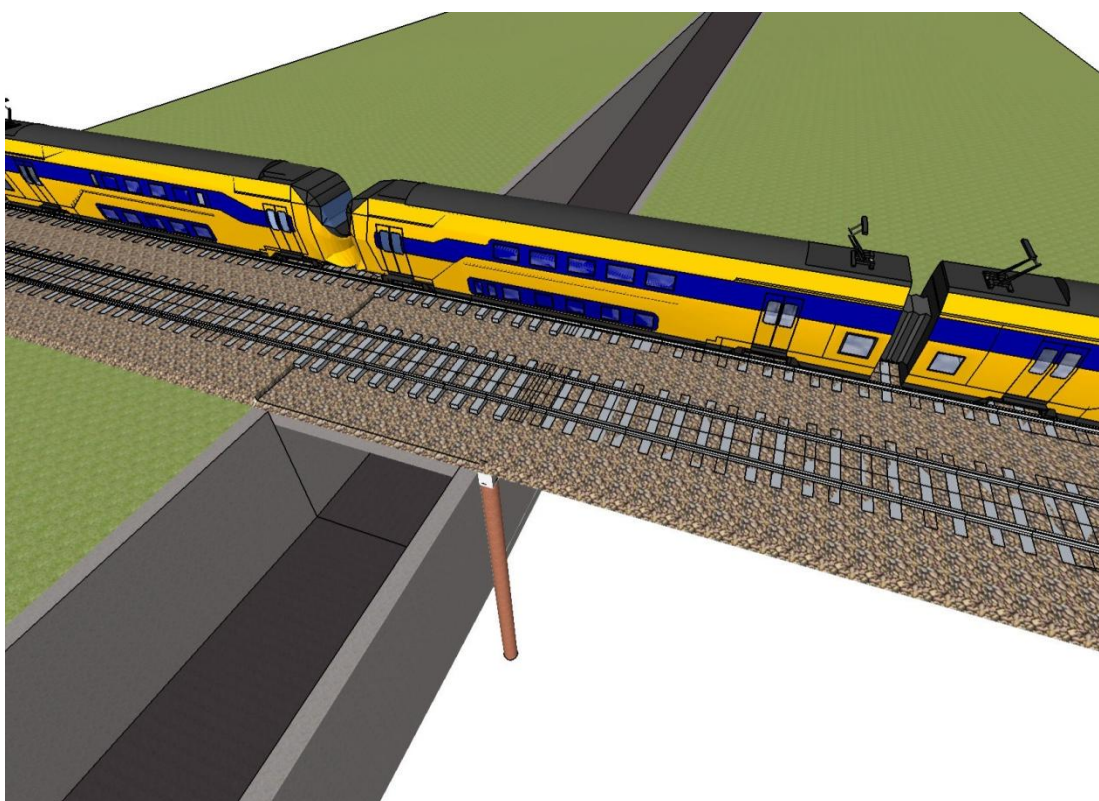


Parametrisch Ontwerpmodel: Toepassing op een onderdoorgang

Openbare versie van het Eindrapport



Afstudeercommissie

Prof.dr.ir. J.K. Vrijling

Dr. ir. K.J. Bakker

Ir. H.K.M. van de Ruitenbeek

Ir. S. van der Woude

Afstudeerhoogleraar, TU Delft

Hoofdbegeleider, TU Delft

Begeleider, Van Hattum en Blankevoort en TU Delft

Begeleider, Van Hattum en Blankevoort en TU Delft

Datum

3 juli 2012

Afstudeerwerk

P.A.J.B. van den Noort

1258907

Voorwoord

Voor u ligt het openbare eindrapport van het afstudeerwerk aan de Technische Universiteit te Delft. Hierin wordt in opdracht van Van Hattum en Blankevoort te Woerden een parametrisch ontwerpmodel van een onderdoorgang uitgewerkt. Dit model is gemaakt om een aantal redenen. Als eerste de vraag of zoiets haalbaar was en de vraag vanuit de markt in de vorm van de marktconsultatie van Prorail.

In dit rapport wordt de opzet van het model voor onderdoorgangen besproken. De afwegingen die geleid hebben naar de gekozen oplossing zijn belicht. Net als de redenen waarom verderop gekozen wordt om het model naar een hoger niveau van abstractie te trekken en de methode te beschrijven.

In de eerste hoofdstukken 2, 3 en 4 worden de gegevens van een aantal onderzoeken weergegeven. Als eerste het onderzoek naar de verschillende aanwezige modellen, daarna de spooronderdoorgangen en als laatste de spoorkruisingen. In hoofdstuk 5 word de opzet van het model beschreven. Het model wordt vergeleken met de werkelijkheid in hoofdstuk 6 en 7. In hoofdstuk 8 wordt de methode tot het opzetten van het model beschreven waarna in hoofdstuk 9 de conclusies en aanbevelingen volgen.

Bij het tot stand komen van deze rapportage is veel hulp en sturing geweest van de examencommissie. Vooral de dagelijkse begeleiders zijn van belang geweest. De examen commissie bestond uit de onderstaande personen. Daarnaast gaat mijn dank uit naar de collega's bij Van Hattum en Blankevoort die alle gegevens aangeleverd hebben en altijd klaar stonden met advies.

Afstudeercommissie:

Prof.dr.ir. J.K. Vrijling

Dr. ir. K.J. Bakker

Ir. H.K.M. van de Ruitenbeek

Ir. S. van der Woude

Afstudeerhoogleraar, TU Delft

Hoofdbegeleider, TU Delft

Begeleider, Van Hattum en Blankevoort en TU Delft

Begeleider, Van Hattum en Blankevoort en TU Delft

Paul van den Noort

1258907

Woerden 7 juni 2012

De versie die hier voor u ligt is de openbare versie. Hierin zijn de vertrouwelijke gegevens van Van Hattum en Blankevoort met betrekking tot kosten, modelleringsmethoden en bouwmethoden uitgehaald. Hieruit volgend is ook de diepere uitwerking van het model uit het rapport gehaald. Dit komt vaak ook terug in de bijlagen. Daarom zijn ook deze weggelaten. Voor de beoordeling van het eindwerk is gebruik gemaakt van een uitgebreidere vertrouwelijke versie.

Samenvatting

Het spoor- en wegennetwerk kruist elkaar in Nederland op veel plaatsen met behulp van spoorwegovergangen. Dit is geen ideale situatie in verband met de veiligheid en doorstroming. Daarom worden veel kruisingen vervangen door onderdoorgangen. Het ontwerp van een dergelijke onderdoorgang begint in de regel iedere keer opnieuw, met weinig hergebruik van kennis. Vanuit verschillende partijen is de vraag ontstaan of dit niet sneller kan met behulp van modellen. In dit rapport wordt dit onderzocht.

Onderzoek

Als eerste is een literatuuronderzoek gedaan naar mogelijk toepasbare modellen. Deze zijn in te delen in twee typen.

- Parametrische, die met behulp van parametrische regels het uiteindelijke resultaat behalen.
- Of zelf optimaliserende modellen, welke met behulp van interne berekeningen een nieuwe constructie bepalen.

De onderdoorgangen kunnen op verschillende manieren gebouwd worden. Allen hebben voor en nadelen.

- Op een meer traditionele manier
- Met behulp van een inschuifbaar dek
- Met behulp van een gehele inschuifbare constructie
- Een combinatie van een van deze methoden

Voor het model is gekozen voor een constructie met een inschuifbaar dek, omdat dit op veel plaatsen toe te passen is.

Naast de bouwmethoden is onderzoek gedaan naar de werkelijkheid. Wat voor spoorkruisingen zijn er en welke moeten nog uitgevoerd worden. Dit is gedaan door de belangrijkste gegevens van een representatief spoor te analyseren (Figuur 1). Hieruit volgt dat verschillende typen spoorkruisingen met het bijbehorende profiel van vrije ruimte zijn vastgesteld (Tabel 1). Deze profielen worden later in het rapport gebruikt om de werking van het model te verifiëren (Hoofdstuk 2).

Bij de analyse is gekeken naar de onderstaande gegevens. Allen variëren zoals aangegeven in grote mate.

- De naam en locatie
- Weggebruik in de onderdoorgang
- De rechtheid van het spoor (15% in een bocht)
- De kruisingshoek (tussen de 90 en 45 graden)
- De hard op hard afstand van de sporen (minimaal 4 meter en maximaal meer dan 10)
- De hoogte van het spoor boven het maaiveld (ongeveer de helft van de tijd op maaiveld en 65% ligt binnen een meter boven maaiveld)
- De afstand tot constructies die een onderdoorgang belemmeren



Figuur 1: Het geanalyseerde stuk spoor.

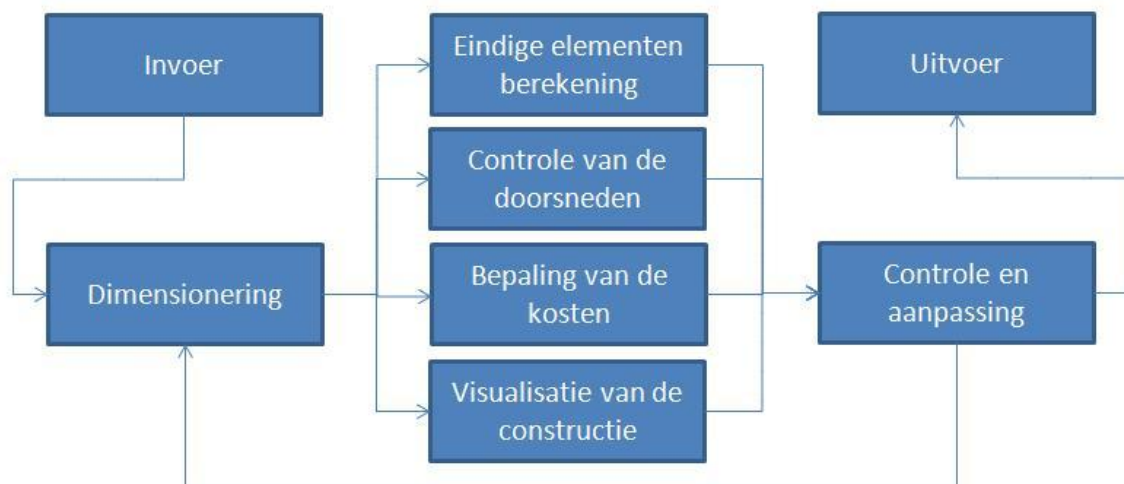
Type Nr.	Aantal banen			Aantal spoorkruisingen			Profiel van Vrije Ruimte	
	Auto	Fietser	Voetg.	Overweg	Onderdoorg.	Totaal	B (m)	H (m)
2 en 1	2	0	0	147	40	187	8,6	4,65
4 en 6	0	1	1	20	84	104	6	2,5
9 of 11	2	0 Of 2	2 Of 0	30	18	48	13,6	4,65
15	2	2	2	22	28	50	18,6	4,65

Tabel 1: De meest voorkomende typen spoorkruisingen met het bijbehorende weggebruik en aantallen.

Model

Om het ontwerpmodel goed op te kunnen zetten wordt eerst een case doorerekend. Aan de hand van deze case en de gekozen modelleringstypen wordt in een aantal cycli het model verfijnd.

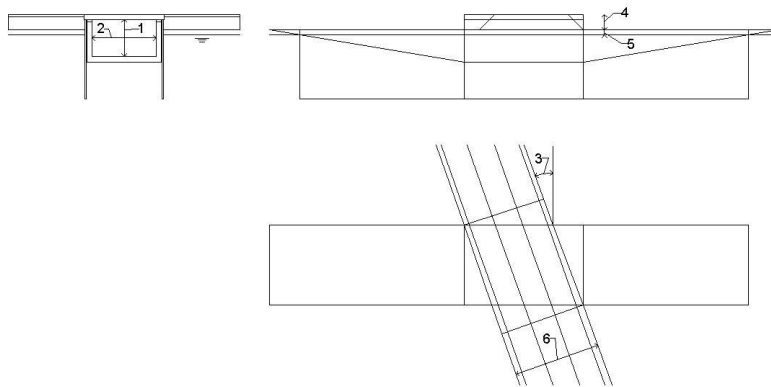
Het model is opgezet met het gebruik van verschillende programma's die verschillende taken hebben en aan de hand hiervan uitwisselbaar zijn. Een simpele weergave van het model is weergegeven in (Figuur 2).



Figuur 2: De opzet van het model.

In het model wordt gebruik gemaakt van verschillende programma's. Om deze allemaal te koppelen wordt gebruik gemaakt van Excel. Hierin wordt de in en uitvoer voor en van de verschillende programma's gegenereerd en verwerkt. Voor het berekenen van de interne krachten in de doorsneden ten gevolge van de belastingen wordt gebruik gemaakt van het eindige elementenprogramma SCIA Engineer. Voor de visualisatie en hoeveelheden wordt gebruik gemaakt van Civil 3D. In Excel is verder een sheet gemaakt voor de berekening van de kosten. De doorsnede capaciteiten worden gecontroleerd aan de hand van de DAKO sheets. Dit zijn gestandaardiseerde Excelsheets die doorsnede capaciteiten berekenen.

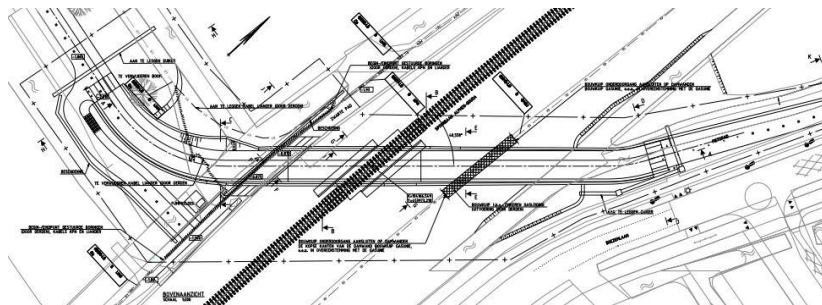
Om het parametrische model af te bakenen is een type onderdoorgang vastgesteld. Hierdoor ligt de ruwe vorm van de constructie vast. Als eerste de bouwmethode, hier is gebruik gemaakt van de conventionele bouwmethode met damwanden en een ingeschoven dek. Hierdoor ontstaat een scharnier tussen het dek en de wanden, waardoor deze los berekend kunnen worden. De wanden zijn monoliet verbonden aan de vloer, maar met een dilatatie voeg aan de toerit. Verder is gekozen om geen tussensteunpunt toe te voegen. Een schets van het resulterende type is weergegeven in Figuur 3.



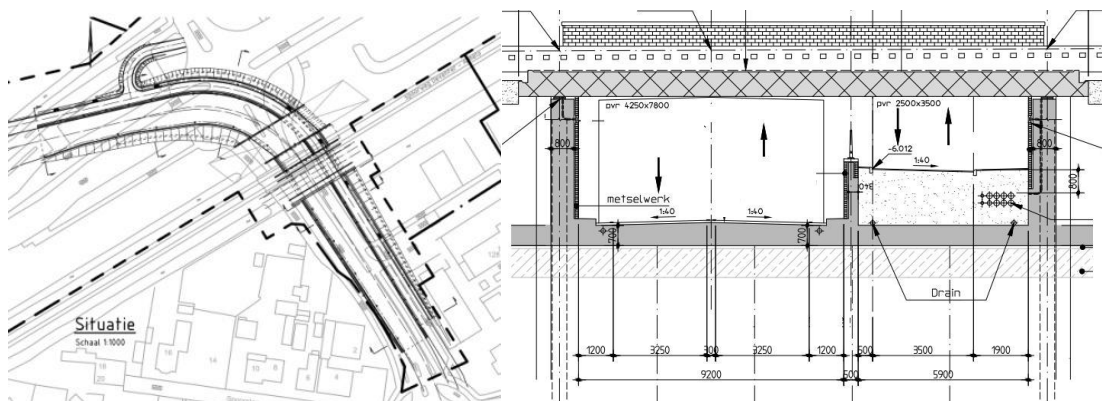
Figuur 3: Een schets van het type voor het model met aangegeven de invoerparameters.

Toepassing en resultaten

Om de kosten en dimensies van het model ten opzichte van de werkelijkheid te interpreteren, is het toegepast op drie onderdoorgangen. Twee daarvan zijn in de loop van het afstuderen gebouwd (Veeneslagen en Waddinxveen: Figuur 5) en een was in de tenderfase (Boskoop: Figuur 4).



Figuur 4: Een bovenaanzicht van de onderdoorgang te Boskoop.



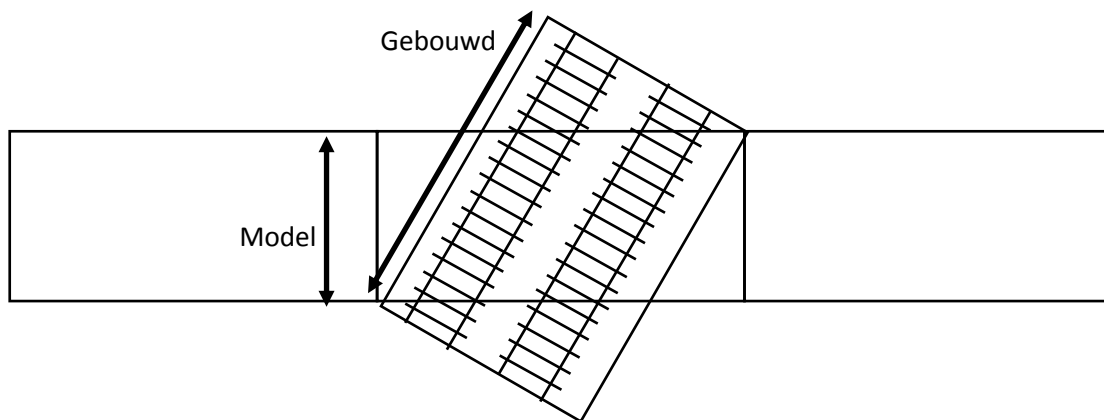
Figuur 5: Het bovenaanzicht van de onderdoorgang te Veeneslagen (links) en de doorsnede van de onderdoorgang te Waddinxveen (Rechts).

	Rijssen	Waddinxveen	Boskoop	Gemiddeld verschil	Gemiddeld verschil	Maximaal verschil
Lengte dek (m)	11,8	5,5	12,3	2,63	33%	71%
Breedte dek (m)	18,9	17	7,1	1,27	8%	11%
Breedte vloer (m)	17,4	17	6,8	0,67	8%	17%
Dikte dek (m)	1,3	1	0,55	0,17	17%	30%
Dikte wand (m)	0,85	0,85	0,4	0,07	7%	15%
Dikte vloer (m)	0,76	0,85	0,4	0,07	9%	21%
Lengte Toerit (m)	83	25	55	17,82	34%	55%

Tabel 2: De dimensies van de verschillende onderdoorgangen, de originele gegevens en verschillen.

In de bovenstaande Tabel 2 zijn de resultaten uit het model en de verschillen met de werkelijkheid kort weergegeven. Hierin valt op dat alle dimensies verschillen vertonen met de werkelijkheid. Verder vallen deze verschillen in alle gevallen onder de 15% behalve de toerit lengtes, de deklengte in Boskoop en de kosten in Waddinxveen.

De toeritlengte varieert sterk, omdat deze afhankelijk is van het verkeerstype en de omgeving. De omgeving is hiervan lastig mee te nemen in de berekening en geeft grote verschillen. Bijvoorbeeld als de toerit een bocht om een constructie moet maken of als de weg over een obstakel heen moet daardoor een steilere helling gekozen wordt. De deklengte in Boskoop varieert door de gemeten afstand, welke volgt uit de bouwmethode. In het model wordt uitgegaan van de overspanning loodrecht op de weg. Bij de tekening is uitgegaan van parallel aan het spoor. Door de grote kruisingshoek is dit verschil hier groot. Dit is duidelijk gemaakt in Figuur 6. Het kostenverschil wordt verklaard door de afwerking in Waddinxveen. Hier is gebruik gemaakt van gemetselde wanden, wat veel duurder is dan de standaard afwerking.



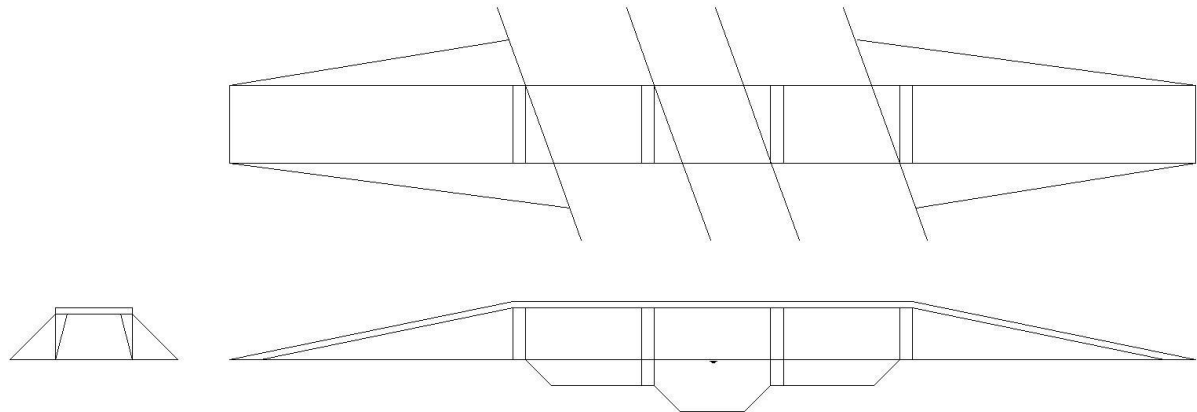
Figuur 6: De verschillende overspanningen van het dek.

Uiteindelijk is een afwijking van 15% op de dimensies en vooral de uiteindelijke kosten niet slecht voor een model dat als eerste indicatie gebruikt moet worden. Het verschil van 15% is goed, vooral gezien de factor over de kosten (met een variatie van 20%). De variatie in de dimensies op 15% volgt vooral uit de afronding op 50mm en de onnauwkeurigheid van de vuistregels. De resultaten uit het model kunnen goed gebruikt worden als startpunt van een verdere uitwerking.

Algemeen model : Brug

Veel modellen worden niet meer gebruikt, omdat de maker hier niet meer mee verder gaat, omdat programma's veranderen of omdat het niet duidelijk of flexibel genoeg is opgezet. Om te onderzoeken of dit te voorkomen is, is ervoor gekozen om naast het model, de methode goed en duidelijk te beschrijven. Hierdoor kan gemakkelijk een nieuw model opgezet worden.

Om de methode te beproeven is het toegepast op een ander type constructie. In overleg is gekozen voor een brug. Een schets is weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7: Een schets van de brug gebruikt voor de modellering.

Tijdens het maken van het model is een aantal overkombare problemen boven drijven.

- De aanwezigheid van vuistregels
- Het gebruik van verschillende programma's
- De aanwezigheid van de gegevens voor de kostenberekening

In de externe programma's zijn voor de brug kort templates gemaakt om te kijken of dit haalbaar was (templates zijn uitgewerkte voorbeelden die met behulp van parameters gevarieerd kunnen worden). Doordat dit al eerder was gedaan voor de onderdoorgangen koste dit in SCIA niet veel tijd. In Civil 3D koste dit wel veel extra tijd, omdat hier voor de template veel meer gegevens benodigd zijn.

Voor de kostenberekening zijn veel gegevens voor nodig. Meestal zijn deze aanwezig bij de calculator. Er moet wel goed op gelet worden wat en wel en niet binnen deze kosten valt zoals bijvoorbeeld het risico of de bouwplaatskosten. Dit heeft invloed op het uiteindelijke resultaat, maar ook op de precisie van dit resultaat. Dit moet goed gedocumenteerd worden.

De aanbeveling is om een model alleen op te stellen als zeker is dat een redelijk aantal van hetzelfde type constructies gebouwd gaan worden. Dan is de extra tijd die nodig is voor het opzetten te verantwoorden. Dit betekent dat het te modelleren type constructie goed gekozen moet worden, maar vooral niet te algemeen. De kracht is dat slechts kleine aanpassingen nodig zijn. Grote aanpassingen vereisen een nieuw model.

Conclusie

Tijdens de opleiding Civiele Techniek aan de TU Delft leer je om systematisch een ontwerp van een constructie op te zetten. Dit begint met het analyseren van het probleem en de wensen. Deze methode zorgt ervoor dat een onderzoek naar een model niet logisch is. De eisen en wensen zijn vaak verschillend en moeten los geïnterpreteerd worden. Ieder ontwerp is namelijk uniek. Hoe kan dit in een model gevangen worden? Dit is waar, maar ieder ontwerp wordt via dezelfde soort stappen uitgewerkt. Als deze stappen in een model gevangen worden, wordt nog steeds de geleerde methode gevolgd. In de toekomst zijn de stappen sneller te maken, aangezien de verschillende gegevens gebundeld zijn in het model. Dit scheelt een hoop uitzoekwerk.

Na een literatuuronderzoek, spoorkruisingen analyse en de berekening van een case is in meerdere stappen een model opgezet dat met behulp van een beperkt aantal invoergegevens een onderdoorgang kan dimensioneren, controleren, tekenen en berekenen. Dit model is toegepast op een aantal cases en de resultaten komen redelijk overeen met de werkelijkheid. Er



zijn nog afwijkingen tussen het model en de gebouwde constructies, maar deze zijn te verklaren door de gekozen methoden.

Uit de vergelijkingen tussen de gegevens uit de cases en het model, volgt een verschil in dimensies. Deze zijn vereffend door het toevoegen van de controle van de capaciteiten en het aan de hand hiervan aanpassen van de dimensies. Het resulterende model benadert de dimensies tot op ongeveer 15%. De bepaling van de kosten benadert de werkelijkheid tot op een verschil van ongeveer 15%.

Het model voor de spooronderdoorgangen presteert als eerste indicatie van de dimensies en kosten goed. De 15% in kosten is te verklaren door de verschillen in de dimensies en het gebruik van de factor voor risico's, winst en meer. Het verschil in dimensies volgt uit de gebruikte vuistregels en cases en de afronding naar de dichtstbijzijnde 50 mm.

Een van de risico's van een model is dat het na verloop van tijd in onbruik raakt dit is opgevangen door de methode te beschrijven. Deze methode is toepasbaar op verschillende constructies en kan gemakkelijk gebruikt worden. Om deze te testen is de methode toegepast op een brug. Uit het resulterende model volgt dat om een compleet en goed werkend model op te zetten alle vuistregels nodig zijn. Voor de brug zijn deze niet allemaal uitgezocht.

Een model dat het dimensioneren versnelt kan dus gemaakt worden. Dit is gedaan voor onderdoorgangen en opgezet voor bruggen. De grootste problemen die zijn tegengekomen zijn het ontbreken van vuistregels. Om dit op te lossen zouden hiervoor databases aangelegd moeten worden, zodat deze gegevens snel te vinden zijn.

Summary

The road and rail traffic cross at many places in the Dutch country. Most of these crossings consist of crossroads, but for safety and traffic flow this is not ideal. This is why many crossroads are replaced by underpasses. The design of such a underpass generally starts of scratch with little use of past constructions which takes much time. Many companies would like this process to incorporate models in order to reduce time usage. In this thesis this will be addressed.

Research

An number of researches are done. The first consists of a listing of applicable modelling techniques. These are divided into the following, from which the first is applied.

- Parametric models. These models use parametric rules and formulas to reach a certain result.
- Self optimizing models. These models use internal calculations in order to design a new construction and readjust parts of the construction until a prescribed optimum is reached.

Underpasses can be constructed in a number of different ways. All construction methods have different advantages and disadvantages. The most common are listed below.

- Traditional
- With a sliding deck
- With a sliding cross section
- A combination of above described methods

The model is based on a combination of the traditional construction method with a sliding deck. This method is applicable on many locations.

The second research is conducted in order to find the different parameters for crossroads between trains and cars in the Netherlands. This is done by checking a representative part of the Dutch railway system (Figuur 8). This results in different types of crossroads with different profiles of free space (Tabel 3). These profiles will be used in the report.

In the analysis the following data is gathered for all different crossings.

- Location
- Road usage
- Straight/ corner of the rail track (only 15% of the crossings is in a corner)
- Angle between the rail and road (between 90 and 45 degrees)
- The distance between the heart lines of the different rail tracks (minimal 4 m up to 10 m or more)
- The height of the rail above the ground (50% at ground level and another 15% within one meter of the ground level).
- The distance to structures in near the approach.



Figuur 8: The analysed tracks.

