Probabilistisch ramen

Onderzoek naar het berekenen van de band-breedte conform de SSK

Utrecht, maart 2006

Auteur:
ing. G. van Bennekom

Afstudeercommissie:
ir. K.T. Veenvliet
dr. S.H.S. Al-Jibouri
ir. J.C. Kuiper

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD

SAMENVATTING

SUMMARY

1 INLEIDING 1

2 KOSTENRAMINGEN 4

2.1 RAMEN 4
2.2 METHODEN OM KOSTEN TE RAMEN 6
2.3 DETERMINISTISCH RAMEN DR (TRADITIONEEL RAMEN) 8
2.4 PROBABILISTISCH RAMEN PR 10
2.5 VERSCHILLEN EN OVEREENKOMSTEN DR EN PR 11
2.6 STANDAARDSYSTEMATIEK KOSTENRAMINGEN 12
2.6.1 De onderdelen/kenmerken SSK 12
2.6.2 Het theoretische kader 14
2.6.3 Totaalraming 15
2.7 CONCLUSIE 18

3 PROBABILISTISCH RAMEN 19

3.1 BEWERKINGEN OM TE RAMEN. 19
3.2 HET ALGEMENE WIJZE OM BOTTOM UP SPREIDING TE DEFINIËREN. 19
3.2.1 Prijs x hoeveelheid 22
3.2.2 Kans x gevolg 24
3.2.3 Opslagpercentage 25
3.3 HET SOMMEREN VAN KOSTENPOSTEN TOT EEN TOTAALRAMING 26
3.4 PROBALILISTISCH RAMEN BINNEN HR 28
3.5 STERKE EN ZWAKKE KANTEN SSK 29
3.6 CONCLUSIE 31

4 EEN MODEL OP BASIS VAN CORRELATIEGROEPEN 32

4.1 MODELOPBOUW 32
4.2 EEN MODEL OP BASIS VAN CORRELATIEGROEPEN 34
4.2.1 De kern van het model 34
4.2.2 Niveau-II spreadsheetmodel 35
4.2.3 De werking van het spreadsheetmodel 37
4.3 VERGELIJKING TUSSEN HET SPREADSHEETMODEL, RISICORAMING EN @RISK 39
4.4 CONCLUSIE 42

5 BEVINDINGEN VAN HET ONDERZOEK 43

6 CONCLUSIES 45

7 AANBEVELINGEN 46

LITERATUUR

BEGRIPPEN

Voorwoord

De studie civiele techniek aan de Universiteit Twente wordt van oudsher besloten met een afstudeeropdracht. Het biedt de student gelegenheid om ervaring op te doen in het uitvoeren van een onderzoek. De student wordt geacht zelfstandig en planmatig de kerntaken van een wetenschapper uit te voeren.

Afstudeeropdracht
Holland Railconsult heeft gevraagd een relatief nieuwe ramingsmethodiek, bekend onder de naam "Standaardsystematiek Kostenramingen" (SSK), aan nader onderzoek te onderwerpen. Het is een methode die gefundeerd is op probabilistische principes en ontwikkeld is door het CROW[1]. Deze nieuwe aanpak wint aan populariteit ten opzichte van de traditionele deterministische wijze van ramen.
In februari 2005 heb ik naar aanleiding van een vacature bij Holland Railconsult gesolliciteerd naar een afstudeeropdracht. In februari en maart volgden enkele kennismakingsgesprekken waarin het probleem rondom de standaardsystematiek kostenramen uit de doeken werd gedaan. De verwachtte resultaten van het onderzoek zijn een theoretisch spreadsheetmodel én de verbetering van het stroomschema ten aanzien van projectrisico's en -onzekerheden.
Begin april ben ik te Utrecht met het onderzoek gestart. Op verzoek van de Universiteit zijn de eerste maanden besteed aan het boven water krijgen van het exacte doel van het onderzoek én het opstellen van een gedegen onderzoeksplan voor de uitwerking van de opdracht. Vanaf juni is begonnen met de daadwerkelijke uitwerking van de opdracht hetgeen uiteindelijk heeft geleid tot dit rapport waaraan in maart 2006 de laatste hand is gelegd.

Holland Railconsult
Holland Railconsult is een jong bedrijf, met een rijke historie, waar meer dan 1.400 professionals werken. Het is een ingenieurs- en adviesbureau dat de oplossingen genereert voor capaciteits-, veiligheids- en inpassingsvraagstukken van het drukst bereden spoorwegnet ter wereld. Holland Railconsult werkt aan grote projecten, maar ook aan kleinere (deel)projecten en voert studies uit op het gebied van mobiliteit en inpassing.

Universiteit Twente
De Universiteit Twente is een ondernemende researchuniversiteit. De universiteit is in 1961 gesticht en verzorgt onderwijs op universitair niveau en verricht onderzoek in een scala van wetenschapsgebieden variërend van bijvoorbeeld mechanica en bestuurskunde tot technische natuurkunde en biomedische technologie.

Afstudeercommissie
De afstudeercommissie bestond uit de volgende personen:

ir. J.C. Kuiper	Holland Railconsult
dr. S.H.S. Al-Jibouri	Technische Universiteit Enschede
ir. K.T. Veenvliet	Technische Universiteit Enschede

Mijn speciale dank gaat uit naar dhr Kuiper die met veel enthousiasme en geduld mij gedurende de afstudeerperiode heeft begeleid.

Utrecht,
24 maart 2006,
G. v. Bennekom.

[1] CROW Kenniscentrum voor verkeer, vervoer en infrastructuur

Samenvatting

In dit rapport is de SSK aan nader onderzoek onderworpen. De sterke en zwakke kanten van de methodiek zijn onderzocht. Speciale aandacht is besteed aan de theoretische kant van de publicatie waarin de bottom up benadering van het ramen is uiteengezet. Bekeken is of op basis van de SSK een Niveau-II spreadsheetmodel is te ontwikkelen waarmee probabilistisch geraamd kan worden.

Forse kostenoverschrijdingen van grote civieltechnische projecten hebben ertoe bijgedragen dat de traditionele wijze van ramen op de helling is komen te staan. Vanuit de politiek ontstond een groeiende vraag naar zekerheid, voor onzekerheden was steeds minder plaats. Onder auspiciën van het CROW is een probabilistische ramingsmethiek ontwikkeld die tegemoetkomt aan deze politieke vraag naar zekerheid. Met het uitkomen van de CROW publicatie 137 getiteld: “de standaardsystematiek kostenramingen in de GWW” [SSK] is het probabilistisch ramen definitief op de kaart gezet.
Vooraanstaande opdrachtgevers zoals ProRail en RWS schrijven het ramen conform de SSK als standaard voor. Het wekt de suggestie dat het probabilistisch ramen volledig is uitontwikkeld.
Binnen Holland Railconsult bestaan echter aanwijzingen dat ten aanzien van de methodiek nog een verbeterslag gemaakt moet worden.

Het innovatieve van de SSK schuilt in de bottom up berekening van de bandbreedte en het bottom up ramen van de projectonzekerheden. In de traditionele of deterministische ramingsmethodiek worden beide aspecten top down op basis van kennis en expertise bepaald. Wanneer geraamd wordt op basis van de SSK dan dienen zowel de bandbreedte als de projectonzekerheden te worden geconcretiseerd.
In de ramingen dienen projectonzekerheden door middel van risico-inventarisatie-sessies en/of risicoanalyses te worden geïdentificeerd en te worden opgenomen in de raming. De bandbreedte van de raming dient te worden berekend door al op het laagste niveau in de raming de bandbreedte te bepalen. Het resultaat van de probabilistische raming is een kansdichtheidsfunctie van de investeringskosten van het project. Teneinde de overschrijdingskans van de raming van de investeringskosten af te stemmen op het gewenste risicoprofiel dient de opdrachtgever zelf dekking te geven aan de raming door het aanwenden van de post onzekerheidsreserve en/of reserve extern onvoorzien.

De sterke punten van de SSK zijn te vinden in uniformiteit. In de publicatie is een uniforme ramingsopbouw gepresenteerd, waarbij onderscheid in kostensoorten en kostencategorieën is gemaakt. De benoemde kostensoorten en -categorieën zijn ondubbelzinnig uitgelegd zodat het voor elke gebruiker helder is waar welke kostenpost in de raming moet worden opgenomen. Dientengevolge worden ramingen sectorbreed qua opbouw gelijkgetrokken, waardoor ramingen onderling vergelijkbaar worden.
Een tweede verbeterslag is gemaakt met de introductie en definiëring van de begrippen *toekomstonzekerheid*, *kennisonzekerheid* en *planonzekerheid*. Voor het uitkomen van de publicatie was hanteerden verschillende bedrijven verschillende termen en definities wat in sommige gevallen leidde tot miscommunicatie.

Door de uniformiteit die de SSK levert is een zeer waardevolle verbeterslag ten aanzien van het ramen van kosten in de GWW-sector gemaakt. De systematiek kent echter ook haar zwakke kanten. Wanneer de letter van de SSK wordt gevolgd blijkt dat er geen volledig sluitende ramingsmethodiek wordt gepresenteerd. In de SSK worden enkel de bouwstenen voor het probabilistisch ramen behandeld, de SSK geeft echter géén volledig uitgewerkt model om probabilistisch te ramen! Desondanks is de opinie dat met het uitbrengen van de SSK een volledig correcte en uitgewerkte probabilistische ramingsmethodiek wordt aangereikt. Dit idee wordt versterkt doordat op basis van de SSK programmatuur ontwikkeld is waarmee het mogelijk wordt om ramingen probabilistisch door te rekenen. Wat eveneens deze gedachte bevestigd is het feit dat vooraanstaande opdrachtgevers de systematiek als de te hanteren systematiek voorschrijven. Doordat de SSK slechts de bouwstenen om probabilistisch te ramen presenteert wordt de ruimte gegeven voor verschillen in interpretatie. Dit is in strijd met het streven naar uniformiteit.

Op basis van de SSK is een Niveau-II spreadsheetmodel ontwikkeld. Het ontwikkelde model heeft echter om tweeërlei redenen geen praktijkwaarde. Ten eerste voor de ontwikkeling van een dergelijk model is het noodzakelijk gebleken dat discontinue of scheve kansdichtheidsfuncties vertaald worden in symmetrische normaal verdeelde kansdichtheidsfuncties. Ten tweede de SSK geeft enkel informatie over de wijze waarop bottom up dient te worden geraamd. De SSK geeft weinig tot geen informatie over de wijze waarop de bottom up gedefinieerde kansdichtheidsfuncties moeten worden samengebracht tot één kansdichtheidsfunctie ter bepaling van de bandbreedte van de raming van het totale project. Getracht is invulling te geven aan deze ontbrekende kennis. Gebleken is echter dat de complexiteit van het probleem dusdanig is dat een afstudeeronderzoek niet volstond om een oplossing te bieden.
Ondanks dat het onderzoek niet heeft geleid tot een bruikbaar model om te ramen, heeft de ontwikkeling van het model wel aangetoond op welke punten de SSK verbeterd zou moeten worden.

Summary

Significant increase in actual costs of large Dutch civil projects compared to original estimates have contributed to the fact that the traditional way of estimating construction cost is losing support. Nowadays the Dutch government no longer accepts the traditional way of forecasting construction costs to determine a project budget. The exceeding of reserved budgets in the past have helped to create an environment in which project uncertainties and uncertainty in the forecasting of the investment costs only acceptable are when those uncertainties are well founded. A mathematical solution to concretize uncertainties has been adopted in a probabilistic way of estimation construction costs. Under supervision of the CROW[2] this probabilistic model has been crystallized and led to the publication of the CROW publication 137. The publication has presented a standard method to estimate cost in a probabilistic way. The main characteristics are found in the uniformity in technical language and standardization of the cost assignment.
Main costumers in the Netherlands like ProRail and RWS prescribe the publication. This suggests that the probabilistic model of estimating investment costs is completely developed. However the opinion of Holland Railconsult is that the suggested model has to be improved.

In the traditional way project uncertainties and the uncertainties of the cost estimates are normally determined in a top down manner based on knowledge and expertise of the cost engineer. The innovative part of the model suggested by CROW is the statement that project uncertainties and deviations have to be calculated in stead of determined heuristically. The consequence is that bottom up for every cost item the deviation has to be examined, the same applies for the so called project uncertainties.

In this thesis the CROW publication has been examined thoroughly. The strong and the weak points are identified and highlighted. Special attention was paid to the theoretical side of the publication. The possibility of designing a spreadsheet model for estimating construction costs in a probabilistic way has been explored.

One of the positive points of the published document in which the proposed model has been presented is that it provides a standard estimating model. This model distinguishes two main groups of construction costs; costs sorts and costs categories. The main groups are divided into subgroups which are well defined. This model enables the uniformity of Dutch costs estimation. The second improvement has been made by introducing three types of uncertainties. A breakdown has been made into “future uncertainties”, “knowledge uncertainties” and “design uncertainties”. This also contributes to the uniformity of the process and lessens the risk of miscommunication. To recapitulate, the positive points of the publication has been found in bringing uniformity in estimating investment costs.
The negative side has undoubtedly been found in the theoretical part of the publication by CROW. Three operations are presented to estimate investment costs. One covering operation explains how uncertainties can be added costs in a bottom up manner. The absent part of the publication is however the part which describes how to combine the separate (bottom up) estimations to probabilistic cost estimation of the total project investment costs. How the various costs sorts and costs categories should be assembled isn’t explained, neither is the interaction between costs sorts and costs categories.

A spreadsheet model has been developed based on the publication by CROW. The model has however no practical value due to two reasons. The first reason was the necessity to translate discontinuous or skew density functions into symmetric normal density functions. Therefore the model suffers a loss of information about skewness. The second reason is that several assumptions have been made according to the bottom up calculation of the uncertainties.

Despite the fact that the research didn’t result into a useful model for estimating investment costs, the research did contribute to a statement of items for necessary further research.

[2] The CROW is a Dutch knowledge centre for traffic, mobility and infrastructure.

1 Inleiding

Leeswijzer
Het rapport bestaat uit 7 hoofdstukken en 13 bijlagen die tezamen het rapport vormen. De aanzet tot het onderzoek en de doelstelling van het onderzoek wordt in het eerste hoofdstuk behandeld. In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de eisen die gesteld worden aan een kostenraming en wordt een inventarisatie van bestaande methodieken gegeven. Twee hoofdmethodieken, te weten het probabilistisch en het deterministisch ramen worden behandeld. Tot besluit van hoofdstuk 2 worden de kenmerken van de centraal in het rapport staande Standaardsystematiek Kostenramingen (SSK) behandeld. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de theorie beschreven in de SSK, de sterke en de zwakke kanten worden verkend. Bekeken wordt of de aangereikte theorie volstaat om een model te maken waarmee op probabilistische wijze geraamd kan worden. In hoofdstuk 4 wordt op basis van de ontwikkelde kennis een spreadsheetmodel ontwikkeld. Het model wordt getoetst door een vergelijking te maken met het de programma's Risicoraming en @Risk. Hoofdstuk 4 wordt besloten met het uiteenzetten van de sterke en zwakke kanten van het ontwikkelde spreadsheetmodel. In hoofdstuk 5 worden de belangrijkste bevindingen gepresenteerd. Het rapport wordt besloten met de hoofdstukken 6 en 7, respectievelijk conclusies en aanbevelingen.

Kostenoverschrijdingen
Op 9 november 2001 was in het televisieprogramma Zembla een rapportage te zien, waarin een voormalige directeur bij bouwbedrijf Koop Tjuchem een schaduwboekhouding toonde waaruit kon worden opgemaakt dat er kartelafspraken bestonden tussen bouwbedrijven in de periode 1988-1998. Naar aanleiding van dit programma is de Parlementaire Enquête Commissie Bouwnijverheid gestart onder leiding van Marijke Vos. Het onderzoek heeft er uiteindelijk toe bijgedragen dat een open marktwerking tussen de bouwbedrijven is ontstaan. De civiele branche heeft de afgelopen jaren volop in de publiciteit gestaan, hierbij heeft het imago van de bouw een deuk opgelopen. Het negatief getinte beeld werd in oktober 2003 door de Deens hoogleraar Bent Flyvbjerg bevestigd met de presentatie van diens bevindingen. Het volgende citaat uit de Volkskrant (2004) spreekt boekdelen: "Flyvbjerg, hoogleraar Openbare Financiën aan de Universiteit van Aalborg, presenteerde zijn gehoor van beleidsmakers en ambtenaren de resultaten van een breed onderzoek naar kostenoverschrijdingen van ruim 250 infrastructurele projecten in Europa en de Verenigde Staten. Projecten die zonder uitzondering op de 'traditionele' manier werden verwezenlijkt; overheden besteedden het karwei uit aan partijen met de laagste inschrijving en reserveerden vooraf het afgesproken bedrag. Wat bleek? Negen van de tien projecten konden niet worden gerealiseerd binnen het budget. De gemiddelde kostenoverschrijding bedroeg 28 procent."

Aanleiding nieuwe ramingsmethodiek
Door frequente budgetoverschrijdingen van overheidsprojecten ontstond vanuit de politiek een groeiende vraag naar zekerheid. Vooraanstaande opdrachtgevers van de overheid waaronder bijvoorbeeld de gemeenten, RWS[3], de Nederlandse Spoorwegen e.d. werden gedwongen de beschikkingsaanvragen nauwkeuriger te onderbouwen. Een cultuur ontstond waarin nauwelijks plaats was voor projectonzekerheden, opdat de realisatiekosten binnen het taakstellende budget bleven. De conventionele methode om investeringskosten te ramen kwam op de helling te staan, de vraag naar een nieuwe meer transparante ramingwijze ontstond. Opdrachtgevers kwamen tegemoet aan deze wens door de kostenramingen ten behoeve van de beschikkingsaanvragen te onderwerpen aan probabilistische analyses.
In 1992 heeft RWS onderzoek gedaan om de kwaliteit van ramingen van RWS-projecten te verbeteren. Het onderzoek is bekend geworden onder de naam projectnaam PRI[4] en is in 1994 afgerond. Naar aanleiding van dit onderzoek is in 1995 een onderzoek gestart naar een methode om projectrisico's te kunnen analyseren en beheersen, hetgeen uitmondde in het project RISMAN[5]. Het resultaat is een plan voor het analyseren van risico's. In navolgende jaren is ervaring met de RISMAN-methode opgedaan en ontstond de behoefte om de methode te verbreden. In 1997 is het project RISMAN2 gestart, waarin de stap van risicoanalyse naar risicomanagement is gezet. Het onderzoek is medio 1999 afgerond. Een jaar eerder is een initiatiefgroep bestaande uit ondermeer RWS en het CROW van start gegaan met het project "Standaardsystematiek voor Kostenramingen GWW". Eveneens in 1999 werd het project afgerond met de eerste druk van de CROW-publicatie 137, getiteld 'wat kost dat?'. Juni 2002 verscheen de geheel herziene, verbeterde 2de druk van deze publicatie. In de publicatie wordt een investeringsmodel

[3] Rijkswaterstaat
[4] Project Ramingen Infrastructuur
[5] Risico Management grote Infrastructuurprojecten

met begrippenkader gegeven. Daarnaast wordt het omgaan met risico's en onzekerheden in de raming omschreven.
Zodoende is bij de opdrachtgevers, ingegeven door politieke druk, de slag van deterministisch naar probabilistische ramen gemaakt.

Consequenties Holland Railconsult
Het probabilistisch ramen is bij de grote opdrachtgevers zoals RWS, ProRail, gemeenten e.d. tot ontwikkeling gekomen. Met het uitkomen van de CROW publicatie 137 is het probabilistisch ramen definitief op de kaart gezet. Mede ingegeven door de politiek schrijven steeds meer vooraanstaande opdrachtgevers het probabilistisch ramen als standaard voor, aangezien de uitkomsten verkregen door probabilistisch ramen kwalitatief hoger worden aangeslagen dan de uitkomsten van een traditionele deterministische raming.
Voor Holland Railconsult en andere ingenieursbureaus die veel werk van rijksopdrachtgevers aannemen heeft dit aanzienlijke gevolgen. In de rol van adviseur worden ingenieursbureaus verwacht over te stappen naar een andere relatief nieuwe wijze van ramen.

Probleemstelling
De raming uitgevoerd conform de CROW publicatie 137 wordt afgesloten door het geven van een bandbreedte[6] rond de verwachtingswaarde (μ) van de raming in combinatie met het corresponderende betrouwbaarheidsinterval. De bandbreedte wordt hierbij *bottom up* berekend terwijl deze traditioneel *top down* werd bepaald. Binnen Holland Railconsult bestaat echter het vermoeden dat de SSK-methodiek voor het berekenen van de bandbreedte tekort schiet. Aangezien bandbreedte informatie geeft over de betrouwbaarheid van de raming kan een fout in de berekeningswijze van de bandbreedte verstrekkende gevolgen hebben.

Doel onderzoek
In de 2de druk van de "Standaardsystematiek voor Kostenramingen in de GWW" wordt het standaard investeringsmodel voor kostenramingen en de theorie rondom het omgaan met risico's en onzekerheden in de raming uiteengezet, ter ondersteuning is een bijbehorend spreadsheet/rekenmodel en begrippenkader bijgesloten. In de publicatie wordt gesteld dat de Standaardsystematiek voor Kostenramingen voldoende is uitgekristalliseerd om breed in de GWW-sector te kunnen worden toegepast. In de publicatie worden voor de optelling drie bewerkingen aangereikt om te ramen:
1. "hoeveelheid x prijs"
2. "opslagpercentage"
3. "kans x gevolg"

Opvallend genoeg is de berekeningswijze voor de bepaling van de bandbreedte niet opgenomen in het bijgesloten rekenmodel. In dit rapport worden de bewerkingen aan nader onderzoek onderworpen en wordt bekeken hoe deze in het spreadsheet/rekenmodel kunnen worden ingepast om te komen tot een theoretisch sluitende probabilistische raming. Daartoe wordt in dit onderzoek de aangereikte theorie gevalideerd en indien nodig aangevuld en/of verbeterd. Centraal in dit onderzoek staat het begrip **bandbreedte** van de raming en de wijze waarop de bewerkingen deze beïnvloeden.

Het doel in het onderzoek is het ontwikkelen van een theoretisch sluitende probabilistische ramingsmethodiek door ontwikkeling van een spreadsheetmodel.

Waarde onderzoek voor Holland Railconsult
Holland Railconsult is een innovatief en dynamisch bedrijf dat graag inspeelt op de veranderende omstandigheden. Binnen het ramen van kosten is een verschuiving gaande van deterministisch naar probabilistisch ramen. Aangezien probabilistisch ramen (binnen en buiten Holland Railconsult) nog relatief nieuw is en de bijbehorende theorie nog niet volledig is uitontwikkeld[7], is Holland Railconsult gebaat bij onderzoek naar het probabilistisch ramen en in het bijzonder naar aanvullend onderzoek naar de Standaardsystematiek Kostenramingen in de GWW beschreven in de CROW publicatie 137.

[6] Voor uitleg van het begrippen wordt verwezen naar de begrippenlijst.
[7] Zie ondermeer artikel prof. drs .ir. J.K. Vrijling & ir. J.C. Kuiper m.b.t. aanbiedingsonzekerheid, opgenomen in Bijlage E.

Onderzoeksvragen
Het formuleren en beantwoorden van de onderzoeksvragen heeft tot doel het in kaart brengen en ontwikkelen van kennis die nodig is om de doelstelling te bewerkstelligen. Door middel van de centrale vragen wordt de essentiële kennis vergaard. Uit de doelstelling zijn de onderstaande onderzoeksvragen gedestilleerd.

De onderstaande vragen zijn omwille van het onderzoek geformuleerd:
1. Welke ramingsmethodieken worden gebruikt en waarom?
2. Wat is de betekenis van bandbreedte binnen de SSK?
3. Waar liggen verbeterpunten binnen de SSK?
4. Hoe kan het berekenen van de bandbreedte in de standaardsystematiek verbeterd worden?

2 Kostenramingen

2.1 Ramen

Het begrip "ramen" laat zich lastig eenduidig definiëren. Dit komt omdat de functie, de hardheid en de berekeningsmethode van "de raming" per projectfase sterk verschillen. Vaak worden voor bepaalde projectstadia synoniemen zoals indicatie, schatting of begroting voor de raming gebruikt [Noordsij 2004]. De kwintessens van het ramen is het voorspellen van in de toekomst te maken kosten. Ramingen blijven altijd een prognose van de werkelijke kosten. Bijna nooit zullen de werkelijke kosten exact gelijk zijn aan de raming. Voor een correcte besluitvorming bij de start van het project en voor een goed budgettair beheer is het echter zeer gewenst dat het verschil tussen de raming en de werkelijkheid zo klein mogelijk is en voorspelbaar in de zin dat het verschil binnen bepaalde grenzen blijft [Vrijling et al. 2005].

Doel kostenraming

De raming van de projectkosten in een vroeg stadium vormt een belangrijk fundament voor de zakelijke verantwoording [Hedeman et al. 1999]. Om een soepel verloop van het project te garanderen is continue communicatie tussen actoren in het project noodzakelijk. In een vroeg stadium kan miscommunicatie ontstaan doordat de eisen en wensen van alle partijen nog niet duidelijk kenbaar zijn gemaakt. Een transparante raming komt de communicatie ten goede. Het geeft namelijk een opdeling van het project hetgeen de inzichtelijkheid in het project vergroot. Door het bestuderen van het project op ondergelegen niveaus kunnen problemen mogelijkerwijs in een pril stadium worden ontdekt en gecommuniceerd. Daarnaast worden aannames ten aanzien van onzekerheden, risico's en dergelijke gedaan. Door validatie van deze aannames bij de opdrachtgever kunnen discrepanties boven tafel komen.
In de SSK wordt gesteld dat het opstellen van kostenramingen gedurende de verschillende fasen van een project een tweeledig doel heeft. Het eerste doel betreft het aanreiken van stuur- en beslisinformatie. Op grond van het geraamde bedrag kan de opdrachtgever beslissen of het project al dan niet wordt voortgezet of aangepast. Het tweede doel is het vaststellen van een basis ter referentie en vergelijking. De raming dient als referentiepunt voor volgende ramingen en begrotingen van de opdrachtgever en als toetspunt voor inschrijfsommen of –begrotingen van aannemers bij een aanbesteding.

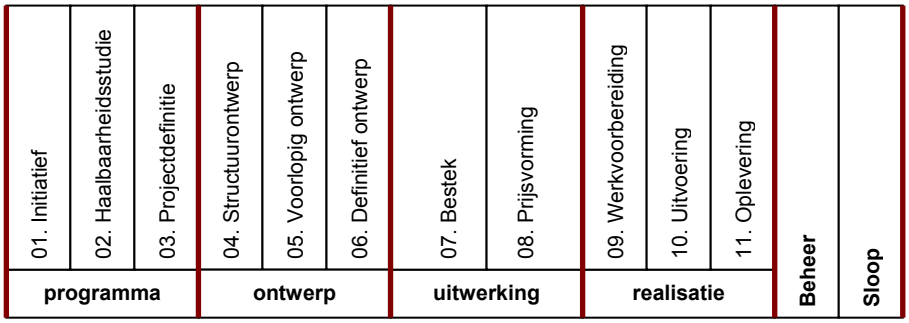
Eisen kostenraming

Teneinde de doelen van een kostenraming te waarborgen zijn eisen aan de raming en het proces van ramen gesteld. In de SSK worden twee hoofdeisen onderscheiden te weten:

1. Een raming moet een zo goed mogelijke prognose van de uiteindelijke investeringskosten van het project en de samenstellende onderdelen zijn. Uit deze eis zijn de volgende subeisen afgeleid:
   - De kostenraming moet gebaseerd zijn op een uitvoerbaar ontwerp.
   - De kostenraming moet compleet zijn.
   - De kostenraming moet inzicht verschaffen in onzekerheden en risico's.
2. Ramingen moeten onderling vergelijkbaar zijn. Uit deze eis zijn de volgende subeisen afgeleid:
   - De kostenraming moet overdraagbaar zijn.
   - De kostenraming moet uniform worden opgesteld zodat:
     - lacunes of dubbeltellingen worden uitgesloten;
     - de opbouw van de raming gelijk is;
     - het prijspeil van alle deelramingen gelijk is;
     - de kostenramingen gebaseerd zijn op identieke uitgangspunten.

Net als bij het ontwerpen wordt bij het ramen gefaseerd gewerkt, sterker nog ontwerpfasen worden afgesloten met een bijbehorende raming. Een algemeen geaccepteerde fasering van het bouwproces is die volgens NEN2574[8], weergegeven in figuur 1. Het transformatieproces van idee tot tastbaar object is onderverdeeld in vier fasen, te weten programma, ontwerp, uitwerking en realisatie. Daarnaast worden de fasen beheer en sloop onderscheiden[9].

[8] NEN2574 "Tekeningen in de bouw"
[9] NEN2634 "Termen, definities en regels voor het overdragen van gegevens over kosten- en kwaliteitsaspecten voor bouwprojecten" hanteert een 5de fase gebruik, onderverdeeld in beheer en sloop.



Figuur 1: Fasering van het bouwproces volgens NEN2574

In de programmafase wordt een haalbaarheidsstudie verricht, bij deze haalbaarheidsstudie is een eerste raming van de projectkosten inbegrepen. In de haalbaarheidsstudie is de beschikbare informatie nog ruw en niet eenduidig. Tijdens de ontwerpfase wordt deze raming door een cyclisch proces van aanvullen, valideren en terugkoppelen uiteindelijk omgezet in een raming van de projectkosten. Het proces van specificeren en valideren is in Bijlage A, hoofdstuk 2.3 grafisch weergegeven.

Ten aanzien van de begrotingsbenamingen bestaat weinig uniformiteit. Het kennisplatform DACE[10], de RVOI, de NEN , en de opdrachtgevers ProRail en RWS[11] gebruiken verschillende termen voor dezelfde begrippen. In de tabellen 1A, 1B, 1C, 1D en 1E zijn voor de bovengenoemde bronnen de benamingen weergegeven.

Fase bouwproces:	Kostenraming:	Bandbreedte:	Statistische betrouwbaarheid:
Fase A	Orde van grootte begroting	+/-40%	60%
Fase B	Studiebegroting	+/-25%	60%
Fase C	Budgetbegroting	-+/-10%	60%
Fase D	Controlebegroting	-+/-05%	60%

Tabel 1A: Begrotingsbenamingen aldus DACE (2003)

Fase bouwproces:	Kostenraming:	Bandbreedte:	Statistische betrouwbaarheid:
RVOI-fase 1: Onderzoek	indicatie	-	-
RVOI-fase 2: Voorontwerp	schatting	-	-
RVOI-fase 3: Definitief Ontwerp	raming	-	-
RVOI-fase 4: Bestek	begroting	-	-

Tabel 1B: Begrotingsbenamingen aldus RVOI (2001)

Fase bouwproces:	Kostenraming:	Bandbreedte:	Statistische betrouwbaarheid:
1. Initiatief	Initiatiefbegroting	-	-
2. Haalbaarheidsstudie	Haalbaarheidsbegroting	-	-
3. Projectdefinitie	Haalbaarheidsbegroting	-	-
4. Structuurontwerp	SO-begroting	-	-
5. Voorlopig ontwerp	VO-begroting	-	-
6. Definitief ontwerp	DO-begroting	-	-
7. Bestek	Directiebegroting	-	-
8. Prijsvorming	Inschrijfbegroting	-	-

Tabel 1C: Begrotingsbenamingen aldus NEN2634 (2002)

[10] Dutch Association of Cost Engineers
[11] Bij het ramen van projectkosten in de diverse fasen maakt Rijkswaterstaat gebruik van de zogenaamde PRI-methodiek. De methodiek is in 1995 ontwikkeld en in 2003 geactualiseerd met het uitbrengen van de PRI-2003.

Fase bouwproces:	Raming op basis van:	Bandbreedte:	Statistische betrouwbaarheid:
Initiatieffase, Verkenningsfase	Verkenningsnotitie	+/- 40%	70%
Voorstudiefase	Startnotitie	+/- 30%	70%
Traject - studiefase	Trajectnota, OTB, TB	+/- 20%	70%
Plan uitwerkingsfase	Goedgekeurd ontwerp	+/- 10%	70%
Besteksfase	Bestek	+/- 5%	70%

Tabel 1D: Fasering ProRail volgens besluitvormingswijzer DGP/DGG - NS RIB (2005)

Fase bouwproces:	Raming op basis van:	Bandbreedte:	Statistische betrouwbaarheid:
(≈ Programma fase NEN2574)	Verkenning	+/- 50%	-
(≈ Programma fase NEN2574)	Startnotitie	+/- 50%	-
(≈ Ontwerp fase NEN2574)	Trajectnota	+/- 25%	-
(≈ Ontwerp fase NEN2574)	(Ontwerp) Tracébesluit	+/- 15%	-
(≈ Uitwerking fase NEN2574)	Realisatiebesluit	+/- 10%	-
(≈ Realisatie fase NEN2574)	Oplevering	n.v.t.	-

Tabel 1E: Fasering RWS volgens PRI-2003

Ten aanzien van de afwijking tussen de raming en de werkelijke kosten (bandbreedte) zijn eveneens eisen opgesteld. Het spreekt voor zich dat naarmate het projectontwerp vordert de raming accurater moet worden. Afhankelijk van de opdrachtgever worden eisen gesteld aan de nauwkeurigheid van de raming, ProRail stelt eisen welke in tabel 1D zijn opgenomen[12]. De statistische betrouwbaarheid geeft aan in hoeveel procent van de gevallen de projectkosten binnen de bandbreedte van de raming moet vallen. Het mag duidelijk zijn dat deze eisen enkel toetsbaar zijn door nacalculatie in een multiprojectsituatie.

2.2 Methoden om kosten te ramen

Verschillende manieren zijn voorhanden om te ramen, twee hoofdstromen worden onderkend. Ashworth (1988) classificeert twee typen modellen: 1) deterministische en 2) probabilistische modellen. Bij deterministische modellen wordt verondersteld dat de uitkomst van het model exact kunnen worden voorspeld op basis van de invoer van het model. Probabilistische modellen onderkennen onzekerheid in de variabelen en maken gebruik van waarschijnlijkheidsleer om de uitkomst te voorspellen.
In de periode 1992-1994 is bij Rijkswaterstaat het Project Ramingen Infrastructuur (PRI) uitgevoerd met als doel aanbevelingen te doen om de kwaliteit van de raming van Rijkswaterstaatprojecten te verbeteren. Een inventarisatie en categorisatie van ramingmethodieken maakte onderdeel uit van het onderzoek, de resultaten zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

Methode	Niveau
De deterministische methode	Niveau-I
De (verfijnde) benaderende probabilistische methode	Niveau-II
De exacte probabilistische methode	Niveau-III

Tabel 2: Geïnventariseerde ramingsmethodieken

➢ **Deterministische methode (Niveau I)**

Reeds vele decennia worden wereldwijd ramingen gemaakt om de te verwachte projectkosten te berekenen. Hiertoe worden hoeveelheden bepaald en vermenigvuldigd met (eenheids)prijzen, waarna door sommatie tot een totaalbedrag wordt gekomen. Aanvullend wordt historische informatie (ervaring) over "onvoorziene" kosten gebruikt om de raming te compenseren tot een reële verwachtingswaarde. Deze traditionele methode staat bekend als de deterministische methode [Vrijling et al. 2005].
Bij de deterministische methode wordt via rekenschema's de raming bepaald. Om risico's en onzekerheden toch op te nemen wordt een aparte post "post onvoorzien" in de raming opgenomen, op basis van kennis en expertise wordt de hoogte van deze post bepaald. Op overeenkomstige wijze wordt op basis van ervaring en inzicht in één keer een standaardafwijking (ook wel marge genoemd) voor de gehele raming geschat. De aan te houden waarden voor het onvoorziene deel en de bijbehorende marge worden later aangegeven afhankelijk van de fase waarin het project zich bevindt. Deze aanpak

[12] Holland Railconsult voert veel werk uit in opdracht van ProRail.

wordt vaak aangeduid als een “black box” methode omdat de schatting plaatsvindt zonder inzicht in het project anders dan op grond van de projectfase [Vrijling et al. 2005].

