke milieudatabase is geschikt voor onze tool?

Om subvraag 1 van deelvraag 1 uit het Plan van Aanpak specifiek te maken is deze aangepast naar "Welke tools zijn momenteel beschikbaar binnen de GWW?".

De reden dat deze vragen specifiek en aangevuld moesten worden is voortgekomen uit het vooronderzoek. Tijdens het vooronderzoek bleek al snel dat er een aardig aantal tools en informatie hierover te vinden was, maar dat deze voornamelijk bedoeld waren voor de bouwsector. Het afstudeeronderzoek is daarentegen gericht op de GWW-sector en het is dus belangrijk om dit ook op te nemen in de vragen. Daarnaast zijn veel van de beschikbare tools gebaseerd op een keurmerk voor gebouwen of is het principe achter de tool gelijk aan die van DuboCalc, maar zijn ze minder ver ontwikkeld. Daarbij wordt er in de bouwwereld gesproken over schaduw prijzen en in de civiele wereld over MKI-waarden, oftewel de MilieuKostenIndicator. Tevens is er ook voor gekozen om de ontwikkeling over de jaren heen weer te geven, aangezien het voor het verder onderzoek belangrijk is om ook hier kennis over opgedaan te hebben. Om dus gerichter antwoord te kunnen geven zijn de vragen specifiek gemaakt en is de deelvraag aangevuld met een drietal extra subvragen, waarvan subvraag 5 als concluderende subvraag bedoeld is.

Daarnaast heeft er uiteindelijk ook een intern onderzoek plaatsgevonden binnen Wagemaker waar in diverse overleggen gediscussieerd is over de tekenprogramma's, softwarepakketten en programmeertalen die Wagemaker hanteert. Door het op deze manier aanpakken was één subvraag van deelvraag 2 (zoals weergegeven in het Plan van Aanpak) overbodig geworden, namelijk "Welke eisen worden gesteld aan de keuze voor het best toepasbare softwarepakket?". Deze subvraag is dan ook uit de deelvraag verwijderd. Daarnaast behoorde subvraag 6 van deelvraag 1 in het Plan van Aanpak tot deelvraag 2, echter komt deze subvraag in deelvraag 1 beter tot zijn recht. Het gaat hierbij om de subvraag "Aan welke eisen moet de inputdata voldoen?".

Naast bovenstaande aanpassingen aan de deel- en subvragen geheel is deelvraag 3 (zoals opgenomen in het Plan van Aanpak) uit de onderzoeksvragen verwijderd. Deze vraag bleek uiteindelijk minder relevant te zijn dan oorspronkelijk bedacht. Daarbij berekent SuDevo ook van alle onderdelen die in het Revit model gemodelleerd zijn (of dit nu klein of grote materialen zijn) wat de uitstoot van deze materialen is. De deel- en subvragen die verwijderd zijn uit de onderzoeksvragen zijn:

#### *Deelvraag 3*

Welke onderdelen van de constructie worden gebruikt in de tool?

#### *Subvraag 1*

Welke constructiematerialen hebben significante invloed op de CO<sub>2</sub>-uitstoot in relatie tot het Cradle-to-Gate aspect?

#### *Subvraag 2*

Tot welk decompositieniveau van de constructie zal de tool gegevens onttrekken?

Er is ook gekozen om de volgorde van de deelvragen aan te passen, omdat deelvraag 2 (oorspronkelijk in het Plan van Aanpak deelvraag 5) “Hoe wordt de tool ontwikkeld?” de flowchart inhoudt. Deze flowchart is bedacht en opgesteld in het vooronderzoek. Dit betekent dat deze vraag voor deelvraag 3 en 4 geplaatst moet worden, maar na de deelvraag van het vooronderzoek (deelvraag 1).

Ter verdere afbakening is er ook voor gekozen om twee extra afbakeningspunten toe te voegen, namelijk nummer 9 en nummer 10. De reden hiervoor is dat binnen het afstudeeronderzoek enkel onderzoek gedaan zal worden naar tools die in Nederland ontwikkeld zijn, gebruik maken van de Nationale Milieudatabase en berekeningen uitvoeren op basis van ‘Bepalingsmethode milieuprestatie van gebouwen en GWW-werken’. De reden hiervoor is dat de overheid op aanbestedingen voorschrijft dat gewerkt moet worden conform de eisen van Stichting Bouwkwiteit. Dit kan enkel gegarandeerd worden door ook gebruik te maken van tools die in Nederland volgens onze wet- en regelgeving ontwikkeld zijn. Ook wat betreft de databases wordt enkel gefocust op databases die in Nederland ontwikkeld zijn, aangezien de gegevens die in deze databases te vinden zijn ook verwerkt zijn conform de eisen van de SBK.

## 2. METHODIEK

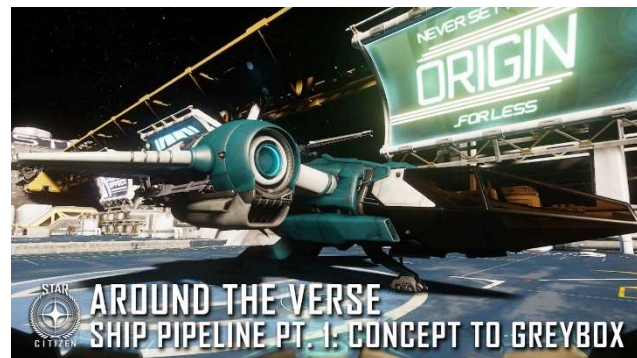
De methodiek omschrijft de manier van onderzoeken die is gebruikt tijdens dit onderzoek. De procedures en werkwijze tijdens het onderzoek worden hieronder beschreven. Eerst zal er aan de hand van een flowchart (stroomdiagram) een schematische voorstelling van het proces worden weergegeven van het afstuderen. Daarna zal in het kort worden beschreven waarom er voor deze methodiek is gekozen en zullen alle onderdelen worden toegelicht.

### 2.1 SUDEVO DEVELOPMENT PIPELINE

Tijdens het opstellen van het plan van aanpak en het vooronderzoek is er veel tijd besteed om het proces van het onderzoek uit te werken. Als het proces al vroeg duidelijk in het onderzoek wordt bepaald zorgt dit voor een goedlopend proces van het onderzoek. Hoe verder het proces is uitgewerkt hoe duidelijker het eindresultaat van het onderzoek wordt. Daardoor is de scope van het onderzoek ook beter te omschrijven.

Doordat een groot deel van onderzoek bestaat uit het uitwerken en programmeren van een tool moest er een gepaste methodiek gebruikt worden. Tijdens de brainstormsessies werden al snel overeenkomsten opgemerkt met het ontwerpproces van ruimteschepen in Star Citizen. Star Citizen is een PC game die ontwikkeld wordt door Cloud Imperium Games. Deze studio heeft meerdere locaties in de wereld en hebben daardoor de mogelijkheid 24/7 aan de game te werken. Dit zorgt ervoor dat er verschillende teams werken aan hetzelfde ontwerp van een schip. Om dit proces overzichtelijk te houden en controleerbaar wordt er in deze game gebruik gemaakt van een flowchart 'Star Citizen's ship development pipeline'. Daarnaast wordt het ook gebruikt om de backers (financierders) op de hoogte te houden waar in het ontwikkelproces de verschillende schepen zich bevinden.

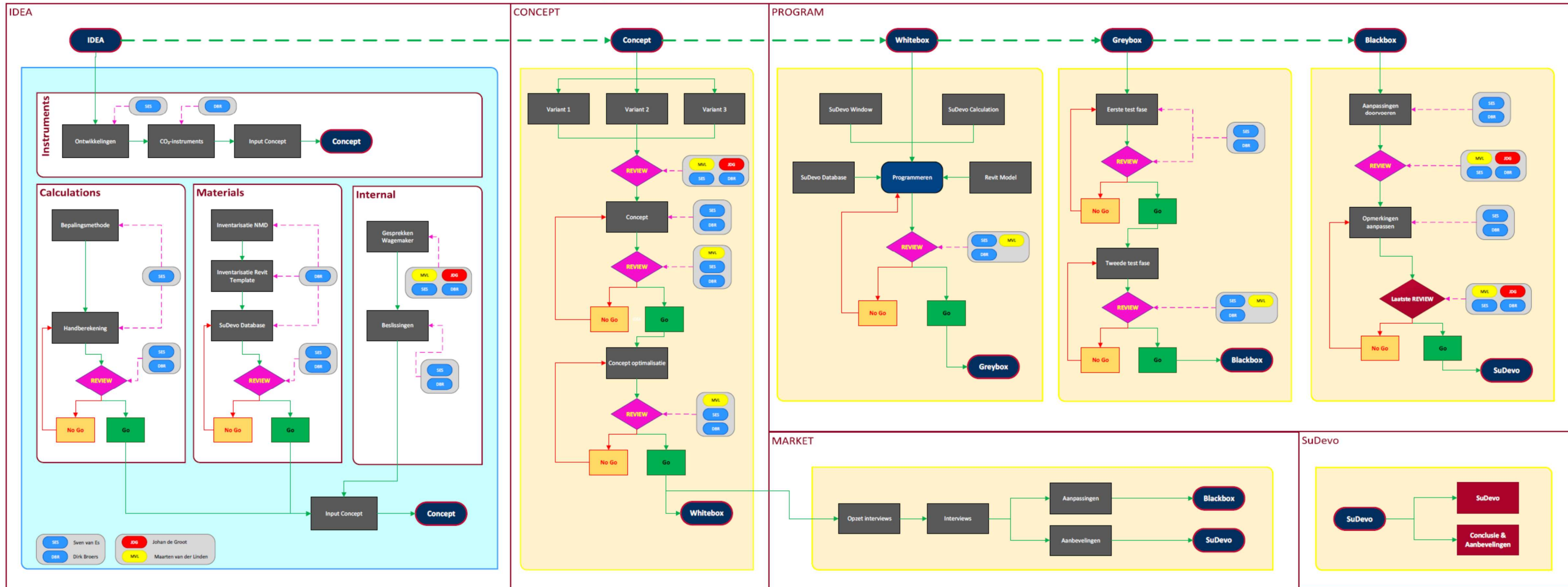
In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van een aangepaste versie van de 'Star Citizen's ship development pipeline'. Toepasselijk bij de naam van de tool wordt deze versie 'SuDevo Development Pipeline' genoemd. In bijlage I is de flowchart te vinden, daarnaast worden er in het rapport verschillende figuren van de flowchart toegevoegd om duidelijk te maken waar in het proces van het onderzoek het stuk betrekking op heeft. In de flowchart zijn naast de verschillende stukken van het rapport ook de personen te vinden die invulling hebben gegeven aan de stukken. Daarnaast zijn er review momenten ingeplant om de stukken te controleren of belangrijke beslissingen te nemen. In de volgende paragrafen zullen de verschillende onderdelen schriftelijk worden toegelicht.



Figuur 1 Schip uit de Development Pipeline (Cloud Imperium Games, 2018)

De 'SuDevo Development Pipeline' is weergegeven op de volgende pagina en is daarnaast ook opgenomen in bijlage I.

June 13, 2018 SuDevo Development Pipeline



### 2.1.1 IDEA

---

In dit onderdeel van de flowchart wordt het vooronderzoek gedaan. Dit onderzoek bestaat uit 4 onderdelen: Instruments, Calculations, Materials en Internal. Samen zorgen ze voor de input die benodigd is voor de varianten van het concept. Daarnaast leveren ze verschillende informatieve stukken die de inzichtelijkheid met betrekking tot duurzaamheid kunnen vergroten. Als laatste zorgen ze voor gegevens die benodigd zijn om de tool te laten functioneren.

#### **Instruments**

In het vooronderzoek wordt er eerst onderzoek gedaan naar verschillende duurzaamheid instrumenten in Nederland. Deze instrumenten bedragen alle instrumenten die er tot nu toe de markt zijn geweest en waarover informatie is vrijgegeven. De instrumenten bestaan uit tools die berekeningen uitvoeren en databases die daarbij gebruikt worden. Het zorgt ervoor dat SuDevo kan inspelen op gaten in de markt en geen overbodige tool kan worden. Deze stukken worden gezamenlijk nagekeken door Dirk en Sven.

#### **Calculations**

In dit onderdeel van het vooronderzoek wordt er eerst gekeken naar de ontwikkelingen die er zijn gemaakt laatste tientallen jaren met betrekking tot duurzaamheid. Daarna wordt de bepalingsmethode doorgespit die wordt gebruikt in Nederland om de CO<sub>2</sub>-uitstoot van constructiematerialen te berekenen. Als laatste wordt de handberekening opgesteld waarmee de tool gecontroleerd kan worden op de uitvoering van de CO<sub>2</sub> berekening. Deze wordt

#### **Materials**

Om SuDevo een CO<sub>2</sub> berekening te laten uitvoeren, heeft de tool gegevens nodig. Deze gegevens zijn te vinden in de Nationale Milieu Database (NMD). Daarnaast hanteert Wagemaker een template in Revit waarin materialen zijn opgenomen. Om te zorgen voor een goede koppeling tussen de NMD en de materialen in template moeten alle twee de onderdelen grondig worden geanalyseerd. Daarna kan er een eigen database worden opgesteld waarvan SuDevo gebruik kan maken. Deze stukken worden gezamenlijk nagekeken door Dirk en Sven.

#### **Internal**

Hier wordt het interne onderzoek binnen Wagemaker beschreven. Tijdens het vooronderzoek worden er verschillende gesprekken gevoerd binnen Wagemaker om beslissingen te nemen die invloed hebben op het concept en het programmeren van de tool.

### 2.1.2 CONCEPT

---

In dit onderdeel van het onderzoek wordt het concept van de tool bedacht. Dit concept is een beschrijving van de werking van de tool. Wat de mogelijkheden en functionaliteiten van de tool zijn. Daarnaast wordt een conceptweergave van de tool gegeven.

Eerst wordt er met behulp van de input van de Idea fase 3 varianten opgesteld. Deze worden gezamenlijk gereviewd met de begeleiders. Hieruit volgt het eerste concept wat samen met werknemers binnen Wagemaker zal worden bekeken om meer toepasselijk te maken op programmeertaal. Met deze input wordt het concept zo omschreven dat de beschrijving nog alleen nog maar hoeft worden uitgevoerd in programmeertaal. Dit concept wordt nog een keer bekeken met werknemers binnen Wagemaker om daarna te beginnen met het programmeren van de tool.

### 2.1.3 PROGRAM

---

Tijdens dit onderdeel is SuDevo volledig geprogrammeerd. De tool doorgaat hierbij de fases: Whitebox, Greybox en Blackbox. Pas als de tool al deze fases heeft doorlopen is de tool klaar voor gebruik.

#### **Whitebox**

In deze fase wordt de tool SuDevo geprogrammeerd. In dit onderzoek wordt de code van de tool niet meegenomen maar is de werkwijze van de tool wel belangrijk, met die reden wordt in de Whitebox de verschillende onderdelen die de tool uitvoert schriftelijk toegelicht. De code wordt meerdere keren doorsproken met werknemers binnen Wagemaker totdat de tool de functies kan uitvoeren die in het concept zijn omschreven.

#### **Greybox**

Daarna zal de tool in Greybox fase grondig getest worden met verschillende ontwerpen. In de eerste testfase wordt de het resultaat vergeleken met de handberekening. Daarna in tweede testfase worden er modellen getest waarin meer materialen worden gebruikt, deze worden gecontroleerd aan de hand van een schedule in Revit zelf. Deze fases worden elke keer gereviewd totdat de eindresultaten overeenkomen.

#### **Blackbox**

In deze laatste fase worden de aanpassingen die uit het marktonderzoek voortkomen en die nog binnen de tijd van het onderzoek passen uitgevoerd. Daarnaast worden opmerkingen vanuit Wagemaker nog aangepast totdat iedereen tevreden is met het resultaat. Op dat moment is de tool klaar voor gebruik.

### 2.1.4 Market

---

Met behulp van het concept worden er meerdere interviews gedaan met verschillende organisaties. Voordat de interviews worden uitgevoerd wordt er een opzet geschreven zodat er tijdens het interview een rode draad gevolgd kan worden. Met deze interviews wordt input gegeven aan de aanbevelingen aan het eind van het onderzoek en mogelijke aanpassingen aan de tool.

### 2.1.5 SuDevo

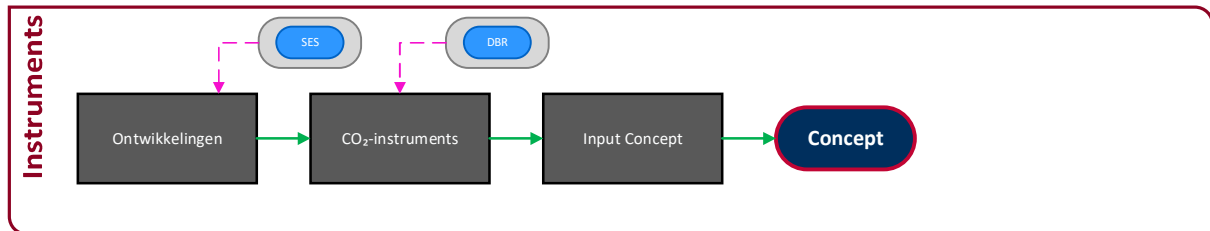
---

In deze fase worden de eindproducten geleverd die bestaan uit de tool SuDevo, de conclusie van het onderzoek en aanbevelingen voor Wagemaker.

## 3. IDEA

De zoektocht naar het antwoord op de hoofdvraag start bij het vooronderzoek. Het vooronderzoek valt bij deze studie onder de Idea fase. Alle onderdelen in dit vooronderzoek leveren input die wordt gebruikt om relevante varianten op te stellen voor het concept van de tool. Daarnaast zorgen ze voor noodzakelijk kennis die benodigd is voor een juist eindresultaat van het onderzoek.

### 3.1 INSTRUMENTS

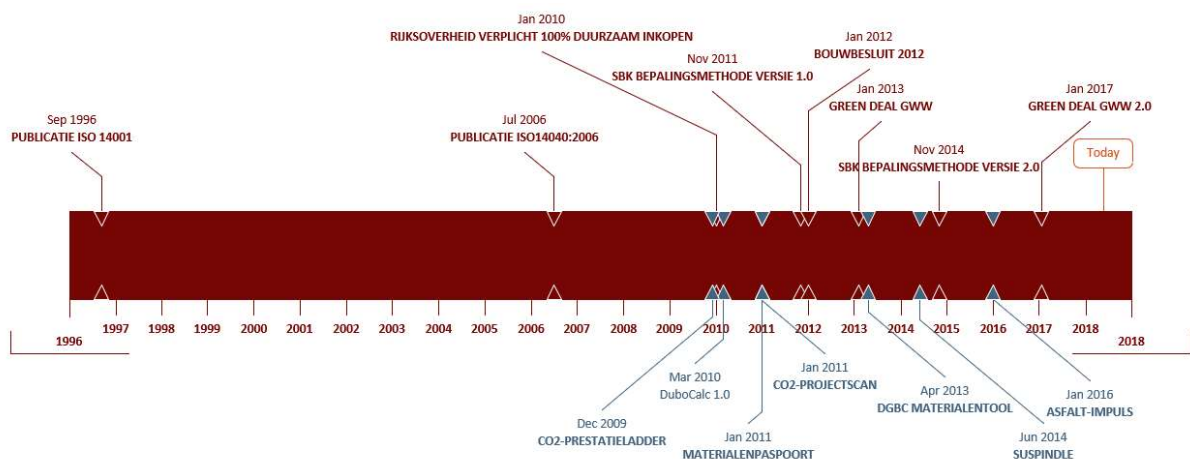


Figuur 2 Instruments

In het volgende onderdeel van de Idea fase worden de ontwikkelingen en instrumenten op het gebied van duurzaamheid toegelicht. Alle onderdelen worden toegelicht met behulp van een tijdlijn om een duidelijk overzicht te geven.

#### 3.1.1 Ontwikkelingen

Voordat er gekeken kan worden naar de huidige methodes moet eerst gekeken worden naar de ontwikkelingen die tot op heden plaatsgevonden hebben over de wereld en binnen de Grond-, Weg- en Waterbouw (GWW) sector rondom de impact op het milieu. Hieronder is een tijdlijn weergegeven waarin deze ontwikkelingen zijn weergegeven. Eerst wordt de oorsprong besproken van de internationale milieuriichtlijnen en dan wordt er een sprong gemaakt naar de norm waarin de beginselen van de bepalingmethode staan. De verschillende methodes die over de jaren zijn verschenen zijn boven de tijdlijn te vinden en de tools met betrekking tot duurzaamheid zijn onder de tijdlijn te vinden. Deze worden toegelicht in het hoofdstuk CO<sub>2</sub>-instruments.



Figuur 3 Tijdlijn ontwikkelingen

---

### 3.1.1.1 ISO 14001

De gevolgen van de impact op het milieu door de mensheid is al tientallen jaren een wereldwijde zorg kwestie. Mensen begonnen zich al zorgen te maken over de status van de aarde in de 20<sup>ste</sup> eeuw. In de jaren 60 kwamen deze milieukwesties steeds meer naar voren in de politiek en werden bekender onder het publiek. Dit leidde tot de eerste grote conferentie van de Verenigde Naties in Stockholm 1972 over internationale milieuproblemen. Dit markeerde ook een keerpunt in de ontwikkeling van internationale milieumanagement, hier werd er een start gemaakt aan het concept van de ISO 14001 standaard. In de volgende jaren ontwikkelden verschillende landen eigen milieustandaarden. De eerste standaard voor milieumanagement werd ontwikkeld door de Britten, de BS 7750. 20 jaar later kwamen de Verenigde Naties weer samen gedurende de "Earth Summit" in Rio De Janeiro in 1992 in Brazilië. De Verenigde Naties besprak hier de impact van bedrijven en organisatie op de wereld met de focus op het verminderen van de schade aan het milieu op aarde. Door de snelle ontwikkeling van individuele milieustandaarden over de hele wereld, constateerde de International Organization for Standardization (ISO) de noodzaak van internationale standaarden voor milieumanagement. Met als basis de BS 7750 werd er 4 jaar later de ISO 14001 standaard gepubliceerd. Deze ISO 14001 uit 1996 bevat een serie van standaarden voor milieumanagement systemen binnen organisaties (JR Consultants, s.d.)

Sindsdien zijn er meerdere iteraties geweest op deze standaard. Om te blijven inspelen op de vraag van de markt, blijft ISO de standaarden beoordelen op de ontwikkelingen van de markt. Zodoende werd er in 2004 een aangepaste versie gepubliceerd van de ISO 14001, ISO 14001:2004. Deze versie bevatten meerdere verbeteringen om de duidelijkheid te verbeteren en de richtlijnen te stroomlijnen (Dutta, History Of ISO 14000, s.d.). In 2015 volgden weer een nieuwe versie van de ISO 14001, deze wordt op dit moment door alle landen gebruikt als richtlijn voor zijn milieumanagement systemen. Deze versie focust zich meer op de verbetering van milieuprestaties dan op verbetering van het managementsysteem zelf. Daarnaast bevat het ook verschillende updates die allemaal bedoeld zijn om het milieumanagement uitgebreider en relevanter te maken voor de gehele productieketen (International Organization for Standardization, 2015).

Een standaard is een document met vereisten over een specifiek item, materiaal, component, systeem of service, of beschrijft in detail een bepaalde methode of procedure. Normen vergemakkelijken de internationale handel door compatibiliteit en interoperabiliteit van componenten, producten en diensten te waarborgen. Ze brengen voordelen voor bedrijven en consumenten met zich mee in termen van kostenreductie, verbetering van de prestaties en verbetering van de veiligheid.

De standaarden worden geschreven door een technische commissie. Deze commissies zijn de drijfveer achter het ontstaan van de standaarden. Elke commissie bestaat uit meerdere leden die geïnteresseerd zijn in het onderwerp waarover ze een standaard gaan schrijven. De leden kunnen experts zijn op dat vakgebied, maar kunnen ook werken bij internationale organisaties, overheid of niet-overheidsorganen die samenhang hebben met het onderwerp. Vaak werken zij vrijwillig aan deze standaarden.

---

### 3.1.1.2 NEN-EN-ISO 14040:2006

Met dezelfde reden dat de ISO vroeger is opgericht, is voor Europa de CEN (Comité Européen de Normalisation) opgericht. Deze standaardiseringsorganisatie is opgericht in 1961 in de Europese Economische Gemeenschap en de Europese Vrijhandels Associatie, in totaal 34 landen. Het CEN is een zelfstandige internationale non-profit onderneming gevestigd in Brussel. De organisatie speelt een belangrijke rol in de ontwikkeling en consolidatie van de European Single Market (Europese interne markt). De European Single Market streeft ernaar dat het vrije verkeer van goederen, kapitaal, diensten en arbeid. CEN bereikt dit door het verzorgen van een efficiënte infrastructuur voor geïnteresseerde partijen voor de ontwikkeling, het onderhoud en de distributie van samenhangende reeksen van standaarden en specificaties. De standaarden van het CEN worden gekenmerkt door EN (Europese Norm) voor het nummer van de standaard.

Voor de Nederlandse markt is ook een organisatie opgezet om nieuwe standaarden voor de specifieke Nederlandse markt te ontwikkelen. Daarnaast keuren zijn ook de Europese standaarden en doen aanvullingen die benodigd zijn om de standaarden geschikt te maken voor de Nederlandse markt. De Stichting Nederlands Normalisatie-instituut (NEN) brengt als non-profitorganisatie belanghebbende partijen bij elkaar om gezamenlijk toepasbare afspraken te maken en faciliteert de implementatie hiervan (Stichting Nederlands Normalisatie-Instituut, s.d.). De standaarden van de NEN worden gekenmerkt door de NEN voor het nummer van de standaard.

