

Functionaliteitgericht ramen in de vroege projectfase

Onderzoek naar ramen op basis van functionaliteit voor civiele projecten

'Estimating is like witchcraft; it involves foretelling situations about which little is known' – Graham M. Winch

Master Thesis – Dennis Monninkhof
Universiteit Twente – Engineering Technology (CTW)
Masteropleiding – Construction Management and Engineering

Functionaliteitgericht ramen in de vroege projectfase

Onderzoek naar ramen op basis van functionaliteit voor civiele projecten

Universiteit Twente
Engineering Technology (CTW)
Construction Management and Engineering

Witteveen+Bos
Infrastructuur en Mobiliteit
Afdeling Kosten- en Risicomanagement

DACE Cost and Value
Special Interest Group Grond-, Weg- en Waterbouw

Master thesis - Dennis Monninkhof
Contact – dennismonninkhof@gmail.com
Deventer, september 2015

Afstudeer comité	
Dr. S.H. Al-Jibouri	(Universiteit Twente)
Dr. Ir. W. Tijhuis	(Universiteit Twente)
Ing. E. Schulte Fishedick MSc.	(Witteveen+Bos en DACE Cost and Value)



UNIVERSITEIT TWENTE.



Voorwoord

Voor u ligt het eindrapport van een afstudeeronderzoek van de Masteropleiding Construction Management and Engineering van de Universiteit Twente. Doel van dit eindrapport is om inzicht te geven in het uitgevoerde onderzoek en de totstandkoming van de resultaten. Dit eindrapport bevat onder andere een literatuurstudie, een analyse van het onderzoeksdoel, het onderzoeksmodel, resultaten, discussie, conclusie en enkele aanbevelingen voor verder onderzoek. Het onderwerp van dit afstudeeronderzoek is *“functionaliteitgericht ramen in de vroege projectfase”* en is toegepast op civiele projecten. Het afstudeeronderzoek is uitgevoerd bij Witteveen+Bos in Deventer, in samenwerking met DACE (Dutch Association of Cost Engineers).

De afstudeerperiode heb ik als een mooie tijd ervaren. Tijdens de periode heb ik verschillende instanties bezocht en veel nieuwe mensen ontmoet welke allen een bijdrage hebben geleverd aan de totstandkoming van dit afstudeeronderzoek. Als eerste wil ik mijn afstudeercommissie bedanken voor hun uitstekende begeleiding en hun kritische blik tijdens de verschillende voortgangsgesprekken. Door hun kritiek was ik in staat om het onderzoek van een kritische kant te belichten, wat ten goede is gekomen van de structuur van het onderzoek.

Vervolgens wil ik de begeleiding bij Witteveen+Bos en DACE cost and value bedanken voor het geven vrijheid in het opstellen van het onderzoek. Mede door hun vrijheid heb ik mijn eigen draai kunnen geven aan het onderzoek. Dit gaf mij gedurende de afstudeerperiode extra motivatie om het onderzoek tot een goed einde te brengen. Tevens vond ik het erg leuk om tijdens een bijeenkomst van de werkgroep DACE SIG GWW te presenteren. Deze presentatie heeft geleid tot een kritische feedback op mijn onderzoek. Waardoor ik denk dat het resultaat van het onderzoek beter aansluit op de vragen vanuit de markt.

Verder wil ik alle collega's op de afdeling kosten- en risicomanagement bedanken voor de gezellige werksfeer en hun interesse in het onderzoek. Mede door hun heb ik het afstuderen als een leuke tijd ervaren. Hierbij wil ik in het speciaal dhr. Schulte Fishedick bedanken voor zijn begeleiding tijdens dit onderzoek. Ik kon altijd bij hem terecht met vragen en hij was altijd bereid om een passend antwoord op deze vragen te geven. Verder wil ik hem bedanken voor zijn enthousiasme in het onderwerp en de moeite die hij nam om mij te helpen om dit onderzoek tot een goed einde te brengen.

Ook wil ik alle instanties bedanken welke data beschikbaar hebben gesteld voor dit onderzoek. Zonder hen was de toegevoegde waarde van dit onderzoek beduidend lager geweest. Mede door de verstrekte gegevens denk ik dat dit onderzoek een goede start-up is voor het toepassen van referentieprojecten in toekomstige kostenramingen.

Als laatste gaat mijn dank uit aan iedereen wie ik hierboven ben vergeten. Ook hun wil ik bedanken voor hun steun en hulp tijdens dit onderzoek, zonder jullie allen had ik dit onderzoek niet tot een goed einde gebracht.

Dennis Monninkhof
Deventer, september 2015

Samenvatting

Flyvbjerg e.a. hebben in een onderzoek, welke is afgerond in 2002, geconcludeerd dat 9 van de 10 civiele projecten hoger uitvallen in kosten dan vooraf geraamd. Dit onderzoek was gericht op projecten in Europa en Noord-Amerika. Mede door dit onderzoek wordt sinds de eeuwwisseling de standaard systematiek kostenramingen (SSK) toegepast voor civiele projecten in Nederland. Doel van de SSK was en is om meer uniformiteit in kostenramingen te verkrijgen om zo de kostenoverschrijdingen af te laten nemen (CROW, 2010). Echter blijkt uit een onderzoek van Cantarelli in 2011 op Nederlandse civiele projecten dat er geen meetbaar verschil is in de hoogte en aantal kostenoverschrijdingen in de periode voor- en de periode na de eeuwwisseling. Deze constatering heeft geleid tot de onderstaande probleemstelling:

Het meer uniform ramen heeft niet geleid tot een afname van de grootte en de spreiding van kostenover- en onderschrijdingen.

Aan deze probleemstelling is het volgende onderzoeksdoel gekoppeld:

De trefzekerheid van een raming vergroten om zo de spreiding van kostenover- en onderschrijdingen af te laten nemen.

Gedurende dit onderzoek is een model opgesteld om functionaliteitgericht te kunnen ramen. In dit model is onderscheid gemaakt in de eigenschappen projectspecifiek, werkelijkheid en niet-projectspecifiek. Dit omdat deze eigenschappen geïdentificeerd zijn als essentiële eigenschappen om functionaliteitgericht mee te ramen en zo het probleem van kostenover- en onderschrijdingen tegen te gaan. Voor de eigenschap projectspecifiek is een hoeveelhedenmodel opgesteld. Voor de eigenschap werkelijkheid is een neurale netwerk toegepast. De eigenschap niet-projectspecifiek is in kaart gebracht met behulp van de Reference Class Forecasting (RCF) methode. Daarnaast is gebleken dat het zinvol is om op bouwkosten van wegenbouwprojecten het functionaliteitgericht ramen toe te passen. Hiervan zijn bouwkosten over meerdere projectfasen voor in het model opgenomen. Voor dit onderzoek is de volgende hoofdvraag geformuleerd. Onderbouwing van de hoofdvraag is in dit onderzoek gedaan door middel van deelvragen, welke per hoofdstuk zijn beantwoord.

Geeft het functionaliteitgericht ramen in de vroege projectfase van een civiel project betrouwbare resultaten met betrekking tot het inschatten van kosten?

Uit het onderzoek is gebleken dat het model (nog) geen betrouwbare maar wel veelbelovende resultaten weergeeft. Dit geldt eveneens wanneer onderscheid is gemaakt in de 3 sub modellen.

- *Hoeveelhedenmodel (eigenschap projectspecifiek): Betrouwbaar als geheel, niet betrouwbaar bij afzonderlijke hoeveelheden en projecten.*
- *Neurale netwerk kostenmodel (eigenschap werkelijkheid): Niet betrouwbaar, presteert wel beter in vergelijking met een regressiemodel.*
- *RCF model (eigenschap niet-projectspecifiek): Uitschieters beïnvloeden validatie van het RCF model.*

Aanbevelingen volgend uit de conclusie van dit onderzoek zijn allen te herleiden naar het verstrekken van data en het toepassen van het onderzoek op een grotere dataset. Waarbij het model om functionaliteitgericht te ramen beter aan kan sluiten op het type project, type werkzaamheden of type toegepaste materialen voor een project.

Praktische relevantie van het onderzoek

Tot op heden is voornamelijk onderzoek verricht naar de theoretische mogelijkheden van ramen met behulp van referentieprojecten. Echter is nog geen onderzoek verricht naar de praktische toepassing van referentieprojecten in een raming. Doordat dit onderzoek is afgestemd op de praktische wensen van afstudeeraanbieder, heeft dit onderzoek een grote praktische bijdrage. Dit onderzoek kan een start-up zijn voor het opstellen van een openbare database waarin verschillende kostenonderdelen worden verzameld en geïmplementeerd kunnen worden in het model.

Wetenschappelijke relevantie van het onderzoek

Tijdens dit onderzoek zijn twee ramingsmethoden met elkaar gekoppeld, namelijk neurale netwerken met reference class forecasting. Op dit moment is weinig onderzoek gedaan naar het combineren van beide ramingsmethoden. Het combineren van beide modellen kan leiden tot nieuwe wetenschappelijke inzichten. Eveneens kan het onderscheid maken in kostencategorieën en kostengroepen voor een RCF model leiden tot nieuwe wetenschappelijke inzichten.

Abstract

Flyvbjerg et. al finished a research in 2002 to cost overruns in civil projects. They concluded that 9 out of 10 civil projects have higher construction costs than estimated beforehand. These researches focussed on civil projects in Europe and North- Amerika. As a result, a new cost estimate standard was developed for Dutch civil projects, called the standard system for cost estimates (SSK). Primary goal of the SSK was to reduce cost overruns by creating more uniform cost estimates (CROW, 2010). A research by Cantarelli in 2011 concludes that there was no measurable difference in the number and size of cost overruns before and after the SSK was introduced. Based on these findings, the problem definition of this research was formulated as follows.

More uniform cost estimates have not led to a decrease in the size and variation of cost overruns and cost underruns.

Based on this problem definition the goal of this research is formulated.

Increasing the accuracy of a cost estimate in order to decrease the variation of cost overruns and cost underruns.

During this research a model is developed in order to make functionality based estimates. In this model distinction is made between the characteristics project-specific, reality and not project-specific. Those characteristics are identified as essential for functionality based estimates and they are essential in order to solve or reduce the problem of costoverruns and underruns. The characteristics are assigned to sub models. For the characteristic project-specific a quantity model is designed. The characteristic reality is assigned to a neural network and for the characteristic not project-specific a Reference Class Forecasting (RCF) model is developed. Furthermore, it is concluded that it is useful to specify model on construction costs of a project, especially construction costs of road projects. The model for functionality based estimating includes construction costs of different project stages. For this research the next main research question is formulated. This main research question is supported by sub research questions, those are answered per chapter.

Does functionality based estimating in the early project stages of an civil project generate reliable results for estimating the costs?

The main conclusion of this research is that the model does not generate reliable results (yet), however the generated results are promising. This conclusion is also valid when distinction between the 3 sub models is made.

- *Quantity model (characteristic project-specific): Reliable for quantities overall, unreliable for separate quantities and projects.*
- *Neural Network model (characteristic reality): Unreliable, However it performs better compared to a regression model.*
- *RCF model (characteristic not project-specific): Outliers influence the validation of the RCF model.*

Recommendations on this research can be traced back by providing data and applying the research on a bigger dataset. Wherefore functionality based estimating has the potential to fit better for a specific project, kind of project work or the applied materials in a project.

Practical relevance of this research

Currently much research is conducted for the theoretical possibilities for estimating with help of reference projects. Up to now, not much research is conducted in the way how to apply reference projects into a cost estimate. Due to the adaption of this research to the requirements of the client, this research has high practical relevance. This research could be seen as a start-up for applying reference projects in a cost estimate. It could also be a start-up for composing a database wherein different cost components are collected.

Scientific relevance of this research

During this research two cost estimate methods are combined, namely neural networks and reference class forecasting. Currently not much research is conducted for combining those two cost estimating methods, which could lead to new scientific findings. Furthermore, the distinction in cost categories and type of project costs in the RCF model is of scientific relevance. This because distinction in costs has not be applied before.

Inhoudsopgave

1. Introductie	1
1.1. Opdrachtoomschrijving.....	1
1.2. Aanleiding Onderzoeksopdracht.....	2
1.3. Randvoorwaarden	2
1.3.1. Vroege projectfase.....	3
1.3.2. RCF database	3
1.3.3. Conclusie randvoorwaarden.....	4
1.4. Probleemstelling.....	4
1.5. Doel	4
1.6. Onderzoeksvragen.....	5
1.6.1. Hoofdvraag.....	5
1.6.2. Motivatie hoofdvraag	5
1.6.3. Deelvragen	5
1.6.4. Motivatie deelvragen.....	5
1.6.5. Conclusie onderzoeksvragen.....	6
1.7. Onderzoeksmethode	6
1.8. Conclusie van de introductie.....	7
2. Literatuuranalyse.....	9
2.1. Probleemanalyse	9
2.1.1. Technisch	10
2.1.2. Psychologisch	10
2.1.3. Politiek-economisch.....	10
2.1.4. Andere factoren.....	11
2.1.5. Conclusie probleemanalyse.....	11
2.2. Huidige situatie.....	12
2.2.1. Hoe werkt het.....	12
2.2.2. Conclusie huidige situatie	13
2.3. Nieuwe ontwikkelingen	13
2.3.1. Reference Class Forecasting (RCF)	14
2.3.2. Regressiemodellen.....	15
2.3.3. Neuraal netwerk.....	16
2.3.4. Conclusie vergelijking nieuwe ontwikkelingen	18
2.4. Toepassingen nieuwe ontwikkelingen	19
2.4.1. Toepassingen van de RCF methode	19
2.4.2. Toepassingen neurale netwerken.....	20
2.4.3. Conclusie toepassingen nieuwe ontwikkelingen	21
2.5. Conclusie literatuuranalyse.....	21
3. Onderzoeksdoelanalyse.....	23

3.1. Doelgroepanalyse	23
3.1.1. Doelgroep.....	23
3.1.2. Projectfasen met partijen	23
3.1.3. Projectraming	25
3.1.4. Conclusie Doelgroepanalyse.....	27
3.2. Kostenanalyse.....	28
3.2.1. Voorziene kosten	28
3.2.2. Onvoorziene kosten.....	29
3.2.3. Conclusie Kostenanalyse	30
3.3. Projectenanalyse	31
3.3.1. Gelijkenis in projecten	31
3.3.2. Externe factoren.....	32
3.3.3. Conclusie projectenanalyse.....	33
3.4. Marktanalyse	33
3.4.1. Contracteren	33
3.4.2. Concurrentie.....	34
3.4.3. Afstemming tussen partijen	38
3.4.4. Verschil in uitgangspunten voor een raming.....	40
3.4.5. Conclusie marktanalyse	42
3.5. Conclusie onderzoeksdoelanalyse	43
4. Modelstructuur	45
4.1. Projectspecifiek.....	45
4.1.1. Input model.....	46
4.1.2. Inrichten model	46
4.1.3. Conclusie projectspecifiek.....	47
4.2. Werkelijkheid.....	47
4.2.1. Input model.....	47
4.2.2. Inrichten model	48
4.2.3. Conclusie werkelijkheid.....	48
4.3. Niet-projectspecifiek.....	48
4.3.1. Input model.....	49
4.3.2. Inrichten model	50
4.3.3. Wat is 'Uplift'	50
4.3.4. Output en valideren model	51
4.4. Conclusie modelstructuur	51
5. Data collectie	53
5.1. Vaststellen benodigde data	53
5.1.1. Grootte dataset	53
5.1.2. Data validatie.....	54
5.1.3. Conclusie vaststellen benodigde data.....	55
5.2. Data verzamelen	55
5.2.1. Identificeren data eigenaren	55
5.2.2. Aanbestedingsjaar	56

5.2.3.	Beheersing risico's en randvoorwaarden.....	56
5.2.4.	Conclusie data verzamelen.....	56
5.3.	Data ontleden	57
5.4.	Data analyseren	57
5.4.1.	Analyse op projectniveau.....	58
5.4.2.	Analyse tussen projectfasen.....	60
5.4.3.	Analyse in projectfasen.....	64
5.4.4.	Conclusie data analyseren.....	71
5.5.	Conclusie data collectie.....	71
6.	Resultaten & Discussie.....	73
6.1.	Resultaten hoeveelhedenmodel	73
6.1.1.	Validatie	73
6.1.2.	Discussie & Conclusie.....	75
6.2.	Resultaten neurale netwerk kostenmodel.....	76
6.2.1.	Validatie	77
6.2.2.	Discussie & conclusie	78
6.3.	Resultaten RCF model.....	79
6.3.1.	Vorbereidingsfase.....	80
6.3.2.	Indirecte bouwkosten aanbesteding	83
6.3.3.	Uitvoeringsfase.....	86
6.3.4.	Discussie & conclusie	89
6.4.	Conclusie resultaten & discussie	90
7.	Conclusie & Aanbevelingen.....	93
7.1.	Conclusie.....	93
7.2.	Aanbevelingen	94
7.2.1.	Externe aanbevelingen.....	94
7.2.2.	Interne aanbevelingen	95
7.3.	Afsluiting.....	96
Referenties.....		97
8.	Figurenlijst.....	101
9.	Tabellenlijst	103
10.	Bijlagenlijst.....	105

1. Introductie

In dit hoofdstuk is het onderzoek in kaart gebracht. Als eerste is de opdracht geanalyseerd, waaruit vervolgens de probleemstelling, het onderzoeksdoel en de onderzoeksvragen zijn afgeleid. Vervolgens is de onderzoeksmethode vastgesteld, waarin is beschreven hoe het onderzoeksdoel is bereikt. Dit hoofdstuk is afgesloten met een conclusie waarin tevens de eerste deelvraag is beantwoord.

1.1. Opdrachtschrijving

De onderzoeksopdracht is vastgesteld door SIG-GWW (special interest group GWW) van DACE (Dutch Association of Cost Engineers) in samenwerking met Witteveen+Bos en is als volgt geformuleerd.

Het opzetten van een 'openbare' RCF database om in een vroege projectfase op basis van functionaliteit in plaats van oplossingen te kunnen ramen.

In deze opdrachtschrijving zijn de volgende termen belangrijk: RCF, database, functionaliteit en oplossingen. Om een beter inzicht te geven waarom deze termen belangrijk zijn, is hieronder als eerste een definitie van deze termen gegeven.

RCF: RCF staat voor Reference Class Forecasting, het doel van RCF is het geven van een kosteninschatting voor een nieuw project op basis van kosten van vergelijkbare historische projecten. (Flyvbjerg, 2008)

Database: Een database is een georganiseerde verzameling gegevens. Het belangrijkste kenmerk van een dergelijke verzameling is dat de gegevens en de presentatie daarvan dynamisch benaderbaar zijn. <http://www.encyclo.nl/lokaal/10230>

Functionaliteit: Doelmatigheid; het op zodanige wijze gebruiken van de financiële, personele en materiële middelen dat bij een gegeven hoeveelheid middelen een maximale output wordt verkregen of dat voor een hoeveelheid output van een gegeven kwaliteit een zo gering mogelijke input benodigd is. <http://www.woorden-boek.nl/woord/doelmatigheid>

Oplossing: Antwoord op een vraag of manier om een probleem te beëindigen. <http://www.woorden.org/woord/oplossing>

Uit de opdrachtschrijving kan geconcludeerd worden dat het ramen op basis van oplossingen mogelijk niet toereikend is en dat men verwacht dat het ramen op basis van functionaliteit mogelijk wel toereikend is. Waarom het ramen op basis van oplossingen mogelijk niet toereikend is, heeft een aanleiding, welke in paragraaf 1.2 is toegelicht. Daarnaast kan geconcludeerd worden dat RCF database en vroege projectfase randvoorwaarden zijn voor het ramen op basis van functionaliteit. De invloed van deze randvoorwaarden is in paragraaf 1.3 in kaart gebracht.

1.2. Aanleiding Onderzoeksopdracht

In deze paragraaf is de aanleiding aangedragen waarom het ramen op basis van oplossingen mogelijk niet toereikend is. Uit een onderzoek van Flyvbjerg e.a. in 2002 blijkt dat 9 van de 10 projecten hoger uitvallen in kosten dan vooraf geraamd, dit onderzoek was destijds met name gericht op projecten in Europa en Noord-Amerika. Tevens blijkt uit dit onderzoek dat met name de grotere infrastructurele projecten te maken kunnen hebben met tijd- en kostenoverschrijdingen. Enkele voorbeeldprojecten waarbij in Nederland een kostenoverschrijding heeft plaatsgevonden of plaatsvindt, zijn de Betuwelijn en de Noord-Zuidlijn in Amsterdam. De Betuwelijn was oorspronkelijk begroot voor € 2,53 miljard en heeft uiteindelijk € 4,7 miljard gekost, en de Noord-Zuidlijn in Amsterdam is voor € 1,46 miljard begroot en zit volgens een latere raming al op € 2,4 miljard (Vrijdenker, 2009). Tijd- en kostenoverschrijdingen op projecten kunnen er toe leiden dat er hogere maatschappelijke kosten nodig zijn om de bouwkosten van een dergelijk project te dekken.

Naar aanleiding van het onderzoek van Flyvbjerg is rond het jaar 2000 de standaardssystematiek kostenramingen (SSK) opgesteld door het CROW. Het doel van een SSK raming is om uniformiteit in de ramingsystematiek van de infrastructurele sector te krijgen, met als achterliggende gedachte om betere ramingen te genereren (CROW, 2010). In 2011 is er onderzoek verricht door Cantarelli, en wel specifiek op projecten in Nederland. Zij concludeert dat het aantal kostenoverschrijdingen en de hoogte ervan lager liggen ten opzichte van een wereldwijde vergelijking. Echter betekent het niet dat er geen kostenoverschrijdingen in Nederland optreden. Cantarelli heeft de volgende conclusies uit haar onderzoek getrokken:

- 55% van de projecten heeft te maken met een kostenoverschrijding
- 44% van de projecten heeft te maken met een kostenonderschrijding
- Het optreden van kostenoverschrijdingen is evenveel voorkomend als het optreden van kostenonderschrijdingen
- Projecten met een kostenoverschrijding hebben een gemiddelde overschrijding van 41,3%
- Projecten met een kostenonderschrijding hebben een gemiddelde onderschrijding van 13,9%
- Er is geen meetbaar verschil geconstateerd tussen de hoogte en het aantal kostenoverschrijdingen in de periode voor het jaar 2000 in vergelijking met de periode na het jaar 2000

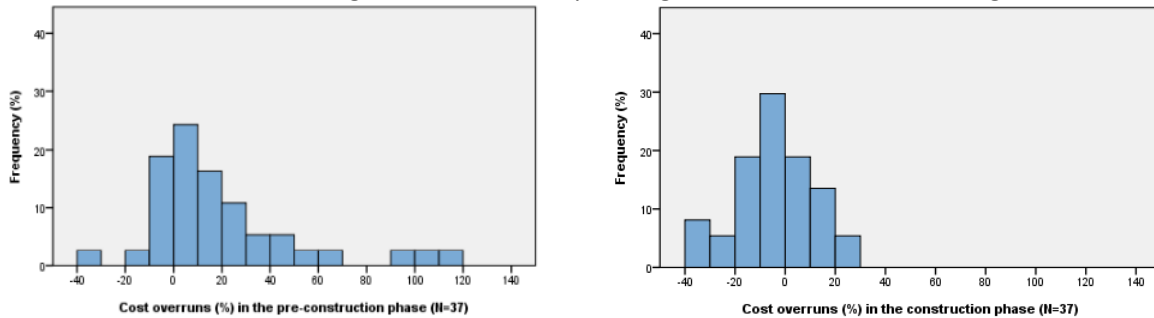
Uit onderzoek van Cantarelli blijkt dat infrastructurele projecten nog steeds te maken hebben met kostenoverschrijdingen. Hierdoor kan er geconcludeerd worden dat de invoering van de standaardssystematiek kostenramingen geen meetbare invloed heeft gehad op afname van de kans van optreden van kostenoverschrijdingen. Daarnaast heeft de SSK geen meetbare invloed gehad op de afname van de hoogte van kostenover- en onderschrijdingen. Echter is de SSK om meerdere redenen toegepast in de GWW-sector, dit is nader toegelicht in hoofdstuk 2. In de volgende paragraaf zijn de randvoorwaarden voor dit onderzoek in kaart gebracht. Dit om aan te geven binnen welke kaders het onderzoek is uitgevoerd.

1.3. Randvoorwaarden

In de opdrachtschrijving zijn randvoorwaarden voor het onderzoek vastgesteld. Zo kan uit de opdrachtschrijving afgeleid worden dat het probleem zich blijkbaar met name voordoet in de vroege projectfase. Een andere randvoorwaarde voor dit onderzoek is dat de RCF methode werkt aan de hand van het inschatten van kosten op basis van vergelijkbare historische projecten. Hiervoor moeten vergelijkbare historische projecten zijn opgenomen in een database. In deze paragraaf is als eerste gekeken waarom er met name gericht wordt op de vroege projectfase. Vervolgens is gekeken wat de invloed van een RCF database is op het ramen op basis van functionaliteit. Als laatste is deze paragraaf afgesloten met een conclusie.

1.3.1. Vroege projectfase

Cantarelli heeft in haar onderzoek in 2011 in kaart gebracht hoe verschillende fases de kosten van een project beïnvloeden. Hieruit is gebleken dat onderscheid kan worden gemaakt in de voorbereidingsfase en de uitvoeringsfase. Waaruit blijkt dat de kostenspreiding van verschillende projecten in de voorbereidingsfase in een groter bereik valt. Dit in vergelijking met de kostenspreiding van verschillende projecten in de uitvoeringsfase. Zie Figuur 1.1 voor de spreiding van kosten in de voorbereidingsfase links en de spreiding van kosten in de uitvoeringsfase rechts.



Figuur 1.1: Spreiding van kostenover- en onderschrijdingen voor Nederlandse infrastructuurprojecten (Cantarelli, 2011).

Echter geeft Cantarelli aan dat mogelijk een deel van de kostenoverschrijdingen van projecten in de uitvoeringsfase zijn opgenomen in de voorbereidingsfase. Doordat bij een aantal projecten de uitvoering van start is gegaan op het moment dat het project doorgang had gevonden om gebouwd te worden, terwijl de voorbereiding nog niet geheel was afgerond. Dit is te herleiden naar de contractvorm D&C waarbij een deel van het ontwerp in de aanbesteding van een project zit. Het verschil in spreiding tussen kosten in de voorbereidingsfase en uitvoeringsfase kan herleid worden naar de mate van onzekerheid. Welke een project ondervindt gedurende de looptijd. Wanneer een project zich in een vroege projectfase bevindt, zijn veel zaken nog niet bekend (Nicholls, 2009). Naarmate het project zich in een verder gevorderd stadium bevindt, neemt de onzekerheid verder af en zodoende ook de bandbreedte van de spreiding van kosten (Nicholls, 2009). Er kan geconcludeerd worden dat het onderzoek met name nuttig kan zijn wanneer de onzekerheden hoog zijn. Deze hoge mate van onzekerheden is met name waar te nemen in de vroege projectfases.

1.3.2. RCF database

Een tweede randvoorwaarde welke is gesteld in de opdrachtomschrijving, is RCF database. In hoofdstuk 2 is aangegeven dat RCF staat voor het vergelijken van de kosten voor een nieuw project aan de hand van vergelijkbare referentieprojecten. Een hoge mate van uniciteit van infrastructurele projecten ten opzichte van andere sectoren is een belangrijke oorzaak van kostenoverschrijdingen. Daarom is besloten dit onderzoek te richten op infrastructurele projecten. Cantarelli heeft in haar onderzoek in 2011 geen onderscheid gemaakt tussen verschillende disciplines van infrastructurele projecten. Waardoor het niet te verklaren is of er een verschil waarneembaar is in de grootte van projecten en het type infrastructurele projecten. Hierdoor kan het voorkomen dat bijvoorbeeld een spoorwegaanlegproject wordt vergeleken met een wegproject. Flyvbjerg heeft in zijn onderzoek in 2008 wel onderscheid gemaakt in verschillende type infrastructurele projecten.

Om een voldoende grote database van vergelijkbare projecten te kunnen vergaren, is er gekeken naar de verdeling van het budget voor infrastructurele projecten in Nederland. Hieruit blijkt dat het meeste budget beschikbaar wordt gesteld voor wegprojecten en spoorwegaanlegprojecten zie Figuur 1.2.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Infrastructuurfonds							
Hoofdwegennet	2.482	2.420	2.293	1.935	2.421	2.153	2.747
Spoorwegen	2.385	2.391	2.387	2.465	2.239	2.207	1.934
Hoofdvaarwegennet	865	884	884	742	693	639	631
Regionale/lokale infrastructuur	216	172	181	274	349	342	248
Megaprojecten							
verkeer en vervoer	14	41	144	166	342	351	326
Subtotaal	5.962	5.908	5.889	5.582	6.044	5.692	5.886
Deltafonds	1.064	1.199	1.363	1.272	1.161	1.055	1.008
Totaal	7.026	7.107	7.252	6.854	7.205	6.747	6.894

Figuur 1.2: Beschikbare financiële middelen per type infrastructuur, 2013-2019 (mln euro) (Groot, 2014).

Voor de RCF methode is het belangrijk dat de dataset een zekere hoeveelheid data bevat, om op deze manier mogelijke uitschieters in kaart te brengen. Hierin is het beschikbare budget niet altijd een verklaring voor het aantal projecten. Zo blijkt op basis van onderzoek van Flyvbjerg dat voor het onderdeel wegen een dataset van 172 eenheden is verzameld, ten opzichte van een dataset van 46 eenheden voor spoorwegenbouwprojecten. Hierdoor is besloten om dit onderzoek te richten op wegenbouwprojecten.

1.3.3. Conclusie randvoorwaarden

In deze paragraaf zijn de randvoorwaarden vanuit de opdrachtomschrijving in kaart gebracht. Hieruit blijkt dat kostenoverschrijdingen van infrastructurele projecten optreden in verschillende projectfasen. Verder neemt de bandbreedte van de kostenoverschrijdingen af naarmate een project zich in een verder gevorderd stadium bevindt. Een belangrijke factor hierin is de afname van onzekerheden tijdens het vorderen van een project. Een andere randvoorwaarde is dat er gelijkenis in projecten benodigd is voor dit onderzoek. Waarbij de hoeveelheid verzamelde projecten een positieve invloed hebben op het resultaat van het onderzoek. Hierbij is gekeken welk type infrastructuurprojecten in potentie tot een voldoende grootte dataset kunnen leiden, dit blijken wegenbouwprojecten te zijn.

1.4. Probleemstelling

Vanuit de aanleiding en randvoorwaarden van de onderzoeksopdracht kan de volgende probleemstelling worden afgeleid.

Het meer uniform ramen heeft niet geleid tot een afname van de grootte en de spreiding van kostenover- en onderschrijdingen.

De invoering van de standaardssystematiek kostenramingen om meer uniform te ramen heeft niet geleid tot een afname van de spreiding van kostenover- en onderschrijdingen. Tevens is geen afname in de kans van optreden van kostenoverschrijdingen en afname van de hoogte van kostenoverschrijdingen waargenomen in het onderzoek van Cantarelli in 2011. Hieruit is geconcludeerd dat het probleem van kostenoverschrijdingen niet is teruggedrongen door meer uniform te gaan ramen.

1.5. Doel

Het doel van het onderzoek is vastgesteld aan de hand van de probleemstelling. Belangrijke onderdelen van de probleemstelling zijn kans, hoogte en afname. Wanneer deze 3 woorden zijn samengevoegd, leidt dit tot de volgende doelstelling.

De trefzekerheid van een raming vergroten om zo de spreiding van kostenover- en onderschrijdingen af te laten nemen.

Kans en hoogte van een raming zijn vertaald naar trefzekerheid. Wanneer de trefzekerheid toeneemt leidt dit tot een grotere kans op een treffer in de vorm van een kostenraming vallend binnen een zekere bandbreedte. Wat moet leiden tot een afname van de gemiddelde hoogte van het aantal kostenoverschrijdingen. Een onderliggend doel is dat door het vergroten van de trefzekerheid van een raming het aantal kostenonderschrijdingen en de gemiddelde hoogte hiervan eveneens afneemt. Spreiding is te herleiden naar bandbreedte, de bandbreedte waarin de kostenraming valt is in de

loop van dit rapport vastgesteld. In dit onderzoek is onder bandbreedte een bereik verstaan waar in overeenstemming met de SSK een trefzekerheid van 70% voor een kostenraming is behaald.

Dit onderzoek is gericht aan projectleiders, projectmanagers en kostendeskundigen voor verschillende partijen binnen de infrastructurele sector. Tevens is dit onderzoek bestemd voor degenen welke interesse hebben in dit onderwerp, en hier mogelijk onderzoek naar willen verrichten in de toekomst.

1.6. Onderzoeksvragen

Om richting te geven aan dit onderzoek zijn er onderzoeksvragen geformuleerd. Er is een verdeling gemaakt in één hoofdvraag en meerdere deelvragen. De hoofdvraag is afgeleid uit het onderzoeksdoel. De deelvragen dienen ter ondersteuning voor het beantwoorden van de hoofdvraag. De hoofd- en deelvragen zijn in deze paragraaf beide onderbouwd met een motivatie. Waarna deze paragraaf is afgesloten met een conclusie.

1.6.1. Hoofdvraag

Geeft het functionaliteitgericht ramen in de vroege projectfase van een civiel project betrouwbare resultaten met betrekking tot het inschatten van kosten?

1.6.2. Motivatie hoofdvraag

De hoofdvraag is zodanig geformuleerd dat het doel van het onderzoek is gekoppeld aan een tijdsperiode. Er is gekozen om functionaliteitgericht ramen te koppelen aan de vroege projectfasen, omdat een project in deze fasen de meeste onzekerheid ondervindt. Verder is gekozen voor de term betrouwbaar met als doel dat de resultaten in een zeker bereik moeten liggen. Maar ook omdat het doel van dit onderzoek het vergroten van de trefzekerheid van een kostenraming is. De term op basis van functionaliteit is getransformeerd in functionaliteitgericht. Aangezien functionaliteitgericht in één woord de term op basis van functionaliteit samenvat.

1.6.3. Deelvragen

Hieronder zijn 5 deelvragen opgesteld, de eerste 4 deelvragen dienen ter ondersteuning van de hoofdvraag en de 5^e deelvraag behandelt de aanbevelingen op het onderzoek.

1. *Voor welke fasen in het project kan het functionaliteitgericht ramen van toegevoegde waarde zijn?*
2. *Welke informatie dient een model te bevatten om deze bruikbaar te maken voor het functionaliteitgericht ramen?*
3. *Wanneer worden resultaten als betrouwbaar gezien?*
4. *Is functionaliteitgericht ramen geschikt voor het inschatten van kosten voor civiele projecten?*
5. *Wat zijn de voorwaarden om het implementeren van functionaliteitgericht ramen succesvol(ler) te maken?*

1.6.4. Motivatie deelvragen

De deelvragen dienen ter ondersteuning aan de hoofdvraag. Zo richt de eerste deelvraag zich op voor welke projectfasen het toepassen van functionaliteitgericht ramen een toegevoegde waarde kan zijn. De toepassing van een functionaliteitgericht ramen hoeft niet voor elke projectfase een toegevoegde waarde te zijn, omdat de onzekerheden afnemen naarmate het project zich in een verdere projectfase(n) bevindt, zie paragraaf 1.3.1.

In de hoofdvraag is de term betrouwbaar gebruikt met betrekking tot de resultaten. Met betrouwbaar is een bepaald bereik bedoeld, waarin de resultaten liggen. Tijdens dit onderzoek zijn

grenzen aan dit bereik gesteld, met betrekking tot wanneer resultaten als betrouwbaar worden gezien. Deze grenzen zijn mede afhankelijk van het vergroten van de trefzekerheid.

De derde deelvraag richt zich op de benodigde informatie voor het opzetten van een model voor het functionaliteitgericht ramen. Een belangrijk onderdeel in deze deelvraag is het vaststellen van de variabelen welke invloed hebben op de uiteindelijke bouwkosten. Denk bij deze deelvraag onder andere aan projectafhankelijke variabelen als lengte, hoogte of breedte. Maar ook aan variabelen welke niet direct toe te wijzen zijn aan een specifiek project, als bijvoorbeeld concurrentie en contractvorm.

De vierde deelvraag geeft antwoord op het uitgevoerde onderzoek. Bij het beantwoorden van deze deelvraag zijn de resultaten vergeleken met de betrouwbaarheid van de resultaten. Hoe de betrouwbaarheid tot stand komt, is in hoofdstuk 5 en 6 nader toegelicht. Als laatste zijn in de vijfde deelvraag aanbevelingen aangedragen voor verder onderzoek.

1.6.5. Conclusie onderzoeksvragen

In dit hoofdstuk zijn hoofd- en deelvragen opgesteld, met als doel antwoord te geven op het onderzoeksdoel. Als eerste is een hoofdvraag opgesteld, welke in directe verbinding staat met het onderzoeksdoel. Uit de motivatie van de hoofdvraag blijkt dat de hoofdvraag de volgende belangrijke termen bevat, namelijk vroege projectfase en betrouwbaar. Voor deze twee termen zijn vervolgens deelvragen opgesteld om zo de hoofdvraag te onderbouwen. In de motivatie van de deelvragen is vervolgens toegelicht dat voor betrouwbaarheid de gegevens in een bepaald bereik moeten liggen. Maar ook dat voor de vroege projectfases gekeken moet worden naar de mate van onzekerheid per projectfase.

1.7. Onderzoeksmethode

De onderzoeksmethode voor dit onderzoek is afhankelijk van de voorgaande paragrafen. Hierin zijn bepalende elementen voor de onderzoeksmethode beschreven, dit zijn vergelijkbaarheid van projecten, aantal vergelijkbare projecten en trefzekerheid. Hieruit kan worden geconcludeerd dat voor dit onderzoek een kwantitatieve meervoudige case studie leidend is. Omdat kwantitatief de trefzekerheid wordt verbeterd op basis van meerdere projecten. Om tot het resultaat te komen zijn de hoofd- en deelvragen beantwoord gedurende dit onderzoek. Aan de deelvragen zijn stappen gekoppeld, welke leiden tot het antwoord op een deelvraag. De deelvragen zijn per stap beantwoord.

De eerste stap is de introductie, het doel van de introductie is om de onderzoeksopdracht in kaart te brengen. Maar ook om te kijken hoe de onderzoeksopdracht het beste kan worden beantwoord. Tevens is in de introductie vastgesteld wat de randvoorwaarden voor het onderzoek zijn. Na de introductie is de eerste deelvraag beantwoord. De tweede stap is het opstellen van het model. Alvorens de model structuur is vastgesteld, is eerst in kaart gebracht welke informatie het model dient te bevatten om functionaliteit gericht te kunnen ramen. Na afronding van de tweede stap is de tweede deelvraag beantwoord.

De derde stap is data collectie, in deze stap is de benodigde informatie voor het model verzameld. Tevens is gekeken op welke wijze de informatie het beste verzameld kan worden. Daarnaast is de data geanalyseerd en ontleed zodat er gelijkens in de projecten is verkregen. Vervolgens is de derde deelvraag beantwoord. De vierde stap bestaat uit resultaten en discussie. Hierin is de data ingevoerd in het model en zijn resultaten gegenereerd, met als doel het beantwoorden van de vierde deelvraag. Tijdens de laatste stap is het onderzoek geëvalueerd door de resultaten te analyseren en de bevindingen te documenteren. Vervolgens is hierin eerst de hoofdvraag beantwoord en vervolgens is de vijfde deelvraag beantwoord in de vorm van aanbevelingen voor verder onderzoek, zie Figuur 1.3



Figuur 1.3: Stappenplan van het onderzoek.

1.8. Conclusie van de introductie

Tijdens dit hoofdstuk is het onderzoek in kaart gebracht, is het onderzoeksdoel bepaald en is toegelicht hoe antwoord kan worden gegeven op het onderzoeksdoel. Ten gevolge van het in kaart brengen van het onderzoek is de eerste deelvraag beantwoord.

Deelvraag 1.

Voor welke fasen in het project kan het functionaliteitgericht ramen van toegevoegde waarde zijn?

Kostenoverschrijdingen kunnen optreden tijdens verschillende projectfasen. Echter blijkt dat de bandbreedte van deze kostenoverschrijdingen afneemt naarmate het project zich in een verder gevorderd stadium bevindt, dit is waar te nemen in het onderzoek van Cantarelli in 2011. Het kleiner worden van de bandbreedte van kostenoverschrijdingen is voornamelijk afhankelijk van de mate van onzekerheden in een project. Zo bevat een project tijdens een vroege projectfase veel onzekerheden en nemen deze af wanneer een project zich in een verder gevorderd stadium bevindt. Hieruit is geconcludeerd dat het onderzoek van toegevoegde waarde is bij een grote bandbreedte van kostenoverschrijdingen en dus ook een hoge mate van onzekerheden. Dit is kenmerkend voor de vroege projectfasen.

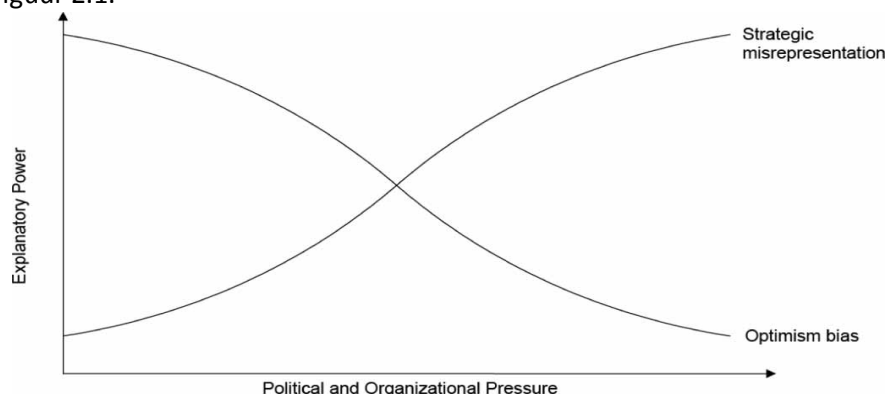
2. Literatuuranalyse

De tweede stap in dit onderzoek is het opstellen van het model om functionaliteitgericht te kunnen gaan ramen. Het eerste onderdeel van deze stap is de literatuuranalyse, welke is opgesplitst in meerdere delen. In deze literatuuranalyse is het probleem van het mogelijk hoger uitvallen van kosten geanalyseerd en in kaart gebracht wat hiervan de onderliggende factoren zijn. Vervolgens is geanalyseerd of de huidige kostenramingstechniek hier oplossing aan kan bieden. Waarna is toegelicht welke kostenramingstechnieken mogelijk wel een oplossing kunnen bieden aan het probleem. Daarna zijn van de kostenramingstechnieken, welke oplossing bieden aan het probleem, praktijkvoorbeelden aangedragen om in kaart te brengen wat de bevindingen van het toepassen ervan waren. Als laatste is afgesloten met een conclusie waarin antwoord is gegeven op de tweede deelvraag.



2.1. Probleemanalyse

Zoals inmiddels duidelijk is geworden, kunnen infrastructurele projecten te maken hebben met kostenoverschrijdingen. Flyvbjerg beargumenteerd in 2008 dat oorzaken van het hoger uitvallen van de kosten voor een project zijn onderverdeeld in 3 categorieën: technisch, psychologisch en politiek-economisch. Volgens Flyvbjerg is er een verband tussen de psychologische en politiek-economische oorzaak, zie Figuur 2.1.



Figuur 2.1: Verband tussen psychologische en politiek-economische oorzaak (Flyvbjerg, 2008).

Het te laag inschatten van kosten voor projecten kan er toe leiden dat er projecten worden gebouwd, welke met realistischer beeld van de kosten niet gebouwd zouden worden. Tevens kan het er toe leiden dat projecten met een te lage kosteninschatting voorkeur krijgen boven projecten met een (meer) realistische kosteninschatting (Flyvbjerg, 2009). Een veelvuldig genoemd voorbeeld is de Kanaaltunnel, waarbij is geconcludeerd dat de Britse economie beter af was geweest wanneer de Kanaaltunnel niet was gebouwd (Anguera, 2006). Dit omdat de kosten niet opwegen tegen de baten van de Kanaaltunnel. In deze paragraaf zijn als eerste de oorzaken, technisch, psychologisch en politiek-economisch, verder toegelicht. Omdat de beschikbare literatuur over de oorzaken in veel

gevallen te herleiden is aan Flyvbjerg, is eveneens gekeken naar andere factoren om zo een objectiever beeld van de oorzaken te krijgen. Als laatste is dit hoofdstuk afgesloten met conclusie waarin is geanalyseerd welk probleem het beste kan worden opgelost.

2.1.1. Technisch

Een technische oorzaak is gezien als een van de oorzaken van het hoger uitvallen van de kosten. Vanston & Vanston geven aan dat niet toereikende data of voorspellingsmodellen worden gezien als belangrijkste technische redenen van het hoger uitvallen van de kosten van een project. Er zijn over het algemeen twee soorten data gebruikt voor het inschatten van kosten namelijk statistische data en een deskundig advies. Echter zijn de testen voor deze twee verschillende data gelijk (Vanston & Vanston, 2004). Vanston & Vanston geven aan dat de statistische data moet worden getest op onder andere betrouwbaarheid, vooringenomenheid en gangbaarheid. Ze geven tevens aan dat deskundig advies moet worden getest op betrouwbaarheid en significantie.

Flyvbjerg geeft in 2008 aan dat in zijn ogen een technische oorzaak van een verkeerde kosteninschatting, geen belangrijke reden is voor het verkeerd inschatten van kosten. Dit is onderbouwd door Vanston & Vanston. Zij geven aan dat het zelden voorkomt dat goede beslissingen worden gemaakt op slechte voorspellingen, maar dat eerder slechte beslissingen op goede voorspellingen worden gemaakt. Flyvbjerg geeft in 2007 tevens aan dat wanneer technische redenen een belangrijke oorzaak zouden zijn geweest, het aantal verkeerde kosteninschattingen over de jaren heen zou moeten zijn afgenomen. Dat dit niet het geval blijkt te zijn, is overigens bevestigd in een onderzoek van Cantarelli in 2011. Waarin is geconcludeerd dat er geen meetbaar verband is tussen de hoogte, het aantal kostenoverschrijdingen en de tijdsperiode waarin de kosteninschatting is gegenereerd.

2.1.2. Psychologisch

Optimistische vooringenomenheid is gezien als de psychologische reden van het hoger uitvallen van de kosten. Met optimistische vooringenomenheid is bedoeld dat men toekomstige gebeurtenissen positiever inschat, dan dat ze in werkelijkheid zullen zijn (Flyvbjerg, 2008). Dit is ondersteund door Lovallo & Kahneman in 2003. Een van de oorzaken van optimistische vooringenomenheid ligt in de zogenoemde inside view, waarbij men diep in het project zit en geen objectief beeld van het project kan weergeven, zie Figuur 2.1 (Flyvbjerg, 2007).

Flyvbjerg geeft aan dat met het gebruik van de Reference Class Forecasting (RCF) methode een outside view van het project wordt gecreëerd. Door middel van de kosten van een nieuw project te vergelijken met kosten van vergelijkbare gerealiseerde projecten. Door te vergelijken met data van gerealiseerde projecten is een objectief beeld geschetst van de kosten van een nieuw project (Lovallo & Kahneman, 2003), dit wordt onderbouwd door Flyvbjerg. Flyvbjerg geeft ook aan dat de outside view niet geschikt is voor het voorspellen van bijzondere resultaten. Omdat het gebaseerd is op een gemiddelde van gerealiseerde projecten, dit argument is bevestigd door Goodwin & Wright in 2010. Flyvbjerg geeft tevens aan dat met een outside view het probleem van optimistische vooringenomenheid het beste op te lossen valt. Omdat een kostenrammer hier onbewust de kosten van een project lager inschat. Mede hierdoor zijn in Groot-Brittannië voorschriften met betrekking tot optimistische vooringenomenheid in de regelgeving opgenomen (HM Treasury, 2003). Er valt te concluderen dat een outside view moet worden ingenomen om de kosten van een project objectief in te schatten. Om hiermee het psychologische probleem tegen te gaan.

2.1.3. Politiek-economisch

Bewust lager ramen, ook wel strategische misrepresentatie, is gezien als de belangrijkste politiek-economische oorzaak van het hoger uitvallen van de kosten. Bewust lager ramen gebeurt voornamelijk wanneer politieke en/of organisatorische druk wordt uitgeoefend op het budget voor een bepaald project. Naarmate deze druk groter is, is de verleiding naar het strategisch lager ramen ook groter, zie Figuur 2.1.

Flyvbjerg geeft in 2006 aan dat de interesse voor het gebruik van de RCF methode in situaties met een grote politieke en/of organisatorische druk minder voor de hand ligt. Omdat degenen die verantwoordelijk zijn voor het kostenramen bewust lager ramen. Bij het bewust lager ramen weet de kostenramer op voorhand dat de kosten voor het project achteraf hoger uit zullen vallen. Flyvbjerg geeft hier als oplossing dat kostenramers meer verantwoordelijkheid moeten krijgen voor hun geleverde werk, dit is ondersteunt door Cantarelli in 2011.

2.1.4. Andere factoren

Het betekent niet dat wanneer het probleem van optimistische vooringenomenheid en strategische misrepresentatie is weggenomen. Het niet meer voorkomt dat kosten van een project naderhand te hoog uit vallen. Love et.al. bekritiseren in 2012 de onderbouwing van Flyvbjerg. Zij geven aan dat het hoger uitvallen van de kosten niet alleen aan de optimistische vooringenomenheid en het strategisch lager ramen ligt, maar dat ook pathogenen een rol spelen. Pathogenen zijn verborgen gebreken welke aan het licht komen wanneer een fout of probleem wordt ontdekt. Love e.a. geven aan dat wanneer is aangenomen dat het hoger uitvallen van de kosten komt door optimistische vooringenomenheid en strategisch lager begroten. De onderliggende complexiteiten en dynamiek van pathogenen is onderschat. Hoe het fenomeen van pathogenen werkt is te zien bijlage 2.1.

Ter Haar geeft in 2010 aan dat in de huidige bouwwereld van een raming veel te makkelijk een budget voor het project wordt gemaakt. Vaak wordt de vastgestelde bouwsom in de raming aangenomen als budget voor het project. Ter Haar geeft tevens aan dat een statistiek van een serie projectgegevens (historische data) als leidend beginsel nuttig kan zijn. Dit omdat het daar om gemiddelden gaat.

Een andere reden voor het hoger uitvallen van kosten, is het gebrek aan een goede opdrachtomschrijving. Wanneer de opdrachtomschrijving gedurende het project veranderd, is het moeilijk om in een vroege projectfase de kosten van een project in te schatten. Knight & Fayek geven in 2002 aan dat een slechte of onvolledige opdrachtomschrijving een van de belangrijkste redenen is van kostenoverschrijdingen.

Een andere invloedrijke factor op het ramen in de vroege projectfase komt voort uit de zwarte zwaan theorie van Taleb. De zwarte zwaan theorie houdt in dat statistische voorspellingen welke gebaseerd zijn op het verleden niet altijd in staat zijn om een toekomstige gebeurtenis te voorspellen (Taleb, 2007). Taleb geeft tevens aan dat hoe kleiner de gevraagde kans van optreden van een gebeurtenis is, des te groter de steekproef moet zijn om de kans van optreden van een gebeurtenis te dekken. Echter hoe groter de steekproef is en hoe kleiner de kans, hoe hoger de relatieve fout van het inschatten van de kans wordt. Taleb adviseert om de kans van het optreden van gebeurtenissen met dergelijke gevolgschade onder te verdelen in brede kansverdelingen. Dit biedt de kans om beter om te gaan met gebeurtenissen met dergelijke gevolgschade.

2.1.5. Conclusie probleemanalyse

In deze paragraaf is gebleken dat kostenoverschrijdingen van infrastructurele projecten meerdere onderliggende factoren hebben. Uit de probleemanalyse blijkt dat de psychologische oorzaak van kostenoverschrijdingen het beste blijkt op te lossen met een outside view. Waarbij een objectieve weergave voor een nieuw project is ingenomen. Dit probleem blijkt het beste op te lossen aangezien de kostenramer bij het psychologische probleem onbewust de kosten van een project lager inschat. Dit in vergelijking met het politiek-economische probleem. Verder blijkt het dat technische ontwikkelingen over de jaren geen meetbare invloed hebben gehad op het aantal kostenoverschrijdingen en de hoogte ervan.

Andere factoren welke invloed hebben op een mogelijke kostenoverschrijding zijn verborgen gebreken, welke pas aan het licht komen wanneer ze worden ontdekt. Een andere factor is een veranderende opdrachtomschrijving gedurende het project. Als laatste moet er rekening gehouden worden dat niet alles te ramen valt, doordat bijzondere gebeurtenissen kunnen optreden. Er valt te concluderen dat in deze probleemanalyse oorzaken worden aangedragen op de huidige kostenramingstechniek. Echter wordt de huidige kostenramingstechniek niet voor niets toegepast,

dus zal de huidige kostenramingstechniek ook gunstige eigenschappen bezitten. Daarom is hieronder de huidige situatie in kaart gebracht.

2.2. Huidige situatie

Zoals in de vorige paragraaf is geconcludeerd, wordt de huidige kostenramingstechniek niet voor niets toegepast. Daarom zal het dus gunstige eigenschappen moeten bevatten. In hoofdstuk 1 is aangegeven dat in de huidige projecten veelal gebruik wordt gemaakt van de standaardsystematiek kostenramingen (SSK). De SSK geeft opstellers en gebruikers van ramingen in Nederland een eenduidige wijze om ramingen van investerings- en levensduurkosten van projecten in de grond-, weg- en waterbouwsector (GWW-sector) op te stellen en uit te wisselen (CROW, 2010). De SSK methode bestaat uit een bottom-up methode aangevuld met een probabilistische analyse (CROW, 2010). Wat de eigenschappen van de SSK zijn en hoe de SSK werkt, is in deze paragraaf geanalyseerd. Hierbij zijn de gunstige eigenschappen van de techniek toegelicht. Deze paragraaf is afgesloten met een conclusie waarin is aangegeven waarin de SSK tekort schiet en welke eigenschappen het moet bevatten om het probleem op te lossen.

2.2.1. Hoe werkt het

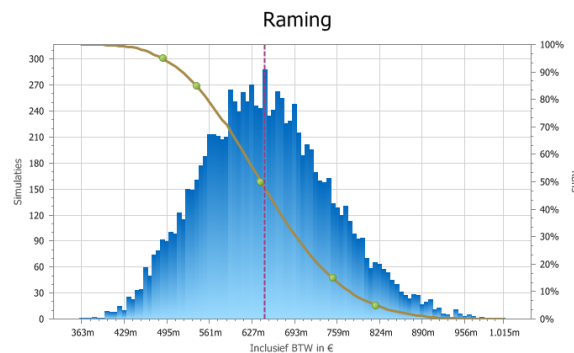
De bottom-up methode, ook wel engineering build-up costing method of deterministische raming genoemd, kan worden gezien als de standaardmethode voor het opstellen van een kostenraming voor een project. Veelal liggen aan deze methode gedetailleerde ontwerpen ten grondslag en worden de onzekerheden in kaart gebracht middels een probabilistische analyse (CROW, 2010). Voor deze manier van ramen is het belangrijk dat men zich realiseert in welk ontwerpniveau het project zich bevindt, aangezien er op detailniveau geraamd wordt (Nicholls, 2009). Nicholls benoemt tevens dat met deze wijze van ramen prijzen worden gekoppeld aan onderdelen als manuren, materiaal of materieel. Deze prijzen zijn bepaald op basis van de gemiddelde marktsituatie, waarbij rekening wordt gehouden met een rendabele bedrijfsvoering van de opdrachtnemer (CROW, 2010).

De probabilistische analyse werkt met behulp van standaarddeviaties van kosten. Bij deze methode worden de verschillende typen onzekerheden gekwantificeerd door spreidingen of bijzondere gebeurtenissen, Tabel 2.1 voor een voorbeeld. Op basis hiervan wordt de raming op statistische wijze doorgerekend. Hiervoor bestaan meerdere probabilistische analysemethoden, waarvan de Niveau II analyse en de Monte Carlo analyse de bekendste zijn. (CROW, 2010)

Tabel 2.1: Gekwantificeerde onzekerheden in een risico top 10 (CROW, 2010).

nr.	omschrijving	risicobijdrage
1.	Keileem kern verweekt tijdens de uitvoeringsfase, (object: 01 Dijk, oorzaak: hoeveelheid)	19 %
2.	Leveren breuksteen (3-6 ton), (object: 01 Dijk, oorzaak: prijs)	10 %
3.	Aanbrengen breuksteen > 1000 kg (geplaatst), (object: 01 Dijk, oorzaak: prijs)	7 %
4.	Stabiliteit (vooroever) van de dijk komt in gevaar., (object: 01 Dijk, oorzaak: hoeveelheid)	6 %
5.	Leveren breuksteen (2-4 ton), (object: 01 Dijk, oorzaak: prijs)	5 %
6.	Verplaatsen kabel en leidingen (vooral 10 kV middenspanning op traject KWZ - Breezanddijk) is noodzakelijk., (object: 01 Dijk, oorzaak: hoeveelheid)	5 %
7.	Er worden kabels en leidingen aangetroffen die niet op de KLIC melding zijn weergegeven., (object: 01 Dijk, oorzaak: hoeveelheid)	4 %
8.	Inkooppunt -meerlengte aansluiting inkoop (25.000 meter), (object: 04 SP_DOV, oorzaak: prijs)	4 %
9.	Overig	40 %
10.	Totaal	100 %

Spreidingen voor de probabilistische analyse moeten in een kansdichtheid functie worden weergegeven om een probabilistische berekening te kunnen maken. Een kansdichtheid functie geeft aan hoe waarschijnlijk elke mogelijke uitkomst van de betreffende waarde is. Om een probabilistische raming te kunnen maken worden de risico's gekwantificeerd met behulp van de formule '*Risico = Kans van optreden x Gevolg bouwkosten*'. Resultaten van een probabilistische raming worden als volgt geïnterpreteerd: gemiddelde waarde van de projectraming, variatiecoëfficiënt, bandbreedtebedragen, de scheefte (verschil tussen gemiddelde waarde en de deterministische uitkomst), een gevoeligheidsanalyse, een histogram met de projectraming klassen en een cumulatieve kansdichtheid verdeling (CROW, 2010), zie Figuur 2.2.



Figuur 2.2: Resultaten van een probabilistische analyse (CROW, 2010).

2.2.2. Conclusie huidige situatie

In deze paragraaf is de huidige kostenramingstechniek geanalyseerd, en zijn de eigenschappen van deze techniek in kaart gebracht. Een eerste conclusie is dat de huidige kostenramingstechniek projectspecifiek de kosten inschat. Aangezien de kosten worden bepaald op detailniveau en hier vaak gedetailleerde ontwerpen aan ten grondslag liggen. Echter doordat de kosten op detailniveau worden bepaald, zitten kostenramers vaak diep in het project (inside view). Waardoor ze geen objectieve weergave van het project kunnen genereren (outside view). Als laatste kan geconcludeerd worden dat de huidige kostenramingstechniek de werkelijkheid benaderd. Aangezien de prijzen welke worden gekoppeld aan verschillende onderdelen zijn gebaseerd op de bijhorende marktsituatie, rekening houdend met een rendabele bedrijfsvoering.

Wanneer de benodigde eigenschappen uit de probleemanalyse en de eigenschappen van de huidige situatie bij elkaar worden gelegd, valt te concluderen dat een kostenramingstechniek de volgende eigenschappen moet bevatten om het probleem op te lossen:

- Outside view
- Werkelijkheid
- Projectspectief

Hieronder is in kaart gebracht welke kostenramingstechniek, nieuwe ontwikkelingen, wel de eigenschap outside view bevat. Voor het vergelijken van nieuwe ontwikkelingen is belicht of een desbetreffende nieuwe ontwikkeling de bovengenoemde eigenschappen bezit.

2.3. Nieuwe ontwikkelingen

In paragraaf 2.2 is duidelijk geworden dat een kostenramingstechniek 3 essentiële eigenschappen moet bezitten om een oplossing te kunnen bieden aan het probleem. Het moet gebaseerd zijn op een outside view, aangezien dit de objectiviteit van een kostenraming vergroot. Vervolgens moet het de werkelijkheid benaderen, aangezien de werkelijkheid aan verandering onderhevig is. Als laatste moet de kostenraming projectspecifiek toepasbaar zijn, door de uniciteit van civiele projecten. Op basis van deze eigenschappen zijn verschillende kostenramingstechnieken geanalyseerd. Waaruit is gebleken dat de RCF methode, regressiemodellen en neurale netwerken mogelijk oplossing kunnen bieden aan het probleem, zie Tabel 2.2.

Er is gekozen voor de bovenstaande technieken omdat zijn deze geïdentificeerd op de site van opdrachtgever DACE. Aan deze tabel zijn neurale netwerken toegevoegd, omdat deze in de literatuur veelvuldig in verband worden gebracht met regressiemodellen. Kostenramingstechnieken welke slechts oplossing bieden aan één van de eigenschappen, zijn uitgesloten in deze paragraaf. Om een beeld te geven wat deze technieken precies inhouden en waarom ze worden uitgesloten is in bijlage 2.2. aanvullende literatuur te vinden over de niet geselecteerde kostenramingstechnieken.

Uit Tabel 2.2 blijkt dat alle geanalyseerde kostenramingstechnieken geen oplossing kunnen bieden ten aanzien van het projectspecifieke van een kostenraming. Daarom zijn enkel de technieken welke oplossing bieden aan outside view en werkelijkheid nader in kaart gebracht. Dit zijn RCF

methode, regressiemodellen en neurale netwerken. Er is gekozen voor deze volgorde omdat de RCF methode is aangedragen vanuit de opdrachtomschrijving en bepaalde onderdelen van regressiemodellen worden toegepast in neurale netwerken. Deze paragraaf is afgesloten met een conclusie waarin is aangegeven welke technieken het beste oplossing bieden aan het probleem.

Tabel 2.2: Analyse nieuwe ontwikkelingen naar benodigde eigenschappen.

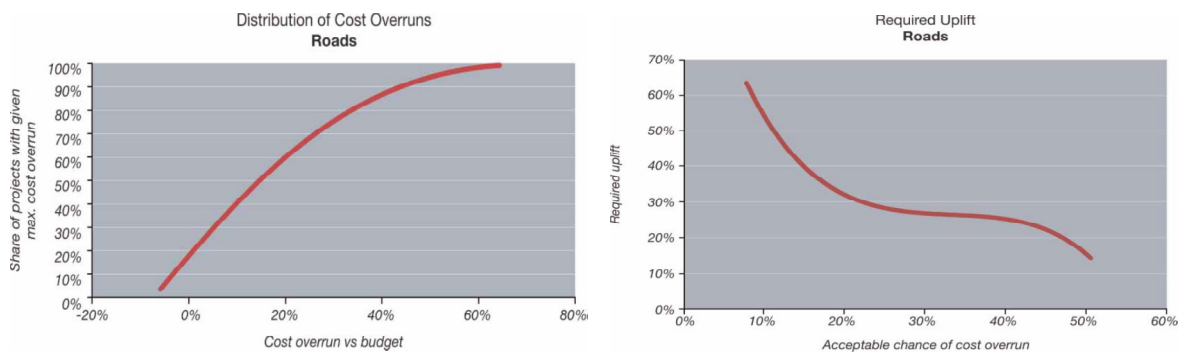
Kostenramingstechnieken	Eigenschappen		
	Outside view	Werkelijkheid	Projectspecifiek
Reference Class Forecasting	V	V	X
Regressiemodellen	V	V	X
Neurale Netwerken	V	V	X
Parametrisch ramen	V	X	X
Case-based reasoning	V	X	X
Fuzzy logic	V	X	X
Bayesiaans geloof netwerk	V	X	X

2.3.1. Reference Class Forecasting (RCF)

In de opdrachtomschrijving is aangedragen dat de RCF methode oplossing kan bieden aan het probleem van kostenoverschrijdingen. Het doel van de RCF methode is het toetsen van een kostenraming van project aan een database met kosten van vergelijkbare historische projecten. Hiermee wordt een beeld verkregen of de kostenraming van dat bepaalde project overeenkomt met de gemiddelde kosten van vergelijkbare historische projecten in de database. Wanneer dit niet overeenkomt wordt er een 'uplift' voor het nieuwe project vastgesteld. Welke bepaald is door de referentieklassie waarin het project valt en het risico wat de opdrachtgever wil nemen met het project. In deze sub paragraaf is nader toegelicht hoe de RCF methode precies werkt en hoe het oplossing kan bieden aan het probleem.

Hoe werkt het

De RCF methode werkt door middel van het vergelijken van kosten voor een nieuw project aan de hand van kosten van historische referentieprojecten. Volgens Flyvbjerg in 2008 wordt door middel van een distributie op het verschil tussen geraamde kosten en kosten bij oplevering van projecten, een distributie voor het percentage aan kostenoverschrijding bepaald naarmate meer projecten worden toegevoegd in de database. Vervolgens wordt een 'uplift' bepaald voor verschillende percentages aan risico wat een partij wil nemen met betrekking tot kostenoverschrijding. Een 'uplift' wordt gezien als een soort van reserve welke bij op de kostenraming van een nieuw project wordt geteld. Voor de RCF methode is het de bedoeling dat de opdrachtgever aangeeft hoeveel risico hij wil nemen voor een nieuw project. Als hij vervolgens voor een risicopercentage kiest van 30% kans op kostenoverschrijding, dan moet met een 'uplift' van ongeveer 30%, 70% van het aantal projecten in de database binnen dit kostenbereik vallen. In Figuur 2.3 is links een voorbeeld van een distributie van wegebouwprojecten gegeven met rechts de bijhorende 'uplift'.



Figuur 2.3: Distributie van wegebouwprojecten met bijhorende 'uplift' (Flyvbjerg, 2008).

Volgens Flyvbjerg is deze methode alleen geschikt voor het bepalen van een extra risicoreservering voor een gemaakte kostenraming. Dit is tevens waar te nemen uit verschillende onderzoeken, waarbij telkens de kosten van een gemaakte kostenraming worden getoetst. Hieruit is geconcludeerd dat de RCF methode niet geschikt is om als kostenramingstechniek te gebruiken. Aangezien er geen parameters als lengte van de weg of breedte van een weg aan kunnen worden toegevoegd. Echter is de risicoreservering, wat met de RCF methode wordt bepaald, objectief vastgesteld. Dus is de RCF methode wel geschikt om het probleem van optimistische vooringenomenheid en strategische misrepresentatie tegen te gaan. Misschien kan de RCF methode gecombineerd worden met een andere kostenramingstechniek, om zo een objectieve kostenraming in de vroege projectfase te genereren.

Conclusie Reference Class Forecasting

De RCF methode is geschikt om het probleem van optimistische vooringenomenheid en strategische misrepresentatie op te lossen. Volgens Flyvbjerg is een objectieve positie ingenomen omdat er een vergelijking met gerealiseerde projecten gemaakt wordt. Op basis van een distributie tussen geraamde kosten en uiteindelijke kosten van gerealiseerde projecten. Waarbij het niet noodzakelijk is om op detailniveau in het project te zitten. Het innemen van deze objectieve positie wordt ook wel 'outside view' genoemd. Doordat de RCF methode gebaseerd is op kosten van historische referentieprojecten is geconcludeerd dat een uitkomst van de RCF methode gebaseerd is op de werkelijkheid.