- **De benaderende probabilistische methode (Niveau II)**

De toenemende vraag naar inzicht in de trefzekerheid[13] van ramingen met een geringe soms zelfs minimale hoeveelheid gegevens heeft, aanvullend op de traditionele vorm, de probabilistische raming doen ontstaan [PRI 1995].
Het doel van de benaderende probabilistische methode is het vaststellen van het ramingbedrag en de bijbehorende onzekerheid, uitgaande van de onzekerheid van de samenstellende onderdelen. In de benaderende methoden worden de normale onzekerheden alleen vastgelegd door het gemiddelde en de standaardafwijkingen. De vorm van de kansdichtheidsfunctie (bijvoorbeeld scheef naar links) wordt niet in aanmerking genomen. Het voordeel is dat de benodigde formuleringen zo eenvoudig blijven dat deze met de hand of met een spreadsheet kunnen worden berekend. Het inzicht blijft hierdoor behouden hetgeen bij toepassing van geavanceerde computermodellen soms verloren gaat [Vrijling et al. 2005].

- **De verfijnde benaderende probabilistische methode (Niveau II)**

De verfijnde benaderende methode wordt frequent toegepast bij betrouwbaarheidsanalyses van ramingen, Met deze methode kunnen andere dan normale verdelingen in beschouwing worden genomen mits ze continu zijn. Een bijzondere gebeurtenis geeft problemen.
Bij de verfijnde benaderende methode wordt de raming beschouwd als een wiskundige functie van de hoeveelheden, prijzen, toeslagen en dergelijke. Voor al deze variabelen wordt de onzekerheid vormgegeven door de bijpassende kansdichtheidsfunctie (kdf). Door een computerprocedure worden niet-normale kansdichtheidsfuncties (kdf’s) omgezet in (standaard) normale verdelingen. Een nadeel van niveau II programma’s is dat discrete (niet-continue) kdf’s niet in de berekening kunnen worden opgenomen [Vrijling et al. 2005].

- **Exacte probabilistische methode: Monte Carlo simulatie (Niveau III)**

De Monte Carlo methode is een manier om met behulp van de computer mogelijke uitkomsten van de raming te genereren. Bij de Monte Carlo simulatie worden voor alle variabelen uit de exacte kdf’s random waarden getrokken; vervolgens wordt het totale ramingsbedrag berekend en weggeschreven. Deze procedure wordt een groot aantal keren (veelal 10.000) herhaald, omdat een grotere steekproef tot betrouwbaardere uitkomsten leidt. Uit de realisaties van het ramingsbedrag kan een goede indruk van de verwachtingswaarde en spreiding worden verkregen. Bovendien kan met deze getallen een histogram van de raming worden geconstrueerd, waardoor een beeld van de kdf van de raming ontstaat.
Het gebruik van computers en software is onontbeerlijk bij rekenen met spreiding rondom getallen. Op basis van inputgegevens per post wordt voor het project een gemiddelde waarde (μ) berekend met een standaardafwijking (σ). Verder is het ook mogelijk om via simulatiesoftware te berekenen welke gemiddelde waarde de kansdichtheidsfunctie heeft [Vrijling et al. 2005].

Toepassing methoden

Tot halverwege de jaren negentig berustte het uitvoeren van een investeringsraming op louter deterministische (vaststellende) principes. Het schatten van posten werd gedaan door het opgeven van één meest aannemelijke waarde. De bepaling van een reserve om onvoorziene gebeurtenissen op te kunnen vangen, berustte eveneens op hetzelfde principe. Per bedrijf zijn vele varianten ontstaan, doch alle gebaseerd op dezelfde onderliggende methodiek. Tegenwoordig is een meer probabilistische kijk op het ramen in zwang geraakt. De probabilistische zienswijze is de laatste jaren met de publicatie van de “Standaardsystematiek Kostenramingen in de GWW” pas goed tot ontwikkeling gekomen. In de SSK zijn de basisprincipes van het probabilistisch ramen uiteengezet.
De verwachting is dat de SSK binnen afzienbare tijd de standaard zal worden wat betreft het ramen van kosten in de GWW-sector. Steeds frequenter wordt op aandringen van toonaangevende opdrachtgevers, zoals ProRail en RWS de methodiek voorgeschreven[14].

[13] Ten aanzien van de term trefzekerheid worden in de PRI en SSK verschillende definities gehanteerd. Definitie trefzekerheid volgens de PRI: is haalbaarheid/ betrouwbaarheid. In de SSK wordt onder trefzekerheid een bandbreedte met het corresponderende een betrouwbaarheidsinterval verstaan.
[14] De gedachte heerst dat de methode is uitontwikkeld. Het tegendeel is echter waar, de methode is nog volop in ontwikkeling., zeker voor civieltechnische begrippen is de probabilistische ramingsmethodiek een relatief jonge methode.

2.3 Deterministisch Ramen DR (traditioneel ramen)

Het "traditioneel ramen" is een zuiver deterministische methode die van oudsher in Nederlandse GWW-sector wordt toegepast. Traditioneel ramen en deterministisch ramen worden vaak als synoniem gebuikt. Het fundament van de traditionele raming bestaat uit een gedegen projectdecompositie. Bij grotere en/of complexere projecten wordt het project opgedeeld in componenten en deelcomponenten. Deelcomponenten kunnen indien nodig worden opgedeeld in kleinere handzame elementen. De mate van opdeling is afhankelijk van de aard, omvang en complexiteit van een project [Markensteijn 2005]. De projectdecompositie staat aan de basis van de planning en de kostenbewaking [Hedeman et al. 1999].[15]

Ramen op regelniveau

Ongeacht de wijze van ramen leidt projectdecompositie tot een serie kostenposten. Waarbij de grootte, of reikwijdte van de decompositie, door de kostendeskundige[16] zelf wordt bepaald. Bij DR wordt op basis van "prijs" en "hoeveelheid" voor alle posten (of regels) van de raming één meest waarschijnlijke waarde berekend. Het bepalen van de voorziene kosten op regelniveau gebeurt op basis van kennis en expertise. De kostendeskundige bepaalt de hoeveelheden van tekening en vermenigvuldigt deze met de eenheidsprijs uit een database. In het prille ontwerpstadium staat nog geen concrete oplossing vast. De raming is daardoor onvolledig, door de blinde vlekken af te schatten in de post "nader te detailleren" kan toch een raming op basis van schetsontwerpen gemaakt worden.

Omgaan met risico's en onzekerheden

In de DR zijn speciaal voor het verwerken van onzekerheden en risico's twee aparte posten opgenomen, respectievelijk de post "nader te detailleren" en de post "onvoorzien". Door invulling te geven aan deze posten is de kostendeskundige in staat onzekerheden en risico's die met het project verbonden zijn af te ramen.

De post "onvoorzien" is een kostenpost die in de raming wordt opgenomen ter dekking van risico's en onzekerheden die binnen de projectscope vallen. Het betreffen (extra) kosten die al dan niet aan vastgestelde objecten in de kostenraming kunnen worden gekoppeld. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan een archeologische vondst of de consequentie van het verkeerd interpreteren van sondeergegevens. In de traditionele situatie word de post onvoorzien door de opdrachtgever opgevat als een voorziening en aangewend om meerwerk-claims te kunnen opvangen. In het DR wordt voor de post "onvoorzien" een percentage van de basisraming genomen. Afhankelijk van het risicoprofiel van het project en de projectfase wordt het percentage door de kostendeskundige vastgesteld, waarbij in de besteksfase veelal een percentage van 5 a 10% wordt gehanteerd. De kantekening dient geplaatst te worden dat in de traditionele situatie kleine scopewijzigingen in de regel door het aanwenden van de post onvoorzien werden geaccepteerd. De opdrachtgever kan desgewenst via de "reserve extern onvoorzien" dekking geven aan risico's die zogezegd buiten de projectscope vallen.

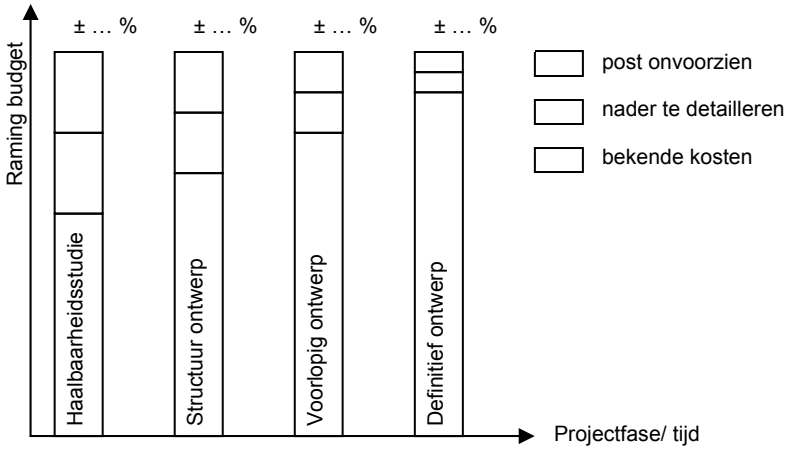
De deterministisch bepaalde bandbreedte bestaat uit een percentage van de basisraming en weerspiegelt de accuratie van de raming. De basisraming kan worden gezien als de sommatie van alle voorziene kosten van het project, inclusief de posten "nader te detailleren" en "onvoorzien". De bandbreedte wordt niet vertaald in budget. Het percentage wordt door de kostendeskundige bepaald op basis van het risicoprofiel en de fase waarin het project zich bevindt.

Totaalraming

De totaalraming van het project bestaat uit de sommatie van de kosten op regelniveau en de post onvoorzien, gecomplementeerd met een de bandbreedte rondom deze sommatie. Het resultaat is een prognose van de projectkosten gegeven door één totaalsom. De ideale situatie waarin de raming in de loop der tijd constant blijft, is in figuur 2 weergegeven. Hierin fungeren de bekende kosten, het nader te detailleren en de onvoorziene kosten gedurende de uitwerking van het ontwerp als communicerende vaten.

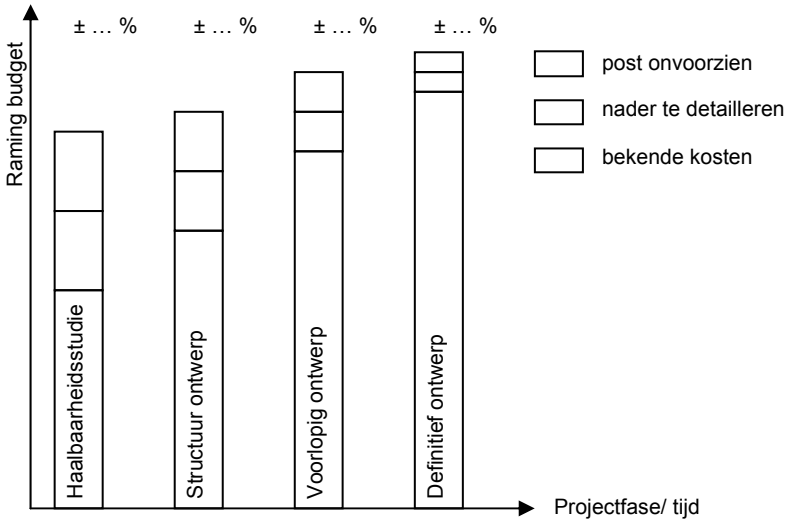
[15] Het hoeven niet de laagste componenten van de planning of kostenbewaking te zijn. Voor de beheersing van tijd en geld kan een gedetailleerder beheersing soms wenselijk zijn. Het is nuttig op te merken dat projectdecompositie in het verleden vaak door de opdrachtgever zelf werd gedaan door het op de markt brengen van complete RAW- of STABU-bestekken.

[16] In dit rapport wordt om schijftechnische redenen enkelvoud aangehouden in plaats van kostendeskundige(n)



Figuur 2: Het gewenste verloop van ramen

Uit onderzoek van ondermeer Flyvbjerg et al. (2002) en Janssen et al. (2003) blijkt dat in veel gevallen de raming wel degelijk hoger uitvalt naarmate de tijd verstrijkt. Een voorstelling van het werkelijke verloop van het ramingsproces, bijvoorbeeld als gevolg van scopeontwikkelingen, is afgebeeld in figuur 3.



Figuur 3: Het werkelijke verloop van ramen (t.g.v. scopeontwikkelingen)

Kenmerken DR

Met het DR zijn voor- en nadelen verbonden. Het voornaamste voordeel van DR aldus de kostendeskundigen werkzaam bij Holland Railconsult is de ruime ervaring die met de ramingsmethodiek is opgedaan, het is een vertrouwde en gerenommeerde methode. Het tweede voordeel is dat het een relatief eenvoudige wijze van ramen is waardoor in vergelijking met andere methoden tijd en/of geld bespaard blijft. De keerzijde is echter dat de verwerking van risico's en onzekerheden in de ramingen een gesloten en subjectief proces blijft.

Voordelen	Nadelen
Tijdsextensief	Een black box methode t.a.v. risico's en onzekerheden
Vertrouwde gerenommeerde methode	Bandbreedte subjectief/op ervaring gebaseerd

Tabel 3: De voornaamste kenmerken van DR.

2.4 Probabilistisch Ramen PR

Onder de statistische/probabilistische werkwijze wordt verstaan: een werkwijze waarbij de bandbreedte van de raming van investeringskosten berekend wordt uit de expliciet veronderstelde kansverdelingen (spreidingen) die de kostenramer per ramingsonderdeel heeft opgegeven. Evenals bij het DR ligt een gedegen projectdecompositie aan de basis van het PR.

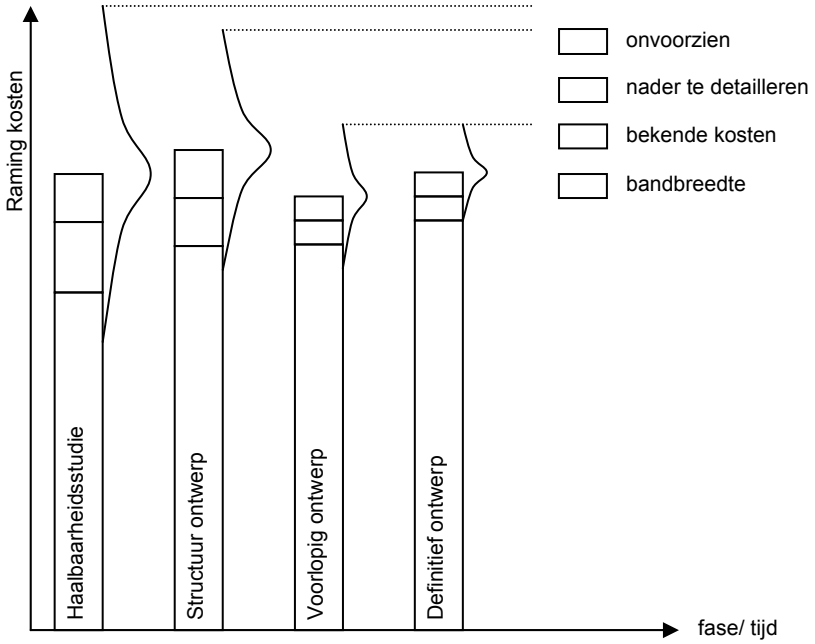
Ramen op regelniveau
Het PR gaat uit van de aanname dat de kwaliteit van de raming dient toe te nemen naarmate meer informatie over de onderliggende delen wordt opgenomen. Geheel in overeenstemming met deze veronderstelling wordt op regelniveau rondom “prijs” en “hoeveelheid” niet één maar meerdere waarden ingevoerd. Het product van deze grootheden (prijs en hoeveelheid) resulteert net als bij het DR in de geraamde kosten op regelniveau.

Omgaan met risico’s en onzekerheden
Naast het prognosticeren van de kosten door het ramen van prijs en hoeveelheid is er nog een opmerkelijk verschil aanwezig in vergelijking tot het DR. Het PR onderscheidt zich door op regelniveau ruimte te beiden voor onzekerheden. In de SSK wordt gesteld dat bij het DR de kostendeskundige uitgaat van een impliciet veronderstelde kansverdeling van de ramingsonderdelen. In de statistische/probabilistische werkwijze worden deze veronderstelde kansverdelingen per ramingsonderdeel expliciet gemaakt. Dit wordt bewerkstelligd door aan zowel de prijs als de hoeveelheid kansdichtheidsfuncties te koppelen.
Naast onzekerheden worden bij het PR risico’s zoveel mogelijk expliciet in de raming verwerkt. Geïdentificeerde risico’s worden apart in de raming opgenomen door van elk van deze risico’s de waarschijnlijkheid van optreden en de financiële consequenties bij optreden in te schatten. Het product van de geschatte kans en financiële gevolg wordt als reservering voor het betreffende risico in de raming opgenomen. Desgewenst kan de onzekerheid in de aanname worden meegenomen door beide grootheden (kans en gevolg) te koppelen aan een kansdichtheidsfunctie.

Afhankelijkheid
Afhankelijkheid (of correlatie) tussen de posten neemt bij het probabilistisch ramen een prominente positie in. De aanname ten aanzien van de afhankelijkheid tussen de posten heeft een invloed op de spreiding van de totaalraming. Om praktische redenen worden probabilistische ramingen in de praktijk of afhankelijk of onafhankelijk doorgerekend. Gedeeltelijke afhankelijkheid is lastig te onderbouwen, waardoor het eveneens moeilijk is om een gedegen onderbouwing van de bandbreedte te geven.

Totaalraming
In het PR wordt de raming van het project afgesloten door het geven van een bandbreedte rond de verwachtingswaarde (μ) van de raming in combinatie met het corresponderende betrouwbaarheidsinterval. De bandbreedte wordt gedefinieerd door [μ-kσ] als ondergrens en [μ+kσ] als bovengrens te hanteren. Het betrouwbaarheidsinterval van de bandbreedte is afhankelijk van de keuze van *k* en wordt door de kostendeskundige in overleg met de opdrachtgever bepaald. Veelal wordt daarbij een bandbreedte met een betrouwbaarheidsinterval van 70%[17] gekozen, omdat bij dit interval *k* gelijk is aan één. Hét verschil ten opzichte van het DR is dat de bandbreedte een berekende waarde is in plaats van een geschatte waarde.
Naarmate het ontwerpproces vordert krijgt de kostendeskundige de beschikking over gedetailleerdere gegevens waardoor de deelramingen nauwkeuriger worden en daarmee tevens de totaalraming. Het inzicht in het project vergroot waardoor de bandbreedte na elke fase van de raming smaller wordt. Het theoretische verloop van de kostenraming in de tijd is weergegeven in figuur 4.

[17] Er wordt gesproken van 70%, de exacte waarde is bij een normale verdeling echter 68,34%



Figuur 4 : Een realistisch verloop van de kosten gedurende de fasen

Kenmerken PR

Voor een deterministische raming hoeft alleen een (subjectieve) inschatting van de toeslagpercentages en de bandbreedte te worden geleverd. Een probabilistische raming vereist meer input en is dus arbeidsintensiever aldus de kostendeskundigen in dienst van Holland Railconsult. Een probabilistische raming resulteert in een wetenschappelijk ogende presentatie. Dit suggereert een zekerheid die er niet altijd is. De uitkomst van een probabilistische raming is gebaseerd op input die voor een deel moet worden geschat door de kostenramer. Uiteindelijk geldt hiervoor dezelfde waarschuwing als bij deterministische ramingen, namelijk: “garbage in, garbage out” [Markensteijn 2005]. Het probabilistisch ramen is een relatief jonge methode waardoor de kans aanwezig is dat de methodiek nog niet volledig is uitontwikkeld. Desalniettemin zijn twee voordelen aan de methodiek verbonden, ten eerste het expliciet vastleggen van risico’s en onzekerheden verbetert de risicobeheersing. Ten tweede resulteert de systematiek in een onderbouwde bandbreedte.

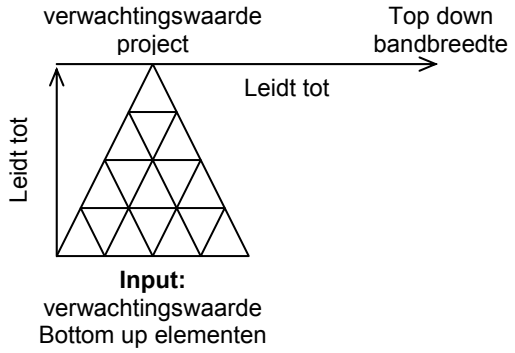
Voordelen	Nadelen
Risicobeheersing	Jonge methode, relatief weinig ervaring
Wiskundig onderbouwde bandbreedte	De kwaliteit van de bandbreedte (onderbouwing aannamen m.b.t. afhankelijkheid)
	Tijdintensief
	Kans op schijnnauwkeurigheden (a.g.v het rekenen met kdf’s)

Tabel 4: De voornaamste kenmerken van DR

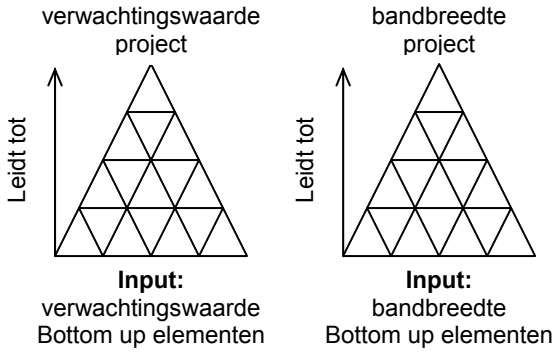
2.5 Verschillen en overeenkomsten DR en PR

Ten aanzien van de methodiek voor het bepalen van de verwachtingswaarde van de raming ontlopen de deterministische en de probabilistische methoden elkaar weinig. Beide ramingsmethodieken gaan uit van een zogenaamde “bottom up” benadering. De raming van de verwachtingswaarde van het project komt tot stand door het project op te splitsen in kleine beheersbare elementen en deze elementen vervolgens te ramen en te sommeren.

Ten aanzien van het bepalen van de bandbreedte verschillen beide methodieken terdege. Bij een deterministische raming wordt de bottom up berekende verwachtingswaarde als uitgangspunt gehanteerd. De bandbreedte wordt bepaald als een percentage van de verwachtingswaarde afhankelijk van de projectfase. De percentages die worden gehanteerd zijn bepaald op basis van kennis en expertise. De berekening van de bandbreedte geschiedt dus niet bottom up maar juist top down. Doordat decennia lange ervaring met het deterministisch ramen is opgedaan is zowel bij de kostendeskundigen als bij de opdrachtgever ruime ervaring met het deterministisch ramen opgedaan. Bij het probabilistisch ramen wordt naast de verwachtingswaarde van het project, ook de bandbreedte van het project bottom up berekend. In de figuren 25 en 26 zijn de verschillen en overeenkomsten inzichtelijk gemaakt.



Figuur 25: deterministisch ramen



Figuur 26: probabilistisch ramen

Het probabilistisch ramen gaat uit van de interessante gedachte dat de bandbreedte van de totale raming bottum up te berekenen is.

2.6 Standaardsystematiek Kostenramingen

Zeker voor civieltechnische begrippen is de SSK een relatief jonge methode. Desalniettemin wordt al veel van de methode verwacht, het is nog maar de vraag of aan de gestelde verwachtingen voldaan kan worden.

2.6.1 De onderdelen/kenmerken SSK

Het CROW heeft onder auspiciën van vooraanstaande opdrachtgevers en adviesbureaus in de civiele branche gewerkt aan het standaardiseren van ramingsmethodiek. Onder de naam Standaardsystematiek Kostenramingen in de GWW-sector kreeg het initiatief handen en voeten. Het leidde in juli 1999 tot de publicatie van CROW-publicatie 137, getiteld 'Wat kost dat?'. In Juni 2002 werd de verbeterde 2de druk van dezelfde publicatie uitgebracht.
Het doel van de "Standaardsystematiek Kostenramen in de GWW" is ondubbelzinnig; de SSK is ontwikkeld om te fungeren als dé standaard ten aanzien van het ramen van kosten in de GWW-sector. De inhoud van de SSK is afgestemd op dit doel, uniformiteit en eenduidigheid in begrippen zijn belangrijke pijlers.

De standaardsystematiek voor het ramen van investeringskosten bestaat uit vier onderdelen. De eerste drie onderdelen zijn met elkaar verweven, het laatste deel is complementair en wordt in dit rapport buiten beschouwing gelaten. De onderdelen zijn:
- Een uniform raamwerk projectopdeling.
- Een standaardindeling van de kostenraming (met begrippenkader voor kostensoorten en kostencategorieën).
- Een uniform begrippenkader voor risico's en onzekerheden.
- Een uniforme ordening van objecten en onderdelen van objecten (objectenbibliotheek).

1. Raamwerk projectopdeling

Projectdecompositie is een belangrijk onderdeel in het proces van ramen. In de SSK wordt gesteld dat aan de hand van specifieke kenmerken van het project en wensen van de opdrachtgever wordt afhankelijk van het project gekomen tot een opdeling in projectdelen, bouwdelen clusters en dergelijke. Een projectafhankelijke opdeling:
- verbetert de overzichtelijkheid;
- biedt een raamwerk voor onderbouwing kosten;
- geeft handvat bij beoordeling alternatieven;
- geeft houvast bij volgen van ontwikkelingen in de tijd.

2. Uniforme investeringsmodel

Het komt de onderlinge communicatie ten goede als alle disciplines die een deelraming voor een project aanleveren, dezelfde ramingsopbouw hanteren. Een algemeen geaccepteerde, uniforme standaard bestond binnen de GWW-branche echter tot voor kort nog niet, in de SSK wordt een uniform investeringsmodel gepresenteerd. Het investeringsmodel is dusdanig opgezet dat voor elk willekeurig project de kosten op een overzichtelijke wijze worden opgenomen. Een onderverdeling tussen kostensoorten en -categorieën is gemaakt, waarbij zoveel mogelijk een objectgerelateerde indeling wordt nagestreefd. In figuur 5 is het investeringsmodel weergegeven, ter verduidelijking in werkelijkheid zal bijvoorbeeld de categorie “bouwkosten” onderverdeeld zijn in subcategorieën met elk een reeks objecten.

	KOSTENSOORTEN / Kostencategorieën	Voorziene kosten: directe kosten: bekend	Voorziene kosten: directe kosten: nader te detailleren	Voorziene kosten: indirecte kosten: bekend	Voorziene kosten: indirecte kosten: nader te detailleren	Onvoorziene kosten	Totaal
raming van het project binnen de gegeven project-scope	Bouwkosten	X	X	X	X	X	Σ
	Vastgoedkosten	X	X	X	X	X	Σ
	Engineeringskosten	X	X	X	X	X	Σ
	Overige bijkomende kosten	X	X	X	X	X	Σ
	Basisraming	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ
	Project Onvoorzien					X	.....
	Investeringskosten, excl. BTW	.....	.....	.....	.....	Σ	Σ
	BTW						X
	Investeringskosten, incl. BTW	prijspeil: X (dd.mm.jj)					Σ
	Bandbreedte X — X bij X % betrouwbaarheidsinterval						
bepaling van het budget t.b.v. financiering	Onzekerheidsreserve						X
	Reserve extern onvoorzien						X
	TOTAAL AAN TE HOUDEN VOOR BUDGETDOELEINDEN						Σ

Legenda:

X verantwoordelijkheid kostenramer

X verantwoordelijkheid financier

Figuur 5: Verzamelmatrix van het investeringsmodel

In de SSK wordt het ramen per object (conform de projectopdeling) aangehangen. De eerste verdeling die wordt gemaakt is een onderverdeling naar voorziene en onvoorziene kosten. Bij de voorziene kosten worden nog twee onderliggende niveaus onderscheiden. Ten eerste wordt er onderscheid gemaakt in directe dan wel indirecte kosten. Beide kostensoorten worden nog onderverdeeld in bekend en nader te detailleren.
Een vijftal kostencategorieën wordt onderscheiden, waarbij de eerste vier categorieën samen de basisraming vormen:
- Bouwkosten
- Vastgoedkosten
- Engineeringkosten
- Overige bijkomende kosten
- Project onvoorzien

De financier voegt desgewenst aan de raming van de investeringskosten een onzekerheidsreserve en een reserve extern onvoorzien toe, ter vastlegging van een budget. Met de onzekerheidsreserve vermindert de financier de kans op overschrijding van de raming van investeringskosten. Door gebruik te maken van de reserve extern onvoorzien zoekt de financier dekking voor projectonzekerheden die buiten de scope van het project vallen. Op basis van de geaccepteerde overschrijdingskans bepaalt de opdrachtgever de onzekerheidsreserve.

3. Begrippenkader voor risico's en onzekerheden

In elke raming spelen risico's en onzekerheden een rol. In de SSK wordt een methode aangereikt om op een eenduidige manier met risico's en onzekerheden om te gaan, in de SSK worden drie soorten onzekerheden onderscheiden[18]. De eerste slag onzekerheden betreft beslisonzekerheden, over het algemeen zijn dit onderzekerheden die betrekking hebben op de keuze van varianten. De tweede groep onzekerheden zijn kennisonzekerheden, onzekerheden binnen de projectscoop. Vaak betreft het hier onzekerheden over hoeveelheden of prijzen. Tenslotte zijn er toekomstonzekerheden, onzekerheden die veelal buiten de baseline van het project maar binnen de projectscope vallen. Deze onzekerheden worden vaak gekenmerkt door een kleine kans van optreden en groot financieel gevolg.

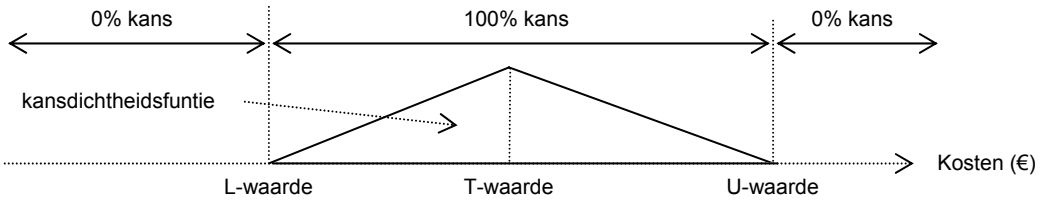
	Onzekerheden	Voorbeeld	
1	Beslisonzekerheden	Keuze tussen in varianten	(scope)
2	Kennisonzekerheden	Onzekerheid in hoeveelheden en/of prijzen	(onzekerheden)
3	Toekomstonzekerheden	Bijzondere gebeurtenissen	(risico's)

Tabel 5: Drie soorten onzekerheden

In de SSK is een zogenaamd stroomschema opgenomen waarmee op eenvoudige wijze in kaart is gebracht hoe risico's en onzekerheden al dan niet in de raming kunnen worden opgenomen. Met name bij risicoanalyses is dit een handig hulpmiddel. In Bijlage L is het stroomschema opgenomen. Ten aanzien van de vertaling van risico's en onzekerheden in bandbreedte is een verbeterslag in het stroomschema te maken, deze verbeterslag is uitgewerkt in bijlage M.

2.6.2 Het theoretische kader

Iedere raming van een eenheidsprijs, stuksprijs of hoeveelheid heeft een zekere spreiding of kansverdeling. Voor het karakteriseren van de bandbreedte wordt in de statistiek vaak de standaardafwijking (σ) gebruikt, hiermee wordt per definitie de spreiding rond het gemiddelde (μ) bedoeld. Wanneer een kostendeskundige in staat is voor iedere ramingspost (of andere geschatte grootheid) een σ en een μ te geven, dan is daarmee duidelijk welke spreiding of bandbreedte hij hanteert [SSK bijlage V]. Ter illustratie zijn de begrippen aan de hand van een (normale) kansverdeling afgebeeld in figuur 8.
De kostendeskundige zal echter meestal een modale (meest waarschijnlijke) waarde opgeven. De vorm van de kansverdeling dan wel de standaardafwijking zijn voor hem veelal onbekend. In de SSK wordt gesteld dat de kostendeskundige bij voorkeur de spreiding van de ramingspost karakteriseert met drie getallen: een minimum een maximum en een modale waarde. In de SSK wordt gesproken over LTU-waarden, waarbij de L staat voor *laagste* waarde, de U voor *uiterste (hoogste)* waarde en tenslotte de T voor *top* of meest aannemelijke waarde. Door het geven van drie in plaats van één waarde wordt per regel extra informatie geleverd. Deze additionele informatie stelt de kostendeskundige in staat om op een wiskundig verantwoorde wijze om te gaan met de onzekerheid op regelniveau.
Ter illustratie: stel dat een kostendeskundige op basis van een schetsontwerp een brugleuning moet ramen. Het schetsontwerp geeft geen uitsluitsel, de deskundige is door het PR in staat een differentiatie aan te brengen. De kostenramer kan verschil aanbrengen door het geven van de meest waarschijnlijke prijs (een standaard brugleuning), de minimale prijs (een plastic afscheiding) en de maximale prijs (een luxe brugleuning).
Door het opgeven van het maximum en het minimum worden tegelijkertijd de uiterste waarden gegeven. De SSK maakt gebruik van dit feit en stelt dat de werkelijke kosten op regelniveau zich bevinden in het gebied ingesloten door het maximum en het minimum, ofwel de L- en U-waarden. Deze gedachtegang staat centraal in het probabilistisch ramen en is grafisch weergegeven in figuur 6.



Figuur 6: LTU-benadering

[18] De term onzekerheid is overigens uiterst ongelukkig gekozen, het wekt de suggestie dat risico's buiten beschouwing worden gelaten. Terwijl het juíst de bedoeling van de methodiek is om een zo volledig mogelijke inventarisatie van zowel kansen, risico's als onzekerheden te maken.

De formules 1 en 2 geven weer hoe het gemiddelde μ en de spreiding σ wordt afgeleid op basis van de geraamde LTU-waarden.

Formule 01 $$\mu = \frac{L+T+U}{3}$$

Formule 02 $$\sigma = \sqrt{\frac{L^2+T^2+U^2-LT-LU-TU}{18}}$$

Probabilistisch ramen per kostensoort
De LTU-benadering is een benadering die op elk niveau in de raming kan worden toegepast. Afhankelijk van de kostensoort worden in de SSK drie alternatieve wijzen van ramen onderscheiden, te weten:
- ramen door het schatten van prijs en hoeveelheid;
- ramen door gebruik te maken van een opslagpercentage;
- ramen door kans x gevolg berekeningen.

Ter verduidelijking is in figuur 7 de onderverdeling in kostensoorten afgebeeld, zie ook bijlage L.