Van deze groep standaarden ISO 14001 is de ISO14040 het belangrijkste om de milieu-impact te bepalen. ISO 14040 geeft het algemene raamwerk, de principes en eisen voor het uitvoeren van een LCA en verwijst hierbij weer naar andere standaarden die specifieker ingaan op sommige onderdelen. In bijlage II wordt beschreven wat een Life Cycle Assessment inhoudt.

Alle tools die in bijlage III De Tools beschreven worden komen in principe voort uit databases die zijn opgesteld op basis van LCA's per product/materiaal.

---

### 3.1.1.3 Rijksoverheid verplicht 100% duurzaam inkopen

Per 2010 is de Rijksoverheid verplicht door de Tweede Kamer om 100% duurzaam in te kopen. Rijkswaterstaat is onderdeel van de Rijksoverheid, zij haalt deze doelstelling al door toepassing van duurzaamheidscriteria in de GWW. Dit blijkt uit dat de Rijkswaterstaat bij al haar aanbestedingen duurzaamheid als verplicht onderdeel is van de Economisch Meest Voordelige Inschrijvingscriteria (EMVI-criteria). Rijkswaterstaat hanteert bij het behalen van deze doelstelling 2 standaard instrumenten, de CO<sub>2</sub>-prestatieladder en DuboCalc. Deze twee instrumenten worden verder toegelicht bij het hoofdstuk Instruments.

---

### 3.1.1.4 Green Deal/ Green Deal Duurzaam GWW 2.0

De Green Deal is afspraak tussen verschillende partijen zoals overheidsinstanties, aannemers, adviesbureau om duurzaam inkopen beter in te richten en kansen in duurzaamheid en innovatie beter te benutten. De ondertekenaars gaan hierbij samenwerken om hun sector te verduurzamen en de klimaatdoelstellingen van Nederland te behalen. Deze doelstellingen houden onder anderen in dat in 2030 50% minder gebruik te maken van primaire grondstoffen ten opzichte van het moment van ondertekenen en een CO<sub>2</sub>-reductie van 20% te behalen in 2020 ten opzichte van ondertekening.

In deze deal zijn talloze afspraken te vinden tussen de ondertekenaars over duurzaamheid. Om de belangrijkste algemene overwegingen even uit te lichten, zijn deze hieronder te lezen.

1. Om onze welvaart ook voor toekomstige generaties te behouden is het nodig om het concurrentievermogen van onze economie te versterken en tegelijkertijd de belasting van het milieu en de afhankelijkheid van fossiele energie en schaarse grondstoffen te verminderen (Green Deal, 2017-a).

2. Creativiteit, ondernemerschap en innovatie zijn essentieel om deze omslag naar groene groei mogelijk te maken. Bedrijven, burgers en maatschappelijke organisaties nemen volop concrete initiatieven voor vergroening van economie en samenleving. Met de Green Deal Aanpak wil het kabinet deze dynamiek in de samenleving op groene groei optimaal benutten (Green Deal, 2017-a).
3. Green Deals bieden bedrijven, burgers en organisaties een laagdrempelige mogelijkheid om samen met de overheid te werken aan groene groei. Initiatieven uit de samenleving staan daarbij aan de basis. Daar waar deze tegen belemmeringen aanlopen die volgens initiatiefnemers kunnen worden aangepakt op rijksniveau, wil het kabinet zich inzetten deze weg te nemen of op te lossen om zo deze initiatieven te faciliteren en te versnellen. In een Green Deal leggen partijen hierover concrete afspraken schriftelijk vast (Green Deal, 2017-a).
4. De resultaten van een Green Deal kunnen gebruikt worden bij andere, vergelijkbare projecten, waardoor er navolging kan plaatsvinden en de reikwijdte van een Green Deal kan worden vergroot zonder dat daar specifieke ondersteuning vanuit de Rijksoverheid tegenover staat (Green Deal, 2017-a).

In 2017 is een nieuwe Green Deal getekend, de Green Deal GWW 2.0. Hierin zijn leermomenten meegenomen uit de eerste deal. Tijdens het verloop van de eerste deal werd vernomen dat het van belang is dat er in meer GWW-projecten duurzaamheidscriteria moeten worden opgenomen, dat duurzaamheid beter geborgd moet worden én dat opdrachtgevers en opdrachtnemers meer betrokken moeten zijn bij de implementatie (Green Deal, 2017-b). Deze ambities zijn omschreven in vier transitielijnen: van kosten naar waarde, van reactief naar proactief, van uniek naar uniform en van alleen naar samen. Daarnaast is de nieuwe deal ook door nieuwe partijen getekend, de lijst is toen door 86 partijen ondertekend.

### 3.1.2 CO<sub>2</sub>-Instruments

---

In deze paragraaf worden de instrumenten, oftewel in het Engels instruments, naar voren gehaald die invloed hebben/kunnen hebben op de ontwikkeling van de tool SuDevo. Deze instrumenten betreffen de tools en de databases die in de huidige markt gebruikt worden. Als eerste zal gefocust worden op het onderzoek naar de tools en vervolgens zal ingegaan worden op de databases.

#### 3.1.2.1 De Tools

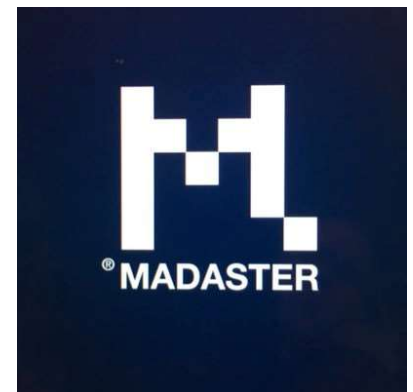
Uit het onderzoek naar de methodes die momenteel gebruikt worden binnen de GWW-sector om aan duurzaamheid te werken zijn slechts zeven tools naar voren gekomen die ook binnen de scope van het onderzoek vallen (een gedetailleerde beschrijving van iedere tool is opgenomen bijlage III). Deze zeven tools zijn de CO<sub>2</sub>-projectscan, DuboCalc, de DGBC Materialentool, de CO<sub>2</sub>-prestatieladder, het Materialenpaspoort, Suspindle en Asphalt-Impuls. Deze tools werken echter niet allemaal direct aan het verlagen of inzichtelijk maken van de CO<sub>2</sub>-uitstoot. Daarbij zijn ook niet alle tools vandaag de dag nog op de markt beschikbaar, is niet iedere tool zo ver doorontwikkeld als de andere en zijn sommige tools überhaupt nog niet ontwikkeld. De desbetreffende tools waar het hier omgaat zijn de CO<sub>2</sub>-projectscan, de DGBC Materialentool, het Materialenpaspoort, Suspindle en de Asphalt-Impuls. Uit de lijst van zeven tools blijven slechts twee tools over die ook daadwerkelijk een bijdrage kunnen leveren aan de ontwikkeling van SuDevo, namelijk DuboCalc en de CO<sub>2</sub>-prestatieladder.

De werking van de CO<sub>2</sub>-projectscan is gebaseerd op het inzichtelijk maken van de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van een project, oftewel het inzichtelijk maken van de CO<sub>2</sub>-footprint van een project in relatie tot materiaalkeuzes, uitvoeringsmethodes en het aantal transportbewegingen. De berekeningen worden met behulp van DuboCalc gemaakt en worden aangevuld met gegevens uit de database van Ecoinvent, producenten en brancheverenigingen. Met behulp van deze tool is een top 10 lijst te genereren van de elementen die de grootste hoeveelheid CO<sub>2</sub> uitstoten binnen het project. Door middel van deze top 10 kunnen maatregelen aanbevolen worden om de hoeveelheid CO<sub>2</sub>-uitstoot te reduceren. Daarnaast kunnen deze maatregelen ook afgezet worden tegen de consequenties in relatie tot kosten (Duurzaamvastgoed, 2011).

De reden dat de CO<sub>2</sub>-projectscan geen bijdrage kan leveren aan SuDevo, ondanks dat de gedachtegang achter deze tool aansluit op de gedachtegang (het inzichtelijk maken van CO<sub>2</sub>-uitstoot) voor SuDevo, ligt bij het feit dat de ontwikkeling van de CO<sub>2</sub>-projectscan door een fusie tussen Royal Haskoning en DHV en de daaropvolgende reorganisatie gestopt is. Hierdoor is er geen informatie meer te vinden over deze tool en is deze ook niet meer beschikbaar om te downloaden. Daarnaast is er ook binnen Royal HaskoningDHV (RHDHV) nog maar weinig bekend over de tool. Mocht de tool nog wel in een server van RHDHV staan, dan is deze ook niet meer up-to-date aangezien de tool al een aantal jaren niet meer in ontwikkeling is.

DGBC Materialentool is een tool die vrijwel op dezelfde manier is opgebouwd als DuboCalc, echter is deze tool minder ver doorontwikkeld. Daarnaast is deze tool gericht op de Bouw en Utiliteit (B&U) sector en niet op de Grond-, Weg- en Waterbouw (GWW) sector. Om deze redenen kan ook deze tool geen bijdrage leveren aan SuDevo. Daarnaast is er voor SuDevo meer informatie te halen uit DuboCalc dan uit deze tool.

In het materialenpaspoort is een ordelijk en beknopte weergave te zien van alle informatie die in het Madaster zijn vastgelegd en gekoppeld zijn aan een object (momenteel enkel gebouwen, maar in de toekomst ook infrastructurele projecten). De tool geeft een identiteit aan het object en daarnaast ook aan alle materialen die in het object verwerkt zijn voor zover deze in het materialenpaspoort verwerkt zijn. De kwaliteit van het paspoort dat gekoppeld is aan het object is afhankelijk van de informatie die hierin verwerkt is. Hoe meer en hoe gedetailleerder de gegevens, hoe groter de diepgang van het paspoort (Stichting Madaster Foundation, s.d.-e). De gegevens die in het paspoort verwerkt kunnen worden bestaat onder andere uit welke materialen in een object verwerkt zijn, de hoeveelheid van deze materialen en wat de waarde van deze materialen is. Daarnaast kan ook informatie over demontage en circulariteit aan het paspoort toegevoegd worden (Primum, s.d.). Als laatste kan ook inzichtelijk gemaakt worden hoe alle materialen in een object verwerkt zijn. Door deze volledige registratie van materialen in een object maakt het terugwinnen en hergebruiken van materialen bij demontage of sloop eenvoudiger en worden deze objecten meer waard (Duurzaam Nieuws, 2017).



Figuur 4 Madaster (Stichting Madaster Foundation, s.d.-b)

Het Materialenpaspoort is een tool met als doel om afval te elimineren door materialen te registreren. Dit wordt dus gedaan door materialen een identiteit te geven en daarbij informatie over deze materialen aan de tool toe te voegen. Door deze registratie is het gemakkelijker om de materialen uiteindelijk te hergebruiken, waardoor afval geëlimineerd wordt en uiteindelijk indirect minder CO<sub>2</sub>-uitgestoten wordt. De tool is dus niet direct gericht op het verlagen of inzichtelijk maken van CO<sub>2</sub>-uitstoot, waardoor het geen bijdrage kan leveren aan de ontwikkeling van SuDevo.

Suspindle is een tool die in elk denkbaar ontwerpproces op een generieke en systematische manier duurzaamheidsmaatregelen kan opstellen. De tool bestaat uit in totaal vijf lagen en in de eerste laag wordt de projectambitie bepaald. In ieder daaropvolgende laag wordt verder ingegaan op deze ambitie om uiteindelijk te komen tot duidelijke duurzaamheidsmaatregelen. De laatste laag, oftewel laag vijf, is samengesteld op basis van een aantal algemene ontwerp vragen. Door deze tool te gebruiken kan vanaf het begin tot het einde van een project gefocust worden op de vragen die een bijdragen zullen leveren aan de ambitie van het project (DJ100, s.d.).

Suspindle kan net als de CO<sub>2</sub>-projectscan geen bijdragen leveren aan de ontwikkeling van SuDevo mede doordat over deze tool nauwelijks informatie te vinden is door een reorganisatie van Grontmij en een aantal jaren later ook nog een overname door Sweco. Daarbij is deze tool zoals hierboven omschreven gericht op het vertalen van duurzaamheidsambities van opdrachtgevers naar duurzaamheidsmaatregelen voor een project en sluit dus niet aan op gedachtegang achter SuDevo.

Asfalt-Impuls is een tool die momenteel nog in ontwikkeling is en waarvan momenteel slechts gelimiteerde informatie beschikbaar is op de website van het CROW. Daarbij ligt de focus van Asfalt-Impuls, zoals de naam al aangeeft, bij asfalt. Het doel is om de levensduur van asfalt te verlengen. Door het verlengen van de levensduur worden indirect een aantal andere zaken beïnvloed, waaronder kosten en CO<sub>2</sub>-uitstoot. Daarbij spelen ook duurzaamheid en innovatie een belangrijke rol, waardoor CO<sub>2</sub>-uitstoot een belangrijke factor is. Desondanks is dit gericht op het ontwikkelen van nieuwe asfaltmengsels en aanlegmethoden en niet op het inzichtelijk maken van de CO<sub>2</sub>-uitstoot om aan de hand daarvan de CO<sub>2</sub>-uitstoot te reduceren. Om deze redenen zal Asfalt-Impuls ook geen bijdrage kunnen leveren aan de ontwikkeling van SuDevo.

In tegenstelling tot bovengenoemde tools kan DuboCalc wel een bijdrage leveren aan de ontwikkeling van SuDevo. DuboCalc is door Rijkswaterstaat ontwikkeld om de milieukosten en duurzaamheid van aanbestedingen te berekenen en vervolgens te vergelijken. Wat DuboCalc doet is het van wieg tot graf, oftewel vanaf de winning van grondstoffen tot aan het slopen van de constructie en vervolgens het hergebruik van de materialen, berekenen van alle effecten in relatie tot materiaal- en energieverbruik (DuboCalc, s.d.-a) in de realisatiefase en het energieverbruik in de beheerfase (Gosselink, DuboCalc verdient beter, 2016). De weergegeven resultaten worden uitgedrukt in euro's, die in dit geval de MilieuKostenIndicator (MKI) genoemd worden (zie omschrijving MKI in de kop ontwikkelingen). Door het van wieg tot graf berekenen van de milieueffecten wordt de totale levensloop van de materialen meegenomen in de berekening. De methode voor het uitvoeren van de berekening is gebaseerd op de rekenmethodiek van de Levenscyclusanalyses (LCA). Een beschrijving van de levenscyclusanalyses is gegeven in bijlage II. In het rapport van SBK, genaamd 'Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en Bouwwerken' is deze rekenmethodiek gespecificeerd (DuboCalc, s.d.-a).

DuboCalc kan voornamelijk een bijdrage leveren aan het vergoten van de kennis over dit betreffende onderwerp (het inzichtelijk maken van CO<sub>2</sub>-uitstoot gedurende de ontwerpfase) en de wijze van berekening, oftewel de calculatie methode. Daarbij zal de database die DuboCalc hanteert (de Nationale Milieudatabase) ook gebruikt worden voor SuDevo, aangezien deze uit gevalideerde gegevens bestaat. Om meer te weten te komen over DuboCalc en dit programma beter te begrijpen is DuboCalc geanalyseerd in relatie tot de opbouw en de werking. Hieruit is gebleken dat DuboCalc uit een vijftal hoofdschermen bestaat, namelijk:

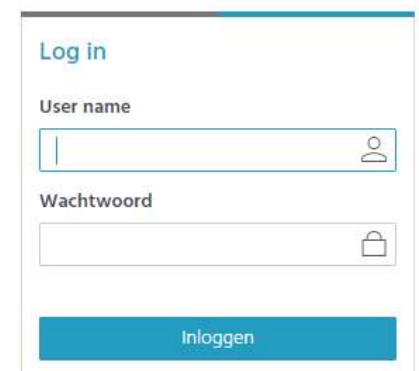
- ✚ Het inlogscherm;
- ✚ Het startscherm;
- ✚ Het projectscherm
- ✚ De zwaartepunten analyse;
- ✚ Het dashboard.

In het inlogscherm (zie figuur 5) dienen de inloggegevens van de gebruiker ingevuld te worden. In het startscherm kunnen nieuwe projecten aangemaakt worden en kunnen oude projecten geopend, geïmporteerd, gekopieerd en verwijderd worden. Daarnaast kunnen in het startscherm ook andere gebruikers uitgenodigd worden om in een bepaald project te werken.

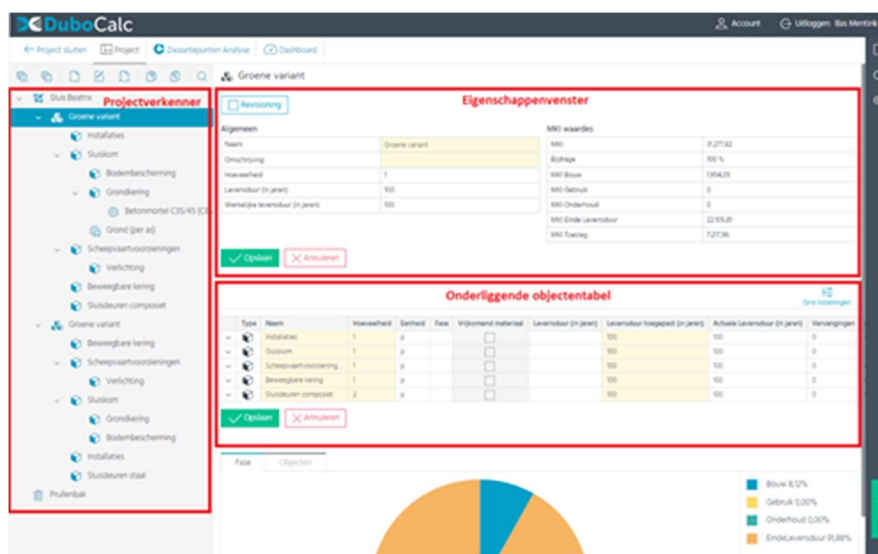
In het projectscherm is een projectverkenner, eigenschappenvenster en een onderliggende objectentabel opgenomen. In de projectverkenner zijn de varianten, elementen en items weergegeven die aan een bepaald project zijn toegekend. Het eigenschappenvenster weergeeft de eigenschappen van de geselecteerde variant, element of item in de projectverkenner. Daarnaast worden in de onderliggende objectentabel de objecten weergegeven die tot een bepaalde variant, element en item behoort.

Met behulp van de zwaartepunt analyse kunnen diverse analyses uitgevoerd worden op de geselecteerde varianten, elementen of items. In het dashboard kunnen varianten met elkaar vergeleken worden en kunnen zowel de procentuele bijdrage als een totaaloverzicht weergegeven worden per variant.

Een gedetailleerde beschrijving van de opbouw en de werking van DuboCalc is opgenomen in bijlage IV.

Figuur 5 Inlogscherm DuboCalc 5.0



Figuur 6 Grafische weergave verdeling Projectscherm

Naast DuboCalc kan ook de CO<sub>2</sub>-prestatieladder bijdragen aan de ontwikkeling van SuDevo. De reden hiervoor is dat wanneer de ontwikkeling van SuDevo afgerond is, de tool kan helpen om Wagemaker hogerop de CO<sub>2</sub>-prestatieladder te krijgen. De ladder is opgebouwd uit vijf niveaus, waarvan niveau één tot en met drie betrekking hebben op de CO<sub>2</sub>-uitstoot van haar eigen bedrijfsvoering. Vanaf niveau vier en vijf heeft de ladder ook betrekking op de CO<sub>2</sub>-uitstoot binnen de keten en sector van de organisatie. De organisatie is dus op een bepaald niveau gecertificeerd als het voldoet aan alle eisen van de CO<sub>2</sub>-prestatieladder van dat niveau (en de daar onderliggende niveaus). De geformuleerde eisen zijn ontstaan uit vier invalshoeken, namelijk:

- A. Inzicht, namelijk het bepalen van de CO<sub>2</sub>-Footprint en de energiestromen;
- B. Reductie, oftewel het uiteenzetten van ijverige doelstellingen op het gebied van CO<sub>2</sub>-reductie;
- C. Transparantie, oftewel structurele communicatie over het CO<sub>2</sub>-beleid dat de organisatie hanteert;
- D. Participatie, oftewel in hoeverre aan initiatieven binnen de sector in relatie tot CO<sub>2</sub>-reductie wordt deelgenomen (SKAO, s.d.-b).

Momenteel zit Wagemaker op niveau 3, echter om hogerop te komen dient Wagemaker dus de CO<sub>2</sub>-uitstoot binnen haar keten in beeld te brengen. Dit betekent dat ze onder andere de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de projecten die zij ontwerpt inzichtelijk moet maken. Daarnaast resulteert een hoger niveau ook in hogere EMVI-kortingen in projecten en dus een grotere kans op het winnen van aanbestedingen. Daarbij is het doel van de ladder om bedrijven uit te dagen en te stimuleren om hun CO<sub>2</sub>-uitstoot inzichtelijk te maken, te kennen en vervolgens te verminderen. SuDevo is hier een goed voorbeeld van binnen Wagemaker en daarbij kan het effectief bijdragen aan het vergroten van de inzichtelijkheid binnen haar keten. Om die reden is het belangrijk om de CO<sub>2</sub>-prestatieladder mee te nemen in de aanbevelingen.

---

#### 3.1.2.2 Databases

##### Nationale Milieudatabase (NMD)

De NMD is een database dat eigendom is van Stichting Bouwkwaliiteit (SBK) (Stichting Bouwkwaliiteit (SBK), s.d.-a) en is in het leven geroepen om binnen de Nederlandse context de milieuprestaties van gebouwen en GWW-werken op een eenduidige manier te berekenen. Voor deze eenduidige berekening staan in de NMD-milieudata die voor deze berekening gebruikt moeten worden (Stichting Bouwkwaliiteit (SBK), s.d.-b). Sinds begin juli 2015 (TiMaX, s.d.) worden de operationele werkzaamheden omtrent het beheer en onderhoud van de NMD niet meer uitgevoerd door SBK, maar door het Instituut voor Bouwkwaliiteit (IBK). Door deze beslissing hoopt SBK een betere basis te hebben gelegd voor de robuustheid van de database (Stichting Bouwkwaliiteit (SBK), s.d.-a).

De naam Nationale Milieudatabase (NMD) komt voor het eerst ter sprake in 2010 na het introduceren van de 'Bepalingsmethode milieuprestatie gebouwen en GWW-werken'. Desondanks dateert de ontwikkeling van deze database al terug tot begin 1997. Destijds werd er met steun van het toenmalige Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) namelijk al gewerkt aan een instrument om op een betrouwbare en eenduidige manier informatie over bouwelementen, -producten en -materialen te verspreiden. Dit instrument werd Milieurelevante Productinformatie genoemd, oftewel MRPI (Stichting Bouwkwaliiteit (SBK), 2011). Eind 1999 is speciaal voor het helder en eenduidig communiceren over milieuaspecten van bouwproducten een stichting opgericht, namelijk Stichting Milieu Relevante Product Informatie (Stichting MRPI) (Stichting MRPI, s.d.).

De NMD bestaat naast databases met afdankscenario's en (achtergrond)processen (welke tot twee meer generiek geldende databases behoren) ook uit meer specifieke basisprofielen waar product- (voor de B&U sector) en itemkaarten (voor de GWW-sector) van bouwproducten en -elementen op gebaseerd zijn. In de diverse rekeninstrumenten die op de markt gebruikt worden en beschikbaar zijn, worden deze product-/itemkaarten (zie figuur 7) en basisprofielen toegepast om te berekenen wat de milieuprestatie van gebouwen en GWW-werken is. In combinatie met de rekenregels die zijn opgenomen in de 'Bepalingsmethode milieuprestatie van gebouwen en GWW-werken' zorgt dit ervoor dat in de diverse rekeninstrumenten het rekenhart identiek is. Dit alles leidt uiteindelijk tot eenduidige rekenuitkomsten (Stichting Bouwkwaliiteit (SBK), s.d.-b).

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

Figuur 7 Milieuprofiel van de productie van 1 ton wapeningstaal  
(Simmons & de Rijk, 2015)

Er zijn drie categorieën productdata te onderscheiden in de product-/itemkaarten database, namelijk:

1. Categorie 1: Deze categorie bestaat uit merk gebonden data welke is getoetst volgens het toetsingsprotocol van SBK door een onafhankelijke, maar gekwalificeerde derde partij. De onderliggende data is niet openbaar, maar de milieuprofielen zijn wel toegankelijk via diverse instrumenten waaronder DuboCalc. Categorie 1 is bedoeld voor fabrikanten en toeleveranciers (Stichting Bouwkwaliiteit (SBK), s.d.-b). Zij blijven ook eigenaar van de door hun aangeleverde milieuprofielen (Stichting Bouwkwaliiteit (SBK), 2014).
2. Categorie 2: Deze categorie bestaat uit merk ongebonden data, oftewel merkloze data en is net als de data in categorie 1 getoetst volgens het SBK-Toetsingsprotocol door een onafhankelijke en gekwalificeerde derde partij. Daarnaast wordt bij de data in deze categorie ook de representativiteit vermeld, zoals voor de Nederlandse markt of voor een groep producenten. Ook in deze categorie is de onderliggende data niet openbaar en zijn de milieuprofielen toegankelijk via diverse instrumenten. Categorie 2 is bedoeld voor branches, toeleveranciers en groepen van fabrikanten (Stichting Bouwkwaliiteit (SBK), s.d.-b). Zij blijven ook eigenaar van de door hun aangeleverde milieuprofielen (Stichting Bouwkwaliiteit (SBK), 2014).
3. Categorie 3: Net als categorie 2 bestaat ook deze categorie uit merk ongebonden en dus merkloze data. Daarentegen is deze data niet getoetst volgens het SBK-Toetsingsprotocol. Integendeel tot de vorige categorieën is de onderliggende data in deze categorie, althans de opbouw van de product-/itemkaart en basisprofielen wel openbaar en is deze data te bekijken op de website van Stichting Bouwkwaliiteit onder Database > Inzage NMD. Eveneens zijn de milieuprofielen wel toegankelijk, maar in dit geval via de processendatabase. Categorie 3 is bedoeld voor branches, opdrachtgevers, toeleveranciers en fabrikanten, zoals betonfabrikanten, asfaltmolens en prefab leveranciers (Stichting Bouwkwaliiteit (SBK), s.d.-b).