Ter Haar geeft aan dat het hanteren van projectreferenties problemen met zich mee kan brengen. Deze problemen doen zich met name voor wanneer een nieuw project moet worden vergeleken met een aantal referentieprojecten. Zo moet gekeken worden of de groep referentieprojecten aansluit bij het project. Maar moeten de referentieprojecten onderling ook op elkaar aansluiten en zo een goed beeld geven. Op het niveau van het individuele project kunnen in de budgetbepaling ernstige problemen ontstaan. Doordat de 'objectieve' toeslag sterk ontoereikend kan blijken voor de gevraagde prestaties en condities. Of doordat er bijvoorbeeld sprake is van overbudgettering. Een objectieve manier van budgetteren kan leiden tot problemen bij individuele projecten, doordat de RCF methode gebruik maakt van een statistisch gemiddelde (Haar, 2010). Hieruit is geconcludeerd dat de RCF methode slechts een benadering geeft van de kosten van een nieuw project. Aangezien de kosten zijn gebaseerd op gemiddelden van referentieprojecten en de kosten voor een nieuw project binnen een bepaald bereik van het gemiddelde zullen liggen. Hierdoor biedt het geen oplossing aan de eigenschap projectspecifiek.

In de opdrachtoomschrijving, hoofdstuk 1, is aangegeven dat er mogelijk in de toekomst geraamd gaat worden met behulp van de RCF methode. Echter is de RCF methode niet geschikt voor het opstellen van een kostenraming. Aangezien geen projectspecifieke parameters aan deze techniek kunnen worden toegevoegd. Daarom kan deze kostenramingstechniek enkel worden toegepast in combinatie met een andere kostenramingstechniek.

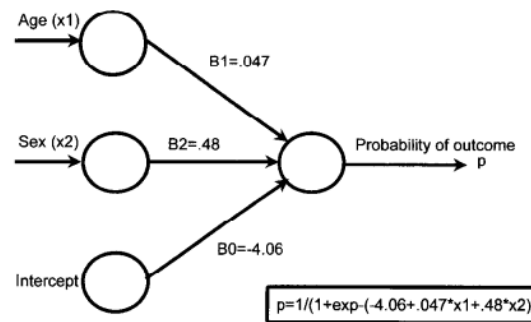
2.3.2. Regressiemodellen

Een andere methode voor het maken van kostenramingen zijn regressiemodellen. In deze paragraaf is achtereenvolgens toegelicht hoe een regressiemodel werkt en of het oplossing kan bieden aan het probleem. Hieronder is de betekenis voor regressie gegeven.

Regressie: *het berekenen van een functie uit volgens toevallige fouten afwijkende (spreidende) gegevens* <http://www.woorden-boek.nl/woord/regressie>

Er zijn verschillende toepassingen van regressiemodellen. Het meest toegepaste regressiemodel is een meervoudige lineaire regressie (MLR) model. Een MLR model bestaat een model waar meerdere regressie parameters zijn toegepast. Zo hebben Lowe e.a. in hun onderzoek in 2006 gekozen om gemiddelde absolute procentuele afwijking (MAPE) en het determinatiecoëfficiënt (R^2) als regressie parameters toe te passen. Met behulp van een regressiemodel wordt geanalyseerd in welke mate

een variabele correleert met de uitkomst, waarna vervolgens een waarde wordt meegegeven aan de invloedrijke variabele (Tu, 1996). Zie Figuur 2.4 voor een voorbeeld van een regressiemodel.



Figuur 2.4: Voorbeeld van een regressiemodel (Tu, 1996).

Kim e.a. geven in 2004 aan dat over het algemeen de volgende nadelen voor een MLR model worden aangedragen: een MLR model heeft geen specifieke of een duidelijk omschreven benadering en de variabelen welke de kostenraming beïnvloeden moeten vooraf beoordeeld worden. Tevens is het moeilijk om grote hoeveelheden data te gebruiken in een MLR model. Echter is een regressiemodel gebaseerd op historische data. Hierdoor is geconcludeerd dat het instaat is om een objectieve weergave en dus een outside view te genereren. Als laatste is geconcludeerd dat een regressiemodel de werkelijkheid benaderd. Aangezien het zelf de relatie tussen verschillende variabelen doorrekent. Verder is geconcludeerd dat een regressiemodel niet geschikt is om projectspecifiek de kosten voor een nieuw project door te bepalen. Omdat het de relatie tussen variabelen bepaald is op basis van een gemiddelde van historische data.

Zoals aangegeven in paragraaf 2.3 bevat een neurale netwerk onderdelen van een regressiemodel. Lowe e.a. concluderen dat MLR modellen minderwaardig zijn aan neurale netwerken, maar kunnen hiervoor geen duidelijke redenen geven. Echter valt uit de resultaten van een eerder onderzoek van Emsley e.a. in 2002 op te maken dat een neurale netwerk beter presteert ten opzichte van een MLR model. Hieruit is geconcludeerd dat een neurale netwerk nauwkeuriger de relatie tussen verschillende variabelen kan bepalen. Maar het hoeft niet zo te zijn dat een neurale netwerk de kosten voor een nieuw project projectspecifiek kan bepalen. De werking van een neurale netwerk is hieronder verder toegelicht.

2.3.3. Neuraal netwerk

Een van de kostenramingstechnieken zijn neurale netwerken, wat regelmatig wordt gelieerd aan artificial intelligence. Neurale netwerken kunnen het beste beschreven worden als een systeem om de methode, welke het brein gebruikt om een taak uit te voeren, te modelleren (Bayram, et al., 2013). Een voordeel van een neurale netwerk ten opzichte van andere methodes is dat het met een neurale netwerk mogelijk is om concepten uit data te halen. Zonder dat een wiskundige benadering voor het bepalen van de concepten nodig is (Bayram, et al., 2013). Echter vergt het toepassen van de concepten in een netwerk, wel enige wiskundige benadering. Er zijn meerdere varianten op een neurale netwerk, welke worden onderverdeeld in begeleid leren en onbegeleid leren (Vellido, et al., 1999). Negnevitsky beschrijft in 2002 dat het bij een neurale netwerk waar niet begeleid leren van toepassing is, het neurale netwerk op zichzelf in staat is om patronen te herkennen.

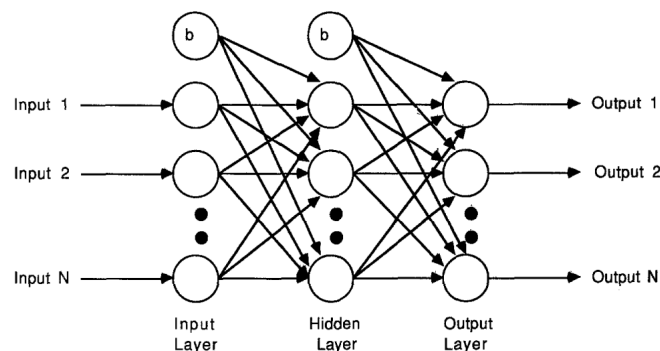
Hoe werkt het neurale netwerk

Het opstellen van een neurale netwerk bestaat uit meerdere onderdelen. Volgens Emsley e.a. in 2002 bestaat het neurale netwerk uit 3 stappen: het modelleren van het netwerk, het trainen van het netwerk en het valideren van het netwerk. Daarom is hieronder een scheiding gemaakt tussen de door Emsley e.a. benoemde stappen.

De eerste stap van het neurale netwerk is het modelleren. Het neurale netwerk kan op meerdere wijzen met verschillende soorten netwerken gemodelleerd worden. Als eerste is er een onderverdeling gemaakt in begeleid leren netwerken en onbegeleid leren netwerken. Veel toepaste

varianten voor begeleid leren modellen van een neurale netwerk zijn het multi layer perceptron (MLP) netwerk en het radial basis function (RBF) netwerk. Een veelgebruikte variant van een onbegeleid leren model is de self organising map, ook wel de self organising feature map (SOFM) genoemd (Vellido, et al., 1999). Een toelichting van deze typen neurale netwerken is gegeven in bijlage 2.3.

De meest toegepaste variant is het begeleid leren, een begeleid leren netwerk heeft als doel om verschillende input variabelen om te zetten in geschikte output variabelen. Volgens een beschrijving van Bayram in 2013 bevat een begeleid leren netwerk 3 lagen, namelijk een input laag, een verborgen laag en een output laag, zie Figuur 2.5. De input laag bestaat uit eenzelfde aantal neuronen als het aantal parameters welke invloed hebben op de kosten van een project. Een begeleid leren netwerk kan één of meerdere verborgen lagen bevatten. Echter is normaal gesproken één verborgen laag voldoende voor bijna alle variabelen welke van invloed zijn op de kosten van een project. De verborgen laag bevat meerdere neuronen wat het mogelijk maakt om de resultaten van de output laag in een bepaald bereik weer te geven. Waarvan de output laag door middel van een lineaire functie de benodigde waarden kan voorspellen. (Bayram, et al., 2013)



Figuur 2.5: Voorbeeld van een begeleid leren neurale netwerk (Bayram, et al., 2013).

Bij het modelleren van het neurale netwerk model worden verschillende waarden in de data voor de input aangenomen. De input laag representeert de beïnvloedbare factoren van een specifieke kostenraming. In de output laag wordt de oplossing voor de specifieke kostenraming gegenereerd. In de verborgen laag wordt de informatie van de kostenraming in de input laag doorgevoerd naar de output laag. Het doel van een netwerk training is het berekenen van de afwijkende term voor de output onderdelen gebruik makend van de waargenomen afwijkingen. Belangrijk hierbij is dat de data voor het trainen van het neurale netwerk niet gebruikt is voor het modelleren van het neurale netwerk. Voor de training kan er gebruik worden gemaakt van verschillende afwijkmingsmethoden, enkele voorbeelden zijn de gemiddelde absolute procentuele afwijking (MAPE) en de determinatiecoëfficiënt (R^2). Arafa en Alqedra beschrijven in 2011 dat een bepaalde hoeveelheid trainingsdata nodig is om het neurale netwerkmodel te trainen. In bijlage 2.3. is een uitgebreide toelichting te vinden van verschillende netwerken welke gebruikt kunnen worden voor het trainen van het neurale netwerk.

De derde stap in het neurale netwerk is het valideren van het neurale netwerk. Het valideren van het neurale netwerk is een belangrijke stap. Dit omdat een neurale netwerk als nadeel heeft dat in veel gevallen geen informatie beschikbaar is van het trainingsproces, informatie welke geschikt is voor de validatie van het neurale netwerk. Een ander nadeel is dat irrelevante variabelen het neurale netwerk kunnen verstoren. Een laatste nadeel is dat de berekeningscomplexiteit toeneemt naarmate de input van het netwerk groeit. (Bukarica, xxx). Kim e.a. geven in 2004 als nadeel aan dat wanneer het aantal neuronen te klein is, het neurale netwerk niet in staat is om de input en output patronen te herkennen. Daarom is het belangrijk om het neurale netwerk te valideren om de invloed van nadelen in kaart te brengen.

Doordat geen informatie beschikbaar is of een neurale netwerk zichzelf op de juiste manier traint, worden in veel gevallen meerdere soorten neurale netwerken voor het valideren gebruikt. Zo valideren Bayram e.a. hun onderzoek door meerdere neurale netwerken en andere kostenramingstechnieken met elkaar te vergelijken. Niet alleen worden meerdere neurale netwerken

vergeleken, ook worden meerdere afwijkingsvarianten binnen het trainingsnetwerk gebruikt om het model te valideren, denk hierbij aan de MAPE of de R^2 . El-Sawah & Moselhi vergelijken in hun onderzoek in 2014 bijvoorbeeld meerdere neurale netwerken met elkaar, maar maken tevens een vergelijking tussen een neuraal netwerk en een regressiemodel. Specht adviseert in 1991 om meerdere neurale netwerken voor het trainen te gebruiken en deze met elkaar te vergelijken. Dit kan een toegevoegde waarde voor de validatie van het neurale netwerk zijn.

Conclusie neuraal netwerk

In deze sub paragraaf is het neurale netwerk toegelicht. In paragraaf 2.3.2 is aangegeven dat een neuraal netwerk beter presteert dan een regressiemodel. Dit komt doordat het neurale netwerk is gebaseerd op een solide wiskundige basis en een regressiemodel niet. Waardoor het neurale netwerk beter presteert dan regressiemodellen (Adeli & Wu, 1998). Het laatste voordeel van een neuraal netwerk is dat het probleem van ruis in de data op een rationele manier is opgenomen. Dat wil zeggen dat de afwijking van de ruis van de data kleiner wordt naarmate de database wordt uitgebreid (Adeli & Wu, 1998).

Een neuraal netwerk heeft niet alleen voordelen, maar ook nadelen. Zo is een groot nadeel van een neuraal netwerk dat er geen informatie beschikbaar is van de training van het netwerk. Doordat deze informatie niet beschikbaar is, blijft het moeilijk te herleiden en te controleren hoe het netwerk is ingericht. Dit kan worden gezien als een nadeel van een neuraal netwerk. Daarom is het belangrijk aandacht te besteden aan de validatie van het neurale netwerk, hiervoor kunnen regressiemodellen een toegevoegde waarde zijn.

Er valt te concluderen dat een neuraal netwerk geschikt kan zijn om oplossing te bieden aan het probleem. Als eerste is geconcludeerd dat het neurale netwerk is gebaseerd op een outside view, Aangezien het neurale netwerk op zichzelf traint op basis van historische data. Doordat het neurale netwerk zichzelf traint en zich aan kan passen aan de werkelijkheid, is het neurale netwerk geschikt om de werkelijkheid te benaderen. Eveneens valt te concluderen dat de uitkomst van een neuraal netwerk niet projectspecifiek is, omdat het is gebaseerd op gemiddelde relaties in historische data.

Verder hebben neurale netwerken overeenkomsten met parametrisch ramen. De methode van parametrisch ramen is gebaseerd op een statische relatie tussen kosten van gerealiseerde projecten en het programmeren van fysieke en prestatie eigenschappen (Nicholls, 2009). Waar het parametrisch ramen is gebaseerd op een statische relatie, is het neurale netwerk in staat om deze relatie te trainen en aan te passen aan de werkelijkheid. Hierdoor kan geconcludeerd worden dat waar het parametrisch ramen is gebaseerd op een statische relatie tussen kosten en fysieke en prestatie eigenschappen, het neurale netwerk gebaseerd is op een meer dynamisch relatie.

2.3.4. Conclusie vergelijking nieuwe ontwikkelingen

Hierboven zijn verschillende nieuwe ontwikkelingen uiteengezet. Wanneer de nieuwe ontwikkelingen met elkaar zijn vergeleken blijkt als eerste dat de RCF methode geen kostenramingstechniek is. Maar dat het slechts de toeslag voor de risicoreservering objectief vaststelt. Door het objectief vaststellen van de risicoreservering of 'uplift' kan de RCF methode wel een oplossing bieden voor de geïdentificeerde problemen en neemt het een outside view in. Tevens valt te concluderen dat de RCF methode de werkelijkheid benaderd, aangezien het is gebaseerd op historische data.

Doordat de RCF methode geen kostenramingstechniek is, moet de RCF methode worden gecombineerd met een andere kostenramingstechniek. Het blijkt dat een neuraal netwerk hiervoor geschikter is dan regressiemodellen. Omdat neurale netwerken nauwkeuriger de relaties tussen verschillende variabelen in kaart kan brengen. Tevens kunnen aan een neuraal netwerk wel parameters worden toegevoegd, wat het geschikt maakt voor het gebruik als kostenramingstechniek. Verder is geconcludeerd dat een neuraal netwerk de werkelijkheid benaderd aangezien het gebaseerd is op gemiddelden uit historische data.

Zoals in Tabel 2.2 is te zien, blijkt dat geen van de nieuwe ontwikkelingen in staat is om projectspecifiek de kosten voor een nieuw project vast te stellen. Dit komt door wanneer de kosten

voor een nieuw project worden vastgesteld op basis van een outside view, dit ten koste gaat van de eigenschap projectspecifiek. Aangezien bij het toepassen van een outside view kosten voor een nieuw project worden vastgesteld op basis van gemiddelden van historische projecten. En de eigenschap projectspecifiek enkel kan worden behaald door diep in het project te zitten (inside view). In hoofdstuk 1 is aangegeven dat nagenoeg elk infrastructureel project uniek is. Hierdoor wijkt elk nieuw project af van het gemiddelde. Hieruit is geconcludeerd dat de geanalyseerde nieuwe ontwikkelingen slechts benaderingsmethoden zijn.

2.4. Toepassingen nieuwe ontwikkelingen

In de vorige paragraaf is geconcludeerd dat nieuwe ontwikkelingen eigenschappen voor outside view en werkelijkheid bevatten. Deze conclusie is tot stand gekomen op basis van een theoretische analyse van verschillende nieuwe ontwikkelingen. Hieruit is gebleken dat de RCF methode en neurale netwerken, de nieuwe ontwikkelingen met de meeste potentie zijn om het probleem op te lossen. In deze paragraaf is geanalyseerd wat de ervaringen tijdens de toepassing van de RCF methode en neurale netwerken zijn. Deze paragraaf is afgesloten met een conclusie waarin is toegelicht of de RCF methode en neurale netwerken geschikt zijn om oplossing te bieden aan het probleem.

2.4.1. Toepassingen van de RCF methode

Momenteel is de RCF methode weinig toegepast in de GWW-sector, echter zijn er wel voorbeelden van projecten waarop de RCF methode is toegepast. Zoals in de vorige paragrafen is waar te nemen, is de literatuur van RCF gebaseerd op basis van literatuur van Flyvbjerg. Daarom is er besloten om te kijken naar toepassingen waarbij Flyvbjerg een rol heeft gespeeld. Aangezien uit literatuur is gebleken dat hij over een database van civiele projecten beschikt. In Nederland is de RCF methode toegepast op de Zuiderzee hogesnelheidslijn en de A15 Maasvlakte-Vaanplein, hierin heeft Flyvbjerg een directe rol gespeeld in de toepassing. Een ander voorbeeld waarbij de RCF methode door Flyvbjerg is toegepast is de Crossrail in London. Toepassingen van de RCF methode waarbij Flyvbjerg geen directe rol heeft gespeeld zijn te vinden in bijlage 2.4.

In Nederland is de RCF methode voor het eerst toegepast op het project Zuiderzeelijn. Voor dit project is een referentieklassie van 68 vergelijkbare spoorwegprojecten gebruikt. Waarvan vervolgens de distributie van kostenoverschrijding is vastgesteld. Op basis van deze distributie is vervolgens de hoogte van de kosten gebaseerd op € 5,66 miljard euro middels een 'uplift'. Wanneer de kostenraming bepaald met behulp van de RCF methode is vergeleken met de kostenraming van de directie, welke op € 4,08 miljard is vastgesteld, blijkt het dat hierin een verschil zit. Dit verschil komt mede doordat met de RCF methode een risico ('uplift') van 50% is ingecalculeerd, terwijl de directie in hun kostenraming een risico van 20% heeft gecalculeerd voor het overschrijden van het budget. (Flyvbjerg, 2007). Na het toepassen van de RCF methode blijkt het dat investeringen in het project geen bijdrage leveren aan het versterken van de economische structuur in Noord-Nederland (Projectorganisatie Zuiderzeelijn, 2006). Tevens blijkt uit de structuurvisie Zuiderzeelijn dat de kosten-batenanalyses voor verschillende alternatieven negatief uitvallen. Uiteindelijk is door de toepassing van de RCF methode de ontwikkeling van de HSL Zuiderzee niet doorgegaan.

Een ander project in Nederland waarop de RCF methode is toegepast, is de verbreding van de A15 Maasvlakte-Vaanplein. De kosten voor dit project zijn, na toepassing van de RCF methode, ingeschat op € 1,5 miljard. Volgens een artikel op de website van Het Financieel Dagblad uit 2014 blijkt dat Ballast Nedam, een van de opdrachtnemers, meerwerk van € 253 miljoen op dit project heeft. Ballast Nedam geeft hiervoor als oorzaak dat Rijkswaterstaat niet heeft gezorgd voor het stroomlijnen van onder andere de vergunningsafgifte. Waardoor het project volgens Ballast Nedam vertraging en dus meerwerk kosten heeft opgelopen (Het Financieel Dagblad, 2014). Het project moet eind 2015 gereed zijn, het is op dit moment niet bekend of deze deadline gehaald wordt en of het project binnen het budget wordt opgeleverd.

Een volgend project waarop de RCF methode is toegepast, is de Crossrail in Londen. De kosten voor dit project zijn geschat op £15 Miljard (Flyvbjerg, 2008). Uit een artikel op de website van BBC News in 2004 blijkt dat de overheid in eerste instantie een bedrag van £10 miljard heeft gereserveerd

voor de bouw van de Crossrail. Waaruit blijkt dat de kosteninschatting van Flyvbjerg voor de Crossrail in Londen na de publicatie van het artikel van BBC News is gemaakt. Op basis van een kosteninschatting met behulp van de RCF methode blijken de kosten voor dit project hoger te liggen. Uit onderzoek blijkt dat de kosten van spoorwegprojecten gemiddeld 44,7% hoger uitvallen (Flyvbjerg, 2008). Wanneer bij de oorspronkelijke kostenraming van £10 miljard een percentage van 44,7% wordt opgeteld kom je uit op een bedrag van ongeveer £14,5 miljard. Hieruit is geconcludeerd dat de kosteninschatting van £15 miljard is bepaald met behulp van de RCF methode. Het project Crossrail London is in 2009 van start gegaan en het is de bedoeling dat de Crossrail in 2019 in gebruik wordt genomen (Crossrail, 2014).

Hierboven zijn verschillende toepassingen van de RCF methode toegelicht. Er valt te concluderen dat voor het project Zuiderzeelijn en Crossrail London de toepassing van de RCF methode heeft geleid tot het omhoog bijstellen van het budget. In alle 3 de situaties valt te concluderen dat het niet bekend is of het project binnen het budget wordt gerealiseerd. Ten eerste omdat het project niet is doorgegaan of nog niet is afgerond. Hierdoor is het ook niet bekend of de toepassing van de RCF methode achteraf succesvol is geweest. Echter valt er wel te concluderen dat de Zuiderzeelijn en de Crossrail onderhevig zijn aan optimistische vooringenomenheid. Aangezien de kosten na het toepassen van de RCF methode een stuk hoger uitvallen.

2.4.2. Toepassingen neurale netwerken

Ook neurale netwerken zijn op dit moment weinig toegepast in de GWW-sector. Hieronder zijn enkele voorbeelden inclusief de bevindingen van de onderzoekers uiteengezet. Vervolgens is afgesloten met een conclusie waarin is toegelicht of de toepassing van neurale netwerk een succes is gebleken. Aangezien weinig voorbeelden zijn van de toepassing van neurale netwerken in de GWW-sector zijn in bijlage 2.5. toepassingen binnen andere sectoren te vinden. Alsmede hoe neurale netwerken zijn toegepast binnen Witteveen+Bos.

Ahiaga-Dagbui & Smith hebben in 2012 gekeken naar de toepassing van neurale netwerken op het inschatten van bouwkosten voor nieuwe water projecten. Tijdens hun onderzoek hebben de onderzoekers begeleid leren netwerken met elkaar vergeleken. Ahiaga-Dagbui & Smith concluderen dat het MLP netwerk superieur was over het RBF netwerk. Waardoor in het verloop van het onderzoek enkel gebruik is gemaakt van het MLP netwerk. Het neurale netwerk is getraind met verschillende neurale netwerken. Tijdens dit onderzoek is een vergelijking gemaakt tussen neurale netwerken en de deterministische methode. In dit onderzoek is geconcludeerd dat het onderzoek veelbelovende resultaten had. Tevens is aangegeven dat er verder onderzoek wordt gedaan om te kijken hoe neurale netwerken het beste kunnen worden toegepast voor het inschatten van bouwkosten van water projecten.

Wilmot & Mei hebben in 2005 neurale netwerken toegepast voor het inschatten van bouwkosten van snelwegen. Hiervoor is gekeken naar de bouwkosten van snelwegen op jaarbasis. Met behulp van neurale netwerken is een inschatting gemaakt van de bouwkostenindex van snelwegen op jaarbasis. Wilmot & Mei hebben gekozen voor een begeleid leren netwerk, omdat dit neurale netwerk volgens hun veelvuldig gebruikt is voor civiel technische doeleinden. Uit dit onderzoek blijkt dat neurale netwerken beter instaat zijn om de bouwkosten te bepalen in vergelijking met regressiemodellen.

Bayram e.a. hebben in 2013 onderzoek gedaan naar het inschatten van bouwkosten in Turkije. Hierin hebben ze 2 begeleid leren netwerken toegepast. Ze hebben de neurale netwerken vergeleken met de vierkante meter prijs methode, de huidig toegepaste methode. Uit hun onderzoek is gebleken beide begeleid leren netwerken vergelijkbare resultaten gaven, maar dat ze beide een stuk beter waren dan de huidige methode.

Hierboven zijn verschillende toepassingen van neurale netwerken toegelicht. In de verschillende toepassingen is onder andere vergeleken met regressiemodellen, bottom-up methode en de vierkante meterprijs methode. Uit elk van de onderzoeken is gebleken dat een neuraal netwerk betere resultaten heeft, vergeleken met de huidig toegepaste methode. Hieruit is geconcludeerd dat de potentie van neurale netwerken als genoemd in paragraaf 2.3 is bevestigd in de toepassing ervan.

2.4.3. Conclusie toepassingen nieuwe ontwikkelingen

In deze paragraaf is geanalyseerd of de theoretische vergelijking van verschillende nieuwe ontwikkelingen bevestigd wordt in de toepassingen van de nieuwe ontwikkelingen. Als eerste is geconcludeerd dat na het toepassen van de RCF methode de geraamde kosten hoger uitvallen. Hieruit valt te concluderen dat met behulp van de RCF methode een outside view wordt ingenomen en projecten minder onderhevig zijn aan optimistische vooringenomenheid. Echter is het niet duidelijk of de werkelijkheid wordt benaderd, aangezien geen van de projecten is gerealiseerd of afgerond.

Tevens zijn hierboven verschillende toepassingen van neurale netwerken in kaart gebracht. Hieruit is geconcludeerd dat neurale netwerken betere resultaten geven in vergelijking met de huidige toegepaste methode. Hieruit is geconcludeerd dat neurale netwerken een betere weergave van werkelijkheid genereren en tevens in staat zijn om een outside view in te nemen. Aangezien ze gebaseerd zijn op historische data.

2.5. Conclusie literatuuranalyse

In dit hoofdstuk is eerst geanalyseerd welke factoren het probleem van kostenoverschrijdingen veroorzaken. Hieruit blijkt dat het probleem van optimistische vooringenomenheid het beste opgelost kan worden. Omdat hierbij een kostenrammer onbewust de kosten van een project lager inschat. Vervolgens is er gekeken in welke mate de huidige kostenramingstechniek oplossing kan bieden aan het probleem van kostenoverschrijdingen. Hieruit is geconcludeerd welke eigenschappen het probleem kunnen oplossen. Vervolgens is gekeken welke kostenramingstechnieken deze eigenschappen bevatten. Waarna van de kostenramingstechnieken met de meeste potentie enkele toepassingen zijn geanalyseerd. Op basis van dit hoofdstuk is hieronder de tweede deelvraag beantwoord.

Deelvraag 2.

Welke informatie dient een model te bevatten om deze bruikbaar te maken voor het functionaliteitgericht ramen?

In dit hoofdstuk is gebleken dat een model de volgende informatie/eigenschappen moet bevatten om het probleem van kostenoverschrijdingen op te lossen.

- Outside view
- Werkelijkheid
- Projectspectief

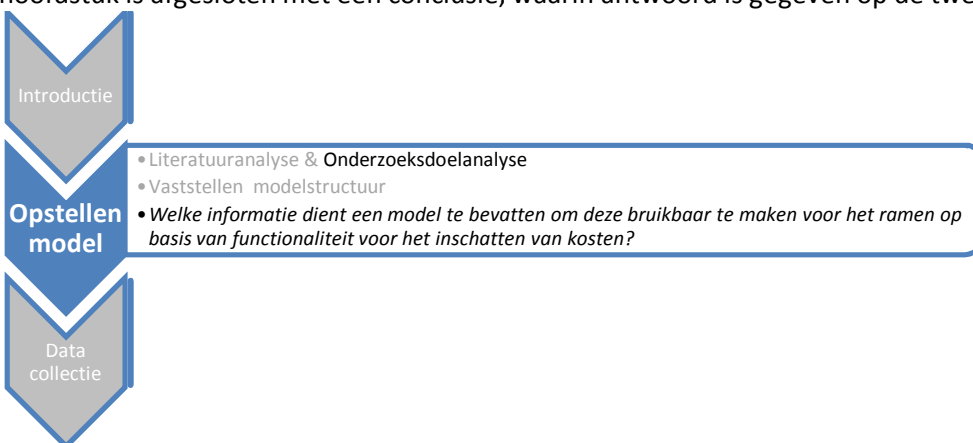
Als eerste is geconcludeerd dat de huidige toegepaste methode, de standaard systematiek kostenramingen (SSK), niet instaat is om te voldoen aan de eigenschap outside view. Echter beschikt het als enige kostenramingstechniek over de eigenschap projectspectief. Dit komt doordat aan een SSK raming gedetailleerde ontwerpen ten grondslag liggen en deze gedetailleerde ontwerpen zorgen voor het projectspectief van de kostenraming. Eveneens blijkt dat men diep in het project moet zitten (inside view) om het projectspectief in een raming te halen.

Zowel een neurale netwerk als de RCF methode bevatten de eigenschappen outside view en werkelijkheid, doordat ze gebaseerd op gemiddelden uit historische data. Echter doordat het gebaseerd is op gemiddelden van historische data, zijn beide technieken niet in staat om projectspectief de kosten te bepalen, maar geven ze slechts een benadering van de kosten voor een nieuw project. Verder blijkt dat alleen een neurale netwerk geschikt is als kostenramingstechniek in tegenstelling tot de RCF methode. Hierdoor kan de RCF methode enkel in combinatie met een andere kostenramingstechniek worden toegepast. Omdat beide technieken niet in staat zijn om de kosten projectspectief in te schatten. Is in het volgende hoofdstuk in kaart gebracht hoe de eigenschap projectspectief kan worden toegevoegd aan de eigenschappen outside view en werkelijkheid.

3. Onderzoeksdoelanalyse

In de literatuuranalyse is vastgesteld dat een kostenramingstechniek de eigenschappen outside view, werkelijkheid en projectspecifiek moet bevatten, om het probleem van kostenoverschrijdingen op te lossen dan wel terug te dringen. Tevens is gebleken dat gedetailleerde ontwerpen de basis vormen voor het projectspecifieke in een raming en dat men diep in het project moet zitten (inside view) om tot het projectspecifieke te komen. Daarom is in dit hoofdstuk geanalyseerd hoe de eigenschap projectspecifiek in een kostenramingstechniek gebracht kan worden. Zonder dat dit ten koste gaat van de objectiviteit of outside view van de kostenraming.

Als basis voor projectspecifiek is de standaard systematiek kostenramingen (SSK) gebruikt, aangezien dit de enige methode is welke projectspecifiek de kosten inschat zie hoofdstuk 2.5. Hiervoor is eerst gekeken naar de doelgroep van dit onderzoek en welke kosten interessant zijn voor de doelgroep. Om te concluderen welke kosten projectspecifiek moeten worden bepaald. Hierna is in de kostenanalyse toegelicht welke kostenonderdelen van invloed zijn op het projectspecifieke van de raming. Vervolgens is middels een projectenanalyse in kaart gebracht hoe wegenbouwprojecten zijn opgebouwd en waaraan wegenbouwprojecten onderhevig zijn. Hieruit is geconcludeerd wat de invloed van projectspecifiek hierop is. Aansluitend is een marktanalyse uitgevoerd, om te kijken welke mechanismen uit de markt invloed hebben op het projectspecifieke van een project. Dit hoofdstuk is afgesloten met een conclusie, waarin antwoord is gegeven op de tweede deelvraag.



3.1. Doelgroepanalyse

In deze paragraaf is de doelgroepanalyse uitgevoerd. Hieronder is eerst toegelicht wat de doelgroep van dit onderzoek is. Vervolgens is gekeken in welke projectfases de doelgroep is betrokken. Waarna in kaart is gebracht in welke kostencategorieën de doelgroep geïnteresseerd is. Deze paragraaf is afgesloten met een conclusie waarin is aangegeven welke kostencategorie het beste projectspecifiek in kaart kan worden gebracht. Waarbij is gekeken of de doelgroep er belang bij heeft om van deze kostencategorie het projectspecifieke in kaart te brengen.

3.1.1. Doelgroep

In de opdrachtomschrijving is vermeld dat dit onderzoek gericht is aan projectleiders, projectmanagers en kostendeskundigen. Voor partijen variërend van opdrachtgever tot opdrachtnemer binnen de GWW-sector. Samengevat zijn de partijen in de doelgroep: opdrachtgevers, adviseurs en opdrachtnemers. Tevens is dit onderzoek bestemd voor degenen welke interesse hebben in dit onderwerp en hier mogelijk toekomstig onderzoek naar willen verrichten.

3.1.2. Projectfases met partijen

Tijdens een project is het een komen en gaan van partijen. Elke partij heeft verschillende belangen waarom degene betrokken wil raken in een project. Ook de periode waarover verschillende partijen

betrokken zijn, verschilt per partij. Hieronder is toegelicht welke partijen zich in welke fase bevinden en wat de belangen van verschillende partijen in de desbetreffende fases zijn. Hiervoor benoemde faseringen zijn opgesteld volgens de SSK 2010 van het CROW.

Elk project begint met een verkenningstraject, ook wel onderdeel van de initiatieffase. De verkenning is gericht op het identificeren van mobiliteitsproblemen en op kansrijke oplossingsrichtingen vanuit verschillende invalshoeken (Annema & Jong, 2008). De verkenning wordt uitgevoerd door verschillende consultancy en/of onderzoeksinstituten. Belangrijke onderdelen in de verkenningfase zijn het maken van een kosten-batenanalyse en het in kaart brengen van belangen van stakeholders. Aan de hand van een stakeholder analyse worden van de resultaten handelingsperspectieven geschetst (Rvo, n.b.). De verkenningfase wordt afgesloten met een samenvatting van kosten en bereikbaarheidseffecten uitgedrukt in prijs. Veiligheid- en leefbaarheidseffecten worden kwalitatief beschreven. In deze fase bevinden zich de opdrachtgever, consultancy, onderzoeksinstituten en stakeholders. Doordat deze fase is gericht op het in kaart brengen van mobiliteitsproblemen en oplossingen, zijn de kosten van ondergeschikt belang (CROW, 2010). Daarom is besloten om het verkenningstraject niet mee te nemen in het onderzoek.

Op basis van de resultaten in de verkenningfase wordt het voorkeursbesluit en het budget voor een project vastgesteld, ook wel planstudiefase genoemd. In deze fase worden de resultaten volgend uit de verkenningfase tegen elkaar afgewogen (Annema & Jong, 2008). Voor de totstandkoming van het voorkeursbesluit worden meerdere kosten-batenanalyses gemaakt om inzicht te geven in economische effecten van de projectalternatieven (Annema & Jong, 2008). Wanneer de alternatieven zijn geanalyseerd, wordt er een voorkeursbesluit genomen. In het geval van rijksprojecten wordt het voorkeursbesluit genomen door de minister van Infrastructuur en Milieu (Annema & Jong, 2008). In deze fase spelen de projectkosten een belangrijke rol, omdat in deze fase een spanningsveld ontstaat tussen financieren en budget (CROW, 2010). Dit spanningsveld ontstaat omdat in de praktijk werkelijke kosten hoger uit kunnen vallen dan vooraf geraamd. Dit heeft als gevolg dat de kostenramer altijd aan de veilige kant van de raming probeert te gaan zitten (CROW, 2010). Doordat de ramer aan de veilige kant wil gaan zitten trekt hij onbewust verantwoordelijkheden naar zich toe welke hem niet toebehoren. Dit zijn verantwoordelijkheden welke toebehoren aan de opdrachtgever of financier aangezien zij het budget voor het project bepalen (CROW, 2010). In deze fase spelen de opdrachtgever, financier en kostenramer een belangrijke rol en proberen stakeholders druk uit te oefenen op de keuze van het voorkeursbesluit. Dit omdat de doelgroep deels vertegenwoordigt is in deze fase, is besloten deze fase niet mee te nemen in het verloop van het onderzoek.

Wanneer het voorkeursbesluit en het budget is vastgesteld, wordt het ontwerp verder uitgewerkt in de fase uitwerken en bouwen. De eerste stap is het verder uitwerken van de scope van het project (CROW, 2010). Bij het verder uitwerken van de scope kan het voorkomen dat er scopewijzigingen gedaan moeten worden. Bij een scopewijziging is er sprake van een aanpassing aan de vraagspecificatie en oplossing, met toestemming van de opdrachtgever (CROW, 2010). Voor het uitwerken van het ontwerp wordt meestal gebruik gemaakt van de diensten van adviseurs en ingenieursbureaus. Eveneens worden in deze fase de geïdentificeerde stakeholders betrokken in het project, denk hier bijvoorbeeld aan grondeigenaren, milieuactivisten en andere belanghebbenden.

Naarmate het uitwerken van het project zich in een verder gevorderd stadium bevindt, komt het ontwerp er gedetailleerder uit te zien. Op een zeker moment worden contracten gesloten met partijen welke het project gaan realiseren. Afhankelijk van het contract wordt bepaald wanneer een opdrachtnemer is betrokken in het project (CROW, 2010). Wanneer een opdrachtnemer voor de realisatie contractueel in een vroeg stadium is vastgelegd, werkt degene ook mee aan het ontwerpen van het project. Contractvormen en verdeling van verantwoordelijkheden zijn verder toegelicht in paragraaf 3.4, waar de marktanalyse is uitgevoerd.

Gedurende de fase uitwerken en bouwen volgt de start van het contract tussen de opdrachtgever en de opdrachtnemer welke verantwoordelijk is voor de realisatie. Wanneer het contract ingaat, verschuiven de verantwoordelijkheden van de opdrachtgever naar de

opdrachtnemer (CROW, 2010). Voor de realisatie van een project wordt afhankelijk van de projectcomplexiteit en projectgrootte gebruik gemaakt van één of meerdere opdrachtnemers.

Aan het einde van de fase uitwerken en bouwen worden de contracten en het project opgeleverd. Wanneer het project is opgeleverd wordt het geëvalueerd. Zo wordt gecontroleerd of het opgeleverde contract voldoet aan de vooraf gestelde voorwaarden. Tevens worden na de oplevering van het contract de kosten vergeleken met de kosten in de raming (CROW, 2010). Waarna een analyse de oorzaken van mogelijke verschillen tussen de kosten in de raming en de kosten bij oplevering in kaart brengt. Aangezien in de fase uitwerken en bouwen de kosten erg belangrijk zijn en de gehele doelgroep in deze fase in het project betrokken is, is het zinvol om van deze fase de kosten mee te nemen in het onderzoek. Welke kosten tijdens de fase uitwerken en bouwen een rol spelen is verder toegelicht in paragraaf 3.2.

De fase levensduur begint nadat het contract is opgeleverd. Afhankelijk van de contractvorm kan het zijn dat de levensduur onder de verantwoordelijkheid valt van de opdrachtnemer van het project (CROW, 2010). Waar voorheen met name aandacht werd besteed aan de kosten voor realisatie van een project. Speelt tegenwoordig ook de hoogte van de levensduurkosten een belangrijke rol in het vaststellen van de hoogte van de investeringskosten (CROW, 2010). Doordat de levensduur de laatste jaren meer aandacht krijgt, zijn veel levensduurcontracten nog niet afgelopen waardoor het niet zinvol is om de fase levensduur mee te nemen in dit onderzoek. Zie Tabel 3.1 voor een overzicht van projectfases met partijen, vetgedrukt de projectfase welke is meegenomen in het onderzoek.

Tabel 3.1: Overzicht van projectfases met partijen.

Projectfases	Partijen van de doelgroep betrokken
Verkenning	Opdrachtgever & adviseurs
Voorkeursbesluit en budget	Opdrachtgever & adviseurs
Uitwerken en bouwen	Opdrachtgever, adviseurs & opdrachtnemer
Levensduur	Opdrachtgever, adviseurs & opdrachtnemer

3.1.3. Projectraming

Een overzicht van alle in het project aanwezige kosten wordt gezien als de projectraming. Wanneer een projectraming is ontleed, zijn meerdere kostencategorieën en kostengroepen geïdentificeerd. De kostencategorieën welke een projectraming vormen zijn: investeringskosten, levensduurkosten, risico's en/of scheefte, projectkosten en budgetvaststelling (CROW, 2010). Elke kostencategorie heeft vervolgens verschillende kostengroepen. De kostencategorieën zijn hieronder verder uitgewerkt, de kostengroepen zijn toegelicht in paragraaf 3.2. Deze paragraaf is afgesloten met een conclusie waarin is aangegeven welke kostencategorieën zijn meegenomen in het onderzoek en interessant zijn voor de doelgroep.

Investeringskosten

De investeringskosten van een project zijn opgedeeld in meerdere kostensoorten. Hieronder zijn de volgende kostensoorten toegelicht: bouwkosten, vastgoedkosten, engineeringkosten en als laatste overige bijkomende kosten.

Bouwkosten zijn de kosten die gemoeid zijn met de fysieke realisatie van de in het project te onderscheiden objecten (Projectteam ProSes, 2004). Bouwkosten zijn onderverdeeld in directe en indirecte bouwkosten. Directe bouwkosten bevatten kosten die direct en specifiek voor de productie van de in het project te onderscheiden objecten gemaakt worden (Projectteam ProSes, 2004). Indirecte kosten zijn kosten die niet direct aan de in het project aanwezige objecten te relateren zijn. Tijdens de fase uitwerken en bouwen zijn veel partijen betrokken in het project, denk hierbij aan ingenieursbureaus, opdrachtnemers en opdrachtgevers. Over het algemeen gaat in deze fase meeste interesse uit naar de bouwkosten van het project en is dit in het ontwerp terug te zien. Hieruit valt te concluderen dat bouwkosten van een project een belangrijke rol vervullen in dit onderzoek.

Vastgoedkosten zijn alle kosten die nodig zijn voor de verwerving van het vastgoed. Voor zover deze betrekking hebben op het verwerven van eigendom van en/of beheer recht over terrein met eventueel hierop aanwezig bouwwerken (Projectteam ProSes, 2004). De vastgoedkosten zijn

opgedeeld in directe- en indirecte kosten. Directe kosten bevatten bijvoorbeeld de aankoop van grond, indirecte kosten zijn bijvoorbeeld overdrachtskosten of notariskosten (Projectteam ProSes, 2004). Er valt te concluderen dat in veel gevallen eerst vastgoedkosten gemaakt moeten worden, alvorens projectwerkzaamheden kunnen worden uitgevoerd. Partijen welke de meeste interesse hebben in de vastgoedkosten zijn de opdrachtgever en de eigenaar van het aan te kopen vastgoed. Aangezien vastgoedkosten voornamelijk voor de opdrachtgever interessant zijn, is besloten de vastgoedkosten in dit onderzoek buiten beschouwing te laten.

Onder engineeringkosten vallen alle kosten die te maken hebben met het denkwerk van het project (Projectteam ProSes, 2004). Voorbeelden van engineeringkosten zijn voorbereidingskosten, plankosten, etc. Engineeringkosten zijn voor alle partijen in de doelgroep interessant en worden ook door al deze partijen gemaakt. In principe zijn deze kosten interessant voor het onderzoek. Echter bleek tijdens de eerste gesprekken met opdrachtgevers dat engineeringkosten nauwelijks te achterhalen zijn. Daarnaast worden ze door elke partij verschillend geïnterpreteerd. Daarom is besloten om deze kostensoort in dit onderzoek buiten beschouwing te laten.

Overige bijkomende kosten zijn alle kosten die niet onder bouwkosten, vastgoedkosten of engineeringkosten zijn in te delen (Projectteam ProSes, 2004). Voorbeelden van overige bijkomende kosten zijn kosten voor vergunningen of kosten voor planschade. Meestal worden deze kosten gemaakt door de opdrachtgever van een project en zijn ze minder interessant voor andere partijen. Daarom is gekozen om overige bijkomende kosten in dit onderzoek buiten beschouwing te laten. Zie Tabel 3.2 voor een overzicht van de investeringskosten met vetgedrukt de investeringskosten welke zijn meegenomen in het onderzoek.

Tabel 3.2: Overzicht van investeringskosten en interesse van de doelgroep.

Investeringskosten	Interessant voor partijen
Bouwkosten	Opdrachtgever, adviseurs & opdrachtnemer
Vastgoedkosten	Opdrachtgever
Engineeringkosten	Opdrachtgever, adviseurs & opdrachtnemer
Overige bijkomende kosten	Opdrachtgever

Levensduurkosten

Levensduurkosten zijn onderdeel van een projectraming. Bij het vaststellen van de levensduurkosten speelt ook de tijd een rol (CROW, 2010). Denk hier bijvoorbeeld aan de levensduur van een weg en het onderhoud aan de weg. Levensduurkosten zijn als volgt omschreven: de levensduurkosten van een onderdeel is de som van de investeringen welke gemaakt zijn om het onderdeel vanaf de ontwerpfase en uitvoeringsfase te begeleiden tot het einde van de levensduur (Woodward, 1997). Het doel van levensduurkosten is het optimaliseren van de kosten voor verwerving, beheersing en onderhoud van het gerealiseerde object (Woodward, 1997).

Het vaststellen van de levensduurkosten is met name interessant voor de opdrachtgever van een project. Het is interessant voor de opdrachtnemer wanneer contractueel is vastgelegd dat degene ook verantwoordelijk is voor het onderhoud van het project. Levensduurkosten kunnen van invloed zijn op de bouwkosten van een project. Er kan bijvoorbeeld gekozen worden om bij de aanleg duurdere materialen te kiezen, welke gedurende de levensduur meer rendabel zijn. In dit onderzoek zijn levensduurkosten buiten beschouwing gelaten, aangezien deze in veel gevallen enkel interessant zijn voor de opdrachtgever. Tevens zijn levensduurkosten niet meegenomen omdat ze recentelijk meer onder de aandacht komen.

Risico's en/of scheefte

Ook de kostencategorie risico's en/of scheefte is onderdeel van een projectraming. De kostencategorie risico's en/of scheefte wordt berekend voor de investering en de levensduur van een project (CROW, 2010). Deze kostencategorie moet niet worden verward met de kostengroep risicoreservering welke voor elk object aanwezig in het project wordt doorgerekend, paragraaf 3.2. De kostencategorie risico's en/of scheefte is een extra risicoreservering bij over de investeringskosten en levensduurkosten. Zonder dat het iets te maken heeft met de risicoreservering

welke is bepaald voor de investeringskosten of de levensduurkosten. In de investeringskosten is geconcludeerd dat niet elke kostensoort vallend onder investeringskosten is meegenomen in het onderzoek. Daarom is besloten om de kostencategorie risico's en/of scheefte buiten beschouwing te laten in dit onderzoek.

Projectkosten

De kostencategorie projectkosten is onderdeel van de projectraming. Onder projectkosten vallen het bepalen van de BTW van het project, vaststellen van het prijspeil, de bandbreedte waarin de uiteindelijke kosten zullen liggen en de variatiecoëfficiënt (CROW, 2010). In het onderdeel investeringskosten is duidelijk geworden dat niet elke kostensoort vallend onder investeringskosten even interessant voor dit onderzoek. Daarom is besloten om de projectkosten van een project buiten beschouwing te laten. Echter is de bandbreedte waarin de projectkosten dienen te vallen wel belangrijk voor dit onderzoek. Volgens de SSK-2010 dienen de projectkosten een trefzekerheid van 70% te bevatten, dit komt later in het onderzoek aan de orde.

Budgetvaststelling

Wanneer een project zich in de fase voorkeursbesluit en budget bevindt, wordt er een budget vastgesteld waarin financiële middelen voor een project worden gereserveerd. In het budget zijn kostenonderdelen als budgetvaststelling, projectkosten, risico's en/of scheefte, levensduurkosten en Investeringskosten meegenomen. In het handboek SSK-2010 van CROW is aangegeven dat een financier of opdrachtgever verantwoordelijk is voor de budgetvaststelling van een project. Daarom is de budgetvaststelling niet voor elke partij interessant. Hierdoor is besloten om de budgetvaststelling buiten beschouwing te laten in dit onderzoek.

Conclusie Projectraming

Hierboven zijn verschillende kostencategorieën behandeld welke het budget van een project bepalen. Het blijkt dat niet elke kostencategorie even interessant is voor de partijen benoemt in de doelgroep. Er valt te concluderen dat de investeringskosten de meest interessante kostencategorie is. Verder is geconcludeerd dat in de investeringskosten met name de bouwkosten interessant zijn. Daarom is besloten om dit onderzoek te richten op de bouwkosten van een project. Zie Tabel 3.3 voor een overzicht van kostencategorieën met interesse van de doelgroep. Vetgedrukt de kostencategorie welke is meegenomen in het onderzoek.

Tabel 3.3: Overzicht kostencategorie met interesse van de doelgroep.

Kostencategorie	Interessant voor partijen
Investeringskosten (bouwkosten)	Opdrachtgever, adviseurs & opdrachtnemer
Levensduurkosten	Opdrachtgever, adviseurs & opdrachtnemer
Risico's en/of scheefte	Opdrachtgever
Projectkosten	Opdrachtgever
Budgetvaststelling	Opdrachtgever

3.1.4. Conclusie Doelgroepanalyse

In deze paragraaf zijn de projectfases met bijhorende partijen geanalyseerd. Vervolgens zijn de projectfases met partijen gekoppeld aan de verschillende optredende kostencategorieën van een projectraming van een project. Er is geconcludeerd niet elke partij geïnteresseerd wat het project of een deel van een project gaat kosten. Er is tevens geconcludeerd dat partijen benoemt in de doelgroep de meeste interesse hebben in de hoogte van de bouwkosten van het project. Zo heeft de opdrachtgever er belang bij dat de bouwkosten niet te hoog oplopen, hopen opdrachtnemers dat ze winst kunnen boeken op hun inschrijfsom voor de bouwkosten. Als laatste hope de consultancy, welke medeverantwoordelijk kunnen zijn voor de raming van de bouwkosten, dat ze vooraf een realistische bouwkostenraming hebben gemaakt van de hoogte van de bouwkosten. Daarom is het verder verloop van dit onderzoek gericht op de bouwkosten van een project. Omdat bouwkosten het meest interessant zijn om projectspecifiek in kaart te brengen.

3.2. Kostenanalyse

In deze paragraaf is dieper ingegaan op de verschillende kostengroepen welke een kostencategorie van een projectraming kan bevatten. Hierboven is toegelicht uit welke kostencategorieën een projectraming bestaat en voor welke doelgroepen verschillende kostencategorieën interessant zijn. Daaruit is geconcludeerd dat de kostencategorie bouwkosten centraal staat tijdens dit onderzoek. Een bouwkostenraming is onderverdeeld in verschillende kostengroepen namelijk voorziene kosten en onvoorziene kosten (CROW, 2010). Hieronder zijn de verschillende kostengroepen geanalyseerd. Waarna is afgesloten met een conclusie waarin is aangegeven welke kostengroepen het projectspecifieke van een raming bepalen. Tevens is hier aangegeven hoe deze verschillende kostengroepen mee zijn genomen in dit onderzoek. Het uitgangspunt voor de analyse is de vroege projectfase, aangezien hier volgens hoofdstuk 1.6.5 de grootste winst valt te behalen.

3.2.1. Voorziene kosten

Voorziene kosten bestaan uit directe kosten benoemd, directe kosten nader te detailleren, indirecte kosten en totaal voorziene kosten. Directe kosten zijn kosten die rechtstreeks met de productie of levering van een product of dienst gemoeid zijn en aanwijsbaar aan dit product of deze dienst zijn toe te rekenen (Projectteam ProSes, 2004). Nader te detailleren is een toeslag voor wel voorziene maar niet expliciet uitgewerkte onderdelen van het ontwerp of de aangenomen uitvoeringsmethode (Projectteam ProSes, 2004). Indirecte kosten zijn kosten waarbij niet geregistreerd wordt ten behoeve van welk product of welke dienst ze worden gemaakt (Projectteam ProSes, 2004). De kostenpost totaal voorzien is de optelsom van directe kosten benoemd, directe kosten nader te detailleren en indirecte kosten.

De opbouw van de directe kosten benoemd bestaat in het geval van bouwkosten uit een hoeveelheid gekoppeld aan een eenheidsprijs. Hoeveelheden zijn de belangrijkste input voor de hoogte van de directe kosten van een project. In de opdrachtomschrijving is reeds vermeld dat geen enkel project vergelijkbaar is, dus is verondersteld dat de hoeveelheden per project verschillen. Hieruit valt te concluderen dat de hoeveelheden het projectspecifieke van een raming bepalen.

Eenheidsprijzen zijn de prijzen welke gekoppeld worden aan de hoeveelheden en vormen tezamen de directe kosten benoemd. De opbouw van een eenheidsprijs is afhankelijk van de aanvoer van personeel, materieel, materiaal en onderaannemers (GWWkosten, 2007). De kosten voor personeel zijn afhankelijk van de functie van het personeel en de uit te voeren werkzaamheden. De kosten van materiaal zijn afhankelijk van het type materiaal wat benodigd is en de hoeveelheid te verwerken materiaal (GWWkosten, 2007). Materieelkosten zijn afhankelijk van het type werk, de te verwerken materialen en de benutting van het materieel. Wanneer bijvoorbeeld een kleine hoeveelheid materiaal verwerkt moet worden, kunnen de aanvoerkosten van het materieel hoger zijn dan de kosten voor verwerking van het materieel (GWWkosten, 2007). Onderaannemerskosten zijn de kosten die de onderaannemers in rekening brengen bij de hoofdaannemer (GWWkosten, 2007). De eenheidsprijs vormt samen met de hoeveelheden het projectspecifieke in een bouwkostenraming en vervullen een belangrijke rol in dit onderzoek.

Een volgende kostengroep welke onder de voorziene kosten valt zijn de directe kosten nader te detailleren. Deze kostengroep wordt in de meeste gevallen weergegeven in een percentage en is afhankelijk van het aantal benoemde zaken in de kostengroep directe kosten benoemd (CROW, 2010). Deze kosten zijn een aanvulling op de directe kosten benoemd en zijn binnen dit onderzoek meegenomen. Aangezien directe kosten nader te detailleren zijn bepaald met een percentage is geconcludeerd dat nader te detailleren niet het projectspecifieke van een raming bepalen.

De indirecte kosten zijn onderdeel van de voorziene kosten en opgebouwd uit meerdere posten. Indirecte kosten zijn in een kostenraming, horend bij de vroege projectfase, vaak weergegeven als een percentage bij op de directe bouwkosten. De verschillende posten waaruit de indirecte kosten bestaan zijn: eenmalige kosten, uitvoeringskosten/algemene bouwplaatskosten, algemene kosten, winst en risico, en bijdragen (CROW, 2010). De percentages voor indirecte kostenonderdelen verschillen per opdrachtnemer en zijn afhankelijk van de projectgrootte en marktsituatie (CROW,

2012). Omdat de hoogte van het percentage van een afzonderlijke indirecte kostenpost per project kan verschillen, zijn de afzonderlijke indirecte kostenposten niet belangrijk gedurende dit onderzoek. Echter bepalen de indirecte kosten tezamen wel voor een deel de hoogte van de bouwkosten. Dus zijn de indirecte kosten als geheel wel belangrijk in dit onderzoek. Doordat indirecte kosten bepaald zijn door een percentage is geconcludeerd dat de indirecte kosten niet het projectspecifieke van een raming bepalen. Aanvullende informatie over hoe de verschillende indirecte kostenposten zijn opgebouwd is te vinden in bijlage 3.1.

De kostenpost totaal voorziene kosten is de optelsom van de kostenposten directe kosten benoemd, directe kosten nader te detailleren en indirecte kosten. Met voorziene kosten worden de kosten bedoeld die ten tijde van het opstellen van de kostenraming voorzien zijn op grond van de voorliggende specificaties en het ontwerp (Projectteam ProSes, 2004). De totaal voorziene kosten hebben geen belangrijke rol in het onderzoek, aangezien er onderscheid nodig is in projectspecifieke kosten en niet projectspecifieke kosten.

3.2.2. Onvoorziene kosten

De kostenpost onvoorziene kosten bestaat uit de risicoreservering en omvat andere risico's in vergelijking met de indirecte kostenpost winst en risico. Waar het winst en risico ter dekking van de aannemerswinst en het aannemersrisico binnen de bestekken en of contracten dient. Is de kostengroep risicoreservering bestemd voor reserveringen ter compensatie van mogelijke negatieve invloeden op de raming. Waarmee in de raming van de voorziene kosten geen rekening is gehouden (CROW, 2010). Deze mogelijke negatieve invloeden ontstaan door onzekerheden over toekomstige scenario's of ongewenste gebeurtenissen (CROW, 2010). De risicoreservering is onderverdeeld in benoemde en onbenoemde risico's. Hieronder is eerst dieper ingegaan op de benoemde risico's. Vervolgens zijn de onbenoemde risico's behandeld en wat de invloed van de risicoreservering is op dit onderzoek.

Om de benoemde risico's van een project in beeld te krijgen, vinden er periodiek risicosessies plaats (CROW, 2010). Tijdens een risicosessie zijn relevante bij het project betrokken partijen aanwezig, welke samen de risico's in kaart brengen (CROW, 2010). Benoemde risico's kunnen een verschillende achtergrond hebben. De gebieden waarin risico's vallen, kunnen juridisch, organisatorisch, technisch, ruimtelijk, financieel, maatschappelijk of een politiek aspect hebben (CROW, 2010). Echter is de mate van invloed van benoemde risico's enkel als geheel van belang in dit onderzoek. Een toelichting op de verschillende risicogroepen is te vinden in bijlage 3.2. Een bouwkostenraming is afgesloten met een probabilistische analyse waaruit een onzekerheden top 10 volgt van benoemde risico's. In deze onzekerheden top 10 kunnen benoemde risico's voorkomen welke een grote invloed op de bouwkosten van een project kunnen hebben. Een voorbeeld van een top 10 onzekerheden is te vinden in Figuur 3.1.

nr.	omschrijving	risicobijdrage
1.	Keileem kern verweekt tijdens de uitvoeringsfase, (object: 01 Dijk, oorzaak: hoeveelheid)	19 %
2.	Leveren breuksteen (3-6 ton), (object: 01 Dijk, oorzaak: prijs)	10 %
3.	Aanbrengen breuksteen > 1000 kg (geplaatst), (object: 01 Dijk, oorzaak: prijs)	7 %
4.	Stabiliteit (vooroever) van de dijk komt in gevaar, (object: 01 Dijk, oorzaak: hoeveelheid)	6 %
5.	Leveren breuksteen (2-4 ton), (object: 01 Dijk, oorzaak: prijs)	5 %
6.	Verplaatsen kabel en leidingen (vooral 10 kV middenspanning op traject KWZ - Breezanddijk) is noodzakelijk, (object: 01 Dijk, oorzaak: hoeveelheid)	5 %
7.	Er worden kabels en leidingen aangetroffen die niet op de KLIC melding zijn weergegeven, (object: 01 Dijk, oorzaak: hoeveelheid)	4 %
8.	Inkoop punt -meerlengte aansluiting inkoop (25.000 meter), (object: 04 SP_DOV, oorzaak: prijs)	4 %
9.	Overig	40 %
10.	Totaal	100 %

Figuur 3.1: Voorbeeld onzekerheden top 10 (CROW, 2010).

Omdat niet alle risico's benoemd kunnen worden, is een post onbenoemde risico's meegenomen in een bouwkostenraming. De hoogte van de reservering voor niet benoemde risico's is afhankelijk van een aantal overwegingen (Meer, 2014). Volgens van der Meer blijkt dat gedurende de ontwikkeling van een project naar een verdere fase, in het percentage bepaalde risico categorieën afvallen en niet meer kunnen optreden. Dit is bevestigd in een onderzoek van (Kremers, 2013). Tevens geeft Kremers

aan dat de hoogte van de post onbenoemde risico's afneemt wanneer een project zich in een verdere fase bevindt. Zie Figuur 3.2 voor de verhouding tussen benoemde risico's en onbenoemde risico's gedurende verschillende projectfasen.

Fase	Verdeling post Onvoorzien	
	VO	OO
Planfase	< 50 %	> 50 %
Vorbereiding aanbesteding	50 %	50 %
Ontwerp – begin bouwfase	70 %	30 %
Einde bouwfase	95 %	5 %

Figuur 3.2: Verhouding benoemde en onbenoemde risico's door het project heen (Kremers, et al., 2014).

Verschil risicoreservering SSK raming en risicoreservering RCF methode

Aangezien in hoofdstuk 2.3.1 is aangegeven dat de RCF methode een middel is om de risicoreservering te bepalen, is hieronder gekeken wat het verschil tussen de RCF methode en de risicoreservering in de SSK raming is. Een eerste verschil is dat de risicoreservering in een SSK raming specifiek voor het desbetreffende project is opgesteld zie Figuur 3.1. Waar een risicoreservering welke bepaald is middels de RCF methode gebruikt kan worden voor meerdere projecten, welke in dezelfde referentieklassse vallen. Doordat de risicoreservering in een SSK raming projectspecifiek is opgesteld, bestaat een kans dat de vastgestelde risicoreservering onderhevig is aan optimistische vooringenomenheid. Het probleem van optimistische vooringenomenheid is niet van toepassing wanneer de risicoreservering is vastgesteld middels de RCF methode (Flyvbjerg, 2008). Deze methode is opgesteld aan de hand van gegevens van referentieprojecten. Echter heeft het vaststellen van de risicoreservering aan de hand van referentieproject weer als nadeel dat de referentieklassse aan moet kunnen sluiten op het nieuwe project. Een laatste verschil is dat de RCF methode geen onderscheid maakt in benoemde- en onbenoemde risico's waar een risicoreservering in een SSK raming is onderverdeeld in benoemde- en onbenoemde risico's

Conclusie onvoorziene kosten

Hierboven zijn de verschillende aspecten welke samen de risicoreservering bepalen geanalyseerd. Er valt te concluderen dat het aandeel benoemde- en onbenoemde risico's in de risicoreservering in de gelijkmatig is verdeeld in de vroege projectfase. Naarmate het project zich in een verder gevorderd stadium bevindt, loopt het aandeel onbenoemde risico's in de risicoreservering langzamerhand terug. Er valt te concluderen dat de risicoreservering niet projectspecifiek is, aangezien het is vastgesteld middels een percentage. De pot voor benoemde risico's bestaat uit verschillende onderdelen en is project afhankelijk vastgesteld. Dit is in de raming weergegeven als een percentage. Verder heeft dit tot gevolg dat mogelijk geen objectieve weergave van de risicoreservering kan worden weergegeven, zoals met een RCF methode wel wordt gedaan. De RCF methode is een middel om objectief de risicoreservering te bepalen voor een nieuw project aan de hand van referentieprojecten. Het kan daarom van toegevoegde waarde zijn om voor een nieuw project een schatting voor het percentage risicoreservering met de RCF methode te maken. Om deze vervolgens onder te verdelen aan de verschillende risico's op benoemd en onbenoemd vlak. Dit vereenvoudigt het kwantificeren van de risicoreservering en zo is enigszins een objectieve weergave van de risicoreservering genereert.

3.2.3. Conclusie Kostenanalyse

Hierboven zijn de kostenonderdelen, welke de bouwkostenraming vormen, toegelicht. De belangrijkste conclusie is dat de directe kosten de basis vormen voor de bouwkostenraming. De directe kosten bepalen het projectspecifieke van de raming omdat ze op basis van hoeveelheden specifiek per project bepaald worden, waaraan een eenheidsprijs is gekoppeld. Bij op de directe bouwkosten zijn percentages van de directe kosten nader te detailleren en indirecte kosten toegevoegd. Doordat de directe bouwkosten nader te detailleren gebaseerd zijn op een percentage

is geconcludeerd dat ze niet projectspecifiek zijn. Er valt tevens te concluderen dat de indirecte kostengroepen geen invloed hebben op het projectspecifieke van de kostenraming voor een project, aangezien ze gebaseerd zijn op percentages.

De volgende kostenpost zijn de onvoorziene kosten welke zijn opgedeeld in benoemde en onbenoemde risico's. In een SSK raming zijn de benoemde risico's per project geïdentificeerd en vervolgens gekwantificeerd naar bedragen, deze vormen samen een percentage. Er is geconcludeerd dat de benoemde risico's projectspecifiek zijn en de onbenoemde risico's niet projectspecifiek zijn. Aangezien de benoemde en onbenoemde risico's samen een percentage voor de risicoreservering vormen is geconcludeerd dat de risicoreservering geen invloed heeft op het projectspecifieke van de bouwkostenraming. Zie Tabel 3.4 voor een overzicht van projectspecifieke en niet projectspecifieke kostenonderdelen.

Tabel 3.4: Overzicht van projectspecifieke en niet projectspecifieke kostenonderdelen.

Kostenonderdeel	Projectspectief
Voorzien	
<i>Directe bouwkosten benoemd</i>	<i>Wel projectspectief</i>
<i>Directe bouwkosten nader te detailleren</i>	<i>Niet projectspectief</i>
<i>Indirecte bouwkosten</i>	<i>Niet projectspectief</i>
<i>Totaal voorziene bouwkosten</i>	<i>Niet projectspectief</i>
Onvoorzien	
<i>Benoemde risico's</i>	<i>Wel projectspectief</i>
<i>Onbenoemde risico's</i>	<i>Niet projectspectief</i>

De voorziene en onvoorziene kosten vormen samen de totaalkosten van de bouwkostenraming. Waarbij de voorziene kosten bestaan uit de directe en indirecte kosten en de onvoorziene kosten uit de risicoreservering. Het de totaalkosten in een bouwkostenraming zijn meestal gepresenteerd in een bedrag exclusief BTW (CROW, 2010).

3.3. Projectenanalyse

Hierboven is geconcludeerd dat hoeveelheden het projectspecifieke van een raming bepalen. In deze paragraaf is toegelicht wat een wegenbouwproject precies inhoudt, welke onderdelen van een project invloed hebben op de hoeveelheden van een project en hiermee het projectspecifieke van een bouwkostenraming bepalen. Hieronder is eerst toegelicht in welke mate wegenbouwprojecten gelijk aan elkaar zijn. Vervolgens zijn verschillende functies van wegen met elkaar vergeleken. Waarna is toegelicht welke externe factoren invloed uit oefenen op een wegenbouwproject. Als laatste is deze paragraaf afgesloten met een conclusie. Daarin is aangegeven hoe gelijkenis in projecten wordt verkregen en in welke mate de externe factoren van een project zijn meegenomen in dit onderzoek. In het achterhoofd houdende dat het verkrijgen van gelijkenis in project niet ten koste mag gaan van het projectspecifieke van een bouwkostenraming voor een project.

3.3.1. Gelijkenis in projecten

Om gelijkenis te krijgen in het Nederlandse wegbeeld zijn verschillende standaarden opgesteld, waarin is voorgeschreven hoe wegprofielen eruit moeten zien. Doel van deze standaarden is het toevoegen van karakteristieke eigenschappen aan een bepaald wegtype, ook wel functies. De functie van de weg heeft invloed op de breedte van het wegprofiel, zo heeft een weg met een hogere maximumsnelheid een breder wegprofiel in vergelijking met een weg met een lagere maximumsnelheid. Aanvullende literatuur over verschillende wegfuncties is te vinden in bijlage 3.3. Hierdoor kan de gebruiker van de weg herkennen op welk wegtype degene zich bevindt en hier zijn snelheid op aanpassen. Elementen die in de standaarden bepalend zijn voor het uiterlijk van de weg zijn: de rijstrookbreedte, type wegmarkering en de breedte van de obstakelvrije zone. De toepassing van deze standaarden betekent niet dat elk project van een bepaald wegtype gelijkwaardig is. Als eerste kan er een verschil zitten in werk wat moet worden uitgevoerd tijdens een project, zo kan het

een bestaande weg gereconstrueerd of verbreed worden, of er kan een compleet nieuwe weg aangelegd worden. Eveneens is de lengte waarover werkzaamheden plaatsvinden een belangrijke factor.