Voorziene kosten (VK)				**Onvoorziene kosten**	**Project Onvoorzien**
Directe Kosten (DK)		Indirecte Kosten (IK)			
bekend	*n.t.d.*	*bekend*	*n.t.d.*		
HxP	*HxP en/óf Opslag*	*HxP*	*HxP en óf Opslag*	*HxP en/óf Opslag en/óf Kans x Gevolg*	*HxP en/óf Opslag en/óf Kans x Gevolg*

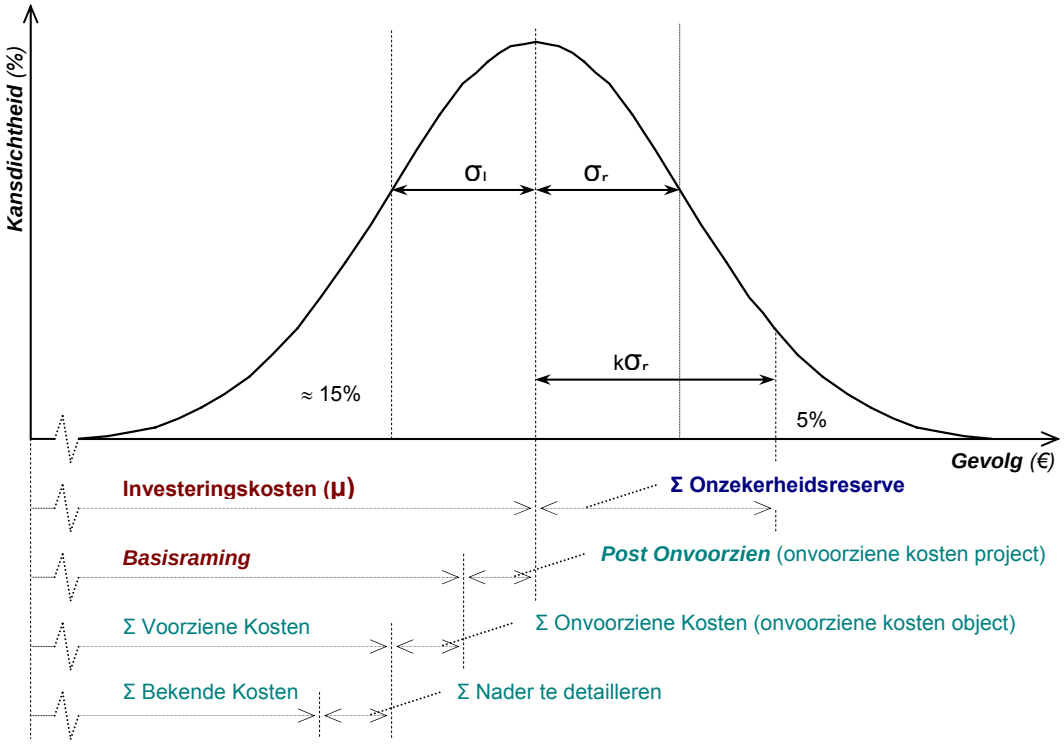
Figuur 7: kostensoorten

De (bekende voorziene) kosten per (deel)object worden geraamd door het opgeven van LTU-waarden. Wanneer de gegevens onvoldoende zijn uitgewerkt en het in de fase niet lonend wordt bevonden om deze verder uit te werken kan de kostendeskundige door middel van een opslagpercentage de post "nader te detailleren" aanwenden. Ter dekking van kleinere niet benoemde gebeurtenissen en ter dekking van bijzondere gebeurtenissen kan de post onvoorziene kosten per (deel)object middels een opslagpercentage in worden verhoogd. De voorziene kosten worden onderverdeeld in directe en indirecte kosten.
Het "project onvoorzien" kan worden gebruikt ter dekking van toekomstonzekerheden (bijzondere gebeurtenissen) die niet zijn toe te wijzen aan een specifiek (deel)object of kostencategorie. De gebeurtenissen worden in risicoanalyses geïnventariseerd en zijn vaak onverwacht en meestal ongewenst. Dergelijke gebeurtenissen hebben doorgaans een kleine kans van optreden maar kunnen voor het project een aanmerkelijk financieel gevolg hebben. Geïnventariseerde bijzondere gebeurtenissen worden gekwantificeerd door het product van de geschatte kans van optreden en de financiële consequentie in het "object onvoorzien" of "project onvoorzien" onder te brengen. Het betreffen zogenaamde "kans maal gevolg" berekeningen.

2.6.3 Totaalraming

Het meest tot de verbeelding sprekende verschil tussen DR en PR is de wijze waarop de invoer wordt verwerkt tot een totaalraming. Doordat bij het DR de kostenramingen op regelniveau bestaan uit één enkel getal resulteert de sommatie van alle deelramingen tot een totaalraming. Bij het PR ligt dit door de vastgelegde kansverdelingen gecompliceerder. Om tot een voorspelling van de totaalraming te komen wordt gebruikgemaakt van een Monte Carlo simulatie (MCS). Voor het uitvoeren van MCS's zijn diverse programma's op de markt. De uitkomsten van de analyse worden zowel numeriek als grafisch gegeven. Numeriek worden de volgende waarden gegeven:
- de kleinste realisatie, het minimum;
- het gemiddelde (μ_{raming});
- de mediaan waarde, de waarde waarvoor geldt dat de onder- en overschrijdingskans 50% is;
- de modale waarde;
- de standaardafwijking (σ_{raming});
- de 5% en 15%-ondergrens;
- de 5% en 15%-bovengrens.

De grafische uitvoer van de programmatuur is kdf in de vorm van een histogram. De kdf heeft over het algemeen de vorm van een normale verdeling en geeft inzicht in de spreiding. In figuur 8 is een normale verdeling afgebeeld, voor de begripsvorming zijn de termen van het investeringsmodel, zie figuur 5, eveneens in de figuur opgenomen.



Figuur 8: Bijdrage kostensoorten

Wanneer bij PR een MCS wordt uitgevoerd dan wordt tevens een tornadodiagram gegenereerd. In dit diagram is in afnemende volgorde per post de individuele bijdrage aan de bandbreedte afgebeeld. Deze grafiek wordt omwille van de vorm een 'tornadodiagram' genoemd, zie figuur 9. Voor het voeren van een gedegen risicomanagement is het tornadodiagram is een uiterst krachtig hulpmiddel. Veelal worden op basis van de top tien, acties ondernomen om de risico's/onzekerheden in te perken.

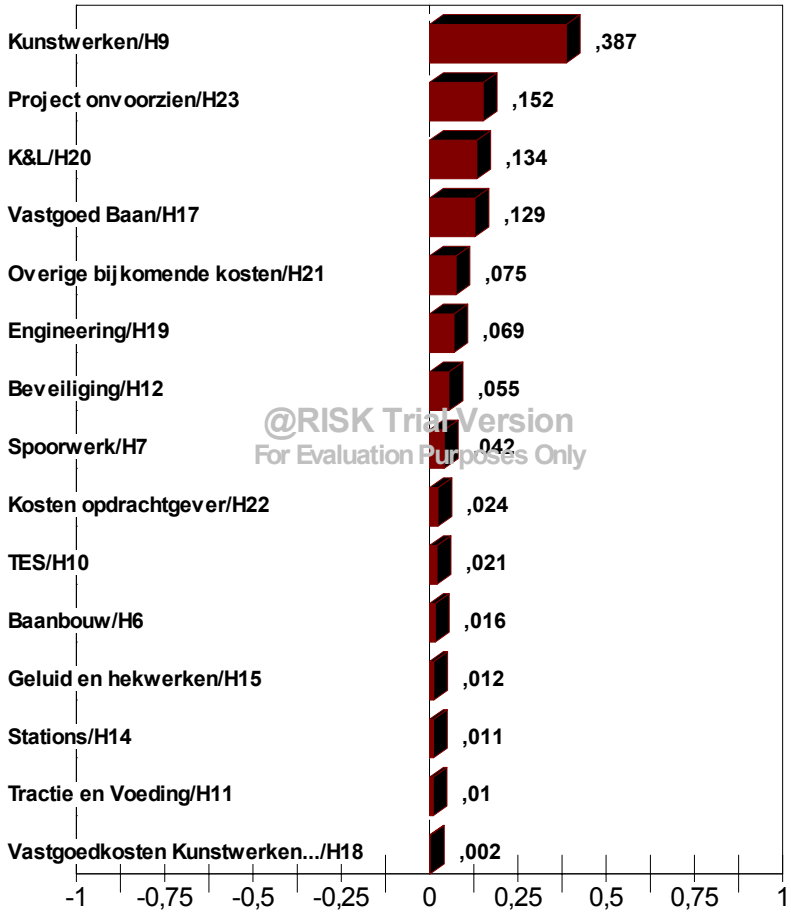
Correlatie

De uitkomsten van de Monte Carlo simulatie worden sterk bepaald door de aanname die gedaan wordt met betrekking tot de correlatie tussen de posten. Inzicht in correlatie (de mate van afhankelijkheid tussen de kostenposten) is vereist om te komen tot een realistische standaardafwijking. Voor het bepalen van het gemiddelde van de totaalraming μ_{raming} speelt correlatie een ondergeschikte rol. De mate van correlatie beïnvloed wel sterk de grootte van de spreiding van de totaalraming σ_{raming}. De minimale spreiding wordt berekend wanneer de posten volledig <u>on</u>gecorreleerd worden verondersteld. De maximale spreiding wordt verkregen indien wordt aangenomen dat de kostenposten volledig gecorreleerd zijn. Verondersteld mag worden dat de werkelijke spreiding ergens tussen deze twee waarden ligt. In de praktijk verschillen deze waarden echter zoveel dat deze constatering geen houvast biedt, bovendien is de minimale spreiding afhankelijk van het aantal begrotingsregels hetgeen niet acceptabel is. In de SSK wordt wel melding gemaakt van correlatie maar wordt niet beschreven hoe hiermee dient te worden omgegaan.

Een overzicht van de voornaamste kenmerken van de SSK is in tabel 6 weergegeven.

	De SSK-raming:
1	Voor hoeveelheden, prijzen en toeslagpercentages wordt de spreiding geschat door het geven van de laagste, de meest waarschijnlijke en de hoogste waarde.
2	Met een risicoanalyse worden de projectonzekerheden geïnventariseerd
3	De post onvoorzien wordt a.d.h.v. geïdentificeerde bijzondere gebeurtenissen bepaald o.b.v.: - kans x gevolg berekeningen en/of; - LTU-berekeningen en/of; - een opslagpercentage.
4	Een Monte Carlo simulatie wordt uitgevoerd, met als resultaat: - de verwachtingswaarde en de standaardafwijking van de totaalraming; - de kansverdeling van de raming; - de rangorde van risicobronnen wordt bepaald op basis van de bijdrage aan de bandbreedte.

Tabel 6: kenmerken SSK-raming



Figuur 9: Het tornadodiagram.

2.7 Conclusie

Een kostenraming is een moeilijk te definiëren begrip. In de GWW-sector schort het aan een eenduidige normstelling, verschillende bedrijven/instanties hanteren verschillende eisen. Deze problematiek wordt versterkt doordat eenduidigheid in de benaming van zowel de projectfasering als de corresponderende kostenramingen ontbreekt.

Uit literatuuronderzoek zijn twee basismethoden om kosten te ramen naar voren gekomen; de deterministische en de probabilistische methode. Gesteld kan worden dat voor halverwege de jaren negentig het ramen van projecten berustte op deterministische principes. Eind jaren negentig heeft het probabilistisch ramen zijn intrede gedaan. De gedachte die aan het PR ten grondslag ligt is het concretiseren van risico's en onzekerheden. In een probabilistisch opgebouwd model worden te schatten variabelen niet als één enkel getal opgenomen, in het model wordt juíst ruimte voor fluctuaties gehouden. Bij PR worden kostenposten geraamd door het geven van één of meerde waarden in combinatie met een kansverdeling.
Wanneer de vergelijking tussen het deterministisch ramen DR en het probabilistisch ramen PR wordt gemaakt, blijkt dat de methoden fundamenteel verschillen in:
- de wijze waarop op regelniveau wordt geraamd;
- de wijze waarop wordt omgegaan met onzekerheden;
- de wijze waarop wordt omgegaan met risico's.

Het probabilistisch ramen is zeker in vergelijking tot de traditionele/deterministische wijze van ramen een jonge methodiek. De methodiek heeft sterke maar eveneens zwakke punten in zich. Sterke punten zijn de onderbouwde bandbreedte (hoewel de kwaliteit nog tekortschiet) en de risicoanalyse. Zwakke punten zijn echter eveneens te onderscheiden. De methodiek is bijvoorbeeld arbeidsintensiever en vraagt andere kennis van de kostendeskundige. Door het expliciet maken van risico's en onzekerheden ontstaan nieuwe problemen, te denken valt bijvoorbeeld aan de correlatie/afhankelijkheid die op regelniveau ineens een rol gaat spelen.

Met de komst medio 2002 van de standaardsystematiek kostenramingen is het probabilistisch ramen gestandaardiseerd en daarmee definitief op de kaart gezet in GWW-Nederland. De SSK bevat een raamwerk voor projectopdeling een standaard investeringsmodel voor kostenramingen en theorie rondom het omgaan met risico's en onzekerheden in de raming. Uniformiteit is de basis voor alle onderdelen van de systematiek. Het raamwerk voor projectopdeling biedt een uniforme methode om een project op te delen in beheersbare onderdelen. Het investeringsmodel geeft een uniforme opbouw van de totale kostenraming, waarbij alle onderdelen van de raming zijn gedefinieerd in een begrippenkader en een eigen plaats hebben in de raming. Een theoretisch kader rondom het omgaan met risico's en onzekerheden is uiteengezet. Het doel is dat met het gebruik van de standaardsystematiek ramingen beter in de tijd te volgen zijn en de onderlinge vergelijkbaarheid verbeterd wordt.

Het oordeel is dat een verbeteringslag gemaakt is door de kosten per post te schatten door geven van niet één maar meerdere waarden. Het resultaat van deze methode is een centrale waarde[19] met daaromheen een statistisch onderbouwde bandbreedte. Door gebruik te maken van aangereikte theorie wordt de kostendeskundige in staat geacht de raming van het totale project te voorzien van een onderbouwde bandbreedte. In de SSK is echter niet exact omschreven hoe op basis van deelramingen wordt gekomen tot een totaalraming met een onderbouwde bandbreedte. Illustratief is de marginale beschrijving die gegeven wordt ten aanzien van correlaties tussen posten op regelniveau. Een ander voorbeeld is het feit dat nergens in de SSK wordt gesproken over de consequenties van die "kans x gevolg" berekeningen hebben ten aanzien van de bandbreedte. Met andere woorden, niet alle bouwstenen om probabilistisch te ramen worden gepresenteerd én het ontbreekt de SSK aan een eenduidige interpretatie en werkwijze.
De methodiek verdient het daarom om aan nader onderzoek te worden onderworpen. Bekeken zal worden of een niveau-II methode kan worden ontwikkeld waarbij op basis van gemiddelden (μ's) en de standaardafwijkingen (σ's) deelramingen gekomen kan worden tot het gemiddelde en de standaardafwijking van de totale raming.

[19] Wanneer uitgegaan wordt van de centrale waarde van de raming wordt de aanbiedingsonzekerheid genegeerd.

3 Probabilistisch ramen

Bij het DR wordt de bandbreedte “top down” bepaald, de opvatting van het PR, is dat de bandbreedte van het totale project “bottom up” berekend kan worden. Verondersteld wordt dat op basis van de individuele verwachtingswaarde en bandbreedte van de kostenposten van de raming de verwachtingswaarde en bandbreedte van de totale raming kan worden afgeleid.
In dit hoofdstuk worden de bewerkingen die in de SSK worden aangereikt onderworpen aan nader onderzoek met als doel het ontwikkelen van een Niveau-II spreadsheetmodel. Per methode wordt daartoe speciale aandacht besteed aan de bijdrage die de bewerking levert ten aanzien van de verwachtingswaarde μ en standaardafwijking σ van de kostenpost. Wanneer de bewerkingen in kaart zijn gebracht wordt bekeken hoe de deelramingen rekenkundig samengevoegd moeten worden tot een totaalraming. Eveneens wordt stilgestaan bij de invoermogelijkheden die speciale programmatuur biedt.

3.1 Bewerkingen om te ramen.

In de SSK worden drie bewerkingen aangereikt om een kostenpost te ramen. In figuur 10 is per bewerking aangegeven waar deze in het investeringsmodel toegepast kan worden. Een overzicht per kostencategorie is gegeven in bijlage K. In de komende paragrafen wordt de theorie achter de bewerkingen uiteengezet. De bewerkingen die worden beschreven zijn:
1. ramen door “prijs x hoeveelheid berekeningen”
2. ramen door “kans x gevolg berekeningen”
3. ramen door een “opslagpercentage”

Voorziene kosten (VK)				**Onvoorziene kosten**	**Project Onvoorzien**
Directe Kosten (DK)		Indirecte Kosten (IK)			
bekend	*n.t.d.*	*bekend*	*n.t.d.*		
HxP	*HxP en/óf Opslag*	*HxP*	*HxP en/ óf Opslag*	*HxP en/óf Opslag en/óf Kans x Gevolg*	*HxP en/óf Opslag en/óf Kans x Gevolg*

Figuur 10: Methoden om te ramen per kostensoort.

3.2 Het algemene wijze om bottom up spreiding te definiëren.

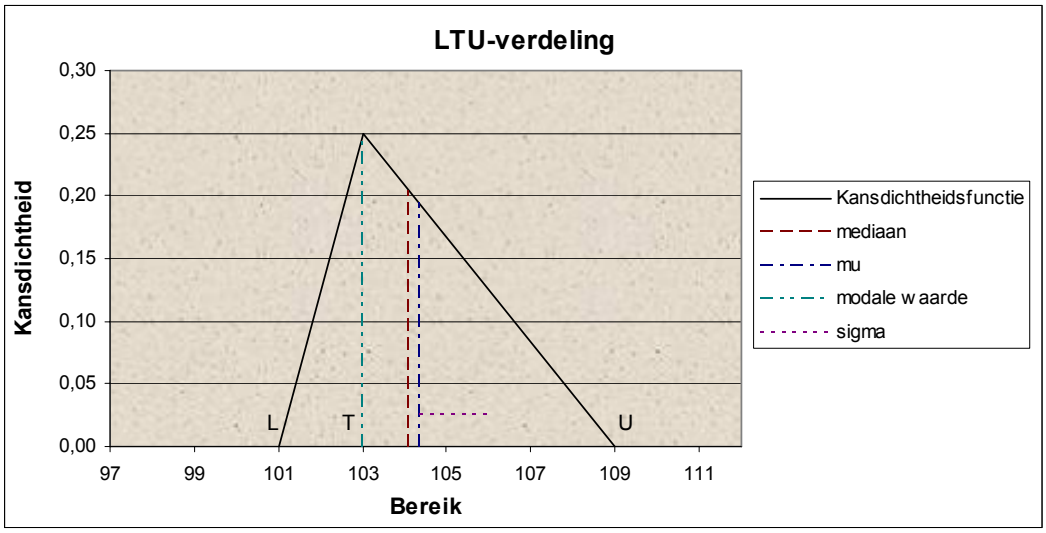
In de SSK wordt gesteld dat kansdichtheidsfuncties (kdf’s) aan elk van de onderscheiden bewerkingen gekoppeld kunnen worden. Diverse kansdichtheidsfuncties zijn voorhanden zoals normaal, uniform, driehoekig, et cetera. In de SSK wordt echter de nadruk gelegd op de driehoekige kansdichtheidsfunctie die de kostendeskundige vastlegt door middel van het ramen van LTU-waarden. Overige kansdichtheidsfuncties worden om de volgende redenen buiten beschouwing gelaten[20].
1. De SSK is dusdanig ingericht dat het ramen van LTU-waarden wordt geprefereerd, overige kdf’s worden slechts in de kantlijn genoemd terwijl ruime aandacht besteed wordt aan de driehoekige kansverdelingsfunctie.
2. De beschikbare programmatuur is op basis van de SSK ontwikkeld. Het programma waarvan Holland Railconsult gebruikmaakt is Risicoraming v1.1.3, de invoermogelijkheden van dit programma blijven beperkt tot het invoeren van LTU-waarden.
3. De voorkeur van de kostendeskundige. In de SSK wordt gesteld dat kostendeskundige bij voorkeur de spreiding van een ramingspost karakteriseert met LTU-waarden[21].

[20] De redenen zijn direct of indirect afgeleid van de SSK.
[21] Binnen Holland Railconsult is men van mening dat slechts een deel van de bandbreedte van de totale raming is te verklaren door het gebruik van LTU-waarden op postniveau.

Teneinde het ramen met LTU-waarden te verduidelijken wordt het onderstaande voorbeeld gehanteerd.

Voorbeeld 1: volledig uitgewerkt ontwerp
Stel dat de kostendeskundige conform de SSK-methodiek een kostenpost raamt. De meest waarschijnlijke waarde heeft de kostendeskundige deterministisch (prijs x hoeveelheid) geraamd op €103, waarbij de kostendeskundige het uiterst onwaarschijnlijk acht dat de kostenpost minder dan €101 of meer dan €109 zal bedragen. De LTU-waarden zijn hiermee gedefinieerd waardoor de kansverdeling eveneens bepaald is.

In figuur 11 is de kansdichtheidsfunctie van de kostenpost uit voorbeeld 1 weergegeven, waarbij 100% van de kdf tussen L en U ligt.



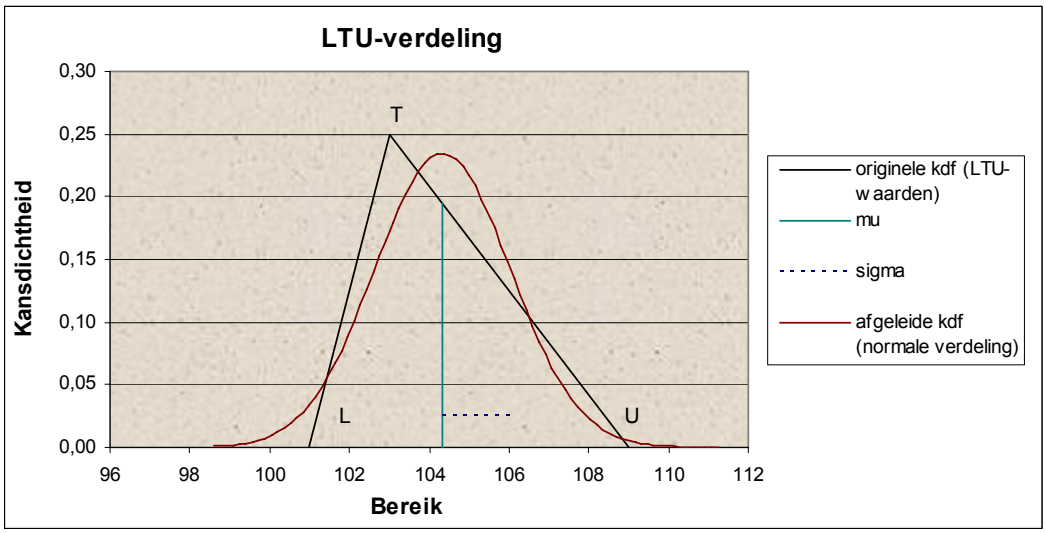
Figuur 11: Vergelijking gemiddelde, mediaan en modus.

In de SSK worden formules aangereikt om de verwachtingswaarde μ en de standaardafwijking σ van een LTU-verdeling te berekenen.

Formule 01 verwachtingswaarde $$\mu = \frac{L+T+U}{3}$$

Formule 02 standaardafwijking $$\sigma = \sqrt{\frac{L^2+T^2+U^2-LT-LU-TU}{18}}$$

Voor symmetrische kdf's vallen gemiddelde mediaan en modus samen, wanneer de verdeling asymmetrisch (scheef) is vallen de verwachtingswaarde, de mediaan en de modale waarde niet samen. Bij scheve verdelingen ligt het gemiddelde aan de kant van de staart en de mediaan tussen de modale waarde en de verwachtingswaarde in. Dit houdt in dat de kans op een waarde groter of gelijk aan het gemiddelde kleiner dan 50% is. In bijlage B is de afleiding gegeven voor de formules om de mediaan te berekenen.
In figuur 12 is de kansdichtheidsfunctie van voorbeeld 1 afgebeeld, waarbij tevens de normale verdeling op basis van de berekende μ en σ is weergegeven.



Figuur 12: Vergelijking LTU-verdeling met de corresponderende LTU-verdeling.

In de statistiek wordt de scheefheidcoëfficiënt gehanteerd om de mate van asymmetrie (of scheefheid) van een kansverdeling uit te drukken. Een scheefheidcoëfficiënt van 0 duidt op een normale of uniforme verdeling, een waarde van 2 duidt op een exponentiele verdeling. Rijkswaterstaat gebruikt het begrip "scheefte" om informatie te verschaffen over de asymmetrie van een kansverdeling. Hierbij is scheefte gedefinieerd als de absolute afstand tussen de verwachtingswaarde μ en de meest waarschijnlijke T-waarde.

Formule 03 mediaan

$$\left.\begin{aligned} M &= L + \sqrt{\frac{(U-L)(T-L)}{2}} \quad \text{indien } (T-L) \le (U-T) \\ M &= U - \sqrt{\frac{(U-L)(U-T)}{2}} \quad \text{indien } (T-L) \ge (U-T) \end{aligned}\right\}$$

Formule 04 scheefheidscoëfficiënt

$$\chi_1 = \frac{E(X-EX)^3}{\left(E(X-EX)^2\right)^{3/2}} = \frac{E(X-EX)^3}{\sigma^3}$$

In bijlage B wordt dieper ingegaan op de driehoekige kansverdeling die een centrale positie binnen de SSK inneemt.

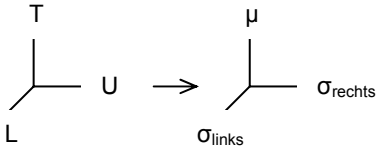
Informatieverlies

Voor de ontwikkeling van een Niveau-II spreadsheetmodel is het noodzakelijk dat de kdf's op regelniveau worden vertaald naar μ en σ. Deze vertaalslag vindt plaats omwille van de rekenkundige voordelen van μ en σ. Het is belangrijk te onderkennen dat bij de omzetting van de kdf in termen van μ en σ informatie over de originele kdf verloren gaat.

Ter verduidelijking wordt een asymmetrische kansdichtheidsfunctie op basis van LTU-waarden beschouwd. De combinaties van L, T en U kunnen worden weergegeven in een driedimensionale ruimte, terwijl de versimpeling tot μ en σ slechts in een twee dimensionaal vlak kan worden weergegeven.

Figuur 13: Informatieverlies t.g.v. de vertaalslag in termen van μ en σ.

Informatie gaat verloren omdat verschillende LTU-combinaties een gelijke μσ-combinatie hebben. Met name informatie over de scheefheid gaat verloren, dit is ongewenst. In bijlage C is de idee uitgewerkt om de waarde van σ te bepalen voor zowel het linker als het rechter deel van de kansdichtheidsfunctie ten opzichte van μ. Dientengevolge wordt de LTU-verdeling afgebeeld door μ, σ_{links} en σ_{rechts} waardoor deze afbeelding eveneens driedimensionaal is.

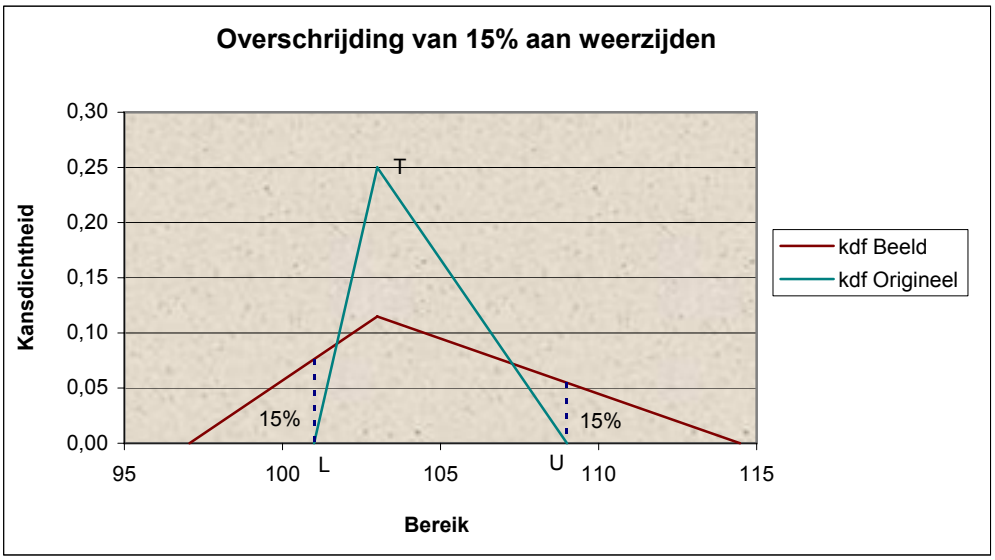


Figuur 14: Beperken informatieverlies door onderscheid te maken in σ_{rechts} en σ_{links}.

Overschrijding

Risicoraming v1.1.3 biedt een optie om overschrijdingspercentages in te stellen voor de LTU-kansverdeling. Indien een percentage wordt ingesteld, dan past de programmatuur de uiterste en laagste waarden dusdanig aan dat met een kans overeenkomstig het gekozen percentage de L- en U-waarden wordt overschreden. Ter illustratie wordt het voorbeeld van §3.2 aangehaald, het overschrijdingspercentage aan weerszijden wordt op 15% gesteld. Het programma zal dan de L waarde van 101 aanpassen tot ongeveer 97.06 en de U waarde van 109 tot ongeveer 114.48. In figuur 15 is deze aanpassing grafisch weergegeven.

De aanpassing heeft tot gevolg dat het bereik U-L van 8 naar 17,41 wordt bijgesteld, dus meer dan verdubbeling! Door het aanpassen van de kansdichtheidsfunctie wordt deels voorbijgegaan aan de kennis en expertise van de kostendeskundige. Tevens verandert de verhouding van T-L ten opzichte van U-L, van 1:3 naar 1:1,93. De aanpassing heeft tot gevolg dat de bestaande verhoudingen tussen de LTU-waarden worden verbroken wat resulteert in een afname qua scheefheid. In tegenstelling tot de scheefheid, resulteert de aanpassing in een toename van de RWS-term scheefte, aangezien de afstand tussen de verwachtingswaarde en de modale waarde toeneemt.

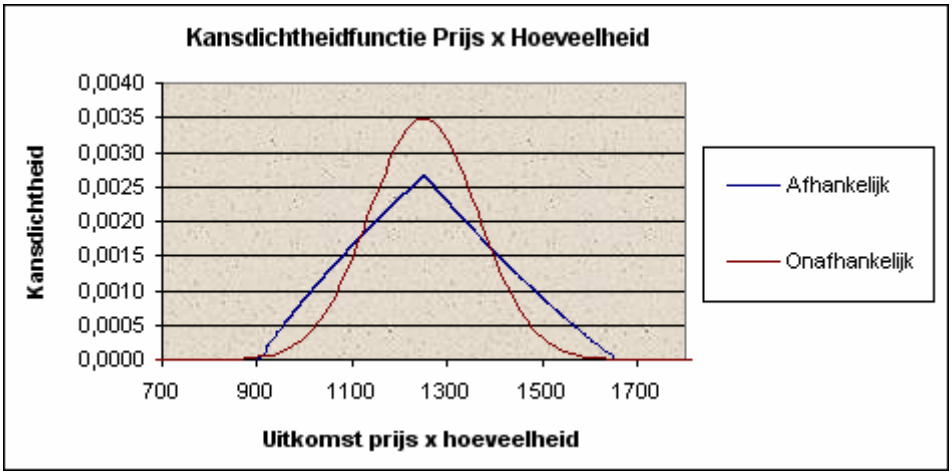


Figuur 15: Effect van een overschrijdingspercentage van 30%.

3.2.1 Prijs x hoeveelheid

De eerste bewerking die in de SSK wordt onderscheiden is het ramen door “prijs x hoeveelheid” berekeningen. Deze bewerking wordt gebruikt wanneer enkel sprake is van *kennisonzekerheden*.

In de SSK wordt gesteld dat voor zowel *prijs* als *hoeveelheid* kansdichtheidfuncties bepaald kunnen worden door middel van LTU-waarden. De raming van de kostenpost wordt dan bepaald door het product van twee kansdichtheidfuncties. Bij het vermenigvuldigen van kdf’s is de mate van afhankelijkheid tussen de grootheden *prijs* en *hoeveelheid* van belang.



Figuur 16: De kdf van het product van prijs (L=9, T=10, U=11) en hoeveelheid (L=100, T=125, U=150).

In figuur 16 is de kdf afgebeeld in het geval prijs en hoeveelheid afhankelijk worden verondersteld en in het geval prijs en hoeveelheid onafhankelijk worden verondersteld. Het blijkt dat de standaardafwijking van het product van twee afhankelijke grootheden altijd groter of gelijk is aan de standaardafwijking van het onafhankelijke product van beide grootheden.
De SSK geeft met betrekking tot deze afhankelijkheid geen uitsluitsel. Kostendeskundigen binnen en buiten Holland Railconsult zijn echter unaniem van mening dat gekozen moet worden voor een volledig onafhankelijke benadering tussen prijs en hoeveelheid. Slechts incidenteel is een aantoonbaar verband tussen prijs en hoeveelheid, hierbij valt te denken aan situaties waarbij sprake is van bijvoorbeeld kwantumkorting [baggersector].

Aldus statistici is het niet mogelijk om een algemeen geldend voorschrift af te leiden voor de kdf voor het onafhankelijke product van twee grootheden. Wel is het mogelijk om voor het onafhankelijke product om de kdf te benaderen door een normale verdeling met parameters μ en σ. Teneinde het gemiddelde en de standaardafwijking van het product van *prijs* en *hoeveelheid* te bepalen moeten deze karakteristieken eerst voor de grootheden afzonderlijk bepaald worden. Wanneer deze berekend zijn wordt het gemiddelde en de standaardafwijking van de kostenpost bepaald door de μ's en σ's van prijs en hoeveelheid conform formules 05 en 06 te vermenigvuldigen.

Stel :	$hoeveelheid \sim N(\mu,\sigma^2)\ met\ parameters\ (\mu_h,\sigma_h)$
Stel :	$prijs \sim N(\mu,\sigma^2)\ met\ parameters\ (\mu_p,\sigma_p)$
Stel :	$hoeveelheid, prijs\ \ onderling\ onafhankelijk$
Formule 05	$\mu_{ph} = \mu_p \mu_h$
Formule 06	$\sigma_{ph} = \sqrt{(\mu_p\sigma_h)^2 + (\sigma_p\mu_h)^2 + (\sigma_p\sigma_h)^2}$

Door toepassing van de bovenstaande formule is de kdf van het onafhankelijke product te benaderen. In bijlage D is een exercitie uitgevoerd om inzicht te verschaffen in de foutmarge van de formule ten opzichte van de werkelijke kansdichtheidsfunctie. Op een gestructureerde wijze is de kdf van het onafhankelijke product bepaald. Bij deze exercitie zijn de L- en U-waarden van zowel *prijs* als *hoeveelheid* gelijk gehouden maar is de T-waarde óf gelijk aan L óf gelijk aan U óf houdt deze midden tussen L en U, zodoende ontstaan de negen permutaties. De behandelde permutaties zijn in tabel 7 afgebeeld.

Hoeveelheid				Prijs			
L	T	U	Vorm kdf	L	T	U	Vorm kdf
100 m2	100 m2	150 m2	Scheef naar rechts	€ 9,-	€ 9,-	€ 11,-	Scheef naar rechts
100 m2	125 m2	150 m2	Symmetrisch	€ 9,-	€ 10,-	€ 11,-	Symmetrisch
100 m2	150 m2	150 m2	Scheef naar links	€ 9,-	€ 11,-	€ 11,-	Scheef naar links

Tabel 7: De in Bijlage D uitgewerkte permutaties.