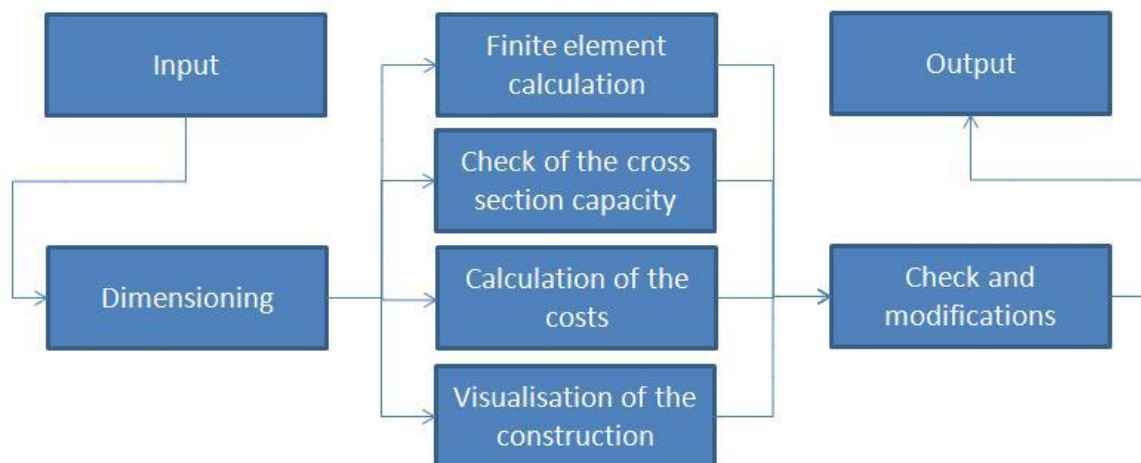
Type Nr.	Number of lanes			Number and type of crossings			Profile of free space	
	Car	Cyclist	Pedest.	Cross road	Underpass	Total	Width (m)	Height (m)
2 and 1	2	0	0	147	40	187	8,6	4,65
4 and 6	0	1	1	20	84	104	6	2,5
9 or 11	2	0 Of 2	2 Of 0	30	18	48	13,6	4,65
15	2	2	2	22	28	50	18,6	4,65

Tabel 3: The most occurring types of rail and road crossings with the according numbers.

Model

In order to see what would involve a complete model, a case of an underpass is calculated. This calculation combined with the found types of underpasses is the start of the model. This model is enhanced in a number of cycles.

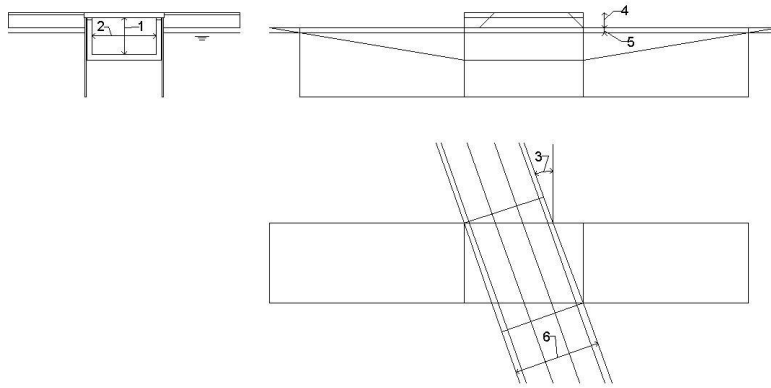
In the model the data from a number of different programs is used. These programs have different tasks and uses. A simple representation of this program is shown in Figuur 9 below. Here the steps and the programs are shown.



Figuur 9: The steps and the different parts of the model.

The model uses different programs. In order to combine the results, a sheet is made in Excel. In this Excel sheet the data for a program is presented and the results are filled in. These results are then processed in order to generate the input for the next program. For the calculation of the internal forces in the construction SCIA Engineer is used. This program uses the finite element method in order to calculate the internal forces resulting from the internal and external loads. Civil 3D is used for the visualisation of the results. The calculation of the strength of the cross sections the DAKO sheets are used. These are standardised and verified Excel sheets which calculate the strength capacity of a cross section.

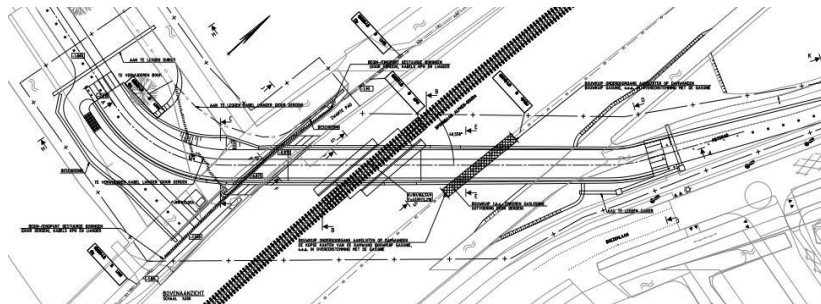
In order to define the borders of the model, the type of underpass to which the model applies is chosen. In this way the outlines of the construction are set. The first choice for this was the building method. The sliding deck over sheet piles in combination with the traditional method was chosen. This creates a hinge between the deck and the rest of the underpass and therefore they can be calculated separately. The underpass is connected to the approach roads by means of a hinge. No intermediate support is used in the underpass. A sketch of the resulting structure is shown in Figuur 10.



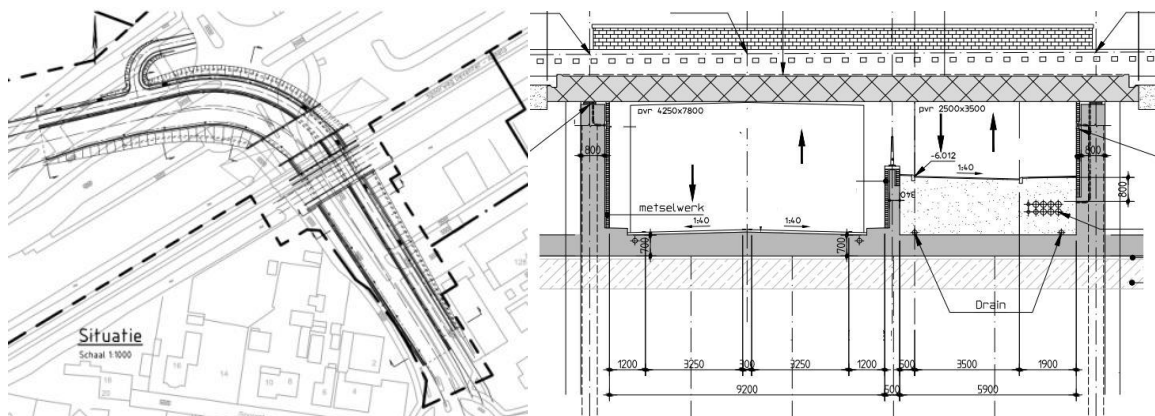
Figuur 10: A sketch of the type of construction used for the design model.

Application and results

In order to be able to compare the results of the program with the reality three underpasses are calculated in the model. Two were build during the course of this thesis (Veeneslage in Rijssen and Waddinxveen: Figuur 12) and the third was a tender contract. (Boskoop: Figuur 11)



Figuur 11: A bird's eye view of the underpass in Boskoop.



Figuur 12: The bird's eye view of the underpass in Veeneslagen (left) and the cross-section of the underpass in Waddinxveen (Right).

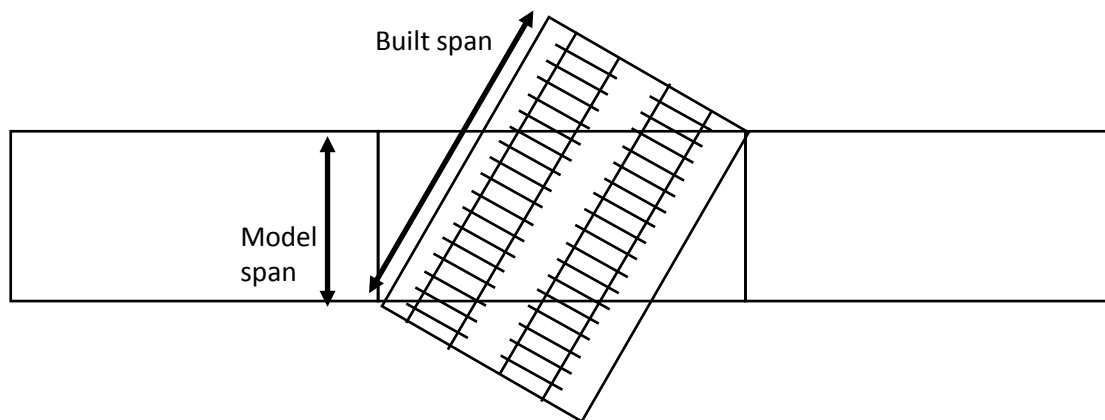
	Rijssen	Waddinxveen	Boskoop	Average difference	Average difference	Maximum difference
Deck length (m)	11,8	5,5	12,3	2,63	33%	71%
Deck width (m)	18,9	17	7,1	1,27	8%	11%
Floor width (m)	17,4	17	6,8	0,67	8%	17%
Deck thickness (m)	1,3	1	0,55	0,17	17%	30%
Wall thickness (m)	0,85	0,85	0,4	0,07	7%	15%
Floor Thickness (m)	0,76	0,85	0,4	0,07	9%	21%
Approach length (m)	83	25	55	17,82	34%	55%

Tabel 4: The dimensions of the different underpasses: the results and differences.

In Tabel 4 the results calculated in the model and the differences with the reality are shown. When reviewing these results a few remarks can be placed. First the dimensions of the model are never exactly the same as in real life. Furthermore these results only vary up to 15% with real life. Except for the lengths of the deck and the approach.

The approach varies a lot due to the influence of the surroundings. This length is calculated as the effective depth of the road relative to the height of the land. Together with a fixed angle the length is calculated. But in real life the approach is not straight. Due to an object in the track or underground (cable) an other alignment or slope angle is chosen.

The length of the deck is altered due to the problem shown in Figuur 13. The real span is larger than the span used in the model. The larger the angle between the road and rail, the larger this difference becomes. The difference in cost is large in Waddinxveen. This is due to the choice in finish on the walls. A masonry brick wall is used in front of all walls. This is much more expensive than the finish used in the original model.



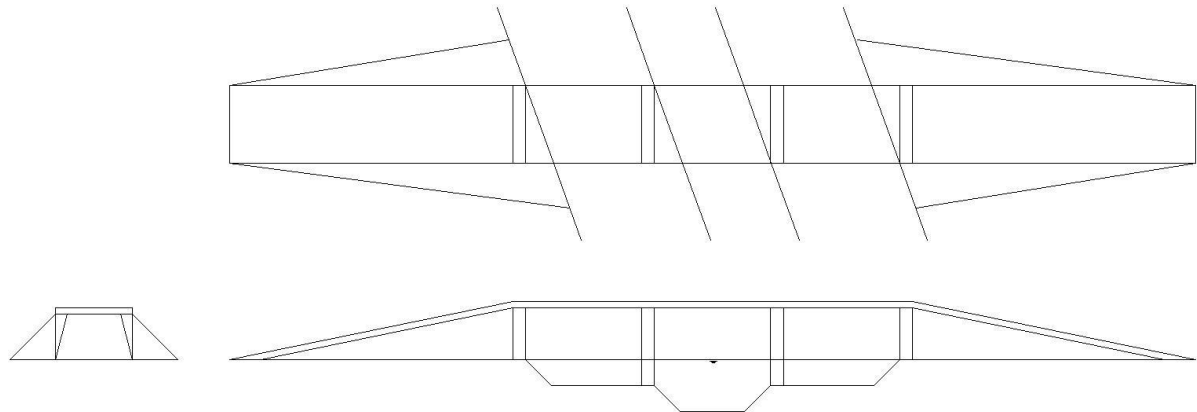
Figuur 13: The different measuring of the span of the underpass.

Finally a difference of about 15% in dimensions is a good result for a model used as a first design of an underpass. The difference of 15% on the cost is good, due to the use of a factor incorporating among others risk, profit and design costs (with a variance of 20%!). The variance on the dimensions of 15% is quite good as well because these dimensions are based upon rules of thumb or on average 3 to 4 relative comparative cases. These results are then rounded up to the nearest 50 mm. So the results of the model can be used as a good start for the calculation of an underpass.

General model: Bridge

Many models are no longer in use due to a number of reasons. The most important are the change of programs, or because the use of the model is not clear or applicable enough. In order to suppress these problems the model is broken down to an applicable method. So a new model can be made in a short amount of time.

To test the applicability of the method, it is applied on another construction. After a consultation a bridge is chosen. A sketch of the bridge is shown in Figuur 14.



Figuur 14: A sketch of the bridge used for the application of the modelling method.

During the application of the method a number of problems arise that can be solved, but not in the limited time remaining.

- The unavailability of rules of thumb or cases
- The use of different program`s
- The availability of data for the cost calculations

The choice for rules of thumb made on availability. The bridge model uses rules of thumb.

In the external programs the templates for the underpass are modified, so the bridge can be calculated. Due to the original template, this was easy. In Civil 3D however the task was quite laborious, due to the amount of data required in order to create a template in this program.

For the calculation of the costs much data is required. Most of the time this data is known at the calculating department, but the costs need to be verified to what they encompass. Are risk or equipment costs included in the figures or not? This has a great impact on the accuracy of the results. A proper documentation on this is obligatory.

A recommendation is to only make such a model when it is known that a lot of relative the same type of constructions need to be designed. The extra time needed to collect all the data is only justified when the number of constructions is accordingly high. This means the type of construction on which the model is based needs to be abstract enough to encompass all different locations. But precise enough so the result is usable. When large adaptations to a model are necessary it is most times better to start a new model.

Conclusion

During the study of Civil engineering at the TU Delft you are learned to systematically design a construction taking into account the preconditions and wishes of the surroundings and the client. This method makes sure that the result fits the problem. The method leads to many different and unique results for a problem, which seems impossible to fit into a model. This is all true, but all the same steps are taken for different constructions. When we assume (partly) the same conditions (by using one type of underpass) we can “fit” the systems engineering into a model. In this way the same approach is chosen, but the needed information is quicker to apply.

After research to rail-road crossings and different types of modelling a case was calculated. This calculation was used as a first step to a design model. After a few iterations a model was created that can dimension, check, draw, and calculate an underpass according to the chosen building



method. This model is applied to three cases and the results approach reality up to 15%. Some differences between the model and reality remain, but all can be explained.

The comparison of the cases and the model result in a difference in dimensions. These can be reduced by the application of control of the capacities of the cross-sections and the ensuing change of the dimensions. The resulting figures approach reality with a maximal difference of about 15%. This is true for the dimensions as well as the costs.

The model for underpasses results in a first indication of the dimensions with a difference up to 15%. In cost this difference is explained by the factor that incorporates among others, risk, profit and design costs. The difference in dimensions is explained by the use of rules of thumb and the rounding up of the thickness to the nearest 50 mm. A few alterations are made due to the results, in order to solve some misfits.

One of the risks of a model is the disuse after a certain amount of time. This is countered by the description of not only the model, but the method used to create the model. This method can be applied to other constructions as well. This is tested on a bridge. The resulting model shows a few problems that, due to a lack of time could not be achieved. A model needs rules of thumb in order to calculate dimensions that make sense. And it needs a lot of data in order to calculate a price that approaches reality. These data is not searched for the bridge due to limitations in time.

A model that speeds up the design of an underpass can be made. It is done in this report for one of the building methods of an underpass and a start is made for a bridge. The largest problems are shown but these are surmountable when given enough time.

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	2
Samenvatting.....	3
Summary.....	9
Inhoudsopgave.....	15
1. Inleiding	17
1.1. Probleembeschrijving	17
1.1.1. Maatschappelijke probleemstelling	17
1.1.2. Project context	18
1.1.3. Probleemstelling van dit afstudeeronderzoek.....	19
1.2. Doel.....	19
1.3. Synthese.....	19
1.3.1. Omschrijving aanpak onderzoek	20
1.3.2. Kader	21
2. Ontwerp modellen	22
2.1. Parametrische oplossingsmodellen.....	22
2.1.1. Modellen.....	22
2.1.2. Redenen waarom het niet lang gebruikt word	23
2.1.3. Voorbeelden uit afstudeerrapporten	24
2.2. Modellen gebaseerd op Cases	24
2.3. Zelf optimaliserende modellen	24
2.3.1. Modellen.....	25
2.4. Conclusie.....	25
3. Huidige onderdoorgangen.....	26
3.1. De gangbare bouwmethoden	26
3.1.1. De Conventionele Methode.....	26
3.1.2. Trek of Druk Methode	27
3.1.3. Schuif Methode	28
3.1.4. Inschuifdak.....	29
3.2. Voor en nadelen van de verschillende bouwmethoden.....	30
3.3. Onderdelen	30
3.4. Conclusie.....	31
4. Onderzoek Spoorkruisingen.....	32
4.1. Analyse kruisingen.....	32
4.2. Analyse onderdoorgangen.....	33
4.3. Conclusie.....	34
4.3.1. Aantal sporen en het alignement.....	34
4.3.2. Kruisingshoek	35
4.3.3. Hard op hard afstand.....	35
4.3.4. Hoogte spoor boven maaiveld	35
5. Van Case naar model	36
5.1. De Case	36
5.1.1. Eigenschappen	36
5.1.2. Resultaat	37
5.2. De opzet van het model.....	38
5.3. Verschillende constructieniveau's.....	38
5.3.1. Systeemniveau	39
5.3.2. Component niveau	39
5.3.3. Elementniveau	39
6. Model van een Onderdoorgang	40



6.1.	Uitgangspunten	40
6.1.1.	Bouwmethode.....	40
6.1.2.	Eigenschappen	41
6.1.3.	Keuzeboom	42
6.2.	Funcities en objecten van een onderdoorgang	42
6.2.1.	Objecten	42
6.2.2.	Funcities.....	43
6.2.3.	Combinatie van de funcities en de objecten	44
6.3.	Invoer variabelen.....	44
6.3.1.	Hoofdparameters	44
6.3.2.	Verschillende keuzes in constructie-elementen	45
7.	Cases.....	47
7.1.	Veeneslagen	47
7.1.1.	Uitgangspunten.....	47
7.1.2.	Resultaten	48
7.1.3.	Analyse van de resultaten.....	48
7.2.	Waddinxveen	49
7.2.1.	Uitgangspunten.....	50
7.2.2.	Resultaat.....	50
7.2.3.	Analyse van de resultaten.....	51
7.3.	Boskoop	52
7.3.1.	Uitgangspunten.....	52
7.3.2.	Resultaat.....	53
7.3.3.	Analyse van de resultaten.....	54
8.	Beschrijving van de methode.....	56
8.1.	Opzet aan de hand van de onderdoorgangen	56
8.2.	Beschrijving van het model van onderdoorgangen.....	56
8.2.1.	Doel	56
8.2.2.	Resultaat	57
8.2.3.	Opzet	57
8.2.4.	Werking	58
8.2.5.	Het bepalen van de parameters.....	59
8.2.6.	De gebruikte programma's.....	60
8.3.	De indicatie van de kosten	62
8.3.1.	Koppeling van de onderdelen	63
8.4.	Analyse van een potentiële toepassing op een brug.....	64
8.4.1.	Uitgangspunten en type	64
8.4.2.	Parameters uit de functie en objectenboom.....	64
8.4.3.	Externe programma's.....	66
8.5.	Conclusies en aanbevelingen	66
9.	Conclusie.....	67
9.1.	Doel.....	67
9.2.	Resultaat	67
9.2.1.	Inventarisatie	67
9.2.2.	Het model	67
9.2.3.	Toepassing op een brug.....	68
9.2.4.	Problemen	69
9.3.	Conclusies	69
10.	Literatuurlijst.....	71

1. Inleiding

1.1. Probleembeschrijving

Het ontwerpen van een constructie gaat volgen een aantal vaste stappen. Dit begint met het inventariseren van de eisen van de opdrachtgever en de randvoorwaarden uit de omgeving. Daarna wordt aan de hand van de kennis van de ontwerper een constructie opgezet. Deze wordt gecontroleerd aan de hand van de eisen, randvoorwaarden en normen. In eerste instantie lijkt deze methode goed, maar als meerdere vergelijkbare constructies gemaakt moeten worden, kunnen sommige stappen dan niet weggelaten worden om tijd te winnen en herhaling te voorkomen? In dit rapport wordt gekeken naar het gebruik van modellen om snel een indicatie van de constructie, dimensies en kosten te genereren.

Er wordt al lang gesproken over ontwerpmodellen en vaak dat dit een efficiëntieslag kan opleveren. Er zijn genoeg voorbeelden van modellen en systemen die op deze manier opgezet zijn (Kwak (1996); Maas (2002); Reuver (2011); Rietdijk (2000); Schepers (2011)). Deze zullen allen aan bod komen in dit rapport.

1.1.1. Maatschappelijke probleemstelling

In Nederland neemt de intensiteit van het weg- en het spoorverkeer al geruime tijd toe. Op veel plaatsen leidt dit tot knelpunten tussen deze twee verkeersstromen. Vooral overwegen gaan hierdoor vaker dicht. Dit resulteert in een toename van de wachttijden van het wegverkeer en congestie.

In Nederland zijn volgens Prorail nog ongeveer 2700 spoorwegovergangen (Bierhuis (2011)). Deze hebben een aantal nadelen ten opzichte van onderdoorgangen. Als eerste zijn ze minder veilig en als tweede gaan ze steeds langer en vaker dicht. Beiden redenen hebben invloed op de doorstroming van het wegverkeer. De beide zijn voor gemeenten vaak een aanzet om een spoorwegovergang op te heffen of om te laten bouwen tot onderdoorgang.

Op een aantal sporen wil Prorail Hoogfrequent gaan rijden (Prorail (2010)). Dit betekent dat overgangen hier nog vaker dicht zullen zijn. Op sommige plaatsen betekent dit een verbreding van het spoor van 2 naar 4 sporen. Hierbij zal Prorail de spoorovergang opheffen of om laten bouwen tot een onderdoorgang. Bij 4 of meer sporen is een ongelijkvloerse kruising verplicht.



Figuur 15: De trajecten voor spoorboekloos rijden. Bron Prorail (2010).

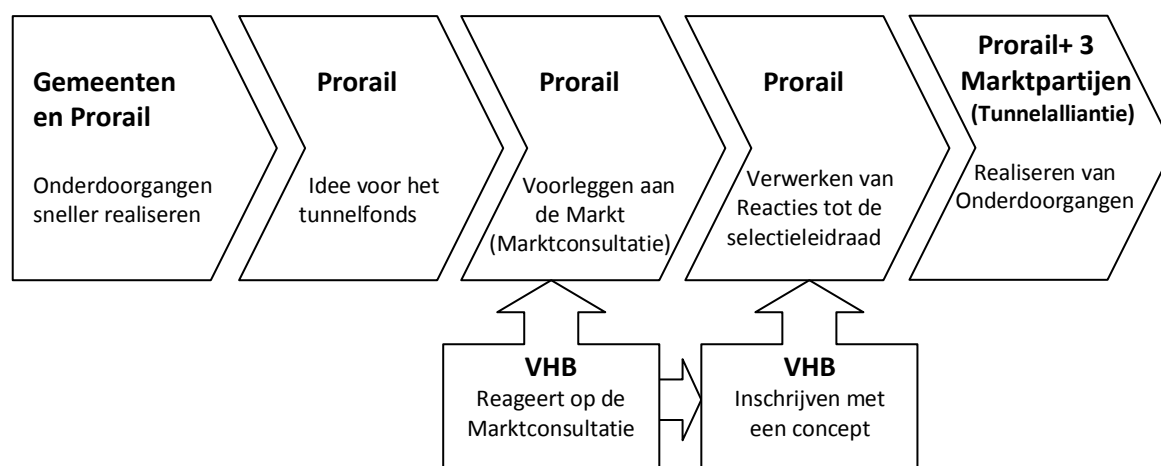
In de eerste twee gevallen neemt de gemeente contact op met Prorail. Deze startte op dit moment de aanbesteding op. In het derde geval startte Prorail zelf de aanbesteding op. Op deze aanbesteding schreven een aantal partijen zich in waarna de overgang gerealiseerd werd. Dit resulteert erin dat iedere onderdoorgang maatwerk is en dus veel tijd en geld kost.

1.1.2. Project context

Om het ontwerpproces efficiënter te maken en meer onderdoorgangen te realiseren in een kortere tijd is Prorail op zoek naar een andere manier van samenwerken. Deze andere manier van samenwerken resulteert in een ander contractvorm en hieruit volgt het idee van het “Tunnelfonds”. Hierin zitten 3 marktpartijen en Prorail. Deze marktpartijen hebben concepten van onderdoorgangen en ontwerpmethoden aangeleverd en zijn hierop geselecteerd.

Zodra een gemeente een nieuwe onderdoorgang wil, kan deze uit de bestaande concepten kiezen. De 3 partijen mogen daarna intern hierop aanbesteden. Binnen een (zeer) korte tijd moeten zij een concept met prijs aanleveren. Hierdoor ontstaat herhaling en kan bespaard worden op de kosten, maar ook op de ontwikkeltijd. Een ander voordeel is dat de gemeente snel een indicatie van de kosten wordt gegeven en deze minder vaak overschreden zal worden.

Om dit idee te toetsen en verbeteringen erin aan te brengen, heeft Prorail een Marktconsultatie gehouden (Bierhuis (2011)). De resultaten hiervan zullen zij meenemen in de aanbesteding (Prorail (2011-1); Prorail (2011-2)).



Figuur 16: De partijen in het proces voor de snellere realisatie van onderdoorgangen met hun acties.

Een nadeel van het idee van het Tunnelfonds is dat de ontwerpen en modellen die de bedrijven aanleveren eigendom worden van Prorail. De drie winnende bedrijven kunnen elk aanbesteden op ieder gekozen concept. Dat betekent dat een innovatief concept van de ene partij uitgevoerd kan worden door een andere partij. Hier zijn veel bedrijven het niet mee eens. Zij willen graag inschrijven met hun eigen concept en dus concurreren op het ontwerp. Hiernaast bestaat het risico dat de bedrijven die in het fonds zitten de onderdoorgangen onderhands gaan verdelen. Hierdoor wordt de kostenbesparing mogelijk teniet gedaan.

In de aanbesteding (Prorail (2011-1)) heeft Prorail de naam van het Tunnelfonds veranderd in Tunnelalliantie. Bij een aanvraag van een onderdoorgang vanuit Prorail, gemeente of provincie, wordt deze door de alliantie binnen korte tijd uitgewerkt en wordt een maximale prijs gegeven. Hierna kunnen de partijen in de alliantie aanbesteden op de specifieke tunnel.

Van Hattum en Blankevoort (VHB) is in samenwerking met Volkerrail een van de bedrijven die heeft gereageerd op de Marktconsultatie. VHB ziet de vooruitgang vooral in het toepassen van één standaard ontwerp, dat aan te passen is aan verschillende locaties. De basis van dit concept is ontstaan in de werkgroep Spoorse Doorsnijdingen en is gebaseerd op de conventionele

bouwmethode. Dit ontwerp moet wel aan te passen zijn aan de verschillende omgevingen en eisen van de opdrachtgever. Daarom is VHB op zoek naar een methode waar dit mee kan.

Een eerdere poging om een model op te zetten was het Keuze Ontwerp Model (KOM). Binnen dit model werd aan de hand van ingevoerde parameters en omgevingsinvloeden een kostenberekening gemaakt voor de verschillende bouwmethoden. Het model moest dus snel uitsluitsel bieden welke bouwmethode toepasbaar was en wat ongeveer de kosten moesten worden. Dit model wordt niet meer gebruikt. Waarschijnlijk omdat dit en keuze is die van meer afhangt dan de kosten.

1.1.3. Probleemstelling van dit afstudeeronderzoek

In de praktijk wordt het ontwerp van een constructie vaak vanaf niets begonnen. Dit is geen probleem, zolang een unieke constructie ontworpen en gebouwd moet worden. Maar als meerdere vergelijkbare constructies ontwerpen en gebouwd moeten worden kan in het ontwerpproces gebruik gemaakt worden van eerder verkregen informatie. Dit overnemen van informatie wordt gedaan door een ontwerpmodel op te stellen.

1.2. Doel

Het probleem dat gepresenteerd is in de inleiding is de constatering dat iedere constructie onnieuw wordt begonnen zonder veel gebruik van bestaande gegevens. Hierin is waarschijnlijk een slag te maken door het gebruik van modellen. Dit is het hoofddoel:

Is een model op te stellen dat het dimensioneren van constructies versneld?

Het model is ingepast in de maatschappelijke context namelijk de Marktconsultatie en de Tunnelalliantie. De subdoelen zijn dan als volgt:

1. Welke voor modelleringen zijn er en hebben de meeste potentie als toepassing op het model?
2. Is een ontwerpmodel op te stellen voor onderdoorgangen?
 - 2.1. Wat voor onderdoorgangen zijn er?
 - 2.2. Hoe wordt zo'n onderdoorgang berekend?
 - 2.3. Hoe zou het model hiervoor eruit zien?
 - 2.4. Wat zijn de voor en nadelen van vuistregels ten opzichte van andere methoden?
 - 2.5. Wat is de precisie ten opzichte van de berekening van de kosten?
3. Wat zijn de belangrijkste problemen ten opzichte van modellen en hoe is dit op te vangen?
4. Hoe ziet zo'n model eruit voor een volledig ander type constructie (bijvoorbeeld een brug)?
5. Wat zijn de problemen ten opzichte van het aanpassen/opstellen van het model en hoe kunnen deze overkomen worden?

1.3. Synthese

In de synthese is vanuit het geanalyseerde probleem en de gestelde doelen naar een oplossing toegewerkt. Hiervoor wordt eerst de oplossingsruimte bepaald. Stap voor stap kan dan gezocht worden naar een oplossing van het gestelde probleem.