In de 'Bepalingsmethode milieuprestatie van gebouwen en GWW-werken' worden aanwijzingen gegeven om milieuproductverklaringen (oftewel Environmental Product Declarations [EPD's]) op te kunnen stellen, die zodanig zijn, dat de milieu-informatie hieruit in de vorm van product-/itemkaarten en basisprofielen geschikt is om op te nemen in de NMD binnen categorie 1 of 2 (Stichting Bouwkwaliiteit (SBK), 2014).

De data in categorie 3 is bedoeld als vangconstructie om bij gebrek aan data over bouwproducten in categorie 1 of 2 toch in de NMD te beschikken over milieuprofielen. De profielen die onder deze categorie vallen zijn eigendom van SBK en zijn of onder de verantwoordelijkheid van SBK opgesteld of in het verleden aangeleverd door de branche. Daarbij is op categorie 3 ook een toeslagfactor van toepassing. De reden hiervoor is dat uit ervaring is gebleken dat de milieuprofielen die niet getoetst zijn vaak een lagere milieubelasting aangeven dan deze in werkelijkheid is, dit komt doordat van deze profielen de inventarisatiegegevens minder volledig zijn. De hoogte van de toeslagfactor wordt bepaald door SBK en worden in de rekenregels doorgevoerd (Stichting Bouwkwiteit (SBK), 2014).

Naast de product-/itemkaarten en basisprofielen bestaat de NMD ook uit een LCA-database van grondstoffen en achtergrondprocessen welke is gebaseerd op de laatste versie van de Ecoinvent – allocation, recycled content, oftewel “Cut-Off System Model”, en welke aangepast is om te gebruiken binnen de context van de ‘Bepalingsmethode milieuprestatie van gebouwen en GWW-werken’. Naast het gebruik van deze processen moeten opstellers van EPD’s volgens de updateprocedures van SBK ook altijd de laatste versie van documenten, procedures en Ecoinvent toepassen in hun calculatie (Stichting Bouwkwiteit (SBK), 2014).

### **CO<sub>2</sub>-emissiefactoren**

De NMD behoort binnen onze scope doordat deze database beheerd wordt door SBK. Daarnaast is er binnen Nederland nog een grote database beschikbaar, namelijk de CO<sub>2</sub>-emissiefactoren lijst. Deze database wordt echter niet beheert door Stichting Bouwkwiteit, maar wordt wel door Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden & Ondernemen (SKAO) erkend als valide database (Vastbinder & Termeer, 2015). Om die reden wordt er ook kort ingegaan op deze database. Het verschil tussen de database van CO<sub>2</sub>-emissiefactoren en de NMD is gerelateerd aan het feit dat de NMD focust op materialen, elementen en producten (welke onder scope 3 van de CO<sub>2</sub>-Prestatieladder vallen (Vastbinder & Termeer, 2015)) en de CO<sub>2</sub>-emissiefactoren lijst juist op brandstoffen voor voertuigen en energieopwekking, elektriciteit, warmtelevering, personenvervoer, goederenvervoer en koudemiddelen (welke onder scope 1 en 2 van de CO<sub>2</sub>-Prestatieladder vallen (Vastbinder & Termeer, 2015)). Ondanks de waardevolle gegevens in de CO<sub>2</sub>-emissiefactoren lijst zal deze lijst niet door SuDevo gebruikt gaan worden, aangezien SuDevo gericht is op constructiematerialen en niet op brandstoffen en dergelijke (zie hoofdstuk 1.6 met een uitgebreide toelichting in hoofdstuk 5). Aangezien bedrijven (waaronder Royal HaskoningDHV (Speek, 2017)) binnen alle drie de scopes moeten rapporteren om een certificaat te krijgen voor een bepaald niveau op de CO<sub>2</sub>-prestatieladder, gebruiken zij beide databases.

### **Overige databases**

Naast de Nationale Milieudatabase en de CO<sub>2</sub>-emissiefactoren lijst zijn er wereldwijd nog diverse andere databases (zoals de Ecoinvent database die in de kop van de NMD ook benoemd is), echter behoren deze databases niet binnen onze scope en zijn daardoor ook niet meegenomen in dit onderzoek. Op de website van One Click LCA is er een grote lijst te vinden van de databases die in de wereld gebruikt worden (One Click LCA, s.d.).

## 3.2 CALCULATIONS

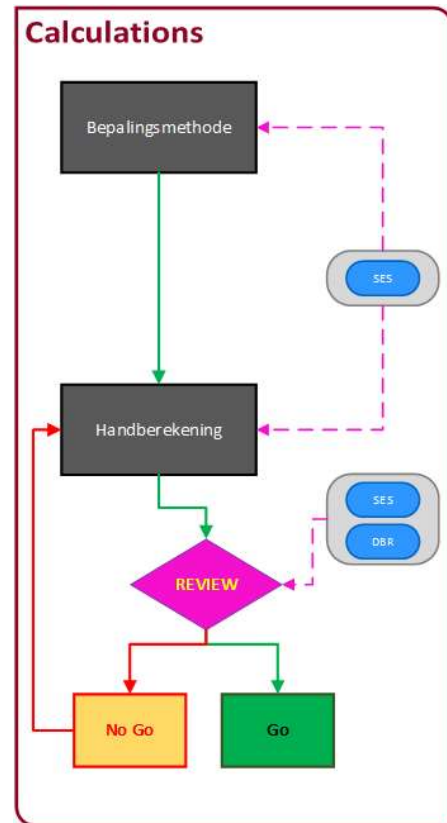
Voordat de berekening van de CO<sub>2</sub>-uitstoot zijn vanuit overheidsinstanties standaarden opgesteld. In het stuk over de ontwikkelingen in de duurzaamheid is te zien dat er vele iteraties zijn geweest op deze standaarden. Om het onderzoek zo recent mogelijk te houden wordt er alleen maar gefocust op de Bepalingsmethode Milieuprestatie gebouwen en GWW-werken

In het volgende stuk gaan we dieper in op deze berekeningen met als doel de berekeningen te begrijpen zodat de tool geprogrammeerd kan worden en gecontroleerd kan worden met een handberekening. De handberekening rekent alleen maar de CO<sub>2</sub>-uitstoot van het element uit. Deze afbakening wordt aan de hand van bijlage III verder toegelicht.

### 3.2.1 Bepalingsmethode Milieuprestatie gebouwen en GWW-werken

In de Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken wordt de berekeningswijze voor het bepalen van de milieuprestatie van gebouwen en GWW-werken gedurende hun gehele levensduur, gebaseerd op de NEN-EN 15804, behandeld (Stichting Bouwkwiteit, 2014). De basis van deze Bepalingsmethode is de NEN-EN 15804:2012 + Amendement A1 (2013). In de NEN-EN 15804 wordt omschreven hoe milieuproductverklaringen (Environmental Product Declarations EPD's) worden opgesteld. Op deze manier kan de milieuprestatie van een project bepaald worden door de prestaties van de producten en elementen te meten waaruit het project is opgebouwd. De Bepalingsmethode is geschreven om invulling te geven op de specifieke Nederlandse markt. De Nederlandse markt verschilt op bepaalde punten met de Europese markt en daardoor is er een specifieke standaard voor Nederland opgesteld. De belangrijkste aanvullingen en afwijkingen ten opzichte van de NEN-EN 15804 zijn:

1. Er zijn extra indicatoren betreffende humane en ecotoxiciteit. Met deze indicatoren is ruime ervaring opgedaan in de Nederlandse context. Zonder deze indicatoren worden sommige wenselijke milieuverbeteringen, zoals bijvoorbeeld het gebruik van luchtwassers om de luchtkwaliteit te beoordelen niet positief gewaardeerd (Stichting Bouwkwiteit, 2014).
2. Er worden specifieke forfaitaire waarden voorgeschreven voor een aantal processen. Dit is noodzakelijk om in de berekening van de milieuprestatie van het gebouw of GWW-werk onterechte verschillen tussen bouwproducten te vermijden (Stichting Bouwkwiteit, 2014).
3. Er wordt verwezen naar een specifieke LCA-database voor grondstoffen en basisprocessen.
4. Voor de levensduur wordt gebruik gemaakt van het SBR-document "levensduur bouwmaterialen". Indien de levensduur die de producent opgeeft onderbouwd is, is afwijking van dit document mogelijk (Stichting Bouwkwiteit, 2014).
5. De systeemgrenzen bij gebruik en vrijkomen van secundaire materialen worden vastgesteld door economische afkap. Wijziging hiervan kan leiden tot grote verschillen met de bestaande milieuprofielen (Stichting Bouwkwiteit, 2014).
6. Binnen voorwaarden zijn toekomstscenario's toegelaten bij de productscenario's. Dit maakt het mogelijk om productscenario's die aan het begin van hun levensloop staan mee te nemen (Stichting Bouwkwiteit, 2014).



Figuur 8 Calculations

Naast deze aanvullingen moeten er ook aanvullende keuzes gemaakt worden. Deze zijn hieronder weergegeven:

- ✚ Het vaststellen van scenario's en forfaitaire waarden waar mogelijk en nodig voor de Nederlandse context (Stichting Bouwkwiteit, 2014).
- ✚ De inzet van generieke data (merkongebonden data) als er geen producent- of branchespecifieke data voorhanden zijn (Stichting Bouwkwiteit, 2014).

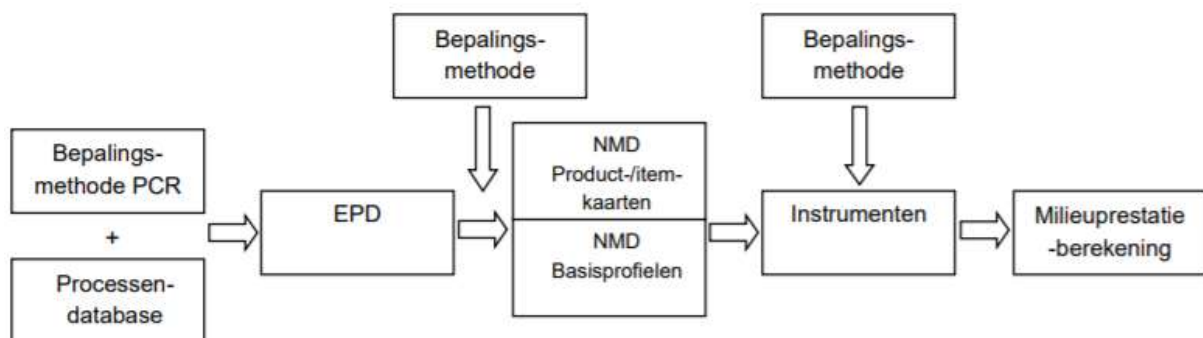
Om de berekening van de milieuprestatie van gebouwen en GWW-werken eenduidig te houden binnen Nederland wordt er gebruik gemaakt van een nationale milieudatabase (NMD). Wat er verder te vinden is in de NMD wordt behandeld in hoofdstuk 3.3, in het kort bevat de database basisprofielen en hierop gebaseerde product-/itemkaarten van bouwproducten en gebouw- en GWW-werkonderdelen. Met behulp van deze gegevens en de rekenregels uit deze Bepalingsmethode zorgt dat ervoor dat er eenduidige uitkomsten berekend worden in de verschillende tools.

De NMD bevat dus meerdere EPD's. Een EPD is een geverifieerd document van de milieugegevens op basis van een LCA. Wat een LCA inhoudt is verder toegelicht in bijlage III.

De producten in de database worden onderverdeeld in 3 categorieën, zodat als er gebrek aan data is over een bouwproduct de milieuprestatie van een project toch berekend kan worden. De drie categorieën productinformatie zijn toegelicht in het hoofdstuk Instruments onder databases.

Zodra er geen categorie 1 of 2 productinformatie van een materiaal is, wordt er gebruik gemaakt van categorie 3. De profielen in categorie 3 zijn algemene profielen van het product die oftewel door SBK zijn samengesteld of door de branche zelf. Omdat deze gegevens niet getoetst zijn wordt er een toeslagfactor toegepast op de milieubelasting, daarnaast bleek ook vaak dat de milieuprofielen een te lage milieubelasting aangaven.

In figuur 8 is de relatie tussen de Bepalingsmethode, EPD, NMD en de instrumenten goed te zien. De Bepalingsmethode heeft dus invloed op zowel de NMD-productkaarten als de milieuprestatieberekening.



Figuur 9 Relatie Bepalingsmethode, EPD, NMD en instrumenten

De milieudata die op basis van de Bepalingsmethode wordt berekend en aangeleverd aan de NMD wordt getoetst aan de hand van het SBK Toetsingsprotocol. Daarna zal de milieudata worden toegevoegd aan de NMD.

### 3.2.2 Afbakening

In de NMD zijn dus allerlei EPD's/milieuprofielen te vinden van materialen. Elk materiaal heeft zijn eigen milieuprofiel met de daarbij horende milieu-effectscores. Bijvoorbeeld het product 'AC surf zonder PR' heeft de volgende milieu-effectscores.

|                                          |                                  | 1.<br>AC surf<br>zonder PR |
|------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Milieu Kosten Indicator (MKI)            | Euro                             | 1,06E+01                   |
| Klimaatverandering (CO <sub>2</sub> -eq) | kg CO <sub>2</sub>               | 8,00E+01                   |
| Abiot. uitputting                        | kg Sb                            | 4,09E-05                   |
| Uitputting van fos. energiedragers       | kg Sb                            | 1,76E+00                   |
| Ozonlaag                                 | kg CFC11                         | 6,95E-06                   |
| Humaan toxicologische effecten           | kg 1,4 DB                        | 3,10E+01                   |
| Ecotox. effecten, aq. (zoetwater)        | kg 1,4 DB                        | 7,74E-01                   |
| Ecotox. effecten, aq. (zeewater)         | kg 1,4 DB                        | 7,52E+03                   |
| Ecotox. effecten, terrestrisch           | kg 1,4 DB                        | 2,76E-01                   |
| Fotochemische oxidantvorming             | kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | 5,25E-02                   |
| Verzuring                                | kg SO <sub>2</sub>               | 4,76E-01                   |
| Eutrofiëring                             | kg PO <sub>4</sub> 3-            | 7,90E-02                   |
| Gevaarlijk afval                         | kg                               | 1,71E+01                   |
| Niet gevaarlijk afval                    | kg                               | 4,04E+01                   |
| Water                                    | m <sup>3</sup>                   | 4,78E+01                   |
| Energie                                  | MJ                               | 3,99E+03                   |
| Gebruik hern. p. energie                 | MJ                               | 1,53E+01                   |
| Gebruik hern. p. energie materialen      | MJ                               | 0,00E+00                   |
| Totaal gebruik hern. p. energie          | MJ                               | 1,53E+01                   |
| Gebruik van niet hern p. energie         | MJ                               | 3,97E+03                   |
| Gebruik van niet h. p. e. materialen     | MJ                               | 0,00E+00                   |
| Totaal gebruik van niet h. p. energie    | MJ                               | 3,97E+03                   |
| Gebruik hern. sec. brandstoffen          | MJ                               | 0,00E+00                   |
| Gebruik niet hern. sec. brandstof.       | MJ                               | 0,00E+00                   |
| Afval (radioactief)                      | kg                               | 4,75E-02                   |
| Gebruik van secundaire materialen        | kg                               | 0,00E+00                   |
| Materialen voor recycling                | kg                               | 9,90E+02                   |
| Materialen voor energie                  | kg                               | 0,00E+00                   |
| Geëxporteerde energie                    | MJ                               | 0,00E+00                   |
| Materialen voor hergebruik               | kg                               | 0,00E+00                   |
| Uitputting van brandstoffen              | MJ                               | 3,65E+03                   |

Figuur 10 Milieuprofiel (A1-3)

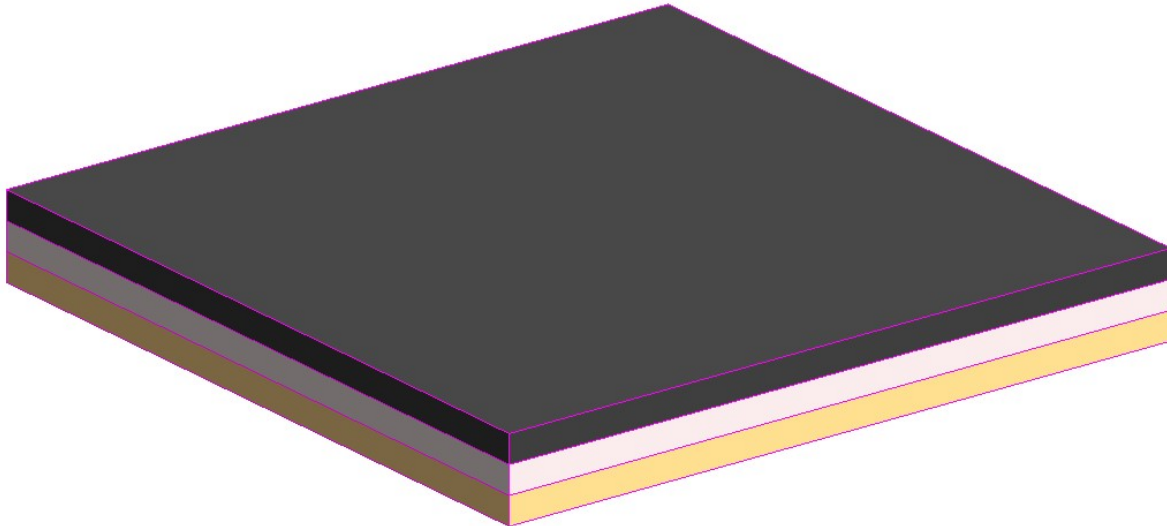
|                                          |                                  | 1.<br>AC surf<br>zonder PR |
|------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Milieu Kosten Indicator (MKI)            | Euro                             | 8,72E+00                   |
| Klimaatverandering (CO <sub>2</sub> -eq) | kg CO <sub>2</sub>               | 6,68E+01                   |
| Abiot. uitputting                        | kg Sb                            | 1,84E-05                   |
| Uitputting van fos. energiedragers       | kg Sb                            | 1,66E+00                   |
| Ozonlaag                                 | kg CFC11                         | 5,10E-06                   |
| Humaan toxicologische effecten           | kg 1,4 DB                        | 2,45E+01                   |
| Ecotox. effecten, aq. (zoetwater)        | kg 1,4 DB                        | 6,14E-01                   |
| Ecotox. effecten, aq. (zeewater)         | kg 1,4 DB                        | 6,75E+03                   |
| Ecotox. effecten, terrestrisch           | kg 1,4 DB                        | 2,40E-01                   |
| Fotochemische oxidantvorming             | kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | 4,15E-02                   |
| Verzuring                                | kg SO <sub>2</sub>               | 3,94E-01                   |
| Eutrofiëring                             | kg PO <sub>4</sub> 3-            | 6,03E-02                   |
| Gevaarlijk afval                         | kg                               | 1,09E+01                   |
| Niet gevaarlijk afval                    | kg                               | 1,47E+00                   |
| Water                                    | m <sup>3</sup>                   | 3,69E+01                   |
| Energie                                  | MJ                               | 3,77E+03                   |
| Gebruik hern. p. energie                 | MJ                               | 1,32E+01                   |
| Gebruik hern. p. energie materialen      | MJ                               | 0,00E+00                   |
| Totaal gebruik hern. p. energie          | MJ                               | 1,32E+01                   |
| Gebruik van niet hern p. energie         | MJ                               | 3,76E+03                   |
| Gebruik van niet h. p. e. materialen     | MJ                               | 0,00E+00                   |
| Totaal gebruik van niet h. p. energie    | MJ                               | 3,76E+03                   |
| Gebruik hern. sec. brandstoffen          | MJ                               | 0,00E+00                   |
| Gebruik niet hern. sec. brandstof.       | MJ                               | 0,00E+00                   |
| Afval (radioactief)                      | kg                               | 3,09E-02                   |
| Gebruik van secundaire materialen        | kg                               | 0,00E+00                   |
| Materialen voor recycling                | kg                               | 0,00E+00                   |
| Materialen voor energie                  | kg                               | 0,00E+00                   |
| Geëxporteerde energie                    | MJ                               | 0,00E+00                   |
| Materialen voor hergebruik               | kg                               | 0,00E+00                   |
| Uitputting van brandstoffen              | MJ                               | 3,46E+03                   |

Figuur 11 Milieuprofiel (A1-3) C+D

Vanwege de tijdsduur en complexiteit van het programmeren is al tijdens het opstellen van het plan van aanpak rekening gehouden welke impact categorie de tool gebruik gaat maken. De tool kijkt alleen maar naar de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de materialen die plaatsvindt tijdens de productiefase (modules A1 t/m A3). CO<sub>2</sub>-uitstoot valt onder de impact categorie 'Klimaatverandering (CO<sub>2</sub>-eq)'. In figuur 5 is te lezen dat bij de productie van 1 ton 'AC surf zonder PR' 80 kilo CO<sub>2</sub> vrijkomt. Verdere toelichting op deze waarde is te vinden in bijlage III.

### 3.2.3 Handberekening

Om te verifiëren of de tool de juiste waarde weergeeft moet het eindresultaat worden gecontroleerd aan de hand van een handberekening. Hierboven is beschreven hoe de CO<sub>2</sub>-uitstoot van materialen wordt bepaald. Daarnaast is ook de afbakening weergegeven waarbinnen de CO<sub>2</sub>-uitstoot wordt bepaald. In het hoofdstuk 'Materials' wordt uitleg gegeven over de database die de tool gaat gebruiken voor de berekening, voor deze handberekening wordt ook gebruikt gemaakt van die database. Uit de database worden de CO<sub>2</sub>-uitstootfactoren van de materialen gehaald. Voor de handberekening wordt gebruik gemaakt van het volgende Revit model. In het onderstaande figuur zijn de 3 lagen te zien. Elke laag bestaat uit een ander materiaal, namelijk asfalt, beton en zand. Elke laag is zo gedimensioneerd dat de laag een volume heeft van 40 m<sup>3</sup>.



Figuur 12 Revit model handberekening

De gegevens zijn in de onderstaande tabel ingevuld en door vermenigvuldiging van het volume en de CO<sub>2</sub>-uitstootfactor wordt de CO<sub>2</sub>-uitstoot van elk materiaal berekent.

Tabel 1 Handberekening

| Materiaal | Volume (m <sup>3</sup> ) | CO <sub>2</sub> -uitstootfactor | CO <sub>2</sub> -uitstoot (kg) |
|-----------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Asfalt    | 40                       | 125,26                          | 5010,40                        |
| Beton     | 40                       | 331,42                          | 13256,80                       |
| Zand      | 40                       | 7,00                            | 280,00                         |
|           |                          | Totale uitstoot:                | 18547,20                       |

Door het sommeren van alle CO<sub>2</sub>-uitstoten kan de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot worden berekend. Deze bedraagt dus bij de handberekening 18.547,2 kg CO<sub>2</sub>.

Voor de controle van de grotere modellen met meerdere materialen wordt er gebruikt gemaakt van het schedule tool in Revit. Deze tool kan de hoeveelheden van de materialen in Revit uittrekken en weergeven in een lijst. Met behulp van parameters kunnen handmatig de CO<sub>2</sub>-uitstootfactoren worden toegevoegd aan dit schedule. Daarna kan het schedule de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de materialen worden berekend.

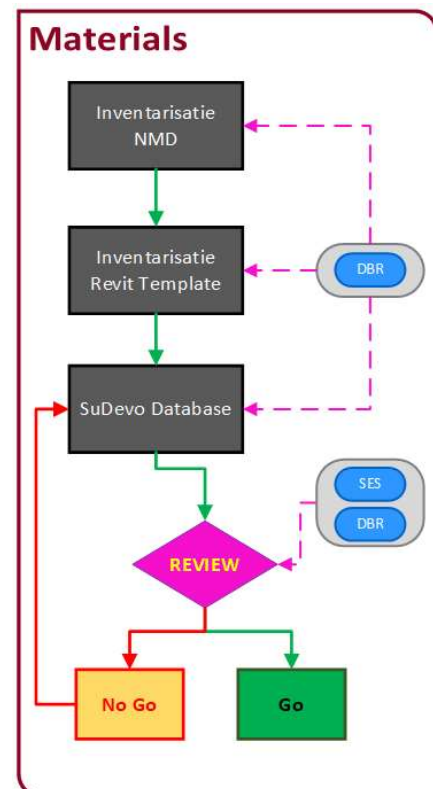
### 3.3 MATERIALS

Om een database op te kunnen stellen voor de tool (SuDevo) is het benodigd om een materialenanalyse uit te voeren. Met behulp van deze analyse worden de materialen die Wagemaker momenteel in hun Revit modellen gebruikt inzichtelijk gemaakt. Daarbij is het ook van belang om de NMD te analyseren, zodat de juiste gegevens uit de NMD gekoppeld kunnen worden aan de materialen die door Wagemaker in hun modellen worden toegepast. Door voor de tool een eigen database te maken is het mogelijk om een koppeling te creëren tussen de modellen en de NMD.