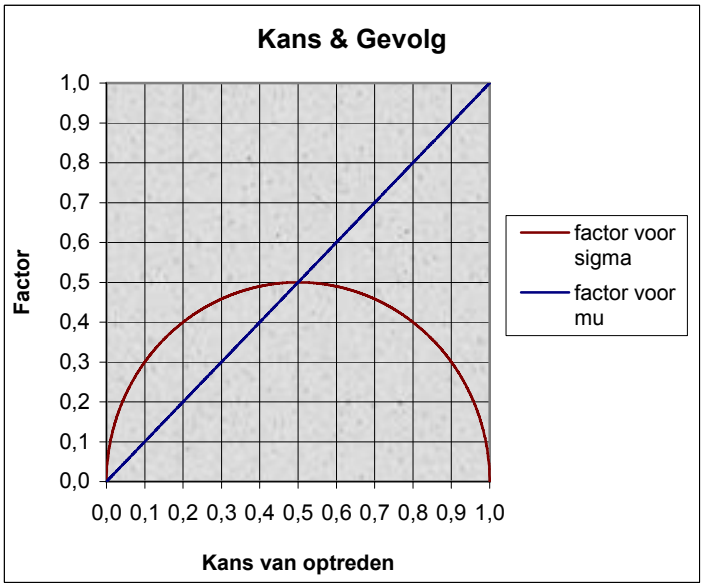
3.2.2 Kans x gevolg

De tweede bewerking die in de SSK wordt onderscheiden is het ramen door “kans maal gevolg berekeningen”. Deze bewerking wordt gebruikt wanneer *toekomstonzekerheden* in de raming worden opgenomen. In de SSK wordt gesteld dat de bijzondere gebeurtenis kan worden geraamd door in de raming het product van de kans van optreden P en het financiële gevolg bij optreden G te nemen. In de SSK wordt opmerkelijk genoeg géén melding gemaakt van de invloed die deze bewerking heeft ten aanzien van de standaardafwijking. In de RISMAN-methode wordt het effect ten aanzien van de standaardafwijking wel onderkend en zijn de onderstaande formules gegeven ter bepaling van de μ en σ.

Formule 07 verwachtingswaarde $\mu = PG$

Formule 08 standaardafwijking $\sigma = \left| G\sqrt{P*(1-P)} \right|$

Gebruikmakend van de formules 07 en 08 kan afhankelijk van de kans van optreden de standaardafwijking en het gemiddelde worden bepaald. In figuur 17 zijn beide karakteristieken uiteengezet. De grafiek laat duidelijk zien dat voor kansen kleiner dan 0,50 de bijdrage van de bandbreedte die van het gemiddelde overstijgt. Ter illustratie, wanneer de kans op een bijzondere gebeurtenis geraamd wordt op 10% dan blijkt de bijbehorende standaardafwijking driemaal zo groot als de verwachtingswaarde.



Figuur 17: De grootte van μ en σ afhankelijk van de kans.

In de SSK wordt melding gemaakt dat “kans x gevolg” berekeningen verfijnd kunnen worden door de kans en/of het financiële gevolg in te schatten met behulp van de LTU-benadering. De standaardafwijking die deze verfijning teweegbrengt is echter ondergeschikt aan de standaardafwijking als gevolg van de *kans x gevolg* aannamen.

Voorbeeld 2: risico-inventarisatie
Stel dat in een risico-inventarisatie onder andere de toekomstonzekerheid “onbekende kabels en leidingen” wordt geïdentificeerd. De kostendeskundigen achten de kans P aanwezig en schatten deze in op 10% het financiële gevolg Gbij optreden wordt geschat op €20.000,-.

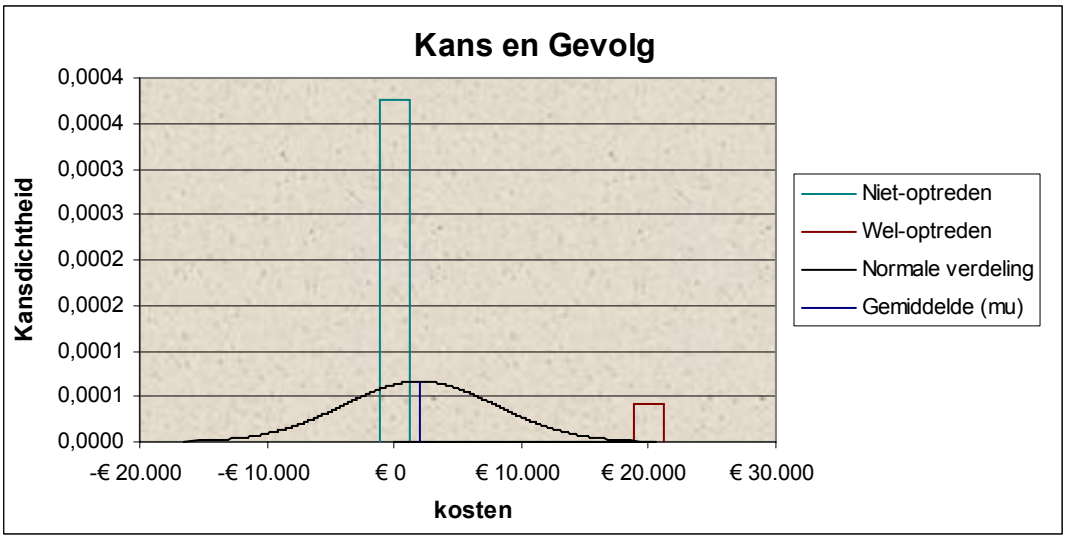
Gebruikmakend van de formules 07 en 08 worden μ en σ berekend:

$\mu = 0.10 * €20.000 = €2.000$ $\mu << G$

$\sigma = €20.000\sqrt{(0.10*(1-0.10))} = €6.000$ $\sigma << G$

Theoretisch kunnen μ en σ vrij gemakkelijk worden berekend, doch er kleven nadelen aan het toepassen van μ en σ in de praktijk. Want wanneer een risico optreedt, is de gereserveerde μ (eventueel aangevuld met kσ) veel te weinig om het financiële gevolg te dekken. Wanneer het risico niet optreedt dan doet zich eveneens een vreemde situatie voor want dan komt een bedrag zonder bestemming vrij.

In figuur 18 is de kansdichtheidsfunctie van het voorbeeld afgebeeld, waarbij tevens de bijbehorende normale verdeling op basis van de berekende μ en σ is weergegeven. De figuur laat in tegenstelling tot figuur 12 duidelijk zien dat de normale verdeling de werkelijke kansverdeling niet goed kan representeren.



Figuur 18: Vergelijking kdf K&G met de corresponderende Normale verdeling.

In een risico-inventarisatie worden over het algemeen meerdere risico's geïdentificeerd. Wanneer de risico's én de gevolgen van gelijke aard zijn dan blijkt de *kans & gevolg benadering* desondanks tot goede resultaten te komen[22]. Dit komt omdat bij simulaties naarmate het aantal risico's van gelijke aard (n) toeneemt, de afwijking van het totaal ten opzichte van nμ afneemt. Met andere woorden bij veel risico's van gelijke aard wordt een tegenvaller gecompenseerd door een aantal meevallers, terwijl bij een klein aantal geïdentificeerde risico's weinig ruimte ter compensatie is.
Wanneer in een sessie een risico wordt geïdentificeerd waarvan het gevolg een factor 5 of hoger dan de overige risico's wordt geraamd dan blijkt dat dit risico "dominant" wordt[23]. Wanneer een risico dominant is dan wijkt dit risico dusdanig af van de rest dat de overige risico's de uitkomst van het dominante risico niet kunnen compenseren. De *kans & gevolg benadering* komt theoretisch gezien alleen tot zijn recht wanneer in de totale raming meerdere posten volledig of deels worden geraamd door kans maal gevolg van gelijke orde.

3.2.3 Opslagpercentage

De derde en laatste bewerking betreft het ramen door gebruik te maken van een opslagpercentage. Wanneer een kostenpost wordt geraamd door gebruik te maken van een opslagpercentage wordt de kostenpost geraamd door een percentage te nemen van een reeds bepaalde post of clustering van posten. De *indirecte bouwkosten* kunnen bijvoorbeeld in de raming worden opgenomen door een percentage van de *directe kosten* te nemen.
Hierbij is het van belang te onderkennen wat als basis dient voor het opslagpercentage. In de praktijk wordt soms de verwachtingswaarde μ en soms de meest waarschijnlijke waarde T genomen. Vanuit een wiskundig oogpunt gaat de voorkeur uit naar de verwachtingswaarde, in de praktijk wordt echter vaak de T-waarde aangehouden. Desgewenst kan het percentage geraamd worden door gebruik te maken van de LTU-benadering. Ten aanzien van het ramen met opslagpercentages gelden de volgende formules:

Formule 09	gemiddelde	$\mu = \mu_{percentage}\mu_{post}$
Formule 10	standaardafwijking	$\sigma = \sigma_{percentage}\mu_{post}$

[22] Dit is logisch op basis van de centrale limietstelling (wet van de grote aantallen).
[23] Deze waarde is niet wiskundig onderbouwd, het getal 5 is bepaald op basis van een reeks simulaties die met behulp van Excel verkend zijn.

3.3 Het sommeren van kostenposten tot een totaalraming

Aan de hand van de beschreven theorie kan iedere kostenpost worden uitgedrukt in termen van μ en σ. Om te komen tot een totaalraming dienen de kostenposten tot een geheel te worden samengebracht. Net als bij het product van twee kansdichtheidsfuncties speelt de mate van afhankelijkheid (correlatie) tussen de kostenposten een essentiële rol. Ten aanzien van de verwachtingswaarde van de raming μ_{raming} is het effect als gevolg van de veronderstelde afhankelijkheid verwaarloosbaar[24]. Het effect van correlatie is sterk van invloed op de bepaling van de standaardafwijking van de raming σ_{raming}.
In de SSK staat nergens vermeld wat de afhankelijkheid van kostenposten binnen een kostensoort is. Evenzo is nergens vermeld wat de afhankelijkheid tussen kostensoorten onderling is, of wat de afhankelijkheid tussen kostensoorten en kostencategorieën bedraagt. Als vanzelfsprekend wordt nergens rekenregels gepresenteerd die horen bij volledige of gedeeltelijke afhankelijkheid.
Opvallend genoeg geven speciaal op basis van de SSK ontwikkelde programma's twee methoden om ramingen door te rekenen, te noemen "volledig afhankelijk" én het "volledig onafhankelijk".

Volledig onafhankelijk

Definitie: onafhankelijkheid van projectdelen, disciplines of posten wil zeggen dat de situatie van het ene deel geen invloed heeft op de situatie van een ander deel. De delen kunnen separaat van elkaar gezien worden.

De eerste methode is het volledig onafhankelijk doorrekenen van de raming, waarbij alle opgegeven kdf's onafhankelijk van elkaar worden verondersteld. De minimale standaardafwijking van de raming wordt berekend wanneer volledige onafhankelijkheid wordt aangenomen. Volledig onafhankelijk wil zeggen dat een tegen- of meevaller in een post totaal los staat van de uitkomst in andere posten. De verwachtingswaarde van de raming wordt berekend door lineaire optelling van de verwachtingswaarden op regelniveau. Op basis van de "centrale limietstelling" geldt dat (bij voldoende posten) de vorm van de kdf's (scheefte) geen invloed heeft op de vorm van de kdf van de totale raming. De spreiding wordt berekend door de wortel van de kwadratische optelling van de onderliggende σ's te nemen.

Formule 11 $$\mu_{ra\min g} = \sum_{n=1}^{i} \mu_{i,post}$$ posten volledig onafhankelijk

Formule 12 $$\sigma_{ra\min g} = \sqrt{\sum_{n=1}^{i} \left(\sigma_{i,post}\right)^2}$$ posten volledig onafhankelijk

Volledig afhankelijk

Definitie: afhankelijkheid van projectdelen, disciplines of posten wil zeggen dat een zeer sterke relatie tussen delen aanwezig is. Verandering in de situatie van het ene deel heeft direct invloed op de situatie van een ander deel. De gemeenschappelijke delen kunnen niet los van elkaar wijzigen.

De tweede methode is het volledig afhankelijk doorrekenen van de raming. Wanneer een aantal posten volledig afhankelijk van elkaar worden verondersteld dan kan gedraagt deze cluster zich als één enkele post. Ofwel een tegenvaller resulteert in een tegenvaller van gelijke orde voor alle posten die deel uitmaken van de cluster. De maximale standaardafwijking wordt verkregen indien de kostenposten volledig afhankelijk worden verondersteld.
In de SSK wordt niet beschreven welke posten afhankelijk en welke posten onafhankelijk van elkaar beschouwd moeten worden. De kostendeskundigen van Holland Railconsult zijn van mening dat bij het volledig afhankelijk doorrekenen van de raming de post *"project onvoorzien"* en de *"onvoorziene kosten"* gekarakteriseerd door *kans & gevolg* berekeningen buiten de afhankelijkheid gehouden moeten worden. Aldus de kostendeskundigen is het onlogisch te veronderstellen dat het optreden van een bijzondere gebeurtenis invloed kan hebben op het optreden van een andere bijzondere gebeurtenis.

[24] Indien afhankelijkheid tussen *prijs* en *hoeveelheid* wordt uitgesloten

Dientengevolge worden bij het volledig afhankelijk doorrekenen van de raming alle posten die deel uitmaken van de *"basisraming"* (exclusief het *"object onvoorzien"* bestaande uit *kans & gevolg berekeningen*) afhankelijk verondersteld. De posten die deel uitmaken van het *"project onvoorzien"* en het *"object onvoorzien"* bestaande uit *kans & gevolg berekeningen* worden onafhankelijk van elkaar beschouwd. Zodoende ontstaan drie clusters van posten die volledig onafhankelijk van elkaar beschouwd worden[25]:
- De basisraming exclusief het object onvoorzien.
- Het object onvoorzien.
- Het project onvoorzien.

De verwachtingswaarde van de raming μ_{raming} wordt eveneens berekend door lineaire optelling van de verwachtingswaarden op regelniveau.
De standaardafwijking van de raming σ_{raming} wordt berekend in twee stappen. De eerste stap is het berekenen van de standaardafwijking voor de afhankelijke posten, deze wordt berekend door lineaire optelling van de σ's van de afhankelijke posten. De tweede stap bestaat uit het nemen van de wortel uit de kwadratensom van de σ van de afhankelijke posten en de σ's van de posten object en project onvoorzien[26].

Formule 13 $$\mu_{raming} = \sum_{n=1}^{i} \mu_{i,post}$$ posten volledig afhankelijk

Formule 14 $$\sigma_{raming} = \sum_{n=1}^{i} \sigma i,_{post}$$ posten volledig afhankelijk

Volledig afhankelijk vs. Volledig onafhankelijk
Om het verschil in de methodieken aan te tonen wordt in voorbeeld 3 een klein fictief project beschouwd.

Voorbeeld 3: Een fictief project
Stel dat een kostendeskundige A voor een projectdeel de LTU-waarden raamt op L = 75, T = 100 en U = 125.
Met behulp van de formules 02 en 03 kan de verdeling worden omgezet in $\mu_{projectdeel}$ = $(75+100+125)/3$ = €100 en $\sigma_{projectdeel} = (100-75)\sqrt{1/6} \approx$ €10.
Stel eveneens dat het project bestaat uit tien gelijksoortige deelprojecten (n). De raming bestaat dan uit 10 regels met μ_{regel} = €100 en σ_{regel} = €10. In geval van afhankelijkheid worden de meest waarschijnlijke kosten geraamd op $\mu_{raming} = n\mu_{regel}$ = 10 x €100 = € 1.000 de bijbehorende bandbreedte zal $\sigma_{raming} = n\sigma_{regel}$ = 10 x €10 = € 100 bedragen. In het geval van onafhankelijkheid wordt gekomen tot een gelijke μ_{raming}. De bandbreedte wordt echter bepaald op $\sigma_{raming} = \sqrt{n}\sigma_{post} = \sqrt{10} * €10 = €31{,}62$.

Stel dat kostendeskundige B elk projectdeel beschouwt als een samenvoeging van 5 delen. Kostendeskundige B geeft daarom de voorkeur om het project te ramen door gebruik te maken van 50 posten. Per deel raamt de kostendeskundige de LTU-waarden op 15, 20 en 25. Zodoende blijft per projectdeel de μ en σ gelijk, immers 5 x €20 maakt €100 en $5\sqrt{1/6}(20-15) \approx$ €10. In geval van afhankelijkheid worden de meest waarschijnlijke kosten geraamd op $\mu_{raming} = n\mu_{raming}$ = 50 x €20 = € 1.000 de bijbehorende bandbreedte zal $\sigma_{raming} = n\,\sigma_{regel}$ = 50 x €2 = € 100 bedragen. In het geval van onafhankelijkheid wordt gekomen tot een gelijke μ_{raming}. De bandbreedte wordt echter bepaald op $\sigma_{raming} = \sqrt{n}\sigma_{post} = \sqrt{50} * €10 = €14{,}43$.

De bevindingen van voorbeeld 3 zijn in tabel 8 weergegeven.

	Aantal regels	μ	$\sigma_{afhankelijk}$	$\sigma_{onafhankelijk}$
Kostendeskundige A	10	€ 1.000	€ 100	€ 31,62
Kostendeskundige B	50	€ 1.000	€ 100	€ 14,43

Tabel 8: Verschillende benaderingen leiden tot verschillende uitkomsten.

[25] Wanneer een kostenpost wordt gekarakteriseerd door "prijs x hoeveelheid" dan worden beide grootheden onafhankelijk van elkaar beschouwd wanneer de raming afhankelijk wordt doorgerekend.
[26] In tegenstelling tot de volledig onafhankelijke situatie is de kdf van de totale raming ongelijk aan de normale verdeling indien scheve verdelingen worden opgenomen (wanneer de LTU-verdelingen dus niet worden omgezet in normale verdelingen).

Tabel 8 laat zien dat afhankelijk van het aantal regels en afhankelijk van de veronderstelde correlatie tussen de kostenposten wordt gekomen tot verschillende bandbreedten. Theoretisch (wiskundig) gezien zijn elk van de bandbreedten correct. Het aantal regels dat in de exercitie gebruikt varieert van 10 tot 50 en kan worden gezien als een makkelijk project (10 regels) en een complex project (50 regels) van gelijke omvang. De exercitie laat hét zwakke punt van de SSK zien, namelijk een gedegen onderbouwing van de bandbreedte moeilijk is te geven. Immers in werkelijkheid zal de afhankelijkheid van de posten ergens midden houden tussen afhankelijk en onafhankelijk, doch deze kan niet worden berekend. Tevens is het treffend dat de wijze van invoer (veel of weinig regels) de uitkomst beïnvloedt.

Ramingsprogrammatuur
Programmatuur om probabilistische ramingen door te rekenen zoals, Risicoraming en @Risk stelt de gebruiker instaat om de raming of volledig onafhankelijk of volledig afhankelijk door te rekenen. Bij het volledig onafhankelijk doorrekenen van de raming wordt gekomen tot de kleinst mogelijke bandbreedte, het tegenovergestelde vindt plaatst wanneer voor volledige afhankelijkheid wordt gekozen. De werkelijke bandbreedte zal zich tussen beide realisaties bevinden. Het verschil tussen beide realisaties is aanzienlijk zoals een simpel voorbeeld laat zien. Het is moeilijk om met behulp van geavanceerde programmatuur een gedegen onderbouwing van de bandbreedte te geven. Oorzaken hiervoor zijn:
- Door het grote verschil tussen beide realisaties (afhankelijk of onafhankelijk) is het ook met geavanceerde programma's onmogelijk om een gedegen onderbouwing van de bandbreedte te geven.
- Volledig onafhankelijk doorrekenen leidt ook bij geavanceerde programma's tot een spreiding die afhankelijk is van het aantal regels waaruit de raming is opgebouwd, dit is onacceptabel.
- Het moeilijk is te achterhalen wat het gevolg van een aanpassing is ten aanzien van de totale bandbreedte omdat elke simulatie leidt tot een nieuw gemiddelde en nieuwe bandbreedte. Zodoende kan het effect voor kleine beheersmaatregelen moeilijk inzichtelijk gemaakt worden, waardoor het rechtvaardigen van de maatregel wordt bemoeilijkt.

3.4 Probalilistisch ramen binnen HR

Alvorens te komen tot een oplossingsrichting wordt bekeken hoe binnen HR met het probabilistisch ramen wordt omgegaan. Bij de projecten die binnen Holland Railconsult tot op heden probabilistisch zijn geraamd is een methode gehanteerd die past binnen de SSK-systematiek. De kostendeskundigen hanteren een soort "semi-probabilistische" ramingsmethodiek.
Wanneer de opdrachtgever een probabilistische raming verlangt dan wordt binnen Holland Railconsult op de volgende manier geraamd. Ten behoeve van de raming wordt het project opgedeeld in een aantal disciplines, per discipline is een kostendeskundige werkzaam die voor de betreffende discipline de raming verzorgt. De disciplineraming wordt deterministisch bepaald (een volledig deterministische raming zou ontstaan indien de raming van de disciplines lineair opgeteld zouden worden). Wanneer de raming per discipline bekend is wordt afhankelijk van de projectfase bekeken wat de aannemelijke bandbreedte van de deelraming is. De bandbreedte wordt gedefinieerd door het ramen van LTU-waarden. De disciplineraming wordt hierbij gelijk gesteld aan de meest waarschijnlijke T-waarde. De L- en U-waarden worden uitgedrukt door uit te gaan van de disciplineraming en deze respectievelijk te verhogen of verlagen te met een bepaald percentage. De probabilistische raming van het project ontstaat door de kansdichtheidsfuncties van de disciplines in Excel of in Risicoraming in te voeren en deze volledig afhankelijk op te tellen. De theorie van de SSK wordt door Holland Railconsult dus wel gebruikt, maar wordt niet op het laagste niveau toegepast. De reden hiervoor zijn:
- De kostendeskundigen zijn beter in staat om op deterministische wijze te ramen dan op probabilistische wijze. Binnen Holland Railconsult heerst de gedachte dat het probabilistisch ramen (nog) geen uitontwikkelde methode is.
- Het bepalen van LTU-waarden op regelniveau vergt veel meer tijd dan het bepalen van LTU-waarden op disciplineniveau, terwijl de kostendeskundigen de resultaten van voldoende niveau vinden.

3.5 Sterke en zwakke kanten SSK

In §2.6, §3.2 en §3.3 is de SSK behandeld, waarbij in hoofdstuk 3 het accent op de theoretische kant is gelegd. De 2de verbeterde druk van de CROW publicatie 137 heeft zwakke en sterke punten. De sterke kanten van zijn te vinden in uniformiteit. De zwakke punten hebben te maken met de onvolledige behandeling van de theoretische kant van het ramen.

Sterke punten SSK

In de publicatie is een uniforme ramingsopbouw gepresenteerd, het betreft het investeringsmodel waarbij onderscheid in kostensoorten en kostencategorieën is gemaakt. De benoemde kostensoorten en kostencategorieën zijn ondubbelzinnig uitgelegd zodat het voor elke gebruiker helder is waar welke kostenpost in de raming moet worden opgenomen. Dientengevolge worden ramingen sectorbreed qua opbouw gelijkgetrokken. Ramingen van verschillende bedrijven zijn hierdoor onderling beter vergelijkbaar.

Een tweede verbeterslag is gemaakt met de introductie en definiëring van de begrippen *toekomstonzekerheid*, *kennisonzekerheid* en *planonzekerheid*. Een stroomschema is gemaakt om de gebruiker instaat te stellen de geïdentificeerde toekomst-, kennis- en planonzekerheden op correcte wijze in de raming op te nemen. Voor het uitkomen van de publicatie was hanteerden verschillende bedrijven verschillende termen en definities voor de begrippen die nu onder de noemer toekomst-, kennis- en planonzekerheden vallen. Ter illustratie, termen als intrinsieke risico's, exogene risico's, kansen, fluctuaties, onzekerheden, bijzondere gebeurtenissen et cetera. Door deze begrippen te uniformeren vermindert de kans op miscommunicatie.

De derde verbeterslag die te danken is aan de SSK is de verhoogde aandacht ten aanzien van plan-, toekomst- en kennisonzekerheden. Doordat de systematiek uitgaat van de idee dat de bandbreedte van de totale raming bottom up kan worden afgeleid, wordt extra aandacht besteed aan de elementen die (een grote) bandbreedte teweegbrengen. Door middel van brainstormsessies en risicoanalyses worden met name toekomstonzekerheden geïdentificeerd, die vervolgens door toepassing van het stroomschema worden geconcretiseerd. Deze sessies hebben tot gevolg dat de gevaren van het project al in vroege fasen worden opgemerkt zodat bijtijds actie kan worden genomen en indien nodig de opdrachtgever preventief kan worden ingelicht. Hetzelfde geldt voor de toonaangevende kennisonzekerheden. Door middel van een tornado-diagram worden beide onzekerheden geordend in beeld gebracht.

Zwakke kanten SSK

Door de uniformiteit die de SSK levert is een zeer waardevolle verbeterslag ten aanzien van het ramen van kosten in de GWW-sector gemaakt. De systematiek kent echter ook haar zwakke kanten.

Wanneer de letter van de SSK wordt gevolgd blijkt dat er geen volledig sluitende ramingsmethodiek wordt gepresenteerd. In de SSK worden enkel de bouwstenen voor het probabilistisch ramen behandeld, de SSK geeft echter géén volledig uitgewerkt model om probabilistisch te ramen! Desondanks wordt er vanuit gegaan dat met het uitbrengen van de SSK een volledig correcte en uitgewerkte probabilistische ramingsmethodiek is ontwikkeld. Dit idee wordt versterkt doordat op basis van de SSK programmatuur is ontwikkeld waarmee het mogelijk is om ramingen probabilistisch door te rekenen én doordat vooraanstaande opdrachtgevers de systematiek als de te hanteren systematiek voorschrijven. Doordat de SSK slechts de bouwstenen om probabilistisch te ramen presenteert wordt de ruimte gegeven voor verschillen in interpretatie. Dit is in strijd met het streven naar uniformiteit.

Het innovatieve van de SSK is zondermeer de bottom up benadering ter bepaling van de bandbreedte van de totale raming. Drie bewerkingen om kosten in het uniforme investeringsmodel op te nemen worden behandeld. Voor de bewerkingen wordt de theorie gepresenteerd om de bandbreedte en de verwachtingswaarde te bepalen. Immers bottom up, op regelniveau, is zowel de bandbreedte als de verwachtingswaarde benodigd om deze kenmerken voor de totale raming te berekenen. Het is daarom zeer opvallend dat juist de bepaling van de bandbreedte bij één van de bewerkingen wordt genegeerd. Bij de *kans x gevolg* bewerking wordt alleen de berekening van de verwachtingswaarde behandeld, terwijl juist bij deze bewerking de bandbreedte aanzienlijk en toonaangevend is.

Een onwerkbare situatie manifesteert zich wanneer speciaal op basis van de SSK ontwikkelde programmatuur wordt beschouwd. Het programma RASraming 2.0 en diens opvolger Risicoraming v1.1.3 blijken beide in staat om invulling te geven aan de raming conform het investeringsmodel. Beide programma's bieden eveneens mogelijkheden om volledig bottom up invulling te geven aan de raming. Om te komen tot een meest waarschijnlijke waarde en een bijbehorende bandbreedte wordt gebruik gemaakt van zogenaamde Monte Carlo simulaties. Alvorens een simulatie te kunnen uitvoeren moet worden bepaald of de raming dan wel volledig afhankelijk, dan wel volledig onafhankelijk wordt uitge-

voerd[27]. Ten aanzien van de verwachtingswaarde zijn de consequenties van de keuze nihil. Wanneer de bandbreedte wordt beschouwd blijkt echter dat de uitkomsten tussen de bandbreedte wel degelijk te verschillen. De praktijk laat zien dat de probabilistisch berekende bandbreedte vaak wordt bepaald door een middeling van beide uitkomsten. Dit is praktisch gezien een voor de hand liggende oplossing, echter sec vanuit theoretisch oogpunt bekeken roept dit vraagtekens op. Wat is immers het nut van een gedetailleerde bottom up benadering als daarna een grove middeling plaatsvindt waarvan niet bekend is of dit een correcte voorstelling van zaken is.
Tot besluit wordt in de SSK gesteld dat kostendeskundigen in staat zijn om voor zowel prijs als hoeveelheid een passende kansdichtheidsfunctie te definiëren door het ramen van LTU-waarden. Op basis van deze waarde wordt een driehoekige kansdichtheidsfunctie opgesteld, het is echter maar de vraag of een dergelijke kansdichtheidsfunctie de realiteit goed kan beschrijven. Misschien zijn andere verdelingen wel beter in staat dan de driehoekige kansdichtheidsfunctie om de realiteit te weerspiegelen. Uit bijlage G blijkt bijvoorbeeld al dat de LTU-verdeling niet in alle gevallen de werkelijke kansdichtheidsfunctie kan beschrijven. Het programma Risicoraming biedt de mogelijkheid om de opgegeven LTU-verdeling dusdanig aan te passen dat ook waarden buiten de opgegeven uitersten in een simulatie kans van optreden hebben, in bijlage H is dit behandeld. Het gevolg is dat het functievoorschrift dusdanig wordt aangepast dat volledig voorbij gegaan wordt aan de kennis en expertise van de kostendeskundige. Het absolute verschil tussen U en L wordt in sommige gevallen meer dan verdubbeld terwijl ook de scheefheid van de driehoek verandert. In de SSK wordt overigens géén melding gemaakt van deze aanpassingsmogelijkheid. Deze functionaliteit wordt echter geboden om bottom up de bandbreedte structureel te vergroten zodat de bandbreedte van de totale raming vergroot wordt en beter aansluit bij het gevoel van de experts.

[27] Het programma RASraming heeft de functionaliteit dat correlatiefactoren tussen 0 en 1 kunnen worden ingevoerd. Het toepassen van waarden tussen 0 en 1 is echter zeer bewerkelijk en de onderbouwing van waarden tussen 0 en 1 is uiterst lastig. Het gevolg is dat in de praktijk deze functionaliteit niet wordt toegepast. In Risicoraming, de opvolger van RASraming is deze functionaliteit daarom niet meer opgenomen.

3.6 Conclusie

In de SSK worden drie bewerkingen om te ramen onderscheiden, te weten: ramen door *prijs x hoeveelheid*, ramen door *kans x gevolg* berekeningen en ramen met behulp van *opslagpercentages*. Bij het probabilisch ramen worden afhankelijk van de bewerkingen en afhankelijk van de beschikbaarheid van gegevens kansdichtheidfuncties bepaald. Voor elk van de bewerkingen is bekeken hoe de corresponderende kansdichtheidsfunctie kan worden opgezet in een verwachtingswaarde μ en standaardafwijking σ. Deze vertaalslag wordt gemaakt omdat kansdichtheidsfuncties gedefinieerd door μ en σ prettige rekenkundige eigenschappen hebben. Mits uitgegaan wordt van volledige afhankelijkheid of onafhankelijk tussen de kansdichtheidfuncties kan namelijk de μ en σ voor de sommatie berekend worden.

Voor de bewerking *opslagpercentage* geldt dat de dat kdf gebaseerd op een minimum, maximum en meest waarschijnlijke percentage om te zetten is in μ en σ. Uit ondermeer bijlage C is gebleken dat bij de vertaalslag informatie verloren gaat maar dat desondanks de normale verdeling goede aansluiting vindt. Wellicht kan deze aansluiting geoptimaliseerd worden door over te stappen naar een normale verdeling geldend voor de kdf links van μ en een normale verdeling geldend voor de kdf rechts μ.
Indien geraamd wordt met een *opslagpercentage* is het van belang om te bepalen wat als bron dient voor het opslagpercentage. In de praktijk blijken zowel de verwachtingswaarde als de modale waarde te worden gebruikt. Vanuit wiskundig oogpunt geniet de μ de voorkeur.

Voor de bewerking *prijs x hoeveelheid* is verondersteld dat de kdf's van *prijs* en *hoeveelheid* worden gedefinieerd door het ramen van LTU-waarden. Kostendeskundigen werkzaam binnen en buiten Holland Railconsult veronderstellen dat bij het product van *prijs* en *hoeveelheid* beide grootheden onafhankelijk van elkaar beschouwd moeten worden. Het product van *prijs* en *hoeveelheid* kan worden omgezet in μ en σ, hiertoe dient allereerst deze omzetting voor de beide grootheden afzonderlijk te worden bepaald. De normale verdeling op basis van de berekende μ en σ vindt goede aansluiting bij de werkelijke kansdichtheidsfunctie, zoals bijlage D laat zien.

De laatste bewerking *kans x gevolg* wordt gekenmerkt door een kdf die discontinu is. Het is wiskundig gezien vrij eenvoudig om de μ en σ voor een *kans x gevolg* berekening te bepalen. Zoals figuur 18 treffend weergeeft kan de originele kdf gedefinieerd door de ingeschatte kans en het bijbehorende gevolg niet goed worden weergegeven door de normale verdeling op basis van μ en σ. Wanneer één of enkele *kans x gevolg* ramingen worden beschouwd dan blijkt de vertaling in termen van μ en σ geen goed alternatief. Enkel wanneer veel identieke *kans x gevolg* berekeningen worden beschouwd dan blijkt dat de verwachtingswaarde en de standaardafwijking van het totaal wel goed kan worden bepaald op basis van μ en σ. Dit komt omdat naarmate het aantal identieke *kans x gevolg* ramingen toeneemt de relatieve spreiding ten opzichte van het totale gemiddelde afneemt. Van dit gunstige effect is alleen sprake wanneer kdf's van gelijke orde worden beschouwd. Zodra namelijk een gevolg in de raming wordt opgenomen dat een paar maal groter (of kansen die een orde kleiner zijn) is dan de overige gevolgen dan treedt het effect niet of slechts ten dele op.

Bij het samenvoegen van de ramingen op regelniveau tot een totaalraming blijkt dat het programma Risicoraming komt tot twee bandbreedten! De aanname in afhankelijkheid tussen de posten bepaalt de grootte van de bandbreedte, hetgeen onacceptabel is. Een andere factor wat de grootte van de bandbreedte bepaalt is het aantal regels wat in de raming is opgenomen. Indien een post met een bepaalde standaardafwijking wordt opgedeeld in meerdere posten met proportionele standaardafwijkingen dan blijkt dat dit effect heeft op de standaardafwijking van de totale raming. Dit is eveneens een ongewenst effect.
Bekeken zal worden of een alternatieve ramingsmethode kan worden ontwikkeld die een oplossing voor de bovengenoemde problemen biedt.

4 Een model op basis van correlatiegroepen

In de SSK wordt gesteld dat zowel de bandbreedte als de verwachtingswaarde van de totale raming *bottom up* berekend kan worden. Ten aanzien van het bottom up berekenen van de bandbreedte wordt geen uitgewerkte methodiek aangereikt. Speciaal op basis van de SSK ontwikkelde programma's reiken desalniettemin twee methoden aan op de bandbreedte bottom up te berekenen, te weten *volledig afhankelijk* en *volledig onafhankelijk*. De keuze ten aanzien van de veronderstelde afhankelijkheid bepaalt sterk de bandbreedte van de totale raming. Deze situatie is ongewenst omdat verondersteld wordt dat de werkelijke afhankelijkheid zich ergens tussen volledig afhankelijk en onafhankelijk ophoudt.
Een theoretische innovatieve oplossing voor dit probleem is gevonden in een model op basis van correlatiegroepen. De kern van het model bestaat uit het dusdanig fragmenteren en weer samenvoegen van de *bekende voorziene kosten* dat de onderling afhankelijke kosten samen in aparte groepen worden ondergebracht

4.1 Modelopbouw

Ter verduidelijking van het model op basis van correlatiegroepen worden eerst de kern van de reeds besproken modellen inzichtelijk gemaakt. Hierbij wordt primair aandacht besteed aan de modelopbouw en de wiskundige verbanden.