1.3.1. Omschrijving aanpak onderzoek

Om een ontwerpmodel op te stellen wordt in de eerste hoofdstukken gekeken wat voor typen modelleringen er zijn en wat hier de voor en nadelen van zijn. Dit gebeurt in hoofdstuk 2.

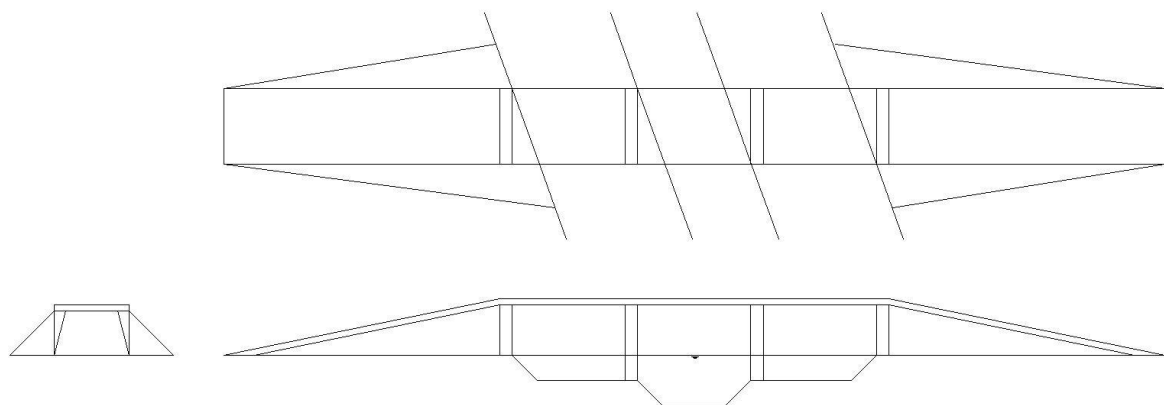
Uit het onderzoek naar de bestaande mogelijkheden (Hoofdstuk 2) met betrekking tot modelleren volgt een type dat veelbelovend is. Dit is parametrisch ontwerpen. Deze wordt gebruikt om de oplossing verder te specificeren.

Nu de methode gekozen is moet er meer onderzoek gedaan worden naar het onderwerp waar het op toegepast wordt: Onderdoorgangen. Daarom volgen in hoofdstuk 3 de meest gangbare bouwmethoden. Daarna volgt in hoofdstuk 4 een analyse van bestaande onderdoorgangen en spoorkruisingen waar toekomstige onderdoorgangen moeten komen. Hierdoor wordt een goed idee gekregen van de variatie van de constructies. Hieruit kunnen de parameters en typen worden bepaald.

Voor een model opgesteld kan worden, wordt in hoofdstuk 5 een virtuele onderdoorgang berekend. Hiermee worden de eisen en randvoorwaarden boven tafel gehaald. Daarna kan in stappen het eerste model opgesteld en uitgewerkt worden.

Na het opstellen van het model worden een aantal bekende onderdoorgangen ingevoerd en worden de resultaten hiervan bekeken en vergeleken. Dit gebeurt in de hoofdstuk 7.

Na het ontwerpmodel voor onderdoorgangen, wordt de opzet van het model beschreven en uiteengezet als toepasbare methode op een constructie. Om deze methode te controleren wordt hij toegepast op een nieuwe constructie. Tijdens deze toepassing zullen nieuwe problemen ontstaan waar oplossingen voor gevonden moeten worden. Als de problemen opgelost kunnen worden, is de methode breed toepasbaar. Dit resulteert in een langere levensduur van de methode en niet het model. Het is namelijk breed en vaak toepasbaar en kan daardoor meer gebruikt worden.



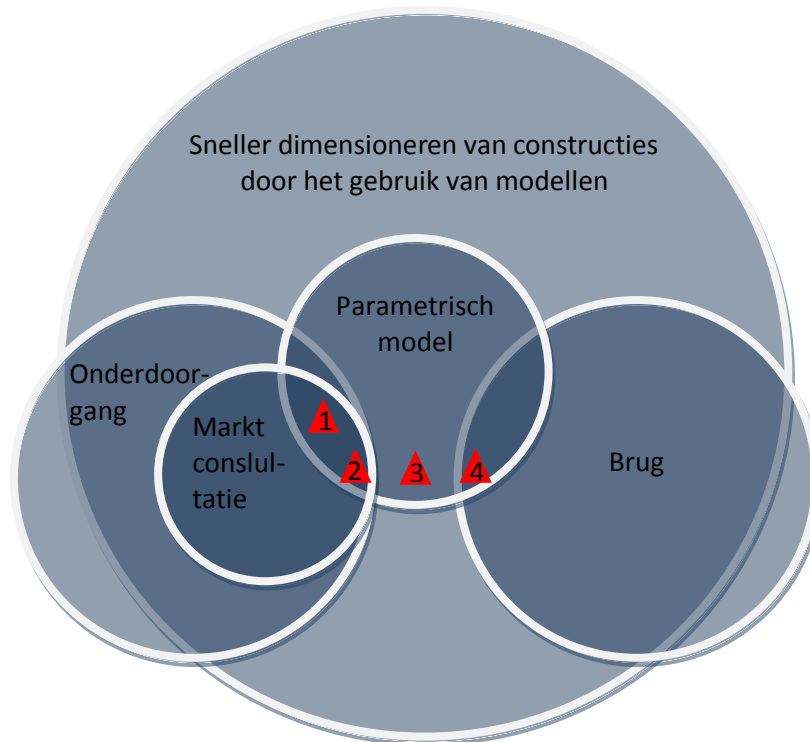
Figuur 17: Een schets van de brug voor het tweede model.

Een case bewijst nog niet dat meerdere constructies gedimensioneerd kunnen worden aan de hand van het gekozen modelleringsysteem. Daarom wordt de opzet van het model beschreven, waarna het toegepast kan worden op een andere constructie. In overleg is gekozen voor een brug, omdat deze niet te veel varieert van een onderdoorgang, maar toch genoeg om het model opnieuw op te moeten zetten.

Met behulp van de gegevens van de case kan het resultaat van de modellering gecontroleerd worden. Een voor en nadeel is dat de brug in de case niet veel verschilt van een onderdoorgang qua aantallen parameters. Het voordeel is dat hierdoor minder aan te passen is, maar dat is ook het nadeel. Eventuele problemen komen niet boven water.

1.3.2. Kader

Om een idee te geven van de stappen en de oplosruimte te visualiseren, is in Figuur 18 de oplosruimte met hierin de keuzen en stappen weergegeven.



Figuur 18: Een visualisatie van de oplosruimte van het afstudeeronderzoek. De pijlen geven de gevolgde stappen aan.

In Figuur 18 is de complete oplosruimte weergegeven. De start is gemaakt door het idee van het sneller dimensioneren toe te passen op onderdoorgangen met daarin specifiek de Marktconsultatie. Hierin is het eerste parametrisch model opgesteld (1). Nu het model compleet was is de methode om een zelfde soort model op te stellen voor een andere constructie beschreven (3). Deze methode is toegepast op een brug (4).

2. Ontwerp modellen

Er bestaat een heel scala aan ontwerpmodellen en methoden (Ong (2008) en Hubka (1996)). De in deze documenten genoemde modellen zijn hieronder kort beschreven. In meerdere andere documenten worden de beschreven methoden met andere namen weergegeven of worden andere methoden gebruikt. De onderstaande lijst is waarschijnlijk niet compleet.

De modellen zijn ingedeeld in drie groepen, parametrische oplossingsmodellen, modellen gebaseerd op bestaande cases en modellen gebaseerd op bestaande cases die zichzelf optimaliseren.

2.1. Parametrische oplossingsmodellen

Parametrisch ontwerpen is een onderwerp dat vaak terugkeert in de bouw. Het is een techniek die zich in verschillende disciplines bewezen heeft en vaak geprobeerd wordt in te voeren in de bouw. De hieruit ontstane modellen en programma's sterven vaak een stille dood. Waarom gebeurt dit terwijl de voordelen overduidelijk zijn? In dit hoofdstuk wordt gezocht naar de redenen hiervoor. Dit is opgesplitst in een opsomming van een aantal verschillende typen, voorbeelden en mogelijke redenen waarom een model uiteindelijk niet meer gebruikt wordt.

2.1.1. Modellen

Parametrische modellen

Het ontwerp van een constructie wordt uitgewerkt aan de hand van formules. Als hierin de gegevens ingevuld worden als parameters in plaats van getallen is de stap naar een parametrisch model niet groot.

Door de gegevens terug te brengen tot parameters kunnen resultaten snel vergeleken en aangepast worden. Aan de hand van de gekozen parameters kan de constructie geschaald en aangepast worden.

Regressie analyse

Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de lijn die is te vinden tussen bestaande cases door te trekken is naar de toekomst (Kim (2004)). Door het verleden te analyseren, kan dus het heden gevonden worden. Let wel op het verschil in betrouwbaarheid van het interpoleren (het vinden van een nieuwe oplossing tussen de data) en het extrapoleren (het vinden van een nieuwe oplossing buiten de dataset).

Expert system

Dit is een programma dat met behulp van logische regels en berekeningen opdrachten oplost. Dit kan met behulp van een database, maar ook aan de hand van voorgeprogrammeerde oplossingen.

Keuze Ondersteunend Systeem

Een Decision Support System (DSS) is een model dat een ontwerper helpt bij het maken van een beslissing. Hiervoor is informatie nodig over de case in het heden en de toekomst, de relatie tussen de verschillende processen, acties en beslissingen. Maar ook over het beslissingsproces (Wierzbicki (2000)).

Bij het gebruik van deze modellen is het belangrijk dat deze passen bij de manier waarop de keuze tot stand komt. Verder moeten deze in de verschillende fasen hulp bieden. Anders is het geen "Support".

Product model

Een productmodel bevat (volgens Rautenstrauch (2002)) alle gegevens van het model, de componenten en de onderlinge relaties. Iedere component kan bestaan uit subcomponenten. Iedere component is ook een Item. Van dit item zijn de alternatieven, varianten en revisies weergegeven. Een alternatief is een mogelijk vervangend item, een variant is een optie die een klant kan kiezen die dezelfde functie kan vervullen. De revisies geven de verschillende versies weer. Op deze manier wordt ieder onderdeel van een object beschreven en ook het object zelf. Een nieuw object kan snel uit de bestaande onderdelen samengesteld worden.

Modulair ontwerpen

Bij modulair ontwerpen wordt ervan uitgegaan dat constructies opdeelbaar zijn in modules (Baldwin (1997) en Salvador (2002)). Deze modules zijn uitwisselbaar en vervangbaar terwijl de rest van de componenten nog zijn taak vervult.

Volgens Ulrich (1995) bestaan 3 typen modulaire ontwerpen namelijk, slot, bus en sectioneel. Bij slot wordt ervan uitgegaan dat de losse onderdelen uitwisselbaar zijn. De aansluitingen tussen twee specifieke componenten zijn standaard, maar tussen twee andere componenten is weer anders. Hierdoor zijn onderdelen maar op een manier met elkaar te combineren. Bus gaat ervan uit dat er een onderdeel is dat als connectie functioneert tussen alle andere onderdelen. Deze bevat alle (gestandaardiseerde) aansluitingen en vangt alle verschillen op. De laatste is de universele. Hierbij zijn alle onderdelen op dezelfde manier verbonden. Ieder onderdeel kan aan ieder ander onderdeel verbonden worden.

2.1.2. Redenen waarom het niet lang gebruikt word

Er zijn verschillende redenen denkbaar waarom parametrische modellen het niet halen. Toch blijft het concept terugkeren. In deze paragraaf worden een aantal mogelijke redenen genoemd die het einde kunnen betekenen van een parametrisch model.

Gebruikte programma's veranderen

Het kan zijn dat de programmatuur die gebruikt wordt in het model verouderd, aangepast wordt of ophoudt te bestaan. Hierdoor is het model alleen nog maar bruikbaar op oudere apparaten en wordt het uiteindelijk niet meer gebruikt. Dit kan gelden voor gehele programma's maar ook voor interne verwijzingen.

Niet flexibel genoeg

Een model kan door nieuwe ontwikkelingen uit de tijd raken. De constructie of bouwmethoden waarvan uitgegaan wordt kunnen ophouden te bestaan of verboden worden. Als het model zich hier niet aan kan aanpassen zal het niet meer gebruikt kunnen worden.

Niet begrepen

Een model wordt altijd door een persoon of een groep gemaakt. Meestal zijn dit de gebruikers. Als het overleg tussen de makers en de gebruikers niet goed genoeg is, of de overdracht niet goed is, kan het model in onbruik raken. Dit komt omdat de kennis die nodig is om met het model te werken niet is doorgegeven of weggegaan is met de maker (de zogenaamde interne kennis van een model).

Het is daarom belangrijk om een model duidelijk te maken. De ingevoerde gegevens moeten logisch, duidelijk en eenduidig zijn, net als de uitvoer. Daarnaast moeten stappen en vooral aannamen en restricties duidelijk weergegeven worden. Dit voorkomt een verschil in kennis tussen de gebruikers en maker van een programma.

Te specifiek

Een model kan zich richten op een specifiek ontwerp. Als dit ontwerp te specifiek is om meerdere keren toegepast te worden heeft het uiteindelijke model geen nut. Het model wordt dan maar eenmaal gebruikt.

Dit is op te lossen door goede parameters te kiezen. Maar ook door een relatief algemeen ontwerp te kiezen dat gemodelleerd wordt. Details zijn dan later aan te passen in een uiteindelijk ontwerp.

Concurrentie van andere programma's

Als programma's op de markt komen die werkzaamheden van het model kunnen uitvoeren naast andere taken, zal het model in onbruik raken. Vooral als dit nieuwe model dit sneller of simpeler kan.

Te lage repetitie

Als het aantal constructies dat berekend wordt niet genoeg is, heeft het geen nut om een model op te zetten. Als wel een model is opgezet, maar het aantal constructies is laag, wordt het model snel vergeten en niet meer gebruikt.

2.1.3. Voorbeelden uit afstudeerrapporten

In de loop van de tijd zijn er een aantal verschillende afstudeerders geweest die ieder op een andere manier naar het ontwerpen van constructies hebben gekeken. In Bijlage 1 worden 5 verslagen besproken. Deze werken met parametrische optimalisatie.

Rietdijk (2000) heeft in zijn rapport en schuifsluis ontworpen aan. Hij heeft de dimensies van de sluis weergegeven in de vorm van parameters en functies en deze geoptimaliseerd. Het is een goed voorbeeld van een toepassing van een ontwerpmodel.

In het afstudeerrapport van Maas (2002) wordt een spuisluis in de afsluitdijk ontworpen. Van alle gegevens worden de Life Cycle Costs bepaald welke aan de hand van een parametrisch model worden geminimaliseerd. Het resultaat van deze minimalisatie is een optimale locatie en opzet van de spuisluis. Dit is een goed voorbeeld van een ontwerpmodel.

In het afstudeerrapport van Kwak (1996) wordt onderzoek gedaan naar de gevolgen van de standaardisatie van boortunnels. Daarnaast wordt een voorstel voor deze standaard afgewogen aan de hand van verschillende eisen en kansen. Het maken van een standaard onderdoorgang kan volgen uit het model en is daarom interessant om te bekijken.

2.2. Modellen gebaseerd op Cases

Waarom zou je een berekening opnieuw maken als je hem al een keer gedaan hebt? Dit is waar de op cases gebaseerde modellen vanuit gaan. Met behulp van zoek en aanpassende methoden wordt in een database gezocht naar een bestaande case die toegepast kan worden op het nieuwe probleem. Verschillende typen worden hieronder genoemd, samen met de voordelen en subtypen.

2.3. Zelf optimaliserende modellen

Zelf optimaliserende modellen maken vaak gebruik van Cases. Het verschil is dat deze modellen intern het resultaat optimaliseren. Dit kan op een aantal manieren, welke hier beschreven worden. Het nadeel van de zelf optimaliserende modellen is dat ze vaak werken als een gesloten systeem, wat eventueel te beïnvloeden is, maar niet geheel te leiden. Dit type is dan niet gebruikt in het verdere rapport.

2.3.1. Modellen

Genetische Algoritmen

Dit maakt gebruik van een zogenaamd genetisch proces. Het eigenlijke idee volgt uit de evolutie. Er wordt begonnen met een populatie. Deze gaat zich recombineren in een nieuwe generatie. Dit gebeurt door mutatie en recombinitie. Bij recombinitie worden twee oplossingen gecombineerd tot een nieuwe. Bij mutatie worden een of meerder eigenschappen veranderd. Als een nieuwe generatie even groot is als de originele stopt het proces en begint het een nieuwe generatie uit de pas gevormde. Tot het uiteindelijke resultaat naar een bepaalde doelfunctie toe is geconverteerd (bijvoorbeeld minimale kosten of energie).

Cellulaire Automata

Bij cellulaire automata wordt uitgegaan van overdracht tussen cellen. Met behulp van een aantal regels volgt de cel op tijdstap +1 uit de eigenschap van de cel op t en de eigenschappen van de omliggende cellen op tijdstip t. Hierdoor ontstaat elke nieuw tijdstip een nieuw resultaat van verschillende cellen.

Shape Grammars

Met behulp van vormen, die bestaan uit een vorm plus een ankerpunt, worden nieuwe vormen gecreëerd. Iedere vorm staat voor een onderdeel van een object. Een vorm blijft in zijn uiteindelijke vorm en locatie als de eind eigenschappen voldaan zijn. Anders blijft hij aan de hand van interne regels zich aanpassen en zijn ankerpunt veranderen.

Neural Network

Een Neural Network is een netwerk dat bestaat uit input, processing en output nodes (Yau (1998)). De processing nodes verwerken de input uit de input nodes, naar de output. Dit is gebaseerd op natuurlijke neurologische netwerken. Het idee achter deze netwerken is dat het netwerk leert van de opgegeven taken. Aan de hand van uitgevoerde taken zal het netwerk analyseren wat de logische lijnen zijn en deze toepassen bij het oplossen van het probleem.

Agent Based

Agent Based Modellen beginnen (volgens Axelrod (1997)) net als gewone modellen met vaststaande aannamen. Maar anders dan met normaal onderzoek, worden deze niet bewezen. In plaats daarvan simuleert het model een grote hoeveelheid data. Deze wordt geanalyseerd zoals normaalgesproken metingen dat worden.

Agent Based Modelling wordt vaak gebruikt om het resultaat van theorieën te testen voordat ze in de werkelijkheid toegepast en gevalideerd worden. Onverwachte grote gevolgen van kleine aanpassingen komen met dit model naar voren.

2.4. Conclusie

Na de inventarisatie van de methoden die voor handen zijn om een model op te zetten is in eerste instantie gekozen voor een parametrisch model. Dit model kan gebruik maken van kennis opgedaan in de verschillende afstudeerrapporten. Wel moet er op gelet worden dat de beschreven problemen ondervangen of voorkomen worden.

3. Huidige onderdoorgangen

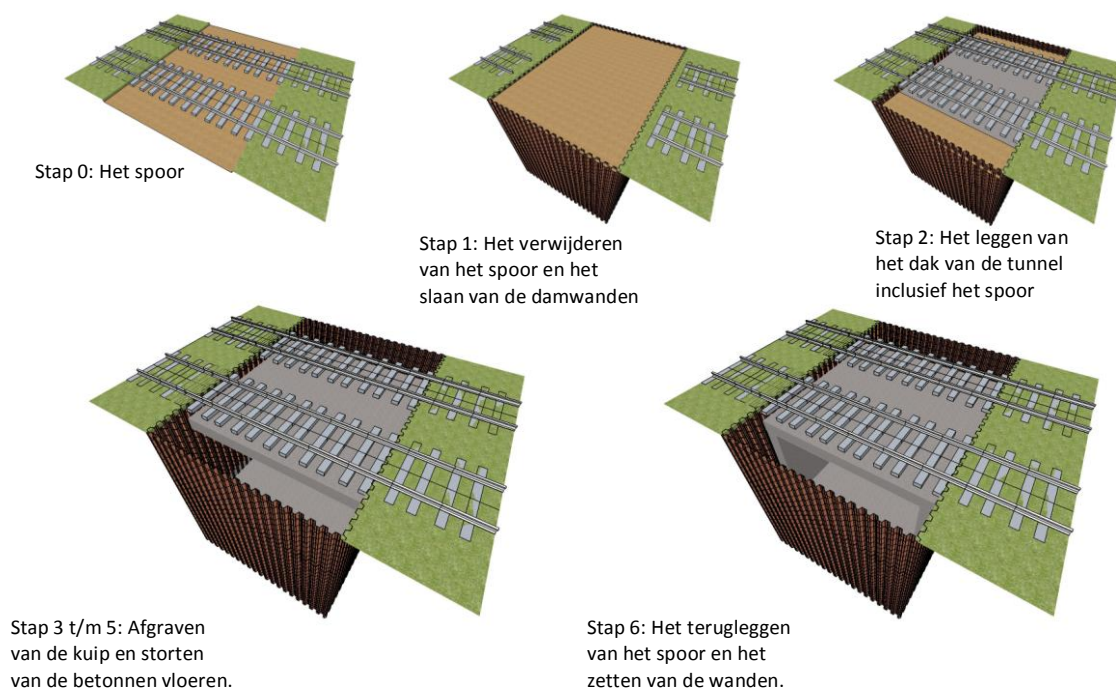
Onderdoorgangen kunnen op verschillende manieren worden gebouwd. De belangrijkste bouwmethoden worden in dit hoofdstuk besproken. Daarna volgt een vergelijking van de eigenschappen van de verschillende methoden en de toepassingsgebieden. Als laatste volgen de belangrijkste onderdelen van een onderdoorgang.

3.1. De gangbare bouwmethoden

De gangbare bouwmethoden zijn de conventionele, de druk/trek en de schuif methode. Deze worden in de onderstaande subparagrafen uiteengezet.

3.1.1. De Conventionele Methode

De conventionele methode is een van de oudste methoden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van damwanden, om zo een bouwkuip te creëren, waarin de onderdoorgang gebouwd kan worden. De stappen in de aanleg van deze methode zijn weergegeven in de onderstaande Figuur 19.



Figuur 19: De stappen in de aanleg van de conventionele methode.

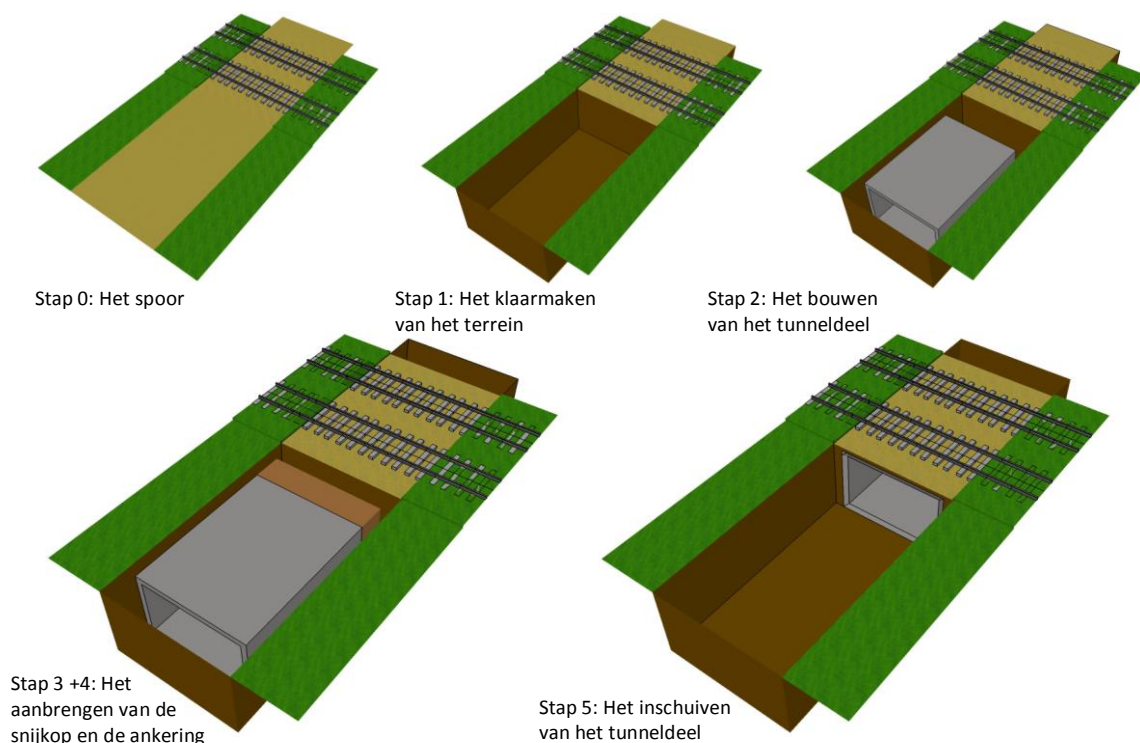
De stappen uit de bovenstaande Figuur 19, worden hieronder verder beschreven:

1. Als eerste worden de damwanden geslagen.
Deze damwanden worden over de gehele lengte van de tunnel aan beide zijden geslagen ook onder het spoor. Hiervoor is een buitendienststelling nodig. Alle kabels en leidingen moeten van tevoren of tijdens deze operatie omgelegd worden. Verder wordt de fundering voor het toekomstige spoor in deze periode aangebracht. Aan de kopse kanten van de bouwput worden damwanden geslagen, zodat een afgesloten bouwput ontstaat.
2. Het plaatsen van het geprefabriceerde dek.
Na het afmaken van de fundering kan in eventueel dezelfde buitendienststelling of een andere, de dekplaat geplaatst worden. Deze rust op de eerder ingebrachte damwanden of fundering. Nu kan hierboven het spoor tot in de uiteindelijke toestand afgemaakt worden. Hieronder is nu de bouwput, waarin gebouwd kan worden.
3. Het afgraven van de tunnelbak.

- Na het plaatsen van het dek kan onder de plaat, de tunnel worden uitgegraven. Als een hoge grondwaterstand aanwezig is, kan dit in het natte gebeuren, anders in het droge.
4. Het storten van het onderwaterbeton.
Dit is een optionele stap, die alleen nodig is als geen of geen toerijkende ondoorlatende laag in de ondergrond aanwezig is. Dan kan met het onderwaterbeton de bouwkuip waterdicht gemaakt worden.
 5. Het storten van de constructieve vloer.
Na het leegpompen van de bouwkuip kan de constructieve vloer aangelegd worden.
 6. Het plaatsen van de tunnelwanden.
De wanden van de tunnel kunnen aangepast worden aan de eisen van de opdrachtgever. Als deze de damwanden goed vindt, kunnen deze eventueel met een behandeling gereed gemaakt worden. Bij andere eisen kan een voorzetwand gebruikt worden.
 7. Het verder afmaken van de tunnel en de toeritten.

3.1.2. Trek of Druk Methode

Een andere methode is de trek of pers methode. Hierbij word een deel of de gehele onderdoorgang naast de uiteindelijke locatie gerealiseerd. Hierna wordt de hele constructie door het grondlichaam heen geperst of getrokken. Hierdoor wordt deze methode vaak toegepast bij een spoorbaan op een spoordijk. Anders moet voor de tunneldelen een bouwkuip aangelegd worden. De methode volgt de stappen zoals hieronder in de Figuur 20 zijn aangegeven.



Figuur 20: De stappen in de aanleg van de trek/druk methode.

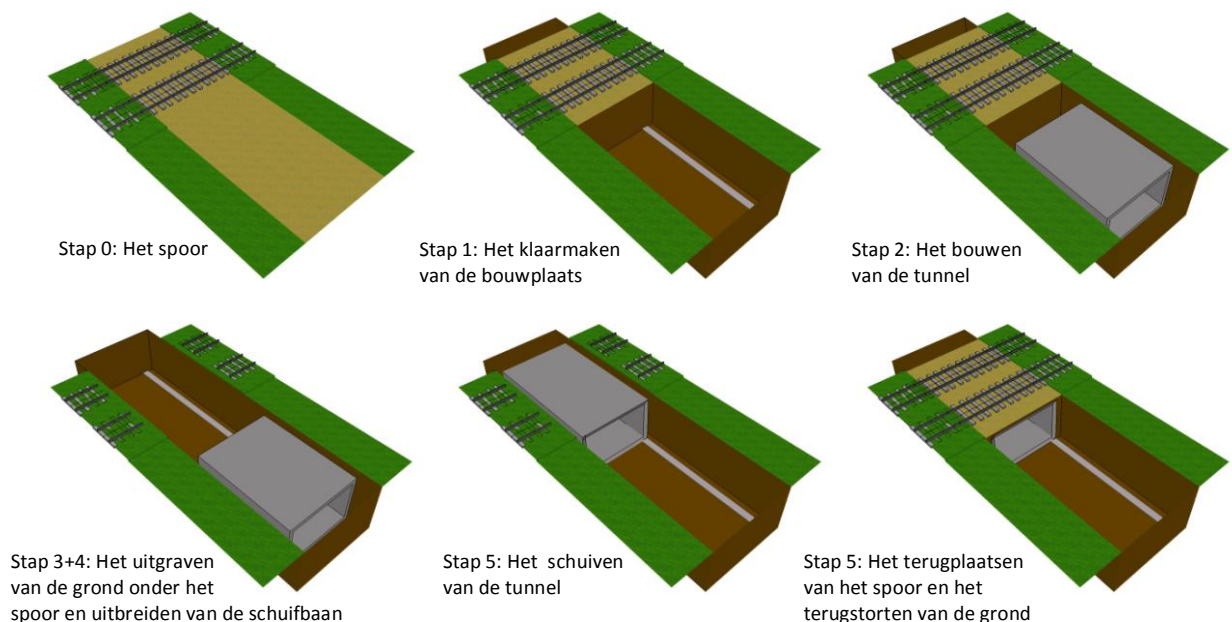
De stappen bestaan uit de onderstaande activiteiten.