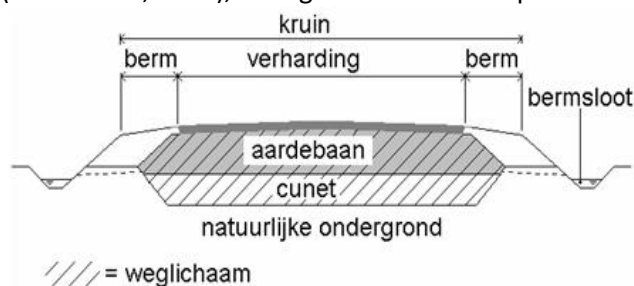
3.3.2. Externe factoren

Involed van externe factoren op projecten bepalen mede de bouwkosten en hoeveelheden van een project. In deze sub paragraaf is met name besteed aan de interventie met de omgeving van een weg, de benodigde wegcapaciteit en de marktsituatie. In deze sub paragraaf richt de marktsituatie zich met name op het beschikbare materieel en efficiëntie van uitvoeren van een project.

Een wegenbouwproject is nooit een project op zich, in vrijwel alle wegenbouwprojecten moet rekening worden gehouden met het bestaande wegennet. Er worden oplossingen bedacht voor welk verkeer toegang krijgt tot het bestaande wegennet en hoe is omgegaan met discontinuïteiten oftewel de conflicten met het bestaande wegennet. Het CROW en Rijkswaterstaat geven in hun handleidingen aan dat een goede doorstroming van het verkeer bevorderd moet worden. Hiervoor moeten conflicten met het ondergeschikte wegennet zoveel mogelijk worden beperkt. Wanneer een conflict niet voorkomen kan worden, dit is het geval wanneer gelijkwaardige wegen elkaar kruisen, wordt het conflict opgelost middels een gelijkvloerse kruising.

Een ander omgevingsafhankelijk aspect zijn de restricties rondom het gebied waarin het project plaatsvindt. Restricties kunnen optreden in de vorm van beschikbare ruimte, eisen omtrent geluid en overige eisen. In het geval van beschikbare ruimte zijn in de verschillende handleidingen voorwaarden met betrekking tot het minimumontwerp opgenomen. Een voorbeeld om de breedte van het dwarsprofiel in te perken is het toepassen van een geleiderail langs de weg. Waar in een normaal wegprofiel een zekere ruimte naast de weg nodig is met betrekking tot de veiligheid, kan dit met een geleiderail worden teruggedrongen. Een andere restrictie zijn eisen omtrent geluid. In de wegenbouw zijn verschillende asfalttypen beschikbaar. Wanneer eisen omtrent geluid belangrijk zijn in een project kan gekozen worden voor een asfalttype welke een lage geluidsproductie heeft. Mocht dit niet voldoende zijn dan worden bijvoorbeeld geluidschermen geplaatst om de overlast van geluid terug te dringen. Het toepassen van een asfalttype met een lage geluidsproductie of een geluidscherm heeft invloed op de bouwkosten van een project. Het is vanzelfsprekend dat wanneer andere eisen invloed uitoefenen op een project dit invloed heeft op de bouwkosten van een project.

De ondergrond in Nederland bestaat uit verschillende grondsoorten. De ondergrond van een project kan bepalend zijn voor de uit te voeren werkzaamheden en dus ook van invloed zijn op de bouwkosten van een project. Zo zijn voor verschillende ondergronden richtlijnen met betrekking tot de opbouw van de weg (VBW-asfalt, 1995), zie Figuur 3.3 voor de opbouw van een weg.



Figuur 3.3: Doorsnede wegprofiel (Infrawiki, 2015).

Een belangrijk onderdeel van de ondergrond is wat er met de ondergrond wordt gedaan wanneer het wordt ontgraven voor een wegenbouwproject. Wanneer gewerkt moet worden in vervuilde grond gelden extra voorschriften met betrekking tot veiligheid (Inspectie, n.b.). Het kan zelfs zo zijn dat grond moet worden afgevoerd.

Een andere bepalende factor voor een wegenbouwproject is de benodigde capaciteit. In de voorschriften van het CROW en Rijkswaterstaat is beschreven dat de keuze voor het aantal rijstroken en de keuze voor het weg type afhankelijk is van de capaciteit van de weg. De capaciteit wordt gemeten in personenauto-equivalent (PAE). De keuze voor het wegprofiel is mede afhankelijk van de capaciteit ter plaatste van conflicten, bijvoorbeeld rotondes in geval van gebiedsontsluitingswegen

(CROW, 2002). Hieruit valt te concluderen dat de benodigde capaciteit locatieafhankelijk is, per project verschilt en tevens invloed heeft op het projectspecifieke in de bouwkostenraming.

De marktsituatie heeft invloed op een project. In deze sub paragraaf is onder marktsituatie innovaties en toepassing nieuwe werkmethodes verstaan. Zo worden in het laatste decennium verschillende testen uitgevoerd met oprolbaar asfalt (Reformatorisch, 2006). Een andere vorm van innovatie is het aanleggen van proefvakken op wegen. Zo zijn op verschillende locaties in Nederland testen uitgevoerd met typen asfalt. Een goed voorbeeld is een proefvak op de A18 met innovatief ZOAB. Proefvakken worden gevalideerd door ze te refereren aan een vak met regulier asfalt (Rijkswaterstaat, 2013). In samenwerking met de Universiteit Twente en het bedrijfsleven zijn er ook initiatieven om te innoveren in de asfaltindustrie. Zo wordt er onderzoek gedaan naar het versterken van de professionaliteit in de asfaltwegbouw. Hieruit is geconcludeerd dat de marktsituatie invloed heeft op de bouwkosten van een wegebouwproject. In paragraaf 3.4 is de marktwerking tussen verschillende partijen in een wegebouwproject toegelicht.

3.3.3. Conclusie projectenanalyse

Om gelijkenis in projecten te krijgen zijn er standaarden opgesteld welke voorschrijven hoe een type weg eruit hoort te zien. Echter blijft een weg onderdeel van een netwerk, waardoor conflicten plaatsvinden met andere wegen uit het netwerk. Tevens is het belangrijk dat een wegebouwproject geïntegreerd is in zijn omgeving om zo een oplossing te geven op de externe factoren. Hieruit is geconcludeerd dat zowel de weg als de inpassing van de weg in de omgeving het projectspecifieke in een bouwkostenraming bepalen. Om enige gelijkenis in projecten te krijgen zijn elementen, welke de aansluiting op de omgeving bepalen, buiten beschouwing gelaten in dit onderzoek. Aangezien deze in grote lijnen de uniciteit van een project bepalen. Door enkel de elementen welke invloed op het wegalignment hebben mee te nemen in dit onderzoek, kan er gelijkenis in projecten verkregen worden, zonder dat dit ten koste gaat het projectspecifieke. Verder valt te concluderen dat het wegalignment afhankelijk is van veel factoren en hierin verschillende werkzaamheden en materialen bij horen. Om gelijkenis in projecten te krijgen zijn onderdelen van het wegalignment afgepeld naar materiaalhoeveelheden om zo de eigenschap projectspecifiek te handhaven.

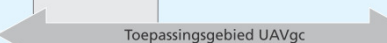
3.4. Marktanalyse

Factoren vanuit de markt waar wegebouwprojecten zich in bevinden, hebben invloed op de bouwkosten en de eigenschap projectspecifiek van een project. Hieronder is eerst de invloed van het contracteren bekeken. In het contract staan de onderdelen welke een partij dient uit te voeren voor het project, hierbij speelt ook de verdeling van verantwoordelijkheden een belangrijke rol. Vervolgens is de invloed van concurrentie tussen partijen, om een werk binnen te halen, geanalyseerd. Aansluitend is de invloed van afstemming tussen verschillende partijen in kaart gebracht. Wanneer de afstemming tussen partijen niet goed is, kan het voorkomen dat er extra kosten worden gemaakt op een project. Als laatste is de invloed van het verschil in uitgangspunten voor een raming geanalyseerd. Er is met name onderscheid gemaakt in het verschil tussen een bedrijfseconomische raming en een markteconomische raming. Deze paragraaf is afgesloten met een conclusie. Hierin is toegelicht hoe de verschillende factoren met betrekking tot marktanalyse zijn meegenomen in het onderzoek en hoe deze de bouwkosten en de eigenschap projectspecifiek beïnvloeden.

3.4.1. Contracteren

Contracteren heeft invloed op de bouwkosten van een project, zo kan de opdrachtgever tijdens een project om uiteenlopende redenen kiezen voor een type contractvorm. Echter hoort bij elke type contractvorm ook een andere verdeling van verantwoordelijkheden tussen opdrachtgever en opdrachtnemer van een project. Over het algemeen zijn de contractvormen op te delen in drie categorieën: traditioneel samenwerkingsconcept, geïntegreerd samenwerkingsconcept en raamovereenkomst. Wanneer een opdrachtgever kiest om het project volgens een traditioneel samenwerkingsconcept aan te besteden, draagt de opdrachtgever tot en met de werkvoorbereiding

of uitvoering van het werk de verantwoordelijkheden. In het geval van een geïntegreerde samenwerking, UAV-GC contracten, verschuiven verantwoordelijkheden in de ontwerpfase van de opdrachtgever naar de opdrachtnemer van een project. Zie Figuur 3.4 voor een overzicht van een verdeling van verantwoordelijkheden voor verschillende samenwerkingsconcepten.

	Traditioneel samenwerkingsconcept			(meerjaren) Onderhouds- concept	Geïntegreerd samenwerkingsconcept	
Bouwfasen	Regie	UAV/RAW	Bouwteam	Raamcontract	Design & Construct	Turnkey
Initiatief	Verantwoordelijkheid opdrachtgever					
Onderzoek						
Definitie						
Progr. van Eisen						
Voorlopig ontwerp						
Definitief ontwerp						
Uitvoeringsontwerp						
Werkvoorbereiding						
Uitvoering				Verantwoordelijkheid aannemer		
Onderhoud						
Kaders				 Toepassingsgebied UAVgc		
Aanbesteding	Aanbestedingsprocedure volgens vigerend aanbestedingsreglement-/richtlijn					
Uitvoering	UAV	UAV	RVOI/UAV	UAVgc	UAVgc	UAVgc

Figuur 3.4: Verdeling van verantwoordelijkheden voor verschillende samenwerkingsconcepten (Luiten, 2012).

De laatste jaren zijn steeds meer verantwoordelijkheden bij de opdrachtnemers van een project gelegd en is steeds vaker gekozen om een geïntegreerd samenwerkingsconcept toe te passen. Dit heeft als gevolg dat de opdrachtnemer steeds meer risico's moet dragen. Een goed voorbeeld is het project Maasvlakte-Vaanplein, een project waarop Ballast-Nedam inmiddels al meer dan 100 miljoen euro verlies heeft gedraaid (Weezel, 2015). Dit heeft er toe geleid dat Ballast-Nedam zich minder is gaan richten op grotere projecten. Er valt te concluderen dat wanneer opdrachtnemers van projecten vaker te maken krijgen met een verlies op een project, ze zich eerst gaan bedenken voordat ze scherp op een project met een geïntegreerd samenwerkingsconcept gaan inschrijven. Een uitgebreide toelichting op de verschillende contractvormen is te vinden in bijlage 3.4.

3.4.2. Concurrentie

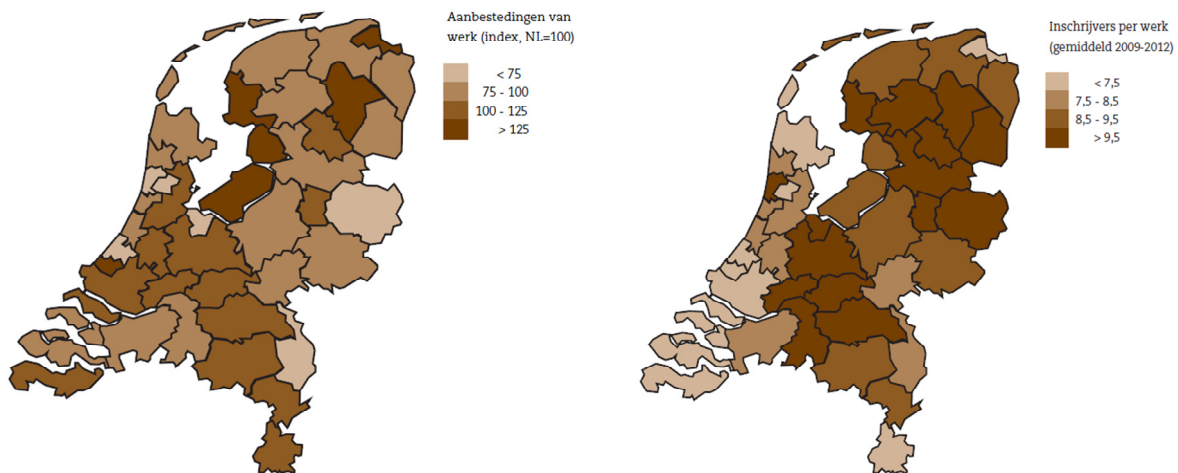
Concurrentie tussen verschillende partijen heeft invloed op de bouwkosten van een project. De mate van concurrentie kan verschillende onderliggende oorzaken hebben. De volgende oorzaken zijn hieronder behandeld: projectgrootte, projectlocatie en projectwerkzaamheden. Verder is hieronder de invloed van aanbestedingsfactoren toegelicht. Deze sub paragraaf is afgesloten met een conclusie waarin is toegelicht wat de invloed van de verschillende onderliggende oorzaken op de mate van concurrentie, bouwkosten en de eigenschap projectspecifiek is. De factoren welke van invloed zijn op de concurrentie zijn afgeleid uit de rede van (Doree, 2001).

Projectfactoren

Projectgrootte heeft invloed op de concurrentie tussen partijen om een project binnen te halen. Wanneer een partij een poging doet om een project binnen te halen moet hij zich beseffen of hij de capaciteit in huis heeft om het werk te voltooien. Regelmatig komt het voor dat partijen een combinatie met elkaar gaan vormen om een werk binnen te halen. Voordeel hiervan is dat elke partij in de combinatie zich dan vaak gaat richten op zijn specialisatie, bijvoorbeeld asfalteren, betonbouw of ontgraven. Wanneer partijen een combinatie vormen om een werk binnen te halen, gaan ze elkaar niet beconcurreren om het werk binnen te halen. Dus leidt een toename van de projectgrootte tot een afname van de concurrentie (Hardeman, 2013).

De projectlocatie heeft eveneens van invloed op de concurrentie tussen partijen om een project binnen te halen. In Figuur 3.5 is te zien wat de verdeling van het aantal inschrijvers per werk is. In dit figuur is te zien dat opdrachtgevers met name in de uithoeken van Nederland te maken hebben met gemiddeld minder inschrijvers op een werk. Echter wanneer het werkaanbod afneemt en de concurrentie toeneemt, zijn opdrachtnemers eerder bereid om de geografische grenzen te verleggen. Tevens schrijven ze dan in op werken welke niet in de buurt van hun vestiging liggen (Hardeman, 2013). Er valt te concluderen dat de hoogte van het aantal inschrijvers op een werk er

toe kan leiden dat een opdrachtgever meer betaald voor werk wanneer het gesitueerd is in een uithoek van Nederland. Zie Figuur 3.5 voor het aantal aanbestedingen per hoofd van de bevolking en het gemiddeld aantal inschrijvers per werk.



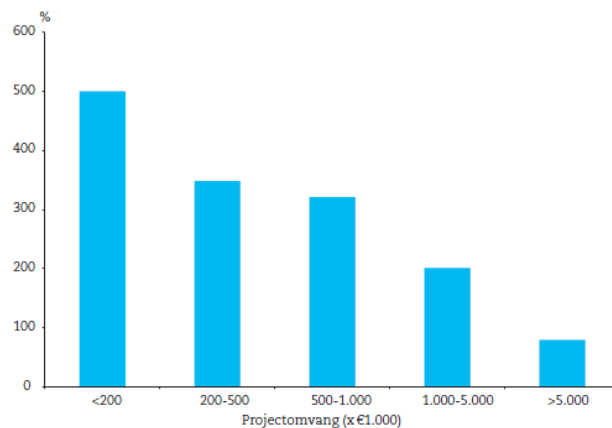
Figuur 3.5: Aanbestedingen van werk per hoofd van de bevolking en inschrijvers per werk (Hardeman, 2013).

Projectwerkzaamheden hebben invloed op de bouwkosten van een project. Wanneer een project bestaat uit werkzaamheden op meerdere vakgebieden, kan het voorkomen dat een bedrijf niet de kennis in huis heeft om de verschillende soorten werkzaamheden te realiseren. De mate van complexiteit van een project bepaald het aantal deelnemers bij een aanbesteding. Wanneer het aantal besteksposten, een graadmeter voor complexiteit, vergeleken is met de deelnamewaarschijnlijkheid, is geconcludeerd dat de deelnamewaarschijnlijkheid afneemt naarmate het aantal besteksposten toeneemt (Hardeman & Vlist, 2011). Een andere factor welke van invloed is op de type projectwerkzaamheden is de bedrijfsgrootte. Zo geven Hardeman en van der Vlist aan dat een grotere opdrachtnemer vaker zal inschrijven op verschillende typen werk.

Aanbestedingsfactoren

De wijze waarop opdrachtgevers hun werken aanbesteden, heeft invloed op de concurrentie tussen partijen om een project binnen te halen en dus invloed op bouwkosten van een project. Wanneer de opdrachtgever keuzes maakt welke invloed hebben op het aantal inschrijvende partijen, heeft dit indirect invloed op de hoogte van de bouwkosten van een project. Aangezien de inschrijfsom van de opdrachtnemer de te verwachten bouwkosten weergeeft. De wijze van aanbesteden is afhankelijk van vier belangrijke kernbegrippen: grootte, gunningcriterium, aanbestedingsprocedure en bouworganisatievorm (Hardeman, 2011).

De grootte van een project is van invloed op de concurrentie bij een aanbesteding en dus op de bouwkosten van een project. Wanneer projecten groter worden, kunnen door de aanbestedende partij, eisen worden gesteld aan omzetomvang van partijen welke inschrijven voor een aanbesteding (Hardeman, 2013). Dit leidt er toe dat met name bedrijven uit het midden en klein bedrijf worden uitgesloten van deelname aan een aanbesteding. Bij ongeveer de helft van de openbare aanbestedingen van GWW-projecten zijn eisen omtrent de omzetomvang belangrijk (Hardeman, 2013). Dit zorgt ervoor dat gemiddeld per openbare aanbesteding de helft van de bedrijven in het MKB is uitgesloten bij een aanbesteding (Hardeman, 2013). In Figuur 3.6 is de verhouding tussen omzeteisen en projectomvang te zien



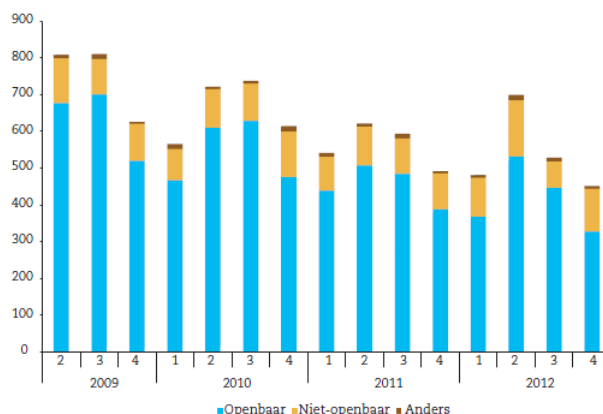
Figuur 3.6: Verhouding tussen projectomvang en omzeteisen (Hardeman, 2013).

Gunningscriterium is een van de kernbegrippen welke invloed heeft op de bouwkosten van een project. Voor de gunningscriteria is onderscheid gemaakt in gunning op basis van de laagste prijs en gunning op basis van EMVI (economisch meest voordelige inschrijving). Wanneer de projectgrootte toeneemt, zijn de gunningscriteria veelal ondergebracht in een EMVI aanbestedingsprocedure. In een EMVI aanbesteding wordt niet alleen beoordeeld op basis van de laagste prijs. Ook zijn elementen als onderhoud, duurzaamheid en andere soortgelijke criteria onder de loep genomen. Om de EMVI criteria te toetsen worden maatschappelijke kosten-batenanalyses gemaakt, waarin bijkomende aspecten zijn uitgedrukt in geld verspreid over de levensduur van een project. Over het algemeen ligt de hoogte van de inschrijving van een EMVI aanbesteding 2,7% hoger vergeleken met een inschrijving op basis van de laagste prijs (Hardeman, 2013). Echter is er vanuit gegaan dat door middel van een EMVI aanbesteding een hogere kwaliteit wordt geleverd. In Figuur 3.7 is de verdeling van aanbestedingen naar gunningscriterium te zien.

	2009	2010
Aantal aanbestedingen		
Laagste prijs	2.131	2.137
EMVI	520	510
Onbekend	14	6
Totaal	2.665	2.653
Gemiddelde omvang (x € 1 mln)		
Laagste prijs	1,1	1,1
EMVI	4,0	5,1
Totaal	1,7	1,9
Totaal volume (x € 1 mln)		
Laagste prijs	2.400	2.400
EMVI	5.300	2.800
Totaal	7.800	5.200

Figuur 3.7: Verdeling aanbestedingen naar gunningscriterium (Hardeman, 2011).

De aanbestedingsprocedure heeft invloed op de concurrentie om een werk binnen te halen. In Figuur 3.8 is weergegeven wat de verdeling tussen het aantal onderhandse aanbestedingen en het aantal openbare aanbestedingen is. Tevens is in dit figuur te zien wat de totale omvang van het aantal aanbestedingen is. Bij een niet-openbare aanbesteding is het aantal inschrijvingen beperkt tot vijf. Naarmate de werken groter zijn is het aantal inschrijvingen ook kleiner (Hardeman, 2011). Dus het aantal inschrijvingen houdt verband met de gunningscriteria en projectgrootte.



Figuur 3.8: Aantal aanbestedingen van werk per kwartaal (Hardeman, 2013).

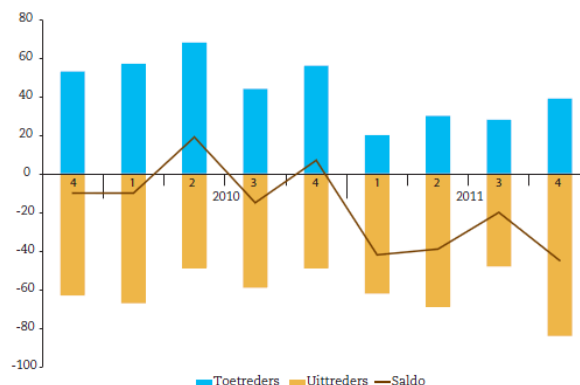
De bouworganisatievorm is eveneens een invloedrijke factor voor de bouwkosten van een project. In Figuur 3.9 is de verdeling van het aantal aanbestedingen onder de verschillende bouworganisatievormen te zien. Hieruit valt te concluderen dat de meeste aanbestedingen gericht zijn op de uitvoering. Een andere conclusie is dat met name bij grote projecten bouworganisatievormen zowel het ontwerp als uitvoering bevatten. Deze conclusie is te herleiden naar de conclusie van de contractvormen. Aangezien een toename in complexiteit leidt tot een meer geïntegreerde contractvorm (ontwerp en uitvoering).

	2009	2010
Aantal aanbestedingen		
Uitvoering	2.466	2.418
Ontwerp en uitvoering	185	226
Overig/onbekend	14	9
Totaal	2.665	2.653
Gemiddelde omvang (x € 1 mln)		
Uitvoering	1,3	1,3
Ontwerp en uitvoering	8,6	7,0
Overig/onbekend	.	.
Totaal	1,8	1,8
Totaal volume (x € 1 mln)		
Uitvoering	3.500	3.200
Ontwerp en uitvoering	4.400	1.800
Overig/onbekend	.	.
Totaal	7.900	5.000

Figuur 3.9: Verdeling aanbestedingen per bouworganisatievorm (Hardeman, 2011).

Samenwerkingsverbanden tussen opdrachtnemers hebben een verband met de projectgrootte en de uit te voeren projectwerkzaamheden. Een toegenomen complexiteit van projecten leidt er toe dat partijen meer gedwongen worden om zich gezamenlijk te organiseren, disciplines te combineren en risico's te spreiden (Leendertse, 2014). Samenwerkingsverbanden in de GWW-sector zijn met name gericht op het spreiden van risico's en niet zo zeer op het delen van kennis en kunde (Leendertse, 2014). Leendertse geeft tevens aan dat de trend naar integraalheid wel dwingt tot meer samenwerking op disciplines. Er valt te concluderen dat wanneer partijen samenwerken ze elkaar niet beconcurreren, wat leidt tot minder inschrijvingen op een project.

Vraag en aanbod op de markt heeft ook invloed op de concurrentie tussen partijen om een project binnen te halen. Inschrijfbesteden van opdrachtnemers zijn hoger wanneer een opdrachtgever beschikt over een vollere orderportefeuille (Hardeman & Vlist, 2011). Synergievoordeel is van invloed wanneer een opdrachtnemer bij dezelfde aanbestedende partij eenzelfde soort werk heeft uitgevoerd (Hardeman & Vlist, 2011). Het Rijk een groot aandeel heeft in het volume van het aantal aanbesteedde GWW-projecten (Hardeman, 2013). Hierdoor is aangenomen dat wanneer het beschikbare budget voor GWW-projecten gelijk blijft en het aantal uittrekders op de aanbestedingsmarkt af blijft nemen. Het aanbod op de markt groter zal worden vergeleken met de vraag. De Nederlandse GWW-sector kent relatief veel aanbieders en een beperkt aantal vragers (Leendertse, 2014). Zie Figuur 3.10 voor het aantal toe- en uittrekders in de GWW-sector.



Figuur 3.10: Toe- en uittreders in de GWW-sector (Hardeman, 2013).

Conclusie concurrentie

Hierboven zijn de verschillende mechanismen met betrekking tot concurrentie in kaart gebracht. Elementen welke zijn behandeld zijn de projectfactoren en aanbestedingsfactoren. Er is geconcludeerd dat de verschillende onderliggende factoren verband houden met het aantal inschrijvers op een project. Wanneer het aantal inschrijvers boven gemiddeld ligt, valt over het algemeen de inschrijfprijs lager uit dan wanneer het aantal inschrijvers onder het gemiddelde ligt. Eveneens is geconcludeerd dat concurrentie invloed heeft op de eigenschap projectspecifiek, wanneer de opdrachtnemer verantwoordelijkheid heeft over het ontwerp. Als laatste is geconcludeerd dat het Rijk en de provincies het merendeel van het budget van wegenbouwprojecten uitgeven.

3.4.3. Afstemming tussen partijen

Afstemming tussen partijen heeft invloed op de bouwkosten van een project. Een gebrekkige afstemming leidt tot hogere bouwkosten en een goed verzorgde afstemming kan de bouwkosten voor een project zelfs verlagen. Extra bouwkosten welke een gebrekkige afstemming tussen partijen als onderliggende oorzaak hebben, zijn vaak uitgedrukt in faalkosten. In Figuur 3.11 is te zien dat gebrekkige communicatie en uitwisseling van informatie volgens USP marketing consultancy de grootste veroorzaker van faalkosten is. Tevens speelt bij de andere veroorzakers van faalkosten de afstemming tussen verschillende partijen in het project een belangrijke rol. Een andere belangrijke veroorzaker van faalkosten, volgens Figuur 3.11, ligt in de keuze van de juiste contractvorm voor een project, wat aan het begin van deze paragraaf is toegelicht.



Figuur 3.11: Veroorzakers van faalkosten (consultancy, 2007).

Hieronder zijn de volgende aspecten met betrekking tot de afstemming tussen partijen toegelicht: conceptenbibliotheek, communicatie, transparantie en opdrachtinterpretatie. Het belang van een goede afstemming houdt verband met het optreden van faalkosten tijdens een project. In deze sub paragraaf zijn faalkosten extra kosten zijn kosten waar zowel de opdrachtnemer als opdrachtgever

voor opdraait. Meer- en minderwerk is het deel van de faalkosten waar de opdrachtgever voor opdraait.

De conceptenbibliotheek is een initiatief voor het definiëren van een gemeenschappelijke taal voor de gebouwde omgeving. De conceptenbibliotheek is eveneens aangestipt in de opdrachtomschrijving als een methode om projecten te ontleden tot op het gewenste detailniveau. Een conceptenbibliotheek heeft als uitgangspunt het ontwikkelen van een gestandaardiseerde taal waarmee object georiënteerde communicatie zou moeten plaatsvinden (Adriaanse, et al., 2012). Op dit moment is de conceptenbibliotheek nog volop in ontwikkeling. Het kan in de toekomst een bruikbaar middel worden om een betere afstemming tussen verschillende partijen te krijgen, en dus indirect leiden tot minder faalkosten.

Communicatie is een van de veroorzakers van faalkosten. Faalkosten door communicatie ontstaan wanneer de verschillende actoren in het bouwproces langs elkaar heen werken, waar met name sprake van is in een traditioneel proces (Daemen & Wall, 2010). Daemen en van de Wall stellen dat een optimale uitkomst van een project wordt bereikt wanneer alle betrokken partijen op basis van gelijkwaardigheid aan het proces deelnemen. Daarom moet een project worden gezien als een gezamenlijk probleem dat ook samen moet worden opgelost.

Transparantie kan van invloed zijn op de hoogte van bouwkosten van een project. Zo stellen Graafland e.a. in 2005 dat transparantie een noodzakelijke voorwaarde is voor een goede marktwerking en innovatie. Verder stellen ze dat transparantie leidt tot een betere vergelijking tussen goede en slechte aanbiedingen. Transparantie staat in verband met gegevensuitwisseling. Zo vormt de invloed van asymmetrische informatie, wat ontstaat tijdens gebrekkige informatieoverdracht tussen verschillende partijen, een belangrijke oorzaak van marktfalen (Koning & Elp, 2011). Marktfalen leidt vervolgens weer tot faalkosten welke oorzaak zijn van het hoger uitvallen van de bouwkosten. Een oplossing voor het verbeteren van gegevensuitwisseling ligt volgens Koning en van Elp bij het leggen van meer verantwoordelijkheden bij degene welke verantwoordelijk zijn voor de informatieoverdracht tussen verschillende partijen.

Naarmate de projecten complexer zijn, is de invloed van een goede opdrachtinterpretatie tussen partijen steeds belangrijker. Wanneer de opdrachtinterpretatie niet goed of gebrekkig is, leidt dit tot onnodig extra bouwkosten. Om de opdrachtinterpretatie tussen de verschillende partijen te bevorderen, kan een keus worden gemaakt om een concurrentiegericht dialogo op te zetten tijdens een aanbesteding (Nagelkerke, et al., 2009). Het doel van een concurrentiegericht dialogo is het verzorgen van een optimale afstemming van vraag en aanbod. Door tijdens een dialogo alle aspecten van de opdracht te bespreken (Nagelkerke, et al., 2009). Hierdoor krijgen opdrachtnemers een beter inzicht in het project en welke stappen genomen moeten worden om het project te voltooien. Na afloop van de concurrentiegericht dialogo nodigt de aanbestedende partij de gegadigden uit om een inschrijving op het project te doen (Nagelkerke, et al., 2009).

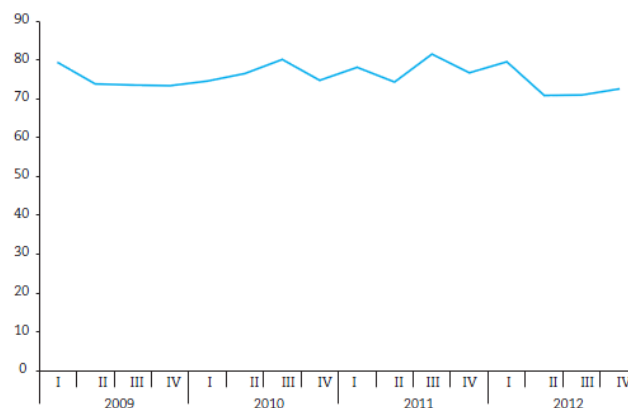
De winner's curse is het fenomeen dat een winnaar van de aanbesteding, door niet onderbouwde inschattingen, een verkeerde weergave van de te verrichten werkzaamheden heeft gemaakt. Hierdoor kan het voorkomen dat de aanbestedende partij onbedoeld verlies maakt op een project (Thaler, 1988). The winner's curse kent twee versies. De eerste is dat de winnaar van de aanbesteding lager heeft ingeschreven dan de waarde van de werkzaamheden. Waardoor de winnaar van de aanbesteding onbedoeld verlies maakt op een project (Thaler, 1988). Een andere variant is dat de werkelijke waarde van de werkzaamheden voor het project verkeerd is ingeschat door de aanbestedende partij (Thaler, 1988). In geval van de tweede variant valt te concluderen dat dit samengaat met het optreden van meer- en minderwerk gedurende een project.

De winner's curse is in veel gevallen te herkennen aan een abnormaal lage inschrijving op een project. Wanneer zich een gebeurtenis voordoet met een abnormaal lage inschrijving is het, met name bij de geïntegreerde contractvormen, lastig te bepalen of een inschrijvende partij bewust of onbewust lager heeft ingeschreven (Megremis, 2013). Gevolg van een abnormaal lage inschrijving is dat bijvoorbeeld de kwaliteit van een project onder druk komt te staan. Hierdoor kan de opdrachtnemer bijvoorbeeld aandringen om opnieuw te onderhandelen over de inschrijfsom gedurende de uitvoering (Megremis, 2013). Een bijkomend gevolg kan zijn dat de bouwkosten van

een project enorm op gaan lopen. Een oplossing is dat de aanbestedende partij de opdrachtnemer vraagt zijn inschrijving te onderbouwen. Waarna beoordeeld kan worden of de opdrachtnemer bewust of onbewust lager heeft ingeschreven (Megremis, 2013).

3.4.4. Verschil in uitgangspunten voor een raming

Verschil in uitgangspunten voor een raming heeft invloed op de bouwkosten van een project. Waar de opdrachtgever uit een bedrijfseconomisch oogpunt raamt, raamt de opdrachtnemer vanuit een markteconomisch oogpunt. Dit verschil in uitgangspunten resulteert over het algemeen in een hogere kostenraming van de opdrachtgever en een lagere kostenraming (inschrijving aanbesteding) van de opdrachtnemer. In Figuur 3.12 is te zien dat gemiddeld genomen de winnende inschrijfsom bij een openbare aanbesteding 70% tot 80% van de hoogte van de bouwsom van de raming van de opdrachtgever bevat. Dit verschil ligt met name in het verschil in uitgangspunten voor een raming. Daarom is hieronder toegelicht wat de invloed van een verschil in uitgangspunten op de hoogte van een kostenraming is. Hierin zijn invloedrijke factoren: prijspeil, indexering, marktwerking, marktsituatie, productinnovaties en eigenschappen, en meer- en minderwerk.



Figuur 3.12: Inschrijving opdrachtnemer vergeleken met raming van opdrachtgever (Hardeman, 2013).

Bedrijfseconomische raming

Het uitgangspunt van een bedrijfseconomische raming is als volgt gedefinieerd: de bedrijfseconomische raming is een raming van kosten die via het principe van de integrale kostprijs tot stand komt en rekening houdt met een bijdrage ten behoeve van een rendabele bedrijfsvoering (CROW, 2010). Dit betekent dat in een bedrijfseconomische raming geen marktwerking is meegenomen.

Het prijspeil speelt een belangrijke factor in een bedrijfseconomische raming. Omdat een bedrijfseconomische raming op basis van kostenkengetallen, normen en prijzen wordt opgesteld, is het belangrijk een prijspeil te vermelden (CROW, 2010). Aangezien de kostenkengetallen, normen en prijzen onderhevig zijn aan veranderingen. Belangrijk is dat alle kostenkengetallen, normen en prijzen hetzelfde prijspeil in de raming hebben.

De invloed van indexering hangt samen met het prijspeil van de raming. Afhankelijk van het prijspeil en de tijdsduur van het project, wordt de mate van prijsindexatie bepaald. Indexcijfers zijn historisch bepaald en geven de relatieve waarde van de kosten aan op een bepaalde datum (CROW, 2010). Daarom is het ook belangrijk om een prijspeil aan te geven op de kostenraming. Door de indexcijfers behorende bij de gewenste datum en de oorspronkelijke datum op elkaar te delen, kan het actuele prijsniveau worden berekend (CROW, 2010). Er zijn verschillende bronnen van indexcijfers. De meeste producenten van indexcijfers gebruiken een aantal referentieprojecten om tot indexcijfers te komen (CROW, 2010). De indexcijfers bestaan veelal uit een loon-, materiaal- en een materieelcomponent. Echter kleven aan elk indexcijfer wel nadelen welke invloed hebben op de nauwkeurigheid van de indexering van prijzen voor de GWW-sector (CROW, 2010). Zo concludeert Gesink in 2014 dat door het gebruik van indexcijfers, niet altijd de juiste weergave van een project wordt weergegeven. Hierdoor is mogelijk extra geld nodig voor projecten (Gesink, 2014).

In een bedrijfseconomische raming is het belangrijk dat het effect van marktwerkende effecten niet wordt meegenomen. Omdat het in vroege projectfasen niet mogelijk is om een betrouwbare inschatting van de marktwerving tijdens de toekomstige aanbestedingen van het project te maken (CROW, 2010). De bedrijfseconomische raming is ervoor om een raming op te stellen op basis van de kostprijs van een gemiddelde opdrachtnemer met gemiddelde prijzen (CROW, 2010).

De marktsituatie is een van de factoren welke invloed uitoefenen op een bedrijfseconomische raming. Echter is de invloed van marktsituatie niet meegenomen in een bedrijfseconomische raming. Er valt wel te concluderen dat door het aannemen van de kostprijs van de gemiddelde opdrachtnemer op basis van de gemiddelde prijs. De marktsituatie gedeeltelijk wordt meegenomen in een bedrijfseconomische raming.

Prijzen en indexcijfers zijn mede gebaseerd op productinnovaties en eigenschappen van aannemers. Dit is weer te zien in de verschillende prijscomponenten als materiaal, materieel en loon. Leendertse geeft in 2014 aan dat opdrachtnemers zichzelf met productinnovaties op zeer korte termijn kunnen differentiëren. Maar dat door het netwerksysteem van de GWW-sector het voordeel van productinnovatie enkele projecten later alweer achterhaald is. Op basis van deze waarneming valt te concluderen dat innovaties en bijhorende productiesnelheden van een opdrachtnemer snel door de markt overgenomen worden. Hieruit is geconcludeerd dat de gemiddelde prijs van de gemiddelde opdrachtnemer de invloed van productinnovaties weet te dekken.

De invloed van meerwerk wordt niet benoemd in een bedrijfseconomische raming. Zoals hierboven is uitgelegd kan een opdrachtnemer abnormaal laag inschrijven op een project als degene meerwerk heeft geïdentificeerd (Megremis, 2013). Omdat de opdrachtgever een belangrijke rol vervult in het opstellen van de opdrachtoomschrijving, kan het zijn dat hij mogelijke onvolkomenheden in zijn omschrijving niet ziet. Dit houdt tevens verband met het probleem van optimistische vooringenomenheid van Flyvbjerg. Wanneer een opdrachtgever niet instaat is om een objectieve weergave van zijn opdrachtoomschrijving te weergeven doordat hij diep in het project zit.

Markteconomische raming

Het uitgangspunt van een opdrachtnemer om in te schrijven op een project, is om door middel van omzet winst te halen uit een project (Leendertse, 2014). Het hoeft niet zo te zijn dat een partij welke het project uit gaat voeren winst maakt op een werk. Het kan zijn dat het gefactureerde bedrag aan de opdrachtgever lager is dan de bouwkosten welke een partij heeft gemaakt om het werk uit te voeren. In het geval van een markteconomische raming is uitgegaan van de inschrijfsom van de opdrachtnemer.

Het prijspeil in een markteconomische raming is niet belangrijk. Opdrachtnemers kopen scherp in bij onderaannemers en leveranciers. Waarbij ze contractuele afspraken maken over de prijs en de hoeveelheid welke de leverancier levert, hierin speelt het prijspeil een ondergeschikte rol. De prijs van een levering of dienst wordt bepaald door het onderhandelen tussen de leverancier en opdrachtnemer, wat in veel gevallen gedaan wordt op basis van de laagste prijs (Bemelmans, 2012). Echter concludeert Bemelmans dat opdrachtnemers steeds meer afhankelijk worden van hun leveranciers. Waardoor in de toekomst steeds meer focus gelegd zal worden op innovatie, duurzaamheid en snelheid. Dit zijn eveneens de factoren welke Rijkswaterstaat door middel van EMVI criteria proberen te benadrukken. Doordat het prijspeil in een markteconomische raming van ondergeschikt belang is, is het ook niet nodig om de prijzen te indexeren. Hieruit valt te concluderen dat de opdrachtnemer de prijs uit het contract als basis gebruikt voor de inschrijving.

In een markteconomische raming is het effect van de marktwerving meegenomen. De factoren welke van invloed zijn op de marktwerving van een project zijn reeds in paragraaf 3.4.2 behandeld. Opvallend is dat de grote bouwbedrijven tot 2012 vrijwel allemaal inzetten op omzetvergroting in het marktsegment van de grote integrale projecten (Leendertse, 2014). Iedereen zit te vissen in dezelfde vijver, concurrentie kan hierdoor alleen plaatsvinden door scherper en lager te prijzen (Leendertse, 2014). Gevolg hiervan is dat er vanzelf bedrijven aan onderdoor gaan en hun strategie langzamerhand verschuiven, zoals Ballast Nedam (Weezel, 2015).

In de GWW-sector is sprake van een beperkt aantal klanten met veelal een eigen marktbeleid. De afhankelijkheid van de markt van een beperkt aantal klanten veroorzaakt een relatief grote onderhandelingsmacht bij die klanten, welke bepalend is voor de strategie van de partijen (Leendertse, 2014). Door het beperkte aantal opdrachtgevers wordt er veelal gespecificeerd in detail wat, in combinatie met concurrentie, leidt tot prijsconcurrentie in plaats van onderscheid in kwaliteit (Leendertse, 2014). De tendens is dat projecten steeds meer integraal worden, een hoger risicoprofiel hebben en meer financiering door de markt vragen. Hierdoor is een steeds beperkter aantal bedrijven instaat om deze projecten uit te voeren (Leendertse, 2014). Een goed voorbeeld is de A15 Maasvlakte-Vaanplein wat Ballast-Nedam heeft doen besluiten zich minder te richten op projecten van vergelijkbare omvang (Weezel, 2015).

De invloed van productinnovaties en eigenschappen zijn in een markteconomische raming meer van invloed vergeleken met een bedrijfseconomische raming. Dit komt omdat een opdrachtnemer zijn raming aanpast op de productinnovaties en eigenschappen welke binnen zijn bedrijf aanwezig zijn. Echter valt te concluderen dat in een markt waar de marges klein zijn en voornamelijk geconcentreerd wordt op prijs, weinig innovaties plaatsvinden (Leendertse, 2014). Leendertse concludeert eveneens dat de marktstrategie is gericht op het genereren van omzet. Waardoor de mate van creativiteit en onderscheidend vermogen van een bedrijf ondergeschikt worden. Ook door de marktstructuur valt er weinig voordeel met productinnovaties te behalen (Leendertse, 2014).

Meer- en minderwerk speelt een belangrijke rol in een markteconomische raming. Wanneer de opdrachtnemer meerwerk in een contract heeft geconstateerd, kan hij besluiten om lager in te schrijven op het project. Omdat de opdrachtnemer weet dat hij op meerwerk mogelijk veel winst kan behalen (Megremis, 2013). De identificatie van meerwerk kan op deze wijze samenhangen met een abnormaal lage inschrijving. Omdat een abnormaal lage inschrijving niet alleen een verkeerde opdrachtinterpretatie als onderliggend gevolg hoeft te hebben. Maar dat dit ook kan liggen in besteksfouten van de opdrachtgever (Megremis, 2013).

Conclusie verschil in uitgangspunten voor een raming

Hierboven is het verschil tussen een bedrijfseconomische raming en een markteconomische raming in kaart gebracht. Als eerste is geconcludeerd dat een markteconomische raming onderhevig is aan marktwerking en een bedrijfseconomische raming niet. Doordat marktwerking erg grillig kan zijn is het inschatten van marktwerking in de vroege projectfase niet mogelijk en te risicovol. Daarom is met een bedrijfseconomische raming getracht om enige stabiliteit in een raming te krijgen. Door uit te gaan van een integrale kostprijs waarmee een rendabele bedrijfsvoering gevoerd kan worden. Dit verklaard ook meteen het verschil in uitgangspunten en het verschil in Figuur 3.12. Waar in een bedrijfseconomische raming marktwerking uitgesloten wordt, is dit juist het belangrijkste element voor een markteconomische raming. Dit resulteert in lage inschrijvingen door concurrentie tussen bedrijven of in lage inschrijvingen doordat opdrachtnemer mogelijkheden ziet voor meerwerk. Een laatste conclusie is dat in een bedrijfseconomische raming de werkelijkheid wordt benaderd op basis van eenheidsprijzen van opdrachtnemers uit referentieprojecten.

3.4.5. Conclusie marktanalyse

In deze paragraaf zijn verschillende marktinvoeden in kaart gebracht. Invloeden vanuit de markt spelen een belangrijke rol in de hoogte van de bouwkosten. Als eerste is geconcludeerd dat de opdrachtgever zijn project moet afstemmen op een type contractvorm, om zodoende een zo optimaal resultaat en kwaliteit uit een project te halen. Echter wanneer een contractvorm van een project meer geïntegreerd wordt, is dit ook van invloed op de concurrentie om een project binnen te halen. Het kan voorkomen dat inschrijvers uit worden gesloten om deel te nemen aan de inschrijving. Het aantal deelnemers bij een aanbesteding heeft indirect invloed op de hoogte van de inschrijfsom en dus ook de bouwkosten van een project. Het hoeft niet zo te zijn dat de hoogte van de bouwkosten van invloed is op het projectspecifieke. Er is alleen sprake van invloed op het projectspecifieke vanuit de markt wanneer de opdrachtnemer verantwoordelijkheden heeft voor het ontwerp. Verantwoordelijken voor het ontwerp aan de opdrachtnemer kunnen leiden tot een

innovatiever en goedkoper ontwerp. Het ontwerp heeft directe invloed op de hoeveelheden en dus op het projectspecifieke. De overige factoren hebben geen invloed op de hoeveelheden van een project en dus geen invloed op het projectspecifieke van een raming.

3.5. Conclusie onderzoeksdoelanalyse

In dit hoofdstuk is het onderzoeksdoel van meerdere kanten belicht en zijn factoren welke van invloed kunnen zijn op dit onderzoek geïdentificeerd. Het doel van dit hoofdstuk is om te identificeren welke factoren van invloed zijn op de eigenschap projectspecifiek. Op basis van deze analyse kan gedeeltelijk antwoord worden gegeven op de tweede deelvraag.

Deelvraag 2

Welke informatie dient een model te bevatten om deze bruikbaar te maken voor het ramen op basis van functionaliteit voor het inschatten van kosten?

Als eerste dient het model informatie te bevatten over bouwkosten, deze zijn geïdentificeerd als de meest interessante kostencategorie van een projectraming. **Wanneer deze kosten verder ontleed zijn, blijkt dat de hoeveelheden de basis zijn voor de directe bouwkosten.** In de huidige situatie liggen aan deze hoeveelheden gedetailleerde ontwerpen ten grondslag. Hieruit is geconcludeerd dat de directe bouwkosten belangrijk zijn voor het projectspecifieke van een raming. Indirecte bouwkosten en directe bouwkosten nader te detailleren worden in de vroege projectfase uitgedrukt in percentages welke bij op de directe bouwkosten worden gevoegd. Hieruit is geconcludeerd dat de indirecte bouwkosten en nader te detailleren geen invloed hebben op het projectspecifieke.

Een andere conclusie is dat over het project heen verschillende partijen invloed hebben op een project, deze partijen hebben allen verschillende belangen. Wanneer een verschuiving van verantwoordelijkheden van opdrachtgever naar opdrachtnemer plaatsvindt, komt de invloed van belangen aan het licht. **Om de verschillende belangen in kaart te brengen moet het model informatie bevatten over bouwkosten van meerdere projectfasen.** Om het model toe te passen op meerdere projecten moet enige gelijkenis in het model worden opgenomen. **Hierin is onderscheid gemaakt in projectspecifieke bouwkosten en niet projectspecifieke bouwkosten.** In de projectenanalyse is gebleken dat met name de integratie van het wegenbouwproject in de omgeving de mate van uniciteit van een project bepaald. **Hierdoor is besloten om enkel de elementen welke invloed hebben op het wegalignment mee te nemen in het onderzoek.** Als laatste is gebleken dat het Rijk en de provincies het merendeel van het budget voor wegeninfrastructuur tot hun beschikking hebben. **Daarom richt dit onderzoek zich op bouwkosten van wegenbouwprojecten waarvan het Rijk of de provincie opdrachtgever is.**

4. Modelstructuur

In dit hoofdstuk is de modelstructuur vastgesteld, de modelstructuur is gebaseerd op hoofdstuk 2 en 3. In hoofdstuk 2 is bepaald welke eigenschappen het probleem van kostenoverschrijdingen op kunnen lossen. In hoofdstuk 3 is bepaald welke informatie benodigd is en van welk onderdeel het interessant om de kostenoverschrijdingen op te lossen. Aan de hand van conclusies uit hoofdstuk 2 en 3 is in dit hoofdstuk de modelstructuur bepaald. Met als doel het model zodanig in te richten dat het mogelijk is om functionaliteitgericht te ramen op basis van een outside view. In Tabel 4.1 zijn de conclusies uit hoofdstuk 2 en hoofdstuk 3 tegenover elkaar gezet.

Tabel 4.1: Conclusies uit hoofdstuk 2 en hoofdstuk 3.

Eigenschap	Conclusie Literatuuranalyse	Conclusie onderzoeksdoelanalyse
Projectspecifiek	Inside view	Hoeveelheden
Werkelijkheid	Neuraal netwerk	Gelijkenis in projecten, eenheidsprijzen
Niet-Projectspecifiek	RCF	Indirecte bouwkosten, risico's
Outside view	Neuraal netwerk, RCF	Doel van het model

Wanneer de conclusies tegenover elkaar zijn gezet, blijkt dat de hoeveelheden het projectspecifieke van een kostenraming bepalen. Verder blijkt dat gelijkenis in projecten de basis is om de werkelijkheid te benaderen en dat deze werkelijkheid het beste te benaderen is met een neuraal netwerk. Tevens blijkt dat indirecte bouwkosten en directe bouwkosten nader te detailleren in een bouwkostenraming bepaald zijn met een percentage. Dit kan worden gezien als niet projectspecifiek. De eigenschap niet-projectspecifiek is het beste in kaart te brengen met de RCF methode. De laatste eigenschap outside view is gezien als het doel van het model. In dit hoofdstuk is onderscheid gemaakt in de verschillende eigenschappen. Hierin moet als eerste projectspecifiek verkregen zijn alvorens de werkelijkheid is gegenereerd. Vervolgens is de eigenschap niet-projectspecifiek toegevoegd. Een overzicht van het complete model is te vinden in bijlage 4.1. Dit hoofdstuk is afgesloten met een conclusie, waarin tevens de tweede deelvraag is beantwoord.

Introductie

**Opstellen
model**

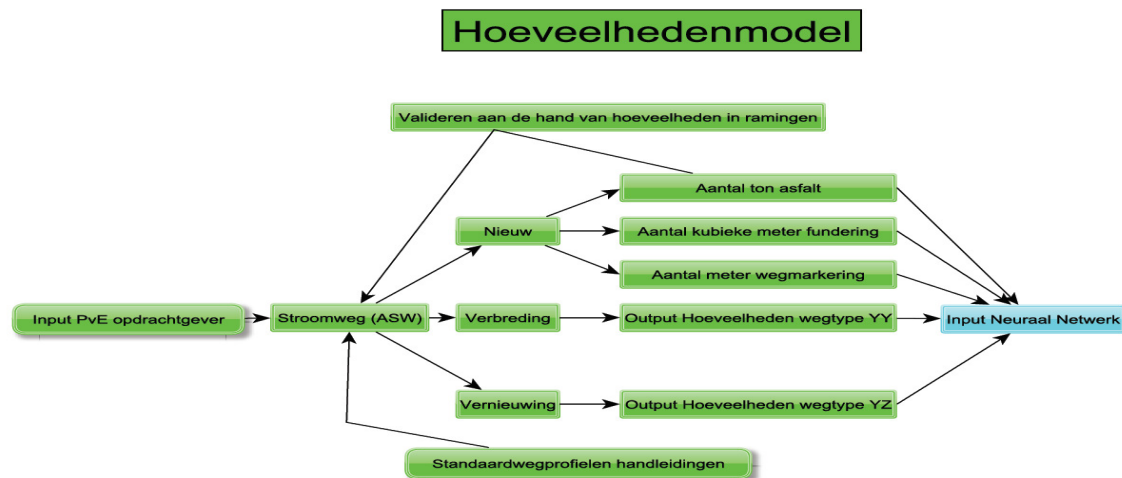
Data
collectie

- Literatuuranalyse & Onderzoeksdoelanalyse
- Vaststellen modelstructuur
- Welke informatie dient een model te bevatten om deze bruikbaar te maken voor het ramen op basis van functionaliteit voor het inschatten van kosten?

4.1. Projectspectief

De eerste eigenschap voor de modelstructuur is projectspectief. Zoals in Tabel 4.1 staat bepalen hoeveelheden het projectspectief van het model. Op dit moment worden hoeveelheden bepaald op basis van gedetailleerde ontwerpen, zie hoofdstuk 2.2. Normen en richtlijnen van Rijkswaterstaat en het CROW liggen samen met de wensen van de opdrachtgever ten grondslag aan deze ontwerpen. Daarom is een model opgesteld waarin de hoeveelheden op basis van de normen en richtlijnen zijn bepaald, zonder dat hier een ontwerp voor nodig is. In hoofdstuk 3.4.2 is gebleken dat het Rijk en de provincie het merendeel van het budget voor wegenbouwprojecten tot hun beschikking hebben. Hierdoor is enkel gekeken naar wegtypen welke in het beheer zijn van het Rijk en de provincies. Dit zijn de nationale stroomwegen, regionale stroomwegen en gebiedsontsluitingswegen (CROW, 2002). Verder is in hoofdstuk 3.3 aangegeven dat er een verschil bestaat in projectwerkzaamheden en dat

onderscheid kan worden gemaakt in nieuw aan te leggen wegen, te verbreden wegen, wegreconstructie en wegonderhoud. In hoofdstuk 3.3.3 is aangegeven dat in dit onderzoek enkel de onderdelen welke van invloed zijn op het wegalignment zijn meegenomen. Deze onderdelen zijn afgepeld tot op hoeveelheidenniveau om zo gelijkenis in projecten en de eigenschap projectspecifiek te verkrijgen. Dit heeft geleid tot een hoeveelhedenmodel, welke in Figuur 4.1 te zien is.



Figuur 4.1: Hoeveelhedenmodel.

De opbouw van het model en hoe hierin de hoeveelheden zijn bepaald op basis van een outside view, is hieronder verder toegelicht.

4.1.1. Input model

Zoals aangegeven zijn er verschillende normen en richtlijnen in de wegenbouw. Voor het inrichten van het model zijn deze normen en richtlijnen geanalyseerd en geïntegreerd in een functioneel model. Waaruit hoeveelheden voor een wegprofiel worden gegenereerd. Het uitgangspunt voor welke fase dit model van toepassing is, is de vroege projectfase. Waar nog geen ontwerp voor het project beschikbaar is. Dit heeft invloed op het detailniveau waarop hoeveelheden worden bepaald. Zo is het bijvoorbeeld in de vroege projectfases niet nodig om hoeveelheden te genereren op het detailniveau van de uitvoeringsfase. Op basis van de normen en richtlijnen van het CROW en Rijkswaterstaat zijn oppervlaktes voor het dwarsprofiel bepaald. Waaraan vervolgens hoeveelheden zijn gekoppeld, welke zijn weergegeven in VBW asfalt. Het is de bedoeling dat voor een nieuw project de hoeveelheden worden bepaald zonder dat hier een ontwerp voor nodig is. Deze hoeveelheden worden bepaald aan de hand van de normen en richtlijnen in combinatie met de wensen van de opdrachtgever.

4.1.2. Inrichten model

Het model is ingericht aan de hand van normen en richtlijnen van het CROW en Rijkswaterstaat. In hoofdstuk 3.3 is aangegeven dat een wegenbouwproject uit verschillende werkzaamheden bestaat en dat onderscheid kan worden gemaakt tussen een nieuw aan te leggen weg, een verbreding van de weg, wegreconstructie en wegonderhoud. Op basis van deze uitgangspunten is een functieboom gemaakt waarin de verschillende wegtypen zijn ontleed. Zie bijlage 4.2. voor de functieboom en bijlage 4.3. voor de breedte van de ontwerpelementen..

Aan de hand van bovengenoemde bijlagen is het hoeveelhedenmodel ingericht. In deze bijlage is als eerste onderscheid gemaakt tussen de verschillende wegtypen: nationale stroomweg, regionale stroomweg en gebiedsontsluitingsweg. Vervolgens is bepaald of het een nieuw aan te leggen weg, een verbreding of wegonderhoud/wegreconstructie is. Hierna is onderscheid gemaakt in het aantal rijstroken, waarna vervolgens de conflicten zijn ontleed. Voor de conflicten is onderscheid gemaakt in gelijkvloerse en ongelijkvloerse kruisingen waaraan vervolgens oplossingen zijn gekoppeld. Als laatste zijn aanvullende eisen aan het model toegevoegd, waarin onderscheid is gemaakt in gebiedseisen, geluidseisen en grondsoorten voor een desbetreffend project. Wanneer de functies

van de weg zijn ontleed en de aanvullende eisen zijn toegevoegd, kunnen hoeveelheden worden vastgesteld. Deze hoeveelheden worden mede bepaald volgens het VBW asfalt, waarin standaard wegoebouw weergaven staan.

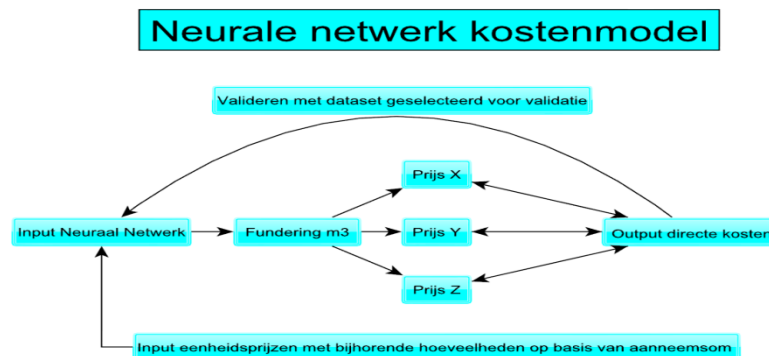
4.1.3. Conclusie projectspecifiek

Wanneer het model is ingericht, volgen hieruit hoeveelheden. Deze hoeveelheden zijn de output van het hoeveelhedenmodel en zijn de input voor het neurale netwerk kostenmodel. Waarin vervolgens prijzen aan de hoeveelheden worden gekoppeld. In de output is onderscheid gemaakt tussen verschillende materialen als bijvoorbeeld aanbrengen van asfalt of verwijderen van asfalt. Voor het bepalen van de eenheden voor hoeveelheden is gekeken naar hoe de eenheden van hoeveelheden functioneel worden bepaald voor meerdere projecten. Aangezien meerdere opties mogelijk zijn voor de opbouw van de weg. Denk hier bijvoorbeeld aan kubieke meters grond in plaats van vierkante meters grond.

Een belangrijke stap is het valideren van het model. Het hoeveelheden model is gevalideerd aan de hoeveelheden uit ramingen. Binnen Witteveen+Bos zijn enkele ramingen voor wegenbouwprojecten opgesteld op basis van standaard dwarsprofielen. Deze ramingen zijn gebruikt om het hoeveelheden model te toetsen. Het bereik waarin deze hoeveelheden mogen vallen is afhankelijk van het percentage van nader te detailleren kosten, voor de vroege projectfase. Aangezien de directe kosten nader te detailleren een soort ontwerp onzekerheidsreserve bij op de gemaakte raming is. Dit is in hoofdstuk 5 en 6 verder toegelicht.

4.2. Werkelijkheid

De tweede eigenschap in het model is werkelijkheid. Het doel van werkelijkheid is het weergeven van het actuele prijsniveau van eenheidsprijzen voor verschillende hoeveelheden materialen. Het tweede model is benoemd als het neurale netwerk kostenmodel. Als eerste is onderscheid in de input voor dit model. De input voor dit model bestaat uit de input van hoeveelheden uit het hoeveelhedenmodel en input van eenheidsprijzen met bijhorende hoeveelheden. Hieronder is toegelicht hoe het model is ingericht. Waarna is aangegeven hoe het model is gevalideerd. In Figuur 4.2 is een weergave van het neurale netwerk kostenmodel te zien.



Figuur 4.2: Neurale netwerk kostenmodel.

4.2.1. Input model

Voordat het neurale netwerk kostenmodel in gebruik wordt genomen, is input nodig welke hieronder is weergegeven.

- Hoeveelheden met eenheidsprijzen uit inschrijfstaten van opdrachtnemers
- Hoeveelheden met eenheidsprijzen uit ramingen van opdrachtgevers
- Hoeveelheden uit hoeveelhedenmodel

Om het model op te zetten zijn hoeveelheden met eenheidsprijzen van inschrijfstaten opdrachtnemers nodig. Ook zijn hoeveelheden met eenheidsprijzen uit de ramingen van opdrachtgevers nodig. Op basis van hoeveelheden met eenheidsprijzen uit inschrijfstaten is met de

eenheidsprijs voor dezelfde hoeveelheid in de raming in kaart gebracht. Om de werkelijkheid te benaderen is hiervoor een zekere dataset benodigd van hoeveelheden bestaande uit dezelfde materiaalsoort of activiteit.

4.2.2. Inrichten model

Het neurale netwerk kostenmodel is inricht door middel van een vergelijking tussen eenheidsprijzen met hoeveelheden uit inschrijfstaten en ramingen. Aan de hand van deze vergelijking is de relatie tussen de eenheidsprijs in de inschrijfstaat en de eenheidsprijs in de raming in kaart gebracht. Belangrijk hierin is dat de hoeveelheden dezelfde eenheid bevat als de output van het hoeveelhedenmodel. Om zo het hoeveelhedenmodel aan te laten sluiten op het neurale netwerk kostenmodel.

In hoofdstuk 2.3.3 is aangegeven dat er verschillende neurale netwerken zijn, de meest toegepaste neurale netwerken zijn toegelicht in bijlage 2.3. Hieruit blijkt dat het Multiple Linear Perceptron (MLP) netwerk het meest toegepast is. Daarom is gekozen om het neurale netwerk kostenmodel op te stellen met een MLP netwerk. Het trainen van het neurale netwerk kostenmodel is een belangrijke stap voor het inrichten van het model. Uit bijlage 2.3. is gebleken dat het Back Propagation Gradient Descent (BPGD) netwerk hiervoor het meest geschikt is. Belangrijk voor het trainen van het neurale netwerk is dat de data welke is gebruikt voor het opzetten van het model niet gebruikt wordt voor de training van het model.

Voor het neurale netwerk kostenmodel is het belangrijk dat er voldoende data beschikbaar is om het model op te zetten. Het kan voorkomen dat niet van elk materiaal voldoende data beschikbaar is, of de data mogelijk niet helemaal compleet is. Daarom is gekozen om van een aantal materialen, waarvan voldoende data beschikbaar is, het neurale netwerk kostenmodel op toe te passen. Om aan te tonen dat het neurale netwerk kostenmodel in staat is de werkelijkheid te benaderen.

4.2.3. Conclusie werkelijkheid

De output van het neurale netwerk kostenmodel bestaat uit een hoeveelheid waaraan een eenheidsprijs is gekoppeld. De output van de verschillende materialen leidt tot de directe bouwkosten van het project en kan vervolgens als input worden gebruikt voor het RCF model. In dit neurale netwerk is de relatie tussen een eenheidsprijs in de inschrijfstaat en raming in kaart gebracht, om zo een betere weergave van de werkelijkheid te genereren. Dit in vergelijking met de weergave van de huidige eenheidsprijzen in ramingen van opdrachtgevers. Daarom zijn resultaten uit het neurale netwerk kostenmodel vergeleken met eenheidsprijzen in ramingen van opdrachtgevers.

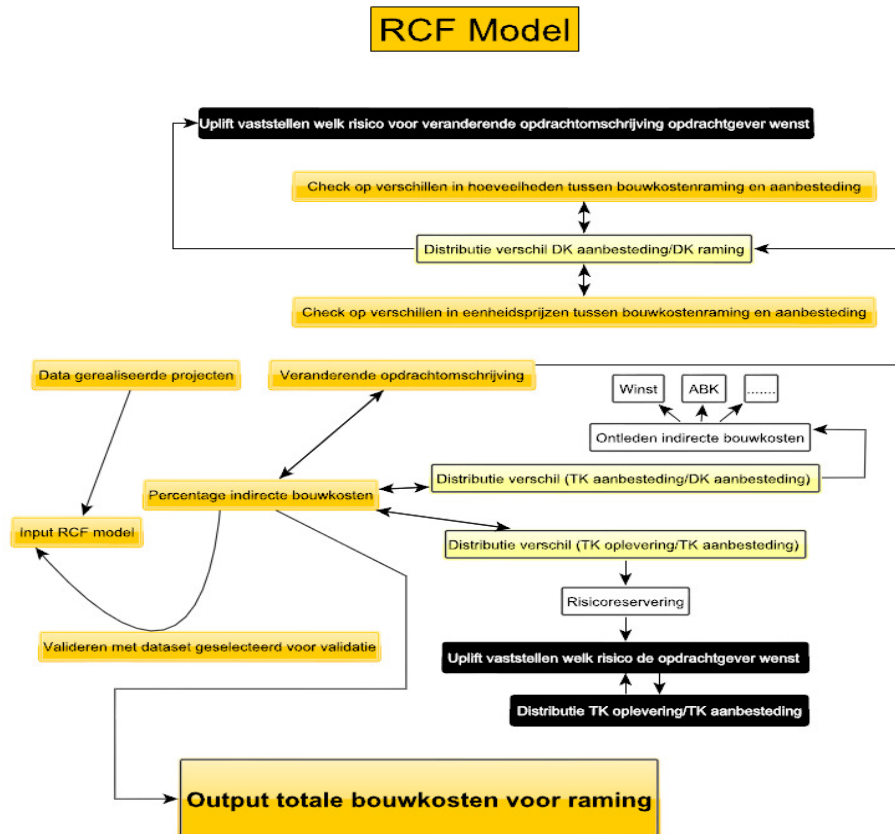
In hoofdstuk 2.3.3 is aangegeven dat een gevaar van een neurale netwerk is dat het zijn eigen informatie gaat over-trainen. Hierdoor kan het voorkomen dat er geen betrouwbare resultaten volgen uit het neurale netwerk. Tevens is in hoofdstuk 2.3.3 aangegeven dat van het trainingsproces van een neurale netwerk geen informatie beschikbaar is. Daarom is validatie van het neurale netwerk kostenmodel belangrijk. Het valideren van het neurale netwerk kostenmodel is gedaan met een regressiemodel. Door sequentieel aan het neurale netwerk kostenmodel een regressiemodel op te zetten, is gekeken of het neurale netwerk kostenmodel betrouwbare resultaten geeft.