Onafhankelijk model ter bepaling van de bandbreedte
Het volledig onafhankelijke model kenmerkt zich door de veronderstelling dat alle kostenposten onafhankelijk van elkaar zijn. De onderstaande figuur is een weergave van dit model. De raming van het totaal komt tot stand door de kostenposten in een correlatiegroep volledig afhankelijk op te tellen en de correlatiegroepen onderling volledig "onafhankelijk op te tellen".

	Correlatiegroepen						
	Groep 1	Groep 2	Groep 3	Groep 4	Groep 5	Groep 6	
Kostenpost 1	σ						Afhankelijk
Kostenpost 2		σ					
Kostenpost 3			σ				
Kostenpost 4				σ			
Kostenpost 5					σ		
Kostenpost 6						σ	
	Σ_{Groep1}	Σ_{Groep2}	Σ_{Groep3}	Σ_{Groep4}	Σ_{Groep5}	Σ_{Groep6}	
	onafhankelijk						Totaal

Figuur 19: visualisatie van het onafhankelijke model.

Bij een onafhankelijke raming wordt in essentie voor alle kostenposten een unieke correlatiegroep aangemaakt. Zodoende bestaat elke correlatiegroep uit één enkele kostenpost, in figuur 19 geschematiseerd door de gearceerde diagonaal.
De verwachtingswaarde van de raming wordt berekend door lineaire optelling van de kostenposten. De bandbreedte van de raming wordt berekend door de wortel te nemen uit de kwadratische optelling van de bandbreedte per kostenpost ("onafhankelijk optellen").

Afhankelijk model ter bepaling van de bandbreedte
Het volledig afhankelijke model kenmerkt zich door de veronderstelling dat alle kostenposten afhankelijk van elkaar zijn. De onderstaande figuur is een vereenvoudigde weergave van dit model. De raming van het totaal komt tot stand door de kostenposten in één correlatiegroep onder te brengen en deze kostenposten volledig afhankelijk op te tellen.
De verwachtingswaarde van de raming wordt berekend door lineaire optelling van de kostenposten. De bandbreedte van de raming wordt berekend door lineaire optelling van de bandbreedte van de kostenposten.

	Correlatiegroepen		
	Groep 1		Afhankelijk
Kostenpost 1	σ		
Kostenpost 2	σ		
Kostenpost 3	σ		
Kostenpost 4	σ		
Kostenpost 5	σ		
Kostenpost 6	σ		
	Σ_{Groep1}		
	n.v.t.		Totaal

Figuur 20: visualisatie van het afhankelijke model.

Model op basis van de SSK.
In de praktijk wordt bij Holland Railconsult gewerkt met een mix tussen het onafhankelijke en afhankelijke model. Bij het afhankelijk doorrekenen van de kostenraming wordt gesteld dat alle kostenposten volledig afhankelijk van elkaar zijn, uitgezonderd de kostenposten die deel uitmaken van het *object onvoorzien* of het *project onvoorzien*. Deze posten worden onderling volledig onafhankelijk beschouwd.

De gelijkenis van de bovengenoemde modellen is dat kostenposten deeluitmakend van het *object onvoorzien* of het *project onvoorzien* in de raming op identieke wijze worden behandeld. Deze kostenposten worden onafhankelijk van elkaar beschouwd. Het verschil tussen de modellen is de wijze waarop de overige kostenposten in het model worden opgenomen. In het afhankelijke model worden deze kostenposten afhankelijk beschouwd, in het onafhankelijke model worden deze onafhankelijk beschouwd.

Voor de kostenposten deeluitmakend van het *object onvoorzien* en het *project onvoorzien* kan een aparte groep worden gedefinieerd mits de samenstellende kostenposten volledig onafhankelijk van elkaar beschouwd worden. De onafhankelijke sommatie van *n* correlatiegroepen bestaande uit één identieke kostenpost is namelijk gelijk aan de onafhankelijke sommatie van *n* correlatiegroepen.
Voor de *voorziene kosten* uitgezonderd het *object onvoorzien* en het *project onvoorzien* kan eveneens een aparte correlatiegroep aangemaakt. Het verschil in de afhankelijke of onafhankelijke benadering komt tot uiting in berekeningswijze binnen deze groep.

	Correlatiegroepen						
	Voorziene Kosten		Object Onvoorzien		Project Onvoorzien		
Kostenpost 1	…	afhankelijk dan wel onafhankelijk		onafhankelijk		onafhankelijk	
Kostenpost 2	…						
Kostenpost 3	…						
Kostenpost 4	…						
Kostenpost 5			…				
Kostenpost 6					…		
	Σ_{Groep1}		Σ_{Groep2}		Σ_{Groep3}		
	Onafhankelijk						Totaal

Figuur 21: visualisatie van het (on)afhankelijke SSK-model.

4.2 Een model op basis van correlatiegroepen

4.2.1 De kern van het model

Een zwakte in de SSK-methodiek is dat er ook met behulp van geavanceerde programmatuur niet kan worden gekomen tot een eenduidige uitspraak over de bandbreedte. Een oplossing voor dit probleem kan gevonden worden door te kiezen voor een alternatieve benaderingswijze[28]. Elke post die opgenomen wordt in de raming kan namelijk worden gezien als een samenstelling van een aantal kostendragers. Een kostendrager symboliseert een bepaald aspect waaruit de kosten van de kostenpost opgebouwd zijn, zo'n aspect kan bijvoorbeeld "kosten betonstaal" of "kosten bouwkraan" zijn. Een groot aantal kostendragers kan worden gedefinieerd, omwille van de praktische werkbaarheid is het raadzaam het aantal te beperken.
Wanneer geraamd wordt op basis van correlatiegroepen (kostendragers) dan moet voor elke geraamde post door middel van percentages worden aangegeven hoeveel van het totale kosten op regelniveau aan de gedefinieerde correlatiegroepen toebehoord. Ten opzichte van elkaar (extern) worden correlatiegroepen onafhankelijk verondersteld. Gegevens binnen een correlatiegroep (intern) worden afhankelijk beschouwd.
Een voor de hand liggende onderverdeling in correlatiegroepen is die naar materiaal, materieel en manuren/loon/arbeid. Elke geraamde post is opgebouwd uit een combinatie van deze componenten. In veel gevallen zullen de percentages ergens tussen de 10 en 70% liggen, in sommige gevallen zijn ook extremere verdelingen denkbaar. Bij leveranties zal de post materiaal misschien wel 95% van het totaal uitmaken. De kostendeskundigen van HR blijken per discipline goed in staat om de verdeling over de groepen per project weer te geven. De kostendeskundigen van Holland Railconsult maken gebruik van het computerprogramma IBIS-CALC[29], waardoor de uitsplitsing in materiaal, materieel en arbeid inzichtelijk is en kan worden onderbouwd. Voor een tiental disciplines zijn de percentages gegeven voor het project Zuiderzeelijn.

Discipline	Arbeid	Materiaal	Materieel
Baanbouw	5%	70%	25%
Spoorwegbouw	8%	74%	18%
Geluidschermen	10%	70%	20%
Bovenleiding en draagconstructie	25%	60%	15%
Tractie-voeding	30%	65%	5%
Beveiliging	30%	60%	10%
K&L-derden	25%	60%	15%
Kunstwerken beton	40%	40%	20%
Kunstwerken staal	40%	40%	20%
Stations	40%	40%	20%

Tabel 9 De correlatiefactoren per discipline voor de Zuiderzeelijn.

Wanneer $\sigma_{kostenpost}$ en $\mu_{kostenpost}$ bekend zijn kan per correlatiegroep de σ_{post} en μ_{post} worden toebedeeld. De berekening voor het toedelen van de verwachtingswaarde over de correlatiegroepen is proportioneel, de veronderstelde correlatiefactor bepaalt het aandeel voor de betreffende correlatiegroep. De onderstaande Formule 15 geeft de berekeningsmethode weer.

Formule 15

$$\mu_{\text{correlatiegroep}} = \mu_{\text{post}}\alpha_i$$

$$\alpha_i = correlatiefactor\ voor\ de\ betreffende\ correlatiegroep$$

Voor de berekening voor het toedelen van de spreiding op postniveau naar een spreiding per correlatiegroep wordt Formule 16 gehanteerd[30]. De formule berekent de spreiding dusdanig dat de wortel uit de kwadratensom van de spreidingsaandelen van de correlatiegroepen gelijk is aan de spreiding op postniveau.

[28] De aanzet tot deze methode is aangereikt in de PAO cursus Voorzien, Onvoorzien en Onzeker.
[29] Holland Railconsult gebruikt het programma IBIS-Calc voor het bepalen van het de aandelen in arbeid, materiaal en materieel. Een ander programma met gelijksoortige functionaliteit is GWWkosten. Op de website www.kosteninformatie.nl wordt de mogelijkheid geboden om on line voor diverse kostenposten het aandeel in arbeid, materiaal en materieel te achterhalen.
[30] Deze formule is ontwikkeld door Hans Kuiper en wijkt af van de formule die Prof. drs.ir. J.K. Vrijling in de PAO-cursus heeft gegeven. De formule van Kuiper verdeelt sigma dusdanig dat deze sigma's evenredig zijn met de mu's en bovendien dat de wortel uit onafhankelijke kwadratische optelling de originele sigma oplevert.

Formule 16 $$\sigma_{\text{deelpost binnen de correlatiegroep}} = \sigma_{\text{post}} \sqrt{\frac{\alpha_i^2}{\sum \alpha_i^2}}$$

$\alpha_i = correlatiefactor\ voor\ de\ betreffende\ correlatiegroep$

Aan de hand van de gegevens in tabel 9 en de formules 15 en 16 is een spreadsheetmodel ontworpen. Dit spreadsheetmodel (de kern van het model op basis van correlatiegroepen) is in bijlage I aan een gevoeligheidsanalyse onderworpen. De uitkomsten van het model zijn vergeleken met een volledig afhankelijk en een volledig onafhankelijk model, zoals beschreven in §3.3. Voor het model zijn drie correlatiegroepen *arbeid*, *materiaal* en *materieel* benoemd. Het model bestaat uit tien regels (kostenposten) met correlatiefactoren die gelijk zijn aan de percentages zoals weergegeven in tabel 9.
Geconcludeerd wordt dat een model op basis van correlatiegroepen:

- Onafhankelijk van het aantal regels is, dat wil zeggen de bandbreedte van de raming verandert niet wanneer bijvoorbeeld éénmaal μ = 100 en σ = 10 wordt ingevoerd óf tweemaal μ = 50 en σ = 5.
- Een variatiecoëfficiënt heeft die ongeveer gelijk is aan 95% van de variatiecoëfficiënt die wordt berekend indien volledige afhankelijkheid van het model wordt beschouwd[31]. Dit percentage is afhankelijk van het aantal gedefinieerde correlatiegroepen. Het model blijkt al naargelang de invulling van de correlatiepercentages een variatiecoëfficiënt te hebben die zich bevindt tussen 1 en $1/\sqrt{n}$ maal de variatiecoëfficiënt van een volledige afhankelijk beschouwd model. Waarbij n het aantal correlatiegroepen voorstelt, overige kdf's kunnen niet worden gehanteerd.
- Vrij robuust is in de zin dat grote uitschieters in correlatiefactoren en in ingevoerde data weinig invloed hebben op de verhouding tussen de variatiecoëfficiënt van het model op basis van correlatiegroepen en de variatiecoëfficiënt van het volledig afhankelijke model.

4.2.2 Niveau-II spreadsheetmodel

De kern van het model zoals beschreven in bijlage I beschikt over dusdanige eigenschappen dat bekeken wordt hoe het model kan worden uitgebreid tot een spreadsheetmodel om kosten te ramen. Bij de ontwikkeling van dit ramingsmodel is het investeringsmodel van de SSK, zie bijlage L, als uitgangspunt gehanteerd. Enkele concessies zijn gedaan om de werking van het model inzichtelijk te houden. Het model is op de volgende punten gesimplificeerd:

- De eerste simplificatie is dat de bij de voorziene kosten de "directe kosten" en de "indirecte kosten" tezamen zijn genomen. De directe kosten en indirecte kosten zijn samengenomen omdat de "bekende directe kosten" en de "bekende indirecte kosten" in het model beide naar dezelfde correlatiegroepen arbeid, materiaal en materieel worden opgedeeld. Van een opdeling in "nader te detailleren indirecte kosten" en in "nader te detailleren directe kosten" blijkt in de praktijk geen sprake. Uit gesprekken met kostendeskundigen van Rijkswaterstaat, Holland Railconsult en DHV blijkt dat de voorziene nader te detailleren indirecte kosten in praktijk niet worden benut.
- De tweede simplificatie is de bekende voorziene kosten enkel als concreet getal of door middel van LTU-waarden kunnen worden geraamd.
- De derde simplificatie is dat de kostenposten deeluitmakend van het object onvoorzien of het project onvoorzien enkel door de kans & gevolg bewerking óf de LTU-bewerking kunnen worden geraamd.

In het investeringsmodel van de SSK worden 6 kostensoorten onderscheiden, te weten:

1. Bekende directe voorziene kosten
2. Nader te detailleren directe voorziene kosten
3. Bekende indirecte voorziene kosten
4. Nader te detailleren indirecte voorziene kosten
5. Onvoorziene kosten object gerelateerd
6. Onvoorziene kosten project gerelateerd

In het model op basis van correlatiegroepen worden 5 kostensoorten onderscheiden, te weten:

1. Directe en indirecte bekende en nader te detailleren voorziene arbeidskosten.
2. Directe en indirecte bekende en nader te detailleren voorziene materiaalkosten.
3. Directe en indirecte bekende en nader te detailleren voorziene materieelkosten.
4. Onvoorziene kosten object gerelateerd
5. Onvoorziene kosten project gerelateerd

[31] Geldt enkel wanneer alle kostenposten in de groepen arbeid, materieel en materiaal worden onderverdeeld.

De simplificaties én toepassen van correlatiegroepen voor *arbeid*, *materiaal* en *materieel* hebben tot gevolg dat het investeringsmodel van de SSK op enkele punten is aangepast, in figuur 22 is dit model weergegeven.

KOSTEN-SOORTEN / KOSTEN-CATEGORIEEN	**Voorziene kosten** [Directe en indirecte kosten]						Onvoorziene kosten				**Totaal:**
	arbeid		*materiaal*		*materieel*		*object*		*project*		
	bekend	n.t.d	bekend	n.t.d	bekend	n.t.d	bekend	*n.t.d*	bekend	*n.t.d*	
Bouwkosten + Vastgoedkosten + Engineeringkosten + Overige bijkomende Kosten	LTU	opslagpercentage	LTU	opslagpercentage	LTU	opslagpercentage	Geïdentificeerd	Benodigd	Geïdentificeerd	Benodigd	Σ
											Σ
											Σ
											Σ
BASISRAMING:	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ			**Σ**
Project Onvoorzien									Σ	Σ	
Raming Project											**Σ**
TOTAAL:	aan te houden voor BUDGETDOELEINDEN:										
BANDBREEDTE:	bedrag 1 – bedrag 2 bij X% betrouwbaarheidsinterval.										
PRIJSPEIL:	dag-maand-jaar										

Figuur 22: visualisatie van het afhankelijke model.

In het model zijn vier posities opgenomen waar kosten geraamd kunnen worden, de onderstaande vier opties worden in het model geboden om kosten te ramen.

1. *Bekende Voorziene directe en indirecte kosten.*
   De bekende directe en indirecte kosten betreffen over het algemeen kennisonzekerheden, het zijn bekende kosten die door middel van LTU-verdelingen worden gekenmerkt. Voor alle kostenposten die deel uitmaken van de *bekende directe en bekende indirecte voorziene kosten* geldt dat per kostenpost het aandeel arbeid, materiaal en materieel dient te worden opgegeven.

2. *Nader te detailleren directe kosten en indirecte voorziene kosten.*
   Kosten waarvan het wel bekend is dat deze gemaakt moeten worden maar waarvan onvoldoende informatie beschikbaar is om deze onder de bekende kosten op te nemen.
   Voor het nader te detailleren wordt vaak geraamd door toepassing van *opslagpercentages*.

3. *Onvoorziene kosten object gerelateerd.*
   De onvoorziene object gerelateerde kosten betreffen kosten om onvoorziene gebeurtenissen op te vangen die aan een kostenpost kunnen worden toegekend. In de raming worden deze kosten vaak geraamd door toepassing van *kans & gevolg* berekeningen. Wanneer meer informatie beschikbaar is kunnen deze eventueel ook door middel van *prijs x hoeveelheid* of *opslagpercentage* van de voorziene kosten worden berekend.

4. *Project onvoorzien.*
   Dit betreffen kosten ter dekking van toekomstonzekerheden die niet relateren zijn aan een object of kostenpost. In een risicoanalyse worden deze risico's geïdentificeerd en in de raming opgenomen door *kans & gevolg* berekeningen. Wanneer meer informatie beschikbaar is kunnen deze eventueel ook door middel van *prijs x hoeveelheid* of *opslagpercentage* van de basisraming worden berekend.

Het model op basis van correlatiegroepen behandelt kostenposten deeluitmakend van het *object onvoorzien* of het *project onvoorzien* conform de twee modellen. Voor de overige kostenposten wordt de veronderstelling gemaakt dat de kosten bestaan uit *arbeidskosten*, *materiaalkosten* en *materieelkosten*. Voor deze driedeling is gekozen omdat elke kostenpost kan worden gezien als het resultaat van *arbeid*, *materiaal* en *materieel*. Kostendeskundigen van Holland Railconsult zijn in staat om per project per discipline het aandeel van *arbeid, materiaal* en *materieel* te bepalen. Op lager niveau is het eveneens mogelijk om de kosten te splitsen in de drie groepen, diverse calculatieprogramma's bieden hiertoe de mogelijkheid. In het model is de aanname gedaan dat voor zowel *arbeid*, *materiaal* en *materieel* geldt dat de deeluitmakende kostensoorten onderling afhankelijk zijn. Daartoe zijn in het model zijn voor arbeid, materiaal en materieel aparte correlatiegroepen opgenomen. In essentie zijn voor de *bekende voorzien kosten* drie nieuwe kostensoorten gedefinieerd.

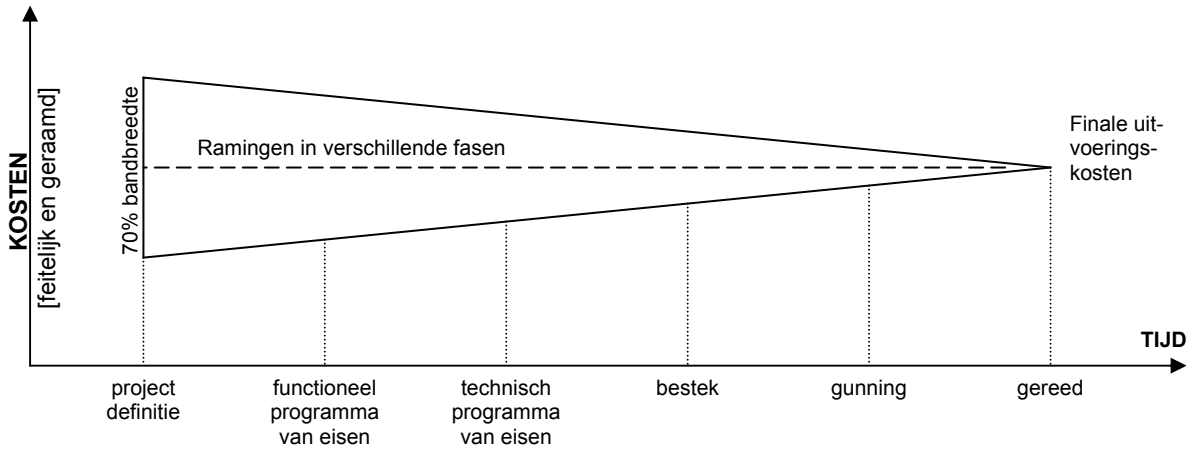
	Correlatiegroepen			Groep	Groep	
	Arbeid	Materiaal	Materieel	Object onv.	Project Onv.	
Kostenpost 1	α_1	β_1	χ_1			
Kostenpost 2	α_2	β_2	χ_2	…		
Kostenpost 3	α_3	β_3	χ_3			
Kostenpost 4	α_4	β_4	χ_4			
Kostenpost 5	α_5	β_5	χ_5			
Kostenpost 6	α_6	β_6	χ_6		…	
	Σ_{Groep1}	Σ_{Groep2}	Σ_{Groep3}	Σ_{Groep4}	Σ_{Groep5}	
	onafhankelijk					Totaal

Afhankelijk (Arbeid, Materiaal, Materieel); Onafhankelijk (Object onv., Project Onv.)

Figuur 23: visualisatie van het afhankelijke model.

4.2.3 De werking van het spreadsheetmodel

Het probleem dat in vroege fasen speelt, is dat zowel de verwachtingswaarde als de bandbreedte van het *nader te detailleren*, het *object onvoorzien* en het *project onvoorzien* niet volledig kan worden onderbouwd. Het behoeft geen uitleg dat de spreiding en de verwachtingswaarde van de bekende kosten in eerdere stadia wel bekend zijn.
Teneinde het model op basis van correlatiegroepen eveneens in eerdere stadia toepasbaar te maken is uitgegaan van het feit dat de bandbreedte naarmate het project vordert zal afnemen, zoals in figuur 24 is weergeven.



Figuur 24: Afname van bandbreedte in de loop der tijd.

Ten behoeve van de ontwikkeling van het model hebben kostendeskundigen van Holland Railconsult op basis van kennis en ervaring invulling gegeven aan het verloop van de bandbreedte. Het aandeel *nader te detailleren kosten* en het aandeel *onvoorziene kosten* zijn afhankelijk van de RVOI-fase bepaald. Per RVOI-fase hebben de kostendeskundigen de percentages bepaald waarbij de *bekende voorziene kosten* als uitgangspunt zijn gebruikt.
De percentages die bepaald zijn voor het *nader te detailleren* zijn percentages over de *voorziene kosten*. De percentages die zijn bepaald ten aanzien van het *object onvoorzien* zijn percentages over de voorziene kosten (bekende + nader te detailleren). De percentages met betrekking tot *project onvoorzien* hebben betrekking op de *basisraming* (bekende + nader te detailleren voorziene kosten + object onvoorzien). In tabel 10 zijn de bevindingen weergegeven waarbij de bekende voorziene kosten dus-

danig zijn aangepast dat de totaalsom per RVOI-fase gelijk is aan 100. Opgemerkt dient te worden dat de percentages sterk projectafhankelijk zijn.

RVOI-fase	Bekende Kosten [B.K.]	Onbekende Kosten [O.K.]		
	Bekende Kosten [B.K.]	Nader te detailleren	Object onvoorzien	Project onvoorzien
1	63,13	20% van de B.K.	10% van de V.K.	20,0% van de B.R.
2	70,34	15% van de B.K.	7,5% van de V.K.	15,0% van de B.R.
3	80,62	5% van de B.K.	5% van de V.K.	12,5% van de B.R.
4	90,91	0% van de B.K.	0% van de V.K.	10,0% van de B.R.

Tabel 10: Percentages nader te detailleren, object onvoorzien en project onvoorzien.

Uit tabel 10 blijkt dat in vroege fasen het merendeel van de projectkosten te ramen/bepalen is. Om in een vroege projectfase tot een adequate raming te komen moet naast het bepalen van de *bekende voorziene kosten* invulling worden gegeven aan het *nader te detailleren*, het *object onvoorzien* en *het project onvoorzien*. Indien geen of onvoldoende informatie beschikbaar is besloten om invulling te geven aan deze kostensoorten om conform tabel 10.

De vraag is echter hoe invulling te geven aan het *nader te detailleren*, het *object onvoorzien* en *het project onvoorzien*? De oplossing van dit vraagstuk wordt nog eens bemoeilijkt doordat het als vanzelfsprekend mogelijk moet zijn om gedeeltelijke invulling te geven aan de onbekende kosten. Sterker nog, uit interne SSK-workshops is de idee ontstaan dat niet alle “onbekende kosten” vooraf in risicoanalyses en/of brainstormsessies te identificeren zijn. Met name voor het *project onvoorzien* is de veronderstelling dat slechts ten dele invulling gegeven kan worden. In de SSK-workshops bleken vakbekwame kostendeskundigen in staat bottom up ca 50% van de werkelijk opgetreden risico’s te kunnen identificeren. Hierdoor is de idee ontstaan dat met name het project onvoorzien niet voor de volle 100% bottom up is te bepalen.

Oplossing vraagstuk voor de verwachtingswaarden van de onbekende kosten
Aangezien de meeste informatie over de *bekende kosten* én aangezien de *bekende kosten* het grootste deel van de projectkosten omvatten, zijn deze kosten als uitgangspunt gehanteerd. Het model is met betrekking tot de *onbekende kosten* dusdanig ingericht dat bij gedeeltelijke invulling deze *onbekende kosten* worden gecomplementeerd opdat de verwachtingswaarde van de *onbekende kosten* gelijk is aan de percentages zoals vermeld in tabel 10. Wanneer het de invulling leidt tot percentages die percentages in tabel 10 ontstijgen, dan corrigeert model deze niet.
Met andere woorden het model zorgt ervoor dat afhankelijk van de projectfase de verwachtingswaarde van de onbekende kosten gelijk is aan opgegeven percentages. Om te komen tot deze percentages wordt verwachtingswaarde van de bekende kosten met een factor vermenigvuldigd.

Oplossing vraagstuk voor de standaardafwijking van de onbekende kosten
Voor de berekening van de onbekende kosten wordt gebruikgemaakt van vermenigvuldiging met een percentage. Vermenigvuldiging door middel van een percentage is echter ongeschikt wanneer de standaardafwijking beschouwd wordt. De ongeschiktheid van de berekeningswijze blijkt uit twee zaken:
Ten eerste mag worden verondersteld dat de bandbreedte van het *nader te detailleren* groter of gelijk is aan de bandbreedte behorend bij de *bekende voorziene kosten*. De bandbreedte die samenhangt met het object onvoorzien zal onder normale omstandigheden gedeeltelijk zijn opgebouwd uit *kans & gevolg* berekeningen. De corresponderende bandbreedte zal dan relatief gezien die van het *nader te detailleren* overtreffen. De maximale bandbreedte wordt gevonden bij het *project onvoorzien* aangezien deze kostensoort bijna volledig opgebouwd wordt met *kans & gevolg* berekeningen.
Ten tweede, de opbouw van het model maakt lineaire vermenigvuldiging ongeschikt. Het model is dusdanig opgezet dat de kostensoorten onafhankelijk van elkaar worden beschouwd, dit heeft gevolgen voor de bandbreedte van de raming. Stel dat de standaardafwijking lineair wordt bepaald op basis van tabel 11. De verwachtingswaarde van de bekende kosten worden geraamd op €63,13 met een standaardafwijking van 10%.

Bekende Kosten			N.t.d. Kosten			Object Onvoorzien			Project Onvoorzien			raming		
63,13%			20%			10%			20%			raming		
μ_{bk}	σ_{bk}	vc_{bk}	μ_{ntd}	σ_{ntd}	vc_{ntd}	μ_{ov}	σ_{ov}	vc_{ov}	μ_{pv}	σ_{pv}	vc_{pv}	μ_{tot}	σ_{tot}	vc_{tot}
63,1	6,31	***0,1***	12,6	1,26	***0,1***	7,58	0,76	***0,1***	16,67	1,67	***0,1***	100	6,69	**0,067**

Tabel 11: Bijtelling onbekende kosten leidt tot reductie van de variatiecoëfficiënt.

Uit de tabel kan worden afgelezen dat de spreiding van de totale raming afneemt indien voor de kostensoorten relatief gezien een gelijke spreiding wordt gebruikt. Een andere manier om dit gegeven te interpreteren is dat bij lineaire vermenigvuldiging de onzekerheid in het *nader te detailleren*, het *object onvoorzien* en het *project onvoorzien* leidt tot een afname in de totale projectonzekerheid. Hetgeen is irreëel omdat mag worden verondersteld dat juist de onbekende kosten ertoe leiden dat de procentuele bandbreedte van het project toeneemt. Lineaire vermenigvuldiging is een methode die daarom ongeschikt is voor het berekenen van de bandbreedte. Desondanks is het wel consequent om de bandbreedte van de bekende kosten als uitgangspunt te kiezen. Een oplossing is gevonden door te werken met een tabel waarin afhankelijk van de projectfase én afhankelijk van de kostensoort rekenfactoren voor de spreiding zijn opgenomen.
In bijlage K is een exercitie uitgevoerd met als uitgangspunt dat de bijtelling van het nader te detailleren, het object onvoorzien en het project onvoorzien niet mag leiden tot een reductie ten opzicht van de variatiecoëfficiënt van de bekende voorziene kosten. Bekeken is wat de standaardafwijkingen van de betreffende kostenposten moeten zijn opdat de variatiecoëfficiënt van de totale raming gelijk is aan de variatiecoëfficiënt van de bekende voorziene kosten. De resultaten zijn weergegeven in tabel 12.

RVOI-fase	Basisraming			Project onvoorzien	
	Bekende Kosten	N. t. d.	Object onvoorzien		Totaal:
1	0,40	1,33	1,83	1,33	0,40
2	0,25	0,95	1,31	0,95	0,25
3	0,10	0,64	0,64	0,41	0,10
4	0,05	0,00	0,00	0,23	0,05

Tabel 12: Variatiecoëfficiënten n.t.d., object onvoorzien en project onvoorzien.

De uitkomsten in tabel 12 laat zien dat de bandbreedte van de onbekende kosten in vroege RVOI-fasen in veel gevallen gelijk of zelfs groter dan de verwachtingswaarde van dezelfde onbekende kosten. In tabel 13 zijn de uitkomsten van variatiecoëfficiënten van het nader te detailleren, het object onvoorzien en het project onvoorzien weergegeven als een factor van de variatiecoëfficiënt van de bekende kosten.

RVOI-fase	Basisraming			Project onvoorzien	
	Bekende Kosten	N. t. d.	Object onvoorzien		Totaal:
1	0,98	3,25	4,49	3,25	1,00
2	0,61	2,32	3,22	2,32	1,00
3	0,24	1,57	1,57	1,01	1,00
4	0,12	0,00	0,00	0,56	1,00

Tabel 13: Variatiecoëfficiënten n.t.d., object onvoorzien en project onvoorzien t.o.v. de variatiecoëfficiënt van de bekende kosten.

4.3 Vergelijking tussen het Spreadsheetmodel, Risicoraming en @RISK

Om het model zoals besproken in §4.2 aan een toetsing te onderwerpen zijn de gegevens van een recent project van Holland Railconsult genomen. Het betreft de raming van een overheidsproject waaraan bijzondere aandacht is besteed. Het project bevindt zich in een fase die vergelijkbaar is aan RVOI-fase 1. De gegevens van de raming zijn aan een rekenkundige bewerking onderworpen waardoor de deterministisch geraamde waarde exact op €1.000,- uitkomt. Deze bewerking is uitgevoerd omdat hierdoor de resultaten gemakkelijker te vergelijken zijn.
Het project is opgedeeld in een aantal disciplines. Per discipline heeft een team van kostendeskundigen de raming van de betreffende discipline deterministisch uitgevoerd. Ten behoeve van de probabilistische totaalraming is voor elke discipline een driehoekige kansdichtheidsfunctie gedefinieerd. De meest waarschijnlijke T-waarde is gelijkgesteld aan de deterministische raming, de uiterste L- en U-waarden zijn door middel van percentages vastgelegd. Het unieke van dit project is dat ten behoeve van de raming per discipline het aandeel in arbeid, materiaal en materieel is bepaald. Tenslotte is gesteld dat het *project onvoorzien* gelijk is aan 10% van de basisraming. In tabel 14 zijn de invoergegevens van de raming weergegeven.

	Omschrijving:		P x H:			Correlatiegroepen		
			|%|	T	|%|	arbeid	materiaal	materieeel
1	Baanbouw	ok	10%	€ 19,86	20%	5%	70%	25%
2	Spoorwerk	ok	10%	€ 52,73	20%	8%	74%	18%
3	Perronbouw	ok	10%	€ 0,41	20%	10%	70%	20%
4	Kunstwerken	ok	15%	€ 366,28	25%	25%	60%	15%
5	TES	ok	15%	€ 26,67	15%	30%	65%	5%
6	Tractie en Voeding	ok	15%	€ 12,48	15%	30%	60%	10%
7	Beveiliging	ok	15%	€ 70,39	15%	10%	70%	20%
8	K&L Technische installaties	-	0%	€ -	0%	40%	40%	20%
9	Stations	ok	30%	€ 7,27	30%	40%	40%	20%
10	Geluid en hekwerken	ok	10%	€ 14,42	20%	40%	40%	20%
11	Landschappelijke inpassing	-	0%	€ -	0%	5%	70%	25%
12	Vastgoed Baan	ok	10%	€ 75,92	50%	8%	74%	18%
13	Vastgoedkosten Kunstwerken	ok	10%	€ 1,35	50%	10%	70%	20%
14	Engineering	ok	15%	€ 74,72	20%	25%	60%	15%
15	K&L	ok	10%	€ 79,88	50%	30%	65%	5%
16	Overige bijkomende kosten	ok	15%	€ 80,24	20%	30%	60%	10%
17	Kosten opdrachtgever	ok	15%	€ 26,48	20%	10%	70%	20%
	Basisraming			**€ 909,09**				
18	Project onvoorzien	ok	10%	€ 90,90	50%			

Tabel 14: Invoergegevens.

Op basis van de bovenstaande gegevens zijn twee modellen op basis van correlatiegroepen ontwikkeld. Het verschil tussen beide modellen is dat het ene model wel en het andere model geen gebruik maakt van een correctietabel. De correctietabel tabel zorgt eervoor dat de bijtelling van het nader te detailleren, het object en het project onvoorzien niet leidt tot een reductie ten aanzien van de variatiecoëfficiënt van de bekende voorziene kosten. Dientengevolge is gekomen tot twee verschillende ramingen.
Om beide modellen op basis van correlatiegroepen te kunnen vergelijken zijn de gegevens eveneens verwerkt in de programma's @RISK en Risicoraming. In beide programma's is de functionaliteit beschikbaar voor het uitvoeren van Monte Carlo Simulaties. Beide programma's zijn in staat tot het uitvoeren van volledig afhankelijke en volledig onafhankelijke simulaties. De grafische en numerieke uitvoer van de simulatieprogramma's is in bijlage J weergegeven. In deze bijlage zijn eveneens het model op basis van correlatiegroepen gegeven.
Een numerieke samenvatting van de modellen is gegeven in de onderstaande tabellen 15 en 16.

	Min_{raming}	T_{raming}	Max_{raming}	μ_{raming}	σ_{raming}	vc_{raming}
@Risk (onafhankelijk)	€ 936,1	€ 1.000	€ 1178,6	€ 1051,2	€ 37,19	0,0354
Risicoraming (onafhankelijk)	€ 916,8	€ 1.000	€ 1212,5	€ 1056,5	€ 41,29	0,0391
@Risk (afhankelijk)	€ 873,2	€ 1.000	€ 1277,3	€ 1051,1	€ 77,83	0,0740
Risicoraming (afhankelijk)	€ 859,5	€ 1.000	€ 1314,1	€ 1056,5	€ 88,62	0,0839
Model (correlatiegroepen arbeid, materiaal en materieel)	n.v.t.	€ 1.000	n.v.t.	€ 1051,2	€ 76,80	0,0731
Model (correlatiegroepen én rekenfactoren voor de kostensoorten)	n.v.t.	€ 1.000	n.v.t.	€ 1043,0	€ 107,3	0,1029

Tabel 15: Uitvoergegevens ramingen bijlage J, overschrijding L- en U-waarden 0%.