1. Het klaarmaken van de omgeving van het spoor voor de segmenten van de onderdoorgang.
De eerste stap is het klaarmaken van de grond rond de te bouwen tunnel. Aan weerszijde (met trekken) of aan een zijde (met drukken) moet ruimte gemaakt worden voor de te bouwen tunnel(segmenten) en het plaatsen van de trek of druk installatie.
2. Bouwen van (een deel van) de tunnel.

- Nadat de omgeving gereed is gemaakt, kan de tunnel geheel of in delen gebouwd worden aan een kant van de onderdoorgang.
3. Aanbrengen van de snijkop.
Als een segment of de gehele tunnel klaar is kan aan het uiteinde de snijkop aangebracht worden. Deze zorgt ervoor dat de tunnel door de grond heen geperst kan worden.
 4. Het aanbrengen van de trek/druk ankers.
Ondertussen kan aan de andere kant van het element de drukmechanica of aan de andere kant van het grondlichaam de trekmechanica opgebouwd worden. Deze moet goed verankerd worden in de ondergrond.
 5. Het trekken/drukken van (een deel) van de tunnel.
Tijdens het intrekken/ drukken van de tunnel wordt langs de buitenkant een betonnet mengsel ingebracht, dit verlaagt de grondweerstand langs de tunnel en vult het gat op tussen de grond en de tunnel. Verder wordt tegelijkertijd of in tussenstappen de grond uit de tunnel verwijderd.
 6. Eventueel het maken van een nieuw deel van de tunnel.
Na het indrukken van het eerste deel, kan het tweededeel hieraan vastgemaakt worden. Hierna kan weer verder gegaan worden bij stap 3.
 7. Het afmaken van de tunnel en de toeritten.
Als alle delen van de tunnel in het grondlichaam zitten is de tunnel klaar. Dan kunnen de snijkop, de trek en de druk elementen verwijderd en de toeritten afgemaakt worden.

3.1.3. Schuif Methode

Bij de schuifmethode wordt net als bij de trek of pers methode de gehele onderdoorgang naast het spoor gebouwd. Alleen wordt deze niet door het grondlichaam heen getrokken. Nadat het grondlichaam is afgegraven, wordt deze op de uiteindelijke locatie geschoven, waarna de grond weer aangevuld wordt. De stappen zijn in de onderstaande Figuur 21 weergegeven.



Figuur 21: De stappen in de aanleg van de schuif of rijdt methode.

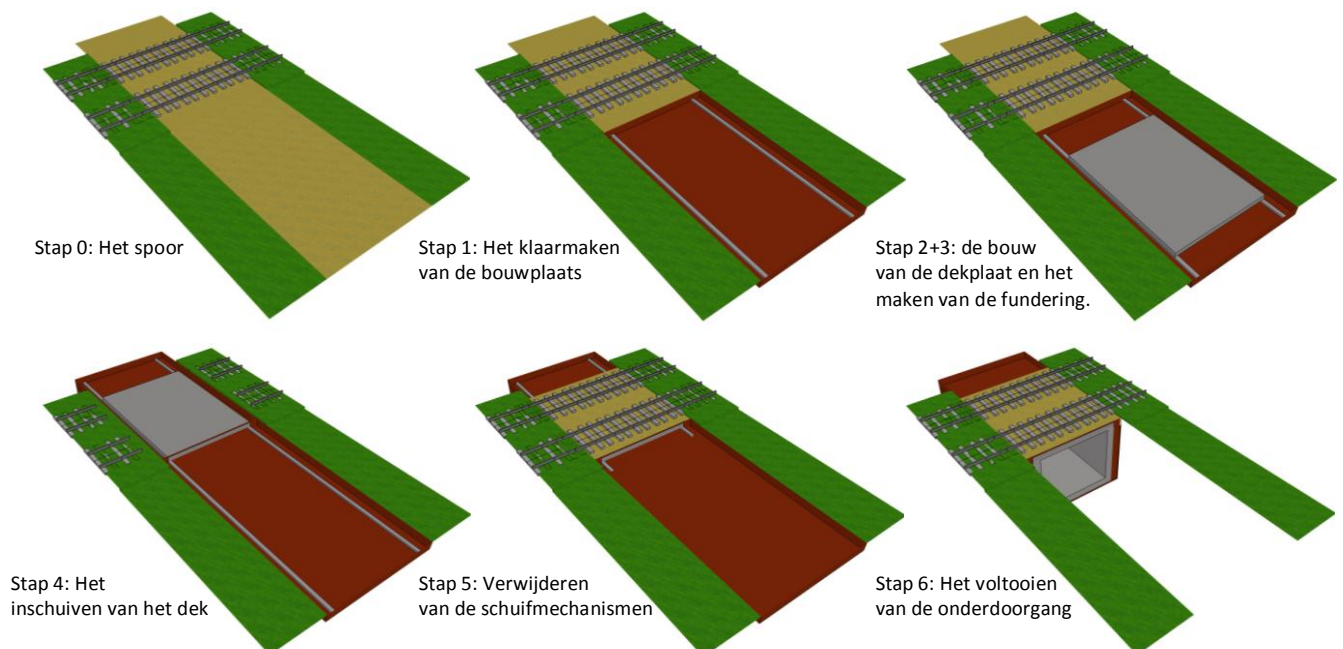
De hierboven weergegeven stappen bestaan uit de volgende onderdelen:

1. Het klaarmaken van de bouwplaats.
Het eerste dat moet gebeuren is het klaarmaken van de bouwplaats waar de complete tunnel gebouwd gaat worden. Hier moet eerst de schuifbaan gerealiseerd worden.
2. Het bouwen van de tunnel.

- Als de baan gereed is kan hierop de tunnel gebouwd worden.
3. Het uitgraven van de grond onder het spoor.
Op het moment dat de tunnel klaar is, kan de buitendienststelling beginnen. Dan wordt het spoor verwijderd en de grond uitgegraven.
4. Het aanleggen van het extra stuk schuifbaan.
Zodra de grond weg is, wordt de schuifbaan verlengd, zodat de tunnel naar zijn uiteindelijke locatie geschoven kan worden.
5. Het plaatsen van de tunnel en het terugstorten van het zand.
Als de tunnel op zijn locatie is aangekomen, kan het resterende gat tussen het grondlichaam en de tunnel aangevuld worden, en het spoor weer teruggeplaatst worden.
6. Het afmaken van de onderdoorgang en het bouwen van de toeritten.

3.1.4. Inschuifdak

Een alternatief van de inschuifmethode is het inschuiven van alleen het dak. Hiervoor wordt ongeveer dezelfde methode gebruikt als bij het inschuiven van de gehele tunnel. Hierdoor kan dit inschuiven sneller gebeuren. Onder dit dek kan zonder buitendienststellingen de tunnel afgebouwd worden. De stappen van deze bouwmethode zijn in Figuur 22 weergegeven.



Figuur 22: De stappen voor het inschuiven van de dekplaat.

De hierboven weergegeven stappen zijn bevatten de volgende onderdelen:

1. Het klaarmaken van de bouwplaats.
Als eerste moet een bouwplaats gerealiseerd worden waar de dekplaat gemaakt kan worden. Deze moet het dek kunnen dragen en ook de verplaatsingsmechanismen.
2. Het bouwen van het dak.
Nu de bouwplaats klaar is kan hier het dak gebouwd worden. Deze kan bestaan uit prefab onderdelen. De afmetingen van de plaat zijn meestal te groot om te vervoeren. Dan wordt deze in situ gemaakt.
3. Het realiseren van de wanden en de fundering.
Tijdens het bouwen van het dak kan onder en tussen het spoor in buitendienststelling(en) de fundering van het dak geheid worden. Nu kunnen de damwanden geplaatst worden die de grond tegen houden in de gebruiksfase.
4. Het realiseren van de verplaatsingsmechanismen onder het spoor.

Als het dek en de fundering gereed zijn, kan onder het spoor een deel afgegraven worden, waarna dit gereed gemaakt kan worden voor de inschuifmechanismen.

5. Het inschuiven van de dekplaat.
Als de fundering, plaat en schuifmechanismen klaar zijn, kan het dek ingeschoven worden. Daarna kan alle grond terug geplaatst worden.
6. Het voltooiën van de onderdoorgang.
Nu de plaat op zijn plaats ligt, het spoor weer terug ligt, kan onder het bestaande dek, de tunnel afgemaakt worden

3.2. Voor en nadelen van de verschillende bouwmethoden

In de onderstaande Tabel 5 zijn de voor en nadelen van de verschillende bouwmethoden samengevat.

	Conventioneel	Trek/pers	Schuif/rijd
Gebruik	Bewezen methode	Bewezen methode	Bewezen methode
Aanpasbaar	De afmetingen kunnen gemakkelijk aangepast worden	Moeilijk	Moeilijk
Fundatie	Er zijn meerdere fundatiemethoden mogelijk	De tunnel moet op staal kunnen worden gefundeerd	Een fundering op staal is verplicht
Combineren bouwmethoden	Het is te combineren met andere bouwmethoden	Nee	Nee
Hinder	Veel en lang last voor de omgeving	Het bovenliggende spoor wordt niet of nauwelijks gehinderd	Buiten buitendienst-stelling wordt spoor-verkeer niet gehinderd
Ruimtegebruik	Redelijk	Er is veel ruimte nodig om de tunnel op te bouwen. De methode kan gefaseerd worden	Er is ruimte nodig rond het spoor om de tunnel te bouwen
Buitendienst-stellingen	Een of meer	niet noodzakelijk	Slechts een
Bouwtijd	Lange bouwperiode	Als prefab gebruikt wordt, is dit een snelle methode	Als prefab gebruikt wordt, is dit een snelle methode
Spoordijk?	Niet nodig, maar kan wel	Gemakkelijkste in een spoordijk, maar hoeft niet	Beste om toe te passen bij een spoordijk
Toepasbaar	In alle grondsoorten	Niet in alle soorten	Niet in alle soorten
Dikten	Normale dikten	Het is uitvoerbaar met een minimale dekking	Normale dikten
Grondwaterst.	Niet van invloed	Het is niet mogelijk om onder het grondwaterstands-niveau te werken.	Niet van invloed
Repetitie	Iedere keer uniek	Iedere keer uniek	Iedere keer uniek
Omleid brug	Eventueel nodig	Eventueel nodig	Eventueel nodig

Tabel 5: Vergelijking van de eigenschappen van de verschillende bouwmethoden.

3.3. Onderdelen

Belangrijkste onderdelen van een onderdoorgang zijn de onderstaande. Deze zijn belangrijk voor het opstellen van de objectenboom voor het model.

- Damwand
De damwand moet het dek dragen. Verder moet hij de bouwput droog houden en de grond keren. Na de aanleg van de onderdoorgang verliest hij zijn functie en kan deze verwijderd worden. Dit zal alleen buiten het profiel van vrije ruimte van het spoor zijn om deze niet te hinderen.
- Brugdek met spoorstaaf
Het brugdek moet de treinen dragen. De eisen hiervoor staan in de OVS.



- Rijplaten spoor
De rijplaten voor het spoor zullen conform de OVS gedimensioneerd worden.
- Onderdoorgang
Deze onderdoorgang moet de krachten van het dek kunnen opnemen. Volgens de OVS mag geen gebruik gemaakt worden van stalen damwanden voor langere tijd in verband met de snellere oxidatie ten gevolge van reststromen. Hierdoor moeten de krachten van de damwanden overgebracht worden op de onderdoorgang. Deze kan een pompkelder bevatten.
- Kabels en leidingen goot
Voor de kabels en leidingen die de onderdoorgang kruisen moet een goot aangelegd worden, waar deze doorheen lopen. Deze kan eventueel verwerkt worden in het inspectiepad.
- Inspectiepad
Deze moet minimaal 1 a 1,2 meter breed zijn en zich tussen de 2,25 en 4 meter van het spoor bevinden.
- Randelementen
Een van de gemakkelijkste manieren om het aanzicht van de tunnel aan te passen is het gebruik van standaard randelementen. Deze moeten dan wel gemakkelijk geplaatst en aangepast kunnen worden. Dit kan gerealiseerd worden door hier rekening mee te houden bij de inspectiepaden.
- Eventuele ontsporingsbeveiligingen
Deze moeten aanwezig zijn als de overspanning meer dan 10 meter bedraagt.
- Palen
In het geval dat de damwanden niet genoeg draagkracht hebben, kunnen extra palen gebruikt worden. Deze moeten slots bevatten die aansluiten op de damwand. Bij het dimensioneren moet rekening worden gehouden met het feit dat ze de horizontale krachten moeten opnemen.
- Palen/ankers/ballast
Als de constructie opdrijft door een hoge waterstand kan gekozen worden tussen extra ballast, trekpalen of trekankers om de constructie omlaag te houden. In het geval van een te hoge belasting op de ondergrond kan gekozen worden voor heipalen voor extra belastingsafdracht.
- Aansluiting tussen de onderdoorgang en de toeritten
In de modellering wordt uitgegaan van een scharnierende verbinding. De waterdichtheid moet wel gegarandeerd worden. Daarom zijn waterdichte rubbers gebruikt.

3.4. Conclusie

Aan de hand van de bovenstaande gegevens is er gekozen voor een methode die vaak toegepast wordt. Dit is de methode met een inschuifbaar dek. Hierdoor is niet veel extra ruimte nodig rond de onderdoorgang, omdat dit dek boven de toerit gemaakt kan worden. Daarnaast is deze methode op verschillende manieren te funderen omdat na het dek de rest van de constructie onder het dek afgebouwd kan worden net als bij de conventionele bouwmethode.

Het inschuiven van het dek zorgt ervoor dat de onderdoorgang binnen een buitendienststelling onder het spoor gebouwd kan worden. Daarna kan onder dit dek de onderdoorgang gebouwd worden en de permanente fundering gemaakt worden. Als de onderdoorgang genoeg waterdicht is en er geen risico meer is voor opdrijven kunnen de herwinbare damwanden getrokken worden. De wanden onder het spoor zijn verloren, omdat anders een extra buitendienststelling nodig is.

4. Onderzoek Spoorkruisingen

Om een goed parametrisch ontwerp voor een onderdoorgang te maken, moet gekeken worden naar de variatie in parameters. Om dit goed in kaart te brengen is een onderzoek naar bestaande spoorkruisingen gedaan. De gevonden gegevens zijn weergegeven in Bijlage 21. De gevonden resultaten zijn geanalyseerd in Bijlage 2. De gegevens van de onderdoorgangen in Bijlage 3. En de conclusies zijn weergegeven in Bijlage 4. In dit hoofdstuk volgt een korte samenvatting van de gevonden resultaten.

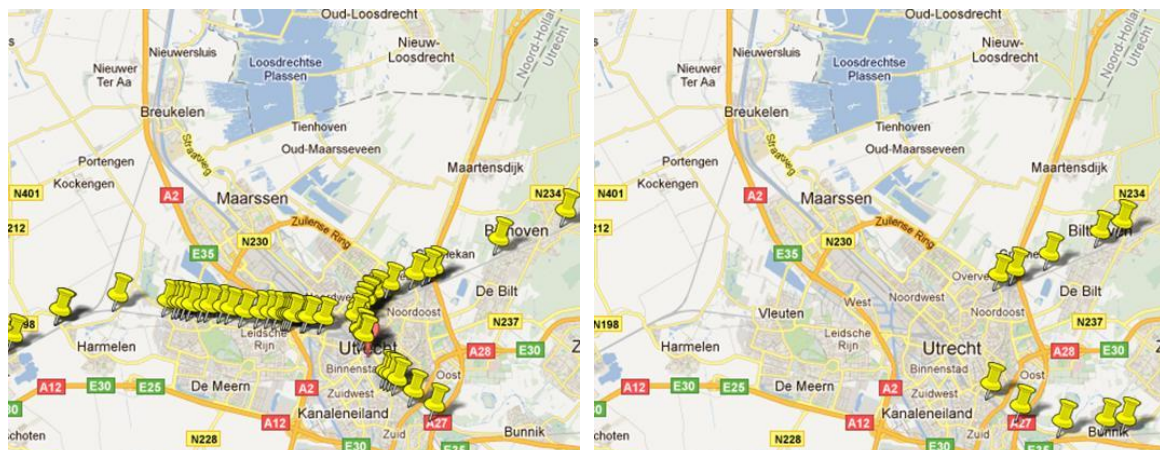
4.1. Analyse kruisingen

Om een goede analyse te maken van de 2700 overwegen is gekozen om een representatieve steekproef te doen. Hiervoor worden de weergegeven spoorkruisingen opgenomen in de analyse (Figuur 23). Van deze spoorkruisingen zijn met behulp van Google Earth gegevens verzameld. Deze zijn weergegeven in Bijlage 21.

Na een snelle analyse valt op dat in het initieel gecontroleerde stuk minder overwegen zijn dan aangenomen. Dit komt mogelijk omdat veel van het geanalyseerde spoor onderdeel uitmaakt van het zogenoemde “Hoofdspoor”. Het belangrijke en veel gebruikte spoor waarin veel overwegen al vervangen zijn door onderdoorgangen. Dit komt voort uit de locatie van het spoor. Veel overwegen liggen buiten de steden en buiten de Randstad. Veel van het geanalyseerde spoor ligt hier binnen. Een voorbeeld hiervan is de situatie rond Utrecht zoals weergegeven in Figuur 24.



Figuur 23: De geanalyseerde onderdoorgangen.



Figuur 24: De onderdoorgangen (links) en overwegen (rechts) rond Utrecht.

Naast de locatie is gekeken naar het weggebruik. Hierin zijn een zevental veelgebruikte typen te vinden. Deze zijn weergegeven in Tabel 6. Deze typen komen neer op de onderdoorgangen met een of twee (1 en 2) autowegen buiten de bebouwde kom. De onderdoorgangen speciaal voor fietsers (4) of voetgangers (6). En de onderdoorgangen met alles (fietsers, voetgangers en auto's)

aan een kant (9 en 11) of die met fietsers en voetgangers aan twee kanten van de autoweg (15). Andere combinaties zijn niet weergegeven.

Type Nummer	Aantal banen of kanten van de weg			Aantal spoorkruisingen		
	Auto	Fietser	Voetganger	Overwegen	Onderdoorgangen	Totaal
1	1	0	0	75	24	99
2	2	0	0	72	16	88
4	0	1	0	17	28	45
6	0	1	1	3	56	59
9	2	2	0	15	11	26
11	2	0	2	15	7	22
15	2	2	2	22	28	50

Tabel 6: De meest voorkomende typen spoorkruisingen met het bijbehorende weggebruik en aantallen.

De gegevens met betrekking tot het spoor geven belangrijke en soms onverwachte resultaten. Hiermee moet in de rest van het rapport rekening mee gehouden worden. Zo is het aantal sporen redelijk variabel met ongeveer 70% dubbel spoor en ongeveer 25% meer sporen. Liggen veel (85%) spoorkruisingen niet in een bocht en is de hard op hard afstand meestal (60%) ongeveer 4 meter. De kruisingshoek varieert daarentegen veel. Ongeveer de helft (47%) is ongeveer een haakse kruising, maar nog 9% heeft een hoek van 45 graden. 5% heeft zelfs een scherpere hoek.

4.2. Analyse onderdoorgangen

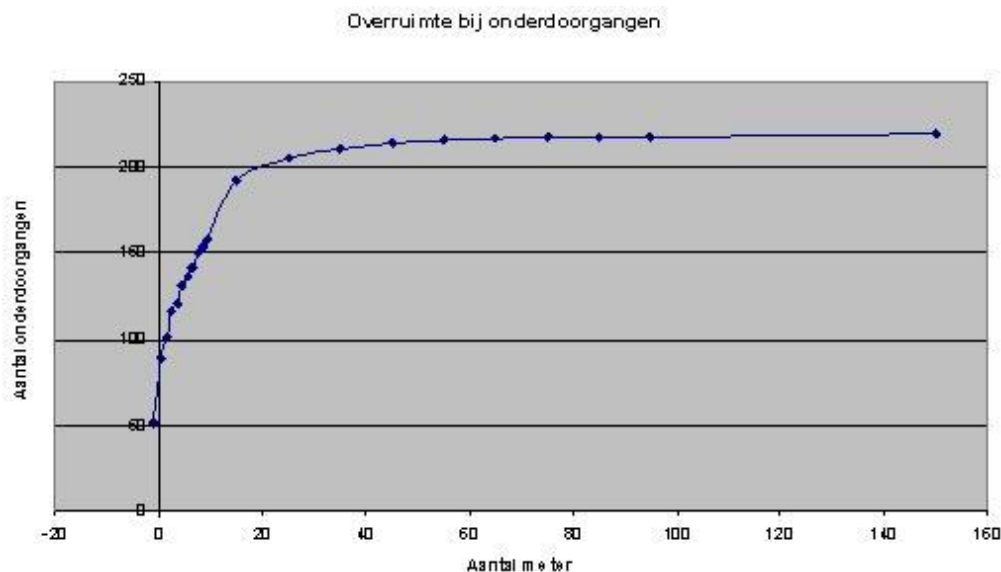
De gegevens van de onderdoorgangen zijn bekend uit de analyse van de kruisingen, maar voor de afmetingen van een onderdoorgang bestaan richtlijnen. In deze paragraaf wordt bekeken of deze overeenkomen met de gevonden gegevens. De afmetingen uit de richtlijnen volgen uit de ASVV 2004. De precieze gegevens en resultaten zijn terug te vinden in Bijlage 3.

Een groot deel (29%) van de onderdoorgangen voldoet niet aan de richtlijnen (Tabel 7). Veel voldoen niet op de breedte (24%). Waarvan een groot deel (16) meer dan 4 meter minder breed zijn. Een deel voldoet niet op de hoogte. Hier zijn waarschuwborden weergegeven en is de hoogte gelimiteerd in verband met het beoogde gebruik.

	Hoogte		Breedte		Beiden		Totaal	
Voldoet	182	83%	156	71%	138	63%	138	63%
Voldoet niet	23	11%	52	24%	63	29%	63	29%
Voldoet alleen op deze niet	12	5%	41	19%	10	5%	63	29%
Onbekend	14	6%	11	5%	18	8%	18	8%
Totaal	219	100%	219	100%	219	100%	219	100%

Tabel 7: De aantallen onderdoorgangen die niet voldoen aan het profiel van vrije ruimte.

Naast een te smalle onderdoorgang, zijn veel onderdoorgangen te breed. Deze extra breedte kan gebruikt worden voor extra banen, barrières, kolommen en andere objecten. Deze ruimte kan flink oplopen zoals is weergegeven in Figuur 25.



Figuur 25: De extra breedte ten opzichte van het aantal onderdoorgangen.

4.3. Conclusie

Het aantal van 22 doorsnedenprofielen uit de ASVV 2004 (zie Bijlage 4) kan door overeenkomsten gereduceerd worden tot 13. Bij de typen met fiets en voetpaden, kan een halve meter gewonnen worden door het voetpad 1 meter breed te nemen in plaats van de aangeraden 1,5 meter of het fietspad van 3,5 naar 3 meter terug te brengen.

Daarnaast worden de onderdoorgangen gebouwd om de doorstroming en de veiligheid te verbeteren. Als gebruik wordt gemaakt van onderdoorgangen waar maar een auto naast elkaar kan passeren, wordt dit teniet gedaan. Daarom wordt deze optie niet meegenomen. Dan komt het totaal aantal typen uit op de onderstaande 4 (Tabel 8).

Type Nummer	Aantal banen of kanten van de weg			Profiel van Vrije Ruimte		Totaal
	Auto	Fietser	Voetganger	B (m)	H (m)	
2 (en 1)	2	0	0	8,6	4,65	88
4 en 6	0	1	1	6	2,5	104
9 of 11	2	0 Of 2	2 Of 0	13,6	4,65	48
15	2	2	2	18,6	4,65	50

Tabel 8: De aangenomen PVR per type.

Hoewel meer breedte betekend dat de kosten van de onderdoorgang omhoog gaan, levert het standaardiseren van de onderdoorgang, door middel van uniforme afmetingen geld op. Waar het omslagpunt zit is niet bekend, maar met de hierboven voorgestelde afmetingen, wordt tot op halve meters binnen het profiel van vrije ruimte gebleven. Hierdoor blijven de verliezen beperkt.

4.3.1. Aantal sporen en het alignement

Het aantal sporen dat in de case meegenomen wordt is 2. Uit de analyse kwam naar voren dat dit in 67% van de gevallen zo is. In dit ontwerp komen verder alle problemen met betrekking tot het aantal sporen aan bod. Bij enkele sporen zijn geen aansluitingsproblemen en bij 4 sporen of meer is een ongelijkvloerse kruising al verplicht. Toch is dit een parameter die invloed heeft en wordt meegenomen.



Uit de analyse bleek dat het alignement van het spoor meestal recht is. Van de 602 spoorkruisingen was 85% met recht spoor. Daarom zal deze optie niet meegenomen worden in de berekeningen.

4.3.2. Kruisingshoek

De kruisingshoek bleek flink te variëren. Dit is een belangrijke parameter met betrekking tot de lengte van de overspanning. Hiervan zal een hoek van 90 tot 45 graden meegenomen worden. Deze hoek zal varieerbaar gehouden worden in het uiteindelijke modellen.

4.3.3. Hard op hard afstand

De hard op hard afstand varieerde in de analyse nog veel. Maar 60% van de afstanden was ongeveer 4 meter. Volgens de OVS moet de hard op hard afstand minimaal 4 meter zijn en moet gestreefd worden naar 4,25 meter. In de berekening van de case wordt in eerste instantie van 4 meter uitgegaan. In het model zal deze parameter gebruikt worden.

4.3.4. Hoogte spoor boven maaiveld

Uit de analyse blijkt dat in 56% van de locaties het spoor op of vlak boven maaiveld ligt. Nog eens 9% van de sporen ligt hier ongeveer 1 meter boven. Samen ligt 65% in de buurt van het maaiveld. In de case wordt uitgegaan van een spoor op maaiveld.

5. Van Case naar model

Voor een model opgezet wordt, wordt eerst een case berekend. Dit om alle problemen die hierin voorkomen goed te onderzoeken. Hierna is een opzet te maken voor het parametrisch model.

Dit model is in meerdere stappen opgezet. Als eerste is een simpel basismodel opgesteld. Daarna is dit aangepast en uitgebreid tot een model dat controle- en aanpasmogelijkheden heeft. Dit is verder uitgebreid tot het uiteindelijke model. De verschillen tussen deze modellen zullen hieronder kort uiteen gezet worden

5.1. De Case

Om de modellering op te kunnen zetten is een case bekeken. De uitwerking hiervan is terug te vinden in Bijlage 5. Hieronder worden de belangrijkste eigenschappen weergegeven, waarna verder wordt gekeken naar de uitwerking van het model.

5.1.1. Eigenschappen

Voor de case is een van te bouwen onderdoorgangen gekozen. In de onderstaande Figuur 26 is hier een bovenaanzicht van gegeven. De eigenschappen zijn verder weergegeven in Tabel 9.



Figuur 26: De locatie van de berekende case(nummer 347).

Uit de bovenstaande locatie volgen een aantal gegevens. Deze zijn in de onderstaande tabel weergegeven.

Eigenschap	Keuze
Type weg	Type 2
Rechtstand	Recht
Aantal sporen	2
Alignement van het spoor	Recht
Tussenafstand tussen de spoorstaven	7 meter
Kruisingshoek	90 graden
Hoogte boven maaiveld	0 m
Grondwaterstand	2,5 m onder maaiveld
Grond gegevens	Zie sondering

Tabel 9: De gegevens van de locatie.

Voor de berekening is de constructie opgedeeld in het dek, de wanden, de bodem, de fundering en de damwanden. Allen zullen op andere momenten maximaal belast worden. Dit zal in alle gevallen weergegeven worden.

5.1.2. Resultaat

Na de berekening zijn de dimensies van de constructie bekend. Deze zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

Eigenschap	Waarde	Eenheid
Lengte dek	10,50	m
Breedte dek	8,6	m
Dikte dek	0,6	m
Hoogte wand	4,65	m
Dikte wand	0,8	m
Breedte vloer	8,6	m
Dikte vloer	0,5	m

Tabel 10: De gevonden en gebruikte dimensies van de case.