Uit de analyse van de Wagemaker template is gebleken dat deze bestaat uit in totaal 60 verschillende 'materialen'. Van deze 60 'materialen' is echter niet alles daadwerkelijk een materiaal, aangezien er ook 'materialen' zijn opgenomen als "Default", "Hulpobjecten", "Fase Tijdelijk" en "Render Material 0-255-255". Dit zijn dus geen daadwerkelijke materialen, maar zijn wel binnen Revit opgenomen in de lijst met materialen, oftewel de 'Material Browser'. De reden hiervoor is dat deze 'materialen' worden gebruikt om extra informatie aan een element toe te voegen. Een voorbeeld hiervan is het materiaal 'Fase Tijdelijk', aangezien dit materiaal aan een element wordt toegevoegd wanneer het element tijdelijk werk is. Door 'materialen' als 'Fase Tijdelijk' aan een element toe te voegen krijgt het in het ontwerp een bepaalde kleur, waardoor gemakkelijk te zien is waar het element voor dient en/of tot welke fase deze behoort. Van de 60 'materialen' zijn er binnen de Wagemaker template dus 41 daadwerkelijke materialen opgenomen en zijn er 19 overige 'materialen'.

Na het analyseren van de Wagemaker Revit template is de NMD geanalyseerd. Uit deze analyse is gebleken dat NMD-versie 4.03 (welke op 04 juni 2015 is uitgegeven) bestaat uit 332 materialen. Tot dit totaal behoort slechts 1 'materiaal' dat tot de overige categorie behoort en dit materiaal heet 'Nieuw Materiaal'. Dit betekent dus dat de NMD-versie 4.03 bestaat uit 331 daadwerkelijke materialen.

Om een koppeling te creëren tussen het model en de gegevens uit de NMD worden de materiaalnamen gebruikt, maar om vervolgens de CO<sub>2</sub>-uitstoot per materiaal te berekenen zijn meer gegevens benodigd dan enkel de materiaalnamen, namelijk het volume van het materiaal en de CO<sub>2</sub>-uitstootfactor. Om die reden zijn vanuit de NMD per materiaal de broeikaseffecten overgenomen welke in kg CO<sub>2</sub> zijn geregistreerd. Door het feit dat in de NMD de broeikaseffecten opgenomen zijn als kg CO<sub>2</sub>, was het benodigd om in het programma DuboCalc de materialen verder te analyseren. Met behulp van DuboCalc was het mogelijk om ook de eenheden per materiaal te noteren, waardoor het duidelijk werd of het broeikaseffect in kg CO<sub>2</sub>/ton opgenomen was of met een andere eenheid. Hieruit is gebleken dat vrijwel alle broeikaseffecten in de eenheid kg CO<sub>2</sub>/ton zijn opgenomen, echter resulteerde dit in twee extra berekeningsfactoren.



Figuur 13 Materials

De eerste berekeningsfactor, oftewel berekeningsstap is het soortelijk gewicht. De reden voor het gebruik van het soortelijk gewicht komt doordat uit Revit enkel volumes gehaald kunnen worden en geen massa's. De massa van een element is namelijk benodigd om uiteindelijk de CO<sub>2</sub>-uitstoot te berekenen. Daarbij is het ook zo dat de meeste broeikaseffecten in kg CO<sub>2</sub>/ton gegeven zijn en voor het soortelijk gewicht kg/m<sup>3</sup> aangehouden is omwille van eenzijdigheid. Dit resulteert in de tweede extra berekeningsstap, namelijk een vermenigvuldigingsfactor. Met behulp van deze vermenigvuldigingsfactor worden de massa's van de elementen naar de juiste eenheid omgerekend worden en kan de CO<sub>2</sub>-uitstoot per element berekend worden.

Naast deze extra berekeningsfactoren bleek het ook zo te zijn dat niet aan alle materialen die in de NMD zijn opgenomen een broeikaseffect is toegekend en dat daarbij niet alle materialen die in de NMD zijn opgenomen ook in DuboCalc gebruikt worden. Hierdoor zijn er uiteindelijk 148 van de in totaal 331 materialen overgebleven.

Een onderzoek naar de juiste soortelijke gewichten voor de diverse materialen resulteerde tevens in een conclusie dat voor veel materialen een bepaalde grens wordt aangegeven voor het soortelijk gewicht. Dit betekent dat er geen vaste waarde gehanteerd kan worden en in overleg met Wagemaker is ervoor gekozen om bij de gevallen waar dit van toepassing is een gemiddelde te hanteren voor het soortelijk gewicht. In de interne database van Revit is voor een aantal materialen het soortelijk gewicht aangegeven. Deze database is als basis gebruikt om de soortelijke gewichten te bepalen. Helaas bleken niet alle materialen in deze database opgenomen te zijn, waardoor aanvullende gegevens via internet zijn verkregen. De totale lijst van materialen, gegevens en bronnen is opgenomen in bijlage V.

Om het totale overzicht van de verschillende materialen overzichtelijker te maken is er gekozen om de materialen aan een bepaalde categorie te koppelen. In totaal zijn er twaalf categorieën, namelijk:

1. Beton;
2. Asfalt;
3. Metaal;
4. Kunststof;
5. Grond;
6. Steenslag;
7. Funderingsmateriaal;
8. Hout;
9. Steen en Tegel;
10. Verf en Coating;
11. Materiaal;
12. Overig.

Alle 60 'materialen' uit de Wagemaker template en de 332 'materialen' uit de NMD zijn over deze categorieën verdeeld (deze verdeling was gemaakt, voordat bekend was dat niet alle materialen in DuboCalc gebruikt worden en dat niet aan alle materialen een broeikaseffect is toegekend). Voor deze categorieën zijn aparte overzichten gemaakt en deze overzichten zijn terug te vinden in bijlage VI. Met behulp van deze twaalf overzichten is vervolgens de SuDevo database opgesteld, oftewel de database van de tool zelf. In deze database is tevens een extra kolom toegevoegd, namelijk de CO<sub>2</sub>-uitstootfactor. Deze factor is de vermenigvuldiging van het broeikaseffect met het soortelijk gewicht en de vermenigvuldigingsfactor en is bedoeld om het programmeren eenvoudiger te maken. Vervolgens is deze database uitgewerkt in een Excel database. Een overzicht van de Excel database is terug te vinden in bijlage VII.

In de Excel database zijn twee tabellen gemaakt, namelijk een tabel met de materialen en de bijbehorende gegevens en een tabel welke de diverse categorieën aangeven. De reden hiervoor is dat de resultaatweergave van de tool gebaseerd zal zijn op deze categorieën. Daarbij is het programmeren van deze resultaatweergave eenvoudiger wanneer er twee aparte tabellen zijn en de materialen in de ene tabel gekoppeld worden aan de categorieën uit de andere tabel.

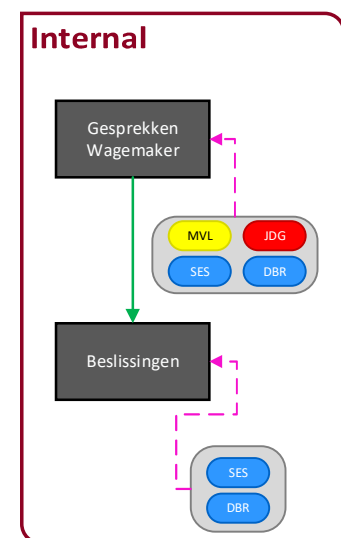
Naast categorieën is ook voor ieder materiaal een unieke code bedacht op basis van de materiaalnaam. Deze code is bedoeld om een gedetailleerdere resultaatweergave mogelijk te kunnen maken. Voor het onderzoek ligt de basis echter bij een resultaatweergave op basis van categorieën, maar wanneer het binnen de afstudeerperiode mogelijk is zal ook gekeken worden naar het creëren van een verdiepte resultaatweergave.

### 3.4 INTERNAL

Tijdens het afstudeeronderzoek heeft op den duur een intern onderzoek plaatsgevonden, oftewel een onderzoek binnen het kantoor van Wagemaker. Gedurende dit onderzoek hebben diverse interne dialogen plaatsgevonden en is met name gesproken met Maarten van der Linden (bedrijfsbegeleider software), Johan de Groot (bedrijfsbegeleider proces) en Robin Hermans. De reden van dit onderzoek was gefocust op het tekenprogramma, het softwarepakket en de programmeertaal die gebruikt/gehanteerd zou gaan worden voor/tijdens de ontwikkeling van de tool. Op de markt zijn namelijk diverse tekenprogramma's, softwarepakketten en programmeertalen beschikbaar, echter was het van belang dat we bij de kennis van Wagemaker bleven en om die reden is er ook gekozen om een intern onderzoek te houden naar deze drie aspecten.

Ten eerste is er in dit onderzoek gesproken over welk tekenprogramma gehanteerd zou gaan worden als basis voor de tool. Al snel werd duidelijk gemaakt dat 90% van de modellen binnen Wagemaker in Revit gemaakt worden. Daarnaast wordt er ook gebruikt gemaakt van AutoCad en Allplan. Vanwege dit hoge percentage is vrij snel in overeenstemming met Wagemaker besloten om de tool te gaan ontwikkelen in Revit. Dit resulteerde vervolgens ook in het idee/de variant, namelijk de Revit Plug-In.

Vervolgens is er gesproken over welk softwarepakket voor de ontwikkeling van de tool gebruikt moet worden. Hieruit bleek dat binnen Wagemaker voornamelijk gewerkt wordt in Visual Studio. Naast Visual Studio wordt door een enkeling ook Dynamo gebruikt en in uitzonderlijke gevallen nog een paar andere programma's, echter komt dit zelden voor. In overleg met Wagemaker zijn zowel de mogelijkheden van Visual Studio en Dynamo besproken in relatie tot de ontwikkeling van de tool, echter heeft Wagemaker aangegeven dat er voor onze tool meer mogelijkheden zijn binnen Visual Studio dan binnen in Dynamo. Daarbij is de tool die gemaakt zal worden ook gemakkelijker te programmeren in Visual Studio dan in Dynamo. Op basis van deze punten is er vervolgens gekozen om de tool te ontwikkelen in het programma Visual Studio.



Figuur 14 Internal

Er is dus ook een keuze gemaakt voor een bepaalde programmeertaal. Binnen Wagemaker worden in drie talen geschreven, namelijk in C# (C-sharp), Python en Visual Basic. Van deze drie talen is in overleg met Wagemaker besloten om de tool te programmeren in de taal C#. Binnen Wagemaker is er namelijk meer ervaring in de taal C# dan in de andere talen en zijn er ook meer mensen die hiermee kunnen werken. Daarnaast heeft C# een betere implementatie in Revit en is er op internet meer informatie te vinden over C# in relatie tot Revit. Daarbij is C#, zoals aangegeven door Autodesk, makkelijker te leren en eenvoudig te gebruiken (K, 2018).

Naast de bovenstaande keuzes zijn er door middel van overleggen ook een wens en een eis naar voren gekomen welke in de basis van SuDevo verwerkt moesten worden. De eis die uit deze overleggen naar voren kwam is dat er in SuDevo een knop moest komen, waarmee handmatig de resultaten vernieuwd kunnen worden. Dit zorgt er namelijk voor dat SuDevo niet constant aan het berekenen is en rekenkracht van de CPU opeist. Daarnaast had Wagemaker ook de wens om een doughnut diagram toe te passen in SuDevo, omdat met behulp van een doughnut diagram in één oogopslag gezien kan worden welke materialen de meeste invloed hebben op de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot.

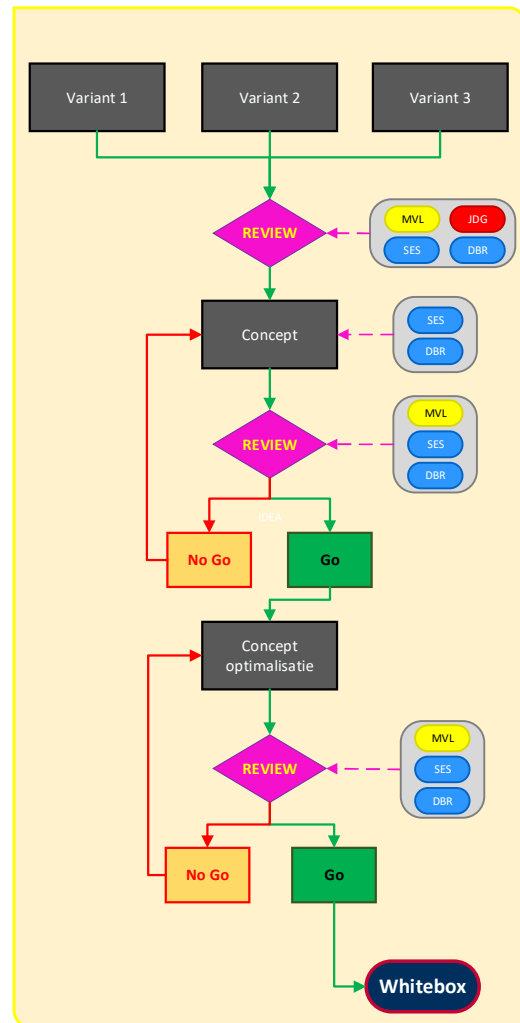
## 4. CONCEPT

In dit hoofdstuk zal ingegaan worden op de diverse varianten die bedacht zijn voor het ontwikkelen van de tool. Dit houdt in dat per variant het processchema weergegeven en toegelicht wordt. Vervolgens is er een conclusie gegeven over de keuze voor een bepaalde variant, oftewel welke gebruikt zal worden voor de ontwikkeling van de tool. Daarna is de gekozen variant verder uitgewerkt tot een concept en is er een concept resultaatweergave weergegeven en toegelicht.

### 4.1 VARIANTEN

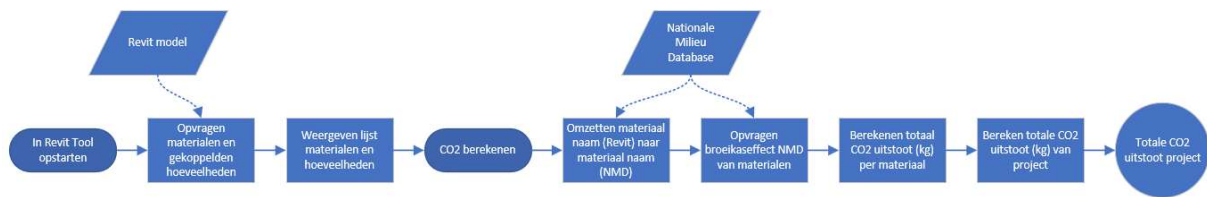
Voordat er begonnen kan worden aan het programmeren moet in eerste instantie in hoofdlijnen vast staan op welke manier invulling gegeven kan worden aan de hoofdvraag, namelijk "Hoe kan geautomatiseerd de Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-uitstoot van constructiematerialen inzichtelijk gemaakt worden tijdens de ontwerpfase?". Om hier antwoord op te geven zijn er uiteindelijk drie varianten bedacht. Deze varianten hebben allemaal hun eigen kenmerken en benaderen de vraag op hun eigen manier. Hierdoor zijn er drie totaal verschillende varianten ontstaan. Voor deze variant zijn tevens unieke namen bedacht die het belangrijkste aspect van de variant beschrijft. De varianten zijn:

1. Revit Plug-In;
2. DuboCalc Koppeling;
3. IFC-Bestandformaat.



Figuur 15 Concept

#### 4.1.1 Revit Plug-In

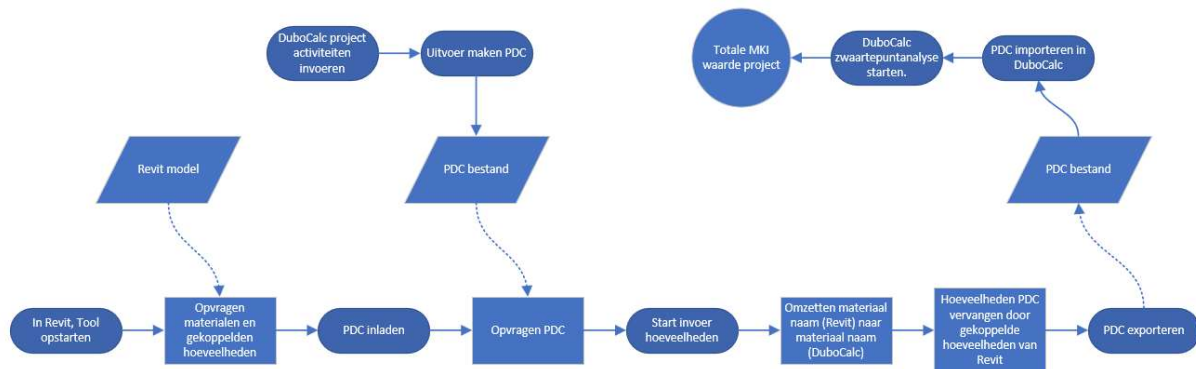


Figuur 16 Revit Plug-In

De werking van deze tool is gebaseerd op de Plug-In functie binnen Revit en is vanuit daar ook verder uitgedacht. De tool is dus als het ware een aanvulling op het bestaande Revit pakket. Dit betekent tevens dat de tool vanuit Revit wordt opgestart. De eerste stap van de tool is het opvragen van de gegevens uit het Revit model. Dit betekent dat de tool de materialen inclusief de bijbehorende volumes gaat opvragen vanuit het Revit model en deze vervolgens in de achtergrond tijdelijk opslaat. Dit tijdelijk opslaan in de achtergrond gaat op basis van een lijst weergave, oftewel de gegevens die uit het model naar voren komen worden als materiaalnaam met daarnaast een bepaald volume opgeslagen. Dit maakt het eenvoudiger om berekeningen uit te voeren. De volgende stap van de tool is het koppelen van de materialen uit het Revit model aan de juiste gegevens van de NMD. Dit wordt gedaan met behulp van de materiaalnamen in het model en de SuDevo database welke in paragraaf Materials is toegelicht. In de SuDevo database zijn namelijk alle mogelijk namen die in het model toegepast kunnen worden gekoppeld aan de juiste gegevens uit de NMD. Met behulp van de materiaalnaam uit het Revit model wordt in de SuDevo database gezocht naar het gelijknamige materiaal. Wanneer dit gevonden is wordt de waarde geselecteerd uit de kolom met de CO<sub>2</sub>-uitstoot factor. Met behulp van deze waarde en het volume dat uit het Revit model gehaald is en op de achtergrond is opgeslagen kan de CO<sub>2</sub>-uitstoot berekend worden. De gegevens worden met elkaar vermenigvuldigd en wordt vervolgens weergegeven onder de juiste categorie. Wanneer dit voor alle materialen in het Revit model gedaan is, kan gezegd worden dat de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van het project berekend is.

De kenmerken van deze tool zijn dat het een overzichtelijk programmeerschema en de werking vrij direct is. Daarbij kan de analyse snel en eenvoudig opgevraagd en geüpdatet worden. Het nadeel van deze tool is dat het enkel met Revit te gebruiken is, aangezien de code gebaseerd is op de mogelijkheden binnen Revit en het daarnaast ook enkel aan Revit toegevoegd kan worden.

#### 4.1.2 DuboCalc Koppeling



Figuur 17 DuboCalc koppeling

Deze tool is bedacht tijdens het analyseren van het programma DuboCalc en is gebaseerd op de wijze waarop DuboCalc een bepaald bestandformaat hanteert om projecten in op te slaan. Dit bestandformaat wordt “Portabel Document Format” genoemd (NLDIT, 2013), oftewel PDC. De eerste stap van deze tool is gelijk aan de Revit Plug-in, aangezien in Revit de tool wordt opgestart en de materialen inclusief hoeveelheden worden verzameld. In tegenstelling tot de Revit Plug-In houdt hier het verhaal binnen Revit op, aangezien deze tool verder gaat op het al aangemaakte PDC-bestand.

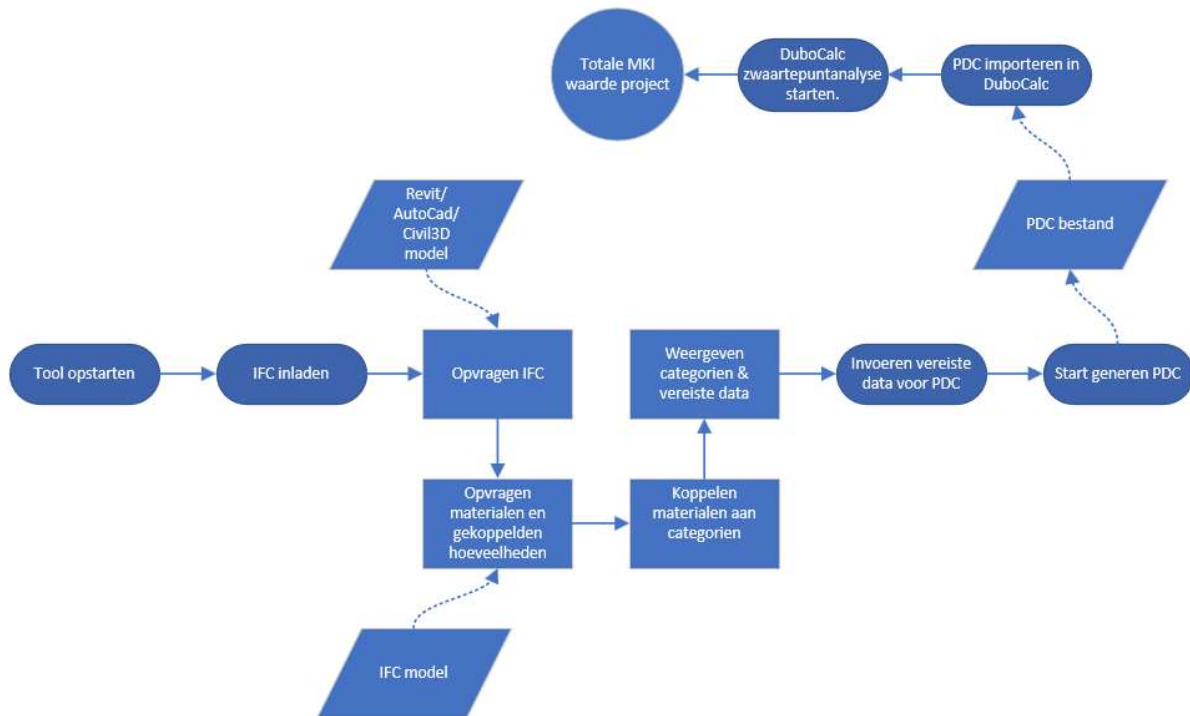
Een tussenstap bij deze tool is dus het maken van dit PDC-bestand in DuboCalc. Dit betekent dat alle materialen die in het model toegepast worden overgenomen moeten worden in DuboCalc en het bestand vervolgens opgeslagen moet worden in een map die te benaderen is door de tool.

Wanneer dit PDC-bestand gereed is kan de tool het PDC-bestand ophalen. Met behulp van een kleine database worden de materiaalnamen uit het model gekoppeld aan de juiste materiaalnamen in de NMD en op basis van deze koppeling worden de juiste hoeveelheden vanuit het model geautomatiseerd ingevuld in het PDC-bestand. De modelleur hoeft hierdoor minder handelingen te verrichten, aangezien de hoeveelheden niet met de hand ingevoerd hoeven te worden. Wanneer de tool klaar is met het invullen van de juiste hoeveelheden exporteert deze automatisch een nieuw PDC-bestand. Dit PDC-bestand kan vervolgens in DuboCalc geopend worden en op die manier is de totale MKI-waarde van het project bepaald.

De kenmerken van deze tool zijn dat het direct de MKI-waarde van een project en de materialen kan bepalen. Helaas zitten aan deze methode veel negatieve aspecten verbonden, aangezien deze tool nog redelijk veel handelingen vergt. Deze handelingen vinden het meeste plaats in DuboCalc, aangezien daar alle materialen nog geselecteerd moeten worden voordat de tool iets kan doen. Daarbij is de werking minder direct en is het programmeerschema minder overzichtelijk. Tevens is een analyse vanwege het aantal handelingen niet snel en nog redelijk lastig. Daarbij is deze tool ook enkel met Revit te gebruiken, aangezien de code gebaseerd is op de mogelijkheden binnen Revit.

Naast bovenstaande punten valt het resultaat van deze tool buiten de scope van het onderzoek. In het Plan van Aanpak is het onderzoek namelijk afgebakend op de CO<sub>2</sub>-uitstoot, zowel tijdens het berekenen van het resultaat als de resultaatweergave zelf. MKI is echter een extra stap om de schaduwkosten van deze CO<sub>2</sub>-uitstoot te weergeven en om die reden valt MKI niet binnen de scope van dit onderzoek.

#### 4.1.3 IFC-bestandsformaat



Figuur 18 IFC-bestandsformaat

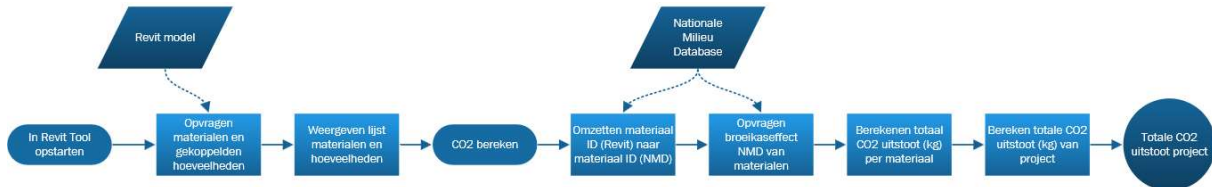
De derde tool is gebaseerd op het IFC-bestandsformaat, oftewel het “Industry Foundation Classes” bestandsformaat (BIM Loket, s.d.). Een IFC-bestand kan door diverse tekenprogramma’s gegenereerd worden en wordt binnen Wagemaker in een vaste indeling gegenereerd. In tekenprogramma’s wordt een IFC-bestand gegenereerd en deze wordt opgeslagen in een map die door de tool te benaderen is. Vervolgens wordt de tool geopend en wordt het IFC-bestand ingeladen. De tool analyseert dit bestand en haalt hier enkel de benodigde informatie uit, namelijk materiaalnamen en bijbehorende hoeveelheden. Deze gegevens worden vervolgens doormiddel van een kleine database gekoppeld aan bepaalde categorieën en deze worden dan in een lijst weergegeven. Deze lijst wordt daarna door de tool omgezet in een PDC-bestand welke op de juiste manier opgebouwd wordt, zodat deze uit te lezen is door DuboCalc. Het PDC-bestand kan vervolgens in DuboCalc geopend worden, waardoor net als bij de DuboCalc koppeling de totale MKI-waarde van het project bepaald kan worden.