	Min_{raming}	T_{raming}	Max_{raming}	μ_{raming}	σ_{raming}	vc_{raming}
@Risk (onafhankelijk)	€ 799,0	€ 1.000	€ 1332,2	€ 1071,3	€ 79,85	0,0745
Risicoraming (onafhankelijk)	€ 790,8	€ 1.000	€ 1427,0	€ 1077,6	€ 88,92	0,0825
@Risk (afhankelijk)	€ 673,0	€ 1.000	€ 1536,1	€ 1069,5	€ 168,2	0,1572
Risicoraming (afhankelijk)	€ 642,7	€ 1.000	€ 1592,0	€ 1074,1	€ 186,9	0,1740
Model (correlatiegroepen arbeid, materiaal en materieel)	n.v.t.	€ 1.000	n.v.t.	€ 1069,3	€ 166,0	0,1551
Model (correlatiegroepen én rekenfactoren voor de kostensoorten)	n.v.t.	€ 1.000	n.v.t.	€ 1058,1	€ 232,1	0,2193

Tabel 16: Uitvoergegevens ramingen bijlage J, overschrijding L- en U-waarden 30%.

Op basis van bijlage J kunnen enkele conclusies worden getrokken:

- Het blijkt dat de ramingen van @RISK bij benadering gelijk is aan de Niveau-II raming op basis van correlatiegroepen. Het effect dat bij een “normale” invulling van de correlatiefactoren de raming zich bijna volledig afhankelijk gedraagt wordt hiermee onderschreven. In bijlage I bleek namelijk dat percentages van dicht tegen de 100% volledige afhankelijkheid konden worden verwacht.
- In @RISK zijn zowel afhankelijke als onafhankelijke Monte Carlo simulaties uitgevoerd. In het geval van volledige onafhankelijkheid blijkt de uitkomst van de simulatie, zoals op basis van de centrale limietstelling mag worden verwacht, bij benadering gelijk te zijn aan een normale verdeling. Uit een van de simulaties blijkt dat $\mu \cong 1051$ en de $\sigma \cong 37$. Volgens de statistiek zal de 15% ondergrens ongeveer gelijk zijn aan $\mu-\sigma \cong 1051 - 37 \cong 1014$ en de 85% ondergrens gelijk aan $\mu+\sigma \cong 1051 - 37 \cong 1088$. Uit de simulatie blijken de werkelijke waarden 1012 en 1091 te zijn.
- In het geval van volledige afhankelijkheid blijkt de uitkomst van de simulatie ongelijk aan de normale verdeling te zijn. Uit een van de simulaties blijkt dat $\mu \cong 1051$ en de $\sigma \cong 78$. Volgens de statistiek zal de 15% ondergrens ongeveer gelijk zijn aan $\mu-\sigma \cong 1051 - 78 \cong 973$ en de 85% ondergrens gelijk aan $\mu+\sigma \cong 1051 - 78 \cong 1129$. Uit de simulatie blijken de werkelijke waarden 967 en 1140 te zijn. Geconcludeerd kan worden dat de verdeling niet gelijk is aan een normale verdeling maar dat deze wel lijkt op een normale verdeling.

4.4 Conclusie

Het ontwikkelde spreadsheetmodel gaat uit van een bottom up benadering. Conform de SSK wordt bij elke kostenkost de verwachtingswaarde en de bijbehorende spreiding bepaald. De verwachtingswaarde en de spreiding worden vertaald in termen van μ en σ aangezien de statistiek voorziet in rekenkundige regels voor het "optellen" μ en σ.
Met de ontwikkeling van een Niveau-II spreadsheetmodel is getracht een oplossing voor het afhankelijkheidsprobleem te vinden. Een oplossing is gevonden door kostenposten deeluitmakend van de *bekende voorziene kosten* opgebouwd te zien uit *arbeid*, *materieel* en *materiaal*. Uitzonderingen hierop zijn kostenposten deeluitmakend van het *object onvoorzien* en het *project onvoorzien*. Ten behoeve van *arbeid*, *materieel* en *materiaal* zijn correlatiegroepen gedefinieerd, waarbij de kostenposten binnen de groep volledig afhankelijk van elkaar zijn verondersteld. De correlatiegroepen onderling zijn volledig onafhankelijk van elkaar verondersteld. Het gevolg van deze 'maatregel' is dat per kostenpost de kostenaandelen in *arbeid*, *materieel* en *materiaal* bepaald moeten worden. Vervolgens is gekeken of met behulp van deze extra maatregel een realistisch ramingsmodel gemodelleerd kon worden, dit bleek niet het geval. Want het optellen van de kostensoorten *nader te detailleren*, *object onvoorzien* en *project onvoorzien* bij de *bekende voorziene kosten* had tot gevolg dat de bandbreedte van de totale raming relatief gezien kleiner was dan de bandbreedte berekend voor de *bekende voorziene kosten*. Met andere woorden de bijtelling van de kostensoorten met een grote bandbreedte had een reducerend effect op de bandbreedte van de totale raming. Teneinde dit effect tegen te gaan is een module in het model opgenomen waardoor de bijtelling van deze kostensoorten leidt tot een vergroting van de relatieve bandbreedte. Tevens is in het model de functionaliteit verwerkt dat de invoerwaarden van LTU-verdelingen kan worden aangepast zodat ook waarden buiten de geraamde U en L kans van optreden hebben.

Sterke kanten spreadsheetmodel
Door toepassing van het ontwikkelde spreadsheetmodel is het mogelijk om de bandbreedte van de raming eenduidig te berekenen. Dit is een groot voordeel ten opzichte van de huidige programma's. De huidige programma's genereren afhankelijk van de wijze van simulatie twee verwachtingswaarden en twee bandbreedten, hetgeen aanleiding tot discussies kan geven. Het model genereert één verwachtingswaarde en één bijbehorende bandbreedte.
Het tweede sterke punt van het model is dat het gevolg van een wijziging ten aanzien van de verwachtingswaarde en bandbreedte van de totale raming direct is te achterhalen. Bij de programmatuur is daartoe een nieuwe Monte Carlo simulatie noodzakelijk. Aangezien elke simulatie resulteert in kleine wijzigingen in de verwachtingswaarde en de bandbreedte is het effect van kleine wijzigingen niet te achterhalen, dit kan problemen opleveren bij de beoordeling van een kosten baten analyse.

Zwakke kanten spreadsheetmodel
Het model kent zwakke punten. Ten eerste het model vertaalt de opgegeven LTU-waarden in een μ,σ-verdeling waardoor informatie verloren gaat, bijvoorbeeld ten aanzien van scheefte. Sterker nog, de raming van het project is een perfect normale verdeling, scheefheid wordt niet berekend.
Ten tweede moet per kostensoort drie extra gegevens worden bepaald, wat consequenties heeft in tijd en gebruiksvriendelijkheid. De percentages ten aanzien van *arbeid*, *materiaal* en *materieel* zijn volgens de kostendeskundigen van Holland Railconsult goed te bepalen, feit blijft dat het extra inspanning vergt én dat het mogelijkerwijs een bron van discussie kan vormen.
Ten derde is een module in het model opgenomen waardoor het effect van de spreiding van de kostensoorten *nader te detailleren*, *object onvoorzien* en *project onvoorzien* op de totale raming resulteert in een realistische toename van de bandbreedte van de totale raming. Het kan eveneens een nieuwe bron van discussie opleveren.

Aandachtspunten bij het toepassen van het model
Voor een goede werking van het model zijn dusdanig veel invoergegevens benodigd dat dit alleen loont wanneer het model tot zeer goede en betrouwbare resultaten komt. Immers ook hier geldt dat verwacht mag worden dat het resultaat verbeterd naarmate meer gegevens ter invoer dienen. Het is echter nog maar zeer de vraag of het model tot een realistische bandbreedte komt. Wiskundig gezien bevat het model geen fouten, het is echter de vraag of wiskundig gezien de complexiteit in het ramen van kosten correct vertaald is.

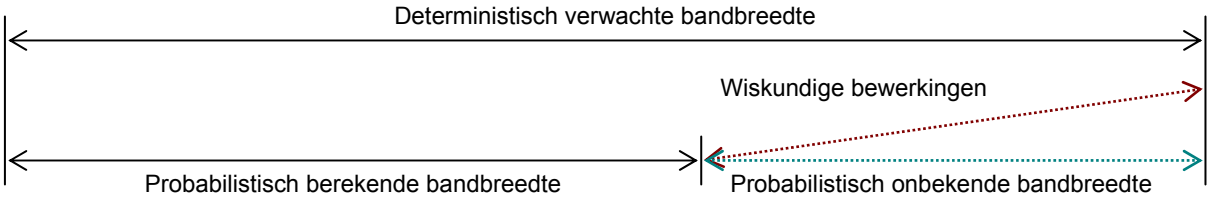
5 Bevindingen van het onderzoek

Tijdens het onderzoek zijn de onderstaande bevindingen en/of aandachtspunten aan de oppervlakte gekomen. Het eerste aandachtspunt is dat in vergelijking tot het deterministisch ramen heel weinig ervaring is opgedaan met de nieuwe methodiek. Dientengevolge kunnen de uitkomsten van de methodiek nog niet op waarde gestaafd worden. Weliswaar wordt met het probabilistisch ramen een onderbouwing van de bandbreedte gegeven, maar min of meer onbekend is de praktijkwaarde ervan. Ter vergelijking, bij deterministische ramingen werd de bandbreedte zonder concrete onderbouwing op basis van kennis en expertise bepaald. De opdrachtgever en het ingenieursbureau konden echter goed met de raming werken door de decennia lange ervaring. De zwakke en sterke punten van de raming waren bekend.
Het tweede aandachtspunt is het feit dat met het probabilistisch ramen wordt gekomen tot bandbreedten die veel smaller zijn dan de bandbreedten die deterministisch worden bepaald. Dit gegeven kan op tweeërlei manieren worden geïnterpreteerd. In het positieve geval betekent dit dat de probabilistische methode daadwerkelijk leidt tot veel “betere” uitkomsten. In dat geval heeft het probabilistisch ramen een spectaculaire verbetering ten aanzien van het ramen van investeringskosten teweeg gebracht. Een meer pessimistische benadering is dat het irreëel lijkt dat de nieuwe methodiek zo’n spectaculaire verbeterslag teweeg kan brengen. Traditioneel is gebleken dat afhankelijk van de projectfase een bepaalde bandbreedte minimaal benodigd is. Daar ten aanzien van de berekening van de verwachtingswaarde van de raming weinig verschillen bestaan tussen de deterministische en de probabilistische methodiek is het vrij onlogisch te veronderstellen dat de bandbreedte ineens een stuk smaller kan worden bepaald. Met andere woorden gewaakt moet worden voor het suggereren van schijnnauwkeurigheid.
Het derde aandachtspunt is dat bij het probabilistisch ramen veel meer gegevens moeten worden ingevoerd om te komen tot een kansdichtheidsfunctie van het totale project. Het is logisch te veronderstellen dat een methodiek waarbij veel en gedetailleerde informatie als input wordt gebruikt tot betere uitkomsten leidt dan een methodiek waarbij minder informatie ter input dient. Met andere woorden veel input impliceert betrouwbare uitkomsten. Het is mijn inziens echter nog maar zeer de vraag of met de bottom up benadering van de bandbreedte wordt gekomen tot betrouwbaardere uitkomsten. Wanneer de SSK volgens de letter wordt gehanteerd, dan dient op regelniveau gewerkt te worden met kansdichtheidsfuncties ter bepaling van de spreiding op regelniveau. De bandbreedte van de totale raming wordt berekend op basis van de spreiding op lagere niveaus. Daar de spreiding al op regelniveau is gedefinieerd wordt de suggestie gewekt dat de spreiding een berekend en bekend gegeven is. Het is juíst deze veronderstelling waardoor de raming een soort schijnnauwkeurigheid krijgt.

Is de probabilistische benadering wel uitontwikkeld?
In de SSK worden plan-, kennis- en toekomstonzekerheden onderscheiden. Het laatste type onzekerheden kan in de raming opgenomen worden door de *kans & gevolg* berekeningen. De discontinue kansdichtheidsfunctie geeft zowel bij speciaal ontwikkelde programma’s als Risicoraming als bij het ontwikkelde Niveau-II spreadsheetmodel problemen. Bij beide methodieken wordt als verwachtingswaarde het product van kans en gevolg opgenomen in de raming. Dit bedrag is bij optreden echter veel te laag om het gevolg te dekken en bij niet optreden komt een bedrag zonder bestemming vrij. Wanneer meerdere risico’s worden geïdentificeerd en opgenomen in de raming zwakt dit effect af, het blijft echter bestaan. Daarnaast moet worden opgemerkt in hoeverre experts bij dergelijke bewerkingen de kansen en gevolgen correct kunnen schatten. Met andere woorden in hoeverre is de huidige *kans & gevolg* benadering geschikt voor het huidige wijze van probabilistisch ramen.

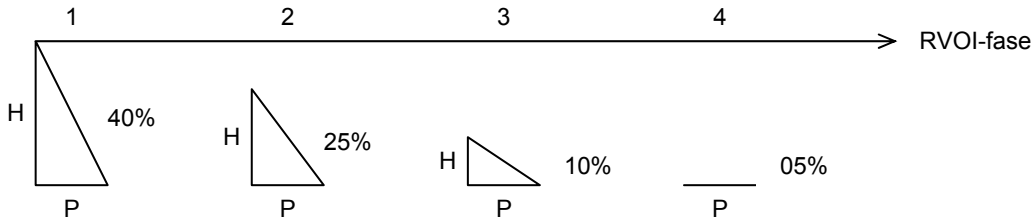
Daarnaast kan worden afgevraagd of de SSK met het onderscheiden van de drie typen onzekerheden wel alle bronnen die de bandbreedte beïnvloeden in beeld zijn. De uitwerking van het ontwerp is vooral in de vroege projectfasen een voorname bron van onzekerheid. Met het ontwerp valt en staat de projectraming, vooral in eerdere projectfasen is de uitwerking van het project nog onvolledig hetgeen een bron van onzekerheid en dus bandbreedte inhoudt. Andere vormen van onzekerheid die in de SSK worden genegeerd zijn markt-, aanbiedings- en budgetonzekerheid, in bijlage M zijn deze “nieuwe” onzekerheden beschreven en zijn deze ingepast in het bestaande stroomschema. De SSK wekt de suggestie dat alle onzekerheidsbronnen in beeld zijn, het tegendeel is echter waar.
Uit de praktijk blijkt dat rekenkundige bewerkingen worden uitgevoerd om de bottom up bandbreedte aan te passen waardoor dat de bandbreedte van het totale project aansluiting vindt bij de deterministisch verwachte bandbreedte. Voorbeelden hiervan zijn het rekenkundig aanpassen van de invoergegevens van de kostenposten (het “platslaan” van de kansdichtheidsfunctie) én het veronderstellen van volledige afhankelijkheid. De bovengenoemde onbekende spreidingsbronnen worden genegeerd. In

plaats van te zoeken waar onzekerheid zich voordoet vinden wiskundige bewerkingen ten aanzien van de bekende kosten vinden plaats om de bandbreedte te vergroten, hetgeen in figuur 27 is weergegeven.



Figuur 27: probabilistische bandbreedte versus deterministische bandbreedte.

Een principieel vraagstuk kan worden geformuleerd door te stellen of de extra aandacht ten aanzien van de raming niet beter geïnvesteerd kan worden in het design van het project of de bewaking van de scope van het project. Kostenoverschrijdingen ontstaan vaak doordat in ramingen de scopewijzigingen nog niet bekend waren en derhalve niet zijn opgenomen. Onzekerheid in het ontwerp (hoeveelheid) bepaald vooral in vroege projectfasen voor het merendeel de bandbreedte van het project, zoals in figuur 28 grafisch is weergegeven.



Figuur 28: Opdeling van de bandbreedte in de componenten prijs en hoeveelheid.

De rekenkundige kant van de SSK

Als gezegd gaat de publicatie uit van een bottom up benadering. De theoretische kant van de publicatie richt zicht op de berekening van de verwachtingswaarde μ en de standaardafwijking σ op het niveau van kostenposten. In de publicatie wordt echter niet beschreven hoe verschillende kostenposten resulteren in een kostensoort en hoe verschillende kostensoorten resulteren in een raming voor de kostencategorie. De verwachtingswaarde van de totale raming is te berekenen door optelling van de verwachtingswaarden op lagere niveaus, al staat dit niet expliciet in de SSK vermeld. Hoe de bandbreedten van de totale raming moet worden berekend uit de standaardafwijkingen op lagere niveaus is niet in de SSK vermeld. De enige plaats in de SSK waar over dit probleem wordt gesproken is in bijlage V waar het volgende te lezen valt:

> *"Als een reeks waarden onafhankelijk van elkaar is, geschiedt het totaliseren van de afzonderlijke spreidingen van de waarden tot een eindspreiding eenvoudig door het kwadraat van de σ's op te tellen, en daar de wortel uit te nemen."*

In de SSK staat nergens vermeld wat de afhankelijkheid van kostenposten binnen een kostensoort is. Evenzo is nergens vermeld wat de afhankelijkheid tussen kostensoorten onderling is, of wat de afhankelijkheid tussen kostensoorten en kostencategorieën bedraagt. Enkel rekenregels worden gepresenteerd die gelden bij volledige onafhankelijkheid, nergens worden rekenregels gepresenteerd die horen bij gedeeltelijke afhankelijkheid.

Desondanks zijn op basis van de SSK programma's ontwikkeld. De programma's maken gebruik van Monte Carlo simulaties om de bandbreedte van het totale project te bepalen. Het grote nadeel hierbij is dat de wijze van simulatie (kostenposten onderling volledig afhankelijk óf volledig onafhankelijk) bepalend is voor de absolute grootte van de bandbreedte. Met andere woorden de wijze van simulatie bepaald de bandbreedte, dit is in strijd met het streven naar uniformiteit binnen de SSK.

6 Conclusies

In dit rapport is het theoretisch kader van de SSK aan nader onderzoek onderworpen. Het doel in het onderzoek is het ontwikkelen van een theoretisch sluitende probabilistische ramingsmethodiek door het ontwikkelen van een spreadsheetmodel. Teneinde dit doel te bewerkstelligen zijn de onderstaande onderzoeksvragen geformuleerd:

1. Welke ramingsmethodieken worden gebruikt en waarom?
2. Wat is de betekenis van bandbreedte binnen de SSK?
3. Waar liggen verbeterpunten binnen de SSK?
4. Hoe kan het berekenen van de bandbreedte in de standaardsystematiek verbeterd worden?

Ramingmethodieken

Ten aanzien van de eerste onderzoeksvraag wordt geconcludeerd dat in de Nederlandse GWW-sector een verschuiving van deterministisch naar probabilistisch ingezet is. Forse kostenoverschrijdingen van grote civieltechnische projecten hebben ertoe bijgedragen dat het vertrouwen in traditionele wijze van ramen sterk verminderd is. Ingegeven door politieke druk is daarom het probabilistisch ramen in Nederland tot ontwikkeling gekomen. In juni 2002 is de 2de verbeterde druk van de Standaardsystematiek voor kostenramingen in de GWW [SSK] uitgekomen. Door te ramen conform de SSK wordt verondersteld dat tot betere kostenramingen wordt gekomen.

Bandbreedte

Het resultaat van een probabilistische projectraming is een kansdichtheidsfunctie van de projectkosten. De verwachtingswaarde van de kansdichtheidsfunctie wordt gehanteerd als het eindbedrag van de raming. De mate van spreiding rond het eindbedrag van de raming, als gevolg van projectonzekerheden, wordt bandbreedte genoemd. De bandbreedte geeft een onder en een bovengrens rondom een verwachtingswaarde aan. De bandbreedte wordt uitgedrukt als variatiecoëfficiënt, als standaardafwijking of als twee waarden, behorend bij een aangegeven betrouwbaarheidsinterval. Veelal wordt hierbij het betrouwbaarheidsinterval van 70% gekozen. Dit houdt in dat in 70% van de gevallen de werkelijke investeringskosten zich bevinden binnen de opgegeven bandbreedte behorend bij de raming van de investeringskosten.

Verbeterpunten ten aanzien van de SSK

Met het uitbrengen van de SSK wordt de suggestie gewekt dat het probabilistisch ramen volledig is uitontwikkeld. De SSK kan op de onderstaande hoofdpunten worden verbeterd:

- In de SSK wordt de stelling ingenomen dat alle onzekerheden bottom up in kaart moeten worden gebracht. In de praktijk blijkt dat deze stelling onhoudbaar is en dat het vooraf onmogelijk is om alle risico's en onzekerheden in de raming op te nemen. De SSK dient meer aandacht te besteden aan de wijze waarop de niet te identificeren risico's en onzekerheden in de raming moeten worden verwerkt.
- De SSK moet met betrekking tot de bandbreedte een oplossing bieden waardoor standaardafwijkingen van de kostenposten (rekening houdend met eventuele afhankelijkheid) kunnen worden "opgeteld". Momenteel zijn twee methoden voor handen om deze "optelling" uit te voeren. Beide methoden zijn wiskundig gezien correct maar geven grote verschillen hetgeen onwerkbare situaties oplevert.
- De SSK moet met betrekking tot de bandbreedte een oplossing bieden waardoor kostensoorten en kostencategorieën uniform kunnen worden "opgeteld". In de SSK is een investeringsmodel gepresenteerd waardoor de kosten in een uniforme wijze in de raming worden opgenomen. In de SSK ontbreken echter de relaties tussen kostensoorten en kostencategorieën in dit model.

Verbeterpunten ten aanzien van de bandbreedte

Ten aanzien van het berekenen van de bandbreedte is een verbeterslag te maken door een uniforme standaard voor het berekenen van de bandbreedte te presenteren. In dit rapport zijn de mogelijkheden verkend om een dergelijke standaard, op basis van correlatiegroepen, te ontwikkelen. Gebleken is echter dat de huidige en de ontwikkelde theorie nog geen aansluiting vindt bij de praktijk.

Wanneer de probabilistisch (bottom up) berekende bandbreedte wordt vergeleken met de traditioneel (top down) geaccepteerde bandbreedte blijkt dat de probabilistische bandbreedte veel smaller is. Dit resulteert in een spanningsveld tussen het deterministisch en het probabilistisch ramen. In de praktijk blijkt dat wiskundige bewerkingen worden toegepast om de probabilistisch berekende bandbreedte te vergroten. Dit is inconsequent, het geeft echter wel de noodzaak aan van aanvullend onderzoek naar nog niet onderkende bronnen van onzekerheid/bandbreedte. In bijalge M is de aanzet tot een dergelijk onderzoek is gegeven door "nieuwe" bronnen van onzekerheid te omschrijven en op te nemen in een stroomschema ter verwerking van deze onzekerheden in de kostenraming.

7 Aanbevelingen

Aanbevelingen ten aanzien van het toepassen van de SSK
De eerste aanbeveling ten aanzien van de CROW publicatie 137 is om de sterke punten van de systematiek te benadrukken en in de praktijk te blijven toepassen. Uniformiteit in de opzet van de raming en uniformiteit in het jargon zijn twee zeer grote pluspunten van de methodiek. Deze dienen in de praktijk dan ook te worden benadrukt.

De bottom up benadering van de systematiek resulteert erin dat al in vroegere projectfasen ruime aandacht wordt besteed aan de risico's die met het project verbonden zijn. De tweede aanbeveling is dan ook om dit te blijven doen. Des te eerder risico's worden geïdentificeerd des te sneller actie kan worden ondernomen, waardoor de opdrachtgever eventueel bijtijd actie kan ondernemen.

Een derde aanbeveling is om gepast met het probabilistisch ramen om te gaan. In de SSK wordt de suggestie gewekt dat het probabilistisch ramen volledig uitontwikkeld is. Het onderzoek toont echter het tegendeel aan. Aangetoond is dat het probabilistisch ramen met betrekking tot het bottom up berekenen van de bandbreedte een groot verbeterpotentieel heeft.

Aanbevelingen voor nader onderzoek
Een aanbeveling voor nader onderzoek is om de resultaten van het probabilistisch ramen te toetsen aan de hand van een multiprojectsituatie. Enkel wanneer een bij groot aantal projecten de resultaten van een deterministische en een probabilistische raming met elkaar worden vergeleken kan worden beoordeeld of de nieuwe methodiek daadwerkelijk een verbetering is ten opzichte van de traditionele methodiek.

Het probabilistisch ramen stelt dat de meest waarschijnlijke waarde én de spreiding van kostenposten in de raming moeten worden opgenomen. Met de publicatie van de SSK is een uniform investeringsmodel gepresenteerd. Het model moet is ten aanzien van de verwachtingswaarden (telling) een werkbaar model. Ten aanzien van de spreiding (bandbreedte) is het model nog niet goed te hanteren. Aanvullend onderzoek is noodzakelijk zodat spreiding (bandbreedte) op een uniforme wijze in het investeringsmodel kan worden opgenomen.

Een derde aanbeveling voor nader onderzoek is het ontwikkelen van een nieuw stroomschema om risico's en onzekerheden in de raming op te nemen. Een eerste aanzet hiertoe is gegeven in bijlage M. Het doel en de tijdspanne van de studie maakten het niet mogelijk om de het stroomschema volledig uit te ontwikkelen. Aanvullend onderzoek is noodzakelijk om "nieuwe" bronnen van spreiding/onzekerheid te identificeren en in de raming te kunnen opnemen.

LITERATUUR

Nr.:	Betreft:	Omschrijving
[01]	Titel: Auteur(s): Publicatie:	Stichting Academische Onderwijs/ Post Academische Cursus “Voorzien, onvoorzien of onzeker” Prof. Dr. Ir. Vrijling et al Maart 2005
[02]	Titel: Subtitel: Publicatie:	CROW publicatie 137 “wat kost dat” Standaardsystematiek voor kostenramingen in de GWW 2de verbeterde druk juni 2002
[03]	Titel: Subtitel: Publicatie:	Commissie Blauwdruk Blauwdruk kosten Proces Organisatie producten Systematiek Ontwikkeling Bouwdienst Rijkswaterstaat/ Vakoverleg Kostprijszaken VOK mei 2002
[04]	Titel: Subtitel: Auteur(s): Publicatie: Website:	Leiderschap & Management Projectmanagement Ir. P.H. Markensteijn okt 2005 http://pm3.markensteijn.com/
[05]	Titel: Auteur(s): Publicatie:	Probabilistische Analyses van Aanbestedingsonzekerheden J.W.F.A. Janssen januari 2003
[06]	Titel: Subtitel: Publicatie:	Code RIB 0090 Bijlage 16 Eisen aan de kostenraming van het project december 2004
[07]	Titel: Subtitel: Publicatie:	Bijlage 5 Standaardsystematiek voor kostenramingen in de GWW 2de verbeterde druk juni 2002
[08]	Titel: Publicatie:	De Volkskrant/ Achtergrond Liegen en bedriegen september 2004
[09]	Website: Articles:	Thai engineering [Construction knowledge in engineering fields] http://www.thaiengineering.com/article/civil/ construction_management/Forecasting_Construction_Costs.asp Forecasting Construction Costs
[10]	Titel: Auteur(s): Publicatie:	Universiteit Twente Faculteit der toegepaste wiskunde Statistiek I voor TBK W.C.M. Kallenberg oktober 2001
[1]	Titel: Auteur(s): Publicatie:	Universiteit Twente Faculteit der toegepaste wiskunde Statistiek II voor TBK W.C.M. Kallenberg februari 2002
[12]	Titel: Subtitel: Auteur(s): Publicatie:	Prince-heerlijk Methode voor het leiden van succesvolle projecten Drs. Ir. B.H. Hedeman 2000
[13]	Titel: Subtitel: Auteur(s): Publicatie:	Een Raamwerk voor Ramingen Eindrapport in samenwerking met IME consult Bouwdienst RWS Werkgroep Ramingen Problematiek mei 1991
[14]	Titel: Subtitel: Auteur(s): Publicatie:	Van Ramen naar Kostenbeheersen Ächter de boom” Bouwdienst Rijkswaterstaat Steunpunt Opdrachtgeverschap) Februari 2004
[15]	Titel: Subtitel: Auteur(s): Publicatie:	The Art of Management Deel 1. Strategie en Structuur Dr. M.A. Nieuwenhuis 2003
[16]	Titel:	PRI-2003 Rekenbladen

	Subtitel: Auteur(s): Publicatie:	Standaardobjectenraming versie 2.2 Bouwdienst Rijkswaterstaat Steunpunt Opdrachtgeverschap) November 2003
[17]	Titel: Subtitel:	Handleiding RAS/Raming 2.0 Het begrippenkader
[18]	Titel: Auteur(s):	PRI-2003 [Syllabus 65.82] Bouwdienst RWS
[19]	Titel: Auteur(s):	Kostenramingen van grote infrastructuurprojecten Drs. R.A. Noordsij Tweede Kamer, vergaderjaar 2004–2005, 29 283, nr. 10
[20]	Titel: Auteur(s):	Toegepaste mechanica-I Prof. dr. ir. A Verruijt Juli 1979
[21]	Titel: Auteur(s):	Toegepaste mechanica-II Prof. dr. ir. A Verruijt Juli 1979
[22]	Titel: Auteur(s):	Statistiek deel 1 Datareductie W.P. van den Brink, P Koele 8ste herziene druk 2000
[23]	Titel: Auteur(s):	Onderzoek ramingen “ProRail ‘96” Ministerie van Verkeer en Waterstaat Directoraat-Generaal Vervoer April 1992

BEGRIPPEN

Begrip:		Omschrijving:
Bandbreedte [SSK]		De mate van spreiding rond het eindbedrag van de raming, als gevolg van projectonzekerheden. De bandbreedte wordt uitgedrukt als variatiecoëfficiënt (een percentage van de gemiddelde waarde van de investeringskosten), als standaardafwijking (een bedrag in euro's) of als twee waarden, behorend bij een aangegeven betrouwbaarheidsinterval [02]
Baseline		De baseline is het uitgangspunt van de raming of het project en omvat minimaal het functioneel PvE, Technische PvE en omvat de omschrijving van de scope.
Basisraming [SSK]		Som van *bouwkosten*, *vastgoedkosten*, *engineeringskosten* en *overige bijkomende kosten* [02]
Bekende kosten		Kosten die direct afgeleid kunnen worden uit de tekeningen, het ontwerp of het project, die gerelateerd kunnen worden aan hoeveelheden en prijzen [02].
Betrouwbaarheidsinterval		Een betrouwbaarheidsinterval voor de investeringskosten is een interval dat deze kosten bevat met een bepaalde waarschijnlijkheid. [02].
Bijzonder gebeurtenis		Een gebeurtenis met een kleine kans van optreden, maar met een aanzienlijk gevolg voor de totale projectkosten als zij optreden [16].
Bouwkosten		De kosten die zijn gemoeid met de fysieke realisatie van de in het project onderscheiden objecten (bouwwerken) [02].
Budget		De financiële middelen die een financier reserveert voor de realisatie van een project. Het budget is gelijk aan de raming van de investeringskosten plus (desgewenst) een *onzekerheidsreserve* en een *reserve extern onvoorzien* [02]
Business case		Informatie die de rechtvaardiging van het opzetten en voortzetten van een project. De business case geeft aan waarom het project moet worden uitgevoerd, de business case wordt op belangrijke momenten geactualiseerd [11].
Correlatie		In een technische en kwantitatieve zin: de probabilistische mate van samenhang tussen twee variabelen.
Decompositie		Het ontleden van een bouwwerk/object in zijn samenhangende delen/componenten. Het omgekeerde wordt aggregatie genoemd; het samenvoegen van samenstellende delen/componenten tot één bouwwerk/object [02].
Engineeringskosten [SSK]		De kosten voor werkzaamheden op het terrein van de techniek en daarmee verband houdende vakgebieden [02].
Gemiddelde	μ	De som van alle waarnemingen gedeeld door het aantal waarnemingen.
Kostencategorieën [SSK]		Typen kosten aangegeven in de rijen van de ramingsopbouw. Hoofdkostencategorieën in de uniforme ramingsopbouw zijn; *bouwkosten*, *vastgoedkosten*, *engineeringskosten*, *overige bijkomende kosten* en *project onvoorzien* [02],
Kostenkengetal		Kenmerkende kosten per eenheid van kostendrager (stuks, m^1, m^2, m^3 e.d.) voor functionele of technische oplossingen van het gehele bouwwerk of een component daarvan [02].
Kennisonzekerheid [SSK]		Het ontbreken van informatie om een beschrijving te maken van de alternatieven/varianten, de situatie, het scenario, het systeem of de variabalen [02].
Kostensoorten [SSK]		Typen kosten aangegeven in de kolommen van de ramingsopbouw. Kostensoorten zijn onderverdeeld in *voorziene kosten*, *onvoorziene kosten*, *directe kosten*, *indirecte kosten*, *bekende kosten*, *nader te detailleren kosten* [02].
Marge		De marge geeft de statistische fluctuatie van de normale verdeling weer. Het is de zogenaamde standaardafwijking van de nominale raming met een bijbehorende waarschijnlijkheidskans (trefzekerheid). De marge is een maat voor de waarde die men aan de nominale raming kan hechten. De marge wordt bepaald door het uitvoeren van een risico-analyse [03] In de 2de druk van de CROW-publicatie 137 wordt het begrip marge niet meer gehanteerd.
Mediaan	Me	De mediaan is die waarde van de waargenomen variabele waaronder en waarboven evenveel waarnemingen liggen. Ofwel: de helft van de kansverdeling is kleiner dan de mediaan, de andere helft is groter [03].
Modus	T	De modus (of modale waarde) is de waarde die het meest voorkomt in de kansverdeling. De kans op uikomsten in de buurt van deze waarde is het grootst [03].
Multiprojectsituatie		Van een multiprojectsituatie is sprake indien veel projecten van verschillende omvang en complexiteit worden beschouwd.
Nader te detailleren [SSK]		Toeslag op de bekende kosten voor wel voorziene maar niet expliciet uitgewerkte onderdelen van het ontwerp of de aangenomen uitvoeringsmethode [02].
Object onvoorzien		Zie ook '*onvoorzien*", onvoorziene kosten die direct aan een object valt toe te wijzen; hierbij kan een object een deelproject zijn maar ook een element of een subelement.
Overschrijdings-		De statistisch berekende kans dat de uiteindelijke realisatiekosten voor het project

/overschrijdingskans		lager respectievelijk hoger uitvallen dan de opgegeven waarde. Een onder- en overschrijdingskans van 15% geeft dus een kanszekerheid van 70% dat de realisatiekosten van het project zich binnen de aangegeven marges bevinden [03].
Onvoorzien		Toeslag op de raming voor kosten die op dit moment nog niet voorzien zijn, maar waarvan uit ervaring is gebleken dat ze wel gemaakt worden. De post onvoorzien moet bij benadering zo hoog zijn dat door de verschillende projectfasen de totale kosten gelijk blijven. In de praktijk komt het erop neer dat de post onvoorzien afneemt naarmate het project vordert [03].
Onzekerheid		Zie kennisonzekerheid
Onzekerheidsreserve [SSK]		De dekking die de overschrijdingskans van de raming van investeringskosten afstemt op het gewenste
Prijspeil		Het prijspeil van een raming is de datum die voor de prijzen, normen en kengetallen is gehanteerd.
Project		Project heeft diverse betekenissen (afhankelijk van de context) [16]. (1) Een project is een combinatie van handelingen die gericht zijn op het stand brengen van een infrastructureel werk. (2) Een project is een infrastructureel werk. Een tijdelijke organisatie die is opgezet met het doel één of meer zakelijke producten te produceren volgens een gespecificeerde business case [11].
Project onvoorzien		Zie ook "*onvoorzien*", onvoorziene kosten die betrekking hebben op het totale project. Het is niet, of slechts ten delen toe te kennen aan een object; hierbij speelt de fase waarin het project verkeert en daarmee de mogelijkheid om zaken diepgaand uit te zoeken een rol.
Projectscope		Omvang, reikwijdte. De scope geeft aan wat wel en wat niet tot de afgesproken werkomvang hoort. De scope beslaat enerzijds de specificaties/randvoorwaarden die op dat moment zijn gesteld en anderzijds de geaccordeerde technische oplossing (het ontwerp) op basis van die specificaties en randvoorwaarden. De scope kan veranderen door (externe) wijzigingen van de scope en (interne) bijstellingen binnen de scope [02].
Raming van investeringskosten		De som van de *basisraming* en *project onvoorzien*, desgewenst te verhogen met het bedrag voor BTW [02].
Reserve Extern Onvoorzien		Reservering door de opdrachtgever/financier voor (forse) onvoorziene uitgaven van of toevoegingen aan de projectscope die van buitenaf komen, bijvoorbeeld aangescherpte milieuwetgeving, politieke besluiten et cetera [02].
Risico		Zie toekomstonzekerheid
Standaardafwijking	σ	Maatstaf voor de spreiding van de kosten rond de gemiddelde waarde. De standaardafwijking geeft een indicatie van de trefzekerheid van alle schattingen en als zodanig ook van de nauwkeurigheid van de raming van de projectkosten [03].
Statistische/ probabilistische ramingsmethodiek		Werkwijze waarbij de bandbreedte van de *raming van investeringskosten* berekend wordt uit de expliciet veronderstelde kansverdelingen (spreidingen) die de kostendeskundige per ramingsonderdeel heeft opgegeven.
Toekomstonzekerheid		Gebeurtenissen die in de toekomst liggen en die invloed kunnen hebben op (de kosten van) het bouwproject. Deze gebeurtenissen kunnen gewenst en ongewenst zijn en kunnen deel voorzienbaar (benoembaar), deel onvoorzienbaar (onbenoembaar) zijn [02].
Variatiecoëfficiënt		Geeft de verhouding weer tussen de standaardafwijking en het gemiddelde van de raming van projectkosten. Variatiecoëfficiënt = (sigma/mu)*100%, is een indicator voor de trefzekerheid van de raming van projectkosten [03].
Vastgoedkosten		Alle kosten die nodig zijn voor de verwerving van het vastgoed voor zover deze betrekking hebben op het verwerven van eigendom van en/of het beheersrecht over het terrein met eventueel hierop aanwezige bouwwerken. Hiertoe behoord ook de nadeelcompensatie [02].