Naast de dimensies zijn de capaciteiten berekend en gecontroleerd aan de hand van de belastingen. De resultaten van de zwaarste controles zijn weergegeven in de onderstaande tabel

Onderdeel	Belasting	Capaciteit	Belasting	Unity
Dek	Moment	1204,67 kNm	2613,02 kNm	0,63
	Dwarskracht	696,73 kN	1089 kN	0,64
	Vermoeiing	162,5 N/mm ²	167,93 N/mm ²	1,03
Wand	Moment	560,05 kNm	546,27 kNm	0,98
	Dwarskracht	1626 kN	206,07 kN	0,13
Vloer	Moment	560,02 kNm	546,27 kNm	0,98
	Dwarskracht	1626 kN	199,95 kN	0,12

Tabel 11: De belastingen en capaciteiten van de verschillende doorsneden.

Uit de bovenstaande controles volgen de onderstaande wapeningen. Er is niet gekeken of deze voldoen aan de eisen voor de minimum afstanden en afmetingen van de wapening.

Onderdeel	Dikte	Diameter	H.o.H. afstand
Dek	600 mm	20 mm	75 mm
Wand	800 mm	20 mm	80 mm
Vloer	500 mm	20 mm	80 mm

Tabel 12: De benodigde wapening in de verschillende doorsneden.

Nu alle dimensies bekend zijn kan naar de fundering gekeken worden. Als eerste de damwand. De draagcapaciteit wordt opgebouwd door de kleef en de puntdraagkracht. De totale draagkracht van de damwand komt maximaal neer op $235,9 + 32,87 = 268,8$ kN/m en minimaal op $235,9 - 39,24 = 196,69$ kN/m. De trekkracht is 39,24 kN/m.

Naast de draagkracht moet de buigcapaciteit van de damwand gecontroleerd worden. Aan de hand van het maximale moment (op ongeveer 4 en 11 meter diepte), kan bekeken worden of de damwand voldoet. Dit maximale moment komt neer op 163,7 kNm of -106,0 kNm. De damwand zou volgens de gegevens 860 kNm aan moeten kunnen. Dit gaat dus goed (eventueel kan een kleiner profiel damwand gekozen worden).

De resulterende krachten van de constructie op de ondergrond zijn:

- Onbelast: -76,70 kN
- Belast: 2510,50 kN

Om de belasting op te vangen is gekozen voor twee verschillende typen paalfunderingen. Het bijbehorende puntdraagvermogen volgt uit de grondgesteldheid rond de paalpunt. Voor de stalen buispaal volgt hiervoor een draagvermogen van 559,6 kN per paal en voor de betonnen paal volgt een draagvermogen van 2400,0 kN per paal. Hierbij is ervan uitgegaan dat de punt van de paal in een stabiele zandlaag staat. De doorsnede van de buispaal is 250mm met een wanddikte van 25mm. De betonnen paal is 400 bij 400mm.

5.2. De opzet van het model

Nu de case berekend is kan in samenwerking met de parameters uit het onderzoek en voorgaande afstudeerrapporten een eerste versie van het model opgezet worden. Dit bevat vooral de invoer, eerste dimensionering met vuistregels en een in en uitvoer in SCIA Engineer.

Dit eerste model bevat de opzet in Excel en een template in SCIA. De eerste uitbreiding is een terugkoppeling. In samenwerking met de eerder gebruikte berekeningen voor de case worden de capaciteitsberekeningen parametrisch gemaakt. Dit zorgt ervoor dat gezien kan worden of een onderdoorgang voldoet. Dit betekent dat als deze niet voldoet, er een aanpassingsmogelijkheid geleverd moet worden. Dit is dan ook toegevoegd.

Naast de controle van de capaciteiten wordt ook de visualisatie in Civil 3D en de kostenberekening in een later stadium toegevoegd. Deze zijn beiden gebaseerd op de gevonden dimensies van de onderdoorgang. Daarnaast zijn de gegevens van de capaciteitsberekening vergeleken met de resultaten van de geverifieerde DAKO sheets die ook de capaciteiten van de doorsnede controleren.

Alle bovenstaande stappen resulteren in het model dat is weergegeven in de volgende paragraaf. Een uitgebreidere uiteenzetting is te vinden in Bijlage 6.

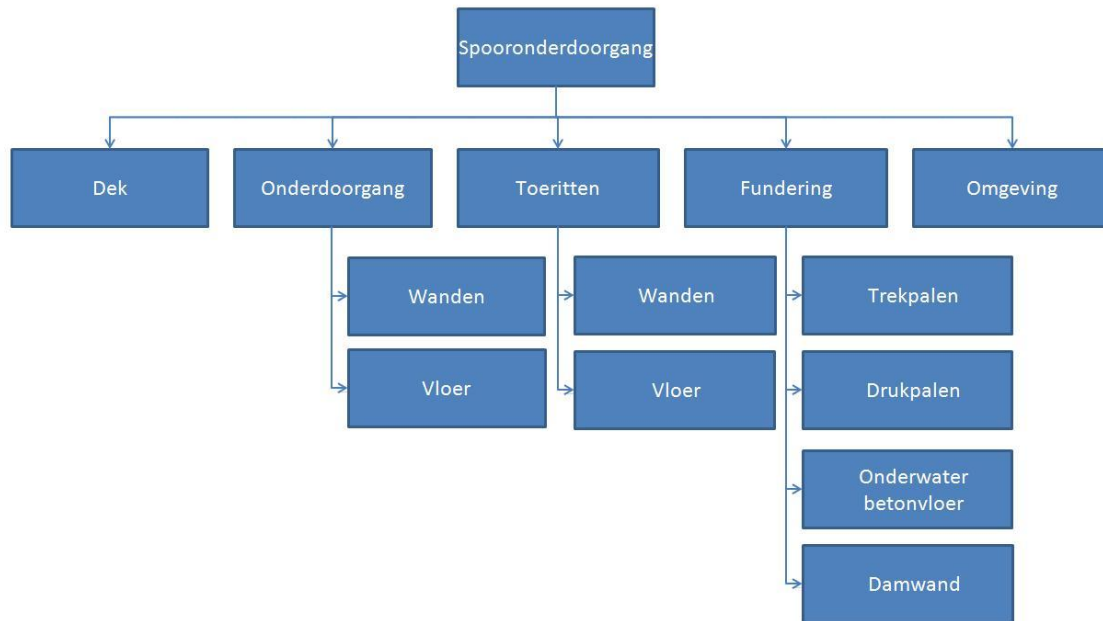
5.3. Verschillende constructieniveaus

Niet voor iedere berekening is hetzelfde niveau van precisie nodig. Daarnaast kunnen verschillende keuzes gemaakt worden met betrekking tot dezelfde elementen (bijvoorbeeld een wel of niet voorgespannen dek). Om dit soort problemen op te lossen wordt gebruik gemaakt van een onderscheid in de berekeningen op de verschillende constructieniveaus.

De niveaus volgen uit de objecten en functieboom (zie Bijlage 16). In het uiteindelijke model zal ieder niveau zijn eigen map en reken sheet hebben. Hierin worden de gegevens benodigd voor de berekeningen naar lagere niveaus doorgegeven. In het huidige model is voor een simpelere opzet gekozen. Hierin word het hoogste niveau gerepresenteerd door de sheet, de componenten door de rekenbladen en de elementen door de hoofdstukken in de rekenbladen.

De keuze voor de opzet in een sheet volgt uit de versimpeling van het berekeningsproces. Als alles in losse bestanden staat, moeten voor iedere cyclus alle bestanden los herberekend worden met de opnieuw geïmporteerde gegevens. Dit is omslachtig en kost veel extra tijd, vooral als er nog aan gewerkt wordt. Daarom is gekozen voor één sheet.

De uitsplitsing van het systeem in de componenten en elementen is weergegeven in de onderstaande Figuur 27. Dit is een aanpassing van de objectenboom naar de objecten die berekend moeten worden voor de kosten en de visualisatie. De verschillende niveaus worden in de respectievelijke subparagrafen uitgelegd.



Figuur 27: De componenten en elementen indeling.

5.3.1. Systeemniveau

Het systeemniveau bevat de gehele sheet. Hierin zitten de in en uitvoer gegevens en de koppelingen naar de verschillende berekeningen van de componenten. Ook bevat deze sheet de in en uitvoer naar de gekoppelde programma's SCIA, REVIT/Civil 3D en de kostensheet.

In de hoofdsheet komen alle gegevens samen. Dit betekent dat in deze sheet naar de stabiliteit van de gehele constructie gekeken wordt en naar de aansluitingen tussen de verschillende componenten. Hierin moet ook de terugkoppeling geregeld zijn voor als constructieonderdelen niet genoeg capaciteit hebben.

5.3.2. Component niveau

Op componenten niveau staan de tabbladen die betrekking hebben op de verschillende onderdelen van de constructie. Hierin worden de belangrijkste gegevens doorgegeven vanuit de hoofdsheet naar de elementen. Hierin wordt de keuze van de eigenschappen van het element gedaan. Voor bijvoorbeeld het dek wordt doorgevoerd of er voorspanning gebruikt wordt of niet. Verder wordt op dit niveau de aansluiting tussen de onderliggende elementen bekeken en uitgewerkt.

5.3.3. Elementniveau

De elementen zijn de onderdelen waarvan de capaciteiten berekend moet worden. Dit is het laagste niveau in dit model. In latere versies zouden nog extra niveau's bekeken kunnen worden. In de gebruikte versie wordt dit weergegeven in de verschillende hoofdstukken binnen de tabbladen.

6. Model van een Onderdoorgang

Nu de opzet van het model en de gebruikte programma's besproken zijn, kan het model toegepast worden op de onderdoorgangen. Hiervoor worden eerst de uitgangspunten bepaald. Hieruit kunnen de objecten en daarmee parameters bepaald worden. Daarna wordt het resulterende model besproken.

6.1. Uitgangspunten

Een parametrisch model van een onderdoorgang moet afgebakend worden, om ervoor te zorgen dat het programma handelbaar blijft. Dit gebeurt door het vaststellen van het ontwerp en het limiteren van het aantal parameters. De belangrijkste stap hierin is het vaststellen van een type onderdoorgang. Hierdoor ligt de ruwe vorm van de constructie vast. Verder zorgt het limiteren van het type ervoor dat het model niet te ingewikkeld wordt en niet meer te gebruiken is.

In deze paragraaf wordt het type onderdoorgang dat model staat voor het parametrische model uiteengezet. Als eerste zal de bouwmethode aan bod komen. Daarna volgen de specifieke eigenschappen van deze onderdoorgang.

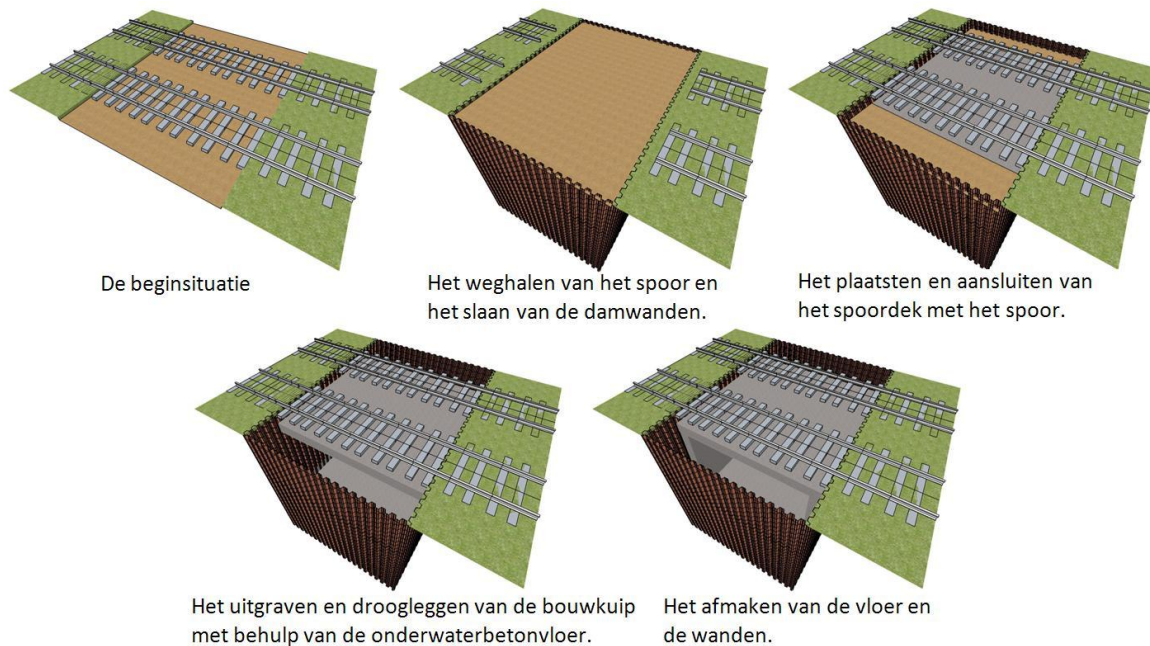
6.1.1. Bouwmethode

De constructie van de onderdoorgang is gebaseerd op de conventionele bouwmethode. Dit komt er op neer dat tijdens een buitendienststelling het treinverkeer (en eventueel het wegverkeer) afgesloten wordt. Het spoor wordt verwijderd en damwanden voor de bouwkuip worden geplaatst. Op deze damwanden wordt het spoordek geplaatst. Dit kan op verschillende manieren. Bijvoorbeeld doordat het geprefabriceerd is en in gehesen wordt of doordat het ernaast gebouwd en ingeschoven wordt.

Als het dek op zijn plaats ligt, worden alle voorzieningen voor het spoor weer aangesloten. De rest van de bouwkuip wordt afgemaakt (de kopse kanten) en (zo nodig) nat ontgraven. Als de waterondoorlatende laag niet dik genoeg is, wordt een onderwater betonvloer gestort. Nu kan de bouwkuip droog gemaakt worden. In deze droge bouwkuip kunnen de wanden en de uiteindelijke vloer van de onderdoorgang gestort of geplaatst worden. De bouwmethode is weergegeven in Figuur 28.

Gedurende de bouw is het dek gefundeerd op de damwanden. Deze mogen geen permanente dragende functie hebben vanwege de snellere corrosie door zwerfstroom. Deze zwerfstroom wordt opgewekt door de voorbij rijdende treinen. Daarom zal aan het eind van de bouw van de onderdoorgang het gewicht en de belasting van het dek overgedragen worden van de damwanden op de wanden van de onderdoorgang. Eventueel kan gebruik gemaakt worden van stalen buispalen als de draagkracht van de damwanden niet groot genoeg is.

De fundering van de gehele constructie kan op verschillende manieren gerealiseerd worden. Dit ligt vooral aan de resultante van het gewicht, de waterverplaatsing en de draagkracht van de grond. De constructie mag daarnaast niet te veel verzakken ten opzichte van de omgeving (aangezien deze in een spoortraject ligt). De fundering kan bij goede grondslag en lage grondwaterstand op staal zijn, terwijl druk of trekpalen of ankers bij hogere grondwaterstanden of slechtere grondslag gebruikt kunnen worden.



Figuur 28: De bouwmethode van het type van de onderdoorgang.

6.1.2. Eigenschappen

De constructie en de manier waarop deze in het model gerepresenteerd worden hebben een aantal specifieke eigenschappen. Dit zijn keuzes die tijdens de uitwerking van het model gedaan zijn en invloed hebben op de resulterende gegevens. Bij het gebruik van het model moet hier rekening mee gehouden worden.

Scharnierend opgelegd dek

De verbinding tussen het dek en de wanden is aangenomen als scharnier. Dit volgt uit de bouwmethode. Het dek is eerst geplaatst waarna de onderdoorgang eronder tegenaan is gestort. Hierdoor ontstaat een scharnier. Deze kan wel de verticale en horizontale krachten maar niet de momenten overbrengen.

Monoliet verbonden vloer

De wanden zijn vast gestort aan de vloer. De wapening loopt door, waardoor de momenten en krachten overgedragen kunnen worden van de wand naar de vloer en andersom.

Dilatatie naar toeritten

Tussen de wanden van de toerit en de wanden van de onderdoorgang worden geen krachten doorgegeven. Dit betekent dat de wanden van de onderdoorgang zonder steun de krachten van de grond en het water moeten opnemen. Hierdoor kunnen de onderdelen losgekoppeld en los berekend worden. Als dit niet was gedaan moeten de krachtswerking onderling opgenomen worden in het model.

Geen tussensteunpunt

Er is expliciet gekozen om geen tussensteunpunt toe te voegen. Dit heeft namelijk veel invloed op de algehele constructie. Niet alleen verandert het statische model, maar ook de afmetingen veranderen, doordat ruimte gemaakt moet worden voor de kolom. Dit geheel heeft te veel invloed om binnen een model meegenomen te worden.

Invloed van de kruisingshoek

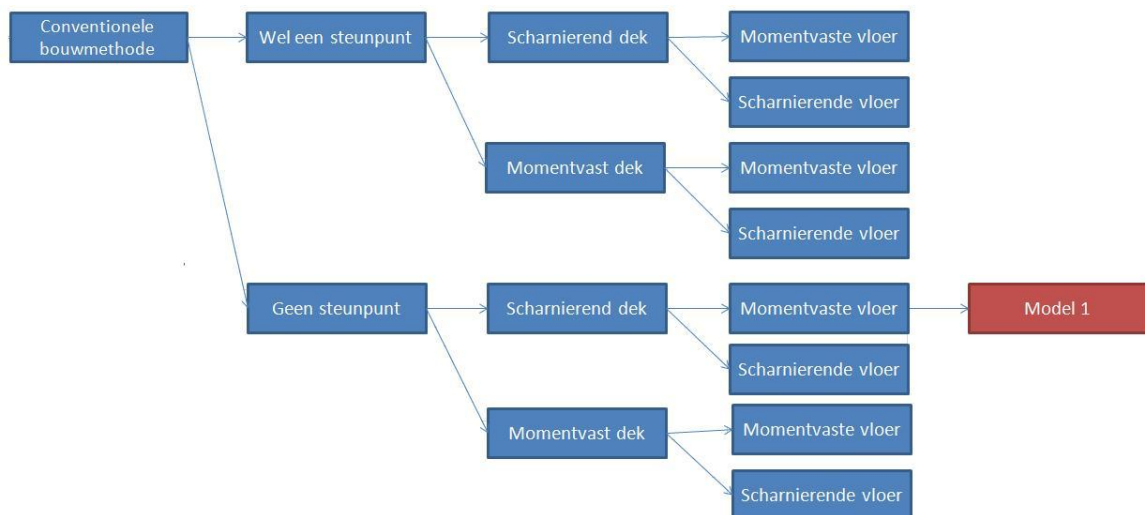
De kruisingshoek tussen het spoor en de weg beïnvloedt de overspanning van het dek. Verder heeft het invloed op de richting van eventuele horizontale (rem)krachten op de constructie. Het gehele dek zal in het model uitgevoerd worden als een rechthoekig dek. Met wanden hier recht onder. Hierdoor heeft de hoek vooral invloed op de lengte van de onderdoorgang.

Pompkelder

De eisen en restricties met betrekking tot de pompkelder worden niet bekeken. De locatie en uitvoering hiervan is meestal meer locatiegebonden dan opgenomen wordt in het model. Dit is hierdoor een onderdeel dat na het gebruik van het model nog uitgevoerd moet worden.

6.1.3. Keuzeboom

Een aantal keuzes hebben geleid tot het hierboven beschreven type. Deze keuzes zijn weergegeven in de onderstaande keuzeboom. Hierin is aangegeven waar het model op gebaseerd is.



Figuur 29: De keuzes die gemaakt zijn en waar uiteindelijk het model op gebaseerd is (Zie Bijlage 19).

Als alle keuzes uit Figuur 29 meegenomen worden in verschillende modellen, zijn in totaal 32 modellen nodig om alle onderdoorgangen te modelleren. Het lijkt nu alsof maar een klein deel van de onderdoorgangen met dit model berekend kan worden. Maar de verhouding in onderdoorgangen is vertekenend. In het geval van de gekozen bouwmethode zijn bijna alle onderdoorgangen gemaakt met een momentvaste vloer en een scharnierend dek. Dit betekent dat de enige keuze die open is, de keuze voor wel of geen steunpunt is. Dat betekent dat voor dezelfde bouwmethode een ander model gemaakt moet worden met een steunpunt.

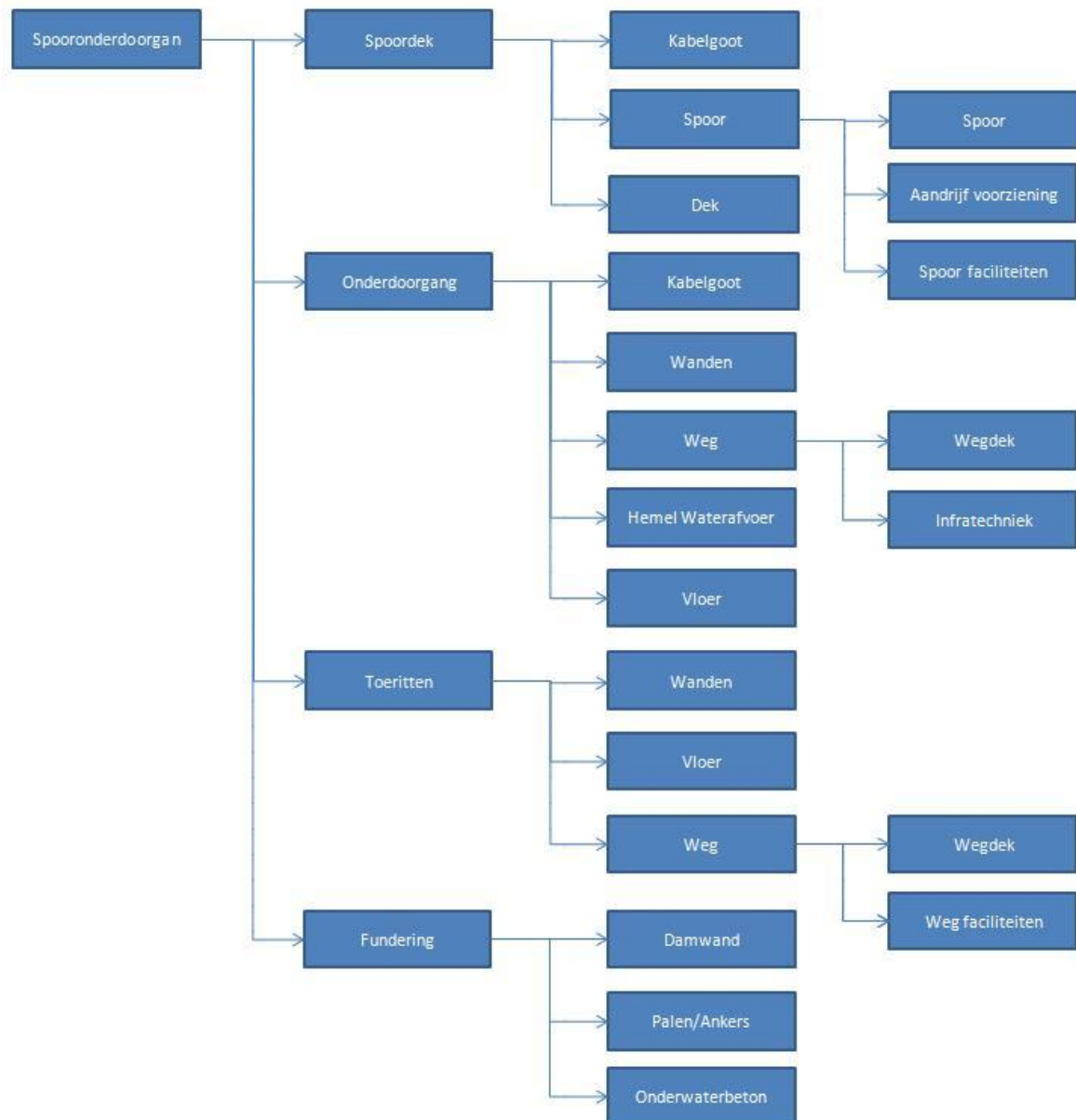
6.2. Functies en objecten van een onderdoorgang

Om het programma en daardoor de berekening een duidelijke verdeling te geven wordt gebruik gemaakt van een functie en objectenboom. Hierin worden de belangrijkste functies die een onderdoorgang moet vervullen opgezocht. Deze worden verbonden aan de objecten die deze vervullen. Hieruit ontstaat een hiërarchie, welke als basis zal staan voor de berekening. Aan de hand van deze bomen kunnen de verschillende parameters en de relaties daartussen bepaald worden.

6.2.1. Objecten

Het eenvoudigst is om te beginnen met de objectenboom. Dit zijn de tastbare onderdelen van een onderdoorgang. Deze zijn weergegeven in Figuur 30. Hierin zijn deze gelijk ingedeeld op

niveau. De onderdoorgang zelf is het systeemniveau, daarnaast volgen de componenten en daar weer naast de elementen. Uiteindelijk zijn sommige onderdelen nog onderverdeeld in subelementen, omdat dit handig was voor het verdere werk.



Figuur 30: De gebruikte objectenboom gebaseerd op Schepers (2012) (zie Bijlage 15).

6.2.2. Functies

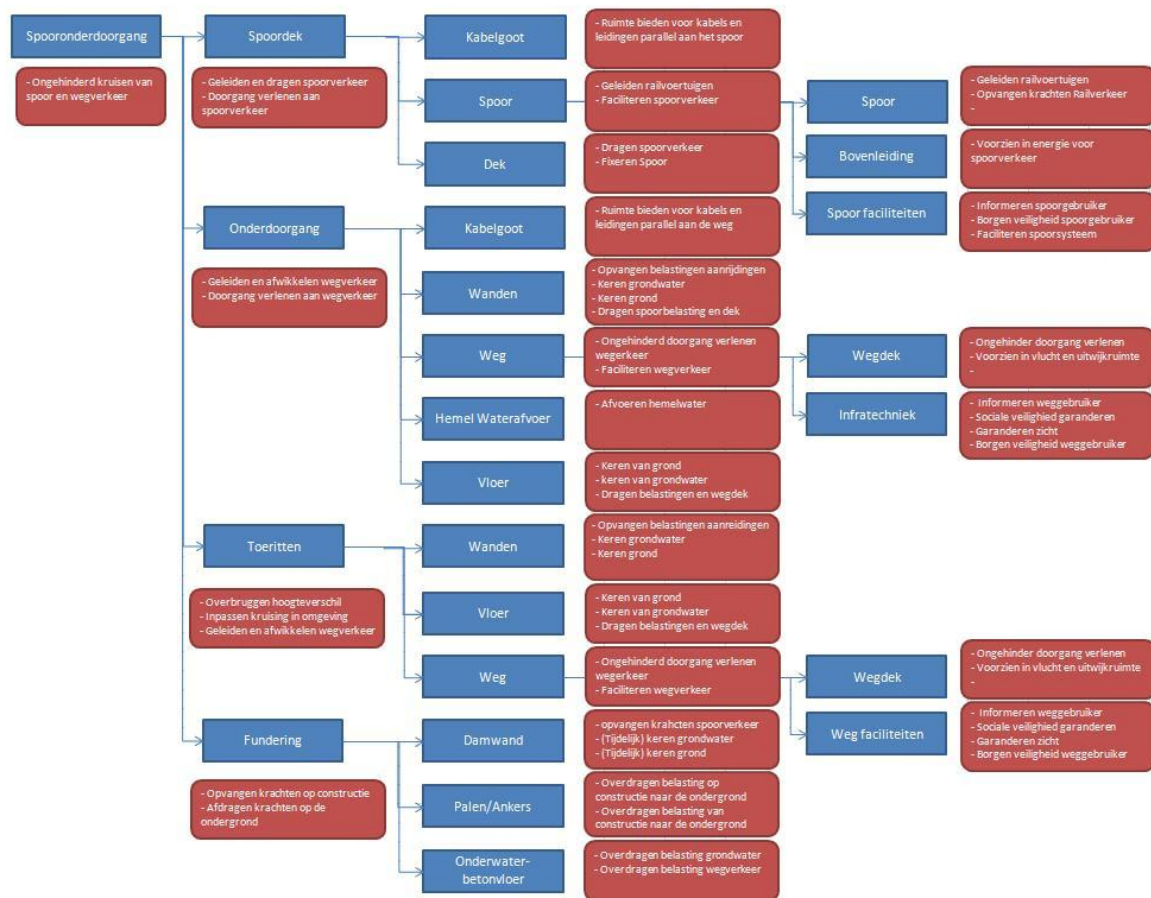
De belangrijkste functie van een onderdoorgang is het ongehinderd laten kruisen van het weg- en spoorverkeer. Deze kan onderverdeeld worden in de onderstaande subfuncties:

- Het dragen en afwikkelen van het spoorverkeer (het spoordek).
- Het dragen en afwikkelen van het wegverkeer (de onderdoorgang en de toeritten).
- Het afdragen van de belastingen op de ondergrond (de fundering).

De hierboven genoemde functies kunnen onderverdeeld worden in de verschillende dragende, kerende en doorgang verlenende functies van de specifieke objecten. Alle functies en objecten zijn weergegeven in Figuur 31 in de volgende paragraaf.