De kenmerken van deze tool zijn dat het net als de DuboCalc koppeling direct de MKI-waarde van een project en de materialen kan bepalen. Daarbij zijn er minder handelingen benodigd dan bij de DuboCalc koppeling, echter meer dan de Revit Plug-In. Een groot voordeel van deze tool is dat met behulp van een IFC-bestand gewerkt kan worden, waardoor deze tool heel generiek is. Dit betekent dat deze tool met alle tekenprogramma’s gebruikt kan worden en dus niet alleen met Revit. Helaas zitten er ook negatieve aspecten aan deze tool verbonden, namelijk dat deze tool nog een aantal handelingen meer vereist dan de Revit Plug-In. Het grootste nadeel van deze tool is echter dat een IFC-bestand erg complex is en de tool slechts een kleine hoeveelheid variabele data uit dit bestand moet halen. Dit betekent dat het programmeren van de tool erg lastig is.

Naast bovenstaande punten valt het resultaat van deze tool net als de DuboCalc koppeling buiten de scope van het onderzoek, vanwege de afbakening op de CO<sub>2</sub>-uitstoot, zowel tijdens het berekenen van het resultaat als de resultaatweergave zelf. MKI is echter een extra stap om de schaduwkosten van deze CO<sub>2</sub>-uitstoot te weergeven en om die reden valt MKI niet binnen de scope van dit onderzoek.

#### 4.1.4 Conclusie

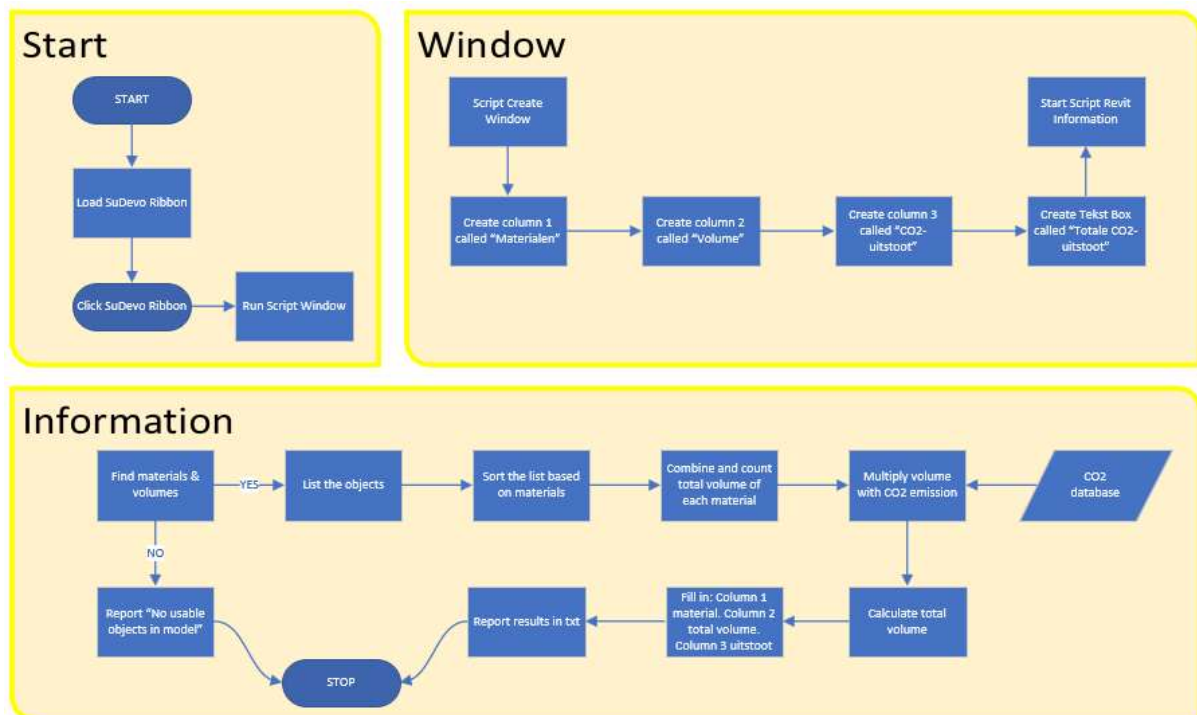
Vanwege de vele pluspunten die de Revit Plug-In met zich mee brengt en de nadelen bij de overige varianten is er gekozen om de Revit Plug-In verder uit te werken en dus deze tool te gaan ontwikkelen. Daarbij valt deze wijze van berekenen en de resultaatweergave die met behulp van deze tool gegenereerd binnen de scope van het onderzoek en zal dus ook letterlijk antwoord geven op de vraag. Dit is bij de andere twee tools niet het geval. Daarbij vergt de Revit Plug-In de minste handelingen, waardoor tijdens het modelleren sneller en op een eenvoudigere wijze een analyse gemaakt kan worden van het model in relatie tot CO<sub>2</sub>-uitstoot.



Figuur 19 Conclusie concept

## 4.2 CONCEPT

Uit de variantenstudie is gebleken dat de variant Revit Plug-In de beste keuze was om verder te ontwikkelen. In de volgende fase van het concept wordt de variant verder uitgewerkt, daarnaast is er een conceptweergave van de tool gemaakt. Tijdens deze fase wordt de variant zo uitgewerkt dat het meer toepassing heeft op de programmeertaal die we gebruiken. De flowchart wordt opgesplitst in onderdelen om dadelijk tijdens het programmeren de mogelijkheid te hebben de onderdelen apart te testen of ze werken. Daarnaast geeft het ook meer overzicht in alle rijen code die worden geschreven voor deze tool. Na verschillende gesprekken met werknemers binnen Wagemaker is het volgende diagram opgesteld.

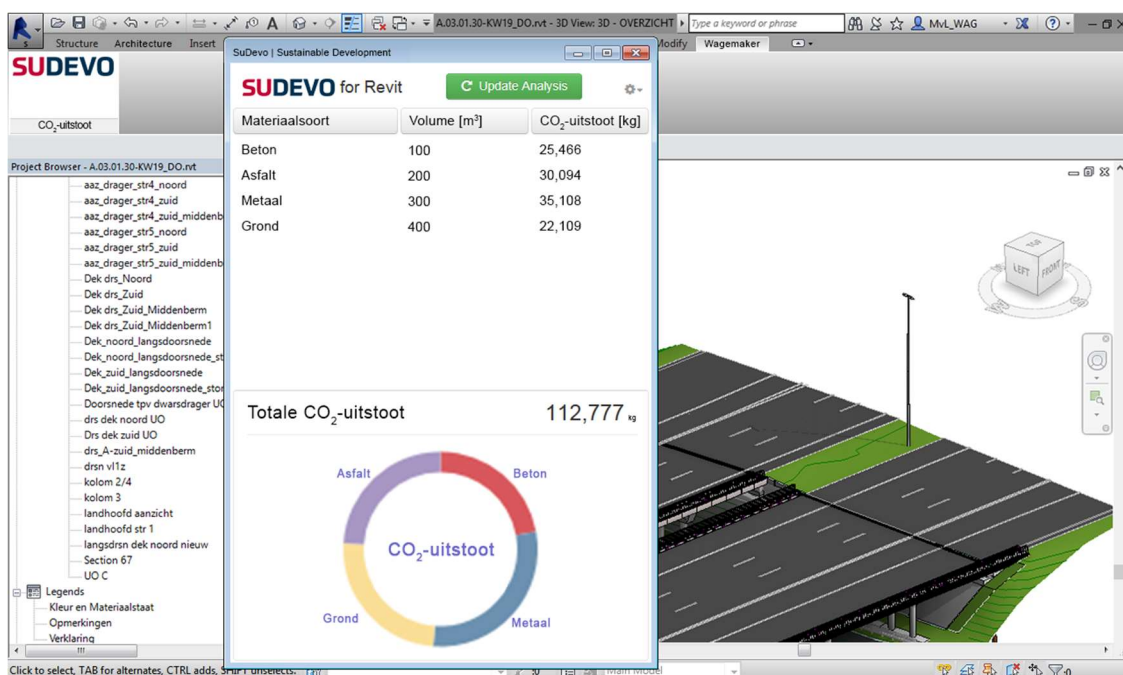


Figuur 20 Code concept uitwerking

Het proces wat de tool doorloopt, is hier opgesplitst in drie onderdelen. In Start wordt tijdens het opstarten van Revit de knop SuDevo toegevoegd aan de Revit interface. Op het moment dat er op de knop geklikt wordt, gaat de tool de code in Window doorlopen. De Window gaat hierbij de weergave maken waarin de informatie wordt afgebeeld. Hij maakt de kolommen aan waarin de gegevens ingevuld worden, daarnaast maakt hij een tekst vak waarin de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot wordt weergegeven. Daarna wordt aangegeven dat de tool kan beginnen met de code onder Information. In Information gaat de tool zoeken naar objecten met materialen en volumes in het model. Als hij deze niet vindt, rapporteert de tool dat hij geen objecten heeft kunnen vinden en breekt hij het proces af. Als hij de objecten wel vindt, gaat hij de elementen met materialen en volumes in een lijst onder elkaar zetten. Hierna telt hij de volumes van alle elementen met dezelfde materialen bij elkaar op. Nu blijft er dus een lijst over waarin nog alleen de materialen en volumes over blijven. Daarna vraagt hij de CO<sub>2</sub>-uitstootfactoren op uit de database en vermenigvuldigd deze met de volumes. Deze resultaten vult hij in de Window en schrijft hij weg in een txt-bestand.

#### 4.2.1 Concept Resultaatweergave

Als aanvulling op het programmeerschema is er ook een concept resultaatweergave opgesteld welke een beeld geeft van hoe SuDevo er uiteindelijk uit zou moeten komen te zien. In het eerste deel van de paragraaf concept worden de programmeerschema's toegelicht, maar dit omvat enkel de keuzes van het programmeren. Naast deze keuzes zijn er ook andere keuzes gemaakt, echter hebben deze juist te maken met de resultaatweergave. De resultaatweergave is hieronder weergegeven.



Figuur 21 SuDevo Concept Resultaatweergave

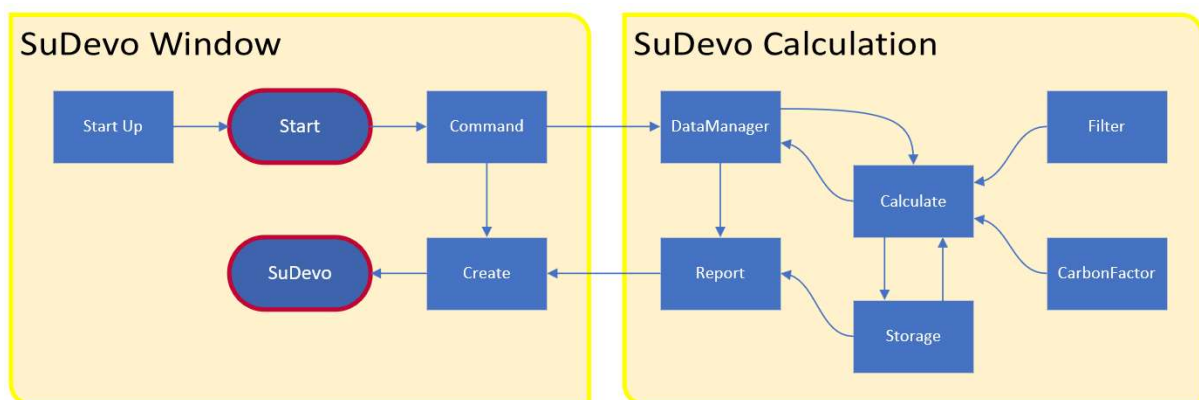
Het is de bedoeling dat de tool via een eigen aangemaakte tab genaamd 'Wagemaker' opgestart zal worden en laat vanuit daar direct de resultaatweergave zien. Op deze weergave is tevens een knop te vinden genaamd "Update Analysis". De bedoeling van deze knop is dat de resultaatweergave slechts op het moment dat de modelleur het wil geüpdatet kan worden, aangezien de tool anders continu berekeningen maakt. Dit continu berekenen, oftewel constant up-to-date houden, heeft nadelige gevolgen voor de prestaties van de computer, aangezien er continu een bepaald gedeelte van de rekenkracht van de CPU gebruikt wordt voor de tool. Dit is niet wenselijk en om die reden is er gekozen om een updateknop toe te voegen aan de weergave.

Naast bovenstaande punten zal er SuDevo ook een cirkeldiagram opgenomen zijn. Deze diagram zal het mogelijk maken om in één oogopslag te zien welke materialen de meeste CO<sub>2</sub>-uitstoten.

Daarbij zal de resultaatweergave tevens een 'modeless dialog' zijn. Dit betekent dat ondanks dat de resultaatweergave geopend is de modelleur nog wel in Revit door kan gaan met modeleren en dus niet eerst de resultaatweergave hoeft af te sluiten. Hierdoor zijn veranderingen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot eenvoudiger op te merken.

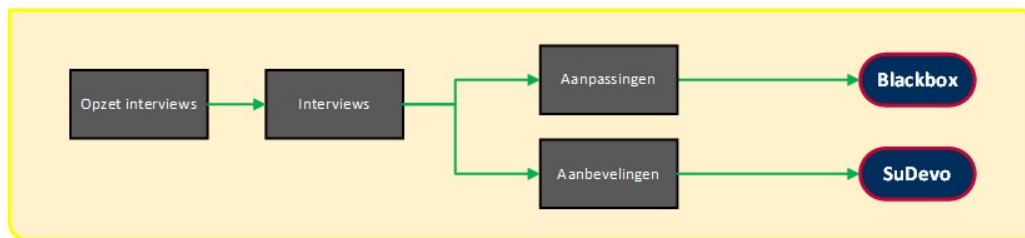
## 4.3 CONCEPT OPTIMALISATIE

Het diagram is na verschillende iteraties en gesprekken met werknemers binnen Wagemaker geoptimaliseerd tot de laatste variant. Deze variant vormt de basis voor het programmeren in de Whitebox. Alle processen in het diagram worden toegelicht in het hoofdstuk 6.1.



Figuur 22 Concept optimalisatie diagram

## 5. MARKET



Figuur 23 Market

In dit hoofdstuk zal ingegaan worden op de interviews met bedrijven en overheidsinstanties. Als eerste wordt omschreven welke bedrijven en overheidsinstanties benaderd zijn voor een interview en waarom juist deze bedrijven/overheidsinstanties gekozen zijn. Vervolgens wordt ingegaan op de resultaten, oftewel de belangrijkste punten die voortkomen uit de interviews.

### 5.1 ORGANISATIES

Gedurende het onderzoeken van de verschillende tools, databases, normen, berekeningsmethodes en dus de hele ontwikkeling binnen de markt over de jaren heen, is ook gekeken naar welke bedrijven en overheidsinstanties veel te maken hebben gehad met deze ontwikkelingen. Daarbij is ook gekeken naar welke bedrijven in de huidige tijd veel aan duurzaamheid werken en die Dirk en Sven momenteel zien als een van de koplopers op dit gebied. Uit deze analyse is bepaald dat het gewenst is om met in totaal acht externe bedrijven/overheidsinstanties in gesprek te gaan. De acht externe bedrijven/overheidsinstanties die gekozen zijn voor een interview zijn:

-  Royal HaskoningDHV;
-  Sweco;
-  NIBE;
-  Dura Vermeer;
-  BAM;
-  Provincie Noord-Brabant;
-  Rijkswaterstaat;
-  Gemeente Tilburg.

De keuzes voor Royal HaskoningDHV (RHDHV), NIBE en Rijkswaterstaat zijn ontstaan op basis van hun deelname aan de ontwikkeling van DuboCalc. DuboCalc is voor de tool SuDevo een voorbeeld in relatie tot de Nationale Milieudatabase en berekeningsmethode. Vanwege de intensieve bijdrage van deze bedrijven en overheidsinstantie aan de ontwikkeling van DuboCalc is ervoor gekozen om deze bedrijven te interviewen.

Naast RHDHV, NIBE en Rijkswaterstaat is gekozen voor Sweco, Dura Vermeer en BAM. De reden hiervoor is ontstaan op basis van de indruk die deze bedrijven uitstralen richting de buitenwereld. Dit heeft te maken met hoe de bedrijven richting de buitenwereld bekend maken en laten zien dat zij actief bezig zijn met verduurzaming en het reduceren van CO<sub>2</sub>-uitstoot.

Ook is ervoor gekozen om naast Rijkswaterstaat nog andere overheidsinstanties te interviewen, namelijk Provincie Noord-Brabant en Gemeente Tilburg. Op die manier is het mogelijk om een beeld te krijgen van de ideeën en visies die binnen deze opdrachtgevers spelen, zodat hier rekening mee gehouden kan worden gedurende de verder ontwikkeling van SuDevo.

## 5.2 INTERVIEWRESULTATEN

In deze paragraaf wordt er dieper ingegaan op de interviews die gehouden zijn met Royal HaskoningDHV (RHDHV), Sweco, BAM, Dura Vermeer en Provincie Noord-Brabant. De interviews zijn bedoeld als input voor de aanbevelingen richting Wagemaker en voor mogelijke aanpassingen op de conceptweergave. Uit deze interviews worden de punten, oftewel interviewresultaten, naar voren gehaald die een bijdrage hebben en kunnen leveren aan de (verdere) ontwikkeling van SuDevo.

Voor deze interviews is een interview formulier opgesteld. Op dit formulier zijn een aantal algemene zaken opgenomen, waaronder de naam van de geïnterviewde en de datum, tijd, locatie en duur van het interview. Vervolgens wordt er in relatie tot dit onderzoek een korte omschrijving gegeven over de aanleiding vanuit Wagemaker, wat de hoofdvraag is en worden er een aantal belangrijke punten naar voren gehaald wat betreft de afbakening.

Als eerste worden er een paar vragen gesteld welke belangrijk zijn voor de verwerking van het interview. Vervolgens worden er diverse algemene vragen gesteld en wordt het formulier afgesloten met een aantal vragen die over SuDevo gaan of waarvan de uitkomst een grote invloed heeft op het uiteindelijke resultaat van SuDevo. Het volledige interviewformulier is terug te vinden in bijlage VIII.

Het interviewformulier is tijdens de interviews de rode draad geweest voor het stellen van gerichte vragen naar diverse organisaties. Als hulpmiddel is ook een conceptweergave meegenomen van SuDevo, zodat de organisaties een beeld hadden van hoe SuDevo eruit moet gaan komen te zien. De belangrijkste punten/resultaten uit deze interviews zijn onderverdeeld in zes thema's, namelijk:

- ✚ Marktvisie;
- ✚ Tijdsduur van duurzaamheid integratie binnen projecten;
- ✚ Status van inzichtelijkheid van CO<sub>2</sub>-uitstoot binnen de organisatie;
- ✚ Relevantie SuDevo;
- ✚ Aanpassingen SuDevo;
- ✚ Functionaliteiten SuDevo.

De bovenste drie thema's maken duidelijk wat de visie van de markt is, waar de markt naar toe wil, hoeveel tijd het integreren van duurzaamheid binnen projecten in beslag neemt en wat de status is binnen organisaties om CO<sub>2</sub>-uitstoot inzichtelijk te maken. De overige drietal thema's zijn puur gericht op SuDevo. Deze thema's omschrijven de relevantie van SuDevo, de benodigde aanpassingen van de conceptweergave en welke functionaliteiten volgens de markt aan SuDevo toegevoegd moeten worden. Hieronder wordt per thema op ieder thema ingegaan in relatie tot de interviews. De volledige uitwerkingen van de interviews zijn terug te vinden in bijlage IX.

### 5.2.1 Marktvisie

Uit verschillende visies in de markt is gebleken dat veel organisaties druk bezig zijn met duurzaamheid en dat maatschappelijk verantwoord ondernemen een belangrijk onderwerp is binnen hun organisatie. De organisaties willen graag zoveel mogelijk duurzame en maatschappelijk nuttige projecten maken en uitvoeren.

Daarbij wil de branche ook inzichtelijk maken dat zij aan duurzaamheid werken en iets bijdragen aan de samenleving. Dit wordt op verschillende manieren aangetoond, namelijk door het gebruik van DuboCalc en de CO<sub>2</sub>-prestatieladder. Daarnaast zijn de organisaties ook bezig om haar eigen bedrijfsvoering en dergelijke te verduurzamen.

De focus van organisaties liggen vaak op meer dan enkel CO<sub>2</sub>-uitstoot of duurzaamheid, zij focussen ook op allerlei aspecten rondom deze begrippen. Hierbij gaat het dus ook om onder andere de levenscycluskosten, materiaalgebruik, klimaatverandering, energietransitie, circulariteit en het welzijn verbeteren van mens en dier. Organisaties zijn dus bereid om een bijdrage te leveren aan de verduurzaming van de wereld. Uiteindelijk is het wel gebleken dat deze initiatieven onder andere voortkomen uit het klimaatakkoord van Parijs en de Green Deal Duurzaam GWW 2.0. Daarnaast is binnen de provincie Noord-Brabant ook haar eigen bestuursakkoord belangrijk als het gaat om het verduurzamen van de markt.

Vanuit de geïnterviewde personen welke ook daadwerkelijk direct betrokken zijn bij het berekenen van duurzaamheid binnen projecten komt eigenlijk naar voren dat ze het allemaal eens zijn over één belangrijke stap. Deze stap is namelijk het ontwikkelen en invoeren van één standaard systematiek op het gebied van niet financiële eenheden (waaronder duurzaamheid) die bij alle projecten gehanteerd moet worden en gedragen wordt door de gehele sector. Dit maakt het namelijk mogelijk om projecten op een duurzamere manier te ontwikkelen en te realiseren. Daarbij zijn de geïnterviewde ook van mening dat elk bedrijf haar eigen tools mag ontwikkelen om hier invulling aan te geven en dat niet enkel DuboCalc gehanteerd hoeft te worden.

### 5.2.2 Tijdsduur van duurzaamheid integratie binnen projecten

Uit de gesprekken met de diverse organisaties is gebleken dat de tijdsduur om duurzaamheid binnen projecten te integreren sterk afhangt van een aantal factoren, namelijk:

- + Het type project;
- + Omvang/grootte van het project;
- + Beschikbaarheid van de benodigde gegevens;
- + Hoe gedetailleerd/nauwkeurig de berekeningen en resultaten volgens de opdrachtgever moeten zijn.

Bovenstaande factoren bepalen dus hoelang een organisatie bezig is met het integreren van duurzaamheid binnen projecten en om die reden wordt er een tijdsduur aangegeven van één dag tot een paar jaar.

### 5.2.3 Status van inzichtelijkheid van CO<sub>2</sub>-uitstoot binnen de organisatie

Uit de interviews is naar voren gekomen dat vrijwel elke organisatie binnen de branche gebruik maakt van DuboCalc. Organisaties gebruiken dit om op een gevalideerde methode iets te kunnen zeggen over duurzaamheid van hun aanbesteding of project. Daarbij is in aanbestedingen waar EMVI een belangrijke rol speelt DuboCalc momenteel ook een vereiste als methode om de aangeleverde gegevens te valideren. Naast DuboCalc worden er ook nog berekeningen handmatig uitgevoerd in Excel of met behulp van programma's als SimaPro en GaBi, waarin gekeken wordt naar de multi-levenscyclus en/of mono-levenscyclus benaderingen.

Vanuit de organisaties komt ook naar voren dat een aantal ook zelf werken of hebben gewerkt aan het ontwikkelen van tools op het gebied van duurzaamheid, CO<sub>2</sub>-uitstoot en/of circulariteit, maar dat een (geautomatiseerde) koppeling tussen een (3D-)model en een tool die in gaat op deze onderwerpen nog bij geen enkele organisatie aanwezig is. BAM heeft er daarnaast ook specifiek voor gekozen om juist geen tools te ontwikkelen. De tools die de organisaties al wel ontwikkeld hebben zijn:

- ✚ RHDHV heeft DuboMat en een tool (een CO<sub>2</sub>-kostencalculatiesysteem) voor aannemersbedrijf Plegt-Vos ontwikkeld;
- ✚ Sweco heeft ooit Suspindle ontwikkeld welke helaas minder breed gedragen wordt dan oorspronkelijk de bedoeling was. Daarnaast heeft zij ooit een tool gemaakt voor een project die gebaseerd was op DuboCalc en is zij momenteel een tool aan het ontwikkelen voor de gemeente Lelystad. Deze tool zal focussen op de circulariteit en zal een afwegingstabel gaan weergeven.

Daarbij was er binnen Dura Vermeer tot voor kort ook niemand/zeer weinig mensen werkzaam die enige kennis hadden op het gebied van duurzaamheid. Om die reden werden beslissingen op dit gebied in relatie tot projecten altijd uitbesteed aan andere partijen. Onlangs is er echter een manager duurzaamheid in dienst getreden en deze persoon zal als vraagbaak gaan dienen als het gaat om het integreren van duurzaamheid binnen projecten, maar ook binnen de eigen bedrijfsvoering.

#### 5.2.4 Relevantie SuDevo

Vanuit de interviews komt duidelijk naar voren dat de relevantie van een tool als SuDevo daadwerkelijk aanwezig is en alle bedrijven zijn ook erg geïnteresseerd in de (verdere) ontwikkeling van SuDevo. De bedrijven geven aan dat automatisering belangrijk is, omdat daardoor projecten en aanpassingen sneller doorberekend kunnen worden en berekeningen efficiënter worden. Dit maakt het tevens mogelijk om sneller een oordeel te geven op het gebied van onder andere duurzaamheid en CO<sub>2</sub>-reductie. SuDevo maakt volgens de bedrijven dus al de eerste stappen richting een volledig geautomatiseerd systeem.