4.3. Niet-projectspecifiek

Als laatste is de eigenschap niet-projectspecifiek in het model in kaart gebracht. De eigenschap niet-projectspecifiek is in kaart gebracht in het RCF model. In hoofdstuk 3.2 is aangegeven dat de niet-projectspecifieke bouwkosten in de vroege projectfase zijn bepaald middels een percentage. Deze worden bij op de projectspecifieke bouwkosten geteld. Tevens is in hoofdstuk 3.5 aangegeven dat bouwkosten van meerdere projectfasen in het model moeten zijn meegenomen om de juiste weergave van de bouwkosten te genereren. De volgende fasen zijn meegenomen in het RCF model: vroege projectfase, aanbestedingsfase en oplevering. Met behulp van deze fasen is de invloed van een veranderende opdrachtomschrijving in de voorbereidingsfase en de invloed van het meer- en minderwerk in de uitvoeringsfase in kaart gebracht. Voor een veranderende opdrachtomschrijving is

het verschil in de hoeveelheden tussen de raming en aanbesteding bekeken. Waaruit een verdeling volgt voor hoeveel risico een opdrachtgever neemt voor een veranderende opdrachtomschrijving.

Het percentage niet-projectspecifieke bouwkosten is vastgesteld op basis van inschrijfstaten van opdrachtnemers, waarbij de opdrachtgever op basis van een verdeling de vrijheid heeft in hoeverre de indirecte bouwkosten worden meegenomen. Tevens is in dit model een verdeling van het meer- en minderwerk van historische projecten gegenereerd. Waarbij de opdrachtgever de vrijheid heeft om te bepalen hoeveel risico hij wil nemen voor meer en minderwerk. Zie Figuur 4.3 voor het RCF model.



Figuur 4.3: RCF model.

4.3.1. Input model

In het RCF model is de invloed van een veranderende opdrachtomschrijving en de invloed van meer- en minderwerk tijdens een project in kaart gebracht. Tevens zijn in het RCF model de niet-projectspecifieke bouwkosten voor een project bepaald. Voor deze stappen is verschillende input benodigd, welke hieronder is opgesomd.

- Directe bouwkosten raming
- Directe bouwkosten aanbesteding
- Totale bouwkosten raming
- Totale bouwkosten aanbesteding
- Totale bouwkosten oplevering
- Hoeveelheden raming
- Hoeveelheden aanbesteding
- Eenheidsprijzen raming
- Eenheidsprijzen aanbesteding
- Directe bouwkosten neurale netwerk kostenmodel

Hoe deze input is gebruikt in het model is hieronder verder toegelicht.

4.3.2. Inrichten model

Zoals hierboven aangegeven is verschillende input nodig om de invloed van een veranderende opdrachtomschrijving en van meer- en minderwerk in kaart te brengen. Een veranderende opdrachtomschrijving treedt voornamelijk op in de fase tot de aanbesteding en meer- en minderwerk treedt voornamelijk op in de uitvoeringsfase. Hierdoor is een scheiding gemaakt in het model in de fase tot de aanbesteding en de fase na de aanbesteding.

Een veranderende opdrachtomschrijving is met name te herkennen in een verandering van hoeveelheden en weer te zien in directe bouwkosten. Echter kan er ook verschil in de eenheidsprijzen tussen de raming en de aanbesteding zitten. Verschillen in eenheidsprijzen vallen niet altijd onder een veranderende opdrachtomschrijving. Daarom moet het verschil in directe bouwkosten van de raming en directe bouwkosten van de aanbesteding gecorrigeerd worden op een verschil in eenheidsprijzen. Het percentage aan veranderende opdrachtomschrijving moet vervolgens bij de directe bouwkosten van de raming worden opgeteld. In dit model zijn verschillende projecten met elkaar vergeleken, waarvan vervolgens de verschillen zijn weergegeven als in Figuur 4.4. Wanneer een vergelijking van verschillende data is gemaakt, heeft de opdrachtgever de keus hoeveel risico hij wil nemen voor een veranderende opdrachtomschrijving. Dit is bepaald door een 'uplift' vast te stellen voor een bepaald percentage aan risico wat de opdrachtgever wil nemen. Wat 'uplift' is en hoe het werkt is hieronder toegelicht.

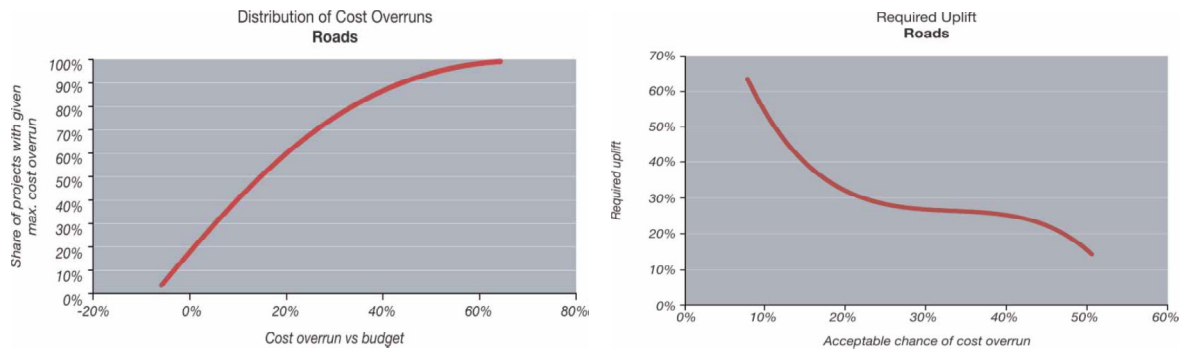
Ook is de invloed van meer- en minderwerk tijdens een project in kaart gebracht. Om het meer en minderwerk in kaart te brengen is eerst het percentage aan indirecte bouwkosten bepaald. Dit wordt gedaan door een vergelijking tussen directe bouwkosten in de aanbesteding en totale bouwkosten in de aanbesteding. Hierin heeft vervolgens de opdrachtgever de keus in hoeverre hij indirecte bouwkosten meeneemt in het project. Het derde onderdeel is het vaststellen van het risico op meer- en minderwerk. Om dit in kaart te brengen zijn de totale bouwkosten in de aanbesteding vergeleken met de totale bouwkosten bij oplevering. Van dit verschil is een verdeling gemaakt waarin de opdrachtgever de keuze heeft in hoeveel risico hij wil nemen voor invloed van meer- en minderwerk in het budget. Voor deze keuze geeft opdrachtgever een percentage risico aan, waarbij een 'uplift' is vastgesteld. Wat 'uplift' is en hoe het werkt is hieronder uitgelegd. In dit onderzoek wordt onder meerwerk het volgende verstaan:

- **Meerwerk op de huidige scope**
- **Meerwerk ten gevolge van scope uitbreiding**

4.3.3. Wat is 'Uplift'

Hierboven is aangegeven dat door middel van 'uplift' de opdrachtgever de keuze heeft voor het percentage aan risico voor een veranderende opdrachtomschrijving, indirecte bouwkosten en meer- en minderwerk. De term 'uplift' is af te leiden uit de literatuur van Flyvbjerg en het werkt door middel van het uitzetten van het verschil in kosten tussen 2 projectfases. 'Uplift' is een extra reserve gebaseerd op referentieprojecten. Deze 'uplift' kan bij de bouwkosten van een project opgeteld worden. Om een betrouwbare weergave van de 'uplift' te genereren is een voldoende grote dataset benodigd. In Figuur 4.4 is het verschil in kosten tussen 2 projectfases uitgezet in een percentage van kostenoverschrijdingen op de horizontale as en het aantal projecten op de verticale as. Naarmate het percentage van projecten toeneemt, neemt eveneens het percentage aan kostenoverschrijding toe. Waardoor het project welke de 100% volmaakt het project met de grootste kostenoverschrijding is.

Vanuit de vergelijking in Figuur 4.4 kan vervolgens een percentage aan 'uplift' worden bepaald, zoals gedaan is in Figuur 4.4. Hierin is het aantal projecten uitgezet op de horizontale as waar 0% de 100% uit Figuur 4.4 weergeeft. Wanneer de opdrachtgever kiest dat in 70% van de gevallen de kosten van het project binnen het budget valt, neemt hij een risico van 30% op kostenoverschrijdingen voor het project. Bij het risico van 30% hoort vervolgens een 'uplift' van ongeveer 30%, volgens Figuur 4.4. Dit percentage is de risicoreservering en wordt bij op de kostenraming geteld, het percentage risicoreservering wordt ook wel 'uplift' genoemd.



Figuur 4.4: Distributie van wegenbouwprojecten met bijhorende uplift (Flyvbjerg, 2008).

4.3.4. Output en valideren model

Wanneer de bovengenoemde stappen van het RCF model zijn doorlopen, is het de bedoeling dat de niet-projectspecifieke bouwkosten van een project bepaald zijn. Om te beoordelen of het RCF model beter instaat is om de bouwkosten van een project inschatten, is een deel van de projecten geselecteerd voor het valideren. De projecten welke gebruikt zijn om het model te valideren, zijn niet meegenomen in het RCF model. Voor het valideren is een keuze gemaakt met betrekking tot de geaccepteerde overschrijdingskans voor de 'uplift'. Hiervoor is aangenomen dat een project in 70% van de gevallen binnen het budget moet vallen. Dit percentage komt overeen met de voorschriften in de SSK waarbij een trefzekerheid van 70% voor een kostenraming is gehanteerd (CROW, 2010). Nadat het RCF model is doorlopen is de output de totale bouwkosten van een project.

4.4. Conclusie modelstructuur

Tijdens dit hoofdstuk is de modelstructuur vastgesteld. Doel van het opstellen van de modelstructuur is om het model zo in te richten dat het invoeren van gegevens en het valideren van het model op een eenvoudige wijze plaatsvindt. Bij het opzetten van de modelstructuur is rekening gehouden met hoe het overzicht van het model het beste bewaakt kan worden. Zodat een buitenstaander het onderzoek op dezelfde wijze uitvoert als dit onderzoek. Tevens is op basis van dit hoofdstuk antwoord gegeven op de tweede deelvraag.

Deelvraag 2

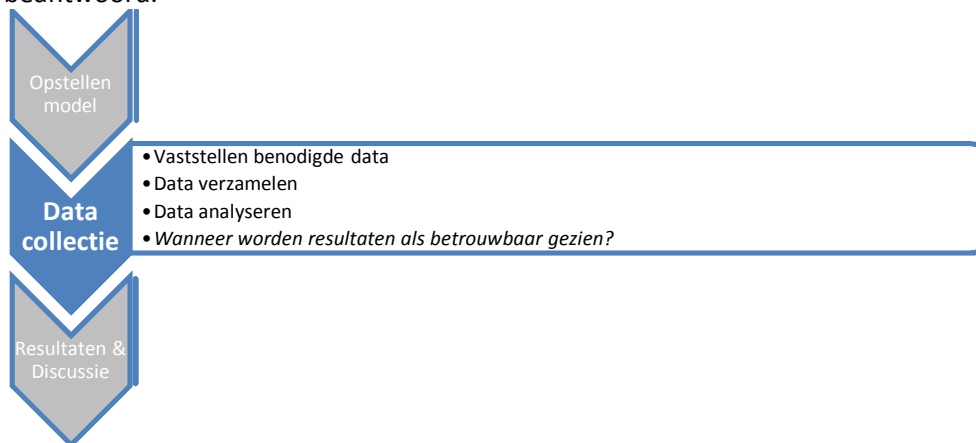
Welke informatie dient een model te bevatten om deze bruikbaar te maken voor het ramen op basis van functionaliteit voor het inschatten van kosten?

- Programma van eisen opdrachtgever
- Normen en richtlijnen voor wegontwerp
- Tijdsperiode van raming en aanbesteding
- Directe bouwkosten van raming
- Directe bouwkosten van aanbesteding/inschrijfstaat opdrachtnemer
- Totale bouwkosten raming opdrachtgever
- Totale bouwkosten inschrijfstaat opdrachtnemer
- Totale bouwkosten bij oplevering
- Eenheidsprijzen met hoeveelheden van bouwkostenramingen
- Eenheidsprijzen met hoeveelheden van inschrijfstaten opdrachtgever

Aan de hand van de bovengenoemde data componenten zijn in het volgende hoofdstuk keuzes gemaakt met betrekking tot het verzamelen en analyseren van de data.

5. Data collectie

De onderzoeksmethode voor dit onderzoek is een meervoudige kwantitatieve case studie. De gekozen onderzoeksmethode heeft invloed op het aantal benodigde datacomponenten. Alvorens het aantal benodigde data onderdelen is vastgesteld, is bepaald welke data onderdelen nodig zijn. Dit is een belangrijke stap, aangezien de benodigde data bepaald welke data eigenaren benaderd kunnen worden. Vervolgens is de data verzameld, nadat het data verzamelen is afgerond, is de data geanalyseerd. Dit aangezien eerst data verzameld moet worden alvorens data geanalyseerd kan worden. De data analyse is vervolgens gebruikt als referentie basis voor de resultaten van dit onderzoek. Dit hoofdstuk is afgesloten met een conclusie, waarin eveneens de derde deelvraag is beantwoord.



5.1. Vaststellen benodigde data

In deze paragraaf is vastgesteld welke data nodig is voor het onderzoek. De verschillende datacomponenten zijn geïdentificeerd in hoofdstuk 4 en hieronder opgesomd.

- Programma van eisen opdrachtgever
- Normen en richtlijnen voor wegontwerp
- Tijdsperiode van raming en aanbesteding
- Directe bouwkosten raming opdrachtgever
- Directe bouwkosten van inschrijfstaat opdrachtnemer
- Totale bouwkosten raming opdrachtgever
- Totale bouwkosten inschrijfstaat opdrachtnemer
- Totale bouwkosten bij oplevering
- Eenheidsprijzen met hoeveelheden van bouwkostenramingen
- Eenheidsprijzen met hoeveelheden van inschrijfstaten opdrachtgever

In deze paragraaf is eerst aandacht besteed aan wat de grootte van de dataset moet zijn en vervolgens is geanalyseerd wat de grootte voor de validatie moet zijn. Als laatste is deze paragraaf afgesloten met een conclusie waarin is aangegeven wat de uitgangspunten voor de totale grootte van de dataset voor dit onderzoek zijn.

5.1.1. Grootte dataset

Het model voor dit onderzoek is opgedeeld in 3 sub modellen. Voor elk van de 3 sub modellen zijn andere datacomponenten benodigd. Als eerste is het hoeveelhedenmodel opgezet aan de hand van normen en richtlijnen. Voor dit model is enkel data benodigd om het hoeveelheden model te valideren. Er is aangenomen dat de grootte van de dataset voor het hoeveelhedenmodel niet

maatgevend is in dit onderzoek, aangezien de normen en richtlijnen voor wegontwerp beschikbaar zijn.

Het neurale netwerk kostenmodel is opgezet aan de hand van data uit ramingen en inschrijfstaten, en is gevalideerd door een deel van de data niet te gebruiken voor het opzetten van het model. Hieronder is gekeken welke minimale hoeveelheid data benodigd is voor het model. Emsley e.a. geven in 2002 aan dat bij eerdere onderzoeken een dataset van 30 en 36 projecten is gebruikt. Hieruit is gebleken dat de dataset niet voldoende groot bleek om zinvolle conclusies uit de resultaten te trekken. Echter valt te concluderen dat de hoeveelheid data mede afhankelijk is van de invloedrijke variabelen. Zo is het onderzoek van Emsley e.a. gebaseerd op maar liefst 29 afhankelijke variabelen. Daarentegen hebben Hegazy & Ayed voor hun onderzoek in 1998 naar bouwkosten van wegenbouwprojecten slechts 18 projecten gebruikt om het model op te zetten. Hun onderzoek had maximaal 8 afhankelijk variabelen. In dit onderzoek is de data afhankelijk van: de eenheidsprijs in de raming en inschrijfstaat, de projectgrootte in hoeveelheid materiaal en bijkomende afmetingen van de hoeveelheid. Hieruit valt te concluderen dat voor het neurale netwerk kostenmodel kan worden volstaan met een dataset van rond de 18 projecten. Vergelijkbaar met de hoeveelheid data in het onderzoek van Hegazy & Ayed.

Het RCF model is opgezet door aan de hand van referentieprojecten meerdere vergelijkingen te maken. Om de invloed van een veranderende opdrachtomschrijving en de invloed van meer- en minderwerk te identificeren. Cantarelli heeft in haar onderzoek in 2011 een dataset van 37 projecten gebruikt om kostenoverschrijdingen van projecten in Nederland te bepalen. Daarom is in dit onderzoek aangenomen dat een dataset van 37 voldoende is om het model op te zetten.

5.1.2. Data validatie

Zoals duidelijk is geworden in hoofdstuk 4, dient elk sub model gevalideerd te worden. Voor het valideren van de sub modellen is data benodigd welke niet gebruikt is voor het opzetten van het model. Een ander aspect is dat de 3 sub modellen elk een andere wijze van validatie hebben.

Het eerste sub model dient voor het bepalen van hoeveelheden voor een project. Deze hoeveelheden zijn bepaald op basis van normen en richtlijnen van het CROW en Rijkswaterstaat. Waar op dit moment de hoeveelheden zijn bepaald uit een ontwerp, zijn in het hoeveelhedenmodel de hoeveelheden bepaald volgens het aangeven van functies. Voor de validatie is het model getoetst aan hoeveelheden in een raming. Binnen Witteveen+Bos zijn sommige kostenramingen voor wegontwerp opgezet, aan de hand van standaard dwarsprofielen. Deze standaard dwarsprofielen zijn opgezet door de afdeling wegontwerp binnen Witteveen+Bos. Het hoeveelhedenmodel is getoetst aan deze kostenramingen. Er zijn ook gewichten meegegeven aan de verschillende hoeveelheden. Zo is er bijvoorbeeld iets voor te zeggen dat het aandeel van het aantal strekkende wegmarkering minder invloed heeft op de prijs in vergelijking met het aandeel asfalt. De afwijking van het model moet binnen het bereik van het percentage directe kosten nader te detailleren vallen.

In het neurale netwerk kostenmodel zijn aan hoeveelheden eenheidsprijzen gekoppeld. Voor het valideren van de dataset is een percentage van de data niet meegenomen voor het opzetten van het model. Wilmot & Mei hebben in hun onderzoek in 2005 naar bouwkosten van wegenbouwprojecten, 85% van de data gebruikt om het model op te zetten en 15% van de data gebruikt om het model te valideren. Aangezien Wilmot & Mei een grote hoeveelheid data hebben gebruikt in hun onderzoek, is het realistischer om tijdens dit onderzoek een grotere dataset voor het valideren van het model aan te houden. Daarom is gekozen om 75% van de data te gebruiken voor het opzetten van het model en 25% van de data te gebruiken voor het valideren van het model. Deze verdeling komt overeen met Williams in 1994 die voor twee verschillende kleinere datasets tussen de 20% en 25% gebruikt heeft om zijn neurale netwerk model te valideren.

Het laatste sub model is het RCF model waarin de niet-projectspecifieke kosten zijn bepaald. Voor het valideren van het RCF model zijn in de literatuur geen voorwaarden gesteld. Daarom is voor het RCF model eenzelfde onderverdeling als voor het neurale netwerk kostenmodel aangehouden, voor het modelleren en valideren van het model. Aangezien niet alle projecten compleet zijn, is de validatie verdeeld over de complete projecten en de deels complete projecten. Hierin is onderscheid

gemaakt tussen compleet en deels compleet van raming tot aanbesteding of van aanbesteding tot oplevering. Essentieel hierin is dat voor de raming en de aanbesteding onderscheid aanwezig is in projectspecifieke en niet-projectspecifieke kosten. Omdat anders de data niet gebruikt kan worden in het model.

5.1.3. Conclusie vaststellen benodigde data

Hierboven is de grootte van de dataset en de verdeling van de data voor het model en de data voor de validatie in kaart gebracht. Als is geconcludeerd dat de verdeling voor data voor het model en data voor validatie ongeveer 75%/25% moet zijn. Het blijkt dat in dit onderzoek de grootte van de dataset voor het RCF model maatgevend is. Daarom is voor het neurale netwerk kostenmodel een dataset van dezelfde omvang toegepast. Tevens kan hierbij een aanvulling worden gegeven op de 2e deelvraag. Waar bij het modelleren van het RCF model een hoeveelheid van 37 projecten benodigd is, is een dataset van 13 projecten nodig voor het valideren, omdat hiermee de verdeling 75/25 behaald is. Dit betekent dat één van de voorwaarden voor betrouwbare resultaten een dataset van minimaal 50 projecten is. Adeli & Wu voegen hier in 1998 aan toe dat naarmate de dataset toeneemt de afwijking van de ruis af zal nemen. Dus hoe groter de dataset hoe beter het resultaat is.

5.2. Data verzamelen

Na het vaststellen van de verschillende datacomponenten en de hoeveelheid benodigde data, is de data verzameld. Hierin zijn belangrijke onderdelen: het identificeren van de data eigenaren, verwachte voorwaarden omtrent privacy, de tijdsperiode waarin de data zich bevindt en welke stappen genomen zijn bij incomplete data. Deze paragraaf is afgesloten met een conclusie.

5.2.1. Identificeren data eigenaren

De eerste stap voor het data verzamelen is het identificeren van de data eigenaren. In hoofdstuk 4 is aangegeven welke data voor de verschillende sub modellen benodigd is. In Tabel 5.1 zijn de verschillende datacomponenten gekoppeld aan mogelijke verschillende eigenaren. Hierin is onderscheid gemaakt tussen opdrachtgever, adviesbureau en opdrachtnemer, omdat dit de doelgroep van het onderzoek is.

Tabel 5.1: Data-eigenaren per datacomponent.

Data component	Data eigenaar
Programma van eisen	Opdrachtgever, Adviesbureau, Opdrachtnemer
Handleidingen voor wegontwerp	CROW, Rijkswaterstaat
Directe bouwkosten raming	Opdrachtgever, Adviesbureau
Directe bouwkosten aanbesteding	Opdrachtgever, Adviesbureau, Opdrachtnemer
Totale bouwkosten raming	Opdrachtgever, Adviesbureau, Opdrachtnemer
Totale bouwkosten aanbesteding	Opdrachtgever, Adviesbureau, Opdrachtnemer
Totale bouwkosten oplevering	Opdrachtgever, Opdrachtnemer
Eenheidsprijzen met hoeveelheden bouwkostenraming	Opdrachtgever, Adviesbureau
Eenheidsprijzen met hoeveelheden aanneemsommen	Opdrachtgever, Adviesbureau, Opdrachtnemer
Percentages indirecte bouwkosten	Opdrachtgever, Adviesbureau, Opdrachtnemer
Aanbestedingsjaar	Opdrachtgever, Adviesbureau, Opdrachtnemer

Het eerste wat aan de bovenstaande lijst opvalt, is dat de opdrachtgever bijna elke datacomponent tot zijn beschikking kan hebben. Het is daarom voor de hand liggend om als eerste de opdrachtgever van een project te benaderen. Een volgende conclusie is dat de adviesbureaus ook bijna elke data component tot hun beschikking kunnen hebben. Echter worden er gedurende een project verschillende adviesbureaus ingeschakeld en is de data waarschijnlijk over meerdere adviesbureaus verspreid. Verder heeft de opdrachtnemer slechts beperkte beschikbaarheid over verschillende datacomponenten.

In hoofdstuk 4.1 is aangegeven dat het hoeveelhedenmodel wordt opgezet aan de hand van handleidingen voor gebiedsontsluitingswegen, regionale stroomwegen en nationale stroomwegen. In veel gevallen zijn de provincies en het Rijk eigenaar van deze type wegen. Wat betekent dat er 13 mogelijke opdrachtgevers zijn. Wanneer het aantal opdrachtgevers is vergeleken met het aantal opdrachtnemers, blijkt het dat er meer opdrachtnemers zijn. Daarom is besloten om enkel data te verzamelen bij opdrachtgevers. Mocht dit niet afdoende zijn dan zijn eerst opdrachtnemers en vervolgens adviesbureaus benaderd. Met betrekking tot de data van projecten welke binnen Witteveen+Bos zijn uitgevoerd, is de verwachting dat men binnen Witteveen+Bos toegang heeft tot deze data.

5.2.2. Aanbestedingsjaar

Een belangrijk onderdeel in het data verzamelen is het jaar waarin de projecten zijn aanbesteed. Aangezien de onderzoeksdoelanalyse is opgebouwd aan de hand van de SSK, is aangenomen dat de aanbestedingsjaren van de projecten gelijk moeten zijn vanaf het moment wanneer de SSK werd toegepast. Om zo de mogelijke invloed van de toepassing van de SSK-systematiek uit te sluiten. De tijdsperiode van de data is daarom vastgesteld op het jaar 2000 tot en met het jaar 2015.

5.2.3. Beheersing risico's en randvoorwaarden

Het is niet vanzelfsprekend dat alle data van een project bij een data eigenaar voorhanden is. Met name wanneer de projecten gedateerd zijn, kan het voorkomen dat de data van projecten niet compleet is. Wanneer de grootte van de dataset niet toereikend is en veel incomplete data verzameld is, is gekozen om specifiek mogelijke data eigenaren te benaderen. Neem bijvoorbeeld dat van een project de totale bouwkosten bij oplevering niet beschikbaar zijn bij de opdrachtgever. Dan kan besloten worden om de bijhorende opdrachtnemer specifiek over dit project te benaderen.

Tijdens het leggen van de eerste contacten met verschillende opdrachtgevers is gebleken dat opdrachtgevers het niet waarderen dat hun data gebruikt is voor het onderzoek. Zo zijn er opdrachtgevers die niet mee willen werken omdat ze bang zijn dat er gevoelige informatie op straat komt te liggen. Andere opdrachtgevers willen alleen onder strikte voorwaarden mee werken. Omdat data van verschillende opdrachtgevers in het model is toegepast, moet de publicatie van resultaten afgestemd zijn op de voorwaarden gesteld door opdrachtgevers. Daarover zijn afspraken gemaakt met opdrachtgevers, met betrekking tot het controleren van de resultaten en de toegankelijkheid tot de data voor andere partijen. Maatregelen die hiervoor zijn het anonimiseren van projecten en het ondertekenen van vertrouwelijkheidverklaringen.

5.2.4. Conclusie data verzamelen

In deze paragraaf zijn verschillende onderdelen met betrekking tot het data verzamelen belicht. Hierin zijn als eerste de data eigenaren geïdentificeerd, waaruit blijkt het dat het meest rendabel is wanneer de opdrachtgevers benaderd worden. Aangezien de hoeveelheid mogelijke opdrachtgevers en de beschikbaarheid van het aantal datacomponenten van één project. Verder kan het zijn dat data eigenaren niet bereid zijn om data te delen voor dit onderzoek. Wanneer dit het geval is, zijn afspraken met de data eigenaren gemaakt. Om toch onder voorwaarden data beschikbaar te stellen voor dit onderzoek. Verder is de tijdsperiode aan de hand van de SSK-systematiek vastgesteld, wat uitkomt op projecten vanaf 2000 tot 2015. Met als doel de invloed van de intreding van de SSK systematiek uit te sluiten en de betrouwbaarheid van de resultaten te verhogen. Als laatste is aangegeven wat er gedaan is wanneer het blijkt dat de dataset incompleet is. In hoofdstuk 1.3.2 is te zien dat het budget voor wegenbouwprojecten veruit het grootst is in vergelijking met andere GWW-projecten. Daarom is bij een te kleine dataset gekozen om de grootte van de dataset naar beneden bij te stellen.

5.3. Data ontleden

In deze paragraaf is de verzamelde data ontleed, door middel van deze data ontleding is de verzamelde data geprepareerd voor het uit te voeren onderzoek. Het doel van de data ontleding is om de aangeleverde data te structureren, om zo eenheid in de verschillende projecten te krijgen.

De eerste eigenschap welke in het model is opgenomen is projectspecifiek. Deze eigenschap is in het model gebracht door middel van hoeveelheden te bepalen op basis van normen en richtlijnen van het CROW en Rijkswaterstaat. Een ontleding, gebaseerd op de normen en richtlijnen, voor de in het project aanwezige elementen is te vinden in bijlage 4.2.

Voor de werkelijkheid zijn eveneens gegevens nodig. Voor het bruikbaar maken van de data dient er eenheid tussen de verschillende projecten te zitten. Het bruikbaar maken is met name van belang voor het neurale netwerk kostenmodel. Wanneer geen eenheid in de data zit, kan het gebeuren dat er onbetrouwbare resultaten uit dit onderzoek voortvloeien. In de data zit in veel gevallen geen eenheid in de toegepaste werkzaamheden. Neem als voorbeeld het ontgraven van een hoeveelheid grond. In project A wordt bijvoorbeeld 10m² grond met een laagdikte van 800mm ontgraven, terwijl in project B 10m² grond wordt ontgraven met een laagdikte van 500mm. Dit heeft als gevolg dat er in project A meer grond wordt ontgraven in vergelijking met project B, waardoor er geen eenheid tussen de 2 datacomponenten zit. Daarom is zowel de oppervlakte als de laagdikte van een materiaal of activiteit als variabele meegenomen in het model. Een voorbeeld van ontleding voor de werkelijkheid is te zien in Tabel 5.2.

Tabel 5.2: Voorbeeld ontleding data voor neurale netwerk kostenmodel.

<u>Verwijderen asfalt</u>	Prijs raming	Aantal m ²	Dikte (m)	Prijs inschrijfstaat
Asfalt				
<i>Verwijderen asfalt</i>				

Voor het RCF model, welke de eigenschap niet-projectspecifiek in kaart brengt, is eveneens data benodigd. Hieronder is eerst toegelicht hoe de projecten zijn ontleed. In hoofdstuk 3.3 is aangegeven dat enkel elementen welke invloed hebben op het wegalignment zijn meegenomen in het onderzoek. Daarom is het belangrijk om de elementen welke niet van invloed zijn op het wegalignment buiten beschouwing te laten in het onderzoek. Het RCF model is opgedeeld in 3 stappen. In de eerste stap is de invloed van een veranderende opdrachtschrijving in kaart gebracht. In de tweede stap zijn de niet-projectspecifieke bouwkosten van een project bepaald. Verder is in de derde stap de invloed van meer- en minderwerk bepaald. Zoals aangegeven in paragraaf 5.1 is voor het RCF model data benodigd van meerdere projectfasen. In deze data is onderscheid gemaakt tussen projectspecifieke- en niet-projectspecifieke kosten. Zie Tabel 5.3 voor de wijze waarop data voor het RCF model is ontleed.

Tabel 5.3: Voorbeeld ontleding data voor het RCF model.

<u>Ontleding projecten</u>	Raming	Inschrijving	Meerwerk	Oplevering
Directe bouwkosten				
<i>Directe bouwkosten wegaanleg</i>				
<i>Directe bouwkosten 'ntd' percentage*</i>				
<i>*'ntd' (nader te detailleren)</i>				
<i>Totale directe bouwkosten</i>				
<i>Percentage DBK* wegaanleg van totaal</i>				
<i>*DBK directe bouwkosten</i>				
Percentage indirecte bouwkosten				
Totale BK oplevering wegaanleg				

5.4. Data analyseren

In deze paragraaf is de data geanalyseerd. In deze data analyse wordt met name gekeken naar de verzamelde projecten voor de eigenschap niet-projectspecifiek. Aangezien in paragraaf 5.1.3 is vermeld dat de grootte van de dataset voor eigenschap niet-projectspecifiek bepalend is voor het

onderzoek. Hieronder is eerst een analyse op projectniveau uitgevoerd, waarna vervolgens de verschillende projectfasen van de verzamelde projecten zijn geanalyseerd. Ten slotte is deze paragraaf afgesloten met een conclusie waarin de uitgangspunten met betrekking tot betrouwbare resultaten voor dit onderzoek zijn aangegeven.

5.4.1. Analyse op projectniveau

In de analyse op projectniveau is gekeken wat er precies aan projecten is verzameld. Er is onderscheid gemaakt in het aantal projecten en het aantal complete projecten. Onder een compleet project is het volgende verstaan: onderscheid in directe en indirecte bouwkosten van de raming en aanbesteding, en totale bouwkosten bij oplevering. Aangezien in dit onderzoek onderscheid is gemaakt in de fase tot en met de aanbesteding en in de fase aanbesteding tot en met oplevering, kunnen ook deels complete projecten in de dataset aanwezig zijn. Hieronder is aangegeven welke onderdelen zijn geanalyseerd:

- Aantal verzamelde projecten
- Aanbestedingsjaren van verzamelde projecten
- Contractvorm van verzamelde projecten
- Type werkzaamheden van verzamelde projecten

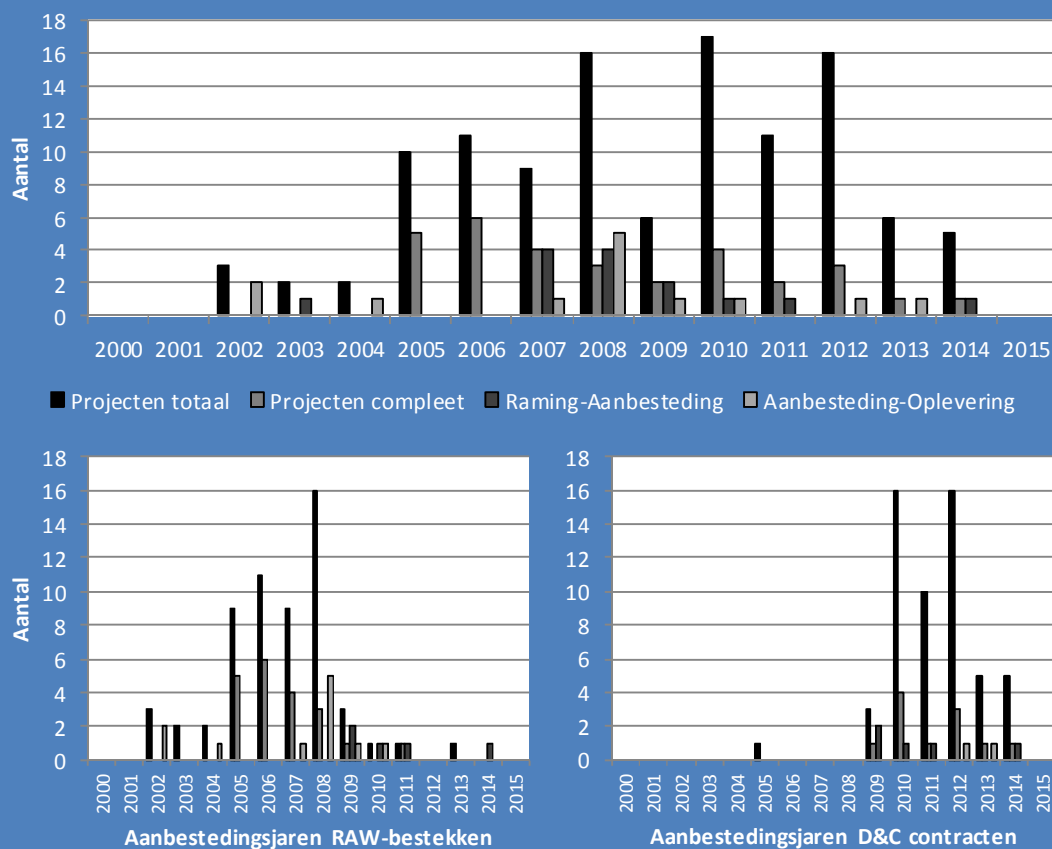
In Tabel 5.4 is te zien dat in totaal gegevens van 114 projecten zijn verzameld. 31 van dit totaal zijn compleet vanaf raming tot en met oplevering. Verder zijn er 14 projecten verzameld met gegevens vanaf raming tot en met aanbesteding en 13 projecten verzameld met gegevens vanaf aanbesteding tot en met oplevering. Dit komt op een totaal van 45 bruikbare projecten van raming tot en met aanbesteding en 44 bruikbare projecten van aanbesteding tot en met oplevering.

Tabel 5.4: Overzicht verzamelde gegevens.

<u>Aantal projecten</u>	Totaal	Compleet	Raming-Aanbesteding	Aanbesteding-Oplevering	Niet compleet
Totaal	114	31	14	13	56
RAW-bestek	58	20	9	11	18
D&C contract	56	11	5	2	38

De verzamelde projecten zijn allen aanbesteed in de periode vanaf het jaar 2000 tot en met het jaar 2015. Het aanbestedingsjaar is belangrijk omdat dit invloed heeft op het prijsniveau van de raming en op de trend in de kosten door de loop van het project heen. Tevens is onderscheid gemaakt in de verschillende contractvormen, aangezien voor dit onderzoek enkel projecten met contractvormen RAW-bestek en Design & Construct (D&C) verzameld zijn. In Figuur 5.1 is de verdeling van aanbestedingsjaren van verschillende projecten weergegeven en is onderscheid gemaakt in de verschillende contractvormen. Daarnaast is ook onderscheid gemaakt in de complete en deels complete projecten.

Overzicht aanbestedingsjaren projecten



Figuur 5.1: Overzicht aanbestedingsjaren van verzamelde projecten.

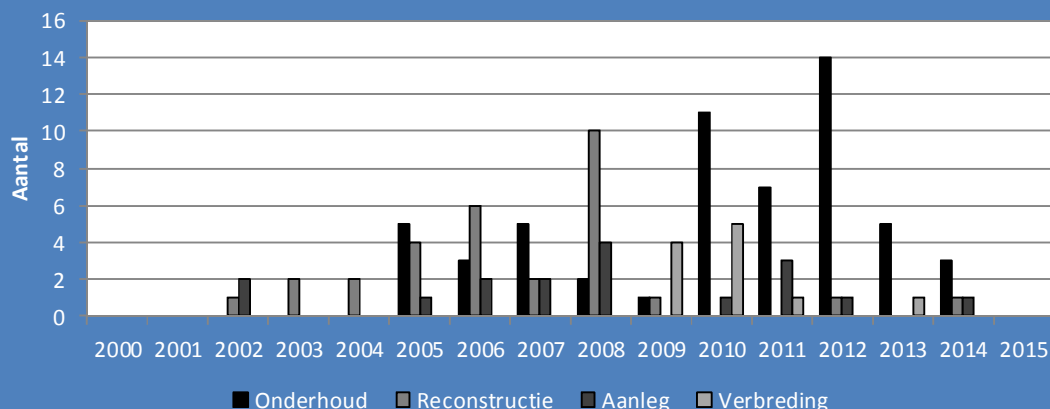
Verschil in type werkzaamheden is het volgende aspect waarin onderscheid is gemaakt. Zoals in hoofdstuk 3.3 is aangegeven, kan onderscheid gemaakt worden in aanleg, verbreding, onderhoud of reconstructie van wegen. In Tabel 5.5 is de verdeling van projecten op basis van werkzaamheden weergegeven.

Tabel 5.5: Verdeling van werkzaamheden van verzamelde projecten.

<i>Aantal projecten</i>	Totaal	Compleet	Raming-Aanbesteding	Aanbesteding-Oplevering
Onderhoud	56	12	4	6
Reconstructie	30	7	4	4
Aanleg	17	9	3	2
Verbreding	11	3	3	1

Uit de bovenstaande tabel valt op te maken dat veruit de meeste projecten bestaan uit wegonderhoud. Een andere waarneming is dat van elk type werkzaamheden projecten bruikbaar zijn voor dit onderzoek en hiervan ook projecten compleet zijn. Tevens is de verdeling van het aantal complete projecten gelijkmatig, op de werkzaamheden van een verbreding na. In het vervolg van het onderzoek is geen onderscheid gemaakt in het type werkzaamheden per project, omdat de dataset hiervoor niet groot genoeg is. Waardoor onderscheid in projectwerkzaamheden mogelijk leidt tot onbetrouwbare resultaten. Zie Figuur 5.2 voor een verdeling van projectwerkzaamheden per aanbestedingsjaar.

Projectwerkzaamheden per aanbestedingsjaar



Figuur 5.2: Verdeling projectwerkzaamheden per aanbestedingsjaar.

5.4.2. Analyse tussen projectfasen

Nu de analyse op projectniveau is afgerond, zijn de projecten op projectfase niveau geanalyseerd. Voor deze analyse zijn projecten gebruikt welke compleet zijn in totale bouwkosten van de raming tot en met de oplevering, totaal 55 projecten. Voor de analyse op projectfase niveau zijn ook projecten gebruikt waar geen sprake is van onderscheid in projectspecifiek en niet-projectspecifieke kosten. Naast de vergelijkingen tussen fasen is ook de relatie tussen de fase van raming tot aanbesteding en de fase van aanbesteding tot oplevering in kaart gebracht. Eveneens is, waar mogelijk, geanalyseerd of er een significant verschil aanwezig is tussen de verschillende contractvormen. Hieronder zijn de verschillende analyses opgesomd.

- Analyse raming tot oplevering
- Analyse raming tot aanbesteding
- Analyse aanbesteding tot oplevering
- Relatie tussen fase tot en met aanbesteding en fase vanaf aanbesteding

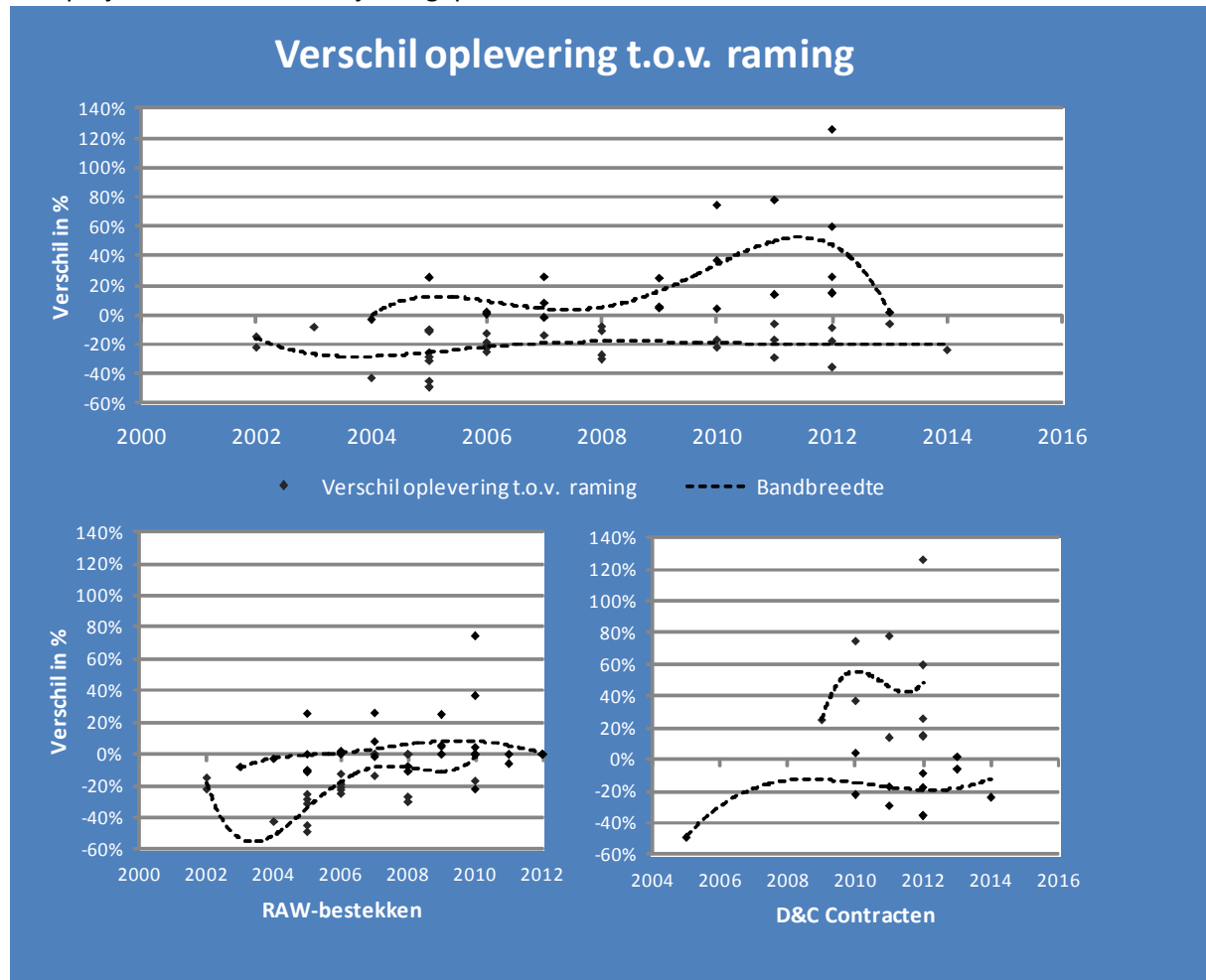
Als eerste zijn de projecten geanalyseerd vanaf de raming tot en met de oplevering. In Tabel 5.6 is eerst het totaal van alle projecten weergegeven, waarna vervolgens de projecten zijn uitgesplitst in de contractvormen RAW-bestek en D&C contract.

Tabel 5.6: Analyse verschil oplevering ten opzichte van raming.

<u>Aantal projecten</u>	N=	Gemiddelde	Standaarddeviatie	Bereik aanbestedingsjaren	Gemiddelde inschrijfsom
Totaal	55	-3,0%	31,8%	2002-2014	€ 8.688.978
RAW-bestek	33	-11,9%	16,4%	2002-2011	€ 1.826.365
D&C	22	10,5%	43,3%	2005-2014	€ 18.982.898

Hierboven is een waarneembaar verschil te zien tussen de contractvormen. Zo blijkt dat er sprake is van een hogere gemiddelde kostenoverschrijding bij een D&C contract. Ook is te zien dat de gemiddelde inschrijfsom bij een D&C contract een stuk hoger ligt in vergelijking met een RAW-bestek. Met behulp van statische software (minitab) is getoetst of dit waargenomen verschil significant is. Uit de resultaten, zie bijlage 5.1., is op te maken dat er sprake is van significant verschil tussen de verschillende contractvormen. Dit sluit aan met de analyse in hoofdstuk 3.4. Waarin is geconcludeerd dat de opdrachtgever voor een meer geïntegreerde contractvormen moet kiezen wanneer de complexiteit van een project toeneemt. Waarbij de factor complexiteit te herleiden is naar de hoogte van de inschrijfsom.

In Figuur 5.3 is de vergelijking tussen de bouwkosten in de raming en de bouwkosten bij oplevering uitgezet in de tijd. Hierbij geeft 0% geen verschil tussen de geraamde bouwkosten en de bouwkosten bij oplevering weer. Uit dit figuur is op te maken dat de spreiding van het verschil tussen de raming en de oplevering toeneemt, naarmate de projecten meer recent worden. Echter blijkt dat de grotere spreiding voornamelijk is veroorzaakt door projecten met een D&C contract, aangezien deze projecten meer recent zijn toegepast.



Figuur 5.3: Analyse verschil oplevering ten opzichte van raming.

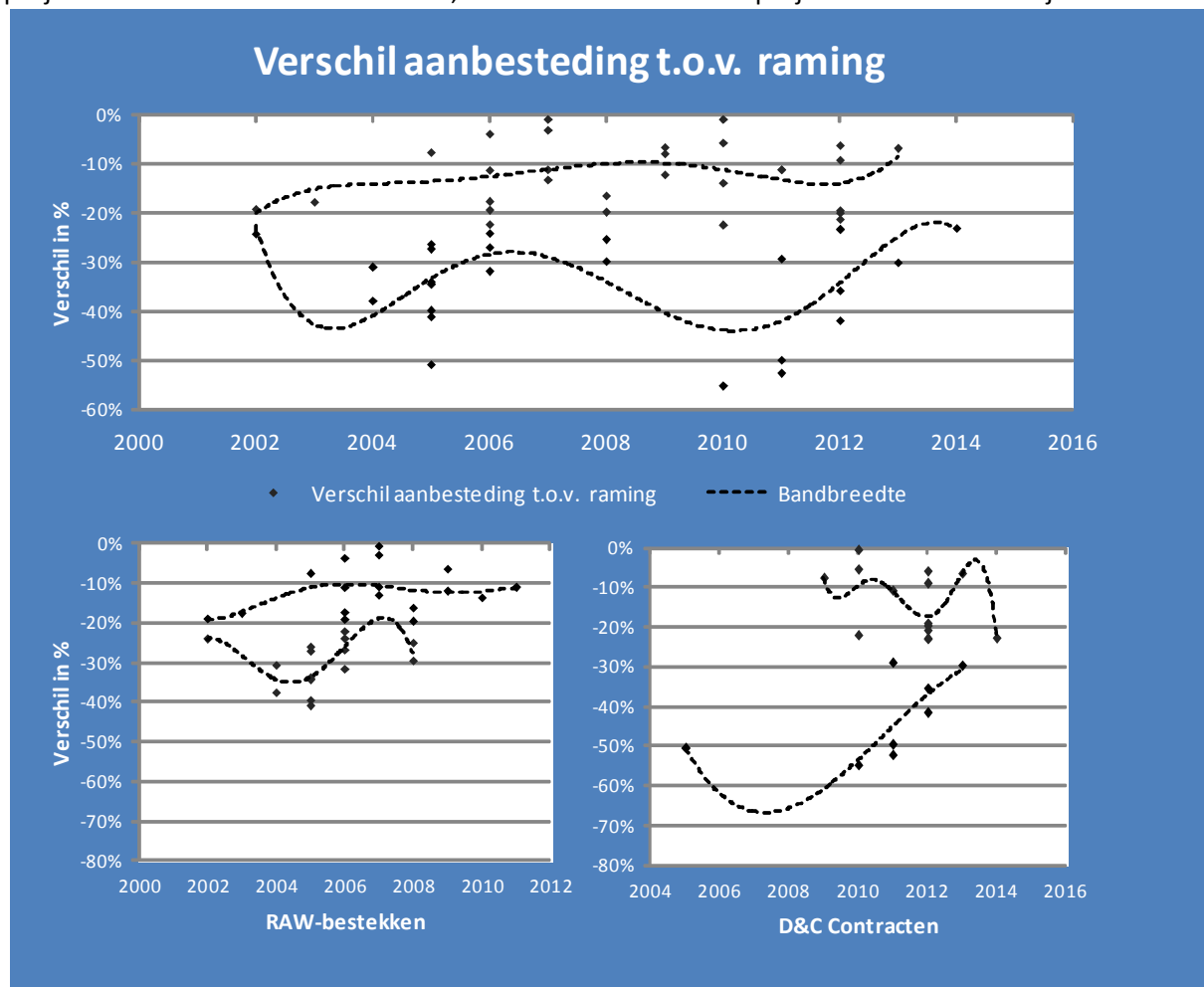
De tweede analyse bestaat uit het in kaart brengen van het verschil tussen de raming en de aanbesteding van een project. Zoals in hoofdstuk 3.4 is geconcludeerd ligt de aanbesteding, bestaande uit een inschrijving van een opdrachtnemer, ongeveer 20 tot 30 procent lager vergeleken met de raming van de opdrachtgever. Dit sluit aan bij de resultaten in Tabel 5.7 waaruit blijkt dat aanbestedingen van projecten gemiddeld tussen de 20 en 30 procent lager liggen ten opzichte van een raming. Verder valt in Tabel 5.7 te zien dat de aanbestedingen van D&C contractvorm iets lager liggen ten opzichte van de RAW-bestekken.

Tabel 5.7: Analyse verschil aanbesteding ten opzichte van raming.

<i>Aantal projecten</i>	N=	Gemiddelde	Standaarddeviatie	Bereik aanbestedingsjaren
Totaal	55	-22,4%	13,6%	2002-2014
RAW-bestek	33	-21,0%	11,1%	2002-2011
D&C	22	-24,7%	16,7%	2005-2014

Met behulp van statistische software is getoetst of het verschil tussen de contractvormen significant is. Uit de resultaten in bijlage 5.1. blijkt dit niet het geval te zijn. Of er daadwerkelijk een verschil zit tussen de contractvormen is in sub paragraaf 5.4.3 geanalyseerd, door de projecten te analyseren op kostenniveau. In Figuur 5.4 is de analyse aanbesteding ten opzichte van raming uitgezet in de tijd.

Hieruit blijkt dat de recentere projecten een grotere spreiding kennen. Dit ontstaat door de projecten met een D&C contractvorm, waarvan de verzamelde projecten meer recent zijn.



Figuur 5.4: Analyse verschil aanbesteding ten opzichte van raming.

De analyse “aanbesteding tot oplevering” bestaat uit het in kaart brengen van het optredende meer- en minderwerk gedurende de uitvoeringsfase. Zoals geconcludeerd in hoofdstuk 5.4.2 is meer- en minderwerk een belangrijke factor voor kostenoverschrijdingen gedurende uitvoeringsfase van een project. In Tabel 5.8 is te zien dat het gemiddelde meerwerk 25,8% bedraagt. Echter is er een verschil waarneembaar tussen de verschillende contractvormen. Waarbij projecten met een D&C contractvorm gemiddeld een hoger percentage aan meerwerk hebben. In dit onderzoek wordt onder meerwerk het volgende verstaan:

- **Meerwerk op de huidige scope**
- **Meerwerk ten gevolge van scope uitbreiding**

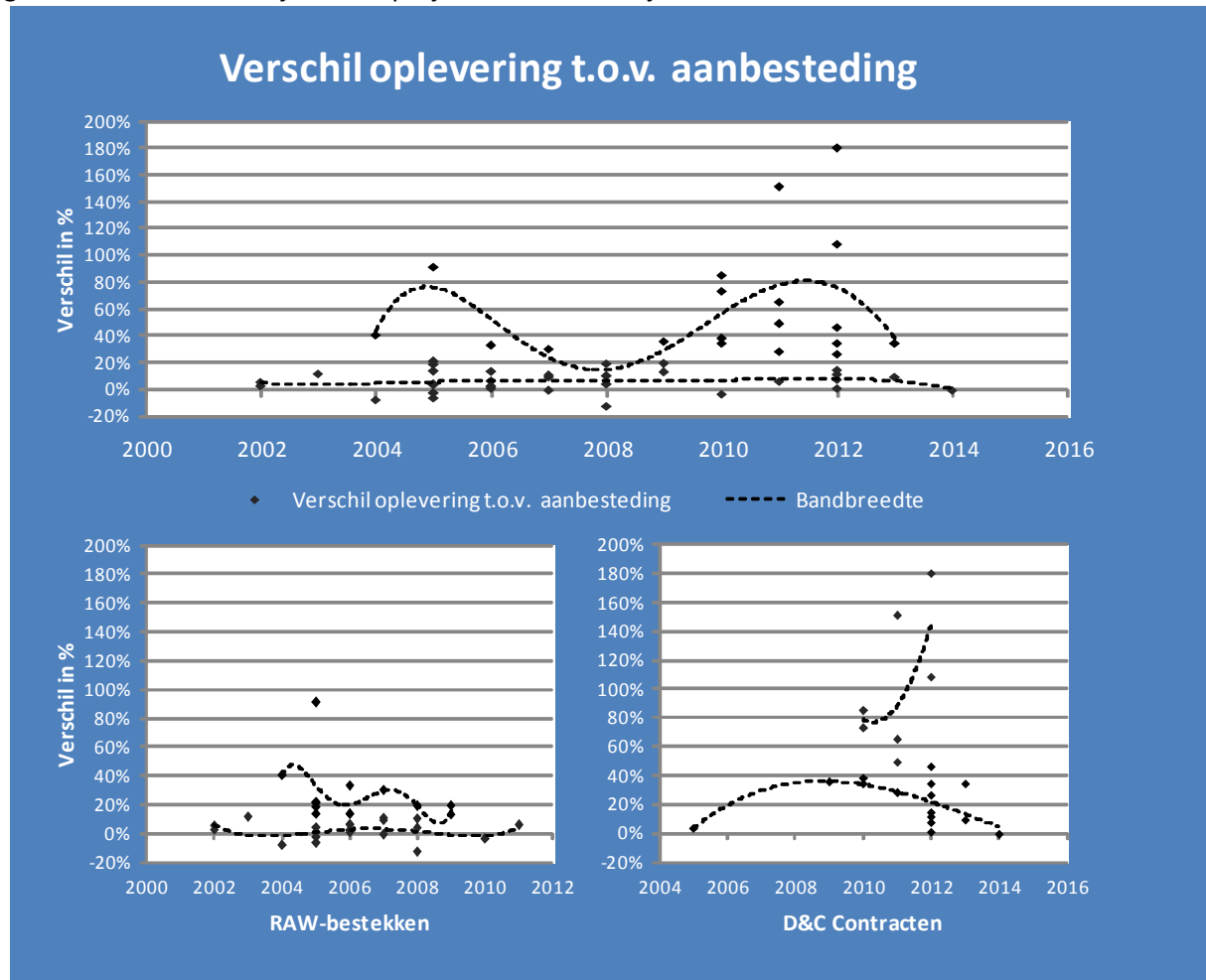
In het model is geen onderscheid gemaakt in de bovengenoemde vormen van meerwerk. Omdat dit onderscheid niet aanwezig is in de beschikbare data. In toekomstig onderzoek kan onderscheid in meerwerk een toegevoegde waarde zijn.

Tabel 5.8: Analyse verschil oplevering ten opzichte van aanbesteding.

<i>Aantal projecten</i>	N=	Gemiddelde	Standaarddeviatie	Bereik aanbestedingsjaren
Totaal	55	25,8%	37,3%	2002-2014
RAW-bestek	33	11,8%	18,4%	2002-2011
D&C	22	46,8%	47,8%	2005-2014

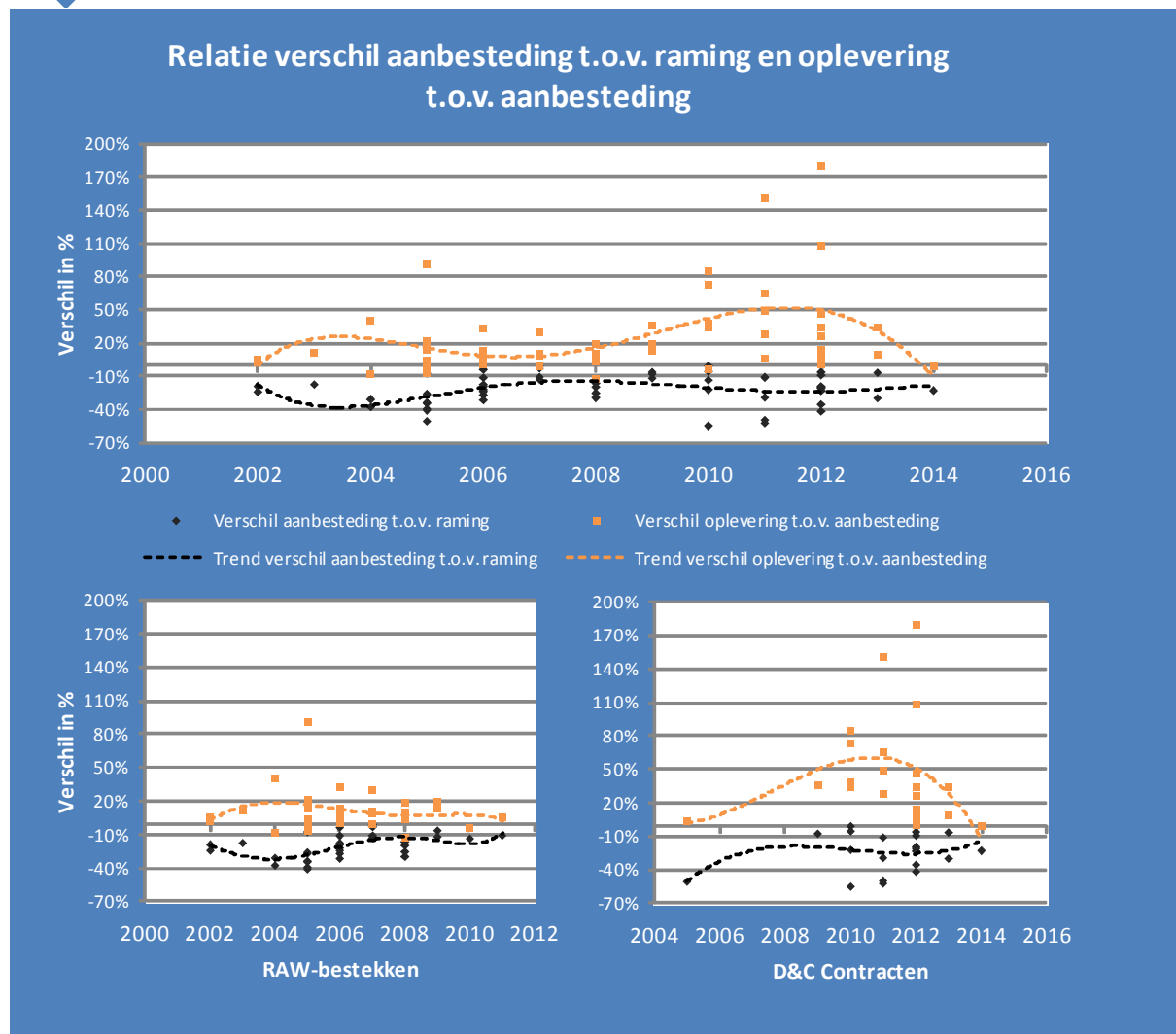
Met behulp van statische software is getoetst of het verschil tussen de contractvormen significant is. Uit de resultaten in bijlage 5.1. blijkt dat er sprake is van een significant verschil tussen de

verschillende contractvormen. Dit verschil valt te verklaren, aangezien een D&C contract veelal is toegepast voor de complexere projecten, waarbij een goede afstemming tussen partijen nodig is. Verder is dit verschil te verklaren doordat in het geval van D&C contracten een opdrachtnemer tevens verantwoordelijk is voor het ontwerp. Hierdoor vindt een aanbesteding van een D&C contract in een vroegere projectfase plaats in vergelijking met een aanbesteding van een RAW-bestek. In Figuur 5.5 is het verschil tussen aanbesteding en oplevering uitgezet in de tijd. Hieruit blijkt dat de grotere bandbreedte bij recente projecten voornamelijk is veroorzaakt door de D&C contracten.



Figuur 5.5: Analyse verschil oplevering ten opzichte van aanbesteding.

In Figuur 5.6 is de relatie tussen de fase raming tot aanbesteding en aanbesteding tot oplevering uitgezet in de tijd. Hieruit valt te concluderen dat over het algemeen het percentage meer- en minderwerk hoger is, naarmate het verschil van de aanbesteding ten opzichte van de raming groter is. Dit sluit aan bij de conclusie uit hoofdstuk 3.4.3 dat een opdrachtnemer lager inschrijft wanneer hij meerwerk op een project verwacht.



Figuur 5.6: Analyse relatie verschil aanbesteding ten opzichte van raming en oplevering ten opzichte van aanbesteding.

5.4.3. Analyse in projectfasen

In deze sub paragraaf is een analyse uitgevoerd, waarbij onderscheid tussen directe en indirecte bouwkosten is gemaakt. Dit is van toegevoegde waarde aangezien in hoofdstuk 3.4.2 is aangegeven dat concurrentie in geval van een RAW-bestek met name plaatsvindt in de indirecte bouwkosten. Voor deze fase zijn projecten gebruikt welke compleet zijn in directe en indirecte bouwkosten van de raming en de aanbesteding, en totale bouwkosten bij oplevering. In deze sub paragraaf worden de volgende elementen geanalyseerd.

- Verschil directe bouwkosten raming-aanbesteding
- Percentage indirecte bouwkosten raming
- Percentage indirecte bouwkosten aanbesteding
- Verschil indirecte bouwkosten raming-aanbesteding

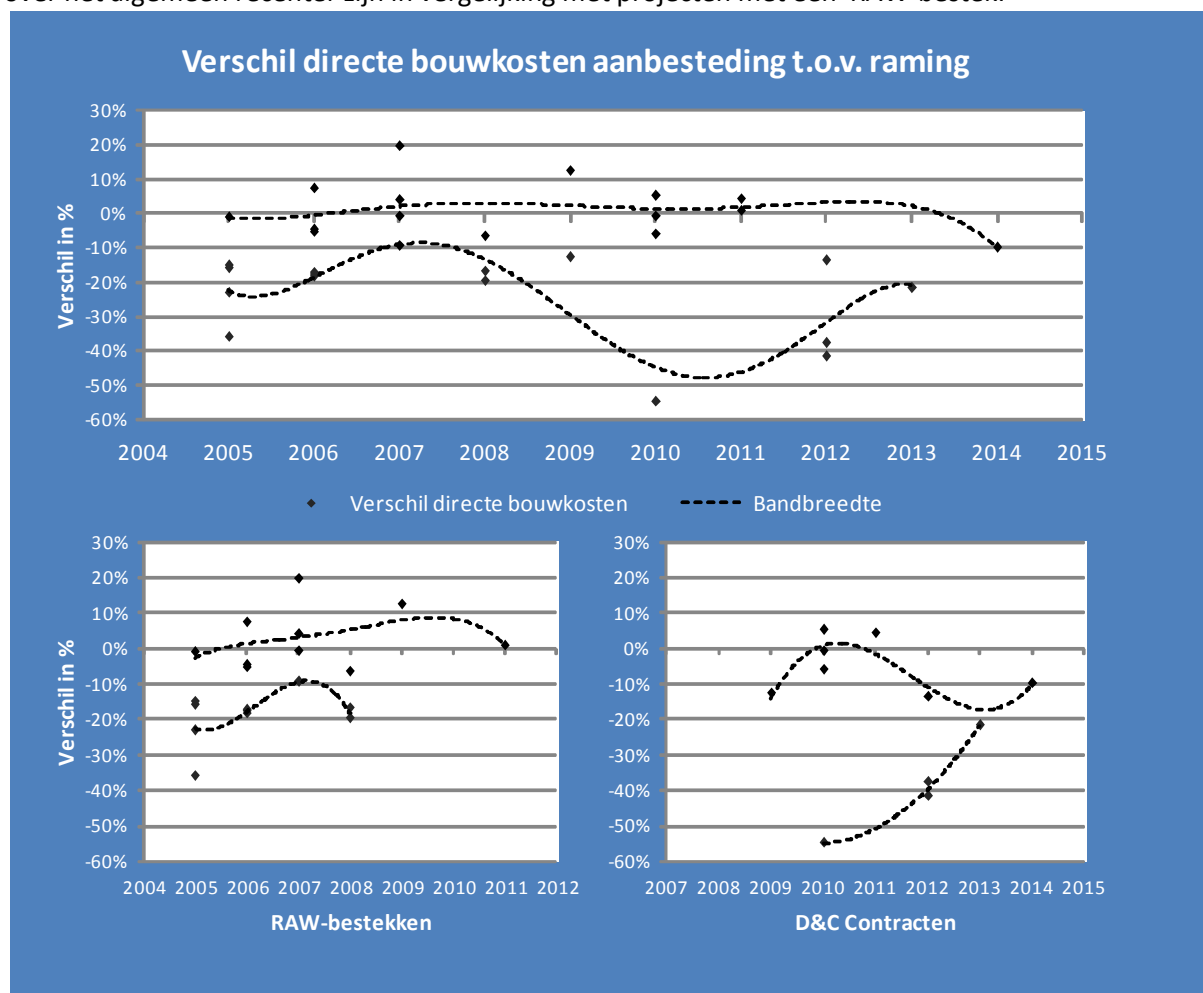
Als eerste is gekeken naar het verschil in directe bouwkosten tussen de raming en de aanbesteding. Volgens hoofdstuk 3.4 ligt het verschil in directe bouwkosten aan een verschil in hoeveelheden en/of aan een verschil in eenheidsprijzen voor hoeveelheden. In het geval van een RAW-bestek is voorgeschreven wat de hoeveelheden voor een project zijn. Hierop schrijft een opdrachtnemer in en voegt hij eenheidsprijzen bij de opgegeven hoeveelheden. In het geval van een D&C contract heeft de opdrachtnemer eveneens verantwoordelijkheid over het ontwerp. Dus zijn de hoeveelheden van de inschrijving van de opdrachtnemer verschillend ten opzichte van de hoeveelheden van de

opdrachtgever. Dit is tevens terug te zien in Tabel 5.9, waarbij het verschil van directe bouwkosten tussen raming en aanbesteding gemiddeld groter is in het geval van een D&C contract. Het verschil in directe bouwkosten voor een RAW-bestek is later in dit onderzoek toegepast om een betere weergave van de eigenschap werkelijkheid te genereren.