6.2.3. Combinatie van de functies en de objecten

Als de functies worden gekoppeld aan de objecten volgen de onderstaande relaties. Dit is gedaan in de onderstaande functie en objectenboom in Figuur 31.



Figuur 31: De gebruikte functie en objectenboom gebaseerd op Schepers (2012) (zie Bijlage 16 en 17).

De bovenstaande functie en objectenboom is een simpele versie met betrekking tot een onderdoorgang. Hij vervult alle basis functies en bevat de belangrijkste objecten. Deze boom is nog uit te breiden met lagere niveau's en verdere opsplitsingen. Dit kan in een later stadium eventueel nog gebeuren. Het doel is om de boom te maken voor het parametrisch model en daarvoor is deze uitgebreid genoeg.

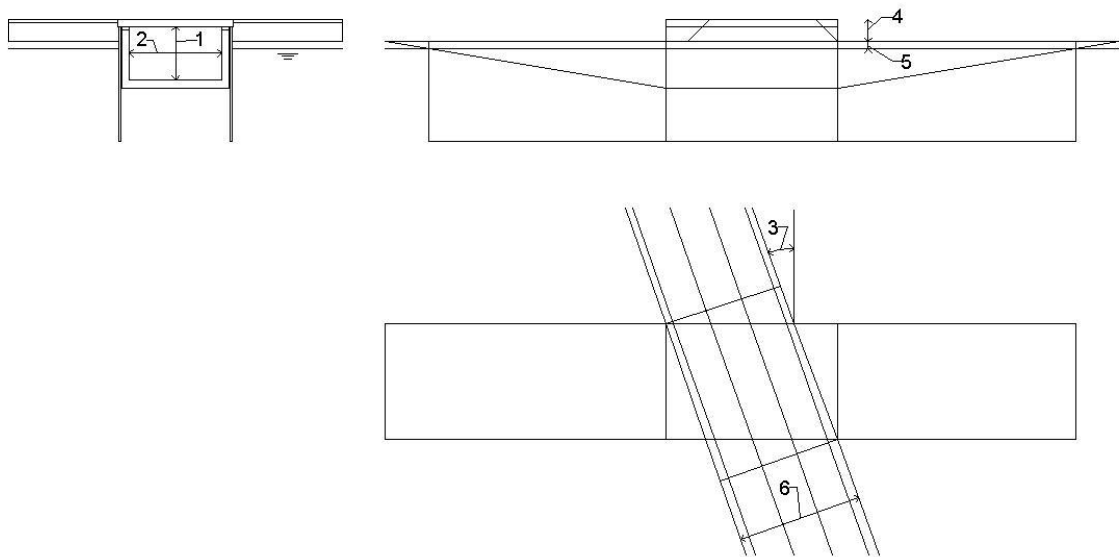
6.3. Invoer variabelen

De invoer variabelen zijn opgedeeld in de hoofdparameters en de keuzes van het ontwerp. De eerste bevat de gegevens die vereist zijn voor de berekening, de tweede bevat specifieke eigenschappen en extra gegevens. Beiden worden in deze paragraaf verder toegelicht.

6.3.1. Hoofdparameters

In het model zijn maar een paar van alle variabelen aan te passen. Dit, omdat de meeste eigenschappen afhankelijk zijn van deze parameters. Een andere reden is dat ervoor gekozen is om de andere variabelen constant te houden. Dit wordt in dit hoofdstuk niet verder uitgelegd. Voor de bepaling van de verschillende parameters wordt verwezen naar Bijlage 8 hierin is de keuze van de hoofdparameters beschreven.

Alle varieerbare parameters worden in deze paragraaf beschreven. Deze zijn weergegeven in de onderstaande Figuur 32 en uitgelegd in de daarna volgende Tabel 13.



Figuur 32: De hoofdparameters in het model.

Nr.	Hoofdparameter	Eenheid	Uitleg
1	Hoogte PVR	Meter	Dit is de minimale hoogte volgens uit de eisen voor het profiel van vrije ruimte.
2	Breedte PVR	Meter	Dit is de minimale breedte volgens uit de eisen voor het profiel van vrije ruimte.
3	Hoek spoor	Graden	Dit is de kruisingshoek tussen het spoor en de weg.
4	Hoogte spoor boven MV	Meter	Dit is de hoogte van het spoor boven maaiveld.
5	Diepte Grondwater	Meter	Dit is de hoogte van het spoor boven maaiveld.
6	Breedte spoor	Meter	De totale breedte van het spoor op het wegdek (met betrekking tot de plaatsing van de lasten).
7	Aantal sporen	Getal	Het aantal sporen dat over de constructie gaat.

Tabel 13: De hoofdparameters uit Figuur 32 met uitleg en eenheden.

6.3.2. Verschillende keuzes in constructie-elementen

Naast de indeling in de verschillende componenten en elementen, zijn er nog keuzes voor bijvoorbeeld voorspanning of de fundering. Dit zijn keuzes die aan het begin gemaakt moeten worden op systeemniveau. Dit zorgt ervoor dat op component niveau gekozen wordt voor een van de berekeningen, waarna de resultaten berekend worden op elementniveau.

De te maken keuzes (Tabel 14) resulteren in verschillende berekeningen op elementniveau en andere doorgegeven gegevens. Dit moet verwerkt worden in een statische sheet. Dit betekent dat alle gegevens berekend zullen worden. Met behulp van de input zullen de enkel de opgevraagde resultaten weergegeven worden.

Keuze	Uitleg
Betonkwaliteit	De betonkwaliteit kan variëren per constructieonderdeel (dek en wanden/vloer), maar ook per onderdoorgang.
Type en of voorgespannen dek	Of het dek voorgespannen is of niet, maakt veel uit met betrekking tot de dikte en bijbehorende draagkracht van het dek.
Type talud	Het talud kan bestaan uit damwanden of een natuurlijke helling.
Type wanden	Het type wanden heeft vooral betrekking op de hoek waaronder deze geplaatst worden. Dit resulteert in een <u>grotere overspanning</u> van het dek.
Extra ruimte voor wegvoorzieningen	Als speciale voorzieningen aangebracht moeten worden, kost dit ruimte. Deze ruimte moet voor de berekening ingevoerd worden.
Extra ruimte voor spoorvoorzieningen	Net als bij de wegvoorzieningen kan hier extra ruimte in rekening gebracht worden.
Extra ruimte voor rijbaanscheiding	Als fysieke rijbaanscheidingen (hekken) aanwezig zijn, moet extra ruimte in het Profiel van Vrije Ruimte opgenomen worden.
Type Fundering	Het type fundering (trek/druk palen/staal) heeft veel invloed op de resulterende krachten en dus afmetingen van de constructie.
Type funderingspalen	Het materiaal en de afmetingen van de funderingspalen kunnen ingevoerd worden.
Type grondslag	De grondgegevens zijn belangrijk voor de fundering en daarmee de krachten op de constructie.
Type damwand	Dit is een vervolgkeuze, na de standaard damwand, kunnen eventueel de gegevens van een andere damwand ingevoerd worden

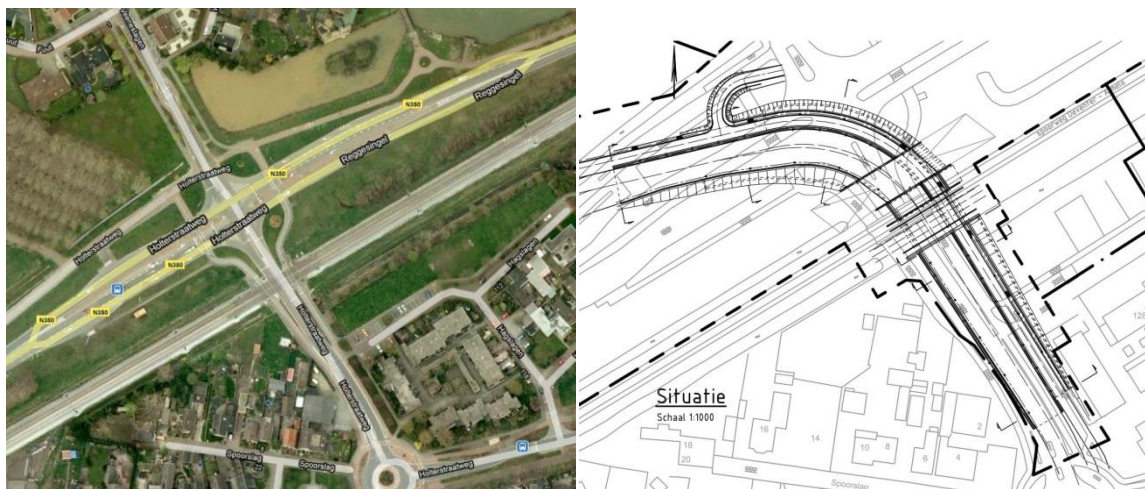
Tabel 14: De extra te maken keuzes.

7. Cases

Om de werking van het model te controleren worden een drietal cases geverifieerd. De eerste is een bestaande onderdoorgang te Rijssen: Veeneslagen. De tweede is een onderdoorgang te Waddinxveen. De derde case is een tender die tijdens het afstuderen ingediend moest worden (Boskoop). Hier zijn hierdoor veel gespecificeerde gegevens bekend.

7.1. Veeneslagen

In Rijssen is een onderdoorgang gebouwd onder het spoor ter hoogte van de kruising met de N350. Deze onderdoorgang heeft de projecttitel “Veeneslagen” gekregen, omdat dit de weg is die vervangen wordt door de onderdoorgang. De projectlocatie is weergegeven in Figuur 33.



Figuur 33: De locatie voor (links) en na (rechts) te Rijssen.

Er zijn een aantal problemen die dit project lastig maken. Als eerste ligt de onderdoorgang in een bocht. Dit wordt niet meegenomen in het model, terwijl het de lengte van de toeritten vergroot. Daarnaast ligt vlak naast de onderdoorgang een weg, waar de onderdoorgang ook onderdoor gaat. Dit wordt wel meegenomen in het model, maar het bijbehorende dek voor de weg niet.

7.1.1. Uitgangspunten

Om de onderdoorgang te kunnen berekenen met het model moeten een aantal gegevens ingevoerd worden. Deze zijn in Tabel 15 weergegeven. In het model wordt een extra lengte ingevoerd om te compenseren voor het tweede dek, hierdoor wordt het grondverzet en betonverbruik nauwkeuriger.

Nr.	Parameter	Waarde	Eenheid
1	Doorrijhoogte	4,2	m
2	Doorrijdbreedte	16,4	m
3	Hoek van het spoor	0	graden
4	Hoogte spoor boven maaiveld	0,06	m
5	Diepte grondwater onder maaiveld	2,1	m
6	Aantal sporen	2	
7	Hard op hard afstand sporen	4	m

Tabel 15: De invoergegevens van de onderdoorgang Veeneslagen te Rijssen.

De verdere keuzes zijn weergegeven in Tabel 16.

Eigenschap	Waarde	Eenheid
Betonkwaliteit dek	65	N/mm2
Betonkwaliteit wand	65	N/mm2
Betonkwaliteit vloer	65	N/mm2
Type en of voorgespannen dek	Geen	
Type talud	Wand	
Hoek wanden	10	graden
Extra ruimte voor wegvoorzieningen	0	m
Extra ruimte voor spoorvoorzieningen	0	m
Extra ruimte voor rijbaanscheiding	0	m
Extra hoogte voor wegvoorzieningen	0	m
Extra lengte voor onderdoorgang	20	m
Type Fundering	Beton	
Type funderingspalen	-	
Type grondslag	zand	
Type damwand	AZ36	

Tabel 16: De keuzes met betrekking tot de onderdoorgang Veeneslagen te Rijssen.

7.1.2. Resultaten

Nu de invoerparameters bekend zijn kunnen de andere stappen gevolgd worden. Deze stappen zijn allemaal beschreven in het hoofdstuk dat betrekking heeft op het model (Hoofdstuk 6). Daarom volgen hier slechts de resultaten. Deze zijn ingedeeld in de dimensies (Bijlage 8) en de kosten (Bijlage 13).

Eigenschap	Waarde	Eenheid
Lengte dek	11,80	m
Breedte dek	18,90	m
Dikte dek	1,30	m
Extra lengte	20,00	m
Hoogte wand	4,20	m
Dikte wand	0,85	m
Breedte vloer	17,40	m
Dikte vloer	0,76	m
Lengte Toeritten	83,00	m

Tabel 17: De resulterende gegevens van de onderdoorgang.

7.1.3. Analyse van de resultaten

Om de gevonden waarden te kunnen vergelijken, moeten de gegevens van de werkelijk gebouwde onderdoorgang bekend zijn. Deze volgen uit het onderzoek van Gemeren (2012) en zijn weergegeven in Tabel 18.

Nr.	Eigenschap	Volgens berekening	Gebouwd	Eenheid	Verschil	Percentage
1	Lengte dek	11,80	13,50	m	1,70	12,59%
2	Breedte dek	18,90	21,31	m	2,41	11,31%
3	Dikte dek	1,30	1,00	m	0,30	30,00%
4	Extra lengte	20,00	20,00	m	0,00	0,00%
5	Hoogte wand	4,20	4,20	m	0,00	0,00%
6	Dikte wand	0,85	1,00	m	0,15	15,00%
7	Breedte vloer	17,40	17,40	m	0,00	0,00%
8	Dikte vloer	0,76	0,80	m	0,04	5,00%
9.1	Lengte Toerit 1	83,00	87,50	m	4,50	5,14%
9.2	Lengte toerit 2	83,00	69,17	m	13,83	19,99%

Tabel 18: De vergelijking van de gevonden gegevens uit de berekening en tekeningen van de onderdoorgang Veeneslagen te Rijssen.

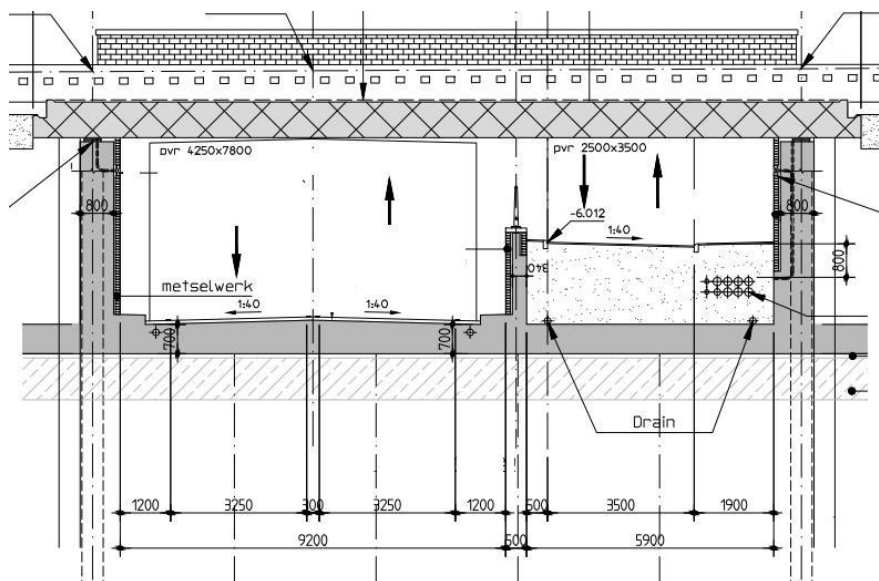
Uit de bovenstaande resultaten volgen een hoop verschillen in waarden. Deze volgen voor een groot deel uit de grenzen van het model. Hierin worden aannamen gedaan met betrekking tot de onderdoorgangen, als de case hier niet bij past, volgen verschillen. Deze verschillen zijn vooral:

1. Op het dek is gebruik gemaakt van een geluidsscherm, daardoor neemt de breedte toe. Als de bovengenoemde verschillen meegenomen worden, wordt het dek 1,5 meter breder (dus 13,3m) en komt dit overeen met het uiteindelijke resultaat.
2. Het aanwezig zijn van een bocht in een van de toeritten. Hierdoor wordt deze toerit langer en volgt meer grondverzet. Daarnaast wordt de tunnel breder omdat de zichtlijnen voor het verkeer moeten voldoen. Dit resulteert in de toegenomen dekbreedte.
3. Midden onder het dek is gewerkt met een tussensteunpunt, dit zorgt ervoor dat de overspanning slanker geconstrueerd kan worden. Maar het steunpunt zelf kost ook meer.
4. De extra lengte was een ingevoerde parameter en daarom gelijk.
5. De wandhoogte was een ingevoerde parameter en daarom gelijk.
6. De dikte van de wand is minder dan gebruikt, dit kan komen door de variatie in breedte van de onderdoorgang. Hierdoor wordt de overspanning en dus belasting groter. De wand moet dit opnemen en moet dan ook dikker worden.
7. De vloerbreedte was een ingevoerde parameter en daarom gelijk. Hoewel deze op bepaalde stukken toenam, dit kwam door de bocht in de toerit.
8. De vloerdikte is afgerond gelijk aan de gebruikte dikte.
9. Het verschil in lengte van de toeritten kan verklaard worden door de bocht die in een van de toeritten aanwezig is, daardoor wordt deze langer. Verder is hier een iets steilere helling gebruikt dan aangenomen in het model (6% ten opzichte van 5%).

Als alle genoemde punten in acht worden genomen, zou de oplossing uit het model een goed startpunt zijn geweest om op de uiteindelijke resultaten te komen. Dit is het doel van het model.

7.2. Waddinxveen

In Waddinxveen wordt ten tijde van het schrijven van dit rapport een onderdoorgang voor fietsers afgebouwd. Dit is een nieuwe onderdoorgang die een nieuw stuk wijk verbind met de rest van de plaats.



Figuur 34: De onderdoorgang te Waddinxveen.

Het dek van de onderdoorgang wordt naast de uiteindelijke locatie gebouwd en ingeschoven. Daarna wordt op diezelfde plek een nieuw dek geplaatst om het fietspad parallel aan het spoor weer doorgang te verlenen. De onderdoorgang komt op een plaats waar nog geen kruising lag en heeft daarom geen last van verkeer dat over de bouwplaats moet.

7.2.1. Uitgangspunten

Om de onderdoorgang te kunnen berekenen met het model moeten een aantal gegevens ingevoerd worden. Deze zijn in Tabel 19 weergegeven. In het model wordt een extra lengte ingevoerd om te compenseren voor het tweede dek, hierdoor wordt het grondverzet en betonverbruik nauwkeuriger.

Nr.	Parameter	Waarde	Eenheid
1	Doorrijhoogte	4,25	m
2	Doorrijdbreedte	16,00	m
3	Hoek van het spoor	90	graden
4	Hoogte spoor boven maaiveld	3,0	m
5	Diepte grondwater onder maaiveld	0,5	m
6	Aantal sporen	1	
7	Hard op hard afstand sporen	tnv	m

Tabel 19: De invoergegevens van de onderdoorgang Veeneslagen te Rijssen.

De verdere keuzes zijn weergegeven in Tabel 16.

Eigenschap	Waarde	Eenheid
Betonkwaliteit dek	65	N/mm2
Betonkwaliteit wand	65	N/mm2
Betonkwaliteit vloer	65	N/mm2
Type en of voorgespannen dek	Geen	
Type talud	Wand	
Hoek wanden	0	graden
Extra ruimte voor wegvoorzieningen	0	m
Extra ruimte voor spoorvoorzieningen	0	m
Extra ruimte voor rijbaanscheiding	0	m
Extra hoogte voor wegvoorzieningen	0	m
Extra lengte voor onderdoorgang	8	m
Type Fundering	Palen	
Type funderingspalen	Beton	
Type grondslag	zand	
Type damwand	AZ36	

Tabel 20: De keuzes met betrekking tot de onderdoorgang te Waddinxveen.

7.2.2. Resultaat

Nu de invoerparameters bekend zijn kunnen de andere stappen gevolgd worden. Uit de capaciteitscontroles bleek dat de dimensies van de doorsneden niet groot genoeg waren. Daarom zijn deze vergroot naar de waarden van Tabel 26.

Eigenschap	Waarde	Eenheid
Lengte dek	5,5	m
Breedte dek	17	m
Dikte dek	1	m
Extra lengte	8	m
Hoogte wand	4,25	m
Dikte wand	0,85	m
Breedte vloer	17	m
Dikte vloer	0,85	m
Lengte Toeritten	25	m

Tabel 21: De resulterende gegevens van de onderdoorgang.

7.2.3. Analyse van de resultaten.

Om de gevonden waarden te kunnen vergelijken, moeten de gegevens van de werkelijk gebouwde onderdoorgang bekend zijn. Deze volgen uit het onderzoek van Gemeren (2012) en zijn weergegeven in Tabel 22.

Nr.	Eigenschap	Volgens berekening	Gebouwd	Eenheid	Vershil	Percentage
1	Lengte dek	5,5	6,6	m	1,1	17%
2	Breedte dek	17	16	m	1	6%
3	Dikte dek	1	0,91	m	0,09	10%
4	Extra lengte	8	8	m	0	0%
5	Hoogte wand	4,25	4,25	m	0	0%
6	Dikte wand	0,85	0,80	m	0,05	6%
7	Breedte vloer	17	16	m	1	6%
8	Dikte vloer	0,85	0,70	m	0,15	21%
9.1	Lengte Toerit 1	25	55,29	m	30,29	55%
9.2	Lengte toerit 2	25	55,32	m	30,29	55%

Tabel 22: De vergelijking van de gevonden gegevens uit de berekening en tekeningen van de onderdoorgang te Waddinxveen.

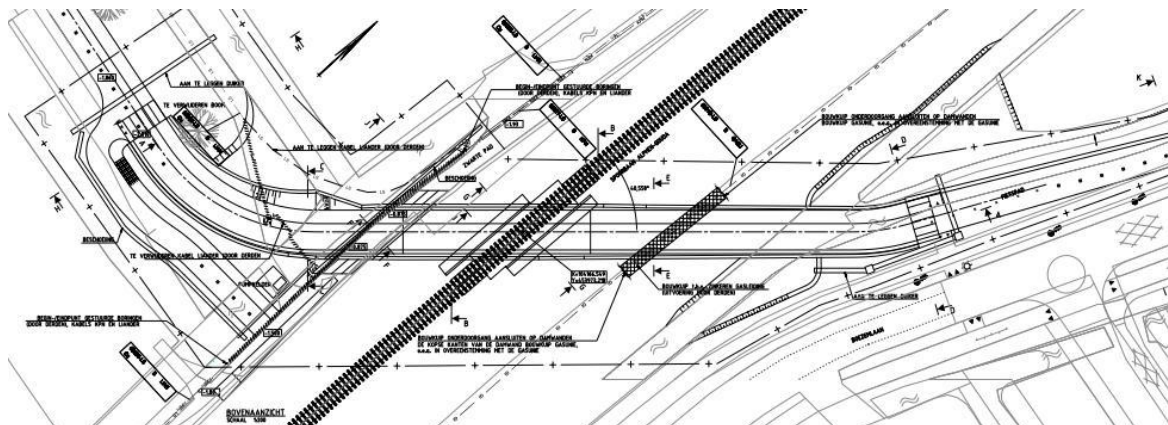
In de bovenstaande Tabel 22 zijn de berekende en gebouwde kosten naast elkaar gezet. De dimensies van de constructie komen redelijk overeen. De dek, wand en vloer dikte, breedte en lengte vallen allemaal binnen een verschil van 10%. Alleen de lengte van het dek is 17% te kort en de dikte van de vloer 21% te dik. Dit is een probleem dat volgt uit de gebruikte vuistregels. Dit is opgelost door hier cases voor te gebruiken. In dit geval zou dan de onderdoorgang zelf als best passende case gebruikt worden, waardoor het hele idee van het programma weg is. Om dit niet te krijgen is gekozen om de vuistregels te gebruiken. Hierdoor verschillen deze twee waarden veel van het officiële resultaat.

De toerit lengtes zijn veel langer dan berekend. Het verschil volgt uit het gebruikte hellingspercentage. In de berekening is uitgegaan van gemiddeld 5%. In werkelijkheid is gebruik gemaakt van maximaal 5%. Bij deze lengte moet dan de lengte voor de overgangsbogen opgeteld worden, waardoor een grotere lengte benodigd is.

7.3. Boskoop

De onderdoorgang te Boskoop is een case die tijdens de loop van het afstudeerwerk uitgeschreven werd. Om het model te staven en bekendheid te geven aan het model is deze case gebruikt om zonder vergelijkingswaarden een resultaat te genereren. Uiteindelijk kan het resultaat dan zonder voorkennis tot stand komen en onpartijdig worden vergeleken.

Zoals al aangegeven is de onderdoorgang gepland in Boskoop. De locatie is weergegeven in Figuur 35. Op deze locatie is momenteel nog geen kruising van het spoor, maar is een onderdoorgang voor fietsers gepland. De toeritten liggen (min of meer) recht in het verlengde van de onderdoorgang en er is geen steunpunt toegevoegd. Het model is dus toepasbaar. Naast het spoor ligt wel een weg die over de onderdoorgang moet komen. Deze is slechts meegenomen in de extra benodigde lengte van de onderdoorgang.



Figuur 35: De tekening van de onderdoorgang te Boskoop Bron: Tekening 237380-K-2-01.

7.3.1. Uitgangspunten

Uit de geleverde voorbeeld tekeningen zijn de onderstaande gegevens (Tabel 23) gehaald om het model op te zetten.

	Eigenschap	Waarde	Eenheid
1	Doorrijhoogte	2,55	m
2	Doorrijbreedte	5,8	m
3	Hoek van het spoor	49,442	graden
4	Hoogte spoor boven maaiveld	0,95	m
5	Diepte grondwater onder maaiveld	0,6	m
6	Aantal sporen	1	-
7	Hard op hard afstand sporen	0	m

Tabel 23: De ingevoerde eigenschappen van de onderdoorgang te Boskoop.

Buiten de hierboven gebruikte parameters zijn andere keuzes belangrijk. Deze zijn voor een deel aangenomen (zoals de eventuele voorspanning en de betonkwaliteit) of afgeleid uit de verstrekte tekening (extra breedtes en lengtes en de hoek van de wanden). De resultaten zijn weergegeven in Tabel 24.

Eigenschap	Waarde	Eenheid
Betonkwaliteit dek	65	N/mm2
Betonkwaliteit wand	65	N/mm2
Betonkwaliteit vloer	65	N/mm2
Type en of voorgespannen dek	Geen	
Type talud	Wand	
Hoek wanden	9	graden
Extra ruimte voor wegvoorzieningen	0	m
Extra ruimte voor spoorvoorzieningen	0	m
Extra ruimte voor rijbaanscheiding	0	m
Extra hoogte voor wegvoorzieningen	0	m
Extra lengte voor Onderdoorgang	12,5	m
Type Fundering	Beton	
Type funderingspalen	-	
Type grondslag	zand	
Type damwand	AZ36	

Tabel 24: De keuzes met betrekking tot de onderdoorgang te Boskoop.

7.3.2. Resultaat

Het belangrijkste resultaat van de berekening is weergegeven in Tabel 25 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** Hierin zijn de belangrijkste dimensies en afmetingen weergegeven.

Eigenschap	Waarde	Eenheid
Lengte dek	10,70	m
Breedte dek	6,90	m
Dikte dek	0,40	m
Extra lengte	12,50	m
Hoogte wand	2,55	m
Dikte wand	0,40	m
Breedte vloer	6,80	m
Dikte vloer	0,40	m
Lengte Toeritten	55,00	m

Tabel 25: De resulterende gegevens van de onderdoorgang.

De hierboven aangegeven “Extra lengte” is een lengte die is meegenomen, om onder de weg door te komen. In eerste instantie is niet gekeken naar de dimensies in vergelijking met de tekening.

In de berekening is een korte en simpele controle opgenomen. Hierin worden de wapening en capaciteiten berekend. Hierin voldoet de dikte van het dek niet, daarom wordt deze verhoogd tot 550 mm, dan voldoet de doorsnede wel. In Tabel 26 zijn de waarden van de originele dikte (uit **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..**) weergegeven.

Onderdeel	Controle	Belasting	Capaciteit	Unity
Dek	Moment	311,34	344,32	0,90
	Dwarskr.	375,26	282,75	1,33
Wand	Moment	22,45	208,12	0,11
	Dwarskr.	39,86	572,76	0,07
Vloer	Moment	83,70	179,96	0,47
	Dwarskr.	76,47	577,38	0,13

Tabel 26: De resulterende unity controles van de verschillende doorsneden volgend uit de berekening van de onderdoorgang.

De onderstaande waarden van de onderdoorgang volgen na het aanpassen van de gegevens aan de hand van de capaciteit.

Hoeveelheden voor de kostenberekening:		
Lengte dek	10,7	m
Breedte dek	6,9	m
Dikte dek	0,55	m
Hoogte wand	2,55	m
Dikte wand	0,4	m
Breedte vloer	6,8	m
Dikte vloer	0,4	m
Extra lengte onderdoorgang	12,5	m
Lengte Toeritten	55	m

Tabel 27: De hoeveelheden van de onderdoorgang te Boskoop.