Notities

Notities

Notities

Bijlagen

Probabilistisch Ramen

Bijlagen

Bijlage A
Samenvatting Standaardsystematiek Kostenramen in de GWW

Bijlage B
Driehoekige kansdichtheidsfunctie gedefinieerd door LTU-waarden

Bijlage C
De gevolgen van het toepassen van een normale verdeling in plaats van een driehoekige verdeling

Bijlage D
Het onafhankelijke product van twee kansdichtheidsfuncties

Bijlage E
Nieuwe inzichten in het probabilistisch Ramen

Bijlage F
Effectivity of Risk Management for Design & Construct Projects of Large Contractors

Bijlage G
Analyse van een unieke dataset

Bijlage H
Het berekenen van de nieuwe L en U waarden op basis van een gesteld overschrijdingspercentage

Bijlage I
De gevoeligheid van het model op basis van
correlatiegroepen

Bijlage J
Grafische en numerieke output van @RISK, Risicoraming v1.1.3 en het Niveau-II spreadsheetmodel op basis van correlatiegroepen

Bijlage K
De gevolgen van het onafhankelijk beschouwen van kostensoorten

Bijlage L
Illustraties uit de SSK

Bijlage M
De verbetering van het stroomschema

Bijlage A

Samenvatting Standaardsystematiek Kostenramen in de GWW

CROW publicatie 137

‘Wat kost dat?’

INHOUDSOPGAVE

1 INLEIDING 1

2 ORGANISATORISCHE CONTEXT 2

2.1 INTERNE PROJECTFUNCTIES 2
2.2 EXTERNE PROJECTFUNCTIES 3
2.3 SPECIFICATIE- EN ONTWERPPROCES 3

3 UNIFORME PROJECTOPDELING 4

3.1 VOORDELEN PROJECTOPDELING 4
3.2 WIJZE VAN PROJECTOPDELING 4

4 UNIFORME RAMINGSOPBOUW 5

4.1 BESTAANDE TECHNIEKEN 5
4.2 INVESTERINGSMODEL 5
4.3 KOSTENSOORTEN 6
4.4 KOSTENCATEGORIEËN 7

5 RISICO'S EN ONZEKERHEDEN 8

5.1 BESLISONZEKERHEDEN (KEUZE PROJECTSCOPE) 8
5.2 KENNISONZEKERHEDEN (BINNEN PROJECTSCOPE) 8
5.3 TOEKOMSTONZEKERHEDEN (BINNEN EN BUITEN PROJECTSCOPE) 8
5.4 DETERMINISTISCH/ PROBABILISTISCH 9

6 GWW-OBJECTENBIBLIOTHEEK 11

1 Inleiding

In juni 2002 is de geheel herziene 2de druk van de CROW publicatie 137 getiteld 'Wat kost dat?' uitgekomen. Deze publicatie is het eindresultaat het project "Standaardsystematiek voor Kostenramingen in de GWW-sector. In deze bijlage worden de basisprincipes van de publicatie behandeld.
De CROW publicatie 137 is opgebouwd uit een zestal hoofdstukken. In het eerste hoofdstuk de inleiding wordt allereerst de achtergrond van het project behandeld. Vervolgens komt de probleemstelling en de gevolgde werkwijze aan bod. Besloten wordt met de afbakening van het project. De organisatorische context komt in hoofdstuk twee ter sprake. Stilgestaan wordt bij zowel de interne projectfuncties ramen, beheersen en ontwerpen als de externe projectfuncties opdrachtgeven en financieren. De interacties tussen de projectfuncties enerzijds en de projectomgeving anderzijds wordt verhelderd. In hoofdstuk drie wordt een uniform raamwerk voor het opdelen van projecten uiteengezet. Verschillende manieren om projecten op te delen worden behandeld. Evenzo wordt een koppeling gemaakt met een te ontwikkelen objectenbibliotheek. In hoofdstuk vier wordt de uniforme ramingsopbouw gepresenteerd. Ingegaan wordt op de onderverdeling en relaties van en tussen kostensoorten en -categorieën. Een methode wordt aangereikt om te rekenen met risico's, onzekerheden, bandbreedten e.d[1]. Aansluitend vindt in het 5de hoofdstuk verdere uitdieping plaats van risico's en onzekerheden. Welke soorten onzekerheden zijn te onderscheiden. Hoe kan met deterministische en probabilistische methoden met onzekerheden omgegaan worden. Besloten wordt met het aanreiken van mogelijkheden om een objectenbibliotheek aan de standaardsystematiek te koppelen aan een eenduidige beschrijving en omgrenzing van objecten. Het zwaartepunt van de publicatie is te vinden in de hoofdstukken drie, vier en vijf.

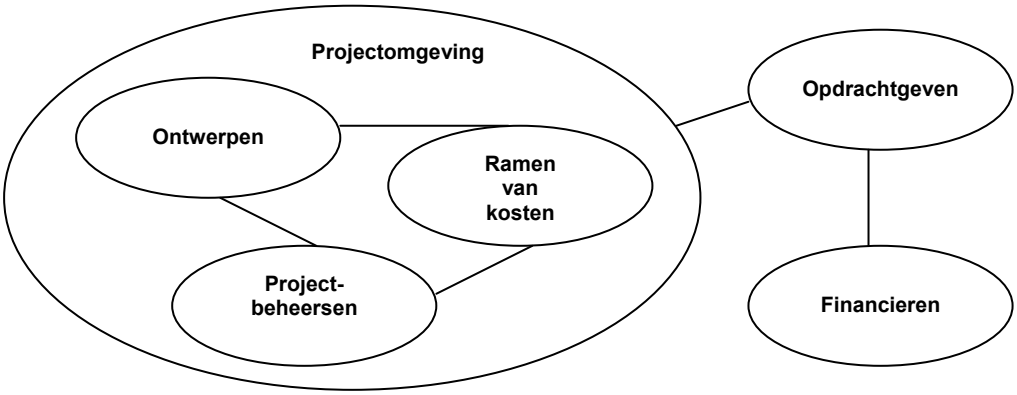
Doel

Het doel van deze bijlage is om een inhoudelijke samenvatting te geven van de SSK-methodiek, vandaar wordt het accent gelegd bij de hoofdstukken twee, drie, vier en vijf. Hoofdstuk zes is complementair en zal slechts kort worden toegelicht. De samenvatting beperkt zich tot de hoofdlijnen van de SSK-methodiek en zal niet ingaan op delen waarin zaken worden verhelderd die voor de hoofdlijn weinig toegevoegde waarde hebben.

[1] Er wordt echter geen methode gepresenteerd ter bepaling van de standaardafwijking van de projectraming.

2 Organisatorische Context

Dit hoofdstuk gaat in op de projectorganisatorische context van de functie kostenramen. De verschillende communicatiemogelijkheden en de verantwoordelijkheden worden in dit hoofdstuk kort aangegeven.



Figuur 1 De projectomgeving.

2.1 Interne projectfuncties

Het plan/ project wordt in een projectomgeving uitgewerkt en tot uitvoering gebracht. Zoals in de bovenstaande figuur is weergegeven worden binnen de projectomgeving drie hoofdfuncties onderscheiden. De taken en verantwoordelijkheden die deze functies met zich meebrengen wordt in het kort behandeld.

Het vertalen van eisen en specificaties[2] naar een uitvoerbaar ontwerp is de kerntaak die valt binnen de functie ontwerpen. Deze vertaalslag gebeurt op basis van het Programma van Eisen, een document waarin de opdrachtgever eisen en wensen etaleert. Het signaleren van planwijzigingen en het reageren hierop in de vorm van voorstellen tot wijzigingen is eveneens een taak binnen de functie van ontwerpen.

Naast ontwerpen is projectbeheersen een interne projectfunctie. Adequate beheersing van het project is een vereiste om het project te kunnen monitoren, sturen en te managen. Op basis van stuurinformatie, in de vorm van staten, planningen, periodieke controles en dergelijke, wordt de projectbeheersing gewaarborgd. Een belangrijke taak binnen de functie beheersen is dan ook genereren, bestuderen van stuurinformatie en indien nodig passend reageren. Naast deze managementtaken valt de zorg voor overdrachtsdocumenten ook onder de functie projectbeheersen.

De laatste interne projectfunctie die onderscheiden kan worden is kostenramen. Het hoofddoel is natuurlijk het opstellen een raming van de investeringskosten. Dit is een schatting van de kosten van een vastgesteld werk (scope) op een bepaald moment in de tijd. Bij het vaststellen van de raming van investeringskosten hoort het vertalen van onzekerheden en risico's in een bandbreedte. Tussentijdse opstellen van ramingen / kostenadviezen geeft het ontwerpteam houvast om te komen tot een geoptimaliseerd ontwerp.

Interne Projectfuncties: ***Projectfunctie***	***Taakstelling***
1. Ontwerpen	- Vertalen van specificaties naar een oplossing - Tijdig signaleren van tussentijdse planwijzigingen
2. Kostenramen	- Opstellen van kostenadviezen tijdens het ontwerpproces - Financieel onderbouwen en motiveren van keuzen in oplossingsrichtingen - Ramen van de investeringskosten - Vertalen van projectonzekerheden en risico's in een bandbreedte voor de kostenadviezen
3. Projectbeheersen	- Op koers houden van het project - Genereren van stuur en regelinformatie - Uitvoeren van risicoanalyses - Zorgdragen voor overdrachtsdocumenten

Tabel 1a: Interne Projectfuncties.

[2] SSK: Specificaties (of eisen) omvatten alles waarover binnen het project geen bindende uitspraken te doen zijn.

2.2 *Externe projectfuncties*

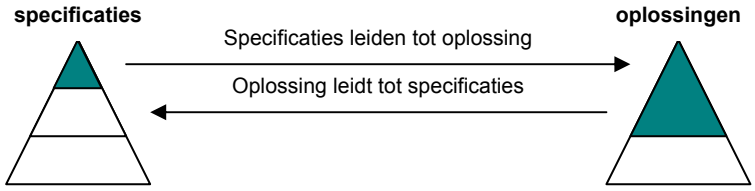
Binnen de projectomgeving zijn de functies ontwerpen, ramen en beheersen te onderscheiden. Buiten de projectomgeving zijn de functies opdrachtgeven en financieren te onderscheiden, zie figuur 1. Voor het projectteam is de opdrachtgever de belangrijkste externe projectfunctie. De relatie met de financier verloopt bijna altijd via de opdrachtgever.
Als gezegd onderhoudt het projectteam een intensieve relatie met de opdrachtgever. De opdrachtgever legt specificaties vast in de vorm van het Programma van Eisen. Een tweede taak is het vaststellen van de scope van het werk met betrekking tot de specificaties. Daarnaast besluit de opdrachtgever over de urgentie van scopewijzigingen en communiceert deze met de financier. De opdrachtgever stelt (werk)budgetten vast op basis waarvan het werk wordt uitgewerkt en gemanaged. Tevens is voor de opdrachtgever een belangrijke rol weggelegd als intermediair tussen het projectteam enerzijds en de financier anderzijds.
De tweede externe projectfunctie die te onderscheiden valt is de functie van financier. De financierende instantie bepaalt de grenzen voor waarbinnen het project economisch te verantwoorden blijft. De kenmerkendste taak binnen de functie financieren is het tijdig beschikbaar stellen van liquide middelen. Daarnaast is het afwegen van risico een essentiële taak van het financieren. De financier stelt risicoprofielen op en dekt het verschil tussen de raming van de investeringskosten en het betreffende risicoprofiel door invulling van de post(en) onzekerheidsreserve en/óf reserve extern onvoorzien. Op basis van de kostenraming maakt de financier de afweging wat het uiterste financiële offer is in relatie tot de gewenste functionaliteit. Wanneer geen dekking gegeven kan worden aan het voorgestelde project kan in overleg met de opdrachtgever besloten worden tot versobering, alternatieve risicobeheersing of verschuiving in tijd.

Externe Projectfuncties:	
Projectfunctie	***Taakstelling***
1. Opdrachtgeven	- Vaststellen van werkbudgetten - Vaststellen van specificaties (PvE) - Vaststellen van de scope van het werk - Besluiten over de noodzaak tot scopewijzigingen
2. Financieren	- Beschikbaar stellen van de benodigde financiële middelen - Afwegen van risico's (wat zijn de grenzen voor een economisch verantwoord project?) - Vaststellen voor welke scope welke bedrag wordt gereserveerd - Beslissen hoe en wanneer reserves worden aangesproken.

Tabel 1b: Externe Projectfuncties.

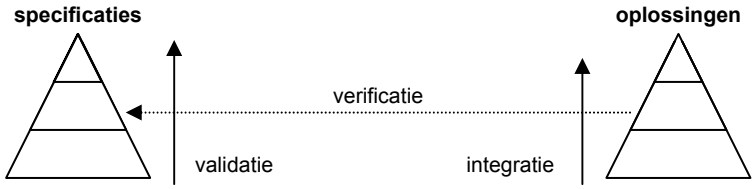
2.3 *Specificatie- en ontwerpproces*

Een lang traject gaat vooraf aan de transformatie van het eerste idee tot een gerealiseerd ontwerp. De opdrachtgever en de uitvoerende partij wisselen veel informatie uit in de vorm van denkbeelden, documenten, schetsen, et cetera. Gestaag wordt de wens van de opdrachtgever geconcretiseerd. Dit gebeurt door oplossingen continu te specificeren en gespecificeerde oplossingen te verifiëren. Binnen dit spel van verfijning worden specificaties gevalideerd en oplossingen geïntegreerd, zie figuur 2a.



Figuur 2a De projectomgeving.

Nieuwe specificaties worden getoetst, gevalideerd aan eerder gemaakte specificaties. Nieuwe specificaties mogen niet strijdig zijn met minder recente eisen. Evenzo worden nieuwe oplossingen ingepast, geïntegreerd in reeds bestaande oplossingen. Dit proces is in afbeelding 2b geschematiseerd.



Figuur 2b De projectomgeving.

3 Uniforme Projectopdeling

Teneinde het werk overzichtelijk te houden worden zowel grote als kleine projecten in beheersbare delen opgedeeld. De aard, omvang en complexiteit van het project bepalen de gedetailleerdheid van opdeling.

3.1 Voordelen projectopdeling

Elk project wordt gesplitst in kleinere delen, soms gebeurt dit ad hoc op basis van ervaring, maar meestal wordt de opdeling van tevoren doordacht. Ontleding van projecten in beheersbare stukken is voor alle fasen van belang. Direct gekoppeld aan de projectopdeling is de opdeling van de raming. Om diverse redenen vindt opdeling plaats. Ten eerste bevordert het de in- en overzichtelijkheid van het project. Door het project niet als geheel te zien, maar opgebouwd uit delen wordt meer inzicht gecreëerd in de onderlinge samenhang van de delen. Een gestructureerde opsplitsing fungeert als een soort raamwerk voor verdere onderbouwing van kosten. Accurate projectopdeling verkleint de kans op onvolledigheid, dubbeltellingen et cetera. Een derde pro is het feit dat opdeling project(raming) houvast geeft bij het volgen van kostenontwikkeling in de tijd. Het laatste pluspunt is gerelateerd aan het voorgaande en betreft een consequentere beoordeling van alternatieven. Evaluatie van alternatieven wordt sterk vergemakkelijkt wanneer sprake is van een inzichtelijke opdeling van de alternatieven. Daarnaast wordt het vergelijken van ramingen van een gelijk detailleringsniveau bevorderd. In tabel 2 zijn de belangrijkste voordelen opgesomd.

Projectopdeling Voordelen:
- Bevordert overzichtelijkheid ontwerp en raming
- Levert raamwerk voor onderbouwing kosten
- Biedt handvat voor vergelijking ramingen en beoordeling alternatieven.
- Geeft houvast bij volgen ontwikkelingen in de tijd.

Tabel 2: Voordelen projectopdeling.

3.2 Wijze van projectopdeling

Voorwaarde voor projectopdeling is dat het de efficiëntie bevordert. Richtlijnen voor het opdelen van projecten moeten geschikt zijn voor zowel kleine als grote projecten. Om communicatie en onderlinge vergelijking mogelijk te maken dient een bepaald niveau van detaillering nagestreefd te worden.

4 Uniforme Ramingsopbouw

In dit hoofdstuk wordt een uniforme ramingsopbouw gepresenteerd. Ingegaan zal worden op het verschil tussen kostensoorten en kostencategorieën. Daarnaast zal een aantal kernbegrippen waaronder prijspeil, bandbreedte en onzekerheidsreserve worden behandeld.

4.1 Bestaande technieken

Diverse partijen in de GWW-sector hanteren verschillende ramingsmethodieken. Deze blijken allemaal een variant te zijn op de NEN2631[3] óf het PRI[4]. Elke organisatie heeft enkele specifieke, afwijkende eigenschappen in haar methodiek opgenomen.

PRI	*NEN2631*
- Gaat niet in op de begrippen rond de trefzekerheid van de raming. - (Gaat uit van de GWW-sector). - Hanteert eigen onderverdeling voor de toedeling van kosten. - Maakt geen onderscheid tussen ramen en financieren	- De post 'onvoorzien' is niet duidelijk omschreven. - Gaat uit van de B&U-sector. - Hanteert eigen onderverdeling voor de toedeling van kosten. - Maakt geen onderscheid tussen ramen en financieren

Tabel 3: Minpunten PRI en NEN2631.

4.2 Investeringsmodel

De SSK is een nieuwe methode waarin de pluspunten van beide methoden zijn opgenomen en de minpunten zijn opgelost. Onderscheid tussen financieren en ramen is gemaakt, een transparantie uniforme methode is ontwikkeld. Dit heeft geleid tot een investeringsmodel waarin de opbouw van een raming op uniforme wijze is ingedeeld. Het investeringmodel is onderstaand weergegeven.

KOSTEN-SOORTEN / KOSTEN-CATEGORIEEN	Voorziene kosten				Onvoorziene kosten	Totaal
	Directe kosten		Indirecte kosten			
	bekend	*n.t.d.*	*bekend*	*n.t.d.*		
Bouwkosten	α	α	α	α	α	Σ
Vastgoedkosten	α	α	α	α	α	Σ
Engineeringkosten	α	α	α	α	α	Σ
Overige bijkomende kosten	α	α	α	α	α	Σ
Basisraming	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	**Σ**
Project Onvoorzien					β	…
Investeringskosten, excl. BTW	…	…	…	…	**Σ**	**Σ**
BTW						%
Investeringskosten, incl. BTW						**Σ**
Bandbreedte **X - X** bij **Y** % betrouwbaarheidsinterval						
Onzekerheidsreserve						γ
Reserve extern onvoorzien						δ
Totaal aan te houden voor Budgetdoeleinden						**Σ**

Verantwoordelijkheid kostenramer

financier

Figuur 3: Het investeringsmodel: uniforme ramingsopbouw.

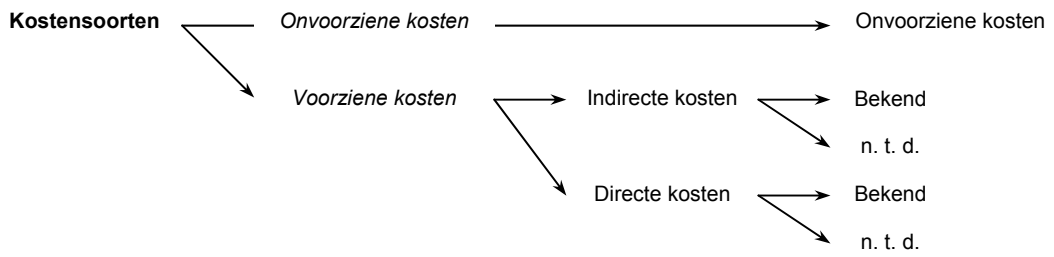
Het investeringsmodel laat duidelijk de scheiding tussen kostensoorten en -categorieën zien. Daarnaast is duidelijk aangegeven waar de verantwoordelijkheid van de ramer ophoudt (groen) en de verantwoor-

[3] NEN2631 Investeringskosten van Gebouwen
[4] Project Ramingen Infrastructuur

delijkheid van de financier begint (blauw). De financier is verantwoordelijk voor het bepalen van het budget[5] met desgewenst een onzekerheidsreserve en een reserve extern voorzien.
De post *onzekerheidsreserve* is bedoeld om *toekomstonzekerheden* op te kunnen vangen. Onder toekomstonzekerheden worden onzekerheden verstaan die binnen de scoop van het project blijven. Met de onzekerheidsreserve vermindert de financier de kans op overschrijding van de raming van de investeringskosten. De hoogte van de reservering wordt bepaald aan de hand van de door de kostenramer berekende/ opgegeven bandbreedte(n) en betrouwbaarheidsinterval(len).
De *reserve extern onvoorzien* is een post waar de financier een reservering kan maken teneinde beslisonzekerheden het hoofd te kunnen bieden. Voor een exacte omschrijving van toekomst- en beslisonzekerheden wordt verwezen naar hoofdstuk 5.
Elke raming moet voorzien zijn van een prijspeil, een datum die aangeeft wat de datum is van de voor de raming gebruikte kentallen, normen en prijzen. De trefzekerheid van de raming wordt in kaart gebracht door het geven van een bandbreedte bij een gestelde betrouwbaarheid. Meestal wordt een bandbreedte van 68% gehanteerd.

4.3 Kostensoorten

Het investeringsmodel is onderverdeeld in kostensoorten en kostencategorieën. Kostensoorten kunnen worden opgevat als een uiteenrafeling van kostencategorieën. De onderverdeling kenmerkt zich door een boomstructuur met telkens twee takken, waarbij slechts één hoofdtak zich verder heeft opgesplitst. De eerste onderverdeling is die naar onvoorziene en voorziene kostensoorten, waarbij de laatste groep zich verder vertakt, zie figuur 4. Voorziene kosten kunnen worden onderverdeeld in directe en indirecte kosten met elk een onderliggende verdeling naar bekende kosten en nader te detailleren kosten.



Figuur 4: Onderverdeling kostensoorten.

Voorzien/ Onvoorzien
Specificaties die een opdrachtgever meegeeft vergroten het inzicht in de uiteindelijke oplossing. In een vroeg stadium kan door de gestelde specificaties een oplossingsrichitng komen vast te staan, in verdere stadia ontstaat een steeds scherper beeld van de wijze waarop bepaalde (project)delen gerealiseerd moeten worden. De kosten die bepaalde oplossing(en) teweegbrengen worden geboekt onder *voorziene kosten*[6] en *onvoorziene kosten*[7]*.* Voorziene kosten zijn in principe de kosten die op basis van gegevens (PvE, voorschriften, tekeningen, bestek e.d.) bekend, te berekenen of te achterhalen zijn. Onvoorziene kosten zijn de kosten die worden geboekt om eventuele tegenvallers te kunnen incasseren.

Direct/ Indirect
Directe kosten zijn kosten die rechtstreeks met de productie of de levering van een product of dienst te maken hebben en aanwijsbaar aan dit product of deze dienst zijn toe te rekenen. In het voorbeeld van het maken van een betonvloer; de kosten voor het aanschaffen en verwerken van wapeningsstaal en beton. Indirecte kosten zijn kosten waarbij niet geregistreerd wordt ten behoeve van welk product of welke dienst ze worden gemaakt. In het voorbeeld van het maken van een betonvloer; de kosten die gemoeid zijn met de huur van de bouwkeet, stroomverbruik, ofwel kosten die niet precies/ direct aan posten gekoppeld kunnen worden.

Bekend/ N.T.D.
De laatste onderverdeling is die tussen bekend en nader te detailleren. Bij zowel directe als indirecte kosten wordt een onderverdeling tussen een bekend en een nader te detailleren deel gehanteerd. Het bekende deel is af te leiden uit projectgerelateerde informatie (denk wederom aan ontwerpen, tekenin-

[5] De financiële middelen die een financier reserveert voor een project
[6] SSK: voorziene kosten; de kosten die ten tijde van het opstellen van de kostenraming voorzien zijn op grond van voorliggende specificaties en het ontwerp (de scope).
[7] SSK: onvoorziene kosten; de dekking voor kosten die in de toekomst mogelijk ontstaan binnen de projectscope, als gevolg van gebeurtenissen (bezien vanuit de ramingskant).

gen, hoeveelheden staten e.d.). Het onbekende deel is een toeslag voor onvolledig uitgewerkte delen, aannames e.d.

4.4 Kostencategorieën

Naast kostensoorten maakt het investeringsmodel onderscheid in kostencategorieën. Een Vijftal categorieën worden onderscheiden, te weten: bouwkosten, vastgoedkosten, engineeringkosten, overige bijkomende kosten en de post onvoorzien. De eerste vier tezamen vormen de basisraming, om de raming van de investeringskosten compleet te maken dient de basisraming opgehoogd te worden door invulling van de post onvoorzien. Het project onvoorzien is een toeslag ter dekking van onzekerheden die zich binnen de scope van het project zouden kunnen voordoen en niet toe te wijzen zijn aan een specifieke kostencategorie.

Bouwkosten
Binnen een raming worden vijf categorieën onderverdeeld in subcategorieën met daarin desgewenst weer opdelingen. De eerste kostencategorie betreft bouwkosten, dit zijn kosten die voor de realisatie van een object of bundeling van objecten benodigd zijn. Traditioneel worden bouwkosten onderverdeeld in directe en indirecte bouwkosten. Directe bouwkosten hebben een directe relatie met de fysieke bouw. Te denken valt aan kosten voor materiaal, materieel, personeel, leveranties, huur bewerkingsmachines e.d. Onder indirecte bouwkosten vallen kosten als, winst en risico, algemene kosten, directie, bouwrijp maken enzovoorts. Indirecte bouwkosten kunnen niet direct aan één of meerdere objecten worden toegedeeld.

Vastgoedkosten
Vastgoedkosten zijn de kosten die gemoeid gaan met het werven van de bouwgrond en de eventueel erop aanwezige bouwwerken. Wederom is een indeling naar directe en indirecte kosten gemaakt. Directe vastgoedkosten omvatten de kosten die gemoeid gaan met de werkelijke koop van het vastgoed en het bouwrijp maken van de aangekochte grond. De wervingskosten (taxatie-, notaris-, overdrachtskosten en dergelijke) worden gerekend tot de indirecte vastgoedkosten.

Engineeringskosten
Engineeringskosten[8] zijn kosten die gemaakt worden om het project tot uitvoer te brengen. Kosten voor werkvoorbereiding, administratie, toezicht, directievoering en dergelijke vallen hieronder. Veelal wordt de engineering uitbesteed aan advies-/ ingenieurbureaus. Een indeling naar directe en indirecte kosten is niet gebruikelijk.

Overige bijkomende kosten
Overige bijkomende kosten omvatten kosten die niet goed te plaatsen zijn in de overige kostencategorieën. Onder deze categorie vallen kosten ten aanzien van onder andere, grondonderzoek, bestemmingsplan, leges, heffingen, vergunningen en dergelijke. Het zijn kosten die niet onder bouwkosten, engineeringskosten of vastgoedkosten gerekend worden.

Project onvoorzien
Deze zojuist genoemde vier categorieën tezamen vormen de basisraming, zie figuur 3. De laatste kostencategorie, niet behorend tot de basisraming, is het project onvoorzien. Dit is een toeslag op de basisraming ter dekking van toekomstonzekerheden die niet aan een (deel)object of kostencategorie toebehoren.

[8] SSK: Engineeringskosten betreffen de kosten voor werkzaamheden op het terrein van de techniek en daarmee verband houdende vakgebieden omtrent organisatie, milieutechnische, juridische en economische aspecten.

5 Risico's en Onzekerheden

Het beoogde doel van een raming is een zo goed mogelijke prognose geven van de uiteindelijke projectkosten. In deze prognose moeten risico's die het project bedreigen concreet gemaakt worden. Meestal hebben risico's een negatieve invloed, soms echter kan een risico een positieve invloed op het project hebben (een mogelijkheid). Wanneer een risico daadwerkelijk optreedt heeft dit meestal consequenties ten aanzien van tijd, geld en/ of kwaliteit.
Bij de realisatie van projecten wordt steeds vaker het accent gelegd op risicoanalyse, risicomanagement, risicobeheersing en dergelijke. Winst is te behalen door goed om te gaan met risico's en onzekerheden. Risico's en onzekerheden vinden eveneens weerslag in kostenramingen. Projectgerelateerde risico's en onzekerheden moeten vertaald worden in een raming. De moeilijkheid van deze vertaalslag zit het in het simpele feit dat de risico's onbekend zijn.

5.1 Beslisonzekerheden (keuze projectscope)

Vele begrippen die te maken hebben met risico doen de ronde. Enkele voorbeelden zijn; nominaal onvoorzien, onzekerheidsmarge, diversen, reserve, onvolledig plan, bandbreedte et cetera. Om te komen tot een uniform systeem om kosten te ramen moet eveneens uniformiteit komen in de wijze waarop met risico's wordt omgegaan. Hiertoe moet eerst inzicht komen in de soorten risico's en onzekerheden die een project kunnen bedreigen. Als alle risicobronnen zijn geïdentificeerd kan worden gezocht naar oplossingen om deze te ondervangen.
In de SSK word gekomen tot een onderverdeling met drie risicobronnen te weten: beslis- kennis- en toekomstonzekerheden. *Beslisonzekerheden* handelen over *varianten* of *alternatieven* en worden ook wel planonzekerheden genoemd. Deze onzekerheden spelen in de beginstadia van het project wanneer onduidelijkheid bestaat over het te kiezen alternatief.
Aangezien elke alternatief een unieke projectscoop heeft, is de enige goede mogelijkheid om met planonzekerheden om te gaan, het maken van planspecifieke ramingen. Wanneer een opdrachtgever neigt naar een bepaalde oplossing kan in overleg worden overeengekomen deze raming alvast gedetailleerder uit te werken.

5.2 Kennisonzekerheden (binnen projectscope)

De tweede groep risico's die onderscheiden kunnen worden zijn *kennisonzekerheden*. Het betreffen onzekerheden door *onvoldoende* of *onnauwkeurige* gegevens. Een te lage graad van detaillering, onvolledige uitwerking brengt onzekerheid voor de ramer teweeg. Een andere vorm van kennisonzekerheid treedt op bij een goed uitgewerkt plan waarbij echter weinig informatie bekend is van onderliggende gegevens. Het zei bijvoorbeeld door een gebrek aan geactualiseerde kengetallen of het niet toepasbaar zijn van bestaande kengetallen.
Om de kostenramer ter wille te zijn dient bij incompleetheid van het ontwerp invulling gegeven te worden aan open delen. Bij gestandaardiseerde oplossingen kunnen referentieprojecten uitkomst bieden. Wanneer extra tijd wordt geweid aan het invullen van de blinde vlekken in het ontwerp dient rekening gehouden te worden met twee belangrijke zaken. Ten eerste het detailleringsniveau dient gelijk te zijn aan het niveau wat elders in het ontwerp gehanteerd is. Een te hoge graad van detaillering kan leiden tot schijnnauwkeurigheid aangezien bij de rest van de raming een lager niveau wordt gehanteerd. Het tweede punt is dat soms meer profijt te behalen valt wanneer aandacht wordt besteed aan een cruciaal deel van het ontwerp. Tijd, geld en energie kan op andere plaatsen wellicht beter besteed worden. Wanneer kengetallen niet accuraat blijken, dienen deze te worden aangepast. Aanpassing doormiddel van in- en extrapolatie of het toepassen van correctiefactoren kan leiden tot schijnnauwkeurigheid. Het werken met een opslag nadere te detailleren biedt dan uitkomst. Naarmate het project vordert in de tijd zal een overheveling van nader te detailleren kosten naar bekende voorziene kosten plaatsvinden. Het ontwerp wint bij normaal verloop immers aan gedetailleerdheid in de tijd.

5.3 Toekomstonzekerheden (binnen en buiten projectscope)

De laatste groep risico's zijn toekomstonzekerheden. Zoals de naam al doet vermoeden gaat het om onzekerheden die in de toekomst liggen. Voorbeelden zijn: geologische vondsten, materiaal- en materieelprijsfluctuaties, extreme weersomstandigheden. Het gaat om onverwachte en ongewenste gebeurtenissen die invloed op het bouwproces hebben. Dergelijke gebeurtenissen worden gekenmerkt door een kleine kans van optreden, immers bij een grote kans wordt er bij voorbaat rekening meer gehouden. Doch als de gebeurtenis optreedt heeft dit vaak grote financiële consequenties.
Op basis van ervaring en kans x gevolg berekeningen wordt getracht toekomstonzekerheden in de raming af te dekken. Voor een adequate verwerking van deze risico's in de raming is het van belang te

bepalen onder wiens verantwoordelijkheid de gebeurtenissen vallen. Ligt de verantwoordelijkheid bij de financier dan is het aan de financier om desgewenst een “reserve extern onvoorzien” of “onzekerheidsreserve” op te nemen. De “reserve extern onvoorzien” is een post voor bijzondere gebeurtenissen die buiten de scoop van het project vallen. Wanneer deze binnen de scope vallen kan de financier deze kwijt onder de post “onzekerheidsreserve”. Wanner de aannemer het risico draagt, dan kan deze veelal worden gevangen onder ‘winst/ risico’. Afhankelijk van het soort gebeurtenis kan deze ook worden opgenomen onder “post verzekeringen”, “post garanties”. Als de gebeurtenis ook buiten deze posten valt dan kan de aannemer kosten ter preventie inschatten en als kostenpost indienen bij de opdrachtgever/ leverancier. Als het risico voor rekening van de opdrachtgever valt, dan kan de opdrachtgever afhankelijk van het risico deze in de raming opnemen onder “project onvoorzien” of “onvoorziene kosten”. In sommige gevallen kan de opdrachtgever/ leverancier het risico afkopen bij een verzekeringsinstantie.
Om op een adequate wijze om te gaan met de diverse onzekerheden is een stroomschema opgesteld. Aan de basis van dit stroomschema staan de risico’s en onzekerheden die door middel van een risicoanalyse geïnventariseerd zijn. Het schema is opgenomen aan het eind van het document weergegeven. Allereerst dient te worden nagegaan wat voor soort (toekomst-, kennis- of plan)onzekerheid het betreft. Wanneer dit bekend is kan het stroomschema worden doorlopen om zodoende op een eenduidige manier de onzekerheid te kunnen opnemen in de raming.