Tabel 5.9: Analyse verschil directe bouwkosten aanbesteding ten opzichte van raming.

Aantal projecten	N=	Gemiddelde	Standaarddeviatie	Bereik aanbestedingsjaren
Totaal	31	-11,42%	16,18%	2005-2014
RAW-bestek	20	-8,22%	13,34%	2005-2011
D&C	11	-17,25%	19,73%	2009-2014

Tevens is getoetst of er sprake is van een significant verschil in directe bouwkosten tussen projecten met een RAW-bestek en projecten met een D&C contract. Uit de resultaten in bijlage 5.2. blijkt dat er geen significant verschil aanwezig is. Echter is in het model het verschil tussen directe bouwkosten in een RAW-bestek en een D&C contract toegepast om het verschil in hoeveelheden in kaart te brengen. In Figuur 5.7 is het verschil in directe bouwkosten uitgezet in de tijd. Hierbij is waar te nemen dat een grotere bandbreedte is veroorzaakt door projecten met een D&C contract. Welke over het algemeen recenter zijn in vergelijking met projecten met een RAW-bestek.



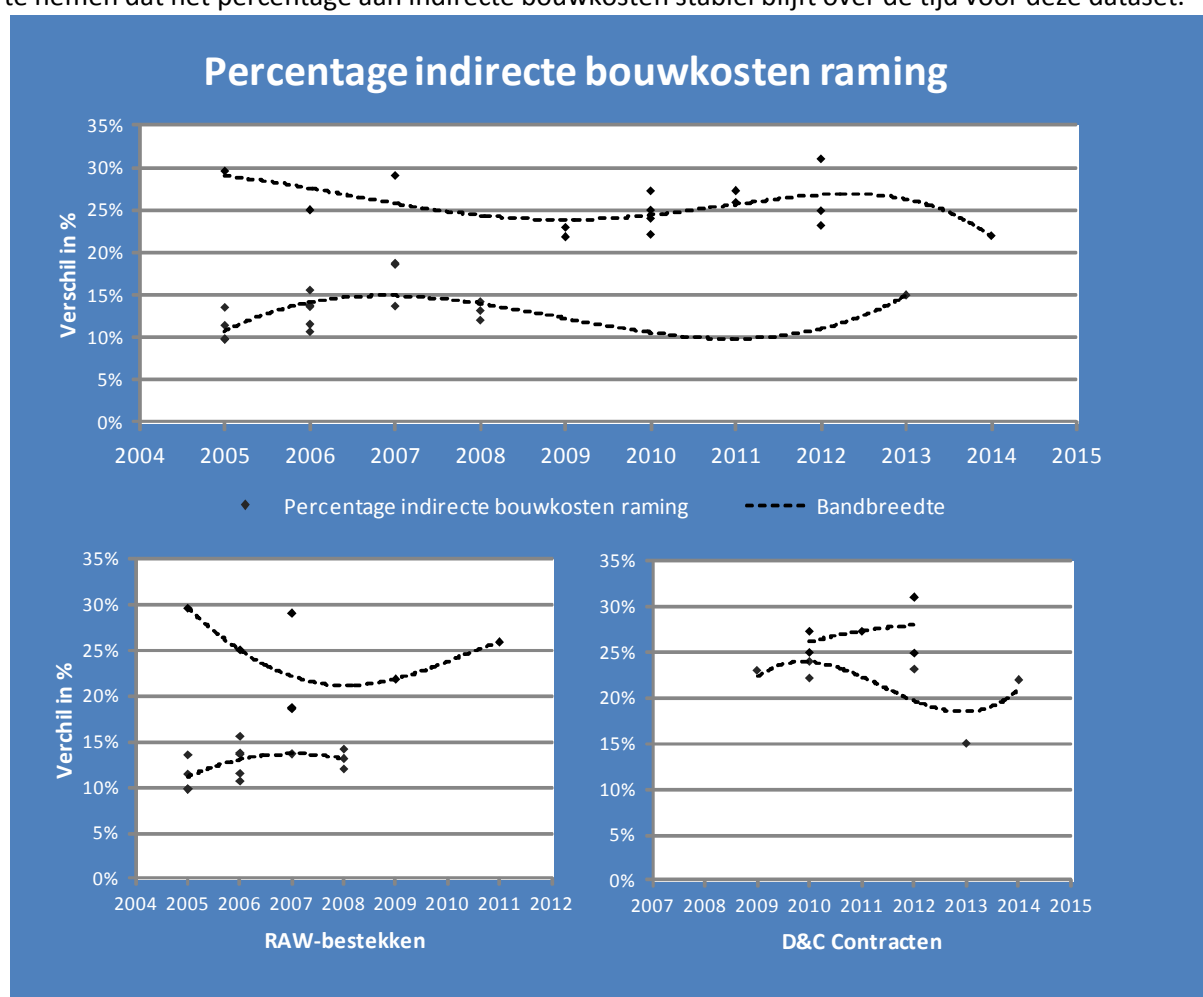
Figuur 5.7: Analyse verschil directe bouwkosten aanbesteding ten opzichte van raming.

Naast de directe bouwkosten zijn ook de indirecte bouwkosten geanalyseerd, waarbij als eerste het percentage indirecte bouwkosten in de raming van verzamelde projecten is bekeken. Uit deze analyse blijkt dat het percentage aan indirecte bouwkosten gemiddeld 20 procent bedraagt. Tevens valt in Tabel 5.10 waar te nemen dat gemiddeld genomen het percentage aan indirecte bouwkosten van een raming van een project met een D&C contract hoger ligt in vergelijking met een project met een RAW-bestek.

Tabel 5.10: Analyse percentage indirecte bouwkosten raming.

Aantal projecten	N=	Gemiddelde	Standaarddeviatie	Bereik aanbestedingsjaren
Totaal	31	19,25%	6,67%	2005-2014
RAW-bestek	20	16,59%	6,38%	2005-2011
D&C	11	24,08%	4.04%	2009-2014

Met behulp van statistische software is getoetst of er sprake is van een significant verschil tussen het percentage aan indirecte bouwkosten voor een RAW-bestek en een D&C contract. Uit de resultaten in bijlage 5.2. valt te concluderen dat er sprake is van een significant verschil tussen indirecte bouwkosten in een raming van een RAW-bestek in vergelijking met een D&C contract. Dit verschil kan meerdere oorzaken hebben. Een eerste oorzaak is dat een D&C contract met name is toegepast voor complexere projecten. Een andere oorzaak is dat wanneer de opdrachtnemer meer verantwoordelijkheid heeft voor het ontwerp, deze mogelijk ook meer indirecte bouwkosten gaat maken. In Figuur 5.8 is het percentage aan indirecte bouwkosten uitgezet in de tijd. Hierin valt waar te nemen dat het percentage aan indirecte bouwkosten stabiel blijft over de tijd voor deze dataset.



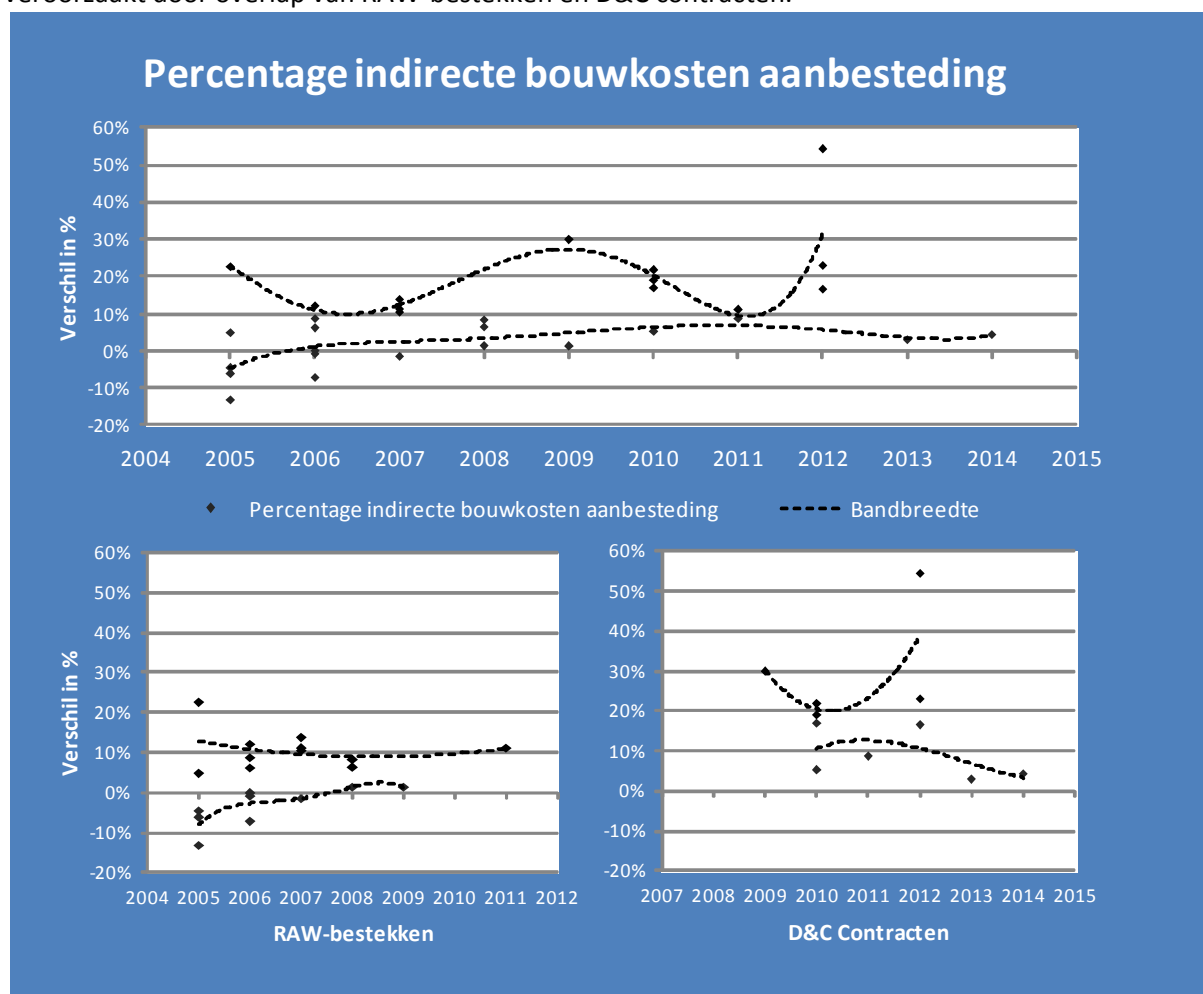
Figuur 5.8: Analyse percentage indirecte bouwkosten raming.

De volgende analyse bestaat uit de analyse van indirecte bouwkosten in aanbestedingen. Een eerste waarneming is dat de indirecte bouwkosten in de aanbesteding gemiddeld genomen lager liggen ten opzichte van de indirecte bouwkosten in een raming. Uit Tabel 5.11 valt eveneens op te maken dat er een verschil zit in het percentage aan indirecte bouwkosten voor projecten met RAW-bestek in vergelijking met projecten met een D&C contract.

Tabel 5.11: Analyse percentage indirecte bouwkosten aanbesteding.

<i>Aantal projecten</i>	N=	Gemiddelde	Standaarddeviatie	Bereik aanbestedingsjaren
Totaal	31	9,31%	12,90%	2005-2014
RAW-bestek	20	4,27%	8,53%	2005-2011
D&C	11	18,47%	14,75%	2009-2014

Of er daadwerkelijk sprake is van een verschil is getoetst met behulp van statistische software. In de resultaten, bijlage 5.2., is waar te nemen dat er sprake is van een significant verschil in het percentage indirecte bouwkosten in een RAW-bestek in vergelijking met een D&C contract. Dit verschil is te verklaren aangezien in hoofdstuk 3.4.2 is benoemd dat in geval van een RAW bestek concurrentie plaatsvindt op basis van prijs. Waar in het geval van een project met een D&C contract concurrentie plaatsvindt op het ontwerp en dus de hoeveelheden. In Figuur 5.9 is het percentage indirecte bouwkosten in de aanbesteding uitgezet in de tijd. De variatie in de bandbreedte is veroorzaakt door overlap van RAW-bestekken en D&C contracten.



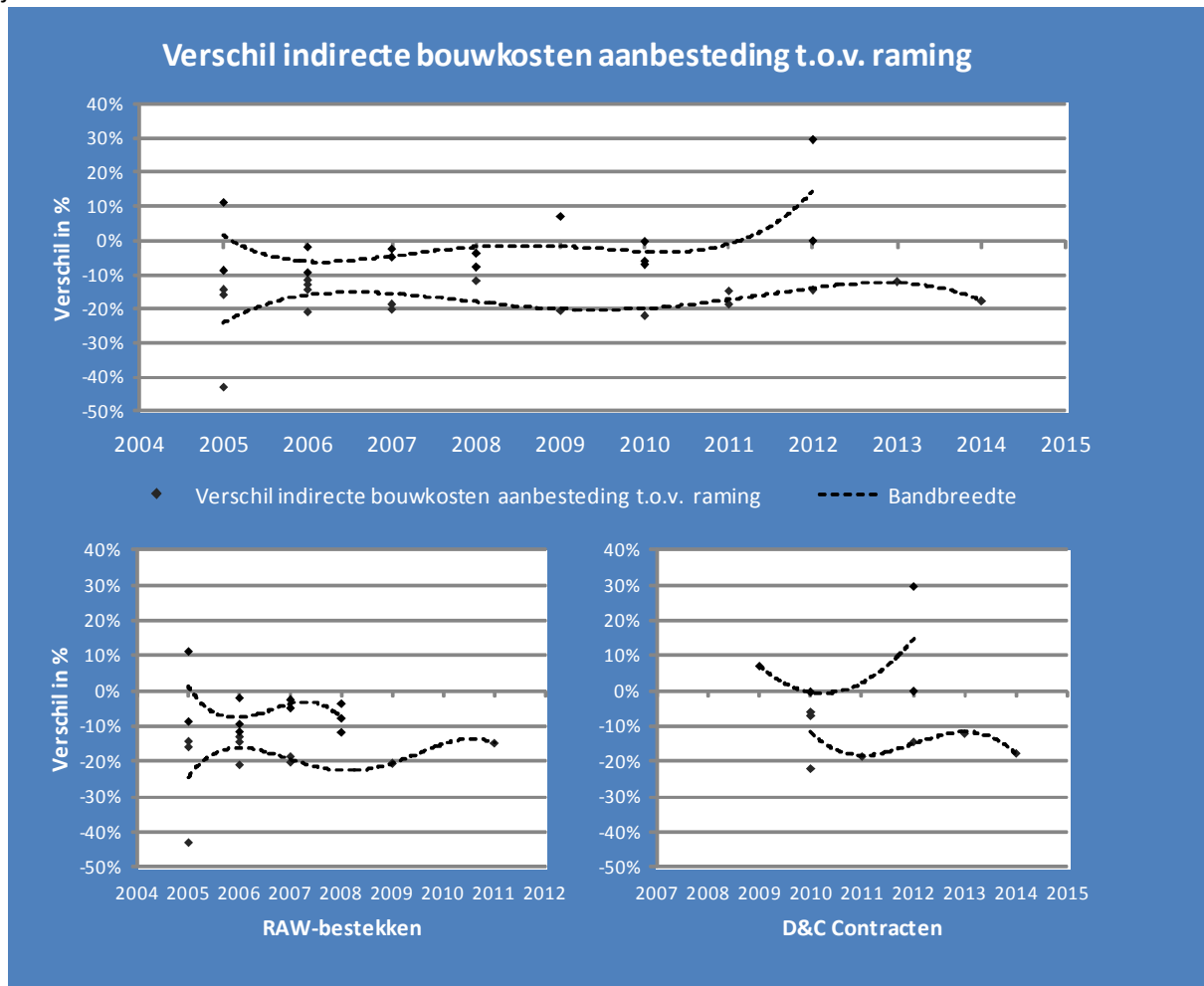
Figuur 5.9: Analyse percentage indirecte bouwkosten aanbesteding.

De bovenstaande indirecte bouwkosten analyses laten een waarneembaar verschil zien in het percentage indirecte bouwkosten tussen een raming en een aanbesteding. Daarom is hieronder het verschil in indirecte bouwkosten geanalyseerd. In Tabel 5.12 is te zien dat in het geval van een RAW-bestek sprake is van een groter verschil in indirecte bouwkosten vergeleken met een D&C contract.

Tabel 5.12: Analyse verschil indirecte bouwkosten aanbesteding ten opzichte van raming.

<i>Aantal projecten</i>	N=	Gemiddelde	Standaarddeviatie	Bereik aanbestedingsjaren
Totaal	31	-9,94%	12,40%	2005-2014
RAW-bestek	20	-12,32%	10,60%	2005-2011
D&C	11	-5,61%	14,68%	2009-2014

Het verschil in percentages indirecte bouwkosten van een RAW-bestek ten opzichte van een D&C contract is getoetst op significantie. De resultaten in bijlage 5.2. geven weer dat er geen sprake is van een significant verschil. In het verschil in het percentage indirecte bouwkosten tussen raming en aanbesteding is te verklaren doordat zowel in de raming als de aanbesteding voor een project met een RAW-bestek een lager percentage aan indirecte bouwkosten wordt gehanteerd. Dit ten opzichte van een project met een D&C contract. Hieruit is geconcludeerd dat de opdrachtgever met het hogere percentage aan indirecte bouwkosten van een D&C contract. Zich indekt tegen het hogere percentage aan indirecte bouwkosten van een aanbesteding. In Figuur 5.10 is te zien dat de bandbreedte van het verschil in indirecte bouwkosten in deze dataset redelijk gelijk blijft over de jaren heen.



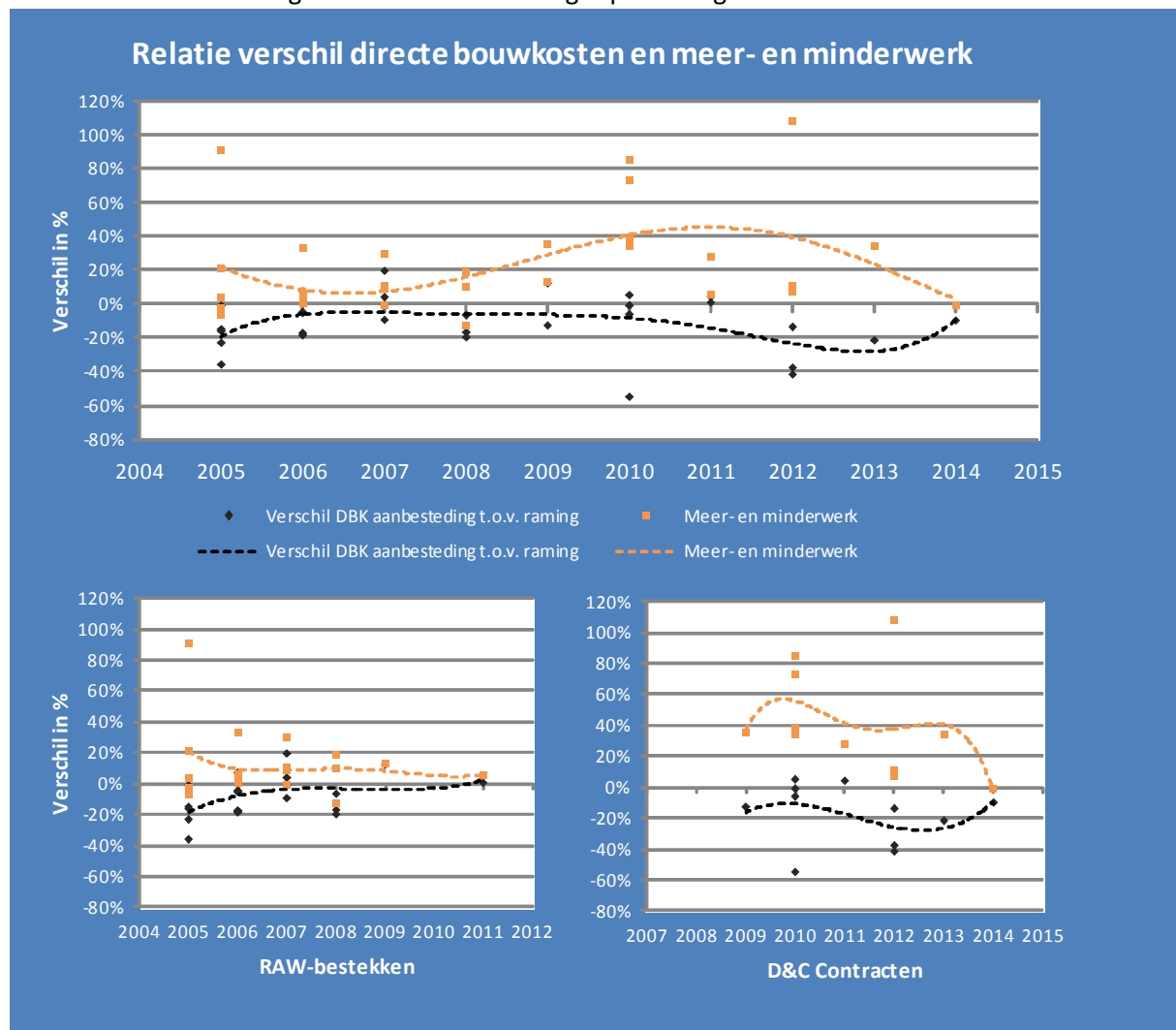
Figuur 5.10: Analyse verschil indirecte bouwkosten aanbesteding ten opzichte van raming.

Om te kijken of er een verband bestaat tussen het verschil van de aanbesteding ten opzichte van de raming en het meer- en minderwerk zijn de volgende onderdelen geanalyseerd.

- Relatie verschil tussen directe bouwkosten raming-aanbesteding en meer- en minderwerk
- Relatie tussen hoogte indirecte bouwkosten aanbesteding en meer- en minderwerk
- Relatie tussen verschil indirecte bouwkosten raming-aanbesteding en meer- en minderwerk

Als eerste is gekeken of er een verband is in het verschil in directe bouwkosten tussen de aanbesteding ten opzichte van de raming van een project. In Figuur 5.11 is te zien dat wanneer het verschil in directe bouwkosten toeneemt, het percentage aan meer- en minderwerk in een project eveneens toeneemt. Een andere waarneming is dat in geval van RAW-bestek het verschil tussen directe bouwkosten over de jaren heen is afgenomen en dat hiermee ook het percentage aan meer-

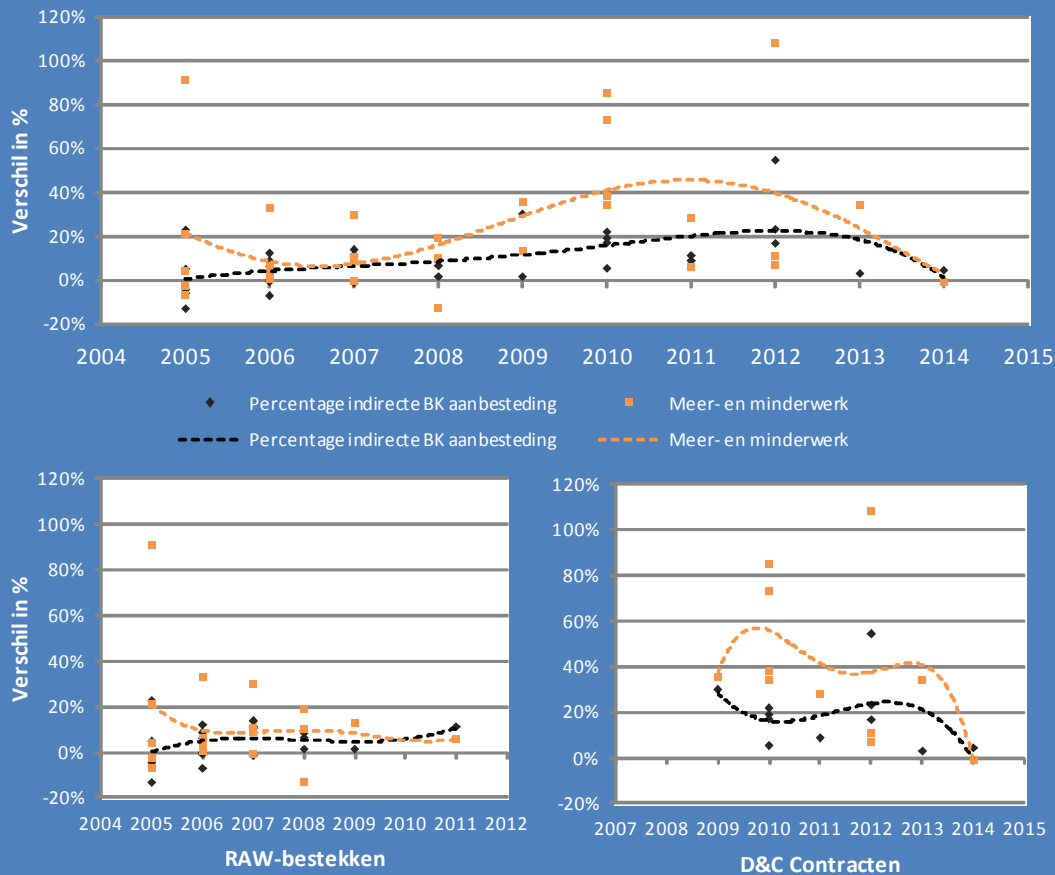
en minderwerk is afgenomen. Tevens is waar te nemen dat een verschil in directe bouwkosten in een D&C contract over het algemeen leidt tot een hoger percentage aan meer- en minderwerk.



Figuur 5.11: Analyse relatie verschil directe bouwkosten en meer- en minderwerk.

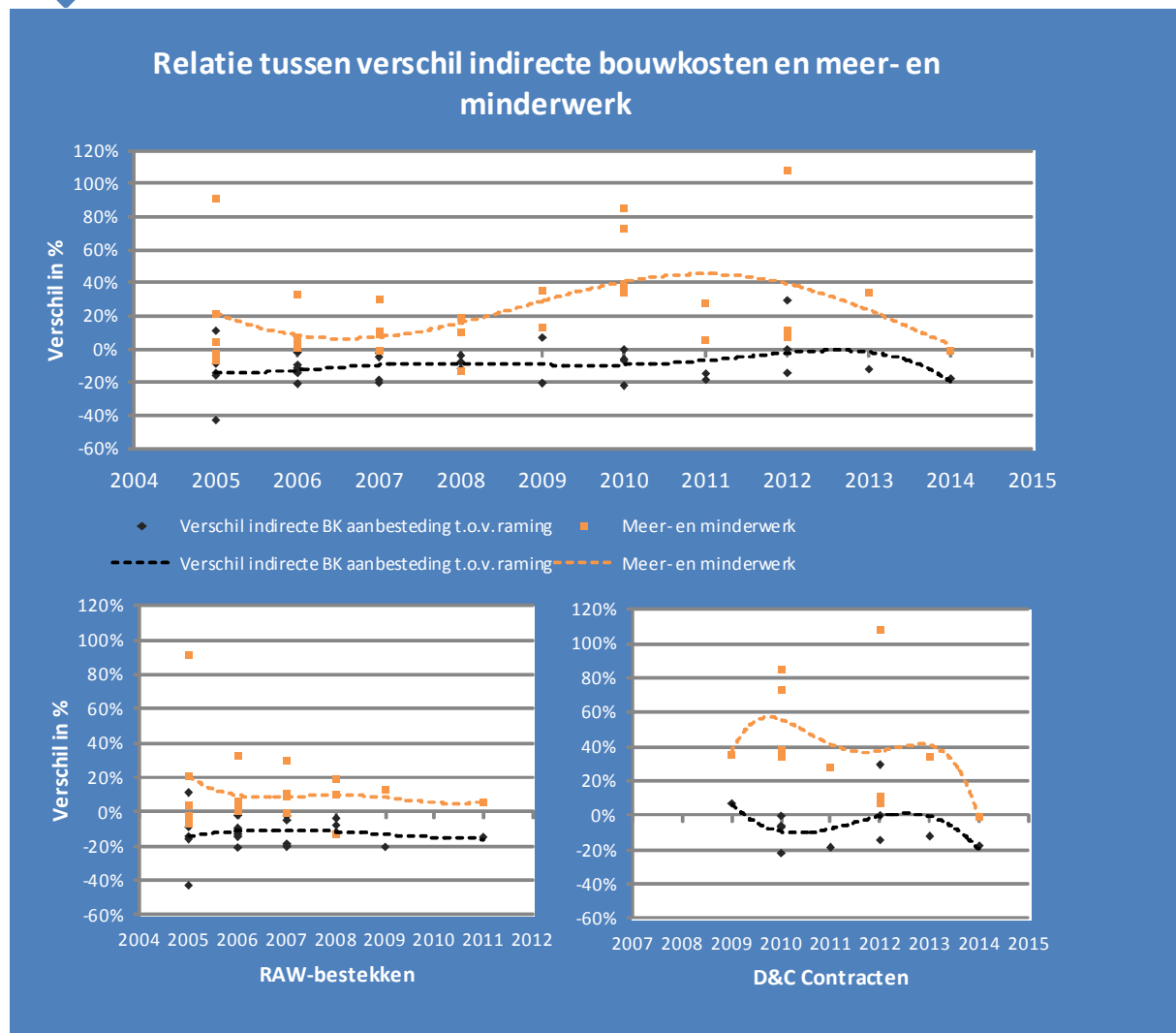
Als tweede is gekeken of er sprake is van een verband tussen de hoogte van het percentage indirecte bouwkosten in de aanbesteding en het meer- en minderwerk in een project. Uit Figuur 5.12 valt waar te nemen dat er geen sprake is van een verband tussen het percentage indirecte bouwkosten in de aanbesteding en het meer- en minderwerk. Een verklaring hiervoor is dat de relatie tussen het percentage indirecte bouwkosten in de aanbesteding en het meer- en minderwerk eveneens te maken heeft met andere factoren. Factoren als bijvoorbeeld projectwerkzaamheden of de mate van concurrentie op een project. Er valt te concluderen dat de mate van concurrentie, wat waar te nemen is in de indirecte bouwkosten van de aanbesteding niet direct leidt tot meer- en minderwerk.

Relatie tussen indirecte bouwkosten aanbesteding en meer- en minderwerk



Figuur 5.12: Analyse relatie tussen indirecte bouwkosten aanbesteding en meer- en minderwerk.

Omdat er geen verband is waargenomen tussen de hoogte van de indirecte bouwkosten in de aanbesteding en het meer- en minderwerk. Is geanalyseerd of er een verband is in het verschil in percentage indirecte bouwkosten in de aanbesteding ten opzichte van de raming en het optredende meer- en minderwerk. In Figuur 5.13 is waar te nemen dat er mogelijk sprake kan zijn tussen een verband in het verschil aan indirecte bouwkosten en het meer- en minderwerk. Echter valt ook te concluderen dat uitschieters voor te veel ruis in de analyse zorgen. Om te kijken of er daadwerkelijk sprake is van een verband tussen het verschil in percentage indirecte bouwkosten en meer- en minderwerk is meer data benodigd.



Figuur 5.13: Analyse relatie tussen verschil indirecte bouwkosten en meer- en minderwerk.

5.4.4. Conclusie data analyseren

In deze paragraaf is de verzamelde data geanalyseerd. Hieruit is gebleken dat in de data sprake is van een significant verschil tussen de contractvormen RAW-bestek en D&C contract. Wanneer dit onderscheid is doorgevoerd gedurende de gehele analyse blijkt dat in het geval van een D&C contract sprake is van een groter verschil in directe bouwkosten in de aanbesteding, ten opzichte van een raming. Tevens is er sprake van een kleiner verschil in indirecte bouwkosten in een aanbesteding ten opzichte van een raming. Wanneer RAW-bestekken en D&C contracten met elkaar zijn vergeleken. Een laatste conclusie is dat het verschil in directe bouwkosten van een aanbesteding ten opzichte van een raming verband lijkt te hebben met het meer- en minderwerk. Echter is meer data benodigd om een goede analyse te maken waarbij onderscheid is gemaakt in directe- en indirecte bouwkosten en contractvormen.

5.5. Conclusie data collectie

In dit hoofdstuk is de data collectie voor dit onderzoek opgesteld. Als eerste is er gekeken welke data nodig is en wie deze data tot zijn beschikking heeft. Hieruit is gebleken dat de opdrachtgevers datacomponenten over alle projectfases tot hun beschikking kunnen hebben. Vervolgens is aangegeven op welke wijze de projecten worden ontleed, waarna als laatst de data analyse is uitgevoerd. Aangezien de dataset voor het RCF model bepalend is voor het onderzoek, is een data analyse opgezet uit oogpunt van de benodigde data voor het RCF model. Hieruit is de derde deelvraag beantwoord.

Deelvraag 3

Wanneer worden resultaten als betrouwbaar gezien?

Als eerste moeten de projecten welke in het model zijn gebruikt compleet of deels compleet zijn. Compleet houdt in dat projecten data bevatten over het gehele project met onderscheid in directe en indirecte bouwkosten voor de raming en aanbesteding en totale bouwkosten bij oplevering. Deels compleet houdt in dat projecten data moeten bevatten vanaf raming tot en met aanbesteding of aanbesteding tot en met oplevering. Eveneens is in het model onderscheid gemaakt in directe en indirecte bouwkosten. Om zo de niet-projectspecifieke bouwkosten in kaart te brengen. Vervolgens is vastgesteld dat de resultaten binnen de spreiding moeten vallen van de analyse in Tabel 5.13. Dit houdt in dat de spreiding van bouwkostenover- en onderschrijdingen het gemiddelde van **-3,0%** moet benaderen en dat de spreiding kleiner moet zijn dan een standaarddeviatie van **31,8%**. Verder is in de data analyse gebleken dat er een sprake is van een significant verschil tussen de contractvormen D&C contract en RAW-bestek. Hiervoor moet het gemiddelde van bouwkostenover- en onderschrijdingen voor projecten met een RAW-bestek **-11,9%** benaderen. Waarbij de spreiding van deze bouwkostenover- en onderschrijdingen kleiner moet zijn dan **16,4%**. Voor projecten met een D&C contract is dit een gemiddelde van **10,5%** met een spreiding van **43,3%**.

Tabel 5.13: Uitgangspunten voor betrouwbare resultaten.

<i>Aantal projecten</i>	N=	Gemiddelde	Standaarddeviatie	Bereik aanbestedingsjaren	Gemiddelde inschrijfsom
Totaal	55	-3,0%	31,8%	2002-2014	€ 8.688.978
RAW-bestek	33	-11,9%	16,4%	2002-2011	€ 1.826.365
D&C	22	10,5%	43,3%	2005-2014	€ 18.982.898

Eveneens is in de data analyse gebleken dat het verschil in directe bouwkosten tussen raming en aanbesteding van een project met een RAW-bestek, het uitgangspunt is voor het verbeteren van de werkelijkheid middels het neurale netwerk kostenmodel. In dit onderzoek is onder meerwerk het volgende verstaan:

- **Meerwerk op de huidige scope**
- **Meerwerk ten gevolge van scope uitbreiding**

In het model is geen onderscheid gemaakt in de bovengenoemde vormen van meerwerk. Omdat dit onderscheid niet aanwezig is in de beschikbare data. In toekomstig onderzoek kan onderscheid in meerwerk een toegevoegde waarde zijn.

6. Resultaten & Discussie

De volgende stap in het onderzoek is het uitvoeren van het onderzoek, waarbij resultaten worden gegenereerd en bediscussieerd. In voorgaande hoofdstukken is telkens onderscheid gemaakt tussen de eigenschappen projectspecifiek, werkelijkheid en niet-projectspecifiek. Deze eigenschappen zijn in hoofdstuk 4 gekoppeld aan onderdelen in het model. Hierbij is onderscheid gemaakt in een hoeveelhedenmodel, neurale netwerk kostenmodel en een RCF model. In dit hoofdstuk zijn de stappen van het uitvoeren van het onderzoek sequentieel aan de modellen uitgevoerd. Dit hoofdstuk is afgesloten met een conclusie waarin de vierde deelvraag is beantwoord.

Data collectie

Resultaten & Discussie

Conclusie & Aanbevelingen

- Invoeren gegevens
- Uitvoeren onderzoek
- Valideren
- *Is gefunctionaliteitgericht ramen geschikt voor het inschatten van kosten voor civiele projecten?*

6.1. Resultaten hoeveelhedenmodel

Het eerste sub model is het hoeveelhedenmodel. Hiervoor is een model opgesteld aan de hand van normen en richtlijnen voor wegontwerp van het CROW en Rijkswaterstaat. In bovenstaande hoofdstukken is aangegeven dat in het hoeveelhedenmodel enkel onderdelen zijn meegenomen welke van invloed zijn op het wegalignment. De elementen welke van invloed zijn op het wegalignment zijn uitgewerkt in bijlage 4.2. en 4.3. In hoofdstuk 3.3 is tevens aangegeven dat in dit onderzoek onderscheid is gemaakt in regionale- en nationale stroomwegen, en gebiedsontsluitingswegen, dit komt terug in de bovengenoemde bijlagen. Verder is aangegeven dat de hoeveelheden volgend uit het hoeveelhedenmodel moeten aansluiten op het neurale netwerk kostenmodel om zo beter de werkelijkheid te benaderen. Op basis van deze gegevens is het hoeveelhedenmodel opgesteld. Met als doel het genereren van hoeveelheden zonder dat hiervoor een ontwerp nodig is of dat de kostenruimte diep in het project moet zitten. Het uitgangspunt is dat er geen ontwerp aanwezig is. Dit leidt er toe dat het detailniveau voorontwerp vereist is voor het hoeveelhedenmodel. In deze paragraaf zijn eerst de gegevens ingevoerd, waarna het model is gevalideerd. De resultaten zijn belicht middels een discussie waarna dit hoofdstuk is afgesloten met een conclusie.

6.1.1. Validatie

Het is van belang om het hoeveelhedenmodel te valideren om na te gaan of de hoeveelheden op een juiste manier benaderd worden. Het hoeveelhedenmodel is gevalideerd met behulp van kostenramingen welke zijn opgesteld met het principe van standaard dwarsprofielen door Witteveen+Bos. In deze standaarddwarsprofielen is bepaald welke hoeveelheden een strekkende meter weg bevat.

In de wegoopbouw is tevens onderscheid gemaakt in de invloed van de materialen op de bouwkosten. Zo heeft asfalt per strekkende meter weg een groter aandeel in de bouwkosten in vergelijking met markerings. Zie Tabel 6.1 voor een voorbeeld van invloed van activiteiten op bouwkosten van de aanleg van een nieuwe regionale stroomweg met 2x2 rijstroken.

Tabel 6.1: Procentuele invloed van activiteiten op de directe bouwkosten.

Activiteit	Procentuele invloed
Verwijderen grond	2,52%
Aanbrengen fundering	13,24%
Aanbrengen asfalt	67,42%
Aanbrengen markering	2,60%
Overige	14,18%

Tijdens de validatie van het hoeveelheden zijn eenheidsprijzen gehanteerd van de validatieset. Zowel de hoeveelheden in de validatieset als hoeveelhedenmodel worden vermenigvuldigd met deze eenheidsprijs. Waardoor onderscheid ontstaat in de invloed van verschillende hoeveelheden en hierin de invloed van eenheidsprijzen is uitgesloten.

In hoofdstuk 3.2 is benoemd dat in de vroege projectfases een percentage voor directe bouwkosten nader te detailleren (ntd) is meegenomen in een bouwkostenraming. Eveneens is aangegeven dat het percentage ntd afneemt naarmate een project zich in een verdere projectfase bevindt. Omdat de validatieset zich niet in dezelfde projectfase bevindt als het hoeveelhedenmodel, zijn eerst de hoeveelheden gevalideerd welke zowel in het hoeveelhedenmodel als in de validatieset aanwezig zijn. Vervolgens is het hoeveelhedenmodel gevalideerd door ook de hoeveelheden uit de validatieset mee te nemen welke niet in het hoeveelhedenmodel aanwezig zijn. Hierin speelt het percentage 'ntd' en de projectfase een rol. Het percentage ntd is aan het hoeveelhedenmodel toegevoegd om de extra hoeveelheden uit de validatieset te compenseren.

Zoals hierboven is aangegeven zijn eerst hoeveelheden gevalideerd welke zowel in de validatieset als het hoeveelhedenmodel aanwezig zijn. In Tabel 6.2 is te zien dat voor de validatie van gelijke hoeveelheden een validatieset van 5 elementen is gebruikt. In het hoeveelhedenmodel is onderscheid gemaakt tussen 3 wegtypen welke tevens terugkomen in de validatieset. Eveneens is gekozen voor een variatie in rijstroken en werkzaamheden. In Tabel 6.3 is te zien dat de gemiddelde afwijking van de validatie van gelijke hoeveelheden -0,50% is met een standaarddeviatie van 4,76%. Vervolgens is met behulp van statistische software getoetst of de validatieset gelijk is aan het hoeveelhedenmodel. Tijdens deze toets is een betrouwbaarheidsinterval van 95% gebruikt. Dit omdat volgens de SSK een variatiecoëfficiënt van 5% gebruikt wordt voor onder- en overschrijdingskansen van hoeveelheden. Omdat in geval van de validatie van gelijke hoeveelheden geen onderscheid is gemaakt in projectfase niveau, is voor de validatie de variatiecoëfficiënt van 5% aangehouden. De resultaten in bijlage 6.1. geven aan dat het hoeveelhedenmodel en de validatieset met een waarde van 0,83 gelijk aan elkaar zijn. Hieruit valt te concluderen dat het hoeveelhedenmodel in staat is om de hoeveelheden, aanwezig in de validatieset en het hoeveelhedenmodel, nauwkeurig te bepalen.

Tabel 6.2: Validatieset hoeveelhedenmodel.

N=5	Type weg	Werkzaamheden	Rijstroken	Afwijking
Validatie 1	Regionale stroomweg	Aanleg	2x1	6,13%
Validatie 2	Regionale stroomweg	Aanleg	2x2	0,27%
Validatie 3	Regionale stroomweg	Verbreiding	2x2	-5,69%
Validatie 4	Gebiedsontsluitingsweg	Aanleg	2x1	1,30%
Validatie 5	Nationale stroomweg	Verbreiding	2x3	-4,50%

Tabel 6.3: Vergelijking validatieset met hoeveelhedenmodel.

Validatiemethode	Gemiddelde afwijking	Standaarddeviatie
Gelijke hoeveelheden	-0,50%	4,76%

De standaard dwarsprofielen van de validatieset zijn bestemd voor een hoger detailniveau in vergelijking met het hoeveelhedenmodel, zie Tabel 6.4. De validatieset is bestemd voor de fase definitief ontwerp waar het hoeveelhedenmodel bestemd is voor de voorontwerpfase. Het verschil in detailniveau is tevens gevalideerd met het percentage ntd om het verschil in detailniveau tussen

het hoeveelhedenmodel en de validatieset te compenseren. De validatie met ntd kent 2 varianten, een variant waarbij het percentage ntd van de validatieset is meegenomen en een variant waarbij het percentage ntd niet is meegenomen. In Tabel 6.5 is waar te nemen dat de gemiddelde afwijking met ntd 20,93% bedraagt met een standaarddeviatie van 9,72%. De afwijking zonder het percentage ntd is 16,96% met een standaarddeviatie van 10,21%.

Tabel 6.4: Validatieset met niet gelijke hoeveelheden door verschil in detailniveau.

N=5	Type weg	Werkzaamheden	Afwijking met 'ntd'	Afwijking zonder 'ntd'
Validatie 1	Regionale stroomweg	Aanleg	-11,48%	-7,05%
Validatie 2	Regionale stroomweg	Aanleg	-15,17%	-10,93%
Validatie 3	Regionale stroomweg	Verbreiding	-33,80%	-30,49%
Validatie 4	Gebiedsontsluitingsweg	Aanleg	-15,46%	-11,23%
Validatie 5	Nationale stroomweg	Verbreiding	-28,67%	-25,10%

Tabel 6.5: Resultaten validatie met niet gelijke hoeveelheden.

Validatiemethode	Gemiddelde afwijking	Standaarddeviatie
Met 'ntd'	-20,93%	9,72%
Zonder 'ntd'	-16,96%	10,21%

De validatie waarin het percentage ntd is meegenomen is vergeleken met de toegepaste percentages ntd binnen Witteveen+Bos. Er moet rekening gehouden worden dat de gehanteerde percentages ntd indicatief zijn en dus per project kunnen verschillen. Zoals eerder aangegeven is voorontwerp het vereiste detailniveau voor het hoeveelhedenmodel. Hierbij hoort een indicatief percentage ntd van **15%** met een indicatieve variatiecoëfficiënt van **20%**. Met behulp van statistische software is getoetst of het hoeveelhedenmodel met toepassing van een percentage ntd verschilt ten opzichte van de indicatieve percentages ntd in vergelijking met de validatieset. Hieruit blijkt dat het hoeveelhedenmodel en de standaard dwarsprofielen aan elkaar gelijk zijn met een waarde van 0,270, zie bijlage 6.1.

Wanneer de validatiemethode zonder 'ntd' getoetst is met behulp van statistische software. Moet het percentage ntd in de validatieset gecorrigeerd zijn op het indicatieve percentage ntd, om zo een goede vergelijking te genereren. Hierbij komt het percentage ntd op **10%** en de variatiecoëfficiënt eveneens op **10%**. Hieruit blijkt dat het hoeveelhedenmodel en de validatieset met een waarde van 0,211 gelijk aan elkaar zijn, zie bijlage 6.1.

6.1.2. Discussie & Conclusie

Het hoeveelhedenmodel is gevalideerd op 2 varianten. Hieruit blijkt als eerste dat het hoeveelhedenmodel in staat is om de gelijke hoeveelheden nauwkeurig in te schatten met een betrouwbaarheidsinterval van 5%. Vervolgens is het hoeveelhedenmodel gevalideerd waarbij ook de hoeveelheden zijn meegenomen welke niet in beide onderdelen aanwezig zijn. Hieruit blijkt dat het hoeveelhedenmodel geen significante afwijking heeft ten opzichte van de validatieset met een betrouwbaarheidsinterval van 95%. Echter is in Tabel 6.4 waar te nemen dat validaties met een verbreding relatief meer afwijken van het gemiddelde in vergelijking met validaties waarin een nieuwe weg is aangelegd. Hieruit is geconcludeerd dat in het hoeveelhedenmodel een verbeteringslag moet worden gemaakt met betrekking tot het verbreden van een weg. Deze verbeteringslag kan mogelijk in aanvullend onderzoek gemaakt worden. Zoals is waar te nemen, is het hoeveelhedenmodel niet gevalideerd op een wegrenovatie of wegonderhoud. Dit komt doordat werkzaamheden als renovatie of onderhoud moeilijk in een standaard dwarsprofiel te vatten zijn. Om de betrouwbaarheid van het hoeveelhedenmodel te vergroten dient in de toekomst het model gevalideerd te worden aan werkzaamheden als renovatie en onderhoud. Aan de hand van de validatie kunnen dan verbeteringen in het model worden gemaakt. Om het model verder te optimaliseren kan gekozen worden om het model te valideren per hoeveelheid in plaats van op het complete wegprofiel, aangezien per validatie een verschil zit in afzonderlijke hoeveelheden.

6.2. Resultaten neurale netwerk kostenmodel

Het tweede sub model bestaat uit het neurale netwerk kostenmodel. In dit model zijn eenheidsprijzen aan hoeveelheden materiaal gekoppeld. In dit model is geanalyseerd wat de verhouding tussen de eenheidsprijzen in de raming van de opdrachtgever en de inschrijfstaat van de opdrachtnemer is. Tevens is ook geanalyseerd of parameters horend bij de eenheid materiaal een rol spelen in de verhouding tussen de eenheidsprijs in de raming en de eenheidsprijs in de aanbesteding. In dit neurale netwerk kostenmodel is onderscheid gemaakt tussen de activiteit verwijderen van asfalt en aanbrengen van asfalt. Er is besloten om de hiervoor genoemde activiteiten te analyseren, aangezien ze van grote invloed zijn op de bouwkosten van een strekkende meter weg. Zie Tabel 6.1. Variabelen welke van beide activiteiten zijn geanalyseerd, zijn hieronder weergegeven.

- Input 1: eenheidsprijs raming
- Input 2: hoeveelheid raming/inschrijfstaat
- Input 3: dikte van laag raming/inschrijfstaat
- Output: eenheidsprijs inschrijfstaat

Aan de hand van de bovengenoemde input variabelen zijn 3 combinaties gegenereerd. Hierbij is onderscheid gemaakt in verwijderen van asfalt en aanbrengen van asfalt. In Tabel 6.6 is te zien wat de grootte van de dataset per activiteit bedraagt. Om een vergelijking te maken tussen de eenheidsprijzen in de raming en in de inschrijfstaat mogen input variabelen Input 2 en Input 3 niet aan verandering onderhevig zijn. Daarom is het belangrijk dat enkel data wordt meegenomen in het model waarvan zowel de raming als de inschrijfstaat compleet is. In het neurale netwerk kostenmodel is onderscheid gemaakt in data voor het model, data voor de training en data voor de validatie. Zoals aangegeven in hoofdstuk 5.1.2 is voor de validatie van het model onderscheid gemaakt in een dataset voor het opzetten van het model en een dataset voor de validatie van het model. Hiervoor is 75% van de data gebruikt om het model op te zetten en 25% van de data gebruikt om het model te valideren. Om de data voor de validatie willekeurig te kiezen is de data gesorteerd op hoeveelheid, waarna vervolgens elk 4^e datacomponent is geselecteerd voor het valideren van het model.

Tabel 6.6: Dataset voor neuraal netwerk kostenmodel.

Grootte dataset	N Aanbrengen asfalt	N Verwijderen asfalt
Totaal	66	54
Model	30	25
Training	20	16
Validatie	16	13

Aan de hand van de input variabelen zijn 3 combinaties gegenereerd. Als eerste is geanalyseerd of er sprake is van een verband tussen input 1 en de output. Als tweede is geanalyseerd of er sprake is van een verband tussen input 1+input 2 en output. Als laatste is geanalyseerd of er een verband is tussen input 1 + input 2 + input 3 en output. Hieronder zijn in Tabel 6.7 de resultaten van de analyse voor zowel het verwijderen als aanbrengen van asfalt weergegeven. De resultaten zijn weergegeven in een correlatiecoëfficiënt (R) en het determinatiecoëfficiënt (R²). De resultaten voor het verwijderen van asfalt zijn een stuk nauwkeuriger in vergelijking met de resultaten voor het aanbrengen van asfalt. Echter zal in de validatie blijken of de resultaten met betrekking tot het verwijderen van asfalt betrouwbaar zijn. Eveneens valt te concluderen dat er geen sprake is van samenhang tussen de verschillende combinaties en de output voor het aanbrengen van asfalt. Omdat voor het verwijderen van asfalt een hoge regressie is behaald in het resultaat, is deze activiteit nogmaals geanalyseerd waarbij de 3 hoogste uitschieters niet zijn meegenomen (resultaat tussen haakjes), zie Figuur 6.1 voor de uitschieters. In Tabel 6.7 is te zien dat dit niet leidt tot een ander resultaat, dus moet het uit de validatie blijken of het resultaten voor het verwijderen van asfalt betrouwbaar zijn.

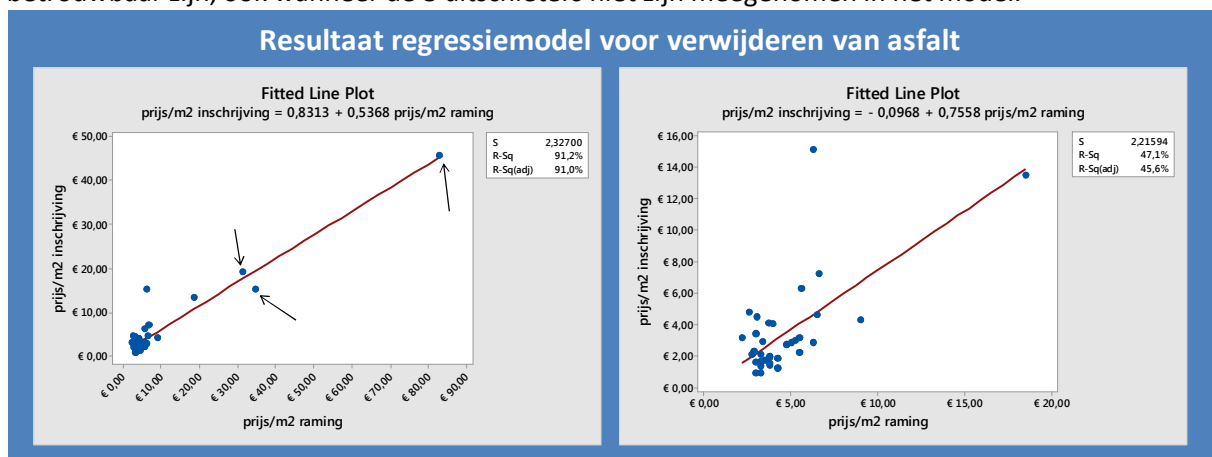
Tabel 6.7: Resultaat neuraal netwerk kostenmodel.

Combinatie	Aanbrengen asfalt		Verwijderen asfalt	
	R	R ²	R	R ²
Input 1 vs Output	0.547	0.299	1 (1)	1 (1)
Input 1,2 vs Output	0.684	0.468	1 (1)	1 (1)
Input 1,2,3 vs Output	0.615	0.378	0.999 (0.999)	0.998 (0.998)

In bijlage 6.2. zijn de grafische weergaven van de verschillende combinaties te vinden. Hierin valt te zien dat voor het aanbrengen van asfalt veel datacomponenten zich op dezelfde waarde van de X-as bevinden. In deze bijlage is te zien dat de resultaten voor het verwijderen van asfalt niet betrouwbaar zijn, aangezien het neurale netwerk hier de datacomponenten dusdanig heeft getraind dat ze zich allen op hetzelfde niveau bevinden.

6.2.1. Validatie

Het neurale netwerk kostenmodel is gevalideerd met behulp van een regressiemodel, zoals aangedragen in hoofdstuk 4.2. Voor de validatie zijn de waarden R² van de verschillende combinaties met elkaar vergeleken. In Tabel 6.8 is onderscheid gemaakt in aanbrengen van asfalt en verwijderen van asfalt. In geval van het aanbrengen van asfalt valt te concluderen dat er geen samenhang tussen de verschillende combinaties en de output is. Echter is wel te concluderen dat het neurale netwerk voor aanbrengen van asfalt in elk van de 3 combinaties meer samenhang waarneemt in vergelijking met een regressiemodel. Vervolgens is de activiteit verwijderen van asfalt geanalyseerd middels een regressiemodel. In Tabel 6.8 is waar te nemen dat wanneer de uitschieters zijn meegenomen in het regressiemodel sprake is van samenhang tussen elk van de 3 combinaties en de output. Echter bevinden zich 3 uitschieters in de dataset, zie Figuur 6.1. Wanneer deze uitschieters zijn uitgesloten, is in het geval van het regressiemodel sprake van minder samenhang tussen elk van de 3 combinaties en de output. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het neurale netwerk instaat is, om in het geval van het aanbrengen van asfalt, meer samenhang te vinden tussen de variabelen. Tevens valt te concluderen dat de resultaten van het neurale netwerk voor het verwijderen van asfalt niet betrouwbaar zijn, ook wanneer de 3 uitschieters niet zijn meegenomen in het model.



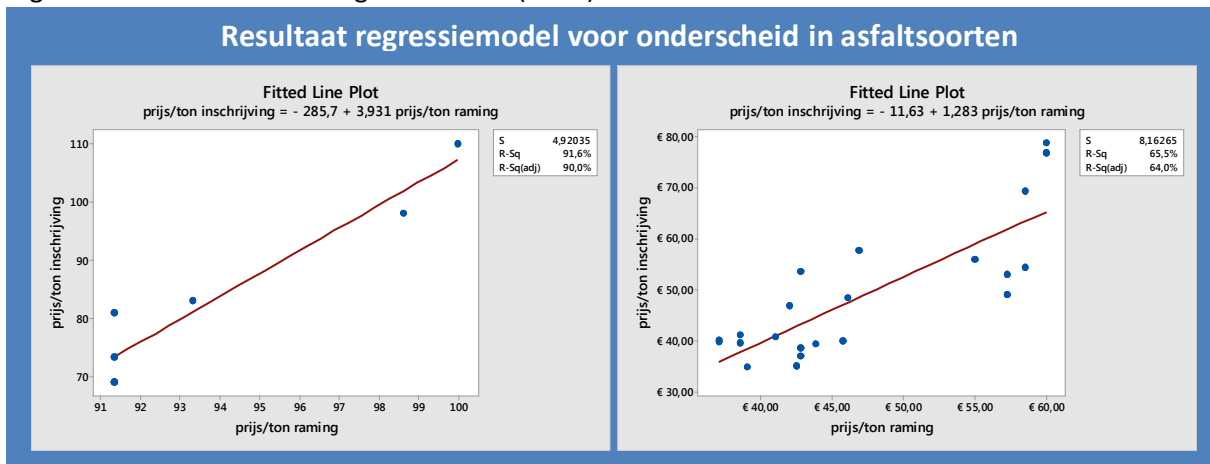
Figuur 6.1: Resultaat regressiemodel voor verwijderen van asfalt, links met- en rechts zonder uitschieters.

Tabel 6.8: Resultaat validatie met regressiemodel.

Combinatie	Aanbrengen asfalt		Verwijderen asfalt	
	R ² (NN)	R ² (Regressie)	R ² (NN)	R ² (Regressie)
Input 1 vs Output	0.299	0.251	1 (1)	0.912 (0.471)
Input 1,2 vs Output	0.468	0.299	1 (1)	0.916 (0.492)
Input 1,2,3 vs Output	0.378	0.347	0.998 (0.998)	0.928 (0.552)

6.2.2. Discussie & conclusie

In deze paragraaf zijn de resultaten van het neurale netwerk kostenmodel geanalyseerd en gevalideerd. Er valt te concluderen dat voor zowel aanbrengen van asfalt als verwijderen van asfalt geen sprake is van samenhang tussen elk van de 3 combinaties en de output. Er zijn verschillende redenen waarom er geen sprake is van samenhang. In het geval van het aanbrengen van asfalt bevat de dataset meerdere soorten asfalt, wat mogelijke samenhang vertroebeld. Daarom is besloten om twee afzonderlijke asfaltsoorten te analyseren. Hieruit blijkt er sprake is van meer samenhang, wanneer de input van de dataset voor het aanbrengen van asfalt verfijnd wordt op asfaltsoorten. Zie Figuur 6.2 waarin het linker regressiemodel voor zeer open asfaltbeton (ZOAB) en het rechter regressiemodel voor steenslag asfaltbeton (STAB) is.



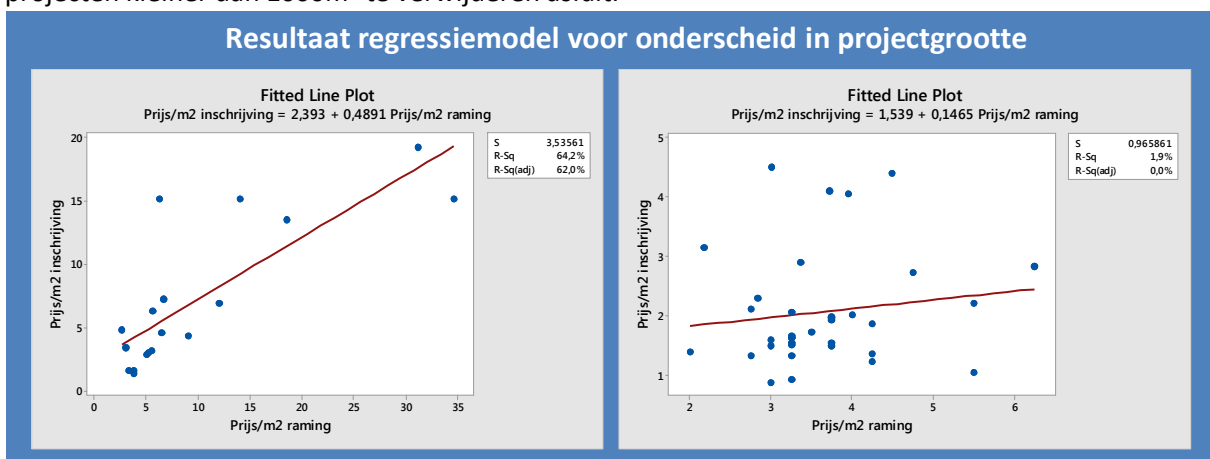
Figuur 6.2: Resultaat regressiemodel voor onderscheid in aanbrengen van asfaltsoorten.

In Tabel 6.9 zijn voor het aanbrengen van asfalt de combinaties voor afzonderlijke asfaltsoorten uitgewerkt. Hieruit valt te concluderen dat wanneer onderscheid gemaakt wordt in verschillende asfaltsoorten er meer samenhang is voor elk van de 3 combinaties en de output.

Tabel 6.9: Resultaat regressiemodel voor onderscheid in aanbrengen van asfaltsoorten.

Aanbrengen asfalt	Zeer open asfaltbeton (zoab)	Steenslag asfaltbeton (stab)
Combinatie	R ² Regressie	R ² Regressie
Input 1 vs Output	0.916	0.655
Input 1,2 vs Output	0.932	0.733
Input 1,2,3 vs Output	0.933	0.771

Ook voor het verwijderen van asfalt is geen samenhang tussen elk van de 3 combinaties en de output waargenomen. In geval de kleinere projecten (<1000m² verwijdering asfalt) spelen de kosten voor het aanvoeren van materieel een grote rol in de eenheidsprijs per vierkante meter te verwijderen asfalt. In Figuur 6.3 en Tabel 6.10 is daarom onderscheid gemaakt in projecten groter dan 1000m² en projecten kleiner dan 1000m² te verwijderen asfalt.



Figuur 6.3: Resultaat regressiemodel voor onderscheid in projectgrootte voor verwijderen van asfalt.

In Tabel 6.10 valt waar te nemen dat voor projecten met minder asfalt verwijdering sprake is van een verband tussen elk van de 3 combinaties en de output. Eveneens valt waar te nemen dat in het geval van projecten met veel asfalt verwijdering er geen sprake is van een verband tussen de combinaties input 1, input 1,2 en de output. Echter is er enigszins sprake van een verband in de tussen combinatie input 1,2,3, en output. Voor projecten >1000m² asfalt verwijdering valt te concluderen dat andere factoren een rol spelen voor de verhouding tussen de eenheidsprijs in de raming en de aanbesteding. Deze factoren zijn niet benoemd in de raming of de inschrijfstaat van een project. Mogelijke factoren zijn: het type asfalt wat moet worden verwijderd, de breedte van de weg en de lengte van de weg waarover asfalt verwijderd moet worden.

Tabel 6.10: Resultaat regressiemodel voor onderscheid in projectgrootte voor verwijderen asfalt.

Verwijderen asfalt	Projecten <1000m ²	Projecten >1000m ²
Combinatie	R ² Regressie	R ² Regressie
Input 1 vs Output	0,642	0,019
Input 1,2 vs Output	0,693	0,077
Input 1,2,3 vs Output	0,694	0,473

Een ander discussiepunt is de grootte van de dataset welke gebruikt is voor het neurale netwerk kostenmodel. De dataset voor het neurale netwerk kostenmodel is daarom vergeleken met literatuur in hoofdstuk 2.4.2, waarin toelichting is gegeven van de verschillende toepassingen van neurale netwerken. In Tabel 6.11 is te zien dat in elk van de toepassingen uit hoofdstuk 2.4.2 een grotere dataset is gebruikt in vergelijking met de dataset voor het neurale netwerk kostenmodel. Hieruit valt te concluderen een grotere dataset een positief effect heeft op de betrouwbaarheid van de resultaten het neurale netwerk kostenmodel. Dit is tevens te zien aan de analyse voor het verwijderen van asfalt, waarin het neurale netwerk zichzelf ging trainen (verbanden zoeken die er niet zijn). Het zelf trainen wordt gezien als een van de risico's bij een te kleine dataset. Eveneens is in de literatuur van de toepassingen van een neurale netwerk waar te nemen dat een grotere dataset leidt tot een hogere R², in vergelijking met de dataset voor het neurale netwerk kostenmodel.

Tabel 6.11: Vergelijking dataset neurale netwerk kostenmodel met datasets in literatuuranalyse.

Vergelijking datasets	N=	R ²
Neurale netwerk kostenmodel		
Aanbrengen asfalt	66	0.468
Verwijderen asfalt	54	<u>0.998</u>
Toepassing neurale netwerken hoofdstuk 2.4.2		
(Ahiaga-Dagbui & Smith, 2012)	98	0.893
(Bayram, et al., 2013)	232	0.987
(Wilmot & Mei, 2005)	213	0.82

Echter is een hogere R² niet alleen afhankelijk van de grootte van de dataset, maar ook van de variatie in de dataset. Zo zijn in het neurale netwerk kostenmodel data van verschillende materialen toegepast. Wanneer hier meer in verfijnd wordt, leidt dit tot een beter resultaat. Op dit moment geeft het neurale netwerk kostenmodel nog geen betere weergave van de verhouding in de directe bouwkosten tussen de raming en de aanbesteding van een project. Dit in vergelijking met het verschil in directe bouwkosten in de huidige situatie, geïdentificeerd in de data analyse hoofdstuk 5.4.3.

6.3. Resultaten RCF model

Het derde sub model bestaat uit het RCF model. In het RCF model is onderscheid gemaakt tussen de voorbereidingsfase en de uitvoeringsfase. Hierin is de aanbesteding als belangrijk punt gezien. In hoofdstuk 4.3 is geconcludeerd dat het RCF model geschikt is voor de niet-projectspecifieke onderdelen van een bouwkostenraming. In hoofdstuk 5.1.2 aangegeven dat 25% van de data gebruikt is voor de validatie van het model, dit houdt in dat het model is opgezet met 75% van de data. Zie Tabel 6.12 voor de verdeling van data voor het model en data voor validatie. De resultaten

van het RCF model zijn opgedeeld in de voorbereidingsfase, indirecte bouwkosten en uitvoeringsfase. In de data analyse is aangegeven dat er sprake is van een significant verschil tussen de contractvormen. Daarom is in het RCF model onderscheid gemaakt tussen de contractvormen D&C contract en RAW-bestek.