7.3.3. Analyse van de resultaten.

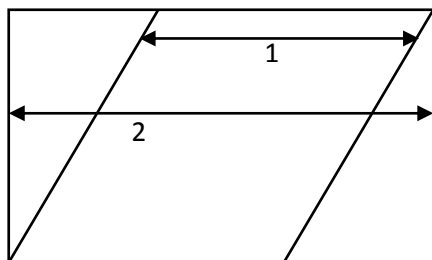
Uit een overleg met de projectleider van de tender voor de onderdoorgang in Boskoop volgen de gegevens die zij gebruikt hebben voor de aanbesteding. Deze zijn in de onderstaande Tabel 28 vergeleken met de berekende resultaten.

Nr.	Eigenschap	Volgens berekening	Gebouwd	Eenheid	Verskil	Percentage
1	Lengte dek	10,7	7,2	m	3,50	49%
2	Breedte dek	6,9	7,5	m	-0,60	-8%
3	Dikte dek	0,55	0,5	m	0,05	10%
4	Extra lengte	12,5	12,5	m	0,00	0%
5	Hoogte wand	2,55	2,55	m	0,00	0%
6	Dikte wand	0,4	0,4	m	0,00	0%
7	Breedte vloer	6,8	5,8	m	1,00	17%
8	Dikte vloer	0,4	0,4	m	0,00	0%
9.1	Lengte Toerit 1	55	43	m	12,00	28%
9.2	Lengte toerit 2	55	39	m	16,00	41%

Tabel 28: De vergelijking van de resultaten van de berekening van de onderdoorgang te Boskoop.

In de bovenstaande tabel is te zien dat veel van de resultaten overeenkomen met de resultaten van uit de aanbesteding. De grootste verschillen komen uit de lengte van het dek en de lengte van de toeritten.

De lengte van het dek is veel korter door de manier waarop de overspanning van het dek bekeken wordt en hoe het is opgelegd. Dit is weergegeven in Figuur 36. In de aanbesteding wordt de lengte gemeten volgens "1", maar in het model wordt uitgegaan van "2".



Figuur 36: De lengte van het dek.

Als de lengte van het dek gecorrigeerd wordt aan de hand van de bovenstaande gegevens, volgt Figuur 36. Hierin is te zien dat de dimensie van het dek ongeveer 1,5 m te laag wordt ingeschat. Dit is uiteindelijk verwerkt in het model.

Locatie	Berekende breedte	Gebouwde breedte	Hoek	Gecorrigeerde breedte	Vershil
Rijssen	11,8 m	13,5 m	0°	11,8 m	1,7 m
Waddinxveen	5,5 m	6,6 m	0°	5,5 m	1,1 m
Boskoop	10,7 m	7,2 m	50°	4,9 m	2,3 m

Tabel 29: De gecorrigeerde dekbreedte aan de hand van Figuur 36.

De lengte van de toeritten is afhankelijk van de gekozen helling. In het model is uitgegaan van een gemiddelde helling van 5%. In de uitwerking voor de aanbesteding is uitgegaan van een maximale helling van 8%. Hierdoor zijn de toeritten korter dan uit het model komt. Daarnaast blijft de lengte van de toerit lastig te voorspellen. Deze is erg afhankelijk van gebouwen en obstakels in de omgeving en de ondergrond. Dit zorgt ervoor dat het gemengde resultaten oplevert.

8. Beschrijving van de methode

Modellen sterven vaak in de handen van de maker. In hoofdstuk 2 zijn een aantal redenen genoemd, waarom dit gebeurt. Deze redenen zijn hier herhaalt:

1. Programma's veranderen
2. Het model is niet flexibel genoeg
3. Het model is niet begrepen
4. Het model is te specifiek
5. Andere programma's kunnen hetzelfde sneller of beter
6. Het aantal toepasbare gevallen is te laag

Om te voorkomen dat het model ten onder gaat aan een van de bovenstaande problemen is in dit rapport niet alleen naar een model toe gewerkt, maar ook naar een methode.

De bovenstaande problemen zijn opgevangen door het gebruik van verschillende programma's die ieder goed zijn in hun eigen richting, maar door de opzet ook gemakkelijk te vervangen zijn door andere programma's. Hierdoor vallen de eerste en vijfde reden weg.

Door het resultaat niet als alleen een model te zien, maar als een methode die toepasbaar is op verschillende constructies, zal het gemakkelijker gebruikt of aangepast kunnen worden. Door niet uit te gaan van een vast model, hoeft slechts een nieuwe template in het nieuwe programma gemaakt te worden. Het model kan snel aangepast worden aan veranderende eisen en wordt doordat maker het zelf gebruiken zo specifiek als nodig is. Dit omzeilt de problemen uit de punten 2,3 en 4. Punt 6 is en overweging die vooral vooraf gemaakt moet worden en daardoor niet in handen ligt van de maker van dit model.

Uiteindelijk betekend dit dat het model tijdelijk gebruikt wordt, maar dat de methode een veel langer leven krijgt. Hiervoor moet deze wel goed en duidelijk beschreven worden. Dit beschrijven gebeurt in de volgende subparagraaf. Daarna wordt de methode toegepast op een brug en aan het eind volgen aanbevelingen en opzichte van het gebruik.

8.1. Opzet aan de hand van de onderdoorgangen

In dit hoofdstuk wordt de methode waarmee het parametrisch model voor de onderdoorgangen is opgesteld samengevat. Deze uitwerking is gedaan aan de hand van de resultaten van het onderzoek naar bestaande modellen. Deze worden vaak na een korte tijd niet meer gebruikt. Door te bewijzen dat de basis van het model toepasbaar is op een andere constructie, is de bruikbaarheid vergroot en daarmee het mogelijke gebruik.

Uit dit onderzoek volgt dat een algemeen goed beschreven model meer waarde heeft dan een gedetailleerd en geautomatiseerd model. Daarom zal het model niet dieper uitgewerkt worden, maar zal de methode beschreven worden zodat eventueel andere constructies met dit model snel een parametrisch model kunnen krijgen.

8.2. Beschrijving van het model van onderdoorgangen

Om de algemene methode te bepalen, wordt eerst het bestaande model beschreven. De eigenschappen en werking worden weergegeven. Hierdoor krijgen de latere stappen gelijk een context en is de uitleg gemakkelijker te volgen.

8.2.1. Doel

Het belangrijkste voor gebruik gemaakt wordt van de methode is de vraag of het een voordeel voor de gebruiker oplevert. Dit is enkel het geval als naar hetzelfde doel toegewerkt wordt als de methode voor ogen heeft.

Het uiteindelijke model is bedoeld om snel een indicatie van de dimensies en kosten van de constructie te kunnen geven. Daarnaast is de methode bedoeld om dit in een relatief korte tijd op te kunnen zetten. Het resultaat heeft dus enkel nut als relatief veel vergelijkbare constructies ontworpen moeten worden.

8.2.2. Resultaat

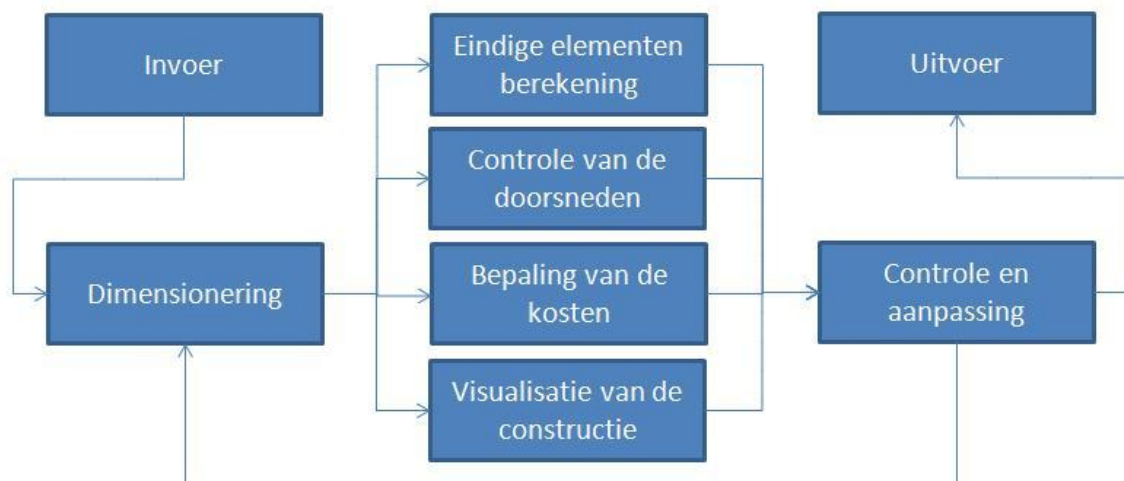
Het uiteindelijke resultaat van de methode is een sheet die verschillende programma's en berekeningen aan elkaar koppelt. Hierdoor is het slechts een keer nodig om dit op te zetten, waarna relatief snel de resultaten voor kleine aanpassingen gevonden kunnen worden. Daarnaast kan snel een soortgelijke constructie gedimensioneerd worden, zonder dat hiervoor veel extra werk verzet hoeft te worden.

Het nadeel is dat om veel ontwerpen mee te kunnen nemen, het model erg algemeen wordt. Dit is niet goed voor de precisie van de uitkomsten. De afweging die gemaakt moet worden, in samenhang met het doel, is of een gedetailleerd of een minder gedetailleerd model gevraagd wordt.

Voor onderdoorgangen is gekozen voor een middenweg. Er wordt redelijk precies naar de constructie gekeken, maar variaties met bijvoorbeeld een steunpunt worden niet meegenomen in het model. Deze resultaten volgt uit de genomen stappen voor de opzet van het model. Voor het model was al een relatief gedetailleerde berekening van een onderdoorgang gemaakt. Deze kon met kleine aanpassingen in het model gebruikt worden.

8.2.3. Opzet

De basis van het model is een rekensheet. Deze genereert de invoer voor alle gebruikte programma's en verwerkt alle benodigde resultaten uit deze programma's tot de uiteindelijk gevraagde dimensies van de constructie. In de onderstaande figuur is de ruwe werking hiervan weergegeven.



Figuur 37: De weergave van de modellering.

In Figuur 37 zijn de belangrijkste onderdelen van het model weergegeven. Links is de invoer en de omzetting van de eigenschappen naar de benodigde parameters weergegeven. In het midden zijn de berekeningen, analyses en resultaten van de verschillende programma's weergegeven. Rechts worden de hieruit volgende resultaten eventueel teruggekoppeld en uitgevoerd.

In dit hoofdstuk zal de nadruk liggen op het linker en rechter deel. De middelste blokken kunnen op verschillende manieren ingevuld worden. Dit kan zoals voor de onderdoorgangen met behulp van verschillende programma's, maar ook door simpele handberekeningen. Deze onderdelen komen terug in paragraaf 8.2.6.

De linker en rechter delen worden opgezet in Excel. De koppelingen zijn met behulp van lijsten van in- en uitvoer gegevens gecreëerd. Hierdoor zijn de gegevens gebundeld in één document en zijn de gegevens voor en van de verschillende programma's snel op te vragen. Dit zorgt ervoor dat snel te zien is of aanpassingen invloed hebben op veel of weinig programma's.

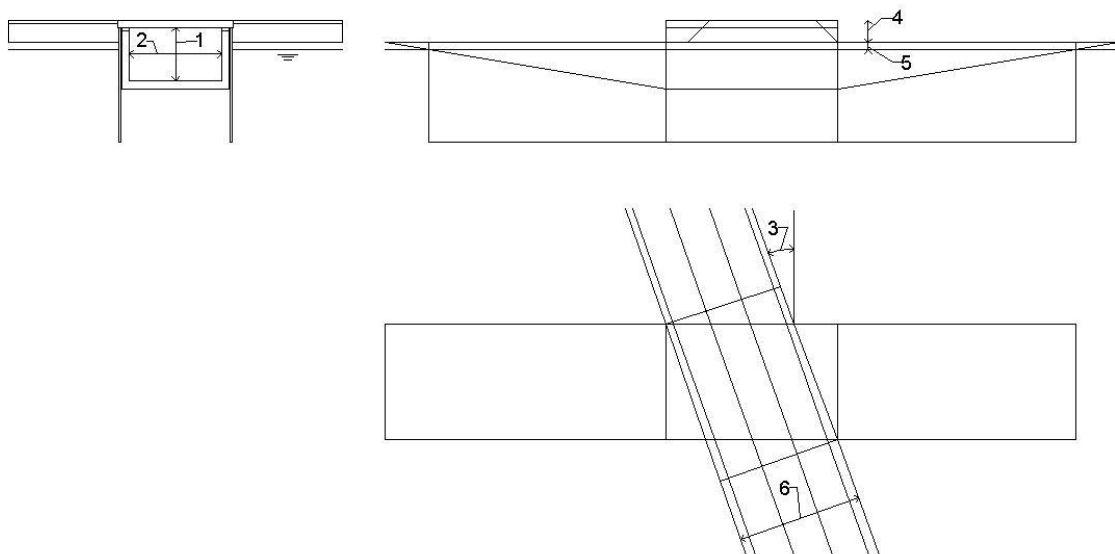
8.2.4. Werking

De werking van het model voor de onderdoorgangen wordt hieronder uiteengezet. De onderdelen die besproken worden volgen uit Figuur 37.

Invoer

De invoer bevat een schets van de constructie met een locatie waar de belangrijkste dimensies en eigenschappen ingevoerd kunnen worden. Voor de onderdoorgang bevatte deze de schets uit Figuur 38. De parameters volgen uit de gevraagde dimensies.

Met behulp van een functie- en objectenboom zijn de belangrijkste onderdelen van de constructie bepaald. Deze bevatten dimensies die bereken moeten worden. Met behulp van de functies is gekeken welke eigenschappen deze variërende dimensies beïnvloeden. Deze benodigde gegevens zijn de invoer van het model. In het geval van de onderdoorgang waren deze de hoogte en breedte van het profiel van vrije ruimte, de hoogte, hard op hard afstand en het aantal sporen en de diepte van het grondwater.



Figuur 38: De schets van de onderdoorgang voor de invoer van de gevraagde gegevens.

Dimensionering

Voor een berekening gemaakt kan worden, moet een eerste schatting van de dimensies bepaald worden. De gebruikte methode is het gebruik van vuistregels. Hiermee kunnen de dimensies snel en ruw bepaald worden. Na een cyclus door het programma zullen de dimensies aangepast moeten worden.

Een nadeel is dat de vuistregels bekend en aanwezig moeten zijn. Daar staat tegenover, dat als dit niet zo is dimensies willekeurig gekozen kunnen worden. Hierdoor wordt het aantal benodigde cycli groter, maar wordt ook een gewenst resultaat behaald.

Controle

Als de interne krachten en de capaciteiten van de doorsnede bekend zijn kunnen deze vergeleken worden. Dit gebeurt intern in de Excel sheet, maar ook in de DAKO sheets. Het resultaat is een van de uitvoergegevens, maar aan de hand hiervan kunnen de dimensies aangepast worden (bijvoorbeeld als een doorsnede niet voldoet).

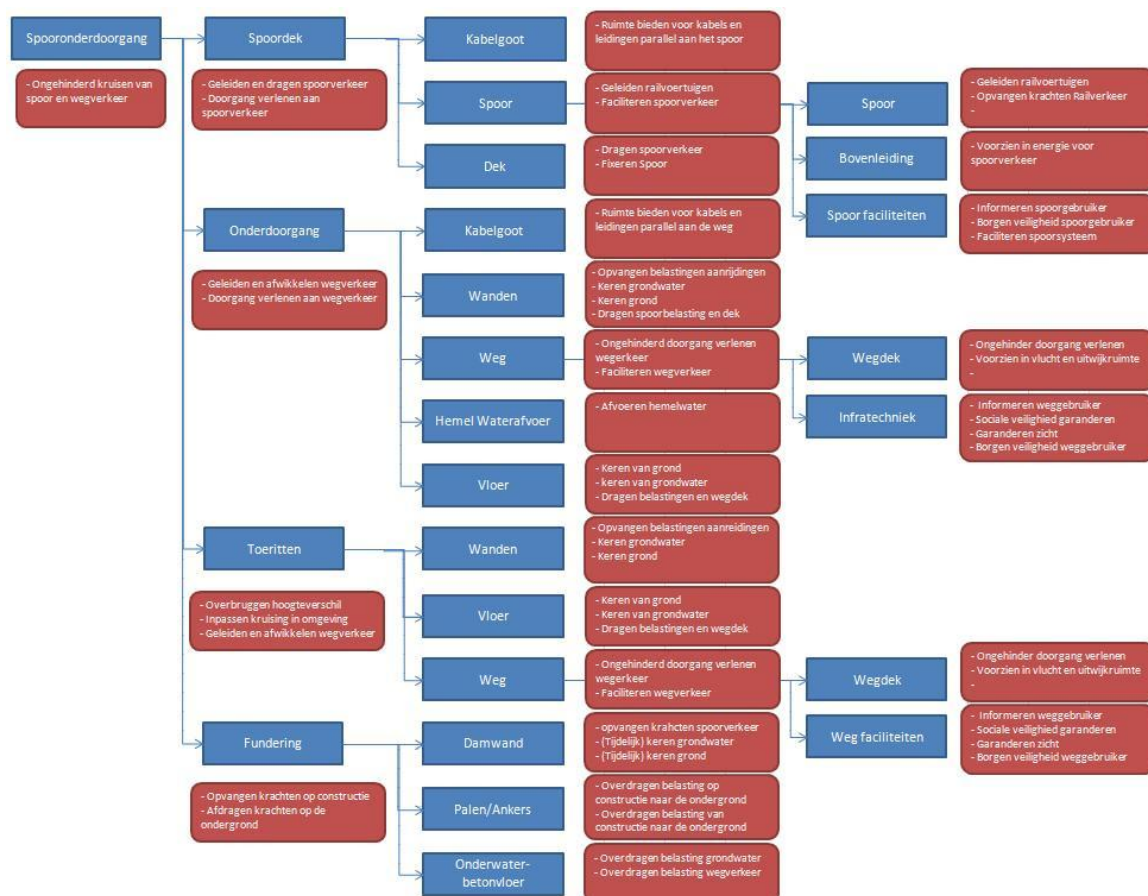
Uitvoer

De uitvoer bevat alle gevraagde dimensies, hoeveelheden, kosten en afbeeldingen die gemaakt zijn in de tussenliggende documenten en de sheet zelf. Deze zijn overzichtelijk weergegeven in de uitvoer en gemakkelijk te raadplegen.

8.2.5. Het bepalen van de parameters

Een van de eerste stappen na het bepalen van het nut van een parametrisch model voor een constructie is het bepalen van deze parameters. In het model voor de onderdoorgang is dit gedaan aan de hand van de functie en objectenboom.

In deze boom zijn de belangrijkste onderdelen te benoemen. Ook zijn hierin de relaties tussen de verschillende onderdelen duidelijk weergegeven. Aan de hand hiervan kan gevonden worden welke parameters afhangen van welke eigenschappen en onderdelen. Dit levert aan het einde de belangrijkste parameters op die niet af zijn te leiden van een of meer andere parameters.



Figuur 39: De functie en objectenboom van een spooronderdoorgang (zie Bijlage 17).

Als voorbeeld wordt in Figuur 39 de functie en objectenboom van de spooronderdoorgang weergegeven. Als voorbeeld word de dimensie van de vloer genomen. De functie hiervan is het dragen van de belastingen van het wegdek en het keren van de grond en waterdruk. Dit betekent dat hiervoor de grond en waterdruk bekend moeten zijn. Deze zijn afhankelijk van de

grondsoort, de maaiveldhoogte en grondwaterstand. Dit zijn 3 invoer parameters. Verder moet de vloer de belasting van de weg dragen. Deze volgt uit het weggebruik, waar de benodigde afmeting (breedte van de onderdoorgang) uit volgt. Als dit allemaal bekend is, kan de belasting op en capaciteit van de vloer berekend worden.

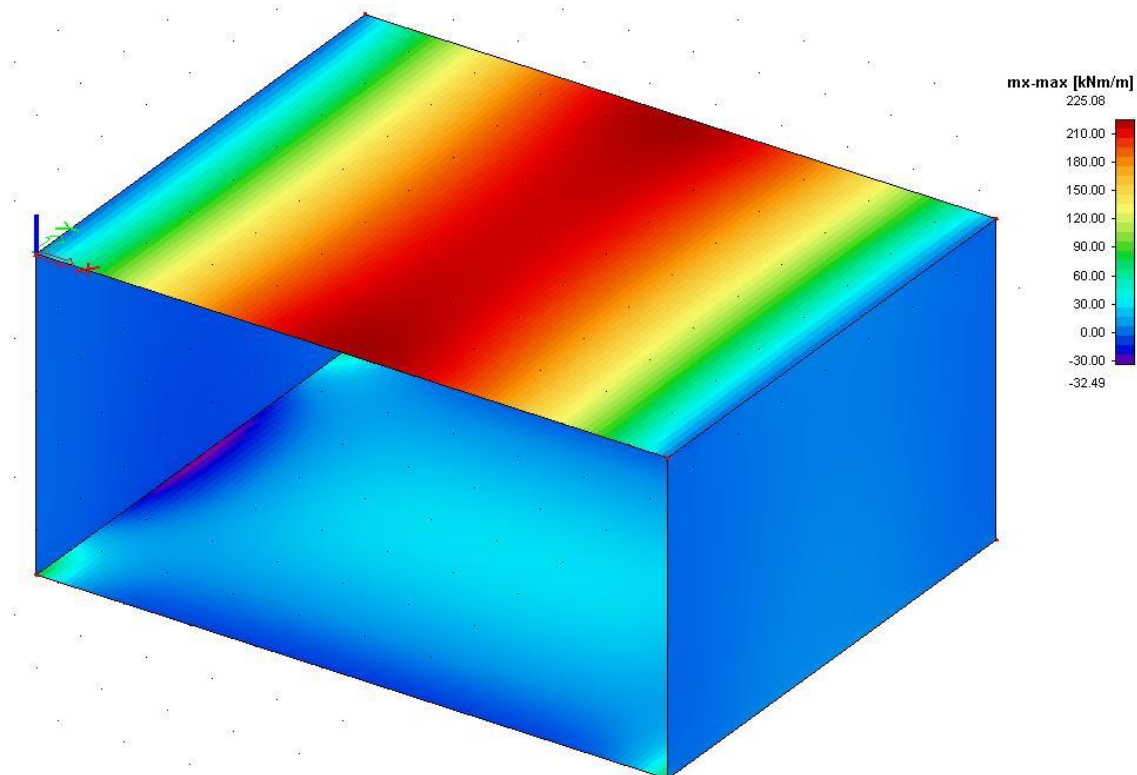
Let wel op dat de boom niet te ver in detail gaat (zie Figuur 38). Als dit gebeurt, volgt een model met te veel parameters om bruikbaar te zijn of een te gedetailleerd model dat maar een keer bruikbaar is. Het is het handigst om de constructie te schetsen en daar een eerste boom van te maken. Controleer daarna of alle onderdelen meegenomen zijn. Dit kan door bijvoorbeeld extra reserve parameters in te bouwen. Een voorbeeld bij de onderdoorgang is het gebruik van de "Extra breedte" parameter, voor als de onderdoorgang in een bocht ligt en extra ruimte nodig is voor zichtlijnen.

8.2.6. De gebruikte programma's

In het model voor de onderdoorgang worden een aantal programma's gebruikt. Deze worden in deze paragraaf bekeken. Voor ieder onderdeel wordt kort weergegeven wat het doet en welk programma gebruikt is. Verder wordt weergegeven of alternatieven aanwezig zijn.

Interne krachten

Een Eindige Elementen programma wordt gebruikt om de interne krachten in de constructie te bepalen. Dit zijn de krachten die opgenomen moeten worden door de onderdelen en waaraan zij gecontroleerd moeten worden. In het model voor de onderdoorgang werd hiervoor een template gemaakt in SCIA. Een resultaat is weergegeven in Figuur 40.



Figuur 40: De onderdoorgang berekend in SCIA.

SCIA Engineer

SCIA Engineer is een eindige elementen programma dat gebruikt wordt bij Van Hattum en Blankevoort. In dit programma is de constructie weergegeven en belast volgens de normen. Dit

resulteert in de interne krachten in de constructieonderdelen. Deze zijn nodig om de dimensies van de constructie te controleren en eventueel aan te passen.

SCIA is het programma dat voor handen is bij VHB. Er kan voor een ander programma gekozen worden. Eventueel kan zelfs gekozen worden om geen programma maar een handberekening toe te passen.

Doorsnede capaciteit

De capaciteit van de doorsnede kan op een aantal manieren worden berekend. Dit kan met de hand, of met een programma. In het geval van de onderdoorgangen is gekozen om de automatische sheets van DAKO te gebruiken. Hiermee worden standaard doorsneden gecontroleerd aan de hand van verschillende normen.

DAKO

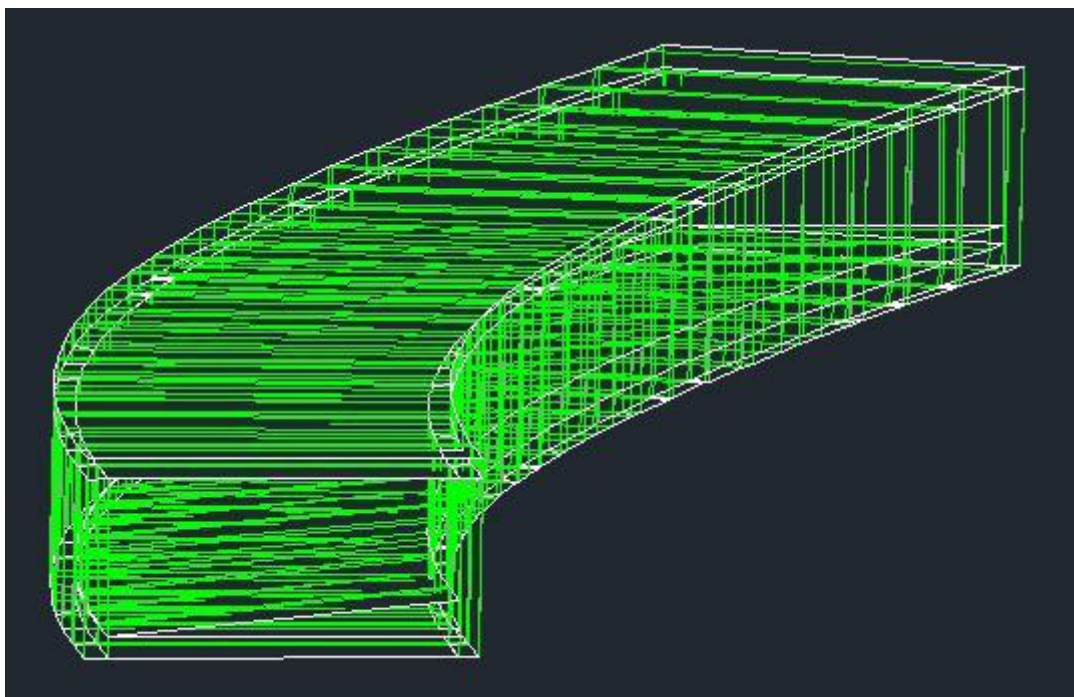
DAKO is niet zozeer een programma, maar een geverifieerde en gelicenseerde automatische Excelsheet. Hierdoor is, mits goed ingevoerd, de uitvoer geverifieerd.

De DAKO sheets berekenen aan de hand van een uitgebreide invoer de capaciteit van de doorsnede. Deze wordt in de sheet gecontroleerd aan de hand van de ingevoerde belastingsgegevens. Al deze gegevens worden als uitvoer weergegeven, waardoor ze bruikbaar zijn in de rest van het model.

De berekening van de doorsnede capaciteit kan met andere programma's of met de hand berekend worden. Dit programma was aanwezig, waardoor het onhandig is om het niet te gebruiken.

Visualisatie

De visualisatie wordt gebruikt om opdrachtgevers een idee te geven van wat gevraagd wordt. Dit kan in allerlei programma's gedaan worden. Voor de onderdoorgang werd gebruik gemaakt van Civil 3D, omdat hierin de omgeving en de aanpassingen gemakkelijk meegenomen konden worden. Een resultaat is te zien in Figuur 41.



Figuur 41: De visualisatie van de onderdoorgang in Civil 3D.

Civil 3D

Civil 3D wordt gebruikt voor de visualisatie van de constructie. Het voordeel van dit programma is dat het gemakkelijk de omgeving en het grondniveau kan inladen. Hierdoor is de inpassing in de omgeving gemakkelijk te realiseren.

Verder is het in Civil relatief gemakkelijk om parametrische tekeningen te maken. Dit sluit goed aan op het idee achter het model, waardoor dit programma is uitgekozen. Aan de hand van doorsneden (die parametrisch geschaald kunnen worden) en een weg-as kan snel een onderdoorgang getekend worden.

Elk ander tekenprogramma kan gebruikt worden voor de visualisatie van de constructie maar vanwege de eerder genoemde voordelen is voor Civil 3D gekozen.

8.3. De indicatie van de kosten

De kosten kunnen op meerdere manieren geformuleerd worden. De twee methoden die genoemd zijn worden hieronder verder uitgewerkt.