Daarnaast maakt SuDevo het ook mogelijk dat tekenaars en modelleurs een beeld krijgen welke invloed hun aanpassingen hebben op het milieu en zij zelf dus ook optimalisaties en verbeteringen door kunnen voeren op hun modellen. Daarbij maakt SuDevo het ook mogelijk om CO<sub>2</sub>-uitstoot binnen modellen te managen.

De organisaties zijn wel van mening dat SuDevo verder uitgebreid moet worden en dat het ook een gevalideerd en geaccepteerd middel wordt om projecten te beoordelen op onder andere duurzaamheid.

#### 5.2.5 Aanpassingen SuDevo

Uit de interviews is gebleken dat elke organisatie tevreden is over hoe mooi en gebruiksvriendelijk de tool eruitziet en zien zij de conceptweergave als een goede eerste aanzet. De geïnterviewde zijn van mening dat de tool al een eerste indruk geeft van de CO<sub>2</sub>-uitstoot of zelfs al de eerste optimalisaties/verbeteringen op het gebied van materiaalgebruik inzichtelijk maakt. Daarbij zien een paar geïnterviewde de tool eigenlijk ook al als een eerste koppeling met DuboCalc. Sommige organisaties adviseren wel om gemiddeldes te gebruiken wanneer specifieke data nog niet bekend is en dus niet met een boven- en ondergrens te gaan werken.

## 5.2.6 Functionaliteiten SuDevo

Uit de interviews met bedrijven zijn een aantal functies naar voren gekomen die bedrijven zien als waardevolle toevoegingen op het al bestaande idee en de gepresenteerde conceptweergave. Hieronder wordt op basis draagkracht een lijst weergegeven van de functionaliteiten. Deze draagkracht betekent dat hoe hoger de functionaliteit op de lijst is weergegeven des te meer bedrijven deze functionaliteit benoemd hebben. De functionaliteiten zijn:

1. De organisaties geven wel aan dat de data en materialen die de tool gebruikt en toepast specifiek moet worden en daarnaast zijn zij van mening dat ook de gehele levensduur en levensloop inclusief circulariteit meegenomen moet gaan worden in SuDevo. Dit betekent dus dat alle productie- en levensprocessen meegenomen moeten gaan worden in de uiteindelijke CO<sub>2</sub>-uitstoot van een materiaal.
2. Een exportfunctie naar pdf, Excel of nog een ander optie. Als reden geven de bedrijven aan dat een exportfunctie de verwerking van de resultaten gemakkelijker maakt ook in relatie tot het opstellen van rapportages. De mening over de gedetailleerdheid van deze export varieert wel, aangezien sommige organisaties alleen de resultaten willen exporteren en andere willen ook de naam en versie van de tool en de database en de contactinformatie in de export meenemen. RHDHV zou zelfs graag willen dat specificaties en uitgangspunten van de berekeningsrapporten in deze export meegenomen worden. Daarbij maakt een export naar Excel het mogelijk om deze export ook in andere programma's toe te passen.
3. De organisaties vinden het ook nuttig als in SuDevo op materialen geklikt kan worden, zodat deze in Revit oplichten. Dit maakt het voor hun mogelijk om in één oogopslag te zien welke elementen verbeterd/geoptimaliseerd kunnen worden.
4. Een koppeling met DuboCalc wordt door sommige organisaties gezien als waardevol, maar andere organisaties zijn hierop tegen. Wanneer SuDevo uiteindelijk dezelfde resultaten kan weergeven als DuboCalc is DuboCalc niet meer benodigd en is een koppeling niet meer waardevol. Een tijdelijke koppeling met DuboCalc is dus wel mogelijk, maar SuDevo moet zo snel mogelijk standalone worden. Daarentegen dient SuDevo wel een gevalideerd en geaccepteerd middel te zijn, zodat het DuboCalc ook daadwerkelijk kan vervangen.
5. Een paar organisaties zien het ook als waardevol om kosten en in eerste instantie voornamelijk de milieukosten (MKI-waarden) mee te nemen in SuDevo. Dit maakt het mogelijk voor bedrijven om ook sneller de financiële gevolgen van bepaalde keuzes in beeld te brengen.
6. Organisaties zien het ook als waardevol om zelf uitstoot gegevens in SuDevo toe te voegen. Om die reden wordt ook geadviseerd om eens te kijken naar het programma SimaPro, de werking hiervan en welk resultaat dit programma geeft als het gaat om CO<sub>2</sub>-uitstoot.

Naast bovengenoemde functionaliteiten zijn er ook nog een aantal andere functionaliteiten die vanuit één organisatie gewenst is, namelijk:

- ✚ Een categorische indeling blijven toepassen, omdat dit sneller duidelijk maakt binnen welke categorie de grootste verbeteringen gedaan kunnen worden.
- ✚ Een procentueel verschil geven tussen een oude en een nieuwe analyse.
- ✚ Naast de NMD ook de Ecolnvent database gaan gebruiken om CO<sub>2</sub>-uitstoot van materialen te gaan bepalen.
- ✚ Daarnaast wordt ook aangegeven om eens te kijken naar een samenwerkingsverband met grote organisaties als One Click LCA. Het is namelijk interessant voor grote organisaties als er een tool beschikbaar is die over de hele wereld toegepast kan worden.

### 5.2.7 Tips

---

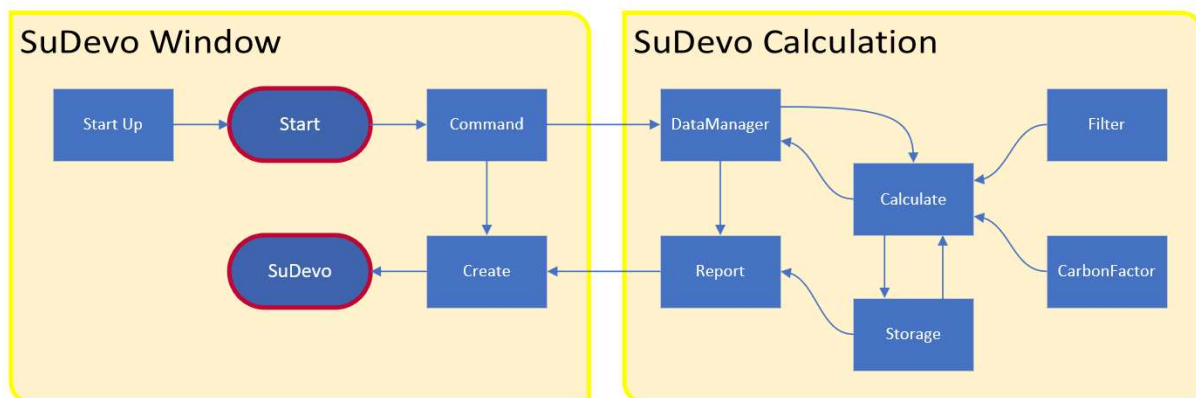
Peter Gosselink van RHDHV heeft ook een tip gegeven, namelijk dat wanneer DuboCalc gebruikt wordt om uitstoot of MKI-waarden weer te geven of een koppeling gemaakt wordt met DuboCalc, SuDevo afhankelijk zal zijn van DuboCalc en in dit geval dus Cenosco. Daarbij zal de tool ook in enig opzicht binnen het verdienmodel van Cenosco vallen. Hij geeft aan dat voor SuDevo juist de data die DuboCalc gebruikt, oftewel de data uit de NMD juist belangrijk is om de CO<sub>2</sub>-uitstoot te bepalen en niet te rekenapplicatie (DuboCalc) die hier gebruik van maakt. Hij adviseert om SuDevo te ontwikkelen als losstaande en onafhankelijke tool.

## 6. PROGRAM

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het daadwerkelijk programmeerproces, oftewel wordt omschreven hoe het programmeren te werk zal gaan en wat hiervoor de gekozen structuur is. Eerst wordt in de 'Whitebox' de werking van de code in de tool toegelicht. In de paragraaf 'Greybox' wordt omschreven hoe de tool getest zal worden. In 'Blackbox' worden nog de laatste aanpassing doorsproken die nog zijn doorgevoerd voordat de tool gepubliceerd werd.

### 6.1 WHITEBOX

De code van de tool is opgedeeld in meerdere delen. Deze delen onderscheiden zich van elkaar door verschillende processen die de tool uitvoert te bevatten. Elk onderdeel voert een deel van de code uit. In het onderstaande diagram zijn alle processen te zien van de tool. De processen zijn opgedeeld onder twee hoofdkoppen: SuDevo Window en SuDevo Calculation. SuDevo Window bevat alle processen die betrekking hebben op de weergave en het opstarten van de tool. SuDevo Calculation heeft betrekking op de berekening van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van het model.



Figuur 24 Concept optimalisatie diagram

Elke proces wat de tool uitvoert wordt apart toegelicht in de onderstaande stukken. Samen vormen zij de beschrijving van de code die de tool moet uitvoeren om bij het eindresultaat te komen.

#### 6.1.1 Start Up

Dit stuk van de code begint te werken op het moment dat men Revit opstart vanuit Windows. De Start Up zorgt ervoor dat de tool zichtbaar is in de Ribbon van Revit onder de naam Wagemaker. Onder de Ribbon van Revit vallen bijvoorbeeld de knoppen waarmee de Architecture of Structure tabs worden geopend. Als men op de knop Wagemaker klikt, wordt de bijbehorende tab uitgeklaapt en is daar de SuDevo knop te vinden. Op het moment dat men op de SuDevo knop klikt, gaat de tool haar code uitvoeren en begint de tool bij de Command.

#### 6.1.2 Command

De Command is de hoofdslagader van de tool. Hierin worden de rest van de processen van de code aangestuurd. Daarnaast zorgt het ervoor dat de code in de goede volgorde wordt doorlopen. De Command stuurt de DataManager en Create aan.

#### 6.1.3 DataManager

De DataManager is weer de hoofdslagader van het berekeningsgedeelte van de tool. Hij stuurt net zoals de Command de verschillende processen binnen de Calculation aan.

#### 6.1.4 Calculate

---

Calculate voert alle berekeningen uit die moeten plaatsvinden om het eindresultaat te bereiken. Het vraagt de gegevens op uit de Filter en CarbonFactor. Daarmee berekent het de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de materialen en de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot. Deze gegevens zet hij weer weg in de Storage en rapporteert dan weer terug naar de DataManager dat de berekening is uitgevoerd.

#### 6.1.5 Filter

---

De Filter zorgt ervoor dat uit het gehele model alle elementen uit het actieve view worden meegenomen. Hij zorgt ervoor dat er alleen elementen worden meegenomen die een volume hebben en een materiaaleigenschap hebben.

#### 6.1.6 CarbonFactor

---

In dit stuk van de code worden de CO<sub>2</sub>-uitstootfactoren in de SuDevo Database geraadpleegd. Aan de hand van materiaalnamen die uit de Filter zijn gekomen worden de bijbehorende uitstootfactoren uit de database gehaald en teruggegeven aan Calculate.

#### 6.1.7 Storage

---

Dit is een stuk code die fungeert als tijdelijk opslag voor de gegevens die worden gebruikt door de code. Deze opslag bestaat uit de materialen, volumes en de CO<sub>2</sub>-uitstoot.

#### 6.1.8 Report

---

Report zet de gegevens uit de Storage om naar de goede vorm zodat Create het kan gebruiken om te weergeven in de window.

#### 6.1.9 Create

---

Op het moment dat de Create te horen krijgt van de Command dat de DataManager klaar is met de berekening, zal hij de gegevens opvragen uit Report. Daarna zorgt Create ervoor dat de window van SuDevo in Revit verschijnt met alle gegevens van het model ingevuld. Het eindresultaat is dan te zien in de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van het model. Daarnaast heeft het window ook nog een updateknop. Create zorgt ervoor dat op het moment er op deze knop gedrukt wordt de berekening weer opnieuw wordt uitgevoerd en gerapporteerd.

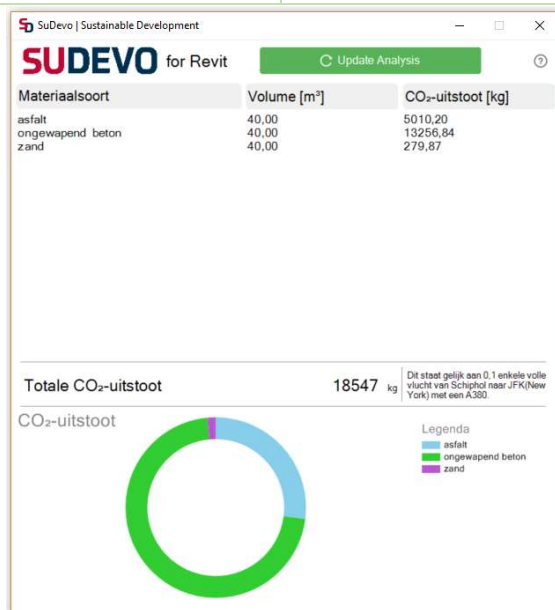
## 6.2 GREYBOX

In het onderstaande stuk wordt er dieper ingegaan op de test fase van de tool. De testfase garandeert dat de tool de juiste berekening uitvoert en de gewenste materialen gebruikt voor deze berekening. Eerst wordt er aan de tool aan de hand van een handberekening gecontroleerd. Als de tool dan de juiste eindresultaten weergeeft, gaat er getest worden met meer complexe en grotere modellen. Deze modellen kunnen aan de hand van schedules in Revit zelf worden gecontroleerd.

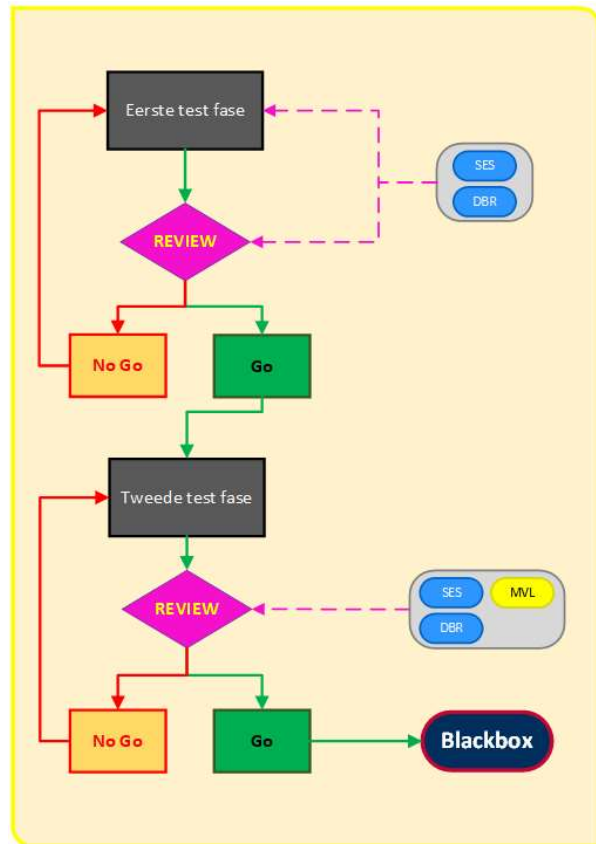
In de eerste test fase wordt de tool gecontroleerd met behulp van de handberekening, deze berekening is terug te vinden in het hoofdstuk Calculations. Hetzelfde model dat als voorbeeld is gebruikt bij de handberekening wordt ingeladen in Revit. De tool SuDevo wordt opgestart vanuit Revit en de tool berekent de CO<sub>2</sub>-uitstoot. Zoals te zien is in de onderstaande figuren komen de resultaten bijna overeen en berekent SuDevo de juiste waarden voor de CO<sub>2</sub>-uitstoot.

Tabel 2 Handberekening

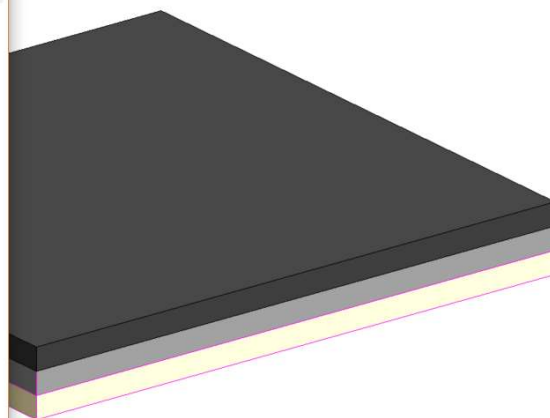
| Materiaal | Volume (m <sup>3</sup> ) | CO <sub>2</sub> -uitstootfactor | CO <sub>2</sub> -uitstoot (kg) |
|-----------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Asfalt    | 40                       | 125,26                          | 5010,40                        |
| Beton     | 40                       | 331,42                          | 13256,80                       |
| Zand      | 40                       | 7,00                            | 280,00                         |
|           |                          | Totale uitstoot:                | 18547,20                       |



Figuur 26 SuDevo analyse handberekening model



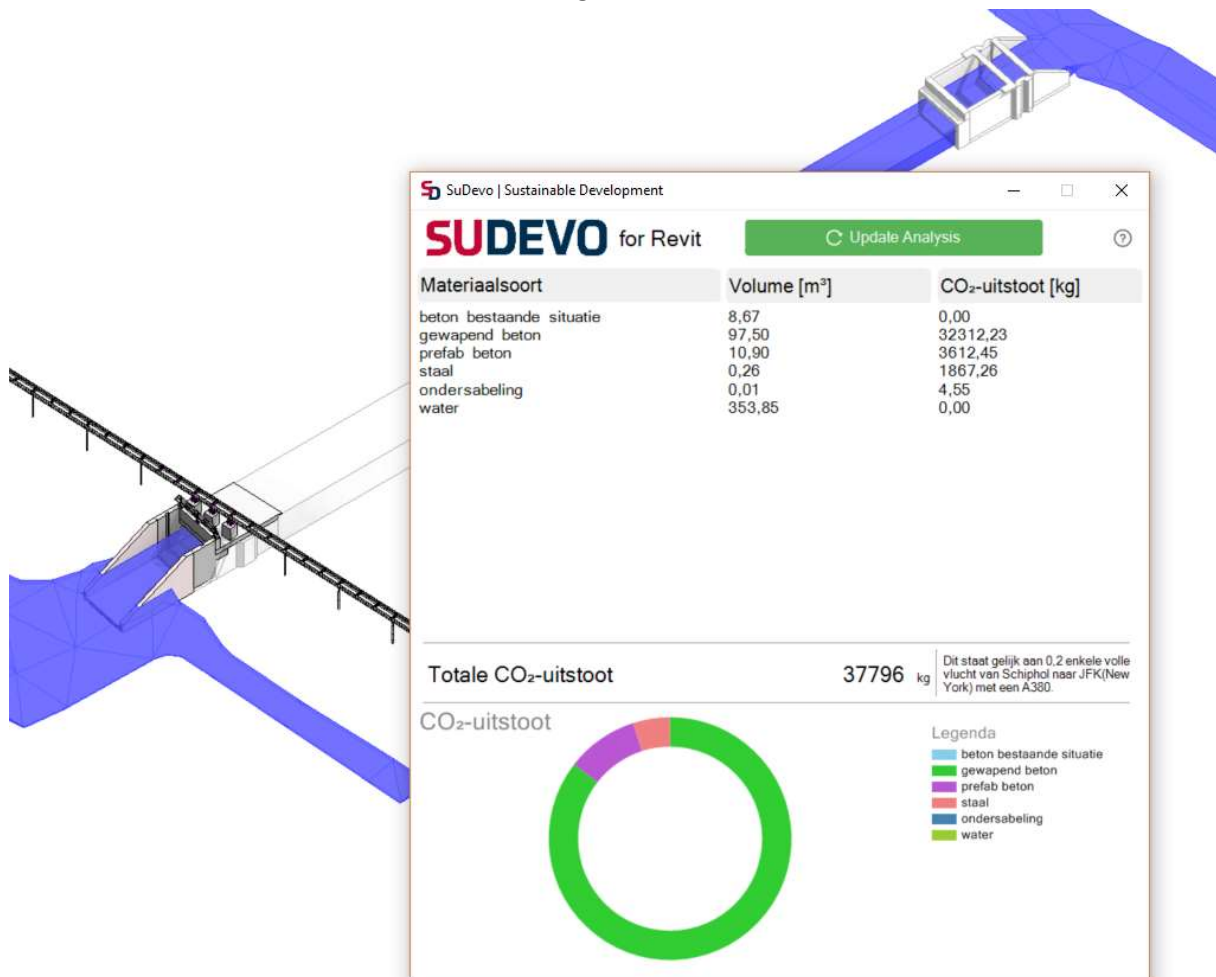
Figuur 25 Greybox



Het kleine verschil in de waardes tussen de berekening is te vinden in het afronden van getallen. In de handberekening zijn de CO<sub>2</sub>-uitstootfactoren afgerond op 2 decimalen. SuDevo rekent met getallen die bepaald zijn tot ongeveer 15-17 decimalen achter de komma. Vandaar de kleine afwijking bij de CO<sub>2</sub>-uitstoot van beton en zand.

Voor de tweede test fase wordt er gebruik gemaakt van een duiker model dat Wagemaker voor een project heeft gemodelleerd. Om hier een handberekening voor uit te voeren wordt erg arbeidsintensief en daarom is er gekozen de CO<sub>2</sub>-uitstoot te berekenen met behulp van het schedule in Revit zelf. Het schedule in Revit geeft de mogelijkheden parameters toe te voegen aan de elementen. Daarnaast heeft het ook de mogelijkheid parameters met elkaar te vermenigvuldigen. Dit zorgt ervoor dat er in het schedule een vermenigvuldiging gemaakt kan worden tussen de volumes en de CO<sub>2</sub>-uitstootfactoren.

Met deze gegevens kan er dan een vergelijking worden gemaakt tussen de waardes van de CO<sub>2</sub>-uitstoot uit SuDevo en het schedule van het model. Eerst is het model met SuDevo weergegeven en daarna wordt het schedule van het model weergegeven.



Figuur 27 SuDevo analyse duiker model

In SuDevo is ook op te merken dat er een materiaal in het model zit dat niet te vinden in de SuDevo Database, namelijk 'beton bestaande situatie'. Dit element met dat materiaal valt onder de bestaande situatie van het project. Dit element hoeft dus niet gebouwd te worden en wordt daarom niet meegenomen in de berekening. Daarnaast is ook te zien dat water ook gemodelleerd is in het model. Water is ook een materiaal dat te vinden is in de SuDevo database, echter hangt aan dit materiaal geen CO<sub>2</sub>-uitstoot. Water valt niet binnen de scope van de berekening van de milieuprestatie van een project. Daarom is de CO<sub>2</sub>-uitstoot van water nul.

| <Hoeveelheden Materialen>          |                             |             |              |                 |                               |
|------------------------------------|-----------------------------|-------------|--------------|-----------------|-------------------------------|
| A                                  | B                           | C           | D            | E               | F                             |
| Objectnaam                         | Materiaal                   | Volume (m3) | CarbonFactor | Aantal objecten | CO <sub>2</sub> -uitstoot(kg) |
| beton bestaande situatie           |                             |             |              |                 |                               |
| gm_uitstroom Zuid                  | beton bestaande situatie    | 8,67        | 331,42       | 1               | 2872,51                       |
| beton bestaande situatie           |                             | 8,67        |              | 1               | 2872,51                       |
| gewapend beton                     |                             |             |              |                 |                               |
|                                    | gewapend beton              | 97,50       |              | 14              | 32312,14                      |
| gewapend beton                     |                             | 97,50       |              | 14              | 32312,14                      |
| ondersabeling                      |                             |             |              |                 |                               |
|                                    | ondersabeling               | 0,01        | 7130,23      | 6               | 97,80                         |
| ondersabeling                      |                             | 0,01        |              | 6               | 97,80                         |
| prefab beton                       |                             |             |              |                 |                               |
|                                    | prefab beton                | 10,90       | 331,42       | 2               | 3612,44                       |
| prefab beton                       |                             | 10,90       |              | 2               | 3612,44                       |
| Render Material 255-255-255        |                             |             |              |                 |                               |
| gm_DYN geleiderailplank_zuid_nieuw | Render Material 255-255-255 | 0,00        | 7130,23      | 1               | 0,00                          |
| Render Material 255-255-255        |                             | 0,00        |              | 1               | 0,00                          |
| staal                              |                             |             |              |                 |                               |
|                                    | staal                       | 0,26        | 7130,23      | 40              | 1867,26                       |
| staal                              |                             | 0,26        |              | 40              | 1867,26                       |
| water                              |                             |             |              |                 |                               |
| gm_inplace_water                   | water                       | 353,85      | 0,00         | 1               | 0,00                          |
| water                              |                             | 353,85      |              | 1               | 0,00                          |
| Grand total                        |                             | 471,19      |              | 65              | 40762,14                      |

Figuur 28 Revit Schedule van duiker model

Aan de hand van het schedule en SuDevo kan nu ook weer de waardes voor CO<sub>2</sub>-uitstoot worden vergeleken. Hier zijn ook weer kleine verschillen te zien tussen het schedule en SuDevo. Dit is weer de oorzaak van afrondingen in het schedule. Daarnaast is een verschil te vinden bij het materiaal ondersabeling (betonmortel) en staal. Dit heeft als oorzaak dat de voeten van de geleiderail gemodelleerd worden met 2 materialen. Het schedule van Revit heeft een beperking op dit vlak en laat elke voet van de geleiderail met het bijbehorende volume twee keer in de lijst voorkomen. Een keer onder het materiaal ondersabeling en een keer met hetzelfde volume bij staal. SuDevo houdt hier daarentegen wel rekening mee en vandaar het verschil in CO<sub>2</sub>-uitstoot.