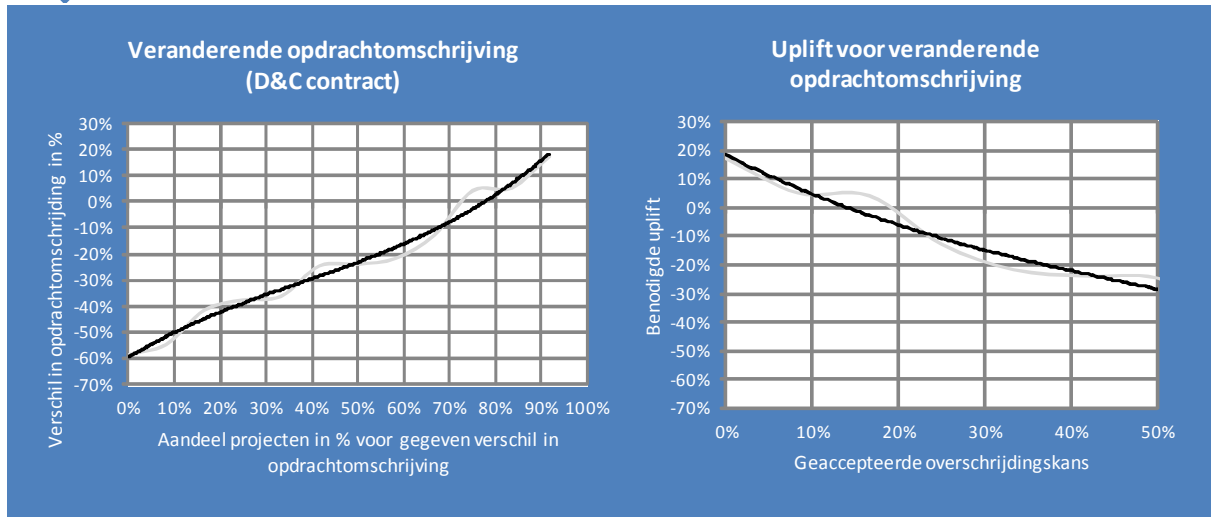
Tabel 6.12: Verdeling data voor het opzetten van het RCF model en valideren van het RCF model.

Onderdeel model	N=	N model (75%)	N validatie (25%)
<i>Voorbereidingsfase</i>			
Hoeveelheden D&C	16	12	4
Eenheidsprijzen RAW-bestek	29	22	7
<i>Indirecte bouwkosten</i>			
Indirecte bouwkosten D&C	19	15	4
Indirecte bouwkosten RAW-bestek	41	31	10
<i>Uitvoeringsfase</i>			
Meer- en minderwerk D&C	22	17	5
Meer- en minderwerk RAW-bestek	33	25	8

Een belangrijk punt voor de validatie en uplift voor het RCF model is de geaccepteerde overschrijdingskans. De geaccepteerde overschrijdingskans bevat het risico wat de opdrachtgever wil nemen voor bepaald onderdeel in het RCF model. Ten behoeve van de validatie is een geaccepteerde overschrijdingskans van 30% aangehouden. Aangezien een SSK-raming een trefzekerheid van 70% dient te bevatten (CROW, 2010). Wanneer een trefzekerheid van 70% vereist is, is er 30% risico genomen voor het niet trefzeker zijn. In de volgende sub paragrafen is per onderdeel eerst het model opgezet, waarna vervolgens het model is gevalideerd. Vervolgens is elke sub paragraaf afgesloten met een conclusie en discussie. Deze paragraaf is afgesloten met een discussie en een conclusie.

6.3.1. Voorbereidingsfase

Het eerste onderdeel van het model is een toets op veranderende opdrachtomschrijving. Zoals aangegeven in hoofdstuk 3.5 is een veranderende opdrachtomschrijving te identificeren in hoeveelheden. In hoofdstuk 3.5 is aangegeven dat het verschil in directe bouwkosten in geval van een RAW-bestek ontstaat door een verschil in eenheidsprijzen en in mindere mate door een verschil in hoeveelheden. In geval van een D&C contract ontstaat het verschil door zowel een verschil in eenheidsprijzen als een verschil in hoeveelheden. In Figuur 6.4 is te zien dat wanneer het aandeel projecten in het model toeneemt, de bouwkosten door een veranderende opdrachtomschrijving toenemen. Wanneer de opdrachtgever kiest voor een bepaalde overschrijdingskans, dan hoort hierbij een zekere uplift. Uplift in de vorm van een percentage welke bij de directe bouwkosten moet worden opgeteld. Aangezien een veranderende opdrachtomschrijving invloed heeft op de directe bouwkosten van een project. Het percentage indirecte bouwkosten is hierdoor vaak hetzelfde, maar het bedrag aan indirecte bouwkosten neemt wel toe wanneer de directe bouwkosten hoger zijn.



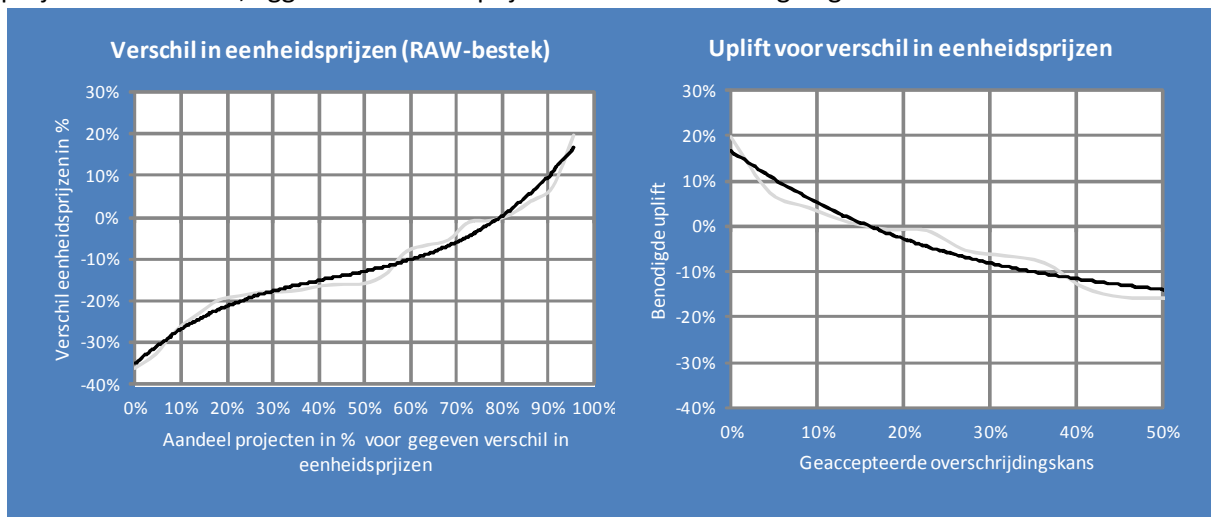
Figuur 6.4: RCF model voor veranderende opdrachtomschrijving in een D&C contract.

Zoals aangegeven in paragraaf 6.3 is een geaccepteerde overschrijdingskans van 30% aangehouden. In Tabel 6.13 is door middel van een interpolatie de uplift horend bij een geaccepteerde overschrijdingskans van 30% weergegeven. Doordat het percentage uplift horend bij de geaccepteerde overschrijdingskans negatief is, kan gezegd worden dat er sprake is van een downlift in plaats van een uplift.

Tabel 6.13: Interpolatie van geaccepteerde overschrijdingskans veranderende opdrachtomschrijving D&C contract.

Geaccepteerde overschrijdingskans	Uplift
33%	-21,7%
30%	-18,3%
25%	-12,7%

In Figuur 6.5 is het verschil in eenheidsprijzen tussen de raming en de aanbesteding van projecten met RAW-bestekken weergegeven. Eenheidsprijzen vormen samen met de hoeveelheden de directe bouwkosten. Hierin valt te zien dat wanneer het aandeel projecten toeneemt, de eenheidsprijzen en dus directe bouwkosten in de aanbesteding in eerste instantie lager liggen. Naarmate het aandeel projecten toeneemt, liggen de eenheidsprijzen in de aanbesteding hoger.



Figuur 6.5: RCF model voor verschil in eenheidsprijzen voor RAW-bestek.

In Tabel 6.14 is de uplift horend bij een geaccepteerde overschrijdingskans van 30% bepaald door middel van een interpolatie. Evenals bij de D&C contracten is de uplift horend bij de geaccepteerde overschrijdingskans van 30% voor RAW-bestek negatief. In het geval van verschil in eenheidsprijzen tussen de raming en aanbesteding is sprake van een downlift voor projecten met een RAW-bestek.

Tabel 6.14: Interpolatie van geaccepteerde overschrijdingskans verschil in eenheidsprijzen RAW-bestek.

Geaccepteerde overschrijdingskans	Uplift
32%	-6,6%
30%	-6,1%
27%	-5,4%

Waar in een D&C contract een verschil tussen de raming en aanbesteding bestaat uit zowel een verschil in eenheidsprijzen als een verschil in hoeveelheden. Bestaat het verschil tussen de raming en de aanbesteding in een RAW bestek voornamelijk uit een verschil in eenheidsprijzen. Wanneer het verschil tussen de raming en aanbesteding in D&C contracten wordt gecorrigeerd op het verschil tussen de raming en de aanbesteding in RAW-bestekken. Valt te concluderen dat het verschil in hoeveelheden tussen een raming en een aanbesteding van een D&C contract in kaart is gebracht.

Validatie

Een belangrijke stap in dit onderzoek is het valideren van het model. Het RCF model is gevalideerd door middel van een validatieset. De data voor validatieset is niet toegepast voor het opzetten van het model. Hiervoor is 25% van de data geselecteerd voor de validatie. Om deze data willekeurig te selecteren is de dataset gesorteerd op aanbestedingsjaar, waarna vervolgens elk 4^e data element is uitgesloten in het model.

In Tabel 6.15 is de uplift voor D&C contracten horend bij een geaccepteerde overschrijdingskans van 30% toegepast op de validatieset. Voordat de uplift is toegepast, ligt het gemiddelde ten gevolge van een veranderende opdrachtomschrijving bij een aanbesteding 7,6% procent lager ten opzichte van een raming. Het gemiddelde van de validatieset ligt na het toepassen van de uplift 10,7% hoger bij een aanbesteding ten opzichte van de raming. Vervolgens is getoetst of het toepassen van uplift leidt tot een significant verschil in trefzekerheid. Hieruit blijkt dat er geen sprake is van een significant verschil in trefzekerheid is in de validatieset vóór en na het toepassen van de uplift. Voor significantie dient een hogere trefzekerheid behaald te worden. Dus moet het gemiddelde na validatie dichterbij 0% liggen. De resultaten zijn te vinden in bijlage 6.3.

Tabel 6.15: Validatie RCF model voor veranderende opdrachtomschrijving D&C contract.

<i>D&C contract</i>	N=	Gemiddelde	Standaarddeviatie
Validatieset voor	4	-7,6%	5,5%
Uplift Tabel 6.13		-18.3%	
Validatieset na	4	10,7%	5,5%

Eveneens is voor projecten met een RAW-bestek een validatieset gebruikt, om te toetsen of het toepassen van uplift leidt tot een hogere trefzekerheid. Voor de validatieset zijn 7 projecten geselecteerd welke niet zijn gebruikt om het model op te zetten. In Tabel 6.16 is waar te nemen dat na het toepassen van de uplift op de validatieset de trefzekerheid is verhoogd. Echter blijkt de verhoging in trefzekerheid niet significant te zijn, de resultaten voor de toets op significantie zijn te vinden in bijlage 6.3.

Tabel 6.16: Validatie RCF model voor verschil in eenheidsprijzen RAW-bestek.

<i>RAW-bestek</i>	N=	Gemiddelde	Standaarddeviatie
Validatieset voor	7	-9,5%	10,7%
Uplift Tabel 6.14		-6,1%	
Validatieset na	7	-3,3%	10,7%

Discussie & conclusie

Hierboven zijn de resultaten voor het RCF model in de voorbereidingsfase gepresenteerd. Hieruit blijkt dat het RCF model voor beide contractvormen geen significant verschil in een verbeterde trefzekerheid laat zien. In geval van beide validatiesets is sprake van een kleine dataset, waardoor uitschieters de waarde van de validatie beïnvloeden. Wanneer de dataset toeneemt, neemt de invloed van uitschieters af. Hierdoor komen de gemiddelden van de dataset voor validatie en het

gemiddelde van de data analyse uit hoofdstuk 645.4.3 dichter bij elkaar te liggen. In Tabel 6.17 is in beeld gebracht wat de invloed van een grotere dataset op de werking van het model in de voorbereidingsfase voor D&C contracten kan zijn. Hieruit valt te concluderen dat de trefzekerheid van het model voor projecten met een D&C contract toeneemt naarmate de dataset groter wordt. Echter is deze toename in trefzekerheid niet significant bij een betrouwbaarheidsinterval van 95%, de resultaten van de toets op significantie zijn te vinden in bijlage 6.3.

Tabel 6.17: Validatie RCF model veranderende opdrachtomschrijving D&C contract aan grotere dataset.

<i>D&C contract</i>	N=	Gemiddelde	Standaarddeviatie
D&C hoofdstuk 5.4.3	11	-17,3%	19,7%
Uplift Tabel 6.15		-18,3%	
D&C hoofdstuk 5.4.3	11	1,1%	19,7%

Hierboven is eveneens het RCF model voor projecten met een RAW-bestek opgezet en gevalideerd. Uit deze validatie bleek dat er een waarneembaar verschil is in een verhoging de trefzekerheid en dat deze waarneming significant is. Evenals voor de validatie van projecten met een D&C contract is voor de validatie van projecten met een RAW-bestek een kleine dataset gebruikt. Daarom is hieronder de uplift toegepast op de dataset uit de data analyse van hoofdstuk 5.4.3. Dit om te analyseren of een grotere dataset leidt tot een significante verbetering in trefzekerheid van het model, zie Tabel 6.18. Het toepassen van het model op een grotere dataset leidt niet tot een significant verschil in trefzekerheid. Hieruit is geconcludeerd dat een nog grotere dataset mogelijk wel leidt tot een significant verschil in trefzekerheid. Aangezien bij een grotere dataset de invloed van uitschieters afneemt. De resultaten van de toets op significantie zijn te vinden in bijlage 6.3.

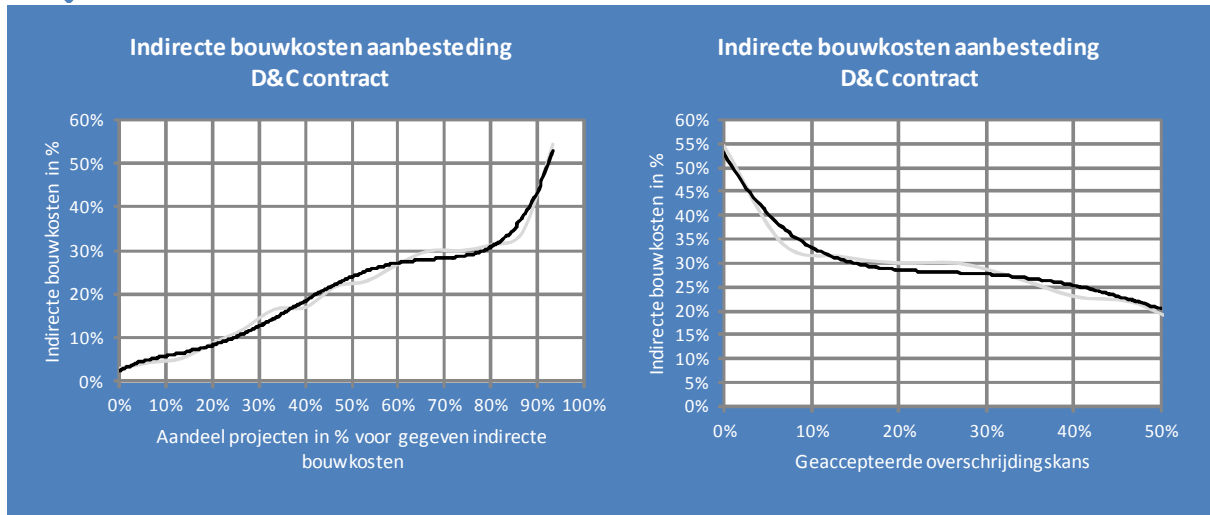
Tabel 6.18: Validatie RCF model verschil in eenheidsprijzen RAW-bestek aan grotere dataset.

<i>RAW-bestek</i>	N=	Gemiddelde	Standaarddeviatie
RAW hoofdstuk 5.4.3	20	-8,22%	13,34%
Uplift Tabel 6.14		-6,14%	
RAW hoofdstuk 5.4.3	20	-2,08%	13,34%

6.3.2. Indirecte bouwkosten aanbesteding

In de inschrijfstaat van de opdrachtnemer is onderscheid gemaakt in directe en indirecte bouwkosten. Zoals in hoofdstuk 5.4.3 is geconcludeerd, bestaan indirecte bouwkosten in de vroege projectfase uit een percentage. Dit percentage is veelal niet projectspecifiek vastgesteld. In hoofdstuk 5.4.3 is geconcludeerd dat er sprake is van een verschil in het percentage indirecte bouwkosten in de raming en aanbesteding. Tevens blijkt in hoofdstuk 5.4.3 dat er sprake is van een significant verschil tussen het percentage indirecte bouwkosten voor project met een D&C contract en voor een project met een RAW-bestek. Daarom is voor het RCF model van indirecte bouwkosten onderscheid gemaakt in projecten met een D&C contract en een RAW-bestek.

In Figuur 6.6 is de verdeling van de indirecte bouwkosten van projecten met een D&C contractvorm weergegeven. Hierin is te zien dat wanneer het aandeel projecten toeneemt, het percentage aan indirecte bouwkosten eveneens toeneemt. Tevens is in Figuur 6.6 de uplift voor de indirecte bouwkosten gegeven. Wanneer de opdrachtgever hier kiest voor een percentage aan geaccepteerde overschrijdskans, dan hoort hier een percentage aan indirecte bouwkosten bij.



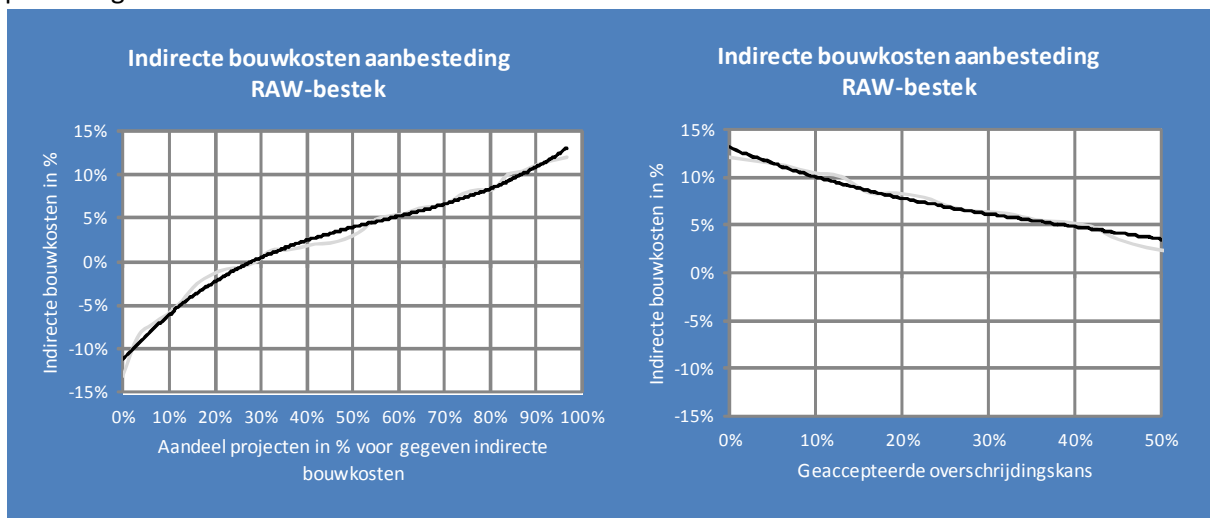
Figuur 6.6: RCF model voor indirecte bouwkosten in aanbesteding van D&C contract.

Zoals eerder aangegeven is in dit onderzoek een geaccepteerde overschrijdingskans van 30% aangehouden. Bij deze geaccepteerde overschrijdingskans hoort een percentage aan uplift ook wel indirecte bouwkosten. In Tabel 6.19 is door middel van interpolatie de geaccepteerde overschrijdingskans van 30% benaderd. Hierbij hoort een percentage aan indirecte bouwkosten van 28,2% voor projecten met een D&C contract.

Tabel 6.19: Interpolatie geaccepteerde overschrijdingskans indirecte bouwkosten D&C contract.

Geaccepteerde overschrijdingskans	Uplift
33%	27,0%
30%	28,2%
27%	30,0%

In Figuur 6.7 is de verdeling van het percentage indirecte bouwkosten voor projecten met een RAW-bestek weergegeven. Het eerste wat opvalt is dat het percentage indirecte bouwkosten voor een RAW-bestek lager ligt. Dit in vergelijking met het percentage indirecte bouwkosten voor projecten met een D&C contract. Ook in het geval van projecten met een RAW-bestek neemt het percentage indirecte bouwkosten toe naarmate het aandeel projecten toeneemt. Voor de indirecte bouwkosten van een project met een RAW-bestek is het mogelijk om een keuze te maken in het percentage aan geaccepteerde overschrijdingskans. Wat vervolgens is gekoppeld aan een uplift ook wel een percentage indirecte bouwkosten.



Figuur 6.7: RCF model voor indirecte bouwkosten in aanbesteding van RAW-bestek.

Evenals voor projecten met een D&C contract is voor projecten met een RAW-bestek het percentage indirecte bouwkosten bij een geaccepteerde overschrijdingskans van 30% vastgesteld, zie Tabel 6.20. Hieruit volgt een percentage indirecte bouwkosten voor een project met een RAW-bestek van 6,3%. Wat een stuk lager ligt dan het percentage indirecte bouwkosten voor een project met een D&C contract.

Tabel 6.20: Interpolatie geaccepteerde overschrijdingskans indirecte bouwkosten RAW-bestek.

Geaccepteerde overschrijdingskans	Uplift
32%	6,2%
30%	6,3%
29%	6,4%

Validatie

Om te toetsen of het model een betere weergave genereert van het percentage indirecte bouwkosten is het model gevalideerd met een validatieset. De data voor validatie is niet opgenomen in het model en is op dezelfde wijze geselecteerd als de data voor het valideren van de voorbereidingsfase. Echter verschilt de wijze van valideren ten opzichte van het valideren van de voorbereidingsfase. Zo is voor de validatie het percentage indirecte bouwkosten getoetst aan het percentage indirecte bouwkosten in de raming. Voor het valideren is de standaarddeviatie van de validatieset gebruikt, om te analyseren of het percentage indirecte bouwkosten beter benaderd is.

In Tabel 6.21 is het percentage indirecte bouwkosten uit de data analyse van hoofdstuk 5.4.3 weergegeven. Eveneens is het percentage indirecte bouwkosten bepaald door met model voor een geaccepteerde overschrijdingskans van 30% weergegeven. Een eerste waarneming is dat het percentage indirecte bouwkosten in een aanbesteding voor D&C contracten 4,1% hoger ligt vergeleken met de data analyse in hoofdstuk 5.4.3. Het toetsen op significantie laat zien dat er geen sprake is van een betere inschatting van het percentage indirecte bouwkosten door het model. De resultaten van de toets op significantie zijn te vinden in bijlage 6.4.

Tabel 6.21: Validatie RCF model indirecte bouwkosten D&C contract.

<i>D&C contract</i>	N=	Gemiddelde	Standaarddeviatie validatie
D&C raming hoofdstuk 5.4.3	11	24,1%	12,7%
D&C aanbesteding model	4	28,2%	12,7%

In Tabel 6.22 is het percentage indirecte bouwkosten in de raming en aanbesteding van een project met een RAW-bestek weergegeven. Hierin valt te zien dat het percentage indirecte bouwkosten van de data analyse in hoofdstuk 5.4.3 hoger ligt, ten opzichte van indirecte bouwkosten bepaald door het model. Eveneens is het percentage indirecte bouwkosten vastgesteld voor een geaccepteerde overschrijdingskans van 30%. De toets op significantie laat zien dat er sprake is van een significant verschil in het percentage indirecte bouwkosten in een raming en bepaald door het model. De resultaten van de toets op significantie zijn weergegeven in bijlage 6.4.

Tabel 6.22: Validatie RCF model indirecte bouwkosten RAW-bestek.

<i>RAW-bestek</i>	N=	Gemiddelde	Standaarddeviatie validatie
RAW raming hoofdstuk 5.4.3	20	16,6%	14,8%
RAW aanbesteding model	10	6,3%	14,8%

Discussie & conclusie

Hierboven is het RCF model voor indirecte bouwkosten opgezet en vervolgens gevalideerd. Hieruit is gebleken dat het model niet in staat is om een significant betere weergave van indirecte bouwkosten voor projecten met een D&C contract weer te geven. Echter blijkt dat het model wel instaat is om een significant betere weergave van het percentage indirecte bouwkosten voor een project met een RAW-bestek weer te geven. Voor de validatie van indirecte bouwkosten voor een project met een D&C contract is de standaarddeviatie van de validatieset vastgesteld op basis van 4 projecten. Hierdoor is er een risico dat de standaarddeviatie van de validatieset hoger is door een uitschieter.

Daarom is met behulp van gegevens in Tabel 6.23 aangegeven wat de invloed van een grotere dataset op de validatie van het model is. Hiervoor is de standaarddeviatie uit de data analyse in hoofdstuk 5.4.3 gebruikt. Het blijkt dat na het vergroten van de dataset nog steeds geen sprake is van een significant verschil tussen de indirecte bouwkosten in de raming en de indirecte bouwkosten vastgesteld door het model. Hieruit is geconcludeerd dat het percentage indirecte bouwkosten in een raming dezelfde nauwkeurigheid heeft als het percentage indirecte bouwkosten bepaald door het model. De resultaten van de toets op significantie zijn te vinden in bijlage 6.4.

Tabel 6.23: Validatie RCF model indirecte bouwkosten D&C contract aan grotere dataset.

<i>D&C contract</i>	N=	Gemiddelde	Standaarddeviatie hoofdstuk 5.4.3
D&C raming hoofdstuk 5.4.3	11	24,1%	4,0%
D&C aanbesteding validatie	4	28,2%	4,0%

Eveneens is voor het percentage indirecte bouwkosten voor een project met een RAW-bestek een model opgezet welke is gevalideerd. Hieruit bleek dat er sprake is van een significant verschil tussen het percentage indirecte bouwkosten in de data analyse in hoofdstuk 5.4.3 en het percentage indirecte bouwkosten bepaald door het model. Hieronder is geanalyseerd of er nog steeds sprake is van een significant verschil wanneer de standaarddeviatie van een grotere dataset is gebruikt, zie Tabel 6.24. Hieruit blijkt dat er nog steeds sprake is van een significant verschil, zie resultaten in bijlage 6.4. Hieruit is geconcludeerd dat het model een hogere trefzekerheid heeft met betrekking tot het inschatten van het percentage indirecte bouwkosten. Dit in vergelijking met het percentage indirecte bouwkosten vastgesteld voor een raming in de data analyse van hoofdstuk 5.4.3.

Tabel 6.24: Validatie RCF model indirecte bouwkosten RAW-bestek aan grotere dataset.

<i>RAW-bestek</i>	N=	Gemiddelde	Standaarddeviatie hoofdstuk 5.4.3
RAW raming hoofdstuk 5.4.3	20	16,6%	6,4%
RAW aanbesteding validatie	10	6,3%	6,4%

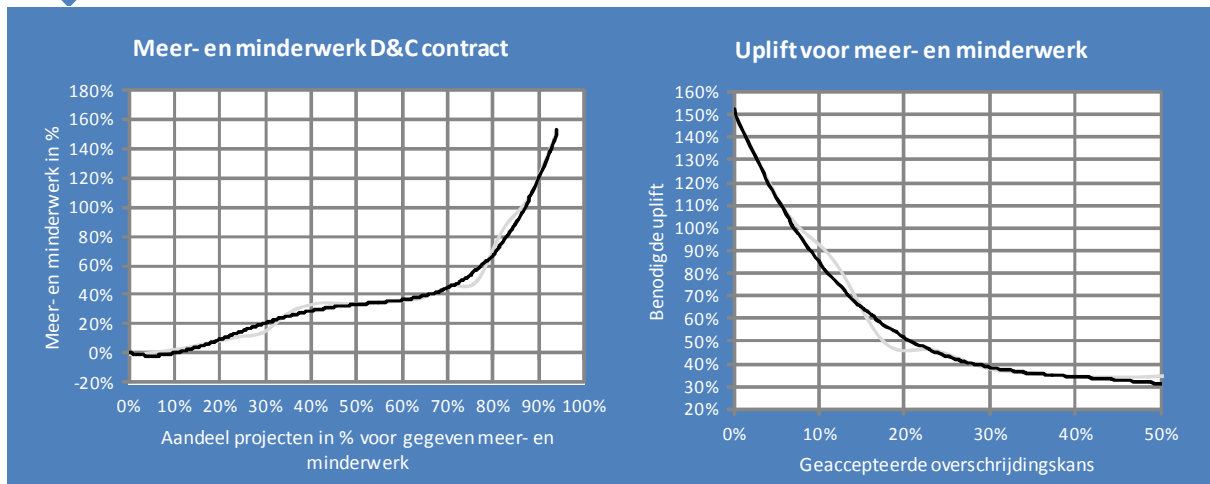
6.3.3. Uitvoeringsfase

In de uitvoeringsfase is het optredende meer- en minderwerk in kaart gebracht. Zoals geconcludeerd in hoofdstuk 5.4.2 is er sprake van een significant verschil in meer- en minderwerk tussen projecten met een D&C contract en een RAW-bestek. Daarom is onderscheid gemaakt in de verschillende contractvormen met betrekking tot meer- en minderwerk. In dit onderzoek wordt onder meerwerk het volgende verstaan:

- **Meerwerk op de huidige scope**
- **Meerwerk ten gevolge van scope uitbreiding**

In het model is geen onderscheid gemaakt in de bovengenoemde vormen van meerwerk. Omdat dit onderscheid niet aanwezig is in de beschikbare data. In toekomstig onderzoek kan onderscheid in meerwerk een toegevoegde waarde zijn.

Als eerst is voor het meer- en minderwerk een model opgesteld voor projecten met een D&C contract, zie Figuur 6.8. Hierin is te zien dat er vrijwel geen sprake is van minderwerk in een project met een D&C contract. Naarmate het aandeel projecten in het model toeneemt, neemt ook het percentage aan meer- en minderwerk toe. Wanneer het aandeel projecten bij 80% is aangekomen, is een sterkere toename in het meer- en minderwerk waar te nemen. Tevens is in Figuur 6.8 de uplift met betrekking tot meer- en minderwerk weergegeven.



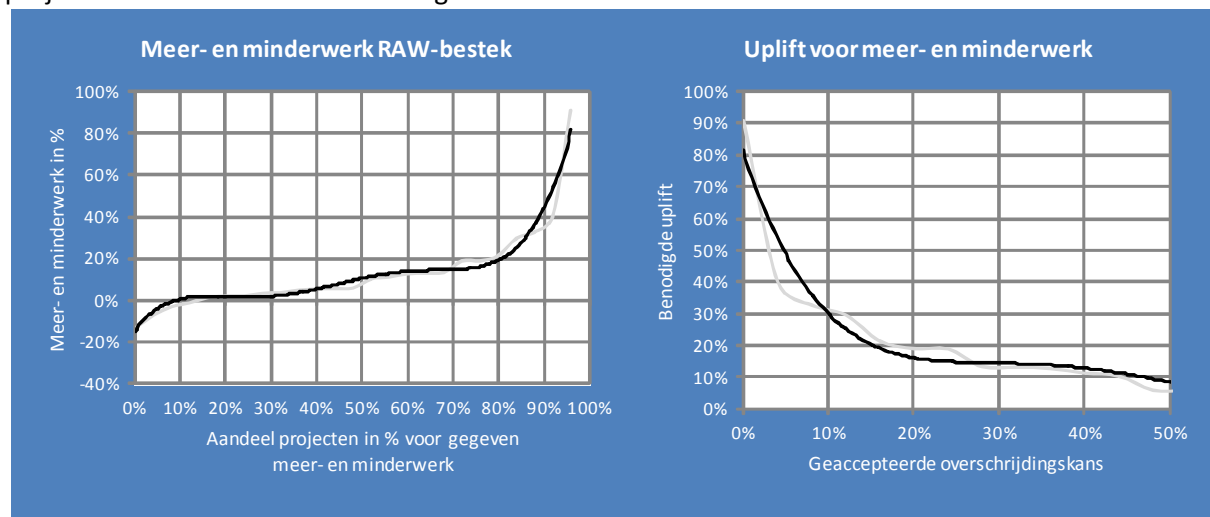
Figuur 6.8: RCF model meer- en minderwerk D&C contract.

In het geval van meer- en minderwerk voor D&C contracten is voor de uplift een geaccepteerde overschrijdingskans van 30% aangehouden. Dit is in overeenstemming met de voorgaande gemodelleerde onderdelen. Hieruit volgt een uplift van 37,6% voor een geaccepteerde overschrijdingskans van 30%, zie Tabel 6.25.

Tabel 6.25: Interpolatie geaccepteerde overschrijdingskans meer- en minderwerk D&C contract.

Geaccepteerde overschrijdingskans	Uplift
35%	35,5%
30%	37,6%
29%	38,0%

Eveneens is een model opgezet met betrekking tot het meer- en minderwerk voor projecten met een RAW-bestek. In Figuur 6.9 is waar te nemen dat wanneer het aandeel projecten klein is, er sprake is van minderwerk. Echter wanneer het aandeel projecten toeneemt is er sprake een verschuiving van minderwerk naar meerwerk. Naarmate het aandeel projecten verder toeneemt, neemt het percentage meerwerk ook toe. Tevens is in Figuur 6.9 de uplift voor het meer- en minderwerk voor projecten met een RAW-bestek vastgesteld.



Figuur 6.9: RCF model meer- en minderwerk RAW-bestek.

In Tabel 6.26 is de uplift horend bij een geaccepteerde overschrijdingskans van 30% ten behoeve van meer- en minderwerk voor projecten met een RAW-bestek vastgesteld door een interpolatie. Hieruit volgt een uplift van 13,4% voor meer- en minderwerk in projecten met een RAW-bestek.

Tabel 6.26: Interpolatie geaccepteerde overschrijdingskans meer- en minderwerk RAW-bestek.

Geaccepteerde overschrijdingskans	Uplift
32%	13,3%
30%	13,4%
28%	13,5%

Validatie

Ook het model voor meer- en minderwerk is gevalideerd met behulp van een validatieset. Voor deze validatieset is data geselecteerd welke niet in het model is opgenomen. Om de data voor de validatieset willekeurig te selecteren, zijn de projecten gesorteerd op aanbestedingsjaar. Vervolgens is elk 4^e project uitgesloten in het model en gebruikt voor de validatieset. In Tabel 6.27 is uplift op de validatieset van D&C contracten toegepast. Hierin is waar te nemen dat na het toepassen van uplift, gemiddeld genomen nog steeds sprake is van meerwerk. Echter zorgt de uplift wel voor een halvering van het gemiddelde percentage meerwerk. Het blijkt dat het verschil veroorzaakt na het toepassen van uplift niet significant is. Het model laat dus geen significant hogere trefzekerheid zien. Zie voor de resultaten van de toets op significantie bijlage 6.5.

Tabel 6.27: Validatie RCF model meer- en minderwerk D&C contract.

<i>D&C contract</i>	N=	Gemiddelde	Standaarddeviatie
Validatieset voor	5	70,6%	66,7%
Uplift Tabel 6.25		37,6%	
Validatieset na	5	33,0%	66,7%

In Tabel 6.28 is het model voor meer- en minderwerk voor projecten met een RAW-bestek gevalideerd. Hierin valt te zien dat voor het toepassen van uplift sprake is van meerwerk en na het toepassen van uplift sprake is van minderwerk. Dit betekent dat in het geval van de validatieset sprake is van een te grote uplift voor meer- en minderwerk. Tevens valt te concluderen dat het aantal kostenoverschrijdingen afneemt naarmate een voldoende groot percentage voor meer- en minderwerk is gereserveerd. Dit betekent dat het gunstig is wanneer een groot percentage voor meer- en minderwerk is gereserveerd. Echter is het doel van dit onderzoek het vergroten van de trefzekerheid. Waardoor het verschil tussen de aanbesteding en meer-en minderwerk rond het nulpunt dient te liggen. Daarom is getoetst of er sprake is van een significant verschil tussen de validatieset voor en na het toepassen van de uplift. Het blijkt dat er geen sprake is van een significant verschil in trefzekerheid, zie bijlage 6.5. voor de resultaten.

Tabel 6.28: Validatie RCF model meer- en minderwerk RAW-bestek.

<i>RAW-bestek</i>	N=	Gemiddelde	Standaarddeviatie
Validatieset voor	8	7,6%	10,4%
Uplift Tabel 6.26		13,4%	
Validatieset na	8	-5,9%	10,4%

Discussie & conclusie

Hierboven is geconcludeerd dat de toepassing het model, voor zowel projecten met D&C contract als RAW-bestek, geen significant verbeterde trefzekerheid voor meer- en minderwerk weergeeft. In beide gevallen is een kleine dataset voor het valideren gebruikt. Een kleine dataset heeft tot gevolg dat uitschieters het resultaat van de validatie beïnvloeden. Wanneer de dataset groter is, neemt de invloed van uitschieters af. Daarom is hieronder het toepassen van de uplift getoetst aan de hand van de dataset van de data analyse in hoofdstuk 5.4.2.

In Tabel 6.29 is de uplift, bepaald door het model, toegepast op de data analyse van hoofdstuk 5.4.2 voor meer- en minderwerk van projecten met een D&C contract. Hieruit blijkt dat na het toepassen van de uplift sprake is van gemiddeld 9% meerwerk voor een project met een D&C contract. Het blijkt er sprake is van een significant verschil in meer- en minderwerk na het toepassen van de uplift op de dataset van de data analyse. Hieruit valt te concluderen dat wanneer het model is

getoetst aan de hand van een grotere dataset. Er sprake is van een grotere trefzekerheid van meer- en minderwerk, in het geval voor projecten met een D&C contract. De resultaten van de toets op significantie zijn te vinden in bijlage 6.5.

Tabel 6.29: Validatie RCF model meer- en minderwerk D&C contract aan grotere dataset.

<i>D&C contract</i>	N=	Gemiddelde	Standaarddeviatie
D&C hoofdstuk 5.4.2	22	46,8%	47,8%
Uplift Tabel 6.25		37,6%	
D&C hoofdstuk 5.4.2	22	9,2%	47,8%

Ook in het geval van projecten met een RAW-bestek bleek dat er geen sprake was van een significant verbeterde trefzekerheid in meer- en minderwerk na het toepassen van het model op de validatieset. Hiervoor is het model toegepast op de dataset van de data analyse in hoofdstuk 5.4.2. In Tabel 6.30 is te zien dat na het toepassen van uplift sprake is van een klein percentage minderwerk voor projecten met een RAW-bestek. Het blijkt dat het toepassen van uplift ten behoeve van meer- en minderwerk voor projecten met een RAW-bestek leidt tot een significant verbeterde trefzekerheid. Hieruit valt te concluderen dat het model in staat is om het meer- en minderwerk met een hogere trefzekerheid in te schatten bij het toetsen aan een grotere dataset. Resultaten voor het toetsen van de significantie zijn te vinden in bijlage 6.5.

Tabel 6.30: Validatie RCF model meer- en minderwerk RAW-bestek aan grotere dataset.

<i>RAW-bestek</i>	N=	Gemiddelde	Standaarddeviatie
RAW hoofdstuk 5.4.2	33	11,81%	18,40%
Uplift Tabel 6.26		13,43%	
RAW hoofdstuk 5.4.2	33	-1,62%	18,40%

6.3.4. Discussie & conclusie

Hierboven zijn de resultaten van het RCF model gepresenteerd. Hierin is onderscheid gemaakt in de voorbereidingsfase, indirecte bouwkosten en de uitvoeringsfase. Al deze fases zijn afzonderlijk getoetst of ze in staat zijn beter te presteren in vergelijking met de data analyse in hoofdstuk 5.4.1. Om het een en ander meer inzichtelijk te maken is in Tabel 6.31 een rekenvoorbeeld van een project met een D&C contract weergegeven. Een rekenvoorbeeld van een project met een RAW-bestek is te vinden in bijlage 6.6. Het rekenvoorbeeld is gebaseerd op gemiddelden, volgend uit de data analyse van hoofdstuk 5.4 en gecorrigeerd met de uplifts bepaald in de voorgaande sub paragrafen. Voor elk van de volgende stappen in het rekenvoorbeeld is uitgegaan van een geaccepteerde overschrijdingskans van 30%.

De eerste stap in dit voorbeeld is het corrigeren van de directe bouwkosten in de raming. Zoals eerder vastgesteld hoort hier een uplift van -18,3% bij. De tweede stap is het bepalen van de indirecte bouwkosten. Hierbij hoort een percentage van 28,2% aan indirecte bouwkosten in rekening te worden gebracht. Vervolgens zijn de bouwkosten in de raming, welke de bouwkosten in de aanbesteding benaderen, bepaald. In het voorbeeld blijkt het dat de bouwkosten in de raming met behulp van het model ongeveer 8,5% te hoog liggen. Wanneer is vergeleken met de huidige situatie, kan gesteld worden dat de raming met het RCF model de bouwkosten in de raming nauwkeuriger benaderd. De laatste stap is het toevoegen van een uplift voor meer- en minderwerk aan de raming. Hiervoor moet een percentage van 37,6% bij op de raming geteld worden. Hierdoor komen de geraamde bouwkosten voor de oplevering hoger uit in vergelijking met de huidige situatie. Wat in de huidige situatie leidt tot een kostenoverschrijding, laat de berekening met het RCF model een kleine kostenonderschrijding zien.

Tabel 6.31: Rekenvoorbeeld toepassing RCF model voor een project met een D&C contract.

D&C contract	Huidige situatie	Uplift	RCF model
Directe bouwkosten raming	€ 20.308.620		€ 16.592.142
Uplift veranderende opdracht		-18,3%	
Totale bouwkosten raming	€ 25.202.998		€ 21.271.126
Percentage idk	24,1%		28,2%
Hoogte aanbesteding	€ 18.982.898		€ 18.982.898
Vershil aanbesteding/raming	-24,7%		-10,8%
Uplift voor oplevering		37,6%	
Geraamde bouwkosten			€ 29.269.069
Meer- en minderwerk	46,8%		
Totale bouwkosten oplevering	€ 27.872.589		€ 27.872.589
Vershil oplevering/raming	10,6%		-4,8%

In het rekenvoorbeeld is onderscheid gemaakt tussen een raming voor de aanbesteding en voor de oplevering van een project. Dit onderscheid kan gelieerd worden aan het verschil tussen een bedrijfseconomische en een markteconomische raming, hoofdstuk 3.4.4. Er valt te concluderen dat de raming voor de aanbesteding min of meer een markteconomische raming is. Tevens is te concluderen dat de raming voor de oplevering een soort van bedrijfseconomische raming is. Aangezien een opdrachtnemer in een aanbesteding inschrijft op kansen en deze kansen gedurende de uitvoering van het project optreden.

Het onderscheid in de contractvormen RAW-bestek en D&C contract heeft geleid tot een betere weergave van uplifts voor verschillende onderdelen gedurende de loop van een project. Aangezien in de resultaten een waarneembaar verschil tussen de uplifts voor beide contractvormen te zien is. Echter heeft het onderscheid in contractvormen geleid tot een kleine dataset voor onderdelen in het model. Dit is eveneens terug te zien in de validatie van de verschillende onderdelen. Waaruit blijkt dat bij een grotere dataset de resultaten betrouwbaarder zijn. Een ander punt van discussie is dat in het RCF model geen onderscheid is gemaakt in type projectwerkzaamheden. Wanneer dit in toekomstig onderzoek wel wordt gedaan, worden bij projectwerkzaamheden behorende uplifts gegenereerd. Welke mogelijk een hogere trefzekerheid van het RCF model laten zien, doordat er zodoende een beter bijpassende referentieklaas van projecten wordt gevormd.

6.4. Conclusie resultaten & discussie

In dit hoofdstuk zijn de resultaten gepresenteerd, hierbij is onderscheid gemaakt in 3 modellen. De modellen zijn gerangschikt op de eigenschappen zoals benoemt in hoofdstuk 4. Hierbij is als eerste het projectspecifieke in de vorm van hoeveelheden in kaart gebracht. Vervolgens is de werkelijkheid benaderd door een weergave van de werkelijke eenheidsprijs te genereren. Als laatste is de eigenschap niet-projectspecifiek in kaart gebracht middels het toevoegen van de niet-projectspecifieke bouwkosten in het model. Hieruit kan de 4^e deelvraag beantwoord worden.

Deelvraag 4

Is functionaliteitgericht ramen geschikt voor het inschatten van kosten voor civiele projecten?

De 4^e deelvraag is per sub model beantwoord, aangezien niet elk sub model even geschikt is voor het inschatten van kosten voor civiele projecten. Als eerste blijkt dat het hoeveelhedenmodel in staat is om de totale hoeveelheden nauwkeurig in te schatten, met een betrouwbaarheidsinterval van 95% en een variatie van 5%. Echter in afzonderlijke hoeveelheden blijkt in sommige gevallen een groot verschil te zitten. Ten tweede blijkt het neurale netwerk kostenmodel niet in staat te zijn om de eenheidsprijzen horend bij hoeveelheden nauwkeuriger te benaderen dan de huidige situatie. Het neurale netwerk kostenmodel werkt door middel van een correctie tussen de verhouding van eenheidsprijzen in de raming en aanbesteding. Echter is hiervoor niet voldoende samenhang waargenomen in de variabelen voor het neurale netwerk kostenmodel. Het RCF model blijkt op zijn

beurt wel in staat te zijn om een hogere trefzekerheid te halen ten opzichte van de huidige situatie. Echter blijken de validatiesets voor elk onderdeel in het RCF model niet groot genoeg te zijn. Een conclusie welke voor het gehele model getrokken kan worden is dat elk sub model beter gaat werken wanneer de input aan data toeneemt. Verder is geconcludeerd dat elk van de 3 sub modellen meer verfijnd moet worden, om het meer geschikt te maken voor het functionaliteitgericht ramen. Onder verfijning is onderscheid in projectwerkzaamheden voor het hoeveelhedenmodel en het RCF model verstaan. Voor het neurale netwerk kostenmodel is onder verfijning onderscheid maken in materialen verstaan.

7. Conclusie & Aanbevelingen

De laatste stap bestaat uit conclusie en aanbevelingen op het onderzoek. Tevens is in dit hoofdstuk de hoofdvraag van het onderzoek beantwoord. Verder is de 5^e deelvraag beantwoord in de vorm van aanbevelingen voor verder onderzoek.

- Conclusie & Aanbevelingen
- ***Geeft het functionaliteitgericht ramen in de vroege projectfase van een civiel project betrouwbare resultaten met betrekking tot het inschatten van kosten?***
- *Wat zijn de voorwaarden om het implementeren van functionaliteitgericht ramen succesvol(ler) te maken?*

7.1. Conclusie

Gedurende dit onderzoek is een model opgesteld om functionaliteitgericht te kunnen ramen. In dit model is onderscheid gemaakt in de eigenschappen projectspecifiek, werkelijkheid en niet-projectspecifiek. Dit omdat deze eigenschappen geïdentificeerd zijn als essentiële eigenschappen om functionaliteitgericht mee te ramen en zo het probleem van kostenover- en onderschrijdingen tegen te gaan. Voor de eigenschap projectspecifiek is een hoeveelhedenmodel opgesteld. Voor de eigenschap werkelijkheid is een neurale netwerk toegepast. De eigenschap niet-projectspecifiek is in kaart gebracht met behulp van de RCF methode. Daarnaast is gebleken dat het zinvol is om op bouwkosten van wegebouwprojecten het functionaliteitgericht ramen toe te passen. Hiervan zijn bouwkosten over meerdere projectfasen voor in het model opgenomen. Voor dit onderzoek is de onderstaande hoofdvraag opgesteld, welke is onderbouwd met deelvragen. Deelvragen zijn in dit onderzoek per hoofdstuk beantwoord.

Hoofdvraag

Geeft het functionaliteitgericht ramen in de vroege projectfase van een civiel project betrouwbare resultaten met betrekking tot het inschatten van kosten?

Uit het onderzoek is gebleken dat het model (nog) geen betrouwbare maar wel veelbelovende resultaten weergeeft. Dit geldt eveneens wanneer onderscheid is gemaakt in de 3 sub modellen.

- *Hoeveelhedenmodel: Betrouwbaar als geheel, niet betrouwbaar bij afzonderlijke hoeveelheden en projecten.*

In geval van het hoeveelhedenmodel zijn de resultaten voor het vaststellen van de totale hoeveelheden nauwkeurig en dus betrouwbaar. Dit voor een variatie van 5% met een betrouwbaarheidsinterval van 95%. Echter is gebleken dat voor het vaststellen van hoeveelheden van afzonderlijke projecten een groot verschil kan zitten tussen het model en de validatieset. Dit is eveneens het geval voor het vaststellen van afzonderlijke hoeveelheden als bijvoorbeeld de hoeveelheid asfalt of de hoeveelheid fundering. Een andere factor is dat het hoeveelhedenmodel is gevalideerd aan slechts 5 projecten, dit komt eveneens de betrouwbaarheid niet ten goede.

- *Neurale netwerk kostenmodel: Niet betrouwbaar, presteert wel beter in vergelijking met een regressiemodel.*

Het neurale netwerk kostenmodel dient beter te presteren in vergelijking met het verschil in directe bouwkosten voor een RAW-bestek. Dit omdat is geconcludeerd dat het verschil in directe bouwkosten voor een RAW-bestek ontstaat door een verschil in eenheidsprijzen tussen de aanbesteding van de opdrachtnemer en de raming van de opdrachtgever. Uit de resultaten is

gebleken dat het neurale netwerk kostenmodel niet in staat is om betrouwbare resultaten te genereren voor de huidige invoer. Hiervoor zijn verschillende oorzaken aangedragen. Als eerste is de dataset niet voldoende groot vergeleken met datasets uit de literatuuranalyse. Ten tweede is een vergelijking in de bovengenoemde activiteiten te grof. Het blijkt dat een mogelijk beter resultaat kan worden gegenereerd wanneer bijvoorbeeld in het geval van aanbrengen van asfalt onderscheid is gemaakt in asfaltsoorten. Verder zijn voor het neurale netwerk kostenmodel enkel variabelen gebruikt welke zijn benoemd in de inschrijfstaten. Mogelijk dat niet-benoemde variabelen een grote invloed op de verhouding tussen de eenheidsprijs in de raming en aanbesteding hebben. Denk hier bijvoorbeeld aan het te verwijderen materiaal of de breedte van de weg. Echter valt wel te concluderen dat met een neurale netwerk kostenmodel in de toekomst betrouwbare resultaten kunnen worden behaald. Aangezien het neurale netwerk kostenmodel in geval van aanbrengen van asfalt beter presteert vergeleken met een regressiemodel.

➤ *RCF model: Uitschieters beïnvloeden validatie van het RCF model.*

Als laatste is het RCF model opgezet om de eigenschap niet-projectspecifiek in kaart te brengen. Voor dit model is onderscheid gemaakt in de contractvormen D&C contract en RAW-bestek. Dit omdat in de data analyse is gebleken dat er sprake is van een significant verschil tussen deze contractvormen. Het onderscheid in contractvormen heeft invloed gehad op de grootte van de dataset voor het RCF model. In eerste instantie is vastgesteld dat de dataset voor het RCF model 50 projecten dient te bevatten, waarvan 25% gebruikt dient te worden voor de validatie van het RCF model. Echter heeft onderscheid in contractvormen geleid tot een kleinere dataset voor het RCF model. Dit heeft tevens invloed gehad op de validatie van het RCF model. Dit omdat uitschieters de betrouwbaarheid van de resultaten vertroebelen. Echter blijkt dat wanneer het RCF model is getoetst aan een grotere dataset, het RCF model in veel gevallen wel in staat is om een significant hogere trefzekerheid te behalen. Waaruit is geconcludeerd dat het model in staat is om in de toekomst mogelijk betrouwbare resultaten genereren, wanneer het is toegepast op een grotere dataset.

7.2. Aanbevelingen

Om het onderzoek en het model te optimaliseren zijn hieronder aanbevelingen gegeven. Als basis voor de aanbevelingen is de vijfde deelvraag beantwoord. Het antwoord op de 5^e deelvraag is opgesplitst in externe en interne aanbevelingen. Aangezien verder onderzoek staat of valt met beschikbare data. Externe aanbevelingen hebben een positief effect op het resultaat van het huidige onderzoek. Interne aanbevelingen leiden tot een verbetering van het huidige onderzoek. Deze aanbevelingen zijn met name geschikt voor de opdrachtgever, aangezien de opdrachtgever voor de gevolgen van een kostenoverschrijding op een project wordt aangekeken.

Deelvraag 5

Wat zijn de voorwaarden om het implementeren van functionaliteitgericht ramen succesvol(ler) te maken?

7.2.1. Externe aanbevelingen

➤ *Geen onderscheid in markteconomische- en bedrijfseconomische raming.*

De eerste aanbeveling komt tot stand uit het verschil in uitgangspunten tussen een bedrijfseconomische- en een markteconomische raming. Zoals is aangegeven door Ter Haar in 2010 trekken kostenramers door het onderscheid in een bedrijfseconomische- en markteconomische raming meer verantwoordelijkheden naar zich toe. Verantwoordelijkheden welke toebehoren aan een financier in plaats van een kostenramer. Een scheiding in verantwoordelijkheden tussen de financier en de kostenramer is eveneens aangegeven in de SSK. Echter valt te concluderen dat onderscheid in verantwoordelijkheden tussen de kostenramer en financier moeilijker is na te streven bij onderscheid in een bedrijfseconomische- en markteconomische raming. Dit komt doordat de kostenramers door het opstellen van een bedrijfseconomische raming een extra reserve inbouwen. Waardoor bouwkosten in een kostenraming hoger uitvallen vergeleken met een inschrijfstaat van de

opdrachtnemer. Door middel van het toepassen van het RCF model is onderscheid gemaakt in een raming voor aanbesteding en een raming voor oplevering. Bij een mogelijk toekomstige toepassing van het model moeten kostenramers een markteconomische raming nastreven. Hierbij kunnen vervolgens verantwoordelijkheden gelegd worden bij de financier met betrekking tot het vaststellen van de uplifts voor de verschillende onderdelen in het RCF model. Wanneer de financier verantwoordelijk is voor het bepalen van de uplifts, valt de verdeling van verantwoordelijkheden tussen de kostenramer en financier beter na te streven.

➤ *Meer transparantie.*

Het verleggen van de verantwoordelijkheden van kostenramer naar financier kan een goede basis zijn voor het verkrijgen van transparantie tussen de verschillende partijen in het bouwproces. Deze basis kan verkregen worden wanneer geen onderscheid is gemaakt tussen een bedrijfseconomische raming en een markteconomische raming. Dit omdat het verschil tussen de raming van de opdrachtgever en de inschrijfstaat afneemt. Wanneer er geen onderscheid is een markteconomische- en een bedrijfseconomische raming, zal de opdrachtgever eerder bereid zijn om zijn raming te delen met de opdrachtnemer. Waardoor meer transparantie ontstaat en partijen, welke betrokken zijn in een project, beter in staat om van elkaar te leren.

➤ *Spreiding van data binnen de organisatie van opdrachtgevers.*

Tijdens het data verzamelen is waargenomen dat data binnen elke organisatie verschillend verspreid is. Deze verspreiding heeft mede te maken met het beschikbaar stellen van het budget en de verschuiving van de verantwoordelijkheden binnen de organisatie, wanneer een project is aanbesteed. Ten gevolge van de spreiding van informatie van kosten binnen de organisatie hebben kostenramers vaak geen inzicht in wat het project heeft gekost. Zodoende zijn ze niet op de hoogte of hun kostenraming op voorhand juist was en waardoor mogelijke kostenoverschrijdingen zijn ontstaan. Wanneer kostenramers meer inzicht krijgen in kosten door de loop het project heen, kunnen ze van zichzelf leren en zijn ze mogelijk beter in staat om een outside view van een nieuw project te genereren.

➤ *Meer bereidheid tot data verstrekken.*

Wanneer meer inzicht is in kosten door de loop van het project heen, is het ook mogelijk om eenvoudiger een database op te stellen voor het RCF model. Door meer transparantie kan de opdrachtnemer eerder bereid zijn om eenheidsprijzen met hoeveelheden te verstrekken. Deze kunnen vervolgens in de database gevoegd worden, zodat de opdrachtgever deze kan gebruiken voor het opzetten van zijn raming. Hierdoor zal het ook minder noodzakelijk zijn om de eenheidsprijzen voor verschillende materialen te indexeren naar het actuele prijsniveau. Maar hoeft enkel de verhouding tussen de eenheidsprijs in de fase voorontwerp en de gecorrigeerd te worden naar het prijspeil bij de toekomstige aanbesteding.

7.2.2. Interne aanbevelingen

➤ *Toepassen van grotere dataset voor het model en validatie.*

Het toepassen van een grotere dataset is de eerste stap welke genomen moet worden om het functionaliteitgericht ramen geschikt te laten zijn. In geval van alle sub modellen blijkt dat de dataset voor het model en/of validatie niet voldoende groot is. Hierdoor vertroebelen uitschieters de resultaten van het onderzoek. Daarom dient het model toegepast te worden op een grotere dataset om de invloed van uitschieters af te laten nemen. Een voorwaarde voor het toepassen van een grotere dataset is dat dataverstrekende partijen hun data archivering afstemmen op het model. Dit zal de implementatie van het model vereenvoudigen.

➤ *Onderscheid in materialen en projectwerkzaamheden.*

Wanneer het model is toegepast op een grotere dataset kan vervolgens onderscheid worden gemaakt in projectwerkzaamheden. Dit kan met name van toegevoegde waarde zijn voor het neurale

netwerk kostenmodel en het RCF model. Zoals te zien is gebleken is hoofdstuk 6.2 zorgt onderscheid in materialen tot een beter resultaat dan wanneer alle materialen zijn samengevoegd in het neurale netwerk kostenmodel. In geval van het RCF model kan onderscheid in projectwerkzaamheden leiden tot een verbeterde trefzekerheid. Zo is een project waarbij een nieuwe weg wordt aangelegd meer complex dan een project waar wegonderhoud plaatsvindt. Dit omdat een nieuwe weg moet worden ingepast in de omgeving en een project met wegonderhoud al is ingepast in de omgeving.

- *Onderscheid in meerwerk op de huidige scope en meerwerk ten gevolge van scope uitbreiding*

Een andere aanbeveling is onderscheid maken in meerwerk. In dit onderzoek is onder meerwerk het volgende verstaan:

- **Meerwerk op de huidige scope**
- **Meerwerk ten gevolge van scope uitbreiding**

In de beschikbare data is geen onderscheid aanwezig tussen de bovengenoemde vormen van meerwerk. Echter voor toekomstig onderzoek kan het een toegevoegde waarde zijn om voor meerwerk onderscheid te maken in meerwerk op de huidige scope en meerwerk ten gevolge van scope uitbreiding.

- *Toepassen op andere gebieden binnen de GWW-sector.*

Verder is te concluderen dat dit onderzoek slechts een klein onderdeel van GWW-projecten bevat, namelijk wegenbouwprojecten. Van wegenbouwprojecten zijn enkel elementen meegenomen welke van invloed zijn op het wegalignment. Elementen welke niet van invloed zijn op het wegalignment als kunstwerken of geluidschermen zijn niet meegenomen. Voor toekomstig onderzoek kan het model uitgebreid worden door te focussen op andere GWW-projecten. Wanneer elk stukje verder wordt uitgewerkt komt het allesomvattende geheel voor dit model beter in beeld. En zijn de resultaten met betrekking tot het analyseren van projecten waarin de wegaanleg zelf slechts een klein onderdeel is van het totale project ook nauwkeuriger.

- *Eerst afzonderlijke modellen toepassen alvorens het gehele model te gebruiken.*

Een laatste aanbeveling is dat voor de toepassing van het model voor functionaliteitgericht ramen eerst de afzonderlijke sub modellen dienen te worden toegepast. Aangezien de trefzekerheid van een sub model groter is dan de trefzekerheid van het gehele model. Wanneer de toepassing van de sub modellen een succes blijkt te zien kan vervolgens het gehele model in gebruik worden genomen. Eveneens kan dan besloten worden om ook andere kostencategorieën als vastgoedkosten, engineeringkosten of levensduurkosten mee te nemen in het model.

7.3. Afsluiting

Ondanks dat het functionaliteitgericht ramen potentie heeft om de spreiding van kostenonder- en overschrijdingen terug te dringen. Zal het voor blijven komen dat er uitzonderlijke projecten zijn welke te maken kunnen hebben met een hoge kostenoverschrijding. Hiervoor zal men moeten accepteren dat niet alles valt te ramen, omdat men op voorhand niet alles kan weten. Dit sluit aan bij de volgende uitspraak van Graham M. Winch:

‘Estimating is like witchcraft; it involves foretelling situations about which little is known’ – Graham M. Winch

Referenties

- Adeli, H. & Wu, M., 1998. Regularization neural network for construction cost estimation. *Journal of construction engineering and management*, pp. 18-24.
- Adriaanse, A. et al., 2012. *Nederlandse conceptenbibliotheek (CB-NL) voor de gebouwde omgeving*, Gouda: Bouw informatie raad.
- Ahiaga-Dagbui, D. D. & Smith, S. D., 2012. *Neural networks for modelling the final target cost of water projects*. Edinburgh, Association of researches in construction management, pp. 307-316.
- Anguera, R., 2006. The Channel Tunnel, an ex post economic evaluation. *Transportation research part A*, pp. 291-315.
- Annema, J. A. & Jong, M. d., 2008. *Milieuinschattingen in planstudies: een voorstel tot vereenvoudiging*, Den Haag: Kennisinstituut voor mobiliteitsbeleid.
- Arafa, M. & Alqedra, M., 2011. Early stage cost estimation of buildings construction projects using artificial neural networks. *Journal of artificial intelligence*, pp. 63-75.
- Bayram, S., Ocal, M. E., Laptali Oral, E. & Atis, C. D., 2013. Comparison of multilayer perception (MLP) and radial basis function (RBF) for construction cost estimation: the case of Turkey. *Journal of civil engineering and management*, pp. 1-11.
- BBC News, 2004. *BBC NEWS | UK | England | London | Government backs £10bn Crossrail*. [Online] Available at: http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/england/london/3910091.stm [Geopend 3 december 2014].
- Bemelmans, J., 2012. *Buyer-supplier relationship management in the construction industry*, Enschede: J.W. Bemelmans.
- Bukarica, L., xxx. *Genetic algorithms in artificial neural networks*. Belgrado(xxx): School of electrical engineering.
- Cantarelli, C. C., 2011. *Cost Overruns in Large-Scale Transport Infrastructure Projects*, Delft: TU Delft.
- consultancy, U. m., 2007. *Gebrekkige communicatie grootste veroorzaker faalkosten*, n.b.: USP marketing consultancy.
- Crossrail, 2014. *Benefits/Crossrail in numbers*. [Online] Available at: <http://www.crossrail.co.uk/benefits/crossrail-in-numbers>
- CROW, 2002. *Handboek wegontwerp gebiedsontsluitingswegen*, Ede: CROW.
- CROW, 2002. *Handboek wegontwerp stroomwegen*, Ede: CROW.
- CROW, 2002. *Handboek wegontwerp, basiscriteria*. Ede: CROW.
- CROW, 2010. *Standaardsystematiek voor kostenramingen -SSK- 2010*. Ede: CROW.
- CROW, 2012. *Hoe moet ik de kosten toedelen in de inschrijfstaat*, n.b.: CROW.
- Daemen, W. & Wall, M. v. d., 2010. 'Move to improve' voor een optimaal bouwproces. *TVVL magazine*, pp. 6-9.

- Doree, A., 2001. *Dobberen tussen concurrentie en co-development*. Enschede, Universiteit Twente, pp. 1-26.
- El-Sawah, H. & Moselhi, O., 2014. Comparative study in the use of neural networks for order of magnitude cost estimating in construction. *Journal of information technology in construction*, pp. 462-473.
- Emsley, M. W. et al., 2002. Data modelling and the application of a neural network approach to the prediction of total construction costs. *Construction management and economics*, pp. 465-472.
- Flyvbjerg, B., 2006. From Nobel Prize to project management: getting risks right. *Project management journal*, pp. 5-15.
- Flyvbjerg, B., 2007. *Truth and lies about megaprojects*. Delft, TU Delft, pp. 1-27.
- Flyvbjerg, B., 2008. Curbing Optimism Bias and Strategic Misrepresentation in Planning: Reference Class Forecasting in Practice. *European planning studies*, pp. 3-21.
- Flyvbjerg, B., 2009. Survival of the unfittest: why the worst infrastructure gets built - and what we can do about it. *Oxford review of economic policy*, pp. 344-367.
- Flyvbjerg, B., Skamris Holm, M. & Buhl, S., 2002. Underestimating costs in public works projects: error or lie?. *Journal of the American planning association*, pp. 279-295.
- Gesink, M., 2014. Stop schijnindexering van infraprojecten. *Cobouw*, 17 Juni, p. n.b..
- Goodwin, P. & Wright, G., 2010. The limits of forecasting methods in anticipating rare events. *Technological forecasting and social change*, pp. 355-368.
- Graafland, J., Nijhof, A., Besseling, V. & Tongeren, H. v., 2005. *Visie op transparantie in de bouw*, Gouda: PSI bouw.
- GWwkosten, 2007. *Funderingslagen en gebonden verhardingen*. Doetinchem: Reed Business bv.
- Haar, E. t., 2010. Budgetteringsmethoden grote bouw- en infraprojecten schieten tekort. *Bouwkostenkunde huisvestingseconomie*, pp. 8-13.
- Hardeman, S., 2011. *Aanbestedingsgedrag opdrachtgevers 2009-2010*, Amsterdam: Stichting economisch instituut voor de bouw.
- Hardeman, S., 2013. *De feiten rond aanbesteden*, Amsterdam: Economisch instituut voor de bouw.
- Hardeman, S. & Vlist, A. v. d., 2011. *Openbare aanbestedingen in de gww*, Amsterdam: Economisch instituut voor de bouw.
- Hegazy, T. & Ayed, A., 1998. Neural network model for parametric cost estimation of highway projects. *Journal of construction engineering and management*, pp. 210-218.
- Het Financieel Dagblad, 2014. *Ondernemen/Partijen A15 Maasvlakte-Vaanplein zwijgen over kostenconflict*. [Online]
Available at: <http://fd.nl/ondernemen/897162/partijen-a15-maasvlakte-vaanplein-zwijgen-over-kostenconflict>
[Geopend 3 december 2014].
- HM Treasury, 2003. *The Green Book: appraisal and evaluation in central government*. London: London TSO.

Inspectie, S., n.b. . *Werken in verontreinigde grond bij aanleg van kabels en leidingen*, Utrecht: Ministerie van sociale zaken en werkgelegenheid.

Kim, G.-H., An, S.-H. & Kang, K.-I., 2004. Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning. *Building and environment*, pp. 1235-1242.

Knight, K. & Fayek, A. R., 2002. Use of fuzzy logic for predicting design cost overruns on building projects. *Journal of construction engineering and management*, pp. 503-512.

Koning, M. & Elp, M. v., 2011. *Actuele situatie in de bouw*, Amsterdam: Economisch instituut voor de bouw.

Kremers, T., 2013. *Dealing with project reserves*, Baarn: TU Delft.

Kremers, T., Hertogh, M. & Van Gelder, P., 2014. Het zekere voor het onzekere?. *Cost and Value*, pp. 18-22.

Leendertse, W., 2014. *Publiek-private interactie in infrastructuurnetwerken*, Utrecht: W.L. Leendertse.

Lovullo, D. & Kahneman, D., 2003. Delusions of success. *Harvard business review*, pp. 1-10.

Love, P. E., Edwards, D. J. & Irani, Z., 2012. Moving beyond optimism bias and strategic misrepresentation: an explanation for social infrastructure project cost overruns. *IEEE Transactions on engineering management*, pp. 560-571.

Lowe, D. J., Emsley, M. W. & Harding, A., 2006. Predicting construction cost using multiple regression techniques. *Journal of construction engineering and management*, pp. 750-758.