In het model worden de kosten op twee verschillende niveau's berekend. Dit kan op beide manieren in een nieuw model. De (relatief) uitgebreide manier aan de hand van kengetallen en de materiaal hoeveelheden is het handigst. Hier moeten wel de gegevens voor aanwezig zijn. Uit de analyse van het eerste model bleek dat het resultaat dan redelijk in de buurt van de werkelijkheid komt.

De methode die alleen de belangrijkste dimensies meeneemt kan ook gebruikt worden, mits hiervan een prijs bekend is. Dit kan volgen uit cases die verzameld zijn of andere gegevens. Als deze er niet zijn, kunnen de hoeveelheden nog een redelijke schatting geven.

Aan de hand van hoofdafmetingen

De tweede methode werkt met het herschalen van de kosten aan de hand van de hoofdafmetingen van de constructie. Voor onderdoorgangen moet dan gedacht worden aan de lengte van de onderdoorgang en de toeritten.

De kosten van de cases worden teruggerekend naar de kosten per eenheid. Voor de onderdoorgangen betekend dit een prijs per strekkende meter onderdoorgang of toerit, maar ook per vierkante meter kan. De gevonden prijs wordt vermenigvuldigd met de afmetingen van de nieuw te construeren constructie.

Het resultaat van de berekening van de kosten op deze manier is preciezer dan het overnemen van de kosten van de meest vergelijkbare constructie, maar het is minder precies dan de berekening aan de hand van de materiaalhoeveelheden. Toch kan deze methode precies genoeg zijn voor het bereikte moment in het bouwproces.

Aan de hand van materiaalhoeveelheden

De meest precieze methode om de kosten te berekenen is aan de hand van kengetallen en hoeveelheden gebruikt materiaal. Hiermee kunnen de kosten tot op een redelijk goede hoogte bepaald worden.

Deze methode gaat ervan uit dat alle dimensies bekend zijn. Dit betekend dat alle materiaal hoeveelheden bekend zijn. Van ieder materiaal is ongeveer bekend wat de kosten zijn. Door deze twee gegevens aan elkaar te koppelen en op te tellen is een redelijk precieze indicatie te geven van de kosten van een constructie.

Een nadeel/voorwaarde is dat de kosten van de verschillende materialen beschikbaar zijn. Als deze niet beschikbaar zijn kan deze methode niet gebruikt worden. Als deze wel beschikbaar zijn is het de meest precieze manier waarop de kosten te bepalen zijn.

8.3.1. Koppeling van de onderdelen

Al de voorgestelde onderdelen, parameters en gegevens komen samen in de Excel sheet. Hierin worden de gegevens verzameld en op een dusdanige manier weergegeven dat deze als invoer kunnen dienen voor de verschillende programma's. Om dit overzichtelijk te houden is alles ingedeeld in tabbladen. In het eerste stuk worden de parameters weergegeven die als invoer moeten dienen. Daaronder volgen de in te voeren gegevens en onderaan de ruimte voor eventuele berekeningen.

Als eerste moeten de gegevens van de uit de functie en objectenboom volgende parameters ingevoerd worden. Dit gebeurt in het eerste tabblad. Hierbij is de schets aanwezig om de gevraagde gegevens te verduidelijken en een indicatie van de constructie te geven.

Na de invoer van de gevraagde parameters moeten deze omgezet worden in dimensies. Dit gebeurt in het tweede tabblad (of onder de invoer).

In de derde sheet worden de gegevens gepresenteerd die nodig zijn voor het maken van het eindige elementenmodel. Dit betekent dat of coördinaten van de constructie of afmetingen gegeven zijn. Hiermee kan snel de constructie in het programma gezet worden. Verder zijn hier de krachten die de constructie belasten weergegeven. Hieronder is een duidelijke ruimte waar de interne krachten en momenten van de verschillende constructieonderdelen ingevoerd kunnen worden. Eventueel is een voorbeeld van een belaste constructie aanwezig om de gegevens te verduidelijken.

In de vierde sheet wordt de invoer in de DAKO sheet gepresenteerd. Dit kan door middel van automatisch ingevulde printscreens of lijsten. Eronder is ruimte open gehouden voor de uit de sheet volgende gegevens. Dit komt neer op de capaciteiten van de verschillende doorsneden en de waarden van de verschillende unity controles.

De vijfde sheet bevat de gegevens die nodig zijn in het tekenprogramma (Civil 3D). Dit zijn de materialen en afmetingen van de verschillende onderdelen. Verder kunnen hierin eigenschappen van de omgeving opgenomen worden.

De zesde sheet bevat de hoeveelheden en kengetallen, waarmee het de kosten uitrekent. De hoeveelheden volgen uit de eerder bepaalde dimensies en de kengetallen zijn al bekend uit de cases of andere bronnen.

De zevende en laatste sheet vat alle gegevens samen. Hier staan alle dimensies aangegeven en verduidelijkt met de visualisaties en van te voren gemaakte schetsen. Verder volgen hier de kosten en de resultaten van de controles.

Op de uitvoersheet is de mogelijkheid aanwezig om de dimensies aan te passen. Als dit gedaan wordt, passen de invoerwaarden op de voorgaande sheets zich aan. Deze zijn duidelijk aangegeven. Hierdoor kan snel gezien worden of gegevens en resultaten aangepast moeten worden.

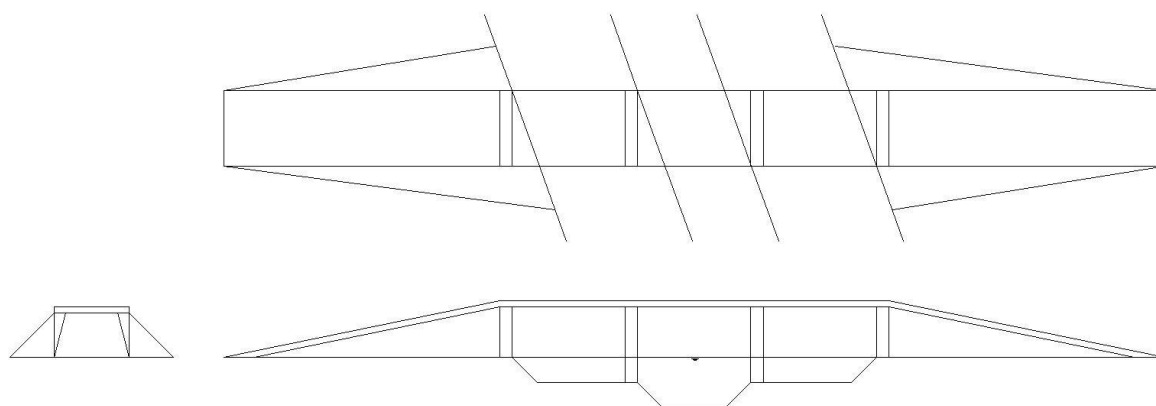
Na een paar cycli bevat de uitvoer sheet alle dimensies en eigenschappen van de constructie. Hoe veel cycli nodig zijn hangt af van de gekozen methoden en mate van benodigde aanpassing van de gegevens.

8.4. Analyse van een potentiële toepassing op een brug

Om de modellering toe te passen op een brug, moet eerst een representatief type gekozen worden. Dit type moet net als bij de onderdoorgang genoeg variabelen in zich hebben om een breed genoeg spectrum aan constructies te bevatten, maar niet te breed zodat te veel parameters meegenomen moeten worden.

8.4.1. Uitgangspunten en type

Als uitgangspunt wordt gebruikt dat een overspanning bekeken wordt. Hiervan wordt berekend wat de dimensies zijn van het brugdek, de pijlers, de fundering en de opritten. Het dek zal bestaan uit prefab balken. Het geheel is gebaseerd op de onderstaande Figuur 42.



Figuur 42: De schets van het gebruikte type brug in de modellering.

8.4.2. Parameters uit de functie en objectenboom.

Om het model verder op te zetten, moeten de belangrijkste parameters bepaald worden. Dit gebeurt aan de hand van de functie en objectenboom.

Uit de bovenstaande boom volgen de objecten die de brug opmaken. Ieder object is te definiëren met behulp van een aantal parameters. Deze zijn weergegeven in Tabel 30. Als deze parameters niet van elkaar kunnen worden afgeleid, zijn het invoer parameters. Dit is weergegeven in de tabel.

Object	Parameters	Type parameter
Kabelgoot	-	-
Wegdek	Lengte van de overspanning Breedte van het dek Hoogte van de liggers	Invoer Invoer Volgt uit het type
Infratechniek	Extra benodigde breedte Extra benodigde doorvaarhoogte	Secundaire invoer Secundaire invoer
Liggers	Lengte Aantal Type	Volgt uit de Lengte van de oversp. Volgt uit de Breedte van het dek Invoer
Overlaging	Dikte	Vaste waarde
Dwarsbalk	Lengte Dikte Breedte	Volgt uit de Breedte van het dek Volgt uit de Breedte van het dek Vast
Kolommen	Aantal	Volgt uit de Breedte van het dek

	Doorsnede oppervlak Lengte	Volgt uit de Breedte van het dek Invoer
Hemelwaterafvoer	-	-
Poer	Dikte Breedte Lengte	Volgt uit de Breedte van het dek Volgt uit de Breedte van het dek Volgt uit de Breedte van het dek
Aardebaan	Hoek van het wegdek Hoek van de grond Lengte	Vast Vast Volgt uit de hoek van het wegdek
Damwand	Diepte Type Benodigde lengte	Invoer Invoer Invoer
Palen	Aantal Type Lengte	Volgt uit de Breedte van het dek Invoer Volgt uit de Breedte van het dek
Onderwaterbeton	Dikte Oppervlak	Volgt uit de Breedte van het dek Volgt uit de Breedte van het dek

Tabel 30: De parameters behorende bij de verschillende objecten en hun oorsprong.

Als alle overlappende parameters worden weggestreept, volgen de onderstaande invoerparameters. Deze zijn verdeeld in primaire en secundaire parameters, om aan te geven welke erg belangrijk zijn en welke minder (Tabel 31 en Tabel 32).

Beschrijving van de Parameter	Parameter
Weggebruik breedte	B
Doorvaarthoogte	H
Doorvaartbreedte	L
Type liggers	Ligger
Kruisingshoek	α
(Grond)waterstand	H_{grond}
Maaiveldhoogte	H_{MV}
Aantal overspanningen	n

Tabel 31: De Primaire invoerparameters.

Beschrijving van de Parameter	Parameter
Extra benodigde doorvaartbreedte	B^+
Extra benodigde doorvaarthoogte	H^+
Extra benodigde wegdekbreedte	B^+_{dek}
Betonkwaliteit dek	$B_{\text{klasse dek}}$
Betonkwaliteit kolom	$B_{\text{klasse pilaar}}$
Helling weg	α_{weg}
Type funderingspaal	Paal
Type damwand	Damwand
Type grond	Grond
Grondhelling	α_{grond}
Type Pilaar	Pilaar
Type Talud	Talud

Tabel 32: De secundaire invoerparameters.

Wat opvalt en erg handig uitkomt is de overeenkomst tussen de hoeveelheid invoerparameters bij de onderdoorgang en de burg. Een nadeel van het gebruik van liggers is dat veel afmetingen die anders berekend werden nu vastliggen met het type. Dit resulteert in minder parameters die berekend moeten worden en relatief meer invoergegevens voor minder resultaat.

8.4.3. Externe programma's

In de externe programma's kan voor ieder model een template gemaakt worden. Dit heeft als voordeel dat als de constructie niet voldoet, snel de gegevens aangepast en berekend kunnen worden. Het nadeel is dat het maken van deze templates meer tijd kost dan het opzetten van een model.

De keuze voor externe programma's komt voort uit de vraag voor een langer bruikbaar model. Door het gebruik van verschillende externe programma's is het model niet afhankelijk van een systeem. In de loop van de tijd en de verschillende modellen kunnen programma's die dezelfde resultaten opleveren uitgewisseld worden. Hierdoor kan iedere gebruiker zijn eigen kennis gebruiken en is niet enkel de kennis van de maker voor handen.

In het geval van de brug zijn kort templates gemaakt in de verschillende programma's om te kijken of dit haalbaar was. Doordat dit al eerder was gedaan voor de onderdoorgangen koste dit in SCIA niet veel extra tijd ten opzichte van de losse opzet van de modellen. In Civil 3D koste dit wel veel extra tijd, omdat hierin de template veel meer gegevens benodigd.

De kostenberekening is een punt waar veel gegevens voor nodig zijn. Meestal zijn deze aanwezig bij de calculator. Er moet wel goed op gelet worden wat en wel en niet binnen deze kosten valt. Dit heeft invloed op het uiteindelijke resultaat, maar ook op de precisie van dit resultaat. Dit moet goed gedocumenteerd worden.

8.5. Conclusies en aanbevelingen

De methode is toepasbaar op bijvoorbeeld een brug, hier ontstaan wel een aantal problemen, doordat gegevens voor handen moeten zijn. Dit zorgt ervoor dat in het opzetten van het model veel tijd verloren kan worden met het zoeken naar gegevens van eigenschappen, vuistregels en meer. Zodra een model staat is het daarentegen simpel en snel om een nieuwe constructie van hetzelfde type te construeren en kan de verloren tijd teruggewonnen worden.

De aanbeveling is om zo een model alleen op te stellen als zeker is dat een redelijk aantal van hetzelfde type constructies gebouwd gaan worden. Als dit zo is, dan is de extra tijd die nodig is voor het opzetten te verantwoorden. Dit betekent dat het type goed gekozen moet worden, maar vooral niet te algemeen. De kracht is dat slechts kleine aanpassingen nodig zijn. Grote aanpassingen hebben een nieuw model nodig.

9. Conclusie

In dit hoofdstuk worden eerst kort de gestelde doelen herhaald, waarna de belangrijkste resultaten beschreven worden. Aan de hand van de resultaten worden in de conclusies de doelen beantwoord. Als laatste volgen aanbevelingen voor eventuele vervolgonderzoeken.

9.1. Doel

Het probleem dat gepresenteerd is in de inleiding is dat iedere constructie vanaf niets wordt ontworpen. Hierin is mogelijk een slag te maken door het gebruik van modellen. Dit is het hoofddoel:

Is een model op te stellen dat het dimensioneren van constructies versneld?

De context van de opdracht is de Marktconsultatie en de Tunnelalliantie. Hier zal het model op toegepast worden. De subdoelen zijn dan als volgt:

1. Welke voor modelleringen zijn er en hebben de meeste potentie als toepassing op het model?
2. Is een ontwerpmodel op te stellen voor onderdoorgangen?
 - 2.1. Wat voor onderdoorgangen zijn er?
 - 2.2. Hoe wordt zo'n onderdoorgang berekend?
 - 2.3. Hoe zou het model hiervoor eruit zien?
 - 2.4. Wat zijn de voor en nadelen van vuistregels ten opzichte van andere methoden?
 - 2.5. Wat is de precisie ten opzichte van de berekening van de kosten?
3. Wat zijn de belangrijkste problemen ten opzichte van modellen en hoe is dit op te vangen?
4. Hoe ziet zo'n model eruit voor een volledig ander type constructie (bijvoorbeeld een brug)?
5. Wat zijn de problemen ten opzichte van het aanpassen/opstellen van het model en hoe kunnen deze overkomen worden?

9.2. Resultaat

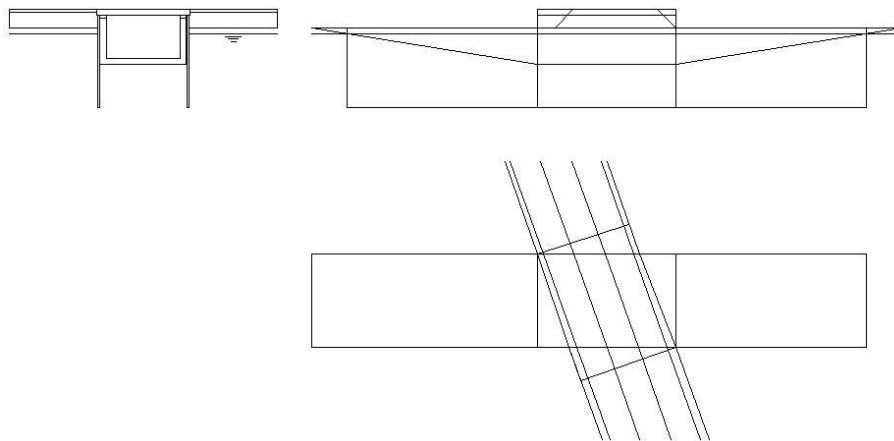
Het resultaat is opgedeeld in de inventarisatie van de modellen en gegevens, het model met de resultaten en de toepassing op een brug met resultaten.

9.2.1. Inventarisatie

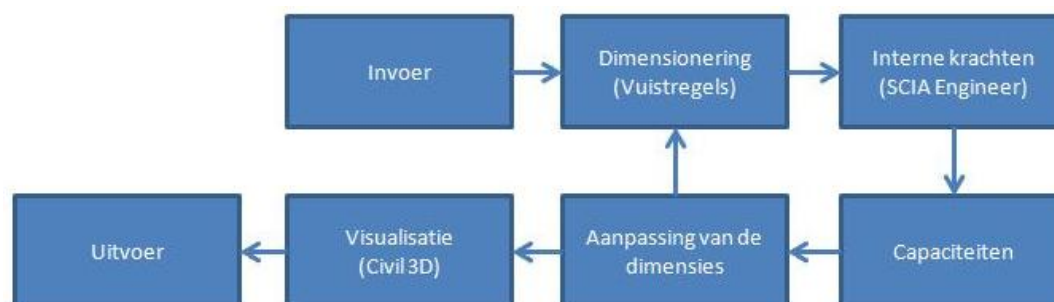
Een inventarisatie in verschillende literatuurbronnen leverde een hoop verschillende potentieel toepasbare modelleringen op. Uiteindelijk is gekozen voor een parametrisch ontwerpmodel.

9.2.2. Het model

Het model is gebaseerd op de onderstaande schets van een onderdoorgang (Figuur 43). Aan de hand van invoerparameters volgend uit de analyse en functie en objectenboom wordt de onderdoorgang gedimensioneerd. De stappen zijn weergegeven in Figuur 44.



Figuur 43: De schets van de onderdoorgang waar het model op is gebaseerd.



Figuur 44: Een stappenplan van de onderdelen van het model.

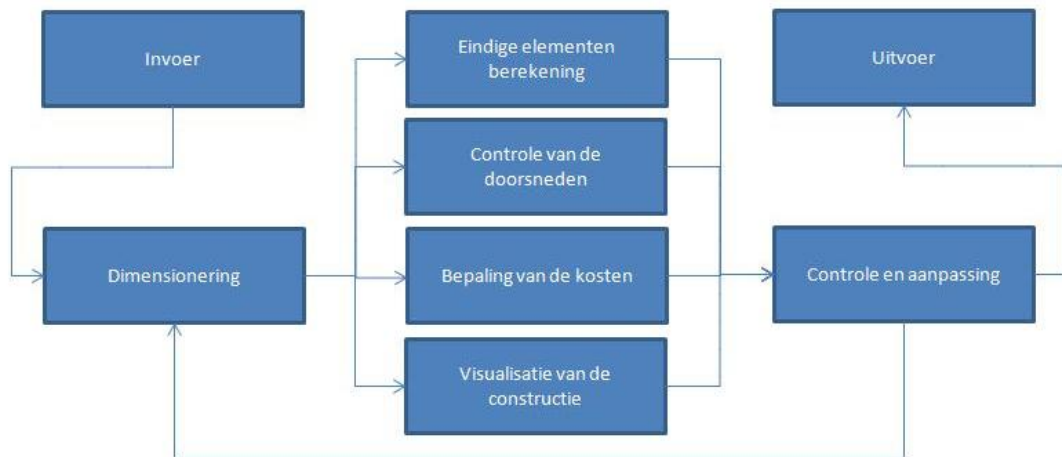
Het model is toegepast op een drietal locaties namelijk Rijssen, Waddinxveen en Boskoop. De resultaten van het model komen goed uit. De afmetingen variëren maximaal ongeveer 15%. Sommige individuele gevallen variëren meer, maar in dat geval zijn de verschillen in de resultaten te verklaren. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 33.

	Vershil Max (m)	Vershil Min (m)	Gemiddelde Percentage
Lengte dek	3,5	1,1	33%
Breedte dek	2,4	0,6	8%
Breedte vloer	1,0	0,0	8%
Dikte dek	0,3	0,1	17%
Dikte wand	0,2	0,0	7%
Dikte vloer	0,2	0,0	9%
Lengte Toerit	30,3	4,5	34%

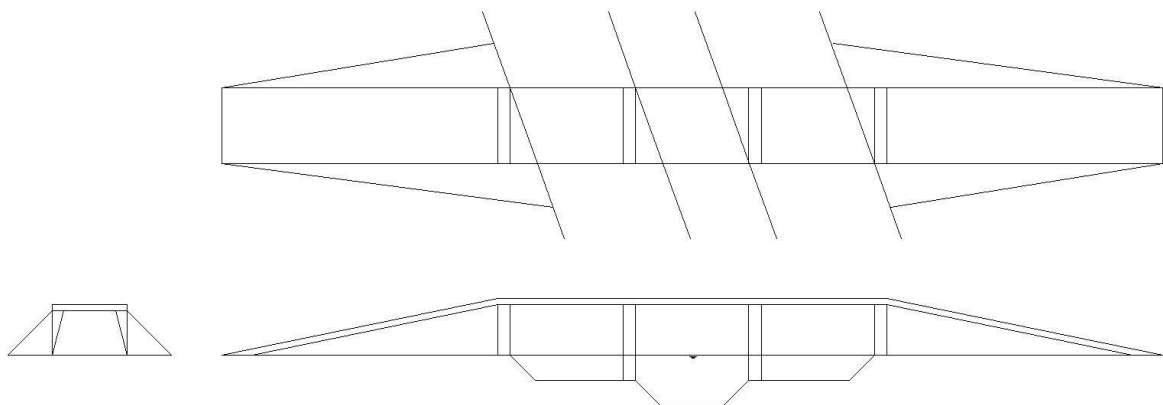
Tabel 33: De verschillen tussen de berekende en werkelijke dimensies.

9.2.3. Toepassing op een brug

Om de leefbaarheid van het model te verlengen is ervoor gekozen om de opzet uit te werken. Hierdoor wordt het toepasbaar op meer constructies dan alleen de gekozen onderdoorgang. Om te kijken of dit mogelijk is, is de basis toegepast op een brug. Hierbij is uitgegaan van de onderstaande opzet van het model en de brug uit Figuur 46.



Figuur 45: De weergave van de modellering.



Figuur 46: De schets van het gebruikte type brug in de modellering.

9.2.4. Problemen

De toepassing op de brug leverde een aantal problemen op. Deze hebben vooral betrekking op de afwezigheid van vuistregels. Bij de onderdoorgangen is hiervan gebruik gemaakt. In het geval van de brug waren deze door de beperkte tijd die aanwezig was voor de opzet niet voor handen. Deze vuistregels zijn er wel, maar zijn niet in dit onderzoek boven tafel gehaald. Hierdoor was de uiteindelijke precisie niet hoog. Het concept is daarentegen wel bewezen. De manier van het model opzetten kan toegepast worden op bruggen en andere constructies. Dit heeft alleen nut als een constructie in grote aantallen ontworpen moet worden.

9.3. Conclusies

Tijdens de opleiding Civiele Techniek aan de TU Delft leer je om systematisch een ontwerp van een constructie op te zetten. Dit begint met het analyseren van het probleem en de wensen. Deze methode zorgt ervoor dat een onderzoek naar een model niet logisch is. De eisen en wensen zijn vaak verschillend en moeten los geïnventariseerd worden. Ieder ontwerp is namelijk uniek. Hoe kan dit in een model gevangen worden? Dit is waar, maar ieder ontwerp wordt via dezelfde soort stappen uitgewerkt. Als deze stappen in een model gevangen worden, wordt nog steeds de geleerde methode gevolgd. In de toekomst zijn de stappen sneller te maken, aangezien de verschillende gegevens gebundeld zijn in het model. Dit scheelt een hoop uitzoekwerk.

Na een literatuur en spookrusingen analyse en de berekening van een case is in meerdere stappen een model opgezet dat met behulp van een beperkt aantal invoergegevens een onderdoorgang kan dimensioneren, controleren, tekenen en beprijzen. Dit model is toegepast



op een aantal cases en de resultaten komen overeen met de werkelijkheid. Er zijn nog afwijkingen tussen het model en de gebouwde constructies, maar deze zijn te verklaren door de gekozen bouwmethoden en modelleringen.

Uit de vergelijkingen tussen de gegevens uit de cases en het model, volgt een verschil in dimensies. Deze zijn verholpen door het toevoegen van de controle van de capaciteiten en het aan de hand hiervan aanpassen van de dimensies. Het resulterende model benaderd de dimensies tot op ongeveer 15%. De bepaling van de kosten benaderd de werkelijkheid tot op een verschil van ongeveer 15%.

Het model voor de spooronderdoorgangen presteert als eerste indicatie van de dimensies en kosten goed. Daarom wordt de methode omschreven om deze toepasbaar te maken op andere constructies. Als voorbeeld is gekozen voor een brug. Hieruit volgt dat de opzet toepasbaar is, maar dat goede vuistregels of genoeg cases nodig zijn om een model bruikbaar te maken.

Een model dat het dimensioneren versnelt kan dus opgezet worden. Dit is gedaan voor onderdoorgangen en opgezet voor bruggen. De grootste problemen die zijn tegengekomen zijn het ontbreken van vuistregels.

10. Literatuurlijst

Gebruikte normen en richtlijnen:

1. CROW Kenniscentrum voor Verkeer (2004), *ASVV 2004: aanbevelingen voor verkeersvoorzieningen binnen de bebouwde kom*, Utrecht: CROW.
2. Prorail richtlijnen (OVS)
 - Prorail (2007), *Ontwerpvoorschrift Kunstwerken - deel 1 – Kunstwerken voor spoorverkeer*. Utrecht: Prorail
 - Prorail (2009), *Ontwerpvoorschrift Kunstwerken – deel 6 – Aanvullingen en wijzigingen op NEN normen*. Utrecht: Prorail
 - Prorail (2003), *Ontwerpvoorschrift kunstwerken*. Utrecht: Prorail
 - Prorail (2006), *Ontwerpvoorschrift typetekening kunstwerken*. Utrecht: Prorail
3. Normen
 - Nederlands Normalisatie Instituut (2003), *NEN-EN 1991-2 (en) Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 2: belastingen op bruggen*. Delft: NEN
 - Nederlands Normalisatie Instituut (2005), *NEN-EN 1992-1-1 (en) Eurocode 2: Ontwerp en berekeningen van betonconstructies - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen*. Delft: NEN
 - Nederlands Normalisatie Instituut (2005), *NEN-EN 1991-2 (en) Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Bruggen*. Delft: NEN

Gebruikte Prorail documenten

4. Bierhuis, H., Norbaft, P., Krukkert, R., Veldhuizen, J. van en Wal, G. van der (2011), *Prorail Marktconsultatie voor Tunnelfonds*. Utrecht: Prorail.
5. Prorail (2010), *Beheerplan 2011* Utrecht: Prorail.
6. Prorail (2011-1), *Selectieleidraad Tunnelalliantie* Utrecht: Prorail.
7. Prorail (2011-2), *Tunnelfonds -> Tunnelalliantie* Utrecht: Prorail.

Gebruikte rapporten en dictaten:

8. Horstmeier, T.H.W. (2002), *CT5910 Functional Design*. Delft: TU Delft.
9. Kwak, L. (1996), *Standaardisatie van Boortunnels, Een technisch-economisch haalbaarheidsonderzoek naar Delft*: TUDelft.
10. Maas, A. (2002), *Ontwerptimalisering Spuisluis Afsluitdijk* Utrecht: Bouwdienst Rijkswaterstaat
11. Rietdijk, J. (2000), *Ontwerpmodel van een schutsluis* Delft: TUDelft.
12. Walraven, J.C. (2006), *College Gewapend beton CT2051B/3051B*. Delft: TUDelft.

Gebruikte algemene documenten

13. Axelrod, R. (1997), *The Complexity of Cooperation: Agent Based Models of Competition and Collaboration*. Princeton: Princeton University Press.
14. Baldwin, C. Y., Clark, K.B. (1997), *Managing in an age of modularity* Harvard: Harvard Business review.
15. Ki, G., An, S., Kang, K. (2004) *Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks and case-based reasoning*. Seoul: Department of Architectural Engineering, Korea University.
16. Rautenstrauch, C., Seelman-Eggebert, R., Turowski, K. (2002), *Moving into Mass Customization Information systems and Management Principles* Berlin: Springer
17. Salvador, F., Forza, C., Rungtusanatham, M. (2002), *Modularity, product variety, production volume, and component sourcing: theorizing beyond generic prescriptions* Vicenza: Elsevier, Journal of operations Management.

-
18. Ulrich, K., (1995), *The role of product architecture in the manufacturing firm* Camebridge: Elsevier, Research policy.
 19. Wierzbicki, A.P., Makowski, M., Wessels, J. (2000), *Model-Based Decision Support Methodology with environmental applications*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
 20. Yau, N. & Yang, J. (1998) *Case-Based Reasoning in Construction Management*. Taiwan: Department of Civil Engineering, National Central University of Taiwan.