Op deze manier is de tool meerdere keren getest met andere modellen. Tijdens deze testen kwamen soms wat problemen opdagen maar deze waren met behulp van aanpassingen in de code van de tool altijd op te lossen. SuDevo is met succes uit de Greybox fase gekomen en is daarna verder ontwikkeld in de Blackbox fase.

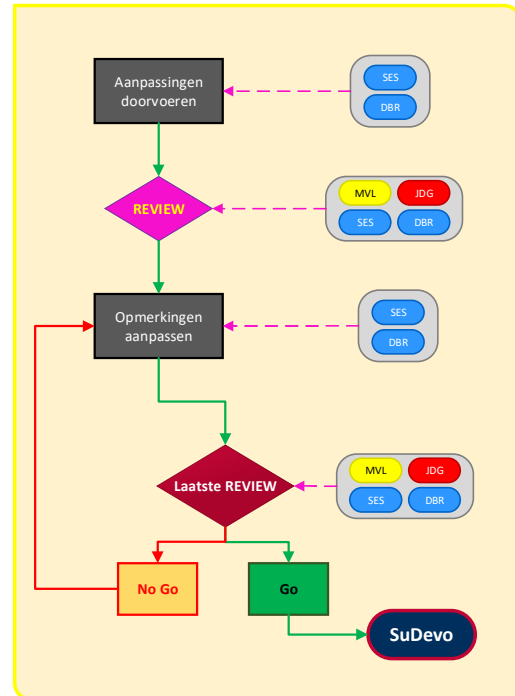
## 6.3 BLACKBOX

In dit hoofdstuk worden de laatste aanpassingen of extra functies die toegevoegd zijn aan de tool naar voren gehaald.

Uit het markonderzoek is gebleken dat er geen opmerkingen op SuDevo waren die op korte termijn voor de publicatie van de tool konden worden doorgevoerd. Tijdens een review binnen Wagemaker kwamen nog wel opmerkingen naar voren die nog aanpasbaar waren binnen de tijd van het onderzoek.

In deze review kwam al snel de vraag naar voren wat de hoeveelheid CO<sub>2</sub>-uitstoot in kilogrammen nou werkelijk betekend. Als aanvulling op deze hoeveelheid zou er een herkenbare waarde toegevoegd moeten worden, zodat de hoeveelheid CO<sub>2</sub>-uitstoot in kilogrammen begrijpelijk wordt.

In de beginfase van het afstuderen is hier ook meerdere malen over gesproken, echter is daar nooit een keuze overgemaakt.



Figuur 29 Blackbox

Desondanks kwam in samenspraak met Wagemaker de optie naar voren om de hoeveelheid CO<sub>2</sub>-uitstoot om te rekenen naar een herkenbare waarde in de zin van vliegtuigkilometers. Bij vliegtuigkilometers is het echter nog lastig om in te schatten wat het aantal kilometers nou precies representeert. Om die reden is er gekozen om de uitstoot herkenbaar te maken door het aantal enkele volle vluchten van Schiphol naar JFK (New York) met een A380 weer te geven. Een Airbus A380 produceert 75 gram CO<sub>2</sub> per passagier per km volgens Airbus (Starmer-Smith, 2007). Als er dan uitgegaan wordt van een bezetting van 525 passagiers en een afstand van 5.849,36 km (AMS-JFK), resulteert dit een totale uitstoot van 230.318,55 kg CO<sub>2</sub> per enkele volle vlucht. Een voorbeeld van een analyse waarin deze herkenbare waarde is toegepast is in het figuur hieronder weergegeven.

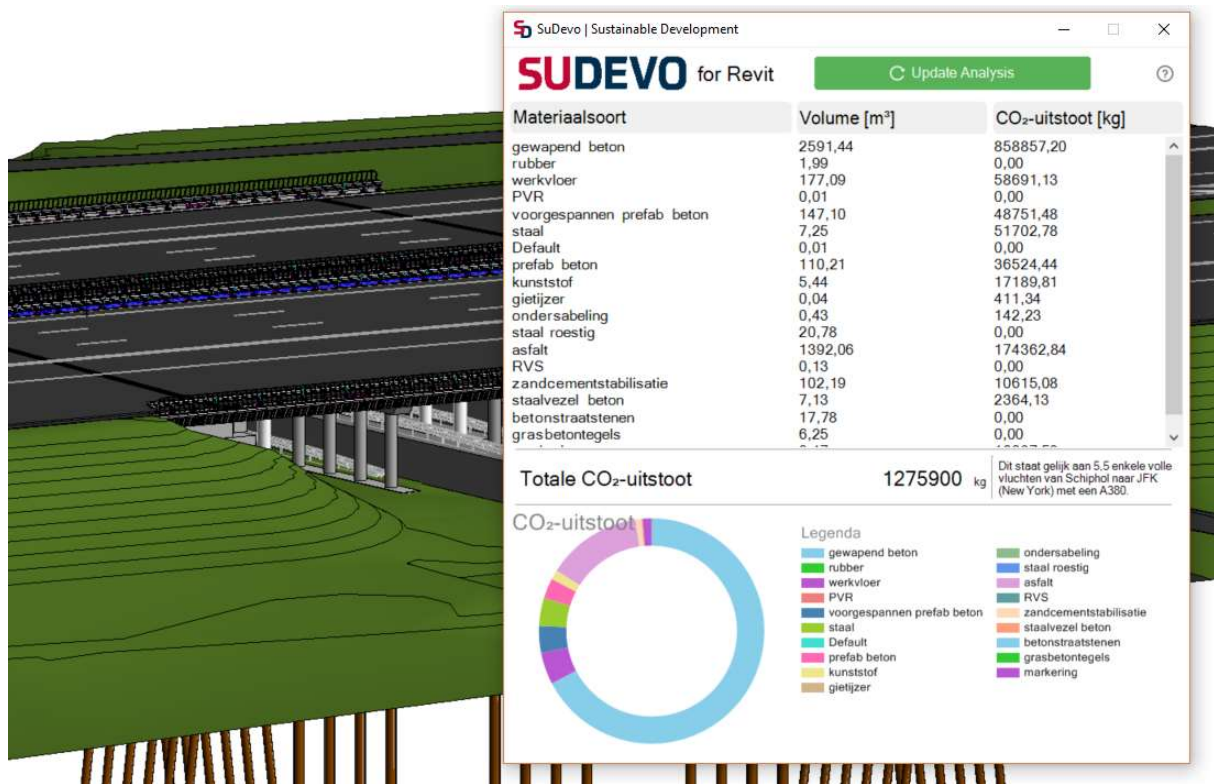
**Totale CO<sub>2</sub>-uitstoot**

**1275900** kg

Dit staat gelijk aan 5,5 enkele volle vluchten van Schiphol naar JFK(New York) met een A380.

Figuur 30 Weergave Totale CO<sub>2</sub>-uitstoot SuDevo

Na een laatste review en het toevoegen van bovenstaande functie/weergave is de tool opnieuw gestart in Revit om het eindresultaat van de Program fase te weergeven. De tool heeft in onderstaande afbeelding de CO<sub>2</sub>-uitstoot van alle constructiematerialen berekend die in het model te vinden zijn en die zijn opgenomen in de SuDevo Database.



Figuur 31 SuDevo Eindresultaat

## 7. CONCLUSIE

In het dit rapport is gekeken naar de inzichtelijkheid van duurzaamheid binnen Wagemaker en hoe daar invulling aan kan worden gegeven. Via een literatuurstudie, interne gesprekken, marktonderzoek en de ontwikkeling van SuDevo is dit rapport tot dit stadium gekomen, namelijk de conclusie. In de afgelopen stukken zijn de subvragen al aanbod gekomen en beantwoord. Hier wordt in onderstaande koppen kort op ingegaan om daarmee uiteindelijk het antwoord te formuleren op de deelvragen en de hoofdvraag:

***‘Hoe kan geautomatiseerd de Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-uitstoot van constructiematerialen inzichtelijk gemaakt worden tijdens de ontwerpfase?’***

### 7.1 DE ONDERZOEKSVRAGEN

In het onderzoek zijn de verschillende deelvragen aan bod gekomen, hieronder worden ze nog een keer weergegeven.

*Deelvraag 1:* Wat is er beschikbaar om de milieu-impact te bepalen?

*Deelvraag 2:* Hoe wordt de tool ontwikkeld?

*Deelvraag 3:* Wat is er nodig om de CO<sub>2</sub>-berekening te automatiseren?

*Deelvraag 4:* Wat zijn de wensen vanuit de markt in relatie tot de tool?

In de volgende koppen worden de deelvragen aan de hand van de subvragen beantwoord. Daarnaast wordt ook aangegeven waar in het onderzoek de subvragen worden beantwoord.

#### 7.1.1 Milieu-impact

De eerste subvraag ‘Welke ontwikkelingen hebben tot op heden plaatsgevonden binnen de GWW rondom milieu-impact?’ is beantwoord in hoofdstuk 3.1.1. Over de jaren heen zijn er veel ontwikkelingen geweest op het gebied van duurzaamheid. Eerst vormden dit zichzelf in normen die gingen over verbetering van milieumanagement en het in kaart brengen van milieu-impact. Pas sinds de laatste jaren is er een norm die zich specifiek richt op het bepalen van de milieu-impact van de GWW-sector, namelijk de ‘Bepalingsmethode Milieuprestatie gebouwen en GWW-werken’.

De subvraag ‘Welke tools zijn momenteel beschikbaar binnen de GWW?’ is beantwoord in hoofdstuk 3.1.2. Binnen de GWW-sector zijn in de laatste jaren meerdere tools op de markt gebracht die te maken hebben/hadden met duurzaamheidsberekeningen. Daarvan zijn er momenteel twee van overgebleven die ondersteund en gevraagd worden door overheidsinstanties, namelijk DuboCalc en de CO<sub>2</sub>-prestatieladder.

De subvraag ‘Kunnen deze tools bijdragen aan de Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-uitstoot?’ is beantwoord in hoofdstuk 3.1.2. DuboCalc rekent de gehele milieu-impact uit van een project en maakt daarbij ook gebruik van de ‘Bepalingsmethode Milieuprestatie gebouwen en GWW-werken’. Een onderdeel van de milieu-impact is de categorie klimaatverandering. Deze categorie weergeeft de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van het product over zijn levensloop. DuboCalc geeft hierbij ook de mogelijkheid de Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-uitstoot te bekijken. De CO<sub>2</sub>-prestatieladder kan indirect bijdragen aan de Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-uitstoot door het inzichtelijk maken van de CO<sub>2</sub>-footprint van processen binnen de GWW. Daarnaast heeft de prestatieladder ook invloed op de aanbevelingen van dit onderzoek.

De subvraag 'Welke milieudatabases zijn er bekend in relatie tot CO<sub>2</sub>-uitstoot?' is beantwoord in hoofdstuk 3.1.2.2. Binnen Nederland wordt er gebruikt gemaakt van een centrale milieudatabase om milieu-impact berekeningen uit te voeren, de Nationale Milieudatabase. Daarnaast wordt Ecoinvent wereldwijd gebruikt voor de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de achtergrondprocessen.

De subvraag 'Welke milieudatabase is geschikt voor onze tool?' is beantwoord in hoofdstuk 3.3. De NMD (Nationale Milieudatabase) is geschikt voor onze tool, omdat in deze database alle geverifieerde data van constructiematerialen kan worden gevonden. Daarnaast is de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de productiefase van de materialen apart weergegeven en dit zorgt voor een eenvoudige extractie van de gegevens.

De subvraag 'Aan welke eisen moet de inputdata voldoen?' is beantwoord in hoofdstuk 3.2.1. De gegevens die gebruikt worden om de CO<sub>2</sub>-uitstoot te berekenen moeten zijn opgesteld met behulp van de LCA-methode. Deze eisen staan beschreven in de Bepalingsmethode Milieuprestatie die gebaseerd is op de norm NEN-EN 15804:2012.

Met behulp van de subvragen kan er antwoord worden gegeven op de deelvraag 'Wat is er beschikbaar om de milieu-impact te bepalen?' Naast de 'Bepalingsmethode Milieuprestatie voor Gebouwen en GWW-werken' is de tool DuboCalc beschikbaar om de milieu-impact te bepalen. Deze norm en dit middel maken gebruik van geverifieerde gegevens uit de Nationale Milieudatabase.

### 7.1.2 Tool ontwikkeling

---

De subvraag 'Op welke manier wordt de tool ontwikkeld?' is beantwoord in hoofdstuk 2.1. Het proces dat is doorlopen om tot het eindresultaat van de tool te komen is weergegeven in de SuDevo Development Pipeline.

De subvraag 'Op welke manier wordt de tool getest?' is beantwoord in hoofdstuk 3.2.3. De tool is getest aan de hand van een handberekening en met behulp van het schedule in Revit. De gegevens die voortkomen uit een analyse van het Revit model door SuDevo worden dus telkens vergeleken met de resultaten uit de handberekening en het schedule.

Met behulp van de subvragen kan er antwoord worden gegeven op de deelvraag 'Hoe wordt de tool ontwikkeld?' De tool is ontwikkeld met behulp van het proces dat is weergegeven in de SuDevo Development Pipeline. Daarnaast is tijdens het programmeren van de tool steeds gebruik gemaakt van de handberekening om de resultaten van de tool te controleren.

### 7.1.3 Automatisering

---

De subvraag 'Welke standaarden worden gebruikt om CO<sub>2</sub>-uitstoot te berekenen?' is beantwoord in hoofdstuk 3.2.1. De 'Bepalingsmethode Milieuprestatie voor Gebouwen en GWW-werken' die gebaseerd is op de NEN-EN 15804:2012 is de standaard die wordt gebruikt om de CO<sub>2</sub>-uitstoot te berekenen.

De subvraag 'Welke softwarepakketten zijn bruikbaar voor CO<sub>2</sub>-berekeningen?' is beantwoord in hoofdstuk 3.4. De tekenprogramma's die bij Wagemaker worden gebruikt zijn Revit, AutoCad en Allplan. De softwarepakketten die bij Wagemaker worden gebruikt zijn Visual Studio en Dynamo. De programmeertalen die bij Wagemaker worden gebruikt zijn C#, Python en Visual Basic.

De subvraag 'Welk softwarepakket is het meest geschikt in combinatie met het onderzoek?' is beantwoord in hoofdstuk 3.4. Tijdens interne dialogen met collega's binnen Wagemaker is naar voren gekomen dat Revit gebruikt zal worden als tekenprogramma waarin SuDevo geprogrammeerd moet worden, omdat 90% van de modellen bij Wagemaker in Revit worden gemaakt. Visual Studio is het meest geschikt als softwarepakket, omdat het meer mogelijkheden biedt in relatie tot SuDevo dan Dynamo. Als laatste is C# het meest geschikt om te gebruiken als programmeertaal, omdat de kennis over deze taal binnen Wagemaker groter is dan de andere talen en er ook meer informatie over deze taal op het internet te vinden is. Daarnaast heeft C# een betere implementatie in Revit.

Met behulp van de subvragen kan er antwoord worden gegeven op de deelvraag 'Wat is er nodig om de CO<sub>2</sub>-berekening te automatiseren?'. De 'Bepalingsmethode Milieuprestatie voor Gebouwen en GWW-werken' beschrijft hoe de CO<sub>2</sub>-berekening moet worden uitgevoerd. Om dan de berekening te automatiseren is er een tool ontwikkeld in Revit met behulp van Visual Studio en C#.

#### 7.1.4 De marktvisie

De subvraag 'Welke organisaties/bedrijven zijn actief bezig met verduurzaming en het inzichtelijk maken van CO<sub>2</sub>-uitstoot?' is beantwoord in hoofdstuk 5.1. De volgende partijen in Nederland zijn koplopers op het gebied van verduurzaming en het inzichtelijk maken van CO<sub>2</sub>-uitstoot: Royal HaskoningDHV, Sweco, NIBE, Dura Vermeer, BAM, Provincie Noord-Brabant, Rijkswaterstaat, en Gemeente Tilburg.

De subvraag 'Welke functies moeten verwerkt zijn in de tool?' is beantwoord in hoofdstuk 5.2.6. Op basis van de interviews zijn de volgende meest gevraagde functies met betrekking tot de tool naar voren gekomen.

1. SuDevo moet rekening gaan houden met alle productie- en levensprocessen zodat de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van een materiaal berekent kan worden.
2. Een exportfunctie naar pdf, Excel of nog een ander optie.
3. De mogelijkheid om in SuDevo op materialen te klikken, zodat deze in Revit oplichten.
4. Een tijdelijke koppeling met DuboCalc.
5. De mogelijkheid om de MKI-waarde te berekenen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot.
6. SuDevo moet de mogelijkheid hebben om handmatig CO<sub>2</sub>-gegevens aan materialen toe te voegen.

De subvraag 'Wat is de gewenste resultaatweergave?' is beantwoord in hoofdstuk 5.2.5. Uit de interviews is gebleken dat de partijen tevreden zijn over de conceptweergave. Deze weergave is met die reden ook aangehouden als resultaatweergave van SuDevo.

Met behulp van de subvragen kan er antwoord worden gegeven op de deelvraag 'Wat zijn de wensen vanuit de markt in relatie tot de tool?' Uit de interviews is duidelijk te merken dat SuDevo zeer relevant is in de huidige markt. SuDevo maakt het mogelijk om berekeningen efficiënter uit te voeren en daardoor kunnen er sneller beslissingen worden gemaakt op het gebied van duurzaamheid en specifiek CO<sub>2</sub>-reductie. De geïnterviewde personen waren wel van mening dat SuDevo verder uitgebreid en een gevalideerde tool moet worden.

### 7.1.5 Hoofdvraag

---

‘Hoe kan geautomatiseerd de Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-uitstoot van constructiematerialen inzichtelijk gemaakt worden tijdens de ontwerpfase?’ De hoofdvraag wordt in twee onderdelen beantwoord. Eerst in de vorm van dit onderzoek binnen Wagemaker en daarnaast met behulp van de ontwikkeling van SuDevo.

Ten eerste wordt met behulp van dit onderzoek bij Wagemaker de inzichtelijkheid met betrekking tot duurzaamheid vergroot. Doordat Dirk en Sven als afstudeerders een half jaar lang binnen Wagemaker bezig geweest met dit onderzoek, heeft er al enigszins kennisoverdracht plaatsgevonden tussen Dirk, Sven en collega's binnen Wagemaker over onder andere duurzaamheid. Daarnaast krijgen werknemers bij Wagemaker ook nog een presentatie over dit onderzoek en ook dit zal bijdragen aan de bewustwording binnen Wagemaker. Als laatste leren de lezers van dit rapport meer over onder andere de normen op het gebied van duurzaamheid, wat een levenscyclusanalyse precies inhoudt, wat DuboCalc is en hoe het elkaar zit en welke tools en milieudatabases er onder andere beschikbaar zijn binnen de Nederlandse markt.

SuDevo zorgt ervoor dat met één druk op de knop de Cradle-to-Gate CO<sub>2</sub>-uitstoot van de constructiematerialen uit een Revit model berekend kunnen worden. De gebruiker kan vervolgens met behulp van een doughnut diagram in één oogopslag zien welke materialen de meeste CO<sub>2</sub>-uitstoten. De gebruiker kan hierdoor gerichte keuzes maken om CO<sub>2</sub>-uitstoot binnen een ontwerp van een project te managen en te reduceren. Daarnaast kan SuDevo in elke ontwerpfase toegepast worden, omdat het geïntegreerd is in Revit.

Daarnaast is er nog genoeg ruimte om SuDevo verder door te ontwikkelen. Helaas heeft SuDevo nog wel een aantal beperkingen. In hoofdstuk 8 wordt ingegaan op de aanbevelingen welke antwoord geven op hoe SuDevo verder doorontwikkeld en op welke manieren de beperkingen verholpen kunnen worden.

## 8. AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk worden aanbevelingen gegeven richting Wagemaker voor de verder ontwikkeling van SuDevo. Deze aanbevelingen zijn op basis van ideeën die voortkomen vanuit eigen kennis en ervaringen, ideeën vanuit Dirk en Sven die voortkomen uit de interviews en ideeën van geïnterviewden. De aanbevelingen zijn onderverdeeld in vier categorieën, namelijk:

1. Prioritaire aanbevelingen;
2. Aanbevelingen met een korte ontwikkeltijd;
3. Aanbevelingen met een middellange ontwikkeltijd;
4. Aanbevelingen met een lange ontwikkeltijd.

Er worden een aantal prioritaire aanbevelingen benoemd, aangezien dit de eerste stappen zijn richting de verdere ontwikkeling van SuDevo. Daarnaast worden er ook een aantal aanbevelingen benoemd op basis van de tijd die benodigd is om de aanbeveling uit te voeren. Hieronder zijn per categorie de aanbevelingen opgesomd en toegelicht.

### 8.1.1 Prioritaire aanbevelingen

- Nu analyseert SuDevo de modellen die in Revit gemaakt worden, echter wordt de tool breder inzetbaar en generieker wanneer SuDevo IFC-bestanden kan analyseren. Dit maakt het mogelijk om naast de Revit modellen ook modellen van andere tekenpakketten, zoals Allplan en AutoCAD te analyseren.
- De SuDevo database is ontwikkeld in Excel en is daardoor onderdeel geworden de tool. De verwijzing naar de database is meegenomen in het dll-bestandsformaat. Dit betekent dat bedrijven toegang kunnen verkrijgen tot de database van SuDevo. Hierdoor is het veiliger om de Excel database om te zetten naar een MySQL database welke op de servers van Wagemaker geplaatst wordt. De benodigde gegevens voor SuDevo worden in dat geval via de server van Wagemaker opgevraagd uit de database. In dit geval zorgt de server voor de koppeling tussen SuDevo en de database, waardoor een extra beveiligingsslag is ingebouwd in relatie tot de database. Daarnaast heeft een MySQL database op de server van Wagemaker ook het voordeel dat deze database aangevuld kan worden zonder een update te sturen voor SuDevo. Dit is wel het geval bij de database die SuDevo nu hanteert, aangezien dit een Excel database is wat onderdeel is van de tool. Tevens maakt een MySQL database een koppeling met de NMD-database eenvoudiger.
- Veel organisaties (voornamelijk de kleinere partijen) besteden momenteel het werk in DuboCalc en op het gebied van duurzaamheid uit aan andere partijen. Wagemaker zou hierop kunnen inspelen en deze optie zelf kunnen gaan aanbieden. Daarnaast zou Wagemaker ook kunnen aanbieden om de beoordeling van DuboCalc en duurzaamheidsberekeningen te kunnen doen. Dit maakt het mogelijk om meer up-to-date te blijven op het gebied van duurzame ontwikkelingen.
- Het oplichten van materialen in het Revit model, wanneer in SuDevo een bepaald materiaal geselecteerd wordt. Dit maakt het mogelijk om in één oogopslag te zien waar in het model de grote hoeveelheden zich bevinden van dat materiaal en op welke manier deze materialen verbeterd of geoptimaliseerd kunnen worden, zodat de CO<sub>2</sub>-uitstoot gereduceerd kan worden.

- ✚ Het toevoegen van een exportfunctie naar pdf en Excel. Dit maakt het mogelijk om de resultaten te verwerken in rapportages en andere programma's. In deze exports zouden enkel de resultaten van de berekeningen opgenomen moeten worden inclusief welke tool en versie van de NMD gebruikt is. Daarnaast kunnen ook de contactgegevens van Wagemaker opgenomen worden, zodat partijen contact op kunnen nemen met Wagemaker wanneer zij graag meer informatie willen ontvangen.

### 8.1.2 Aanbevelingen met een korte ontwikkeltijd

---

- ✚ Het toevoegen van twee extra weergaven, namelijk één weergave met de waarden uit de oude analyse en één weergave met het verschil tussen de oude en de nieuwe analyse. Dit maakt het mogelijk om snel de verschillen tussen aanpassingen inzichtelijk te krijgen. Het is handig wanneer de weergave van het verschil zowel in kilogrammen als in percentages wordt weergegeven.
- ✚ Een resultaatweergave toevoegen welke de materialen aangeeft die wel in het model voorkomen, maar niet in de SuDevo database, de NMD of een andere database.
- ✚ Hanteer categorieën, zodat het overzicht van de materialen en hoeveelheden behouden blijft. Deze categorieën zouden zowel moeten bestaan uit overkoepelende categorieën als beton, asfalt en metaal, maar ook uit specifieke categorieën, zoals op basis van sterkteklassen van beton. In een model kunnen namelijk meerdere elementen met eenzelfde sterkteklasse zijn opgenomen. Wanneer een bepaalde categorie wordt opengeklapt, zou SuDevo juist de verdeling van CO<sub>2</sub>-uitstoot in deze categorie in het doughnut diagram moeten weergeven.
- ✚ Het toevoegen van in eerste instantie de weegfactoren van het broeikaseffect, zodat de MKI-waarden van de materialen berekend kan worden. De weegfactor van klimaatverandering/broeikaseffect staat gelijk aan €0,05/kg CO<sub>2</sub>.
- ✚ SuDevo verder ontwikkelen, zodat ook de andere effecten, waaronder verzuring meegenomen worden in de totale MKI-waarde berekening. De andere effecten zijn terug te vinden in de Bepalingsmethode Milieuprestatie gebouwen en GWW-werken. De gegevens van deze effecten zijn al beschikbaar in de NMD, echter zou voor de duidelijkheid de resultaten van deze berekeningen in MKI-waarden weergegeven moeten worden.
- ✚ Analyseer bestaande modellen op materialen die extra zijn toegevoegd als aanvulling op de materialen uit de Revit Template. Dit maakt het mogelijk om ook die materialen in de SuDevo database op te nemen, zodat de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van een model nog vollediger en gedetailleerder wordt.
- ✚ Inbouwen dat SuDevo geselecteerd kan worden welke view geanalyseerd wordt, zodat naast de actieve view ook andere views geanalyseerd kunnen worden.