Luiten, R., 2012. Wat is het verschil in de taak- en verantwoordelijkheidsverdeling tussen een UAV 2012- en een UAV-GC 2005- contract?. *Crowetcetera*, pp. 50-53.

Meer, v. d., 2014. Kwantificeren van onzekerheden en risico's bij infrastructuur projecten. *Cost and Value*, pp. 28-31.

Megremis, A., 2013. *Abnormally low tenders: Objecifying detection*, Delft: TU Delft.

Nagelkerke, M., Oehler, J., Muntz-Beekhuis, J. & Staay, D. v. d., 2009. *De concurrentiegerichtte dialoog*, Utrecht: Rijksoverheid.

Negnevitsky, 2002. *Lecture 8: Artificial neural networks: unsupervised learning*. sl:Pearson education.

Nicholls, A., 2009. *The Forecasting Guidebook*. Bristol: Defence equipment and support.

Projectorganisatie Zuiderzeelijn, 2006. *Structuurvisie Zuiderzeelijn*, sl: sn

Projectteam ProSes, B., 2004. *Hoofdrapport kostenopstelling t.b.v. MKBA en S-MER*, Utrecht: Rijkswaterstaat bouwdienst, hoofdafdeling waterbouw.

Reformatoisch, D., 2006. *Binnenland*. [Online]
Available at: http://www.refdag.nl/nieuws/binnenland/i_asfalt_afrollen_hechten_wegwezen
[Geopend 2015 mei 7].

Rijkswaterstaat, 2005. *Nieuwe ontwerprichtlijn autosnelwegen*, Rotterdam: Ministerie van verkeer en waterstaat.

Rijkswaterstaat, 2013. *Nieuws en persberichten*. [Online]
Available at:
http://www.rijkswaterstaat.nl/actueel/nieuws_en_persberichten/2013/april2013/aanleg_innovatief_zoab_op_de_a18.aspx
[Geopend 8 mei 2015].

Rvo, R. v. o. N., n.b.. *Instrument: stakeholderanalyse van een ketenproject*, n.b.: Rijksdienst voor ondernemend Nederland.

Specht, D. F., 1991. A general regression neural network. *IEEE transactions on neural networks*, pp. 568-576.

Taleb, N. N., 2007. Black swans and the domains of statistics. *The American statistician*, pp. 198-200.

Thaler, R. H., 1988. The winner's curse. *The journal of economic perspectives*, pp. 191-202.

Tu, J. V., 1996. Advantages and disadvantages of using artificial neural networks versus logistic regression for predicting medical outcomes. *Journal of clinical epidemiology*, pp. 1225-1231.

Vanston, J. H. & Vanston, L. K., 2004. Testing the tea leaves: evaluating the validity of forecasts. *Research technology management*, pp. 33-39.

VBW-asfalt, 1995. *Handboek asfaltverhardingen*. Breukelen: VBW-asfalt.

Vellido, A., Lisboa, P. & Vaughan, J., 1999. Neural networks in business: a survey of applications (1992-1998). *Expert systems with applications*, pp. 51-79.

Vrijdenker, 2009. *vrijdenker.infoteur.nl*. [Online]
Available at: <http://vrijdenker.infoteur.nl>
[Geopend 3 Mei 2011].

Weezel, T. G. v., 2015 . Overheid gooit bouwrisico's over de heg. *Volkskrant*, 1 mei, pp. 1-5.

Williams, T., 1994. Predicting changes in construction cost indexes using neural networks. *Journal of construction engineering and management*, pp. 306-320.

Wilmot, C. G. & Mei, B., 2005. Neural network modeling of highway construction costs. *Journal of construction engineering and management*, pp. 765-771.

Woodward, D. G., 1997. Life cycle costing: theory, information acquisition and application. *International journal of project management*, pp. 335-344.

Citaat op voorpagina

Winch, G. M., 2010. *Managing construction projects*. 1 red. Oxford: Wiley Blackwell.

Afbeelding voorpagina

3oneseven, 2015. *News*. [Online]
Available at: <http://3oneseven.com/news/?broken-highway.jpg>
[Geopend 6 Juni 2015].

8. Figurenlijst

Figuur 1.1: Spreiding van kostenover- en onderschrijdingen voor Nederlands infrastructuur projecten (Cantarelli, 2011)	3
Figuur 1.2: Beschikbare financiële middelen per type infrastructuur, 2013-2019 (mln euro) (Groot, 2014)	4
Figuur 1.3: Stappenplan van het onderzoek	7
Figuur 2.1: Verband tussen psychologische en politiek-economische oorzaak (Flyvbjerg, 2008)	9
Figuur 2.2: Resultaten van een probabilistische analyse (CROW, 2010).	13
Figuur 2.3: Distributie van wegenbouwprojecten met bijhorende 'uplift' (Flyvbjerg, 2008).	14
Figuur 2.4: Voorbeeld van een regressiemodel (Tu, 1996).	16
Figuur 2.5: Voorbeeld van een begeleid leren neurale netwerk (Bayram, et al., 2013).	17
Figuur 3.1: Voorbeeld onzekerheden top 10 (CROW, 2010).	29
Figuur 3.2: Verhouding benoemde en onbenoemde risico's door het project heen (Kremers, et al., 2014)	30
Figuur 3.3: Doorsnede wegprofiel (Infrawiki, 2015).	32
Figuur 3.4: Verdeling van verantwoordelijkheden voor verschillende samenwerkingsconcepten (Luiten, 2012).	34
Figuur 3.5: Aanbestedingen van werk per hoofd van de bevolking en inschrijvers per werk (Hardeman, 2013).	35
Figuur 3.6: Verhouding tussen projectomvang en omzeteisen (Hardeman, 2013)	36
Figuur 3.7: Verdeling aanbestedingen naar gunningscriterium (Hardeman, 2011)	36
Figuur 3.8: Aantal aanbestedingen van werk per kwartaal (Hardeman, 2013).	37
Figuur 3.9: Verdeling aanbestedingen per bouworganisatievorm (Hardeman, 2011).	37
Figuur 3.10: Toe- en uittrekders in de GWW-sector (Hardeman, 2013).	38
Figuur 3.11: Veroorzakers van faalkosten (consultancy, 2007).	38
Figuur 3.12: Inschrijving opdrachtnemer vergeleken met raming van opdrachtgever (Hardeman, 2013).	40
Figuur 4.1: Hoeveelhedenmodel.	46
Figuur 4.2: Neurale netwerk kostenmodel.	47
Figuur 4.3: RCF model.	49
Figuur 4.4: Distributie van wegenbouwprojecten met bijhorende uplift (Flyvbjerg, 2008).	51
Figuur 5.1: Overzicht aanbestedingsjaren van verzamelde projecten.	59
Figuur 5.2: Verdeling projectwerkzaamheden per aanbestedingsjaar.	60
Figuur 5.3: Analyse verschil oplevering ten opzichte van raming.	61
Figuur 5.4: Analyse verschil aanbesteding ten opzichte van raming.	62
Figuur 5.5: Analyse verschil oplevering ten opzichte van aanbesteding	63
Figuur 5.6: Analyse relatie verschil aanbesteding ten opzichte van raming en oplevering ten opzichte van aanbesteding.....	64
Figuur 5.7: Analyse verschil directe bouwkosten aanbesteding ten opzichte van raming	65
Figuur 5.8: Analyse percentage indirecte bouwkosten raming.....	66
Figuur 5.9: Analyse percentage indirecte bouwkosten aanbesteding.....	67
Figuur 5.10: Analyse verschil indirecte bouwkosten aanbesteding ten opzichte van raming.	68
Figuur 5.11: Analyse relatie verschil directe bouwkosten en meer- en minderwerk.....	69

Figuur 5.12: Analyse relatie tussen indirecte bouwkosten aanbesteding en meer- en minderwerk....	70
Figuur 5.13: Analyse relatie tussen verschil indirecte bouwkosten en meer- en minderwerk.....	71
Figuur 6.1: Resultaat regressiemodel voor verwijderen van asfalt, links met- en rechts zonder uitschieters.	77
Figuur 6.2: Resultaat regressiemodel voor onderscheid in aanbrengen van asfaltsoorten.	78
Figuur 6.3: Resultaat regressiemodel voor onderscheid in projectgrootte voor verwijderen van asfalt.	78
Figuur 6.4: RCF model voor veranderende opdrachtomschrijving in een D&C contract.....	81
Figuur 6.5: RCF model voor verschil in eenheidsprijzen voor RAW-bestek.	81
Figuur 6.6: RCF model voor indirecte bouwkosten in aanbesteding van D&C contract.....	84
Figuur 6.7: RCF model voor indirecte bouwkosten in aanbesteding van RAW-bestek.....	84
Figuur 6.8: RCF model meer- en minderwerk D&C contract.....	87
Figuur 6.9: RCF model meer- en minderwerk RAW-bestek.	87

9. Tabellenlijst

Tabel 2.1: Gekwantificeerde onzekerheden in een risico top 10 (CROW, 2010).	12
Tabel 2.2: Analyse nieuwe ontwikkelingen naar benodigde eigenschappen.	14
Tabel 3.1: Overzicht van projectfases met partijen	25
Tabel 3.2: Overzicht van investeringskosten en intresse van de doelgroep.	26
Tabel 3.3: Overzicht kostencategorie met interesse van de doelgroep.	27
Tabel 3.4: Overzicht van projectspecifieke en niet projectspecifieke kostenonderdelen.	31
Tabel 4.1: Conclusies uit hoofdstuk 2 en hoofdstuk 3	45
Tabel 5.1: Data-eigenaren per datacomponent	55
Tabel 5.2: Voorbeeld ontleding data voor neurale netwerk kostenmodel.	57
Tabel 5.3: Voorbeeld ontleding data voor het RCF model.	57
Tabel 5.4: Overzicht verzamelde gegevens.	58
Tabel 5.5: Verdeling van werkzaamheden van verzamelde projecten.	59
Tabel 5.6: Analyse verschil oplevering ten opzichte van raming.	60
Tabel 5.7: Analyse verschil aanbesteding ten opzichte van raming	61
Tabel 5.8: Analyse verschil oplevering ten opzichte van aanbesteding	62
Tabel 5.9: Analyse verschil directe bouwkosten aanbesteding ten opzichte van raming	65
Tabel 5.10: Analyse percentage indirecte bouwkosten raming	66
Tabel 5.11: Analyse percentage indirecte bouwkosten aanbesteding.	67
Tabel 5.12: Analyse verschil indirecte bouwkosten aanbesteding ten opzichte van raming.	67
Tabel 5.13: Uitgangspunten voor betrouwbare resultaten	72
Tabel 6.1: Procentuele invloed van activiteiten op de directe bouwkosten.	74
Tabel 6.2: Validatieset hoeveelhedenmodel.	74
Tabel 6.3: Vergelijking validatieset met hoeveelhedenmodel.	74
Tabel 6.4: Validatieset met niet gelijke hoeveelheden door verschil in detailniveau.	75
Tabel 6.5: Resultaten validatie met niet gelijke hoeveelheden.	75
Tabel 6.6: Dataset voor neurale netwerk kostenmodel.	76
Tabel 6.7: Resultaat neurale netwerk kostenmodel.	77
Tabel 6.8: Resultaat validatie met regressiemodel.	77
Tabel 6.9: Resultaat regressiemodel voor onderscheid in aanbrengen van asfaltsoorten.	78
Tabel 6.10: Resultaat regressiemodel voor onderscheid in projectgrootte voor verwijderen asfalt.	79
Tabel 6.11: Vergelijking dataset neurale netwerk kostenmodel met datasets in literatuuranalyse.	79
Tabel 6.12: Verdeling data voor het opzetten van het RCF model en valideren van het RCF model.	80
Tabel 6.13: Interpolatie van geaccepteerde overschrijdingskans veranderende opdrachtomschrijving D&C contract.	81
Tabel 6.14: Interpolatie van geaccepteerde overschrijdingskans verschil in eenheidsprijzen RAW-bestek.	82
Tabel 6.15: Validatie RCF model voor veranderende opdrachtomschrijving D&C contract.	82
Tabel 6.16: Validatie RCF model voor verschil in eenheidsprijzen RAW-bestek.	82
Tabel 6.17: Validatie RCF model veranderende opdrachtomschrijving D&C contract aan grotere dataset.	83
Tabel 6.18: Validatie RCF model verschil in eenheidsprijzen RAW-bestek aan grotere dataset.	83
Tabel 6.19: Interpolatie geaccepteerde overschrijdingskans indirecte bouwkosten D&C contract.	84
Tabel 6.20: Interpolatie geaccepteerde overschrijdingskans indirecte bouwkosten RAW-bestek.	85
Tabel 6.21: Validatie RCF model indirecte bouwkosten D&C contract.	85

Tabel 6.22: Validatie RCF model indirecte bouwkosten RAW-bestek.	85
Tabel 6.23: Validatie RCF model indirecte bouwkosten D&C contract aan grotere dataset.	86
Tabel 6.24: Validatie RCF model indirecte bouwkosten RAW-bestek aan grotere dataset.	86
Tabel 6.25: Interpolatie geaccepteerde overschrijdingskans meer- en minderwerk D&C contract.	87
Tabel 6.26: Interpolatie geaccepteerde overschrijdingskans meer- en minderwerk RAW-bestek.	88
Tabel 6.27: Validatie RCF model meer- en minderwerk D&C contract.	88
Tabel 6.28: Validatie RCF model meer- en minderwerk RAW-bestek.	88
Tabel 6.29: Validatie RCF model meer- en minderwerk D&C contract aan grotere dataset.	89
Tabel 6.30: Validatie RCF model meer- en minderwerk RAW-bestek aan grotere dataset.	89
Tabel 6.31: Rekenvoorbeeld toepassing RCF model voor een project met een D&C contract.	90

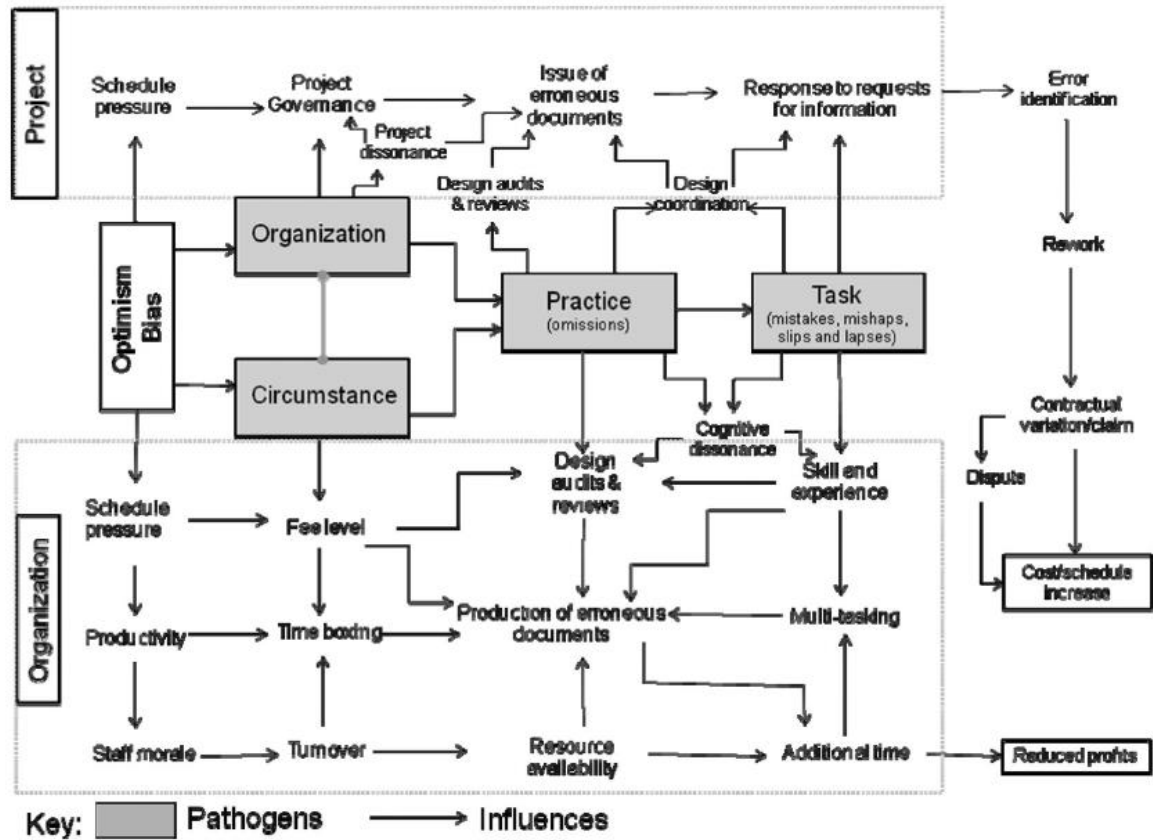
10. Bijlagenlijst

Bijlage 2.1.	Pathogenen
Bijlage 2.2.	Niet geselecteerde kostenramingstechnieken
Bijlage 2.3.	Toelichting type neurale netwerken
Bijlage 2.4.	Toepassingen RCF methode
Bijlage 2.5.	Toepassingen neurale netwerken
Bijlage 3.1.	Toelichting indirecte kostenposten
Bijlage 3.2.	Overzicht verschillende risicogroepen
Bijlage 3.3.	Overzicht wegfuncties
Bijlage 3.4.	Toelichting contractvormen
Bijlage 4.1.	Totaaloverzicht model
Bijlage 4.2.	Functieboom wegtypen
Bijlage 4.3.	Ontwerpelementen per ontwerpsnelheid
Bijlage 5.1.	Toetsingen op significantie voor analyse tussen projectfasen
Bijlage 5.2.	Toetsingen op significantie voor analyse in projectfasen
Bijlage 6.1.	Validatie hoeveelhedenmodel
Bijlage 6.2.	Grafische weergave neurale netwerk combinaties
Bijlage 6.3.	Toetsingen op significantie voorbereidingsfase
Bijlage 6.4.	Toetsingen op significantie indirecte bouwkosten aanbesteding
Bijlage 6.5.	Toetsingen op significantie uitvoeringsfase
Bijlage 6.6.	Rekenvoorbeeld RCF model voor project met RAW-bestek
Bijlage 7.1.	Referentielijst bijlagen

Bijlage 2.1.

- *Pathogenen*

Pathogenen



Figuur 1: Toelichting op de werking van pathogenen (Love, et al., 2012).

Bijlage 2.2.

- *Niet geselecteerde kostenramingstechnieken*

Niet geselecteerde kostenramingstechnieken

Hieronder is aanvullende literatuur te vinden over de niet geselecteerde kostenramingstechnieken. Waar in het hoofdrapport de kostenramingstechnieken welke zowel de eigenschap outside view en werkelijkheid bevatten uiteen zijn gezet. Is hieronder als eerst toelichting gegeven op parametrisch ramen. Waarna case-based reasoning, fuzzy logic en Bayesiaans geloof netwerk worden belicht. Zie Tabel 1 voor een overzicht van de kostenramingstechnieken.

Tabel 1: Overzicht kostenramingstechnieken.

Kostenramingstechnieken	Eigenschappen		
	Outside view	Werkelijkheid	Projectspecifiek
Reference Class Forecasting	V	V	X
Regressiemodellen	V	V	X
Neurale Netwerken	V	V	X
Parametrisch ramen	V	X	X
Case-based reasoning	V	X	X
Fuzzy logic	V	X	X
Bayesiaans geloof netwerk	V	X	X

Parametrisch ramen

Een andere variant op een probabilistisch netwerk is het parametrisch ramen. De methode van parametrisch ramen is gebaseerd op een statische relatie tussen bouwkosten van gerealiseerde projecten en het programmeren van fysieke en prestatie eigenschappen (Nicholls, 2009). Evenals bij de RCF methode, maakt de methode van parametrisch ramen gebruik van een outside view. Op het eerste gezicht lijkt het dat parametrisch ramen vergelijkbaar is met neurale netwerken. Het verschil met neurale netwerken is dat neurale netwerken getraind worden met data en parametrische modellen niet.

Een verschil met de RCF methode is dat parametrisch ramen geschikt is als ramingsmethode, waar de RCF methode alleen geschikt is voor het inschatten van het percentage voor de risicoreservering. Parametrisch ramen kan dus ook gebaseerd zijn op een gemiddelde van een andere bouwkostenraming voor een bepaald project. Hegazy & Ayed geven in 1998 aan dat parametrische ramingen nuttig kunnen zijn in de beginfase van een project maar dat ze als nadeel hebben dat ze moeite hebben om een geschikte kostenfunctie te bepalen op basis van historische data, dit wordt bevestigd door (El-Sawah & Moselhi, 2014). Dit heeft ertoe geleid dat de techniek van parametrisch ramen niet veel wordt toegepast in de bouw- en infrastructurele sector (Hegazy & Ayed, 1998). Er kan geconcludeerd worden dat zowel het Bayesiaans geloof netwerk als het parametrisch ramen te vergelijken zijn met een neurale netwerk. Het enige verschil is dat deze techniek niet getraind wordt. Doordat deze technieken niet getraind worden is de input gebaseerd op basis van de opsteller van het netwerk en kan het dus gebeuren dat het resultaat geen objectieve weergave is van de werkelijkheid, dit in tegenstelling tot een neurale netwerk. Daarom kan er geconcludeerd worden dat de toepassing van een neurale netwerk meer potentie heeft vergeleken met de toepassing van een probabilistisch netwerk.

Case-based reasoning

Case-based reasoning (CBR) is een ramingstechniek waarbij op basis van kennis uit voorgaande projecten, bouwkosten voor een nieuw project ingeschat worden. Deze techniek is gebaseerd op een combinatie van ervaring en waarnemingen uit voorgaande projecten (Kim, An, & Kang, 2004). CBR is gebaseerd op adviezen van experts en wordt als volgt toegepast: als eerste worden de belangrijke onderdelen van een project waargenomen, vervolgens wordt er gekeken of de geïdentificeerde hoofdonderdelen al eens zijn toegepast in voorgaande projecten en als laatste wordt een voorspelling gegeven voor een nieuw project (Kim, An, & Kang, 2004). Doordat een CBR gebaseerd is

op menselijke beoordelingen kunnen er vraagtekens gezet worden bij de objectiviteit van deze methode, wat in de probleemstelling van de literatuuranalyse is aangegeven als een mogelijke oorzaak van de bouwkostenoverschrijdingen van projecten.

Fuzzy logic

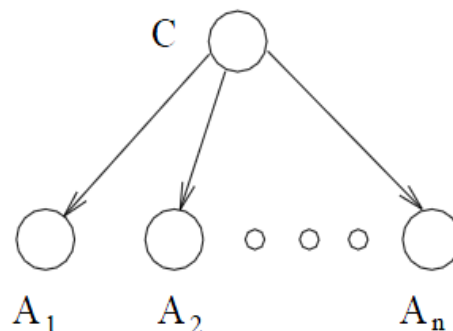
Een andere ramingsmethode welke wordt toegepast om bouwkosten te bepalen is Fuzzy logic (FL). FL is gebaseerd om de onnauwkeurigheid tussen natuurlijk gebruikte taalhoeveelheden in kaart te brengen, bijvoorbeeld veel, weinig of iets. Onderbouwingen met FL leiden niet tot goede of foute antwoorden, maar alleen tot antwoorden in een bepaalde mate goed en in een bepaalde mate fout zijn. Het doel van FL is vage termen te kwantificeren (Tah & Carr, 2000). Verschil met traditionele logica is dat iets wel of niet onderdeel kan zijn van een iets. Waar het bij FL mogelijk is dat iets deels van toepassing is op iets (Tah & Carr, 2000). Voor grotere projecten kan het misschien handig zijn om FL toe te passen, om zo een project te ontleden in kleinere onderdelen. Een overzicht van de toepassing van FL is te zien in Tabel 2.

Tabel 2: Toepassing fuzzy logic (Tah & Carr, 2000).

Severity	Time	Cost	Quality	Safety
Very high	> 20% above target	> 20% above target	Very poor	Injury
High	10% < target < 20%	10% < target < 20%	Poor	Safety hazard
Medium	5% < target < 10%	5% < target < 10%	Average	Average
Low	1% < target < 5%	1% < target < 5%	Above average	Above average
Very low	1% < target	1% < target	OK	OK

Bayesiaans geloof netwerk

Bayesiaanse geloof netwerken zijn gericht op niet-cyclische grafieken welke een efficiënte en effectieve vertegenwoordiging van de gezamenlijke kansverdeling over een reeks van willekeurige variabelen weergeeft, zie Figuur 1. (Friedman, Geiger, & Goldszmidt, 1997). De verschillende variabelen zijn verdeeld over een bereik van een optimistische weergave tot een pessimistische weergave van het project. Waarover uiteindelijk door een deskundige wordt bepaald wat de bouwkosten van het project zullen zijn. Bayesiaanse geloof netwerken zijn onder andere gebruikt voor het maken van beslissingen voor de betrouwbaarheid van militaire voertuigen (Nicholls, 2009). Nicholls beargumenteert tevens dat de technieken om een Bayesiaans geloof netwerk op te stellen over het algemeen niet aanwezig zijn in de bouwkostenafdeling van een organisatie.



Figuur 1: Grafische weergave Bayesiaans geloof netwerk (Friedman, et al., 1997).

Het verschil met de RCF methode is dat in het geval van het Bayesiaans geloof netwerk, een mens uiteindelijk bepaald welke variabele gekozen wordt om de bouwkosten voor het project in te schatten. Dit houdt in dat in het geval van het Bayesiaans geloof netwerk de optimistische vooringenomenheid niet kan worden weggenomen, wat bij de RCF methode wel het geval is. Een ander verschil is dat de RCF methode alleen geschikt is voor het vaststellen van het risicoservering van een project.

Bijlage 2.3.

- *Toelichting type neurale netwerken*

Toelichting type neurale netwerken

Vellido e.a. hebben in 1999 onderzoek gedaan naar welke varianten van neurale netwerken worden gebruikt in verschillende vakgebieden. Op het gebied van kostenramingen, wordt in de meeste gevallen gekozen het Multi Layer Perceptron (MLP) model of het Radial Basis Function (RBF) model. In de meeste gevallen worden neurale netwerkmodellen getraind door het back propagation gradient descent model (BPGD) netwerk. Het model wordt in de meeste gevallen gevalideerd door middel van het opdelen van de data in verschillende subcategorieën (TR-TS), of door het naast elkaar leggen van verschillende modellen. De kolom data grootte in Tabel 1, geeft weer welke toepassing voor het opdelen van de data is toegepast. Als referentie methode voor neurale netwerken wordt de meervoudige lineaire regressie (MLR) gebruikt, of er worden meerdere neurale netwerken met elkaar vergeleken. Een referentiemethode wordt gebruikt om het neurale netwerk model te vergelijken met andere ramingsmethoden, zie kolom 5 in Tabel 1.

Tabel 1: toepassing van neurale netwerken (Vellido, Lisboa, & Vaughan, 1999)

Reference	NN model	Validation	Data size	Benchmark methods	MC
Cost estimation					
<i>Industrial production</i>					
Shtub and Zimmerman, 1993	BPGD	TR-TS	324s/9-12v	MLR	1,6
de la Garza and Rouhana, 1995	BPGD	TR-TS	16s/3v	MLR,NLR	1,6
Creese and Li, 1995	BPGD	TR-TS	12s/3v	MLR	1,6
Zhang, Fung, and Chan, 1996	BPGD	TR-VA-TS	80s/32v	MLR,(*)	1,6
Smith and Mason, 1997	BPGD	LOO	20s/3v	MLR	1,6
Bode, 1998	BPGD	TR-TS	20-50-200s/4-6v	No	6
<i>Construction</i>					
Li, 1995	NA	NA	NA	NA	NA
<i>Health services</i>					
Hoyt and Lay, 1995	HNN	CV	250s/9-15v	No	6,7
Facility location					
Benjamin et al., 1995	BPGD/ART II (un)	TR-TS	48s/15v	(*)	4,5
Vaithyanathan et al., 1996	HTN/TANN(un)	NA	NA	No	4,5,7
Productivity forecasting					
Boussabaine and Duff, 1996	NA	NA	NA	NA	NA
Construction budget performance forecasting					
Chua et al., 1997	BPGD	LOO	22-20s/27dt8v	No	6,7

Hieronder is onderscheid gemaakt in neurale netwerken voor het modelleren en het trainen van het neurale netwerk.

Neurale netwerken modelleren

In deze paragraaf zijn de volgende neurale netwerken voor het modelleren van het neurale netwerk toegelicht: Multi Layer Perceptron, Radial Basis Function en Self Organising Feature Map.

Multi Layer Perceptron

Een eerste variant op een neurale netwerk is het multi layer perception (MLP) netwerk. Het MLP netwerk heeft als doel om verschillende input variabelen om te zetten in geschikte output variabelen. Volgens een beschrijving van Bayram bevat een MLP netwerk 3 lagen, namelijk een input laag, een verborgen laag en een output laag. De input laag bestaat uit eenzelfde aantal neuronen als het aantal parameters welke invloed hebben op de bouwkosten van een project. Een MLP netwerk kan meerdere verborgen lagen bevatten, echter is normaal gesproken één verborgen laag voldoende voor bijna alle variabelen welke van invloed zijn op de bouwkosten van een project. De verborgen laag bevat meerdere neuronen wat het mogelijk maakt om de resultaten van de output laag in een bepaald bereik te weergeven, waarvan de output laag door middel van een lineaire functie de benodigde waarden kan voorspellen. (Bayram, Ocal, Laptali Oral, & Atis, 2013)

Radial Basis Function

Een volgende variant van een neurale netwerk is het zogeheten radial basis function (RBF) netwerk. Het RBF netwerk kan het beste omschreven worden als een netwerk bestaand uit 2 lagen, waarbij de output units een lineaire combinatie vormen met behulp van de door de verborgen laag berekende basis functies (Tarassenko, 1998). Evenals het MLP netwerk bestaat het RBF netwerk uit 3 lagen. Het verschil tussen het MLP netwerk en het RBF netwerk is dat het RBF netwerk slechts gebruikt maakt van één verborgen laag waar het MLP netwerk gebruik kan maken van meerdere verborgen lagen. Een voordeel hiervan is dat er geen non-lineaire optimalisatie nodig is voor een RBF netwerk, dit in tegenstelling tot het MLP netwerk. Het RBF netwerk maakt gebruik van een niet iteratieve techniek, wat het RBF netwerk bruikbaar maakt in een data set. Het RBF netwerk wordt over het algemeen gebruikt voor optimalisatie studies. (Bayram, Ocal, Laptali Oral, & Atis, 2013)

Adeli & Wu noemen in een artikel uit 1998 het RBF netwerk ook wel het geregelde neurale netwerk. Ze geven aan dat het geregelde neurale netwerk gebaseerd is op een solide wiskundige basis welke een consistente, betrouwbare en voorspelbare bouwkosten inschatting maakt. Ook zijn de onregelmatigheden in de data in rekening gebracht in het geregelde neurale netwerk model (Adeli & Wu, 1998). Wanneer het geregelde neurale netwerk vergeleken wordt met een traditionele regressie analyse blijkt het dat traditionele regressiemodellen alleen geschikte data kunnen gebruiken op basis van bepaalde functies. Voordeel van het geregelde neurale netwerk is dat het niet afhankelijk is van de opbouw van het model, de ingevoerde parameters en het aantal iteraties. Dit maakt het geregelde neurale model een objectief model voor het inschatten van bouwkosten ten opzichte van de traditionele regressie modellen (Adeli & Wu, 1998).

Self-organising feature map (SOFM)

Het doel van een SOFM netwerk is het transformeren van input patronen op basis van willekeurige dimensie naar een 2 dimensionaal gekarakteriseerde map, welke topologisch is gerangschikt. De SOFM is een neurale netwerk welke gebruikt maakt van niet begeleid leren (Negnevitsky, 2002). Negnevitsky beschrijft dat het bij een neurale netwerk waar niet begeleid leren van toepassing is, het neurale netwerk op zichzelf in staat is om patronen te herkennen. SOFM is gebaseerd op competitief leren, wat inhoudt dat de neuronen (connecties) onder zichzelf strijden om geactiveerd te worden (Negnevitsky, 2002), dit wordt onderbouwd door Kaski in 1997. Het verschil tussen de SOFM en andere neurale netwerken is dat het een numeriek model is in plaats van een symbolisch, niet-parametrisch model. Tevens is een SOFM in staat om te leren zonder begeleiding (Kaski, 1997). Volgens Kaski werkt het SOFM volgens competitief leren, wat inhoudt dat de een neuron (laag) welke het beste instaat is om de input te representeren geselecteerd zal worden en is in staat om zichzelf te leren. Wanneer de neuronen op een rasterwerk zijn gelokaliseerd, zie Figuur 1, zijn tevens de omliggende neuronen in staat om te leren van de input.

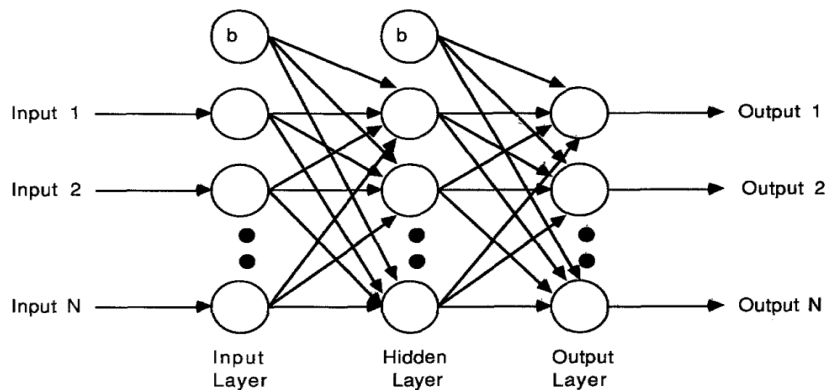
Neurale netwerken training

Ook voor het trainen van het neurale netwerk kunnen verschillende neurale netwerken gebruikt worden. Hieronder is dieper ingegaan op het Back Propagation Gradient Descent en het Generalized Regression Neural Network.

Back propagation gradient descent (BPGD)

De meest gebruikte methode om het neurale netwerk te trainen is de BPGD methode (Arafa & Alqedra, 2011). BPGD netwerken zijn bruikbare netwerken voor het vaststellen van patronen herkenning. Een neurale netwerk bestaat uit een aantal lagen, waarvan elke laag verschillende samenvoegingen van neuronen heeft (Elhag & Boussabaine, 1998). De input laag representeert de beïnvloedbare factoren van een specifieke bouwkostenraming. In de output laag wordt de oplossing voor de specifieke bouwkostenraming gegenereerd. In de verborgen laag wordt de informatie van de bouwkostenraming in de input laag doorgevoerd naar de output laag. Het doel van een BPGD netwerk training is het berekenen van de afwijkende term voor de output onderdelen gebruik makend van de waargenomen afwijkingen. Het wordt BPGD genoemd omdat het BPGD netwerk de

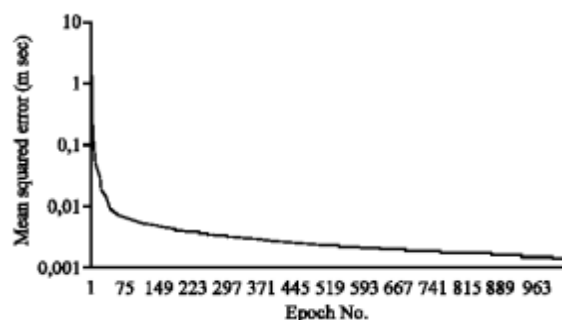
foutmeldingen doorrekenen vanaf de output laag naar de voorgaande laag of lagen en hiertussen de in eerste instantie aangenomen willekeurige gewichten tussen de lagen bijwerkt. Dit wordt gedaan tot en met de begin laag (xxx, 2012) & (Srihari, xxx).



Figuur 1: Grafische weergave neurale netwerk met BPGD training.

De BPGD methode traint het neurale netwerk door middel van het gebruik van zogenoemde foutmeldingen, welke de afwijkingen tussen de data bepalen, dit is onder andere gedaan in het onderzoek van (Bayram, Ocal, Laptali Oral, & Atis, 2013). Voor de BPGD trainingmethode kan er gebruik worden gemaakt van verschillende afwijkingsmethoden, enkele voorbeelden zijn de Root Mean Square Error (RMSE), de mean absolute error (MAE), de Mean Absolute Percentage Error (MAPE) en de determinatiecoëfficiënt (R^2).

El-Sawah & Moselhi geven in 2014 aan dat het ontwikkelen van een kwalitatief goed BPGD model moeilijk kan zijn, omdat het proces van het ontwikkelen van BPGD modellen bestaat uit iteratieve aanpassingen van netwerk parameters, netwerk herontwikkeling en de probleembeschrijving. (Bode, 2000) geeft als nadeel aan dat het BPGD model vast kan lopen in het niet bereiken van een globaal minimum, anders gezegd dat het niet in staat is de optimale gewichten te vinden voor verschillende variabelen na de training ervan. Arafa en Alqedra beschrijven tevens dat er een bepaalde hoeveelheid trainingsdata nodig om het neurale netwerkmodel te trainen met het BPGD netwerk. In Figuur 2 is te zien dat de hoe meer iteraties toegepast worden voor het neurale netwerk, hoe kleiner de Mean Squared Error (MSE) wordt.



Figuur 2: Aantal iteraties in relatie tot de training van het neurale netwerk

Generalized regression neural network

Een general regression neural network (GRNN) is een neurale netwerk dat net als het BPGD model gebruikt wordt om een neurale netwerk te trainen. Wanneer een GRNN model wordt vergeleken met een BPGD model, valt op dat een GRNN model meerdere verborgen lagen heeft. Een laag bestemd voor de patroon eenheden ook wel de gewichten, en een laag welke bestaat uit 2 knooppunten voor de simulatie eenheden van het model. Anders gezegd het bereik waarin een bouwkostenraming zal gaan vallen. Een ander verschil met een BPGD model is dat het GRNN model niet de afwijking berekend zoals een BPGD model doet. Een GRNN model staat bekend als een netwerk met een enkele passage. (Siqueira, 1999)

Het voordeel van een GRNN model is dat het in staat is om een neurale netwerk te trainen met een beperkte hoeveelheid beschikbare data voor de training. Omdat het GRNN model door middel van een probabilistische analyse beter in staat is de onderliggende functies van de data te benaderen. Een ander voordeel is dat een GRNN model niet zit met het probleem van het bereiken van een lokaal minima zoals het BPGD model (Specht, 1991). Specht adviseert daarom ook om bij training van een neurale netwerk zowel het BPGD model als het GRNN model te gebruiken. Omdat het BPGD model volgens Specht beter in staat is om het netwerk te trainen, waar het GRNN model als controlemiddel voor de accuraatheid van het BPGD model gebruikt kan worden.

Conclusie neurale netwerken

Hierboven zijn verschillende varianten en onderdelen van neurale netwerken toegelicht. Om te bepalen welke van deze neurale netwerken geselecteerd zullen worden, wordt een korte conclusie getrokken. Zoals uit het onderdeel validatie is gebleken is het belangrijk dat er gebruik moet worden gemaakt van meerdere neurale netwerkmodellen of regressiemodellen om het model te valideren. Daarom wordt er gekozen om het MLP netwerk te gebruiken tijdens dit onderzoek en deze te valideren met een regressiemodel. Het MLP netwerk wordt getraind met het BPGD model, aangezien is gebleken dat dit het meest toegepaste model is voor de training van neurale netwerken, zie Tabel 1. Neurale netwerken worden gecombineerd met de RCF methode. Waarbij het neurale netwerk de bouwkosten berekend en de RCF methode de risicoreservering vaststelt.

Het trainen van een neurale netwerk kan op verschillende manieren. Hierboven is het BPGD model en het GRNN model nader toegelicht. Hieruit blijkt dat een BPGD model beter in staat is om een neurale netwerk te trainen in vergelijking met het GRNN model. Echter heeft een BPGD model als nadeel dat het vast kan lopen in het niet bereiken van een globaal minimum.

Neurale netwerken hebben voor- en nadelen. Het grootste voordeel van een neurale netwerk is dat ze in staat zijn om te gaan met non-lineairiteit tussen variabelen (Emsley, Lowe, Duff, Harding, & Hickson, 2002). Volgens (Tarassenko, 1998) zijn de voordelen van een neurale netwerk het leren van ervaringen, het generaliseren van voorbeelden, het sneller ontwikkelen van oplossingen, efficiënt doorrekenen en dat het om kan gaan met non-lineairiteit. Leren is in de meeste gevallen equivalent aan de minimalisatie van de kost functie. Met kost functie wordt de invloed van een van de parameters op de berekende bouwkosten in de output bedoeld.

Vergelijking met de RCF methode

Een neurale netwerk is verschillend ten opzichte van de RCF methode. Zo is de RCF methode alleen geschikt om een bepaald percentage voor de risicoreservering te berekenen, door middel van een distributie tussen de bouwkostenraming en de uiteindelijke bouwkosten van een project. In een neurale netwerk kunnen meerdere parameters geselecteerd worden, welke van invloed zijn op de totale bouwkosten van een project. Een van de parameters kan bijvoorbeeld een risicoreservering zijn. Dit betekent dat een neurale netwerk totaal verschillend is ten opzichte van de RCF methode. Uit de probleemanalyse is gebleken dat bouwkostenramingen onderhevig kunnen zijn aan problemen met objectiviteit. Een belangrijk aspect zal de selectie van projecten zijn, dit zal tevens op een objectieve manier moeten gebeuren om zo, zo objectief mogelijke resultaten te genereren. Misschien kan de RCF methode wel gecombineerd worden met neurale netwerken, voor het vroegtijdig vaststellen van de bouwkosten van een project.

Bijlage 2.4.

- *Toepassingen RCF methode*

Toepassingen RCF methode

Hieronder is een toelichting te vinden van toepassingen van de RCF methode waarbij Flyvbjerg geen directe rol heeft gespeeld. Als eerste is een toelichting gegeven over de Edinburgh Tramline 2, vervolgens is de toepassing van de RCF methode voor infrastructuur in IJsland belicht.

Edinburgh Tramline 2

In Schotland is een business case uitgevoerd op de Edinburgh Tramline 2, waarbij gebruik is gemaakt van de voorschriften volgens HM treasury. De HM Treasury bevat voorschriften om bouwkostenoverschrijdingen ten gevolge van optimistische vooringenomenheid tegen te gaan. De business case voor de Edinburgh Tramline 2 diende ervoor om onderzoek te verrichten naar de optimistische vooringenomenheid voor het project (Arup & Partners Scotland Ltd., 2004). Uit dit onderzoek is gebleken dat met betrekking tot het lager uitvallen van de bouwkosteninschatting door optimistische vooringenomenheid, een percentage bij op de totale bouwkosteninschatting is gezet. Om zo de optimistische vooringenomenheid weg te nemen. Echter blijkt dat de hoogte van dit percentage niet volgens de voorschriften van HM treasury is vastgesteld, waardoor de optimistische vooringenomenheid slechts deels uit de bouwkosteninschatting is verdrongen (Arup & Partners Scotland Ltd., 2004). Op dit moment is slechts een deel van Tram line 1 gebouwd (Letdorf, 2013). Waarbij de bouwkosten hoger uitvallen dan oorspronkelijk begroot, en het project tevens achter op schema ligt (McKie, 2014). Het is niet bekend wanneer de bouw van Tram line 2 van start gaat en of deze überhaupt van start zal gaan.

Onderzoek toepassing van de RCF methode voor infrastructuur IJsland

In 2012 is er onderzoek verricht naar de toepassing van de RCF methode op infrastructurele projecten in IJsland, dit onderzoek is uitgevoerd als afstudeeronderzoek door Eythorsdottir. Eythorsdottir geeft aan dat de volgende stappen moeten worden genomen om een RCF model te bouwen. Als eerste moet er data verzameld worden, vervolgens moeten er referentieklassen gebouwd worden en daarna moet er onderzocht worden wat de kansdichtheid functie van elke referentieklass is. Als laatste moeten er gezocht worden naar de 'uplift' voor de optimistische vooringenomenheid voor elke referentieklass.

Eythorsdottir concludeert dat het niet haalbaar is om de RCF methode op korte termijn te gebruiken voor de IJslandse infrastructuur. Eythorsdottir suggereert echter dat het voor de lange termijn wel nuttig kan zijn voor de IJslandse infrastructuur. Eythorsdottir adviseert dat ICERA, de publieke organisatie van IJslandse infrastructuur, tijdig moet beginnen met het uniform documenteren van projecten, om de implementatie van de RCF methode in de toekomst succesvol te laten zijn. Eythorsdottir geeft aan dat de RCF methode voor de lange termijn nuttig kan zijn doordat de huidige voorspelling methode, de bewegende gemiddelde methode, niet geschikt is om bijzondere gebeurtenissen in te schatten. Echter kan bij deze conclusie een vraagteken geplaatst worden aangezien Ter Haar aangeeft dat de RCF methode niet geschikt is om bouwkosten voor individuele projecten te voorspellen. Misschien bedoelt Eythorsdottir dat de huidige, door ICERA, gebruikte methode minder geschikt is als de RCF methode om bouwkosten voor bijzondere gebeurtenissen in te schatten.

Bijlage 2.5.

- *Toepassingen neurale netwerken*

Toepassingen neurale netwerken

Neurale netwerken zijn toegepast in verschillende vakgebieden. In de literatuuranalyse is enkel de toepassing van neurale netwerken welke gerelateerd zijn aan infrastructurele projecten toegelicht. Hieronder is een overzicht te vinden van de toepassing in andere vakgebieden. Waarbij als laatste de toepassing van neurale netwerken binnen Witteveen+Bos in kaart is gebracht.

Voorspellen maandelijkse regenval in Queensland, Australië

Abbot & Marohasy hebben in 2014 de neurale netwerken methodiek toegepast om de maandelijkse en seizoen gerelateerde regenval in Queensland in te schatten. Hiervoor hebben ze historische gegevens van regenval in Queensland, klimaateigenschappen en gegevens over de temperatuur in een neuraal netwerkmodel gevoegd. Vervolgens hebben ze het neurale netwerkmodel vergeleken met het model wat momenteel gebruikt wordt door de Australische meteorologische dienst. Hieruit is geconcludeerd dat het neurale netwerk model beter instaat is om voorspellingen met betrekking tot de maandelijkse en seizoen gerelateerde regenval te doen dan het huidig gebruikte model.

Neurale netwerken in de robotica

Janglova heeft in 2004 neurale netwerken gebruikt om het zogenoemde findpath and findspace probleem op te lossen in de robotica. Hiervoor heeft ze gebruik gemaakt van 2 neurale netwerken, waarvan het MLP netwerk er 1 van was. Het MLP netwerk is gebruikt om het findpath probleem op te lossen en is getraind met het BPGD netwerk (Janglova, 2004). Janglova geeft tevens aan dat een MLP netwerk veel data nodig heeft en dat ze een langzaam trainingsproces hebben. Janglova concludeert dat het onderzoek acceptabele resultaten heeft opgeleverd en dat het MLP netwerk in de toekomst zal worden gebruikt om het findpath probleem verder op te lossen.

Gebruik van SOFM om pijpleidingen te lokaliseren

Puttipatkajorn e.a. hebben in 2003 het SOFM netwerk gebruikt om pijpleidingen op zeebodems te lokaliseren. Het doel van de auteurs was het vinden van de werkelijke positie van de pijpleidingen op zeebodems. Uit hun onderzoek hebben ze geconcludeerd dat het SOFM netwerk in staat is om op sonar afbeeldingen de positie van de pijpleidingen in te schatten. Enig nadeel aan hun onderzoek is dat de SOFM netwerk alleen in staat is om de verticale positie van de pijpleiding in te schatten. De auteurs geven tevens aan dat het maken van het SOFM netwerk makkelijk en robuust is, maar dat het veel tijd nodig heeft om de positie van de pijpleidingen door te rekenen.

Voorspellen beschikbare zonnestraling met behulp van neurale netwerken

Reddy & Ranjan hebben in 2003 een neuraal netwerk toegepast voor het inschatten van de hoeveelheid zonnestraling per maand, dag en uur op 11 locaties in India. Dit onderzoek was van belang om te kijken hoeveel zonnestraling op verschillende locaties in India terecht komt, met betrekking tot de akkerbouw in India. De auteurs hebben als neuraal netwerk een MLP netwerk toegepast. Ze hebben het neurale netwerk getraind met het BPGD netwerk waarbij ze als afwijking de mean absolute relative deviations (MARD) hebben gebruikt. Reddy & Ranjan concluderen dat een neuraal netwerk beter is voor het inschatten van de hoeveelheid zonnestraling dan de traditionele regressiemodellen.

Conclusie toepassing van neurale netwerken algemeen

In dit hoofdstuk zijn meerdere toepassingen van neurale netwerken voor verschillende doeleinden uiteengezet. Uit elk van deze toepassingen is gebleken dat het gebruik van een neuraal netwerk betere resultaten oplevert, wanneer er vergeleken wordt met de voorheen toegepaste techniek. Hieruit blijkt dat een neuraal netwerk een groot potentieel heeft en mogelijk een toegevoegde waarde kan zijn wanneer het wordt toegepast voor het opzetten van een kostenraming.

Toepassingen van neurale netwerken binnen Witteveen + Bos

Binnen Witteveen + Bos wordt worden neurale netwerk modellen eveneens toegepast, echter niet voor het vaststellen van bouwkosten van project. Een voorbeeld waarop binnen Witteveen + Bos een neuraal netwerkmodel is toegepast, is voor het voorspellen van het Ecologische Kwaliteit Ratio. Dit is gedaan op basis van de karakteristieken van een waterlichaam, karakteristieken als bijvoorbeeld de stroomsnelheid, zoet of zoutwater, etc.

Binnen Witteveen + Bos is een speciaal type neuraal netwerk ontwikkeld, welke tevens de black box van niet beschikbare informatie van de training van het neurale netwerk probeert weg te nemen. In dit type neurale netwerk is direct af te lezen welke input variabelen een grote rol spelen voor het bepalen van de output en welke niet. Variabelen welke een kleine rol spelen in het vaststellen van de output kunnen hierdoor eenvoudiger buitengesloten worden. (Witteveen+Bos, 2015)

Bijlage 3.1.

- *Toelichting indirecte kostenposten*

Toelichting indirecte kostenposten

Hieronder is een toelichting gegeven over de indirecte kostenposten: eenmalige kosten, uitvoeringskosten, algemene kosten, winst & risico en bijdragen (RAW/FCO).

Eenmalige kosten

Eenmalige kosten zijn onderdeel van de indirecte kosten van een project. Eenmalige kosten zijn de kosten die een aannemer maakt, maar waarvoor geen posten zijn opgenomen in het bestek, of de opdrachtomschrijving (GWWkosten, 2007). Eenmalige kosten bestaan bijvoorbeeld uit het inrichten en het opruimen van het werkterrein, aan en afvoer van materieel, de keten en aanleggen van de bouw weg (GWWkosten, 2007). Eenmalige kosten worden meestal weergegeven als een percentage.

De hoogte van het bedrag voor eenmalige kosten is afhankelijk van de organisatie en uitvoeringswijze van de aannemer en houden verband met het werk maar nemen niet toe of af met de omvang daarvan (CROW, 2012). Doordat de eenmalige kosten verschillen per aannemer zullen de eenmalige kosten geen belangrijke rol spelen in het onderzoek.

Uitvoeringskosten

Het volgende onderdeel van de indirecte kosten zijn de uitvoeringskosten. Kosten welke niet aan elementen kunnen worden toegewezen vallen onder uitvoeringskosten of algemene bouwplaats kosten (ABK) (Jonge, 2002). Uitvoeringskosten zijn meestal tijdgebonden kosten en worden beïnvloed door de grootte, de duur en de aard van het werk (CROW, 2012). Voorbeelden van uitvoeringskosten zijn: projectmanagement, werkbegeleiding, verbruik opdrachtnemer, meetwerk, gereedschap en bewaking (CROW, 2010).

Tabel 1: Overzicht ABK voor bouw & utiliteitsbouw (Jonge, 2002).

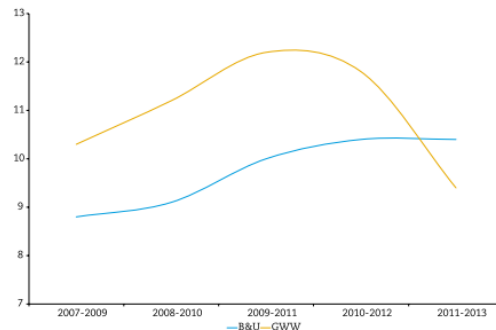
Projectgrootte (aanneemsom x € 1.000)	Alle projecten		Totaal alle projecten
	Nieuwbouw	Herstel, verbouw, (groot)onderhoud, renovatie	
	% ABK	% ABK	% ABK
250 - < 1.000	17,6	14,3	16,5
1.000 - < 5.000	13,5	12,7	13,3
5.000 - < 10.000	12,1	.	12,1 ²
Totaal	12,8	13,1	13,0

De hoogte van de uitvoeringskosten wordt in de meeste gevallen bepaald aan de hand van een percentage en is afhankelijk per aannemer (CROW, 2012). Doordat de hoogte van de uitvoeringskosten afhankelijk is per aannemer zullen deze kosten geen belangrijke rol spelen tijdens het onderzoek. In Tabel 1 is te zien dat de uitvoeringskosten in de bouw en utiliteitsbouw afnemen naarmate de projectgrootte toeneemt. Aangezien er verschillende parallellen gelegd kunnen worden tussen de bouw en infrastructurele sector kan worden aangenomen dat de hoogte van de uitvoeringskosten en de afhankelijkheid aan de projectgrootte nagenoeg gelijk zal zijn.

Algemene kosten

Een van de kostenposten welke onder de indirecte kosten vallen zijn algemene kosten. Onder algemene kosten vallen de kantoorkosten van het bouwbedrijf. Denk hier bijvoorbeeld aan de kosten voor het kantoor en loonkosten van het personeel (CROW, 2010). Deze kosten zijn over het algemeen op jaarbasis redelijk stabiel en worden over de projecten verdeeld. Algemene kosten zijn vaak gerelateerd aan de bedrijfsomzet en toegerekend aan de individuele werken (CROW, 2012).

Aangezien het percentage algemene kosten gebaseerd is op de bedrijfsomzet zal de inschrijver van een aanbesteding het percentage voor algemene kosten jaarlijks bijstellen. In Figuur 1 is de ontwikkeling van de algemene kosten in percentages over de laatste jaren te zien. Algemene kosten verschillen per opdrachtnemer en projectgrootte, daarom zal deze kostenpost geen belangrijke rol vervullen gedurende dit onderzoek.



Figuur 1: Ontwikkeling percentage algemene kosten over de jaren heen (Jansen, 2014).

Winst en risico

Een van de indirecte kostenposten van een project zijn winst en risico. De bedragen onder winst en risico zijn ter dekking van de aannemerswinst en het aannemersrisico binnen de bestekken en of contracten (CROW, 2010). Wanneer er een hoge concurrentie in de bouw- en infrastructurele sector is, en het aantal projecten schaars zijn. Dan kan het voorkomen dat de aannemers een negatief percentage op winst en risico berekenen om zo toch een project binnen te halen. In Figuur 2 is te zien, welke maatregelen bouwbedrijven nemen om de crisis te doorstaan. Een van die maatregelen is kosteneffectiviteit (Jansen, 2014). Anders gezegd de aannemers in de bouw- en infrastructurele sector welke een relatief hoog eigen vermogen hebben ten opzichte van andere aannemers in de bouw- en infrastructurele sector, kunnen makkelijker projecten binnenhalen waarbij het niet noodzakelijk is om winst op die projecten te draaien. Aangezien het percentage winst en risico kan verschillen per aannemer en afhankelijk is van het vraag en aanbod op de markt zal het percentage winst en risico geen belangrijke rol gaan vervullen tijdens dit onderzoek.



Figuur 2: Maatregelen van opdrachtnemers om de crisis te overleven (Jansen, 2014).

Bijdragen (RAW/FCO)

Een van de kostenposten welke onder de indirecte kosten valt zijn bijdragen (RAW/FCO) waarin FCO staat voor fonds collectief onderzoek. Deze post is opgenomen in de indirecte kosten om collectief onderzoek te stimuleren in de grond-, weg- en waterbouw (CROW, 1998). Dit fonds is destijds in leven geroepen omdat het collectieve onderzoek in deze sector tussen wal en schip dreigde te raken en omdat in de infrastructurele sector bij zowel overheden als bedrijfsleven sprake is van een groot aantal partijen met een zeer beperkte individuele onderzoekscapaciteit (CROW, 1998). Het percentage voor bijdragen aan het FCO bedraagt ongeveer 0,15%. Gezien dit lage percentage van deze kostenpost, zullen bijdragen (RAW/FCO) weinig invloed op het onderzoek hebben.

Bijlage 3.2.

- *Overzicht verschillende risicogroepen*

Overzicht verschillende risicogroepen

De verschillende risicogroepen zijn hieronder toegelicht, waarin ook enkele voorbeelden per risicogroep zijn gegeven. De belichte risicogroepen zijn: juridisch, organisatorisch, technisch, ruimtelijk, financieel, maatschappelijk en politiek.

Een van de gebieden waarin risico's kunnen vallen is het juridische aspect. Juridische risico's vallen in het kader van geen of onvoldoende inzicht in alle wettelijke vereisten en mogelijke wijzigingen hierin (CROW, 2010). Voorbeeld van een juridisch risico is onvoldoende inzicht in wettelijke vereisten met betrekking tot het milieu. Gevolg hiervan kan zijn dat er een claim wordt ingediend wegens schade aan de omgeving. Het aandeel van juridische risico's in de risicoreservering zal tijdens dit onderzoek niet belangrijk zijn, omdat dit per project kan verschillen.

Een ander vlak waarin risico's kunnen optreden zijn organisatorische risico's. Een voorbeeld van een organisatorisch risico is het ontbreken van goede communicatie binnen of tussen verschillende partijen (CROW, 2010). Dit kan tot gevolg hebben dat een project onnodig vertraging oploopt en dus ook onnodige kosten. Evenals voor juridische risico's is het aandeel van organisatorische risico's in de risicoreservering niet belangrijk.

Technische risico's maken deel uit van de benoemde risico's. Onder technische risico's vallen onder andere het verkeerd inschatten van technieken of bouwmethoden van een project (CROW, 2010). Gevolgen hierop kunnen bijvoorbeeld zijn dat een project vertraging oploopt of dat een project meer gaat kosten dan de aannemer vooraf heeft ingeschat. Het aandeel technische risico's in de risicoreservering zal tijdens dit onderzoek geen belangrijke rol spelen.

Ruimtelijke risico's zijn een onderdeel van de benoemde risico's. De ruimtelijke risico's houden vaak verband met de locatie waar het project uitgevoerd wordt. Een voorbeeld van een ruimtelijk risico is de aanwezigheid van kabels en leidingen (CROW, 2010). Gevolg van dit risico is dat er extra werkzaamheden moeten worden uitgevoerd om de kabels en leidingen te verleggen, wat mogelijk leidt tot hogere kosten en tijdsvertragingen. Evenals de voorgaande risico's is het aandeel ruimtelijke risico's in de risicoreservering niet belangrijk tijdens dit onderzoek.

Een ander gebied waarin risico's kunnen optreden is het financiële aspect. Voorbeeld van een financieel risico is dat prijsstijgingen van materialen groter zijn dan voorzien (CROW, 2010). Gevolg hiervan is dat de bouwkosten van het project hoger uit kunnen vallen. Ook het aandeel financiële risico's in de risicoreservering is niet belangrijk gedurende dit onderzoek, omdat dit per project kan verschillen.

Maatschappelijke risico's zijn tevens een onderdeel van benoemde risico's. Maatschappelijke risico's treden met name op tussen de partijen van de projectorganisatie en externe stakeholders, bijvoorbeeld omwonenden. Gevolg van een maatschappelijk risico kan zijn dat externe stakeholders extra schadevergoeding gaan vragen of de voortgang van het project proberen te ontregelen. Dit kan leiden tot extra kosten of tijdsvertragingen. Het aandeel maatschappelijke risico's in de risicoreservering zal niet belangrijk zijn voor dit onderzoek.

De laatste categorie van benoemde risico's zijn de politieke risico's. Een voorbeeld van een politiek risico is het ontbreken van overeenstemming met politieke instanties (CROW, 2010). Dit kan leiden tot tijdsvertragingen en mogelijk tot extra kosten. Het aandeel politieke risico's in de risicoreservering zal evenals de andere risico's niet belangrijk zijn tijdens dit onderzoek, omdat dit per project kan variëren.

Bijlage 3.3.

- *Overzicht wegfuncties*

Overzicht wegfuncties

De functie van de weg is een van de factoren welke een rol speelt in de totale projectkosten. In deze bijlage zijn verschillende weg typen en hun functies toegelicht, en hoe een functie van de weg invloed heeft op de kosten. Drie duidelijk te onderscheiden weg types welke in deze bijlage zijn toegelicht zijn de nationale stroomweg, regionale stroomweg en de gebiedsontsluitingsweg. De gekozen weg typen zijn in veel gevallen de basis of onderdeel van een groot (wegenbouw)project, in tegenstelling tot andere wegtypen.

De nationale stroomwegen behoren tot het wegennet van de hoogste orde. Deze wegen hebben als functie primaire verplaatsingen tussen landsdelen en bijbehorende economische en culturele centra (Rijkswaterstaat, 2005). Ze sluiten bovendien aan op de hoofdwegennetten van buurlanden, zodat ze ook voor internationale verplaatsingen gebruikt kunnen worden. Echter kunnen nationale stroomwegen ook gebruikt worden voor verplaatsingen over kortere afstanden tussen regio's of tussen verschillende stadsdelen. Ontsluiting van een nationale stroomweg vindt plaats via knooppunten met stroomwegen of ongelijkvloerse aansluitingen. (Rijkswaterstaat, 2005)

Regionale stroomwegen vervullen een wegcategorie onder de nationale stroomwegen. Regionale stroomwegen zorgen voor de verbinding tussen regio's en de bijbehorende centra. De belangrijkste functie van de regionale stroomwegen is het vullen van het net van nationale stroomwegen op relaties waar geen nationale stroomwegen zijn, of per definitie nodig zijn. En op die manier te zorgen voor een vullend wegennetwerk. Dit betekent dat op regionale stroomwegen in veel gevallen sprake is van lagere verkeersstromen en dat de gemiddelde af te leggen afstand op een stroomweg ook minder lang is vergeleken met een nationale stroomweg. Ontsluiting van een regionale stroomweg vindt plaats via knooppunten met stroomwegen of ongelijkvloerse aansluitingen. (CROW, 2002)

Een gebiedsontsluitingsweg vervult een andere functie ten opzichte van de bovengenoemde wegen. Gebiedsontsluitingswegen vormen het middenkader van het wegsysteem. Alleen op kruispunten vindt uitwisseling van verkeer plaats. Terwijl tussen de kruispunten het verkeer doorstroomt met een maximumsnelheid van 80 kilometer per uur. Een gebiedsontsluitingsweg zorgt voor een verbinding tussen twee verblijfsgebieden welke over het algemeen niet aangrenzend aan elkaar zijn. En een gebiedsontsluitingsweg kan de verbinding vormen tussen een verblijfsgebied en een stroomweg. Hieruit kan eveneens geconcludeerd worden dat een gebiedsontsluitingsweg een belangrijke schakel kan zijn ten aanzien van de toestroom en afstroom van verkeer van en naar een stroomweg. (CROW, 2002)

Nu de drie belangrijkste weg typen in kaart zijn gebracht, kan geconcludeerd worden dat het wegennet in Nederland hiërarchisch is gerangschikt. Deze hiërarchie is te herleiden naar de maximumsnelheden welke op deze wegen gevoerd mogen worden. Zo staat de nationale stroomweg als hoogst gecategoriseerd, en heeft deze ook de hoogste maximumsnelheid. Vervolgens is de regionale stroomweg ondergeschikt aan de nationale stroomweg en is de gebiedsontsluitingsweg weer ondergeschikt aan de regionale stroomweg. Er kan eveneens geconcludeerd worden dat deze weg typen elkaar aanvullen in het wegennet, om zo voor voldoende doorstroming te zorgen.

Bijlage 3.4.

- *Toelichting contractvormen*

Toelichting contractvormen

In deze bijlage worden de contractvormen toegelicht. Hierin is onderscheid gemaakt in traditionele, geïntegreerde en strategische contracten. Onder de traditionele contracten vallen het ontwerpcontract, engineeringcontract en het RAW bestek (Grontmij, n.b.). In het geval van traditionele contracten kan de opdrachtnemer enkel bieden op een gereed ontwerp, hierdoor zal de concurrentie voornamelijk op prijs plaatsvinden (Grit, 2006). Een nadeel van de traditionele contracten is dat de scheiding tussen ontwerp en uitvoering de innovatiemogelijkheden verminderen (Grit, 2006). In het geval van traditionele contracten is er sprake van een sterke band tussen de ingenieursbureaus en de opdrachtgever en worden ingenieursbureaus uitbetaald middels een raamcontract. Met dit type contractvorm neemt de opdrachtgever de meeste verantwoordelijkheden op zich. Er kan geconcludeerd worden dat traditionele contractvormen kunnen leiden tot lagere bouwkosten, echter hoeft dit niet het geval te zijn wanneer dit de innovatiemogelijkheden in de weg staat. Er kan daarom geconcludeerd worden dat een traditionele contractvorm met name een gunstige werking kan hebben op een minder complex project, aangezien hier over het algemeen minder innovatiemogelijkheden liggen. Traditionele contractvormen worden meegenomen in dit onderzoek aangezien de kleinere projecten volgens deze contractvorm worden aanbesteed.

Onder de geïntegreerde contracten vallen het design and construct (D&C), engineering and construct (E&C), design, construct and maintain (DBM), prestatiecontract en als laatste turnkey contracting (Grontmij, n.b.). De achterliggende gedachte van geïntegreerde contractvormen is dat, door het integreren van functies en disciplines, de kwaliteit van het project en het resultaat wordt verhoogd (Grit, 2006). De kwaliteit wordt verhoogd omdat er in het beginstadium van het ontwerpproces sprake is van input uit meerdere disciplines. Met dit type contractvormen tracht de opdrachtgever de opdrachtnemer uit te lokken tot innovatie en inventiviteit (Grit, 2006). Dit type contracten zijn met name gewenst wanneer de complexiteit van een project toeneemt en de opdrachtgever niet de kennis in huis heeft (Grit, 2006). Er kan dus geconcludeerd worden dat naarmate de complexiteit van een project toeneemt, geïntegreerde contractvormen kunnen leiden tot lagere bouwkosten in vergelijking met de traditionele contractvormen. Tevens zijn er ook extra geïntegreerde contracten als bijvoorbeeld het DBFMO (Design Build Finance Maintain and Operate) hierbij is de opdrachtnemer eveneens verantwoordelijk om inkomsten te genereren uit een gerealiseerd project. De extra geïntegreerde contracten spelen geen rol in dit onderzoek aangezien in Nederland geen wegenbouwprojecten gerealiseerd zijn waarbij de opdrachtnemer geld vraagt om er gebruik van te maken. Aangezien levensduurkosten buiten beschouwing worden gelaten in dit onderzoek worden enkel E&C en D&C contracten meegenomen in dit onderzoek.

In een bouwteam overeenkomst sluit de opdrachtgever een overeenkomst met een adviseur en opdrachtnemer (Grontmij, n.b.). In dit type contractvorm hebben de adviseur en de opdrachtnemer een gedeelde verantwoordelijkheid om te komen tot een realisatiecontract, waarbij de intentie is dat de opdrachtnemer de uitvoering voor zijn rekening neemt (Grontmij, n.b.). Het bouwteam is een samenwerkingsverband tijdens de ontwerpfase van een bouwproces (Lagemaat, 2015). Kenmerkend is dat de opdrachtgever met de opdrachtnemer zitting heeft in het bouwteam (Lagemaat, 2015). Het doel van een bouwteam is het komen tot een ontwerp waarbij rekening is gehouden met de gevolgen van het ontwerp in de uitvoeringsfase (Lagemaat, 2015). Er kan geconcludeerd worden dat dit type contractvorm tussen de traditionele contracten en de geïntegreerde contracten valt. Er kan ook geconcludeerd worden dat dit type contractvorm een positief effect heeft op de optimalisatie van het ontwerp naar de uitvoeringsfase vergeleken met een traditioneel contract. Deze optimalisatie kan mogelijk leiden tot lagere bouwkosten en/of een hogere kwaliteit van het product, echter wordt een bouwteam overeenkomst weinig toegepast in de wegenbouw en is deze contractvorm daarom niet belangrijk in dit onderzoek.

Onder strategische contracten vallen de volgende contractvormen: Alliantie, co-makership en een PPS-constructie (Grontmij, n.b.). Bij dit type contractvorm vervult de opdrachtgever samen met een marktpartij een of meer taken van het bouwproces (Beek, et al., 2010). Bij een alliantie dragen zowel de opdrachtgever als de opdrachtnemer gezamenlijk het risico en is er geen afbakening van taken en verantwoordelijkheden (Beek, et al., 2010). Evenals bij de extra geïntegreerde contracten speelt in dit geval de samenwerking op lange termijn een belangrijke rol, en zal de hoogte van de bouwkosten niet doorslaggevend zijn. In een PPS-constructie is vaak het onderhoud van een weg opgenomen, aangezien in het rapport is geconcludeerd dat levensduurkosten in dit onderzoek niet worden meegenomen worden PPS projecten buiten beschouwing gelaten,

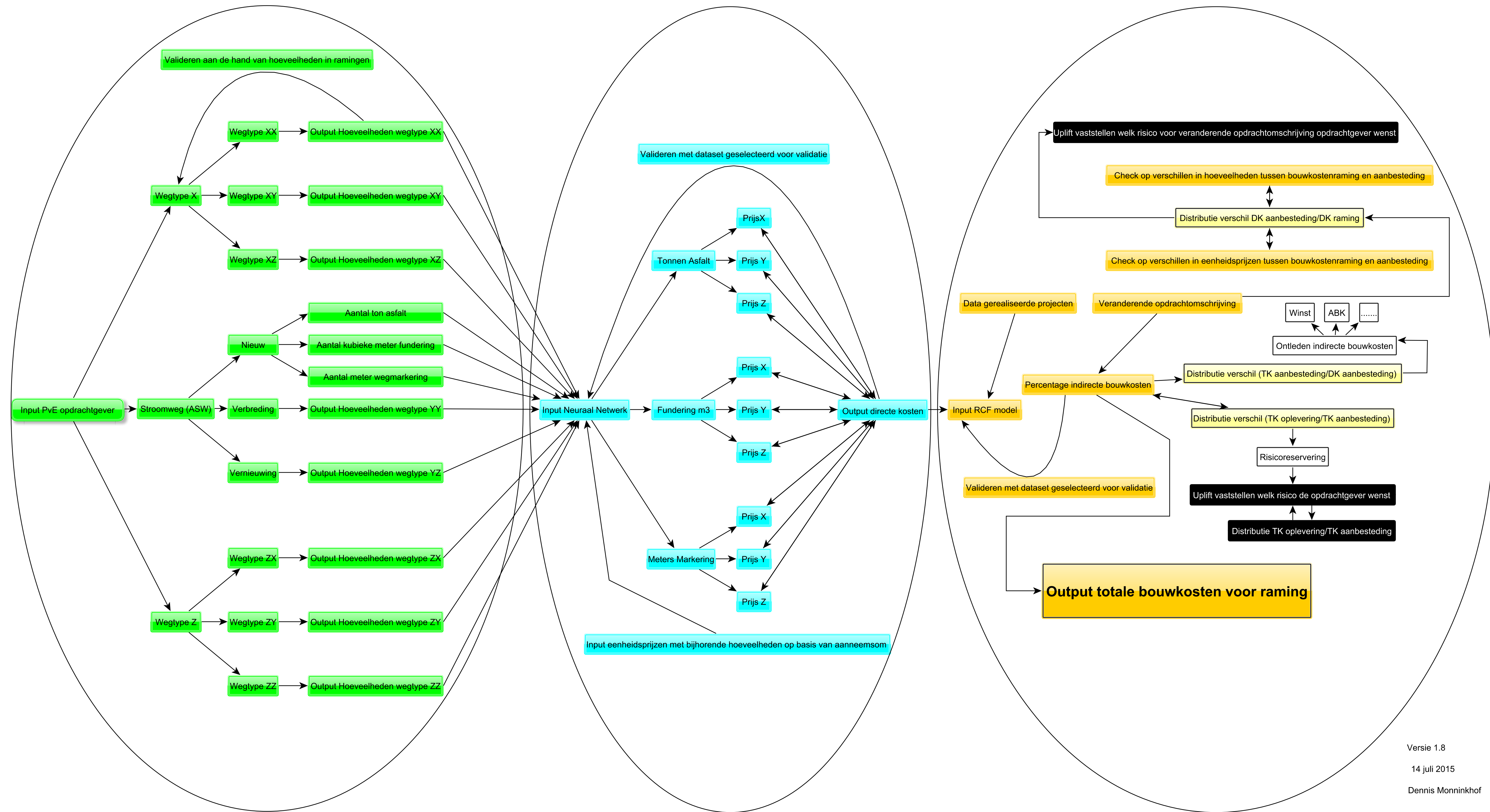
Bijlage 4.1.

- *Totaaloverzicht model*

Hoeveelhedenmodel

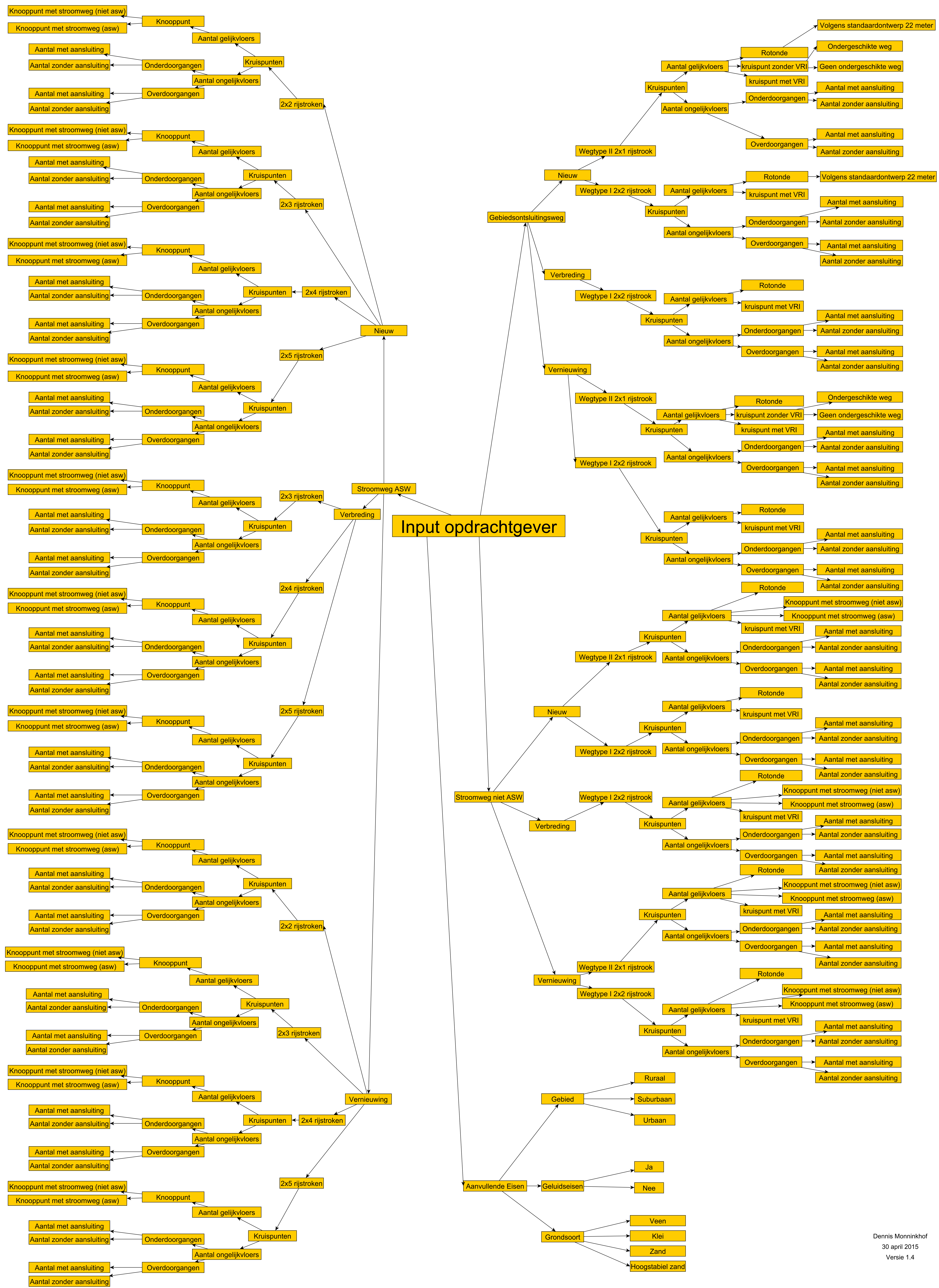
Neurale netwerk kostenmodel

RCF Model



Bijlage 4.2.

- *Functieboom wegtypen*



Bijlage 4.3.

- *Ontwerpelementen per ontwerpsnelheid*

Ontwerpelementen per ontwerpsnelheid

Ontwerpelementen van links naar rechts

Ontwerpsnelheid	Ontwerpvoertuig	Functie ontwerpelement	Funtie ontwerpelement links	Functie ontwerpelement rechts	Breedte ontwerpelement (m)
120	personenauto	Droogleggen weglichaam	Geen	Onderhoudsstrook	6
120	personenauto	Onderhoudsstrook	Droogleggen weglichaam	Talud	4
120	personenauto	Talud	Onderhoudsstrook	Keren (mens, vee en voertuig)	10
120	personenauto	Keren (mens, vee en voertuig)	Talud	Obstakelvrije zone	0
120	personenauto	Obstakelvrije zone	Keren (mens, vee en voertuig)	Vluchten/Berging	13
120	personenauto	Vluchten/Berging	Obstakelvrije zone	Gelegenheid voor koerscorrecties	3,15
120	personenauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Vluchten/Berging	Begrenzing rijbaan	0,6
120	personenauto	Begrenzing rijbaan	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijden	0,2
120	personenauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	nvt
120	personenauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijstrook	3,25
120	personenauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijstrook	3,35
120	personenauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijbaan	3,25
120	personenauto	Begrenzing rijstrook	Rijden	Rijden	0,15
120	personenauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Gelegenheid voor koerscorrecties	0,2
120	personenauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Rijrichtingscheiding	0,2
120	personenauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Begrenzing rijbaan	Rijrichtingscheiding	0,6
120	personenauto	Rijrichtingscheiding	Gelegenheid voor koerscorrecties	Gelegenheid voor koerscorrecties	25
120	personenauto	Rijrichtingscheiding	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	nvt
120	personenauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijrichtingscheiding	Begrenzing rijbaan	0,6
120	personenauto	Begrenzing rijbaan	Rijrichtingscheiding	Rijden	0,2
120	personenauto	Begrenzing rijbaan	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijden	0,2
120	personenauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	nvt
120	personenauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijstrook	3,25
120	personenauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijstrook	3,35
120	personenauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijbaan	3,25
120	personenauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Gelegenheid voor koerscorrecties	0,2
120	personenauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Begrenzing rijbaan	Vluchten/Berging	0,6
120	personenauto	Vluchten/Berging	Gelegenheid voor koerscorrecties	Obstakelvrije zone	3,15
120	personenauto	Obstakelvrije zone	Vluchten/Berging	Keren (mens, vee en voertuig)	13
120	personenauto	Keren (mens, vee en voertuig)	Obstakelvrije zone	Talud	0
120	personenauto	Talud	Keren (mens, vee en voertuig)	Onderhoudsstrook	10
120	personenauto	Onderhoudsstrook	Talud	Droogleggen weglichaam	4
120	personenauto	Droogleggen weglichaam	Onderhoudsstrook	Geen	6

Ontwerpelementen per ontwerpsnelheid

Ontwerpelementen van links naar rechts

Ontwerpsnelheid	Ontwerpvoertuig	Functie ontwerpelement	Functie ontwerpelement links	Functie ontwerpelement rechts	Breedte ontwerpelement (m)
120	vrachtauto	Droogleggen weglichaam	Geen	Onderhoudsstrook	6
120	vrachtauto	Onderhoudsstrook	Droogleggen weglichaam	Talud	4
120	vrachtauto	Talud	Onderhoudsstrook	Keren (mens, vee en voertuig)	10
120	vrachtauto	Keren (mens, vee en voertuig)	Talud	Obstakelvrije zone	0
120	vrachtauto	Obstakelvrije zone	Keren (mens, vee en voertuig)	Vluchten/Berging	13
120	vrachtauto	Vluchten/Berging	Obstakelvrije zone	Gelegenheid voor koerscorrecties	3,15
120	vrachtauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Vluchten/Berging	Begrenzing rijbaan	0,3
120	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijden	0,2
120	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	nvt
120	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijstrook	3,3
120	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijstrook	3,35
120	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijbaan	3,3
120	vrachtauto	Begrenzing rijstrook	Rijden	Rijden	0,15
120	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Gelegenheid voor koerscorrecties	0,2
120	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Rijrichtingscheiding	0,2
120	vrachtauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Begrenzing rijbaan	Rijrichtingscheiding	0,3
120	vrachtauto	Rijrichtingscheiding	Gelegenheid voor koerscorrecties	Gelegenheid voor koerscorrecties	25
120	vrachtauto	Rijrichtingscheiding	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	nvt
120	vrachtauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijrichtingscheiding	Begrenzing rijbaan	0,3
120	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Rijrichtingscheiding	Rijden	0,2
120	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijden	0,2
120	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	nvt
120	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijstrook	3,3
120	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijstrook	3,35
120	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijbaan	3,3
120	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Gelegenheid voor koerscorrecties	0,2
120	vrachtauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Begrenzing rijbaan	Vluchten/Berging	0,3
120	vrachtauto	Vluchten/Berging	Gelegenheid voor koerscorrecties	Obstakelvrije zone	3,15
120	vrachtauto	Obstakelvrije zone	Vluchten/Berging	Keren (mens, vee en voertuig)	13
120	vrachtauto	Keren (mens, vee en voertuig)	Obstakelvrije zone	Talud	0
120	vrachtauto	Talud	Keren (mens, vee en voertuig)	Onderhoudsstrook	10
120	vrachtauto	Onderhoudsstrook	Talud	Droogleggen weglichaam	4
120	vrachtauto	Droogleggen weglichaam	Onderhoudsstrook	Geen	6

Ontwerpelementen per ontwerpsnelheid

Ontwerpelementen van links naar rechts

Ontwerpsnelheid	Ontwerpvoertuig	Functie ontwerpelement	Funtie ontwerpelement links	Functie ontwerpelement rechts	Breedte ontwerpelement (m)
100	personenauto	Droogleggen weglichaam	Geen	Onderhoudsstrook	6
100	personenauto	Onderhoudsstrook	Droogleggen weglichaam	Talud	4
100	personenauto	Talud	Onderhoudsstrook	Keren (mens, vee en voertuig)	10
100	personenauto	Keren (mens,vee en voertuig)	Talud	Obstakelvrije zone	0
100	personenauto	Obstakelvrije zone	Keren (mens,vee en voertuig)	Vluchten/Berging	10
100	personenauto	Vluchten/Berging	Obstakelvrije zone	Gelegenheid voor koerscorrecties	3,15
100	personenauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Vluchten/Berging	Begrenzing rijbaan	0,6
100	personenauto	Begrenzing rijbaan	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijden	0,2
100	personenauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	3,1
100	personenauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijstrook	3,05
100	personenauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijstrook	3,1
100	personenauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijbaan	3,05
100	personenauto	Begrenzing rijstrook	Rijden	Rijden	0,15
100	personenauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Gelegenheid voor koerscorrecties	0,2
100	personenauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Rijrichtingscheiding	0,2
100	personenauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Begrenzing rijbaan	Rijrichtingscheiding	0,6
100	personenauto	Rijrichtingscheiding	Gelegenheid voor koerscorrecties	Gelegenheid voor koerscorrecties	2,8
100	personenauto	Rijrichtingscheiding	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	nvt
100	personenauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijrichtingscheiding	Begrenzing rijbaan	
100	personenauto	Begrenzing rijbaan	Rijrichtingscheiding	Rijden	
100	personenauto	Begrenzing rijbaan	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijden	
100	personenauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	
100	personenauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijstrook	
100	personenauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijstrook	
100	personenauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijbaan	
100	personenauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Gelegenheid voor koerscorrecties	
100	personenauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Begrenzing rijbaan	Vluchten/Berging	
100	personenauto	Vluchten/Berging	Gelegenheid voor koerscorrecties	Obstakelvrije zone	3,15
100	personenauto	Obstakelvrije zone	Vluchten/Berging	Keren (mens, vee en voertuig)	10
100	personenauto	Keren (mens,vee en voertuig)	Obstakelvrije zone	Talud	0
100	personenauto	Talud	Keren (mens,vee en voertuig)	Onderhoudsstrook	10
100	personenauto	Onderhoudsstrook	Talud	Droogleggen weglichaam	4
100	personenauto	Droogleggen weglichaam	Onderhoudsstrook	Geen	6

Ontwerpelementen per ontwerpsnelheid

Ontwerpelementen van links naar rechts

Ontwerpsnelheid	Ontwerpvoertuig	Functie ontwerpelement	Funtie ontwerpelement links	Functie ontwerpelement rechts	Breedte ontwerpelement (m)
100	vrachtauto	Droogleggen weglichaam	Geen	Onderhoudsstrook	6
100	vrachtauto	Onderhoudsstrook	Droogleggen weglichaam	Talud	4
100	vrachtauto	Talud	Onderhoudsstrook	Keren (mens, vee en voertuig)	10
100	vrachtauto	Keren (mens,vee en voertuig)	Talud	Obstakelvrije zone	0
100	vrachtauto	Obstakelvrije zone	Keren (mens,vee en voertuig)	Vluchten/Berging	10
100	vrachtauto	Vluchten/Berging	Obstakelvrije zone	Gelegenheid voor koerscorrecties	3,15
100	vrachtauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Vluchten/Berging	Begrenzing rijbaan	0,3
100	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijden	0,2
100	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	nvt
100	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijstrook	3,3
100	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijstrook	3,35
100	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijbaan	3,3
100	vrachtauto	Begrenzing rijstrook	Rijden	Rijden	0,15
100	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Gelegenheid voor koerscorrecties	0,2
100	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Rijrichtingscheiding	0,2
100	vrachtauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Begrenzing rijbaan	Rijrichtingscheiding	0,3
100	vrachtauto	Rijrichtingscheiding	Gelegenheid voor koerscorrecties	Gelegenheid voor koerscorrecties	2,8
100	vrachtauto	Rijrichtingscheiding	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	nvt
100	vrachtauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijrichtingscheiding	Begrenzing rijbaan	0,3
100	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Rijrichtingscheiding	Rijden	0,2
100	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijden	0,2
100	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	nvt
100	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijstrook	3,3
100	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijstrook	3,35
100	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijbaan	3,3
100	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Gelegenheid voor koerscorrecties	0,2
100	vrachtauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Begrenzing rijbaan	Vluchten/Berging	0,3
100	vrachtauto	Vluchten/Berging	Gelegenheid voor koerscorrecties	Obstakelvrije zone	3,15
100	vrachtauto	Obstakelvrije zone	Vluchten/Berging	Keren (mens, vee en voertuig)	10
100	vrachtauto	Keren (mens,vee en voertuig)	Obstakelvrije zone	Talud	0
100	vrachtauto	Talud	Keren (mens,vee en voertuig)	Onderhoudsstrook	10
100	vrachtauto	Onderhoudsstrook	Talud	Droogleggen weglichaam	4
100	vrachtauto	Droogleggen weglichaam	Onderhoudsstrook	Geen	6

Ontwerpelementen per ontwerpsnelheid

Ontwerpelementen van links naar rechts

Ontwerpsnelheid	Ontwerpvoertuig	Functie ontwerpelement	Functie ontwerpelement links	Functie ontwerpelement rechts	Breedte ontwerpelement (m)
90	personenauto	Droogleggen weglichaam	Geen	Onderhoudsstrook	6
90	personenauto	Onderhoudsstrook	Droogleggen weglichaam	Talud	4
90	personenauto	Talud	Onderhoudsstrook	Keren (mens, vee en voertuig)	10
90	personenauto	Keren (mens, vee en voertuig)	Talud	Obstakelvrije zone	0
90	personenauto	Obstakelvrije zone	Keren (mens, vee en voertuig)	Vluchten/Berging	10
90	personenauto	Vluchten/Berging	Obstakelvrije zone	Gelegenheid voor koerscorrecties	2,45
90	personenauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Vluchten/Berging	Begrenzing rijbaan	0,6
90	personenauto	Begrenzing rijbaan	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijden	0,2
90	personenauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	3
90	personenauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijstrook	3,25
90	personenauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijstrook	3,25
90	personenauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijbaan	3,25
90	personenauto	Begrenzing rijstrook	Rijden	Rijden	0,15
90	personenauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Gelegenheid voor koerscorrecties	0,2
90	personenauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Rijrichtingscheiding	0,2
90	personenauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Begrenzing rijbaan	Rijrichtingscheiding	0,6
90	personenauto	Rijrichtingscheiding	Gelegenheid voor koerscorrecties	Gelegenheid voor koerscorrecties	2,8
90	personenauto	Rijrichtingscheiding	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	2,8
90	personenauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijrichtingscheiding	Begrenzing rijbaan	0,6
90	personenauto	Begrenzing rijbaan	Rijrichtingscheiding	Rijden	0,2
90	personenauto	Begrenzing rijbaan	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijden	0,2
90	personenauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	3
90	personenauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijstrook	3,25
90	personenauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijstrook	3,25
90	personenauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijbaan	3,25
90	personenauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Gelegenheid voor koerscorrecties	0,2
90	personenauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Begrenzing rijbaan	Vluchten/Berging	0,6
90	personenauto	Vluchten/Berging	Gelegenheid voor koerscorrecties	Obstakelvrije zone	2,45
90	personenauto	Obstakelvrije zone	Vluchten/Berging	Keren (mens, vee en voertuig)	10
90	personenauto	Keren (mens, vee en voertuig)	Obstakelvrije zone	Talud	0
90	personenauto	Talud	Keren (mens, vee en voertuig)	Onderhoudsstrook	10
90	personenauto	Onderhoudsstrook	Talud	Droogleggen weglichaam	4
90	personenauto	Droogleggen weglichaam	Onderhoudsstrook	Geen	6

Ontwerpelementen per ontwerpsnelheid

Ontwerpelementen van links naar rechts

Ontwerpsnelheid	Ontwerpvoertuig	Functie ontwerpelement	Functie ontwerpelement links	Functie ontwerpelement rechts	Breedte ontwerpelement (m)
90	vrachtauto	Droogleggen weglichaam	Geen	Onderhoudsstrook	6
90	vrachtauto	Onderhoudsstrook	Droogleggen weglichaam	Talud	4
90	vrachtauto	Talud	Onderhoudsstrook	Keren (mens, vee en voertuig)	10
90	vrachtauto	Keren (mens, vee en voertuig)	Talud	Obstakelvrije zone	0
90	vrachtauto	Obstakelvrije zone	Keren (mens, vee en voertuig)	Vluchten/Berging	10
90	vrachtauto	Vluchten/Berging	Obstakelvrije zone	Gelegenheid voor koerscorrecties	2,45
90	vrachtauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Vluchten/Berging	Begrenzing rijbaan	0,3
90	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijden	0,15
90	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	3
90	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijstrook	3,1
90	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijstrook	3,1
90	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijbaan	3,1
90	vrachtauto	Begrenzing rijstrook	Rijden	Rijden	0,15
90	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Gelegenheid voor koerscorrecties	0,2
90	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Rijrichtingscheiding	0,2
90	vrachtauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Begrenzing rijbaan	Rijrichtingscheiding	0,3
90	vrachtauto	Rijrichtingscheiding	Gelegenheid voor koerscorrecties	Gelegenheid voor koerscorrecties	2,8
90	vrachtauto	Rijrichtingscheiding	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	2,8
90	vrachtauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijrichtingscheiding	Begrenzing rijbaan	0,3
90	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Rijrichtingscheiding	Rijden	0,15
90	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijden	0,15
90	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	3
90	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijstrook	3,1
90	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijstrook	3,1
90	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijbaan	3,1
90	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Gelegenheid voor koerscorrecties	0,15
90	vrachtauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Begrenzing rijbaan	Vluchten/Berging	0,3
90	vrachtauto	Vluchten/Berging	Gelegenheid voor koerscorrecties	Obstakelvrije zone	2,45
90	vrachtauto	Obstakelvrije zone	Vluchten/Berging	Keren (mens, vee en voertuig)	10
90	vrachtauto	Keren (mens, vee en voertuig)	Obstakelvrije zone	Talud	0
90	vrachtauto	Talud	Keren (mens, vee en voertuig)	Onderhoudsstrook	10
90	vrachtauto	Onderhoudsstrook	Talud	Droogleggen weglichaam	4
90	vrachtauto	Droogleggen weglichaam	Onderhoudsstrook	Geen	6

Ontwerpelementen per ontwerpsnelheid

Ontwerpelementen van links naar rechts

Ontwerpsnelheid	Ontwerpvoertuig	Functie ontwerpelement	Functie ontwerpelement links	Functie ontwerpelement rechts	Breedte ontwerpelement (m)
80	personenauto	Droogleggen weglichaam	Geen	Onderhoudsstrook	6
80	personenauto	Onderhoudsstrook	Droogleggen weglichaam	Talud	4
80	personenauto	Talud	Onderhoudsstrook	Keren (mens, vee en voertuig)	10
80	personenauto	Keren (mens, vee en voertuig)	Talud	Obstakelvrije zone	0
80	personenauto	Obstakelvrije zone	Keren (mens, vee en voertuig)	Vluchten/Berging	6
80	personenauto	Vluchten/Berging	Obstakelvrije zone	Gelegenheid voor koerscorrecties	2,4
80	personenauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Vluchten/Berging	Begrenzing rijbaan	0,3
80	personenauto	Begrenzing rijbaan	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijden	0,15
80	personenauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	2,75
80	personenauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijstrook	3,1
80	personenauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijstrook	3,1
80	personenauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijbaan	3,1
80	personenauto	Begrenzing rijstrook	Rijden	Rijden	0,15
80	personenauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Gelegenheid voor koerscorrecties	0,15
80	personenauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Rijrichtingscheiding	0,15
80	personenauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Begrenzing rijbaan	Rijrichtingscheiding	0,3
80	personenauto	Rijrichtingscheiding	Gelegenheid voor koerscorrecties	Gelegenheid voor koerscorrecties	3,9
80	personenauto	Rijrichtingscheiding	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	0,8
80	personenauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijrichtingscheiding	Begrenzing rijbaan	0,3
80	personenauto	Begrenzing rijbaan	Rijrichtingscheiding	Rijden	0,15
80	personenauto	Begrenzing rijbaan	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijden	0,15
80	personenauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	2,75
80	personenauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijstrook	3,1
80	personenauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijstrook	3,1
80	personenauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijbaan	3,1
80	personenauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Gelegenheid voor koerscorrecties	0,15
80	personenauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Begrenzing rijbaan	Vluchten/Berging	0,3
80	personenauto	Vluchten/Berging	Gelegenheid voor koerscorrecties	Obstakelvrije zone	2,4
80	personenauto	Obstakelvrije zone	Vluchten/Berging	Keren (mens, vee en voertuig)	6
80	personenauto	Keren (mens, vee en voertuig)	Obstakelvrije zone	Talud	0
80	personenauto	Talud	Keren (mens, vee en voertuig)	Onderhoudsstrook	10
80	personenauto	Onderhoudsstrook	Talud	Droogleggen weglichaam	4
80	personenauto	Droogleggen weglichaam	Onderhoudsstrook	Geen	6

Ontwerpelementen per ontwerpsnelheid

Ontwerpelementen van links naar rechts

Ontwerpsnelheid	Ontwerpvoertuig	Functie ontwerpelement	Functie ontwerpelement links	Functie ontwerpelement rechts	Breedte ontwerpelement (m)
80	vrachtauto	Droogleggen weglichaam	Geen	Onderhoudsstrook	6
80	vrachtauto	Onderhoudsstrook	Droogleggen weglichaam	Talud	4
80	vrachtauto	Talud	Onderhoudsstrook	Keren (mens, vee en voertuig)	10
80	vrachtauto	Keren (mens, vee en voertuig)	Talud	Obstakelvrije zone	0
80	vrachtauto	Obstakelvrije zone	Keren (mens, vee en voertuig)	Vluchten/Berging	6
80	vrachtauto	Vluchten/Berging	Obstakelvrije zone	Gelegenheid voor koerscorrecties	2,4
80	vrachtauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Vluchten/Berging	Begrenzing rijbaan	0,3
80	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijden	0,15
80	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	2,75
80	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijstrook	3,1
80	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijstrook	3,1
80	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijbaan	3,1
80	vrachtauto	Begrenzing rijstrook	Rijden	Rijden	0,15
80	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Gelegenheid voor koerscorrecties	0,15
80	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Rijrichtingscheiding	0,15
80	vrachtauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Begrenzing rijbaan	Rijrichtingscheiding	0,3
80	vrachtauto	Rijrichtingscheiding	Gelegenheid voor koerscorrecties	Gelegenheid voor koerscorrecties	3,9
80	vrachtauto	Rijrichtingscheiding	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	0,8
80	vrachtauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijrichtingscheiding	Begrenzing rijbaan	0,3
80	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Rijrichtingscheiding	Rijden	0,15
80	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Gelegenheid voor koerscorrecties	Rijden	0,15
80	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijbaan	2,75
80	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijbaan	Begrenzing rijstrook	3,1
80	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijstrook	3,1
80	vrachtauto	Rijden	Begrenzing rijstrook	Begrenzing rijbaan	3,1
80	vrachtauto	Begrenzing rijbaan	Rijden	Gelegenheid voor koerscorrecties	0,15
80	vrachtauto	Gelegenheid voor koerscorrecties	Begrenzing rijbaan	Vluchten/Berging	0,3
80	vrachtauto	Vluchten/Berging	Gelegenheid voor koerscorrecties	Obstakelvrije zone	2,4
80	vrachtauto	Obstakelvrije zone	Vluchten/Berging	Keren (mens, vee en voertuig)	6
80	vrachtauto	Keren (mens, vee en voertuig)	Obstakelvrije zone	Talud	0
80	vrachtauto	Talud	Keren (mens, vee en voertuig)	Onderhoudsstrook	10
80	vrachtauto	Onderhoudsstrook	Talud	Droogleggen weglichaam	4
80	vrachtauto	Droogleggen weglichaam	Onderhoudsstrook	Geen	6

Bijlage 5.1.

- *Toetsingen op significantie voor analyse tussen projectfasen*

Toetsingen op significantie voor analyse tussen projectfasen

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	33	-11,9	16,4	2,9
2	22	10,5	43,3	9,2

Difference = μ (1) - μ (2)
Estimate for difference: -22,40
95% CI for difference: (-42,30; -2,50)
T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = -2,32 P-Value = 0,029 DF = 25

Figuur 1: Toets op significantie Tabel 5.6: Analyse verschil oplevering ten opzichte van raming.

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	33	-21,0	11,1	1,9
2	22	-24,7	16,7	3,6

Difference = μ (1) - μ (2)
Estimate for difference: 3,70
95% CI for difference: (-4,54; 11,94)
T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = 0,91 P-Value = 0,368 DF = 33

Figuur 2: Toets op significantie Tabel 5.7: Analyse verschil aanbesteding ten opzichte van raming.

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	33	11,8	18,4	3,2
2	22	46,8	47,8	10

Difference = μ (1) - μ (2)
Estimate for difference: -35,0
95% CI for difference: (-57,0; -13,0)
T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = -3,28 P-Value = 0,003 DF = 25

Figuur 3: Toets op significantie Tabel 5.8: Analyse verschil oplevering ten opzichte van raming.

Bijlage 5.2.

- *Toetsingen op significantie voor analyse in projectfasen*

Toetsingen op significantie voor analyse in projectfasen

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	20	-8,2	13,3	3,0
2	11	-17,3	19,7	5,9

Difference = μ (1) - μ (2)

Estimate for difference: 9,03

95% CI for difference: (-5,15; 23,21)

T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = 1,36 P-Value = 0,195 DF = 15

Figuur 1: Toets op significantie Tabel 5.9: Analyse verschil directe bouwkosten aanbesteding ten opzichte van raming.

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	20	16,59	6,38	1,4
2	11	24,08	4,04	1,2

Difference = μ (1) - μ (2)

Estimate for difference: -7,49

95% CI for difference: (-11,33; -3,65)

T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = -3,99 P-Value = 0,000 DF = 28

Figuur 2: Toets op significantie Tabel 5.10: Analyse percentage indirecte bouwkosten raming.

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	20	4,27	8,53	1,9
2	11	18,5	14,8	4,4

Difference = μ (1) - μ (2)

Estimate for difference: -14,20

95% CI for difference: (-24,65; -3,75)

T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = -2,93 P-Value = 0,012 DF = 13

Figuur 3: Toets op significantie Tabel 5.11: Analyse percentage indirecte bouwkosten aanbesteding.

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	20	-12,3	10,6	2,4
2	11	-5,6	14,7	4,4

Difference = μ (1) - μ (2)

Estimate for difference: -6,71

95% CI for difference: (-17,41; 3,99)

T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = -1,34 P-Value = 0,201 DF = 15

Figuur 4: Toets op significantie Tabel 5.12: Analyse verschil indirecte bouwkosten aanbesteding ten opzichte van raming.

Bijlage 6.1.

- *Validatie hoeveelhedenmodel*

Validatie hoeveelhedenmodel

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	5	-0,50	4,76	2,1
2	100	0,00	5,00	0,50

Difference = μ (1) - μ (2)
Estimate for difference: -0,50
95% CI for difference: (-6,57; 5,57)
T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = -0,23 P-Value = 0,830 DF = 4

Figuur 1: Validatie hoeveelhedenmodel gelijke hoeveelheden.

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	5	-20,93	9,72	4,3
2	100	-15,0	20,0	2,0

Difference = μ (1) - μ (2)
Estimate for difference: -5,93
95% CI for difference: (-18,23; 6,37)
T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = -1,24 P-Value = 0,270 DF = 5

Figuur 2: Validatie hoeveelhedenmodel niet gelijke hoeveelheden met 'ntd'.

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	5	-17,0	10,2	4,6
2	100	-10,0	10,0	1,0

Difference = μ (1) - μ (2)
Estimate for difference: -6,96
95% CI for difference: (-19,94; 6,02)
T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = -1,49 P-Value = 0,211 DF = 4

Figuur 3: Validatie hoeveelhedenmodel niet gelijke hoeveelheden zonder 'ntd'

Bijlage 6.2.

- *Grafische weergave neurale netwerk combinaties*

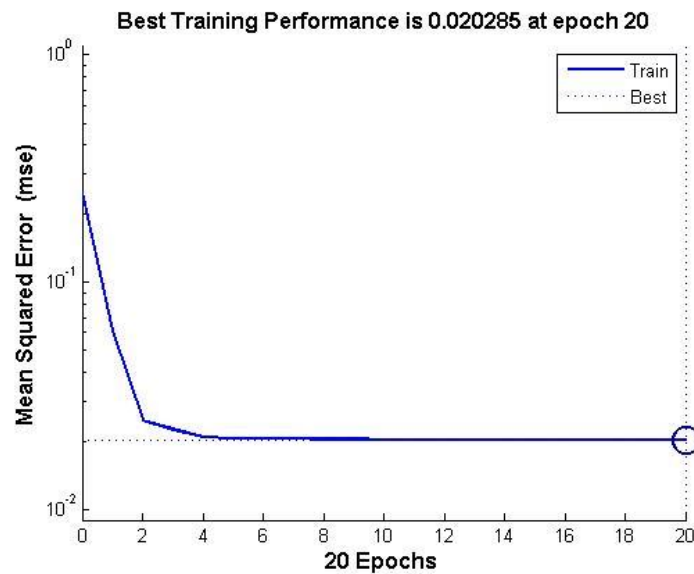
Grafische weergave neurale netwerk combinaties

De grafische weergave van de neurale netwerk combinaties is opgedeeld in de activiteiten asfalt aanbrengen en asfalt verwijderen.

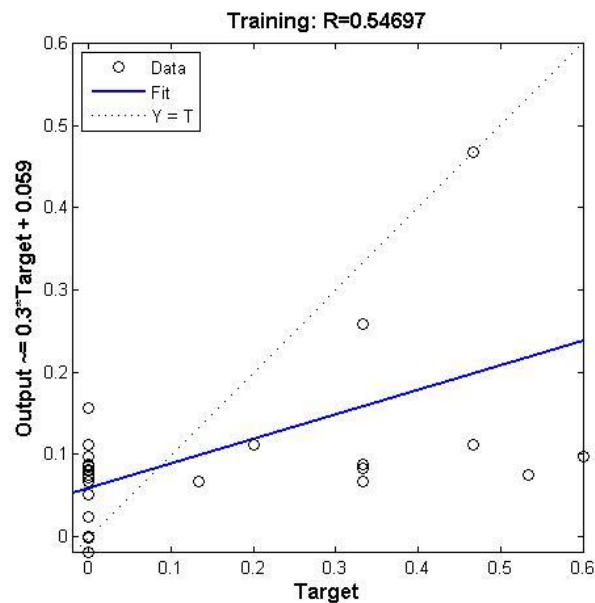
Aanbrengen asfalt

Voor het aanbrengen van asfalt zijn 3 combinaties gemaakt, waarbij van elke combinatie de performance, regressie en training is weergegeven.

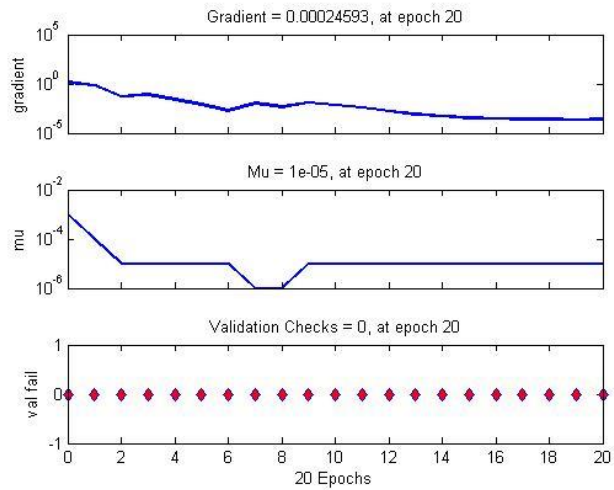
Combinatie 1: Input 1 vs Output



Figuur 1: Performance combinatie 1.

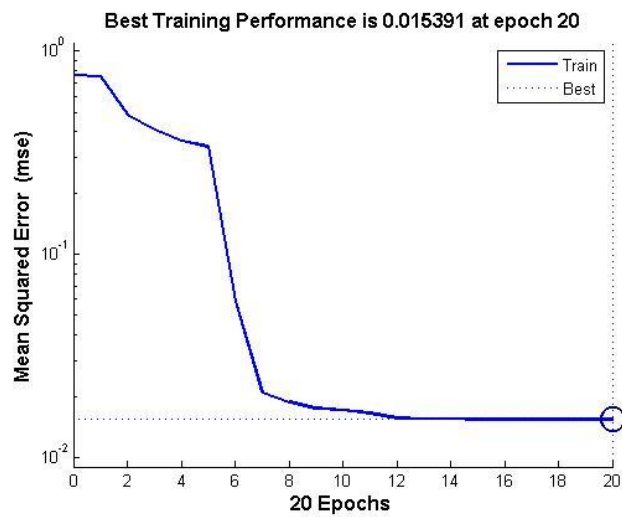


Figuur 2: Regressie combinatie 1.

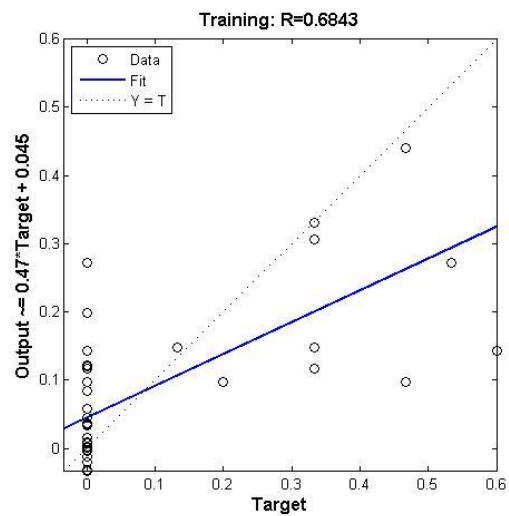


Figuur 3: Training combinatie 1.

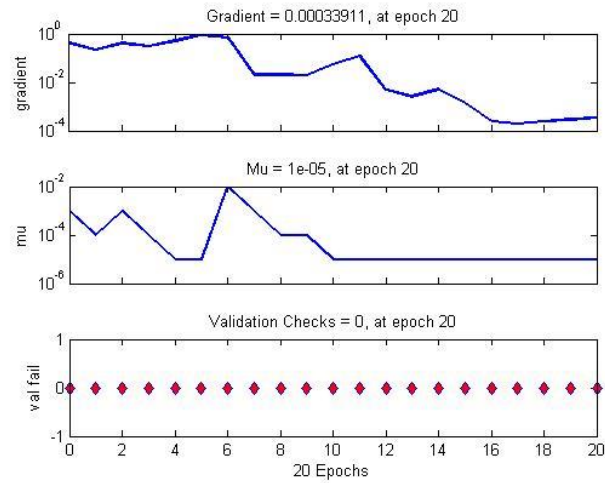
Combinatie 2: Input 1,2 vs Output



Figuur 4: Performance combinatie 2.

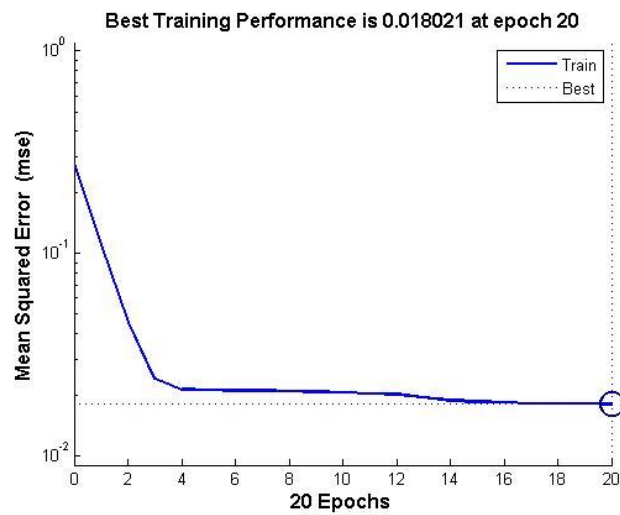


Figuur 5: Regressie combinatie 2

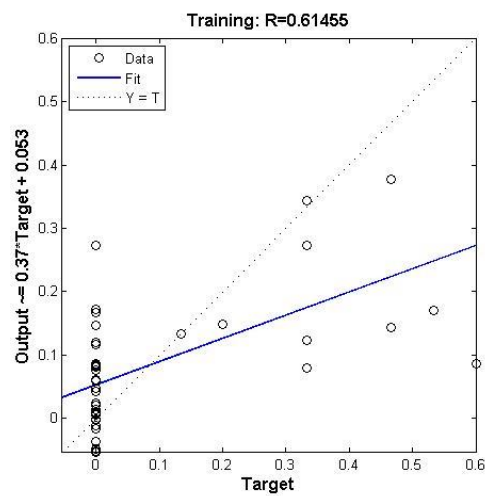


Figuur 6: Training combinatie 2.

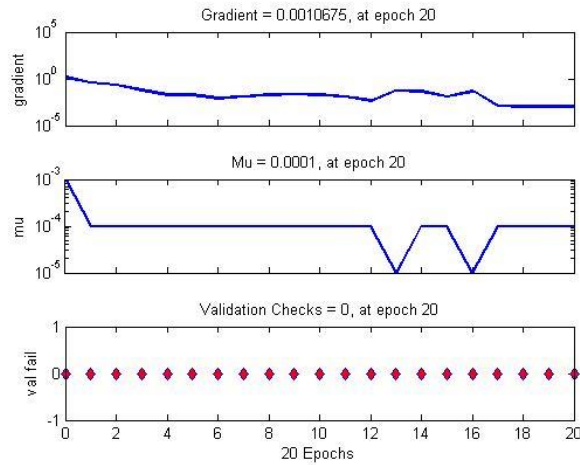
Combinatie 3: Input 1,2,3 vs Output



Figuur 7: Performance combinatie 3.



Figuur 8: Regressie combinatie 3.

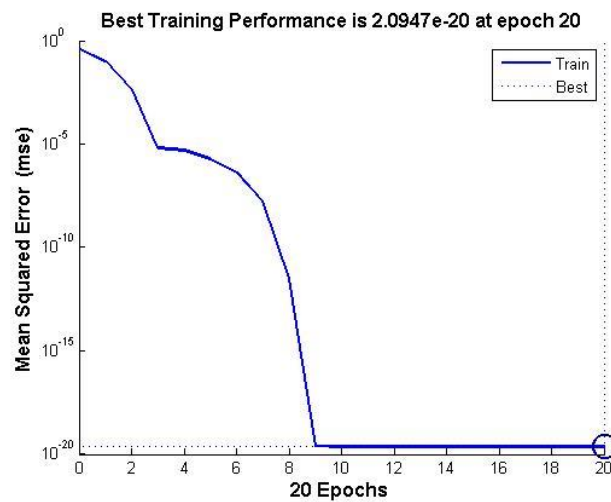


Figuur 9: Training combinatie 3.

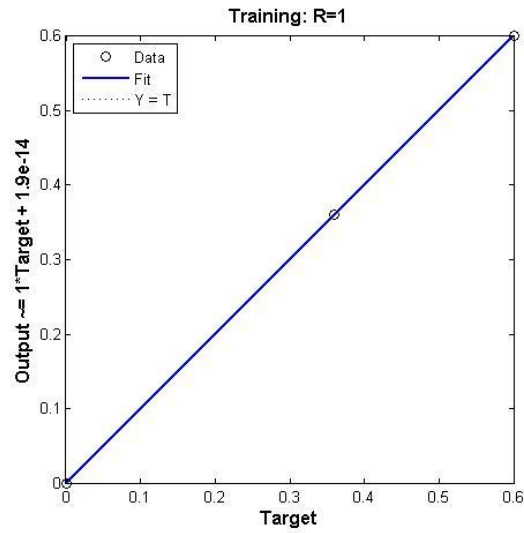
Verwijderen asfalt

Ook voor het verwijderen van asfalt zijn 3 combinaties gemaakt. Hieronder zijn van elke combinatie de performance, regressie en training weergegeven.

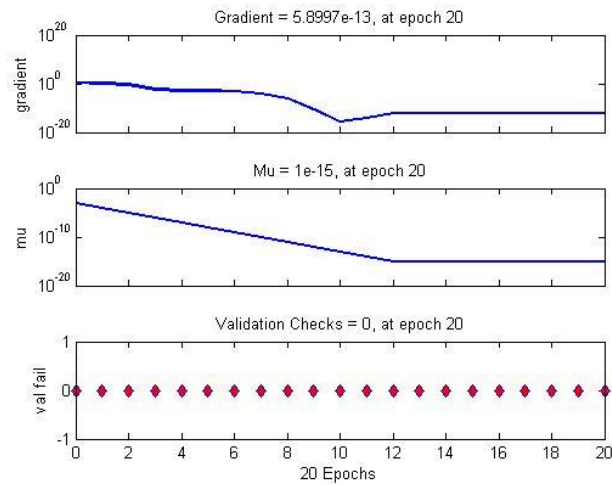
Combinatie 1: Input 1 vs Output



Figuur 10: Performance combinatie 1.

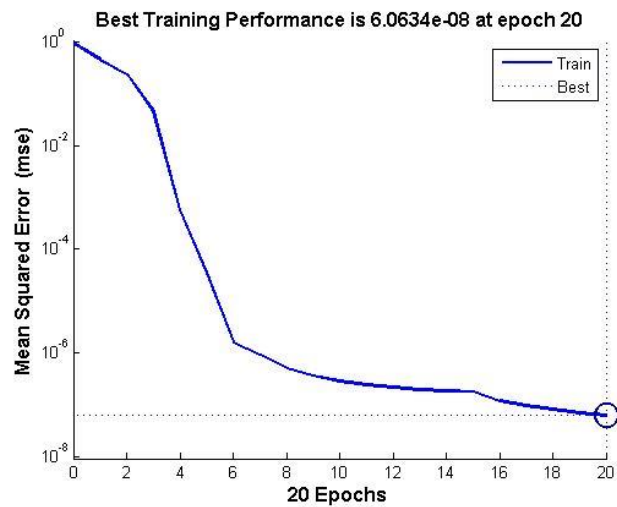


Figuur 11: Regressie combinatie 1.

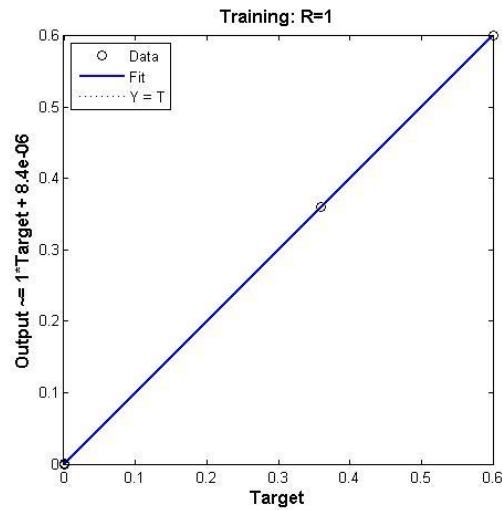


Figuur 12: Training combinatie 1.

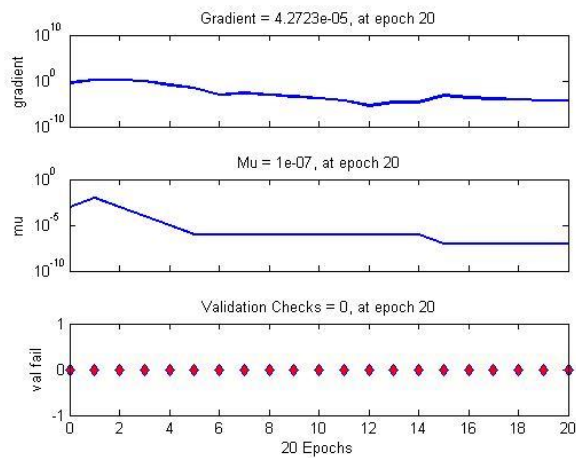
Combinatie 2: Input 1,2 vs Output



Figuur 13: Performance combinatie 2.

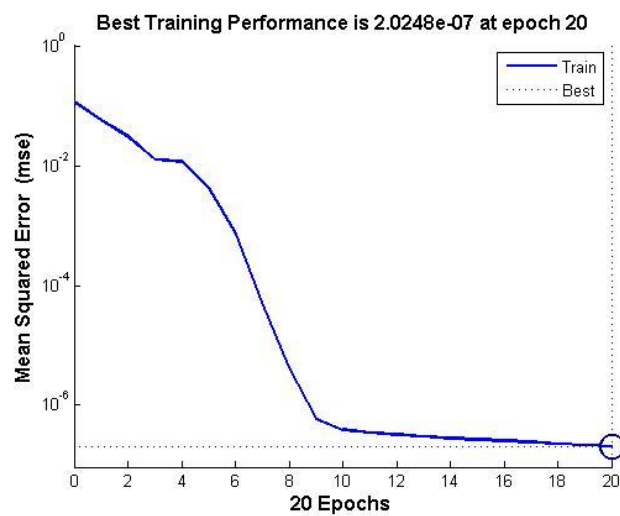


Figuur 14: Regressie combinatie 2.

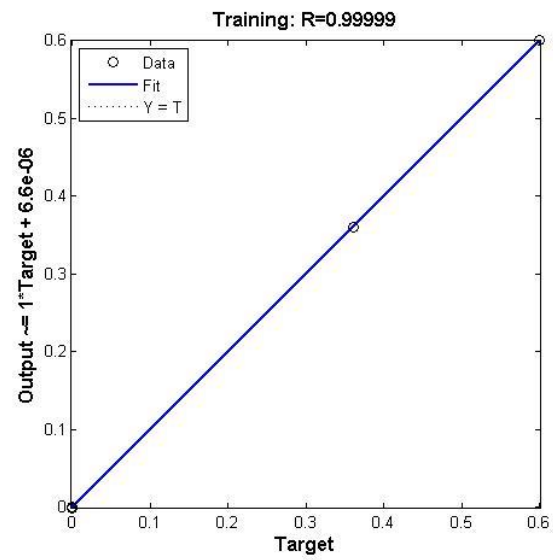


Figuur 15: Training combinatie 2.

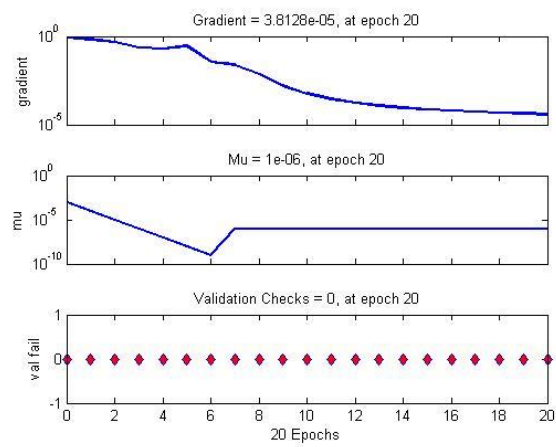
Combinatie 3: Input 1,2,3 vs Output



Figuur 16: Performance combinatie 3.



Figuur 17: Regressie combinatie 3.



Figuur 18: Training combinatie 3.

Bijlage 6.3.

- *Toetsingen op significantie voorbereidingsfase*

Toetsingen op significantie voorbereidingsfase

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	4	7,60	5,50	2,8
2	4	10,70	5,50	2,8

Difference = μ (1) - μ (2)
Estimate for difference: -3,10
95% CI for difference: (-12,62; 6,42)
T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = -0,80 P-Value = 0,456 DF = 6

Figuur 1: Toets op significantie Tabel 6.15: Validatie RCF model voor veranderende opdrachtomschrijving D&C contract.

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	7	9,5	10,7	4,0
2	7	3,3	10,7	4,0

Difference = μ (1) - μ (2)
Estimate for difference: 6,20
95% CI for difference: (-6,26; 18,66)
T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = 1,08 P-Value = 0,300 DF = 12

Figuur 2: Toets op significantie Tabel 6.16: Validatie RCF model voor verschil in eenheidsprijzen RAW-bestek.

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	11	17,3	19,7	5,9
2	11	1,1	19,7	5,9

Difference = μ (1) - μ (2)
Estimate for difference: 16,20
95% CI for difference: (-1,32; 33,72)
T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = 1,93 P-Value = 0,068 DF = 20

Figuur 3: Toets op significantie Tabel 6.17: Validatie RCF model veranderende opdrachtomschrijving D&C contract aan grotere dataset.

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	20	8,2	13,3	3,0
2	20	2,1	13,3	3,0

Difference = μ (1) - μ (2)

Estimate for difference: 6,14

95% CI for difference: (-2,40; 14,68)

T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = 1,46 P-Value = 0,154 DF = 38

Figuur 4: Toets op significantie Tabel 6.18: Validatie RCF model verschil in eenheidsprijzen RAW-bestek aan grotere dataset.

Bijlage 6.4.

- *Toetsingen op significantie indirecte bouwkosten aanbesteding*

Toetsingen op significantie indirecte bouwkosten aanbesteding

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	11	24,1	12,7	3,8
2	4	28,2	12,7	6,3

Difference = μ (1) - μ (2)
Estimate for difference: -4,10
95% CI for difference: (-23,16; 14,96)
T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = -0,55 P-Value = 0,604 DF = 5

Figuur 1: Toets op significantie Tabel 6.21: Validatie RCF model indirecte bouwkosten D&C contract.

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	20	16,6	14,8	3,3
2	10	6,3	14,8	4,7

Difference = μ (1) - μ (2)
Estimate for difference: 10,30
95% CI for difference: (-1,74; 22,34)
T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = 1,80 P-Value = 0,089 DF = 18

Figuur 2: Toets op significantie Tabel 6.22: Validatie RCF model indirecte bouwkosten RAW-bestek.

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	11	24,10	4,00	1,2
2	4	28,20	4,00	2,0

Difference = μ (1) - μ (2)
Estimate for difference: -4,10
95% CI for difference: (-10,10; 1,90)
T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = -1,76 P-Value = 0,140 DF = 5

Figuur 3: Toets op significantie Tabel 6.23: Validatie RCF model indirecte bouwkosten D&C contract aan grotere dataset.

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	20	16,60	6,40	1,4
2	10	6,30	6,40	2,0

Difference = μ (1) - μ (2)
Estimate for difference: 10,30
95% CI for difference: (5,09; 15,51)
T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = 4,16 P-Value = 0,001 DF = 18

Figuur 4: Toets op significantie Tabel 6.24: Validatie RCF model indirecte bouwkosten RAW-bestek aan grotere dataset.

Bijlage 6.5.

- *Toetsingen op significantie uitvoeringsfase*

Toetsingen op significantie uitvoeringsfase

Two-Sample T-Test and CI

				SE
Sample	N	Mean	StDev	Mean
1	5	70,6	66,7	30
2	5	33,0	66,7	30

Difference = μ (1) - μ (2)
Estimate for difference: 37,6
95% CI for difference: (-59,7; 134,9)
T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = 0,89 P-Value = 0,399 DF = 8

Figuur 1: Toets op significantie Tabel 6.27: Validatie RCF model meer- en minderwerk D&C contract.

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	8	7,6	10,4	3,7
2	8	5,9	10,4	3,7

Difference = μ (1) - μ (2)
Estimate for difference: 1,70
95% CI for difference: (-9,45; 12,85)
T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = 0,33 P-Value = 0,749 DF = 14

Figuur 2: Toets op significantie Tabel 6.28: Validatie RCF model meer- en minderwerk RAW-bestek.

Two-Sample T-Test and CI

				SE
Sample	N	Mean	StDev	Mean
1	22	46,8	47,8	10
2	22	9,2	47,8	10

Difference = μ (1) - μ (2)
Estimate for difference: 37,6
95% CI for difference: (8,5; 66,7)
T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = 2,61 P-Value = 0,013 DF = 42

Figuur 3: Toets op significantie Tabel 6.29: Validatie RCF model meer- en minderwerk D&C contract aan grotere dataset.

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	33	11,8	18,4	3,2
2	33	1,6	18,4	3,2

Difference = μ (1) - μ (2)
Estimate for difference: 10,19
95% CI for difference: (1,14; 19,24)
T-Test of difference = 0 (vs $\neq$): T-Value = 2,25 P-Value = 0,028 DF = 64

Figuur 4: Toets op significantie Tabel 6.30: Validatie RCF model meer- en minderwerk RAW-bestek aan grotere dataset.

Bijlage 6.6.

- *Rekenvoorbeeld RCF model voor project met RAW-besteding*

Rekenvoorbeeld RCF model voor project met RAW-bestek

Tabel 1: Rekenvoorbeeld toepassing RCF model voor een project met een RAW-bestek.

RAW-bestek	Huidige situatie	Uplift	RCF model
Directe bouwkosten raming	€ 1.982.722		€ 1.861.776
Uplift veranderende opdracht		-6,1%	
Totale bouwkosten raming	€ 2.311.854		€ 1.979.068
Percentage idk	16,6%		6,3%
Hoogte aanbesteding	€ 1.826.365		€ 1.826.365
Verschil aanbesteding/raming	-21,0%		-5,8%
Uplift voor oplevering		13,4%	
Geraamde bouwkosten			€ 2.244.263
Meer- en minderwerk	11,8%		
Totale bouwkosten oplevering	€ 2.041.876		€ 2.041.876
Verschil oplevering/raming	-11,9%		-9,0%

Bijlage 7.1.

- *Referentielijst bijlagen*

Referentielijst bijlagen

- Abbot, J. & Marohasy, J., 2014. Input selection and optimization for monthly rainfall forecasting in Queensland, Australia, using artificial neural networks. *Atmospheric research*, pp. 166-178.
- Adeli, H. & Wu, M., 1998. Regularization neural network for construction cost estimation. *Journal of construction engineering and management*, pp. 18-24.
- Arafa, M. & Alqedra, M., 2011. Early stage cost estimation of buildings construction projects using artificial neural networks. *Journal of artificial intelligence*, pp. 63-75.
- Arup, O. & Partners Scotland Ltd., 2004. *Scottish Parliament, Edinburgh tram line 2: Review of business case*, West Lothian: ArupScotland.
- Bayram, S., Ocal, M. E., Laptali Oral, E. & Atis, C. D., 2013. Comparison of multilayer perception (MLP) and radial basis function (RBF) for construction cost estimation: the case of Turkey. *Journal of civil engineering and management*, pp. 1-11.
- Beek, G. v. et al., 2010. *Integraal bouwen, beheren en bekostigen*, Den Haag: TNO.
- Bode, J., 2000. Neural networks for cost estimation: simulations and pilot application. *International journal of production research*, pp. 1231-1254.
- CROW, 1998. Waarvoor is de 0,15% bijdrage Fonds Collectief Onderzoek?. *RAW-gerelateerd*, pp. 126-127.
- CROW, 2002. *Handboek wegontwerp gebiedsontsluitingswegen*, Ede: CROW.
- CROW, 2002. *Handboek wegontwerp stroomwegen*, Ede: CROW.
- CROW, 2002. *Handboek wegontwerp, basiscriteria*. Ede: CROW.
- CROW, 2010. *Standaardsystematiek voor kostenramingen -SSK- 2010*. Ede: CROW.
- CROW, 2012 . *Hoe moet ik de kosten toedelen in de inschrijfstaat*, n.b.: CROW.
- Elhag, T. & Boussabaine, A., 1998. An artificial neural system for cost estimation of construction projects. *Association of researchers in construction management*, pp. 219-226.
- El-Sawah, H. & Moselhi, O., 2014. Comparative study in the use of neural networks for order of magnitude cost estimating in construction. *Journal of information technology in construction*, pp. 462-473.
- Emsley, M. W. et al., 2002. Data modelling and the application of a neural network approach to the prediction of total construction costs. *Construction management and economics*, pp. 465-472.
- Eythorsdottir, E. O., 2012. *Reference class forecasting method used in icelandic transportation infrastructure projects*, Reykjavik: Reykjavik university.
- Friedman, N., Geiger, D. & Goldszmidt, M., 1997. Bayesian network classifiers. *Machine learning*, pp. 131-163.
- Grit, J., 2006. *Opzoek naar perspectief*, IJsselstein: Universiteit Twente, Movares.
- Grontmij, n.b.. *Contractvormen: hoe kies ik het juiste contract*, De Bilt: Grontmij.

GWWkosten, 2007. *Funderingslagen en gebonden verhardingen*. Doetinchem: Reed Business bv.

Haar, E. t., 2010. Budgetteringsmethoden grote bouw- en infraprojecten schieten tekort. *Bouwkostenkunde huisvestingseconomie*, pp. 8-13.

Hegazy, T. & Ayed, A., 1998. Neural network model for parametric cost estimation of highway projects. *Journal of construction engineering and management*, pp. 210-218.

HM Treasury, 2003. *The Green Book: appraisal and evaluation in central government*. London: London TSO.

Janglova, D., 2004. Neural networks in mobile robot motion. *International journal of advanced robotic systems*, pp. 15-22.

Jansen, F., 2014. *Bouw in beeld 2013-2014 capita selecta*, Amsterdam: Stichting economisch instituut voor de bouw.

Jonge, T. d., 2002. Gebruik van NEN 2634 bij kostenvraagstukken in complexe projecten. *Bouwkostenkunde & Huisvestingseconomie*, pp. 15-21.

Kaski, S., 1997. Data exploration using self-organizing maps. *Acta polytechnica Scandinavia, mathematics, computing and management in engineering*, pp. 1-57.

Kim, G.-H., An, S.-H. & Kang, K.-I., 2004. Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning. *Building and environment*, pp. 1235-1242.

Lagemaat, M., 2015. *Contract of vertrouwen?: het spanningsveld tussen de prijsvorming en de samenwerking in een bouwteam*, Enschede: Universiteit Twente.

Letdorf, 2013. *Proposals for new tram lines in Edinburgh*. [Online]
Available at: [http://en.wikipedia.org/wiki/Proposals for new tram lines in Edinburgh](http://en.wikipedia.org/wiki/Proposals_for_new_tram_lines_in_Edinburgh)
[Geopend 27 november 2014].

Love, P. E., Edwards, D. J. & Irani, Z., 2012. Moving beyond optimism bias and strategic misrepresentation: an explanation for social infrastructure project cost overruns. *IEEE Transactions on engineering management*, pp. 560-571.

McKie, R., 2014. Edinburgh's tram system opens - 375 million pounds over budget and three years late. *The Guardian*, 1 juni, pp. 1-2.

Negnevitsky, 2002. *Lecture 8: Artificial neural networks: unsupervised learning*. sl:Pearson education.

Nicholls, A., 2009. *The Forecasting Guidebook*. Bristol: Defence equipment and support.

Puttipatkajorn, A., Jouvencel, B. & Salgado-Jimenez, T., 2003. *Using self-organizing maps approach to pipeline localization*. San Diego, OCEANS'03, pp. 2398-2403.

Reddy, K. & Ranjan, M., 2003. Solar resource estimation using artificial neural networks and comparison with other correlation models. *Energy conversion and management*, pp. 2519-2530.

Rijkswaterstaat, 2005. *Nieuwe ontwerprichtlijn autosnelwegen*, Rotterdam: Ministerie van verkeer en waterstaat.

Siqueira, I., 1999. *Neural network-based cost estimating*, Ottawa: National library of Canada.

Specht, D. F., 1991. A general regression neural network. *IEEE transactions on neural networks*, pp. 568-576.

Srihari, S., xxx. *chapter 5.3 error backpropagation*. [Online]

Available at: <http://www.cedar.buffalo.edu/~srihari/CSE574/Chap5/Chap5.3-BackProp.pdf>
[Geopend 3 februari 2015].

Tah, J. & Carr, V., 2000. A proposal for construction project risk assessment using fuzzy logic. *Construction management and economics*, pp. 491-500.

Tarassenko, L., 1998. *A guide to neural computing applications*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Vellido, A., Lisboa, P. & Vaughan, J., 1999. Neural networks in business: a survey of applications (1992-1998). *Expert systems with applications*, pp. 51-79.

Witteveen+Bos, 2015. *Update ecologische modellen KRW-verkenner*, Deventer: Witteveen+Bos.

xxx, 2012. [Online]

Available at: web.cecs.pdx.edu/.../2012-1158.%20backpropagation_NN.ppt
[Geopend 3 februari 2015].