- ✚ Een koppeling met DuboCalc ontwikkelen op basis van DuboCalc versie 5.1 (deze versie wordt binnenkort gelanceerd)<sup>1</sup>. Dit kan gedaan worden door SuDevo een PDC-bestandsformaat te laten genereren op basis van de materialen in het model. Dit bestand wordt vervolgens in DuboCalc versie 5.1 ingeladen en uitgelezen. Het is mogelijk om dit als tijdelijke oplossing te gebruiken en om in de tussentijd SuDevo verder te ontwikkelen. Wanneer SuDevo uiteindelijk zover ontwikkeld is, dat deze dezelfde functionaliteiten heeft als DuboCalc dan is deze koppeling in principe niet meer benodigd en kan deze verwijderd worden.
- ✚ Een functie implementeren die het mogelijk maakt voor bedrijven om hun eigen CO<sub>2</sub>-uitstoot waarden aan materialen toe te kennen wanneer een materiaal niet is opgenomen in de SuDevo database, de NMD of een andere database. In die gevallen dient SuDevo bij deze materialen aan te geven dat de waarden is ingevuld door een externe partij, bijvoorbeeld de aannemer. De aannemer dient dan zelf met berekeningsrapporten en dergelijke aan te geven dat de ingevulde waarden berekend zijn volgens de normen.

### 8.1.3 Aanbevelingen met een middellange ontwikkeltijd

---

- ✚ SuDevo kan goed gebruikt worden om de CO<sub>2</sub>-uitstoot binnen de keten van Wagemaker inzichtelijk te maken. Wanneer SuDevo hiervoor gebruikt wordt kan Wagemaker mogelijk hoger op komen in de prestatieladder. Dit brengt weer voordelen met zich mee in relatie tot het winnen van aanbestedingen. In aanbestedingen wordt namelijk ook gekeken in welk niveau het bedrijf zit in relatie tot de CO<sub>2</sub>-prestatieladder.
- ✚ De SuDevo database zou enkel als koppeling moeten gaan dienen tussen de materialen in het Revit model en de materialen in de NMD. Dit betekent dat de SuDevo database enkel nog is opgebouwd uit categorieën, de Wagemaker materiaal namen (WMMaterialNames), Nationale Milieudatabase materiaal namen (NMDMaterialNames) en unieke codes. Op basis van deze gegevens kan de juiste data opgezocht worden in de NMD en kunnen de benodigde berekeningen uitgevoerd worden.  
Een andere optie zou zijn om de NMD (alleen de materiaalnamen) te gebruiken voor de Revit Template. Dit maakt het mogelijk om een directe koppeling te creëren met de NMD. De gegevens kunnen in dit geval direct uit de NMD opgehaald worden, omdat er geen database benodigd is voor de tool die een benodigde tussenstap creëert namelijk het koppelen van de WMMaterialNames aan de juiste NMDMaterialNames.
- ✚ De data die momenteel aan diverse materialen wordt toegekend dient specifiek te worden. Dit kan onder andere gedaan worden door in het Revit model aan materialen attributen toe te kennen welke bijvoorbeeld de sterkteklasse van beton aangeeft. Op basis van deze attributen dient dan een koppeling gemaakt te worden met de gegevens uit de NMD. Wanneer er geen attribuut aan een element is toegevoegd zouden gemiddeldes gehanteerd moeten worden en zou SuDevo moeten aangegeven voor welke materialen een gemiddelde gehanteerd is.

---

<sup>1</sup> Bij een koppeling met DuboCalc is SuDevo altijd afhankelijk van de ontwikkelaar van DuboCalc, oftewel Cenosco. Daarnaast valt SuDevo in dat geval ook binnen het verdienmodel van Cenosco en moet er om deze koppeling te gebruiken een licentie op DuboCalc aangeschaft worden. Daarentegen kan er ook een partnerschap aangegaan worden met Cenosco om deze koppeling beter en sneller te maken. Daarbij heeft Cenosco ook baat een koppeling tussen een model en DuboCalc. Een koppeling is handig om DuboCalc (deels) geautomatiseerd in te vullen.

- ✚ Momenteel is de huidige SuDevo database gebaseerd op slechts een gelimiteerd aantal gegevens uit de NMD welke meegekomen zijn in DuboCalc versie 4.01. Het toepassen van de laatste NMD-versie is essentieel om SuDevo verder te ontwikkelen. Naast de NMD-database kan ook gekeken worden naar de EcoInvent database. Hoe meer gegevens bekend zijn hoe specifiekere totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van modellen weergegeven kan worden. Sinds 1 juni 2017 zijn namelijk ook de EcoInvent databases V3.3 en hoger toegestaan om te gebruiken in duurzaamheidsberekeningen (zie Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken versie 2.0 november 2014).
- ✚ In SuDevo meer factoren implementeren, zodat een volledig beeld van de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van een model weergegeven kan worden. Om dit mogelijk te maken dienen er extra elementen aan de tool toegevoegd te worden, namelijk het implementeren van transport (variabel), een keuze voor een bepaalde uitvoeringsmethode, levensduur materiaal, de levensduur van het project (variabel) en einde levensduur materiaal (hierbij dient rekening gehouden te worden met slopen, recyclen en/of hergebruiken).
- ✚ Bij het toevoegen van extra functionaliteiten dient er altijd gecontroleerd te worden of er voldaan wordt aan de 'Bepalingsmethode milieuprestatie gebouwen en GWW-werken'.
- ✚ Voordat de tool op de markt gebracht kan worden moet deze door SBK gecontroleerd en goedgekeurd zijn. In deze controle wordt gecontroleerd of berekeningen et cetera volgens de bepalingmethode milieuprestatie gebouwen en GWW-werken uitgevoerd worden. Momenteel is enkel DuboCalc een gevalideerde methode om de milieuprestatie van GWW-werken te berekenen. Als SuDevo echter verder ontwikkeld wordt en ook een gevalideerd instrument wordt dat beter, makkelijker, gebruiksvriendelijker en sneller werkt dan DuboCalc is er veel potentie voor SuDevo.

#### 8.1.4 Aanbevelingen met een lange ontwikkeltijd

- ✚ Er kan gekeken worden om een koppeling te ontwikkelen met energie labels voor de GWW. Daarnaast is het ook mogelijk om in SuDevo aan te geven binnen welk energielabel het model/project zou vallen op basis van de laatste analyse. Als aanvulling daarop kan ook aangegeven worden wat er gedaan moet worden om naar een hogere energielabel te komen.
- ✚ Onderzoek of een integratie van het materialenpaspoort systeem of een uitvoer naar/integratie met het materialenpaspoort van Madaster mogelijk is (dit zou een nieuw afstudeeronderzoek kunnen zijn).
- ✚ Om SuDevo wereldwijd op de markt te brengen kunnen samenwerkingsverbanden aangegaan worden met grote organisaties als One Click LCA. Daarbij kan ook hun expertise gebruikt worden om SuDevo verder door te ontwikkelen.

## BIBLIOGRAFIE

- Bedrijven. (2017). (D. Broers, Interviewer) Nederland. Opgeroepen op december 26, 2017
- Beeker, M. (s.d.). *Mees Beeker*. Opgeroepen op maart 16, 2018, van LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/mees-beeker-005b0321/>
- Beerda, E. (2011, april 7). *CO2-scan rekent gww-project door*. Opgehaald van Cobouw: <https://www.cobouw.nl/infra/nieuws/2011/04/co2-scan-rekent-gww-project-door-10147539>
- BIM Loket. (s.d.). *IFC*. Opgehaald van BIM Loket: <http://www.bimloket.nl/IFC>
- Bouw & Wonen. (2010, januari 12). *Rekenmethode DuboCalc is nog niet beschikbaar*. Opgehaald van Bouw & Wonen: <https://www.bouwenwonen.net/nieuwbouw/duurzaambouwen/read.asp?id=23989&content=Rekenmethode-DuboCalc-is-nog-niet-beschikbaar>
- Circular Ecology. (s.d.). *Glossary of Terms and Definitions*. Opgeroepen op februari 20, 2018, van Circular Ecology: <http://www.circularecology.com/glossary-of-terms-and-definitions.html#.Wowbb6jOVpY>
- Cloud Imperium Games. (2018, oktober 7). *Star Citizen: Around the Verse - Ship Pipeline Pt. 1: Concept to Greybox*. Opgehaald van Roberts Space Industries: <https://www.youtube.com/watch?v=ziRC5X4Sta4>
- CO2-Prestatieladder.info. (s.d.). *CO2 Prestatieladder*. Opgeroepen op maart 18, 2018, van CO2-Prestatieladder.info: <http://www.co2-prestatieladder.info/co2-prestatieladder/>
- CROW. (2017, april 12). *Waarom een Asphalt-Impuls?* Opgehaald van CROW: <https://www.crow.nl/blog/april-2017/waarom-een-asfalt-impuls>
- CROW. (s.d.-a). *Asfalt-Impuls*. Opgehaald van CROW: <https://www.crow.nl/thema-s/infratechniek/asfaltverharding/asfalt-impuls>
- CROW. (s.d.-b). *Stuurgroep Asphalt-Impuls*. Opgehaald van CROW: <https://www.crow.nl/thema-s/infratechniek/asfaltverharding/asfalt-impuls/stuurgroep-asfalt-impuls>
- Dalen, J. v. (2010). *CO2-Prestatieladder*. Utrecht: ProRail. Opgehaald van [https://www.prorail.nl/sites/default/files/co2\\_prestatieladder\\_handboek\\_1\\_2.pdf](https://www.prorail.nl/sites/default/files/co2_prestatieladder_handboek_1_2.pdf)
- DJ100. (s.d.). *Nominatie Mees Beeker*. Opgehaald van DJ100: <http://dj100.nl/nominatie-mees-beeker/>
- DuboCalc. (s.d.). *DuboCalc 5.0 Help*. Opgeroepen op maart 21, 2018, van DuboCalc: <https://www.dubocalc.nl/help/>

- DuboCalc. (s.d.-a). *Wat is DuboCalc?* Opgeroepen op maart 12, 2018, van DuboCalc:  
<https://www.dubocalc.nl/wat-is-dubocalc/>
- DuboCalc. (s.d.-b). *Licenties*. Opgeroepen op maart 12, 2018, van DuboCalc:  
<https://www.dubocalc.nl/licenties/>
- Dutch Green Building Council. (2013-a, juni 14). *Beknopte startershandleiding DGBC materialentool v2.0*. Opgehaald van Dutch Green Building Council:  
[https://www.dgbc.nl/downloads/Gebruikershandleiding\\_DGBC\\_materialentool\\_V2\\_0.pdf](https://www.dgbc.nl/downloads/Gebruikershandleiding_DGBC_materialentool_V2_0.pdf)
- Dutch Green Building Council. (2013-b, april 18). *Download nu de materialentool versie 2.0*. Opgehaald van Dutch Green Building Council:  
<https://www.dgbc.nl/actueel/nieuwsarchief/download-nu-materialentool-versie-20-0>
- Dutch Green Building Council. (2017, juni 16). *MAT101 - Milieubelasting materialen van het gebouw*. Opgehaald van Dutch Green Building Council:  
<https://www.breeam.nl/hulp/inuse/materialen/41820/MAT101%20-%20Milieubelasting%20materialen%20van%20het%20gebouw>
- Dutch Green Building Council. (s.d.). *DGBC Materialentool*. Opgehaald van Dutch Green Building Council: <https://www.dgbc.nl/dgbc-materialentool>
- Dutta, D. (s.d.). *History Of ISO 14000*. Opgeroepen op februari 20, 2018, van <https://www.scribd.com/document/98216654/History-of-ISO-14000>
- Dutta, D. (s.d.). *History Of ISO 14000*. Opgeroepen op februari 20, 2018, van <https://www.scribd.com/document/98216654/History-of-ISO-14000>
- Duurzaam Nieuws. (2017, augustus 11). *Materialenpaspoort wordt de standaard voor duurzaam en circulair bouwen*. Opgehaald van Duurzaam Nieuws:  
<https://www.duurzaamnieuws.nl/materialenpaspoort-wordt-de-standaard-voor-duurzaam-en-circulair-bouwen/>
- Duurzaam Ondernemen. (2017, september 29). *Madaster: Kadaster voor materialen voor iedereen vanaf nu beschikbaar*. Opgehaald van Duurzaam Ondernemen: <https://www.duurzaam-ondernemen.nl/madaster-kadaster-materialen-iedereen-vanaf-nu-beschikbaar/>
- Duurzaamvastgoed. (2011, maart 31). *Royal Haskoning introduceert nieuwe duurzaamheidstool CO2-projectscan® voor de GWW*. Opgehaald van IVVD (Instituut Voor Vastgoed & Duurzaamheid): <http://www.ivvd.nl/royal-haskoning-introduceert-nieuwe-duurzaamheidstool-co2-projectscan-voor-de-gww/>
- Gosselink, P. (2016). *DuboCalc verdient beter*. Amersfoort: Royal HaskoningDHV. Opgehaald van <http://files.m3.mailplus.nl/user60287/7182/DuboCalc%20verdient%20beter%20-%20Expert%20ervaringen%20vanuit%20de%20praktijk.pdf>
- Gosselink, P. (2018, maart 07). Informatie CO2-projectscan. (D. Broers, Interviewer)

- Green Deal. (2017-a). *C-209 Green Deal Duurzaam GWW 2.0*. Opgeroepen op mei 3, 2018, van <http://www.greendeals.nl/wp-content/uploads/2017/01/GD209-dealtekst-Duurzaam-GWW-2.0.pdf>
- Green Deal. (2017-b). *GD209 - Duurzaam GWW 2.0*. Opgeroepen op mei 3, 2018, van greendeals: <http://www.greendeals.nl/gd209-duurzaam-gww-2-0/>
- GreenCalc+. (s.d.). *Belangrijkste wijzigingen in GeenCalc+*. Opgehaald van Docplayer: <http://docplayer.nl/4722714-Hieronder-volgt-een-overzicht-van-de-belangrijkste-wijzigingen-in-het-programma-greencalc.html>
- International Organization for Standardization. (2015). *ISO 14001 Environmental Management Systems - Revision*. Opgeroepen op februari 22, 2018, van ISO: <https://www.iso.org/iso-14001-revision.html>
- JR Consultants. (s.d.). *ISO 14001 History*. Opgeroepen op februari 19, 2018, van JR Consultants: <https://www.jrconsultants.co.uk/iso-14001-history/>
- K, E. (2018, Februari 27). *My First Revit Plug-in Overview*. Opgehaald van Autodesk: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/getting-started/caas/simplecontent/content/my-first-revit-plugin-overview.html>
- Kleyngeld, J. (2014, december 14). *Fusie Royal HaskoningDHV succesvol afgerond*. Opgehaald van CFO: <https://cfo.nl/artikel/fusie-royal-haskoningdhv-succesvol-afgerond>
- Kreule, J. (2017, oktober 4). *Madaster: Een Burgerlijke Stand voor materialen in gebouwen*. Opgehaald van Cobouw: <https://www.cobouw.nl/bouwbreed/nieuws/2017/10/madaster-een-burgerlijke-stand-voor-materialen-gebouwen-101253182>
- Los, F. (2017, oktober 4). *Asfalt-Impuls*. Opgehaald van CROW: <https://www.crow.nl/downloads/pdf/infrastructuur/asfalt-impuls/plan-van-aanpak-asfalt-impuls-25-9-2017.aspx>
- Mentink, B. (2017, maart 30). *Nieuwe webbased versie van DuboCalc stap vooruit in Duurzame GWW*. Opgehaald van Royal HaskoningDHV: <https://www.royalhaskoningdhv.com/nl-nl/nederland/nieuws/nieuwsberichten/nieuwe-webbased-versie-van-dubocalc-stap-vooruit-in-duurzame-gww/7073>
- Milieu Centraal. (s.d.). *Klimaatverandering*. Opgeroepen op december 26, 2017, van Milieu Centraal: <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/klimaatverandering/>
- Mos, J., Beentjes, T., & EcoChain Technologies B.V. (2016). *LCA Achtergrondrapport Nederlandse Asfalt Industrie*. Opgeroepen op oktober 15, 2018
- Nederlands Normalisatie-instituut. (2006). *NEN-EN-ISO 14040*. Opgeroepen op oktober 15, 2018
- Nibe. (2018). *Omschrijving methode milieuclassificaties bouwproducten*. Opgeroepen op februari 15, 2018, van Nibe: <http://www.nibe.info/nl/methode>

- Nibe. (s.d.). *DuboCalc*. Opgeroepen op februari 15, 2018, van Nibe:  
<http://www.nibe.org/assets/images/content/user/files/Folder%20DuboCalc-smallsize.pdf>
- NLDIT. (2013, september). *Wat is de extensie .PDC?* Opgehaald van NLDIT:  
<http://www.nldit.com/software/file-extension-types/201309/129630.html>
- One Click LCA. (2016, oktober 25). *life-cycle-assessment-made-easy-for-leedv4-with-one-click-lca*. Opgeroepen op oktober 14, 2018, van One Click LCA: <https://www.oneclicklca.com/lca-graphic-smaller-3/>
- One Click LCA. (s.d.). *LCA Database*. Opgehaald van One Click LCA:  
<https://www.oneclicklca.com/support/faq-and-guidance/documentation/database/>
- Primum. (s.d.). *Madaster Materialenpaspoort*. Opgeroepen op maart 17, 2018, van Primum:  
<http://www.primum.nl/circulaire-economie-en-circulair-bouwen/madaster-materialenpaspoort>
- Rijkswaterstaat. (s.d.). *Duurzaamheid en leefomgeving*. Opgeroepen op juni 8, 2018, van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/innovatie-en-duurzame-leefomgeving/duurzame-leefomgeving/index.aspx>
- Rijkswaterstaat. (s.d.-a). *DuboCalc*. Opgeroepen op februari 15, 2018, van Rijkswaterstaat:  
<https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/zakendoen-met-rijkswaterstaat/inkoopbeleid/duurzaam-inkopen/duurzaamheid-bij-contracten-en-aanbestedingen/dubocalc/index.aspx>
- Rijkswaterstaat. (s.d.-b). *Duurzaam inkopen in het inkoopdomein GWW*. Opgeroepen op februari 15, 2018, van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/zakendoen-met-rijkswaterstaat/inkoopbeleid/duurzaam-inkopen/>
- Ronner, E. (2014, augustus 14). *De ambities van Jaska de Bakker, CFO Royal HaskoningDHV*. Opgehaald van CFO: <https://cfo.nl/artikel/de-ambities-van-jaska-de-bakker-cfo-royal-haskoningdhv>
- Simmons, H., & de Rijk, T. (2015). *LCA Wapeningstaal*. Opgeroepen op mei 31, 2018, van <http://docplayer.nl/13838553-Lca-wapeningsstaal-branchestudie-vwn.html>
- SKAO. (s.d.-a). *De stichting en het secretariaat*. Opgeroepen op maart 18, 2018, van CO2-Prestatieladder: <https://www.skao.nl/over-skao>
- SKAO. (s.d.-b). *Wat is de ladder?* Opgeroepen op maart 18, 2018, van CO2-Prestatieladder: <https://www.skao.nl/wat-is-de-ladder>
- SKAO. (s.d.-c). *Certificerende en Verifiërende Instellingen*. Opgeroepen op maart 18, 2018, van CO2-Prestatieladder: <https://www.skao.nl/audit>
- Speek, R. (2017). *CO2-ketenstudie Vaste verkeersbrug*. Nijmegen: HaskoningDHV Nederland B.V. Opgehaald van file:///C:/Users/Dirk%20Broers/Downloads/RHDHV%20-%20ketenanalyse%20Brug.pdf

- Starmer-Smith, C. (2007, oktober 27). *Airbus A380 'not as green as it's painted'*. Opgeroepen op juni 7, 2018, van Telegraph: <https://www.telegraph.co.uk/travel/738647/Airbus-A380-not-as-green-as-its-painted.html>
- Stichting Bouwkwaliiteit (SBK). (2011). *SBK Nationale Milieudatabase*. Rijswijk: Stichting Bouwkwaliiteit (SBK). Opgehaald van [http://www.duurzaaminstaal.nl/upload/File/SBK\\_Toetsingsprotocol\\_1\\_7\\_2011.pdf](http://www.duurzaaminstaal.nl/upload/File/SBK_Toetsingsprotocol_1_7_2011.pdf)
- Stichting Bouwkwaliiteit (SBK). (2014). *Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken*. Rijswijk: Stichting Bouwkwaliiteit. Opgehaald van [https://www.milieudatabase.nl/imgcms//20141125\\_SBK\\_BepMeth\\_vs\\_2\\_0\\_inclusief\\_Wijzigingsblad\\_1\\_juni\\_2017.pdf](https://www.milieudatabase.nl/imgcms//20141125_SBK_BepMeth_vs_2_0_inclusief_Wijzigingsblad_1_juni_2017.pdf)
- Stichting Bouwkwaliiteit (SBK). (s.d.-a). *Over SBK*. Opgehaald van Nationale Milieudatabase: <https://www.milieudatabase.nl/index.php?q=over-sbk>
- Stichting Bouwkwaliiteit (SBK). (s.d.-b). *Database*. Opgehaald van Nationale Milieudatabase: <https://www.milieudatabase.nl/index.php?q=productkaarten-itemkaarten>
- Stichting Bouwkwaliiteit. (2014). *Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken*. Opgeroepen op maart 6, 2018, van [https://www.milieudatabase.nl/imgcms//20141125\\_SBK\\_BepMeth\\_vs\\_2\\_0\\_inclusief\\_Wijzigingsblad\\_1\\_juni\\_2017\\_&\\_1\\_augustus\\_2017.pdf](https://www.milieudatabase.nl/imgcms//20141125_SBK_BepMeth_vs_2_0_inclusief_Wijzigingsblad_1_juni_2017_&_1_augustus_2017.pdf)
- Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden & Ondernemen (SKAO). (2017, december). *Gecertificeerde organisaties*. Opgeroepen op december 26, 2017, van Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden & Ondernemen (SKAO): <https://www.skao.nl/gecertificeerde-organisaties>
- Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden & Ondernemen (SKAO). (2017, december). *Opdrachtgevers*. Opgeroepen op december 26, 2017, van Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden & Ondernemen (SKAO): <https://www.skao.nl/opdrachtgevers>
- Stichting Madaster Foundation. (s.d.-a). *Organisation*. Opgeroepen op maart 17, 2018, van Madaster: <https://madasterfoundation.com/organisation/>
- Stichting Madaster Foundation. (s.d.-b). *Home*. Opgeroepen op maart 17, 2018, van Madaster: <https://madasterfoundation.com/>
- Stichting Madaster Foundation. (s.d.-c). *Ontwikkeling van Madaster*. Opgeroepen op maart 17, 2018, van Madaster: <https://www.madaster.com/nl/ons-aanbod/roadmap>
- Stichting Madaster Foundation. (s.d.-d). *Home*. Opgeroepen op maart 17, 2018, van Madaster: <https://www.madaster.com/nl>
- Stichting Madaster Foundation. (s.d.-e). *Madaster Platform*. Opgeroepen op maart 17, 2018, van Madaster: <https://www.madaster.com/nl/ons-aanbod/Madaster-Platform>
- Stichting Madaster Foundation. (s.d.-f). *Abonnementsvormen*. Opgeroepen op maart 17, 2018, van Madaster: <https://www.madaster.com/nl/zakelijk/abonnementsvormen>

Stichting Madaster Foundation. (s.d.-g). *Madaster voor Particulieren*. Opgeroepen op maart 17, 2018, van Madaster: <https://www.madaster.com/nl/particulier/madaster-particulieren>

Stichting MRPI. (s.d.). *Wat is MRPI*. Opgehaald van MRPI: <http://www.mrpi.nl/>

Stichting Nederlands Normalisatie-Instituut. (s.d.). *Onze strategie*. Opgeroepen op mei 2, 2018, van nen: <https://www.nen.nl/Over-NEN/Onze-strategie.htm>

Swink. (2014, januari 9). *Wat houden de 3 P's van sociaal ondernemen in?* Opgehaald van Swink: <https://swinkwebservices.nl/wat-houden-de-3-ps-van-mvo-in/>

TiMaX. (s.d.). *Bepalingsmethode Milieuprestatie gebouwen en GWW-werken*. Opgehaald van milieuprestatieberekening.nl: <https://www.milieuprestatieberekening.nl/bepalingsmethode-milieuprestatie/>

Vastbinder, M., & Termeer, G. (2015). *Handboek CO2-prestatieladder 3.0*. Utrecht: Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden & Ondernemen (SKAO). Opgehaald van [http://cms2009.digitnet.nl/Uploads/CO/20150610\\_Handboek\\_CO\\_2\\_Prestatieladder\\_3\\_0.pdf](http://cms2009.digitnet.nl/Uploads/CO/20150610_Handboek_CO_2_Prestatieladder_3_0.pdf)

Verhelst, K. (2012, augustus 30). *Verlies Grontmij loopt op*. Opgehaald van BN DeStem: <https://www.bndestem.nl/overig/verlies-grontmij-loopt-op~a86ece1f/>

Wout, F. v., Groot, M., Sminia, M., & Haas, M. (2010). *Functionele Specificatie DuboCalc*. Rijkswaterstaat. Opgehaald van <http://docplayer.nl/1705680-Functionele-specificatie-dubocalc-maart-2010.html>



## BIJLAGENLIJST

|              |                                       |
|--------------|---------------------------------------|
| Bijlage I    | Development Pipeline                  |
| Bijlage II   | Life Cycle Assessment                 |
| Bijlage III  | De Tools                              |
| Bijlage IV   | Opbouw en Werking DuboCalc Versie 5.0 |
| Bijlage V    | Totaal Overzicht Materialen           |
| Bijlage VI   | Categorieën Overzicht Materialen      |
| Bijlage VII  | Database Materialen                   |
| Bijlage VIII | Interviewformulier                    |
| Bijlage IX   | Interviews                            |
| Bijlage X    | Plan van Aanpak                       |