5.4 Deterministisch/ Probabilistisch

Twee methoden kunnen worden toegepast om te gaan met risico’s en onzekerheden. Beide methoden worden onderstaand uitgelegd.

De eerste werkwijze is een deterministische, waarbij de bandbreedte van de raming van investeringskosten wordt geschat op grond van de ervaren trefzekerheid van de informatie die tijdens het opstellen van de raming is gebruikt. Deze werkwijze is sterk afhankelijk van de kennis, ervaring en expertise van de gebruiker/kostendeskundige.
De deterministische werkwijze wordt gekenmerkt door:
- Voor het ramen van kengetallen, grootheden, hoeveelheden, prijzen e.d. gebruikt men slechts één meest waarschijnlijke waarde.
- Voor onbekende en onvoorziene gebeurtenissen schat met de waarden om de raming compleet te maken.
- De hoogte van de raming van investeringskosten wordt bepaald door optelling van de geschatte meest waarschijnlijke waarden van de kostenonderdelen waaruit de raming is opgebouwd.
- De trefzekerheid van de raming van investeringskosten wordt weergegeven door een geschatte bandbreedte.

De tweede methode is de statistische/ probabilistische werkwijze. Bij deze werkwijze wordt de bandbreedte van de raming van investeringskosten berekend. De berekening wordt uitgevoerd op basis van expliciet veronderstelde kansverdelingen die de ramer per kostenonderdeel opgeeft. De SSK is een methode die gebaseerd is op deze probabilistische grondslag. Een bijkomend voordeel van deze methode is dat deze risico’s en onzekerheden expliciet zichtbaar maakt, hetgeen de beheersbaarheid ten goede komt. De probabilistische werkwijze wordt gekenmerkt door:
- Voor het ramen van kengetallen, grootheden, hoeveelheden, prijzen e.d. wordt een Laagste, Uiterste en een Top of meest waarschijnlijke waarde bepaald.
- Door middel van een risicoanalyse worden projectonzekerheden geïnventariseerd.
- Kans maal gevolg berekeningen worden uitgevoerd voor bijzondere gebeurtenissen.
- Aan de hand van LTU-waarden per kostenonderdeel wordt een bijbehorende spreiding berekend.
- De raming van de investeringskosten worden statistisch berekend en gegeven door een gemiddelde waarde μ en een bijbehorende σ bij een gegeven trefzekerheid.
- Door middel van een Monte Carlo Simulatie wordt de kansverdeling die de raming heeft berekend.
- Tevens kan een tornadodiagram worden opgesteld aan de hand van de bijdrage die de afzonderlijke risico aan de bandbreedte leveren.

De belangrijkste rekenkundige verschillen tussen de probabilistische en deterministische werkwijzen zijn in tabel 5 tegen elkaar uitgezet.

Betreft:	***probabilistisch***	***deterministisch***
- Kostenpost:	- LTU-waarden en/of - Kans x gevolg berekeningen en/of - opslagpercentage	- meest waarschijnlijke (T-waarden). - opslagpercentage
- Totale raming:	- Statistische optelling van de kostenposten.	- Sommatie van de meest waarschijnlijke kostenonderdelen.
- Trefzekerheid raming:	- Statistische berekening van de standaardafwijking en bandbreedte.	- Schatting van de bandbreedte.

Tabel 4: Belangrijkste rekenkundige verschillen.

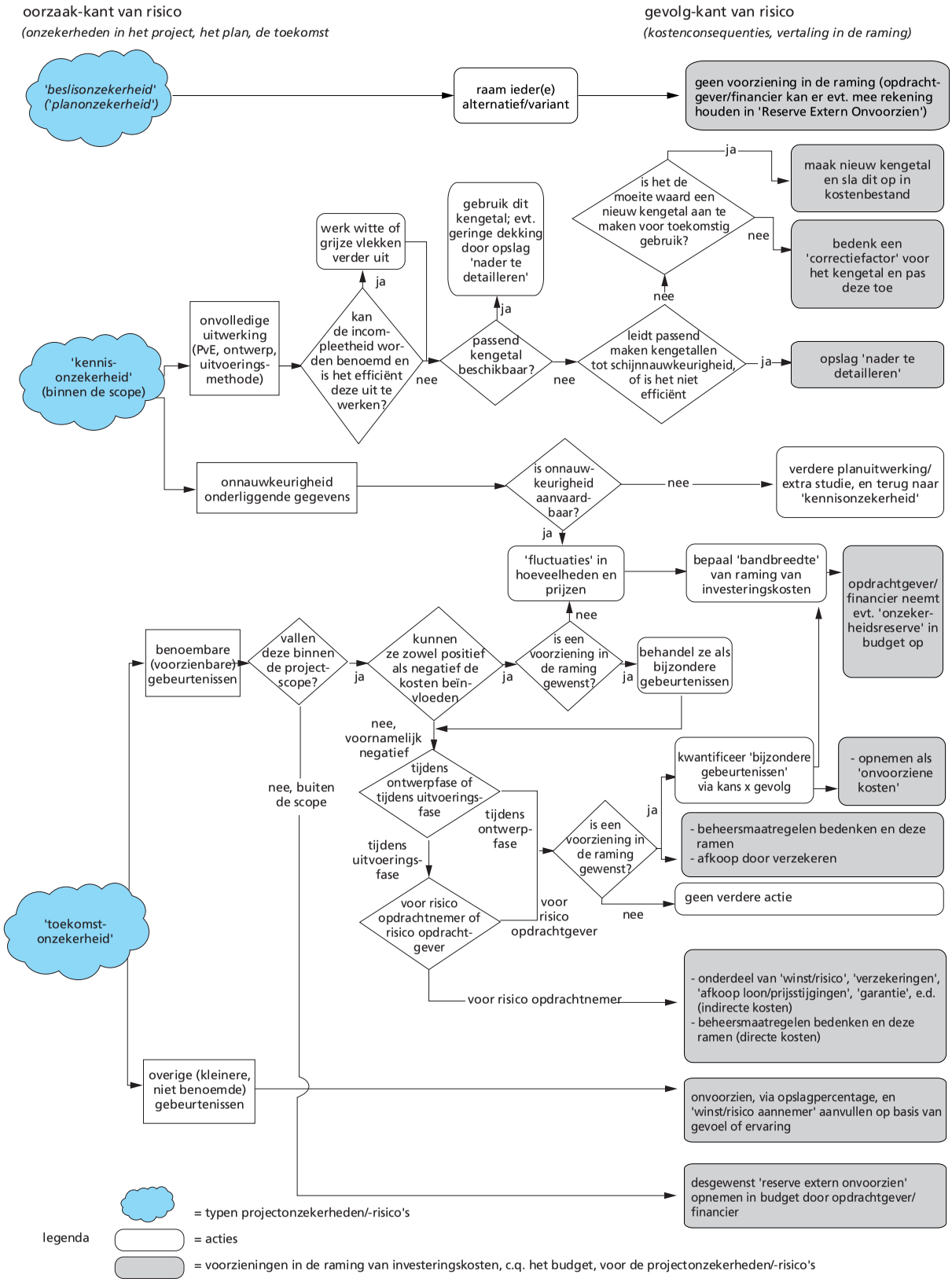
6 GWW-objectenbibliotheek

De gewenste standaardsystematiek voor het maken van kostenramingen bestaat in feite uit vier onderdelen. De eerste drie onderdelen zijn met elkaar verweven, het laatste deel is complementair. De onderdelen zijn:

- een uniform raamwerk voor projectopdeling.
- een standaard indeling van de kostenraming.
  (met een begrippenkader voor kostensoorten en kostencategorieën).
- een uniform begrippenkader voor risico's en onzekerheden.
- een uniforme ordening van objecten en onderdelen van objecten.

Een uniforme ordening van objecten en onderdelen van objecten kan worden bereikt door ontwikkeling van een GWW-objectenbibliotheek. Verwacht wordt dat een objectenbibliotheek veel toegevoegde waarde zal hebben voor de communicatie over kostenramingen. Voor inpassing van een bibliotheek dienen objecten namelijk eenduidig gedefinieerd, vastgelegd te worden. Deze ondubbelzinnigheid van begrippen voorkomt miscommunicatie.
De ontwikkeling van de objectenbibliotheek voor toepassing in de GWW-sector is niet gerealiseerd. Aangezien de ontwikkeling nog niet voltooid is én de bibliotheek slechts ter ondersteuning van de SSK-methodiek is bedoeld wordt voor verdere informatie verwezen naar de CROW publicatie 137.

TERUG


oorzaak-kant van risico
(onzekerheden in het project, het plan, de toekomst
gevolg-kant van risico
(kostenconsequenties, vertaling in de raming)
'beslisonzekerheid' ('planonzekerheid')
raam ieder(e) alternatief/variant
geen voorziening in de raming (opdrachtgever/financier kan er evt. mee rekening houden in 'Reserve Extern Onvoorzien')
ja
maak nieuw kengetal en sla dit op in kostenbestand
is het de moeite waard een nieuw kengetal aan te maken voor toekomstig gebruik?
nee
bedenk een 'correctiefactor' voor het kengetal en pas deze toe
gebruik dit kengetal; evt. geringe dekking door opslag 'nader te detailleren'
werk witte of grijze vlekken verder uit
ja
nee
ja
'kennis-onzekerheid' (binnen de scope)
onvolledige uitwerking (PvE, ontwerp, uitvoerings-methode)
kan de incom-pleetheid wor-den benoemd en is het efficiënt deze uit te werken?
nee
passend kengetal beschikbaar?
nee
leidt passend maken kengetallen tot schijnnauwkeurigheid, of is het niet efficiënt
ja
opslag 'nader te detailleren'
onnauwkeurigheid onderliggende gegevens
is onnauw-keurigheid aanvaard-baar?
nee
verdere planuitwerking/ extra studie, en terug naar 'kennisonzekerheid'
ja
'fluctuaties' in hoeveelheden en prijzen
bepaal 'bandbreedte' van raming van investeringskosten
opdrachtgever/ financier neemt evt. 'onzeker-heidsreserve' in budget op
nee
benoembare (voorzienbare) gebeurtenissen
vallen deze binnen de project-scope?
ja
kunnen ze zowel positief als negatief de kosten beïn-vloeden
ja
is een voorziening in de raming gewenst?
ja
behandel ze als bijzondere gebeurtenissen
nee, voornamelijk negatief
nee, buiten de scope
tijdens ontwerpfase of tijdens uitvoerings-fase
tijdens ontwerp-fase
tijdens uitvoerings-fase
kwantificeer 'bijzondere gebeurtenissen' via kans x gevolg
- opnemen als 'onvoorziene kosten'
ja
is een voorziening in de raming gewenst?
- beheersmaatregelen bedenken en deze ramen
- afkoop door verzekeren
geen verdere actie
nee
voor risico opdrachtnemer of risico opdracht-gever
voor risico opdrachtgever
voor risico opdrachtnemer
- onderdeel van 'winst/risico', 'verzekeringen', 'afkoop loon/prijsstijgingen', 'garantie', e.d. (indirecte kosten)
- beheersmaatregelen bedenken en deze ramen (directe kosten)
'toekomst-onzekerheid'
overige (kleinere, niet benoemde) gebeurtenissen
onvoorzien, via opslagpercentage, en 'winst/risico aannemer' aanvullen op basis van gevoel of ervaring
desgewenst 'reserve extern onvoorzien' opnemen in budget door opdrachtgever/ financier
legenda
= typen projectonzekerheden/-risico's
= acties
= voorzieningen in de raming van investeringskosten, c.q. het budget, voor de projectonzekerheden/-risico's

Bijlage B

Driehoekige kansdichtheidsfunctie gedefinieerd door LTU-waarden

DRIEHOEKIGE KANSDICHTHEIDSFUNCTIE

Het kan voorkomen dat van een verzameling gegevens de hoogste en de laagste waarde en een daartussen liggende “meest waarschijnlijke waarde” bekend is. Noch de uniforme, noch de normale verdeling kan die verzameling goed beschrijven. In zo’n situatie wordt vaak de driehoeksverdeling toegepast. Dat geldt in het bijzonder voor in Cost Engineering toepassingen. Opmerkelijk genoeg besteden leerboeken weinig of geen aandacht aan de driehoeksverdeling. Daarom wordt in deze bijlage nader ingegaan op de driehoeksverdeling.

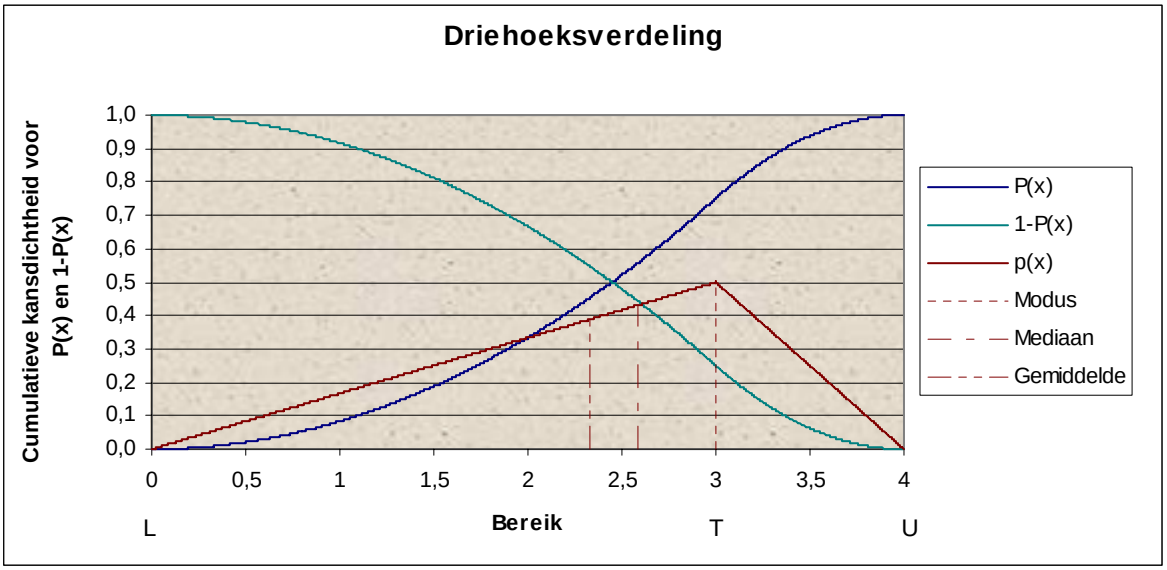
Standaard driehoeksverdeling

De frequentieverdeling c.q. de kansdichtheidsfunctie voor een continue stochast p(x) wordt vastgelegd in twee opstaande zijden van een driehoek met als hoekpunten [L,0], [T,h] en [U,0]. De h-waarde is dusdanig gekozen dat het oppervlak A van de driehoek (A = ½ x basis x hoogte) de cumulatieve kansdichtheid vertegenwoordigt en dus gelijk aan 1 is. De T-waarde geeft de modus ofwel de meest voorkomende waarde van de verdeling aan.

Algemeen geldt:

$$P(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx$$

Alvorens het functievoorschrift van F(x) kan worden berekend moet p(x) in wiskundige termen worden vastgelegd. Door de discontinuïteit in de kansdichtheidsfunctie ter plaatse van T, bestaat p(x) uit een samenvoeging van het functievoorschrift voor het domein links én voor het domein rechts van T.



In de bovenstaande figuur is de driehoekige kansdichtheidsfunctie p(x) met de corresponderende modus, mediaan en gemiddelde afgebeeld, tevens zijn de cumulatieve kansdichtheidsfunctie P(x) en 1-P(x) uitgezet. In de SSK wordt gesproken over de modale waarde voor het statistische begrip modus. De onderstaande functievoorschriften zijn van toepassing, de afleiding van de functievoorschriften is gegeven in de resterende pagina’s.

Functievoorschrift p(x):

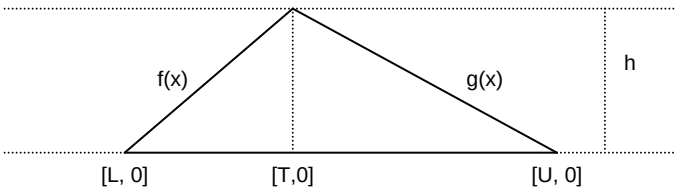
$$p(x) = \left.\begin{array}{ll} \dfrac{2(x-L)}{(U-L)(T-L)} & \text{indien } L \le x \le T \\ \dfrac{2(-x+U)}{(U-L)(U-T)} & \text{indien } T \le x \le U \end{array}\right\}$$

Functievoorschrift P(x):

$$P(x) = \left.\begin{array}{l} \left[\dfrac{(x-L)^2}{(U-L)(T-L)}\right] L \le x \le T \\ \left[\dfrac{(T-L)^2}{(U-L)(T-L)}\right] + \left[\dfrac{-x^2+T^2-2U(T-x)}{(U-L)(U-T)}\right] T \le x \le U \end{array}\right\}$$

1 Afleiden functievoorschriften kansdichtheidsfunctie p(x) en P(x)

Beschouw de onderstaande verdeling.

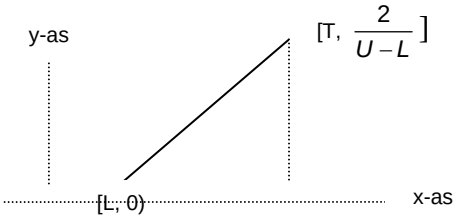


Afleiden functievoorschrift p(x)

Beschouw lineaire vergelijking links van T: $f(x) = ax + b \;\; indien \;\; L \le x \le T$

Bepalen hoogte h.

$$\left.\begin{array}{l} A_{LTU} = 1 \\ A_{LTU} = ½bh \\ ½b = ½(U - L) \end{array}\right\} \Rightarrow h_{links} = h_{rechts} = h = \frac{2}{(U-L)}$$



Bepalen a: $a = \frac{h-0}{T-L}$

Bepalen b:

$$\left.\begin{array}{l} f(x) = \left(\frac{h-0}{T-L}\right)x + b \\ f(L) = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow b = -\left(\frac{h-0}{T-L}\right)L$$

Vergelijking geeft:

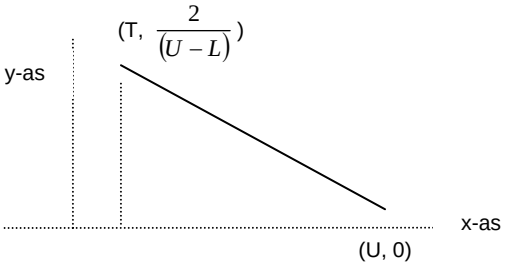
$$f(x) = \left(\frac{h-0}{T-L}\right)x - \left(\frac{h-0}{T-L}\right)L$$

$$f(x) = \left(\frac{h(x-L)}{T-L}\right)$$

Substitutie h:

$$\left.\begin{array}{l} f(x) = \left(\frac{2(x-L)}{(U-L)(T-L)}\right) \\ [L < x < T] \end{array}\right\}$$

Beschouw lineaire vergelijking rechts van T: $g(x) = ax + b \;\; indien \;\; T \le x \le U$



Bepalen a: $a = \frac{0-h}{U-T}$

Bepalen b:

$$\left.\begin{array}{l} g(x)=\left(\dfrac{0-h}{U-T}\right)x+b \\ g(U)=0 \end{array}\right\} \Rightarrow b=-\left(\dfrac{0-h}{U-T}\right)U$$

Vergelijking geeft:

$$g(x)=\left(\dfrac{0-h}{U-T}\right)x-\left(\dfrac{0-h}{U-T}\right)U$$

$$g(x)=\left(\dfrac{h(-x+U)}{U-T}\right)$$

Substitutie h:

$$\left.\begin{array}{l} g(x)=\left(\dfrac{2(-x+U)}{(U-L)(U-T)}\right) \\ [T \le x \le U] \end{array}\right\}$$

Functievoorschrift p(x):

$$\left.\begin{array}{l} x \in \Re \\ L \le x \le U \\ p(x)=\dfrac{2(x-L)}{(U-L)(T-L)} \quad indien \quad L \le x \le T \\ \dfrac{2(-x+U)}{(U-L)(U-T)} \quad indien \quad T \le x \le U \end{array}\right\}$$

<u>Afleiden functievoorschrift P(x).</u>

Berekenen integraal vergelijking links van T: $F(x)=\int_L^x (ax+b)\ indien\ L \le x \le T$

Integraal:

$$\left.\begin{array}{l} \int_L^x (f(x))=\int_L^x \left(\dfrac{2(x-L)}{(U-L)(T-L)}\right) \\ L \le x \le T \end{array}\right\}$$

$$\left.\begin{array}{l} F(x)=\left[\dfrac{2(½x^2-Lx)}{(U-L)(T-L)}\right]_L^x \\ L \le x \le T \end{array}\right\}$$

$$\left.\begin{array}{l} F(x)=\left[\dfrac{(x^2-2Lx)}{(U-L)(T-L)}\right]_L^x \\ L \le x \le T \end{array}\right\}$$

$$\left.\begin{array}{l} F(x)=\left[\dfrac{x^2-2Lx}{(U-L)(T-L)}\right]^x-\left[\dfrac{x^2-2Lx}{(U-L)(T-L)}\right]^L \\ L \le x \le T \end{array}\right\}$$

$$\left.\begin{array}{l} F(x)=\left[\dfrac{x^2-2Lx+L^2}{(U-L)(T-L)}\right]^x \\ L \le x \le T \end{array}\right\}$$

$$\left.\begin{array}{l} F(x)=\left[\dfrac{(x-L)^2}{(U-L)(T-L)}\right]^x \\ L \le x \le T \end{array}\right\}$$

Berekenen integraal vergelijking rechts van T: $G(x)=\int_T^x (ax+b)\ indien\ T \le x \le U$

Integraal:

$$\left.\begin{array}{l}\displaystyle\int_T^X (g(x)) = \int_T^X \left(\frac{2(-x+U)}{(U-L)(U-T)}\right)dx \\ T \le x \le U\end{array}\right\}$$

$$\left.\begin{array}{l}\displaystyle G(x) = \left[\frac{2\left(-\tfrac{1}{2}x^2 + Ux\right)}{(U-L)(U-T)}\right]_T^X \\ T \le x \le U\end{array}\right\}$$

$$\left.\begin{array}{l}\displaystyle G(x) = \left[\frac{\left(-x^2 + 2Ux\right)}{(U-L)(U-T)}\right]_T^X \\ T \le x \le U\end{array}\right\}$$

$$\left.\begin{array}{l}\displaystyle G(x) = \left[\frac{-x^2 + 2Ux}{(U-L)(U-T)}\right]^X - \left[\frac{-x^2 + 2Ux}{(U-L)(U-T)}\right]^T \\ T \le x \le U\end{array}\right\}$$

$$\left.\begin{array}{l}\displaystyle G(x) = \left[\frac{-x^2 + T^2 - 2UT + 2Ux}{(U-L)(U-T)}\right]^X \\ T \le x \le U\end{array}\right\}$$

$$\left.\begin{array}{l}\displaystyle G(x) = \left[\frac{-x^2 + T^2 - 2U(T-x)}{(U-L)(U-T)}\right]^X \\ T \le x \le U\end{array}\right\}$$

Functievoorschrift P(x):

$$\left.\begin{array}{l} x \in \Re \\ L \le x \le U \\ \displaystyle P(x) = \left[\frac{(x-L)^2}{(U-L)(T-L)}\right]^X L \le x \le T \\ \displaystyle \left[\frac{(T-L)^2}{(U-L)(T-L)}\right] + \left[\frac{-x^2 + T^2 - 2U(T-x)}{(U-L)(U-T)}\right]^X T \le x \le U \end{array}\right\}$$

2 Afleiden functievoorschriften mediaan

Voorwaarde P(x)=0.50

$$Stel\ F(x) = ½\ indien\, L \le x \le T$$
$$Stel\ G(x) = ½\ indien\, T \le x \le U$$

Bepalen mediaan links van T:

$$\left.\begin{array}{l} F(x) = \left[\dfrac{(x-L)^2}{(U-L)(T-L)}\right]^x \\ F(x) = ½ \\ L \le x \le T \\ (T-L) \ge (U-T) \end{array}\right\}$$

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{1}{2} = \dfrac{(x-L)^2}{(U-L)(T-L)} \\ L \le x \le T \\ (T-L) \ge (U-T) \end{array}\right\}$$

$$\left.\begin{array}{l} (U-L)(T-L) = 2(x-L)^2 \\ L \le x \le T \\ (T-L) \ge (U-T) \end{array}\right\}$$

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{(U-L)(T-L)}{2} = (x-L)^2 \\ L \le x \le T \\ (T-L) \ge (U-T) \end{array}\right\}$$

$$\left.\begin{array}{l} \sqrt{\dfrac{(U-L)(T-L)}{2}} = (x-L) \\ L \le x \le T \\ (T-L) \ge (U-T) \end{array}\right\}$$

Functievoorschrift Mediaan (1):

$$\left.\begin{array}{l} x = L + \sqrt{\dfrac{(U-L)(T-L)}{2}} \\ L \le x \le T \\ (T-L) \ge (U-T) \end{array}\right\}$$

Bepalen mediaan rechts van T:

$$\left.\begin{array}{l} G(x) = \left[\dfrac{-(x-U)^2}{(U-L)(U-T)}\right]^x \\ G(x) = ½ \\ T \le x \le U \\ (T-L) \le (U-T) \end{array}\right\}$$

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{1}{2} = \dfrac{-(x-U)^2}{(U-L)(U-T)} \\ T \le x \le U \\ (T-L) \le (U-T) \end{array}\right\}$$

$$\left.\begin{array}{l} (U-L)(U-T) = -2(x-U)^2 \\ T \le x \le U \\ (T-L) \le (U-T) \end{array}\right\}$$

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{(U-L)(U-T)}{2} = -(x-U)^2 \\ T \le x \le U \\ (T-L) \le (U-T) \end{array}\right\}$$

$$\left.\begin{array}{l} \sqrt{\dfrac{(U-L)(U-T)}{2}} = -x+U \\ T \le x \le U \\ (T-L) \le (U-T) \end{array}\right\}$$

Functievoorschrift Mediaan (2):

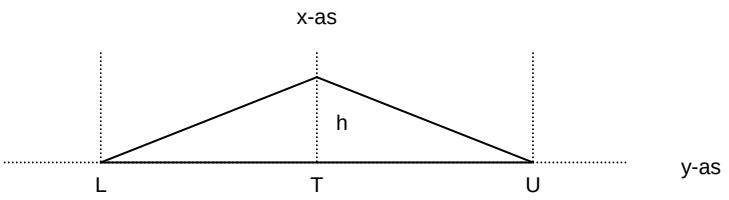
$$\left.\begin{array}{l} x = U - \sqrt{\dfrac{(U-L)(U-T)}{2}} \\ T \le x \le U \\ (T-L) \le (U-T) \end{array}\right\}$$

De Mediaan wordt gevonden door:

$$\left.\begin{array}{ll} x = L + \sqrt{\dfrac{(U-L)(T-L)}{2}} & \textit{indien } (T-L) \le (U-T) \wedge L \le x \le T \\ x = U - \sqrt{\dfrac{(U-L)(U-T)}{2}} & \textit{indien } (T-L) \ge (U-T) \wedge T \le x \le U \end{array}\right\}$$

3 De standaardafwijking van een gelijkbenige LTU-verdeling

LTU-verdeling: Beschouw de onderstaande gelijkbenige verdeling.



Voorwaarde: Voor een willekeurige symmetrische driehoekige kansdichtheidsfunctie geldt de formule $\sqrt{\frac{L^2+T^2+U^2-LT-LU-TU}{18}}$ ter bepaling van de standaardafwijking. Voor een gelijkbenige verdeling geldt dat de T-waarde zich exact in het midden van de L- en U-waarde bevindt. Met andere woorden L en U bevinden zich beide op een afstand x ten opzichte van T.

Stel: $L=(t-x)$, $T=t$ en $L=(t+x)$:

$$\sigma=\sqrt{\frac{L^2+T^2+U^2-LT-LU-TU}{18}}$$

$$\sigma=\sqrt{\frac{(t-x)^2+t^2+(t+x)^2-(t-x)t-(t-x)(t+x)-t(t+x)}{18}}$$

$$\sigma=\sqrt{\frac{\left(t^2-tx-tx+x^2\right)+t^2+\left(t^2+tx+tx+x^2\right)-\left(t^2-tx\right)-\left(t^2-tx+tx-x^2\right)-\left(t^2+tx\right)}{18}}$$

$$\sigma=\sqrt{\frac{3t^2}{18}}$$

$$\sigma=t\sqrt{\frac{1}{6}}$$

Conclusie: Aangezien de afstand t gelijk is aan U-T = T-L kan de algemeen geldende formule voor de standaardafwijking van de kansdichtheidsfunctie $\sigma=\sqrt{\frac{L^2+T^2+U^2-LT-LU-TU}{18}}$ in geval van een symmetrische verdeling worden gesymplificeerd tot: $\sigma=(T-L)\sqrt{\frac{1}{6}}$.

Bijlage C

De gevolgen van het toepassen van een normale verdeling in plaats van een driehoekige verdeling

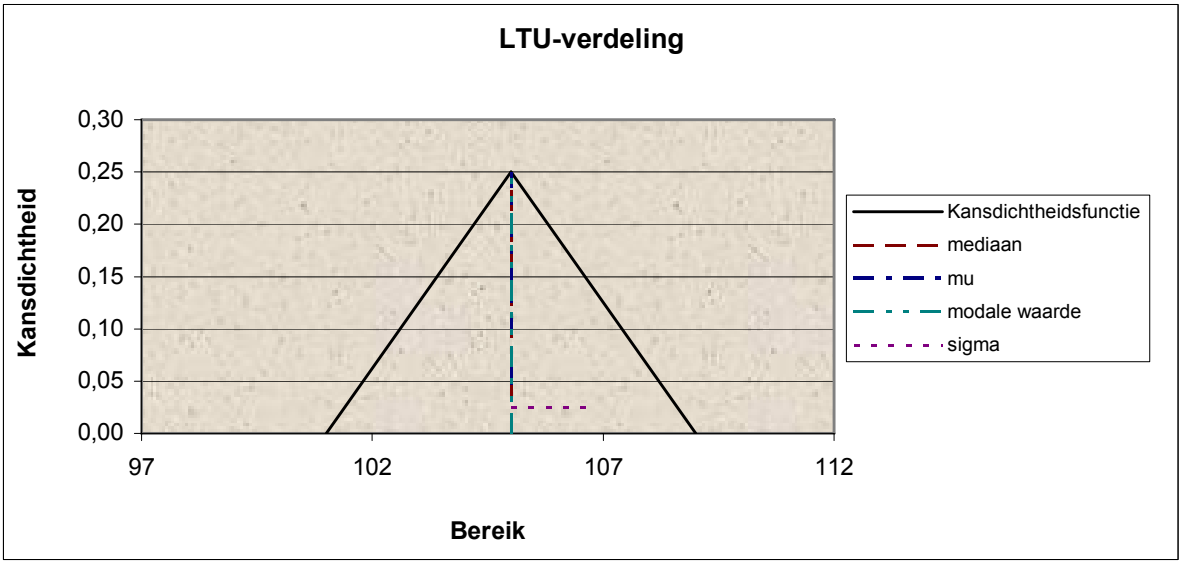
CONSEQUENTIES OMZETTEN LTU-VERDELING IN EEN NORMALE VERDELING

Bij de ontwikkeling van het Niveau-II spreadsheetmodel is het noodzakelijk gebleken om elke kansdichtheidsfunctie (kdf) te vertalen naar een normale verdeling met parameters μ en σ. Deze vertaalslag vindt plaats omdat de parameters van de normale verdeling "prettige" rekenkundige eigenschappen hebben. De onderstaande formules worden gebruikt om een willekeurige driehoekige kdf uit te drukken in termen van μ en σ.

Formule (01) $$\mu = \frac{L+T+U}{3}$$

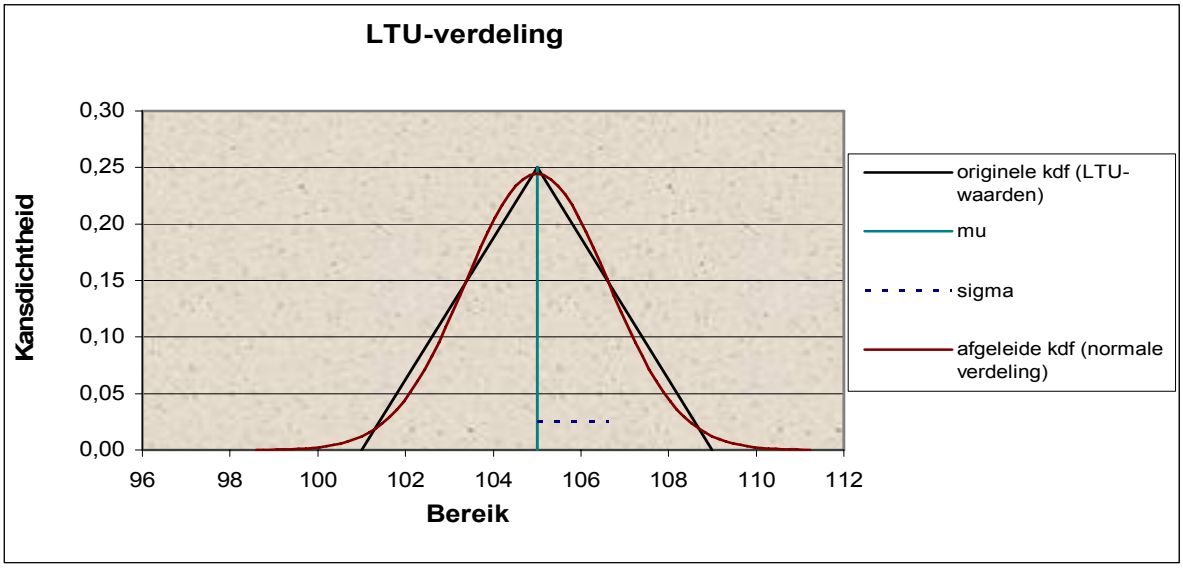
Formule (02) $$\sigma = \sqrt{\frac{L^2+T^2+U^2-LT-LU-TU}{18}}$$

Ter verduidelijking wordt het voorbeeld uit §4.2.1 in beschouwing genomen, stel dat de kostendeskundige de meest waarschijnlijke waarde raamt op €105, waarbij de kostendeskundige het uiterst onwaarschijnlijk acht dat de kostenpost minder dan €101 of meer dan €109 zal bedragen. De LTU-waarden zijn hiermee gedefinieerd en daarmee eveneens de kdf. De corresponderende kansdichtheidsfunctie is in figuur 1a weergegeven, de afbeelding laat duidelijk zien dat de mediaan, het gemiddelde en de modus (de T-waarde) samenvallen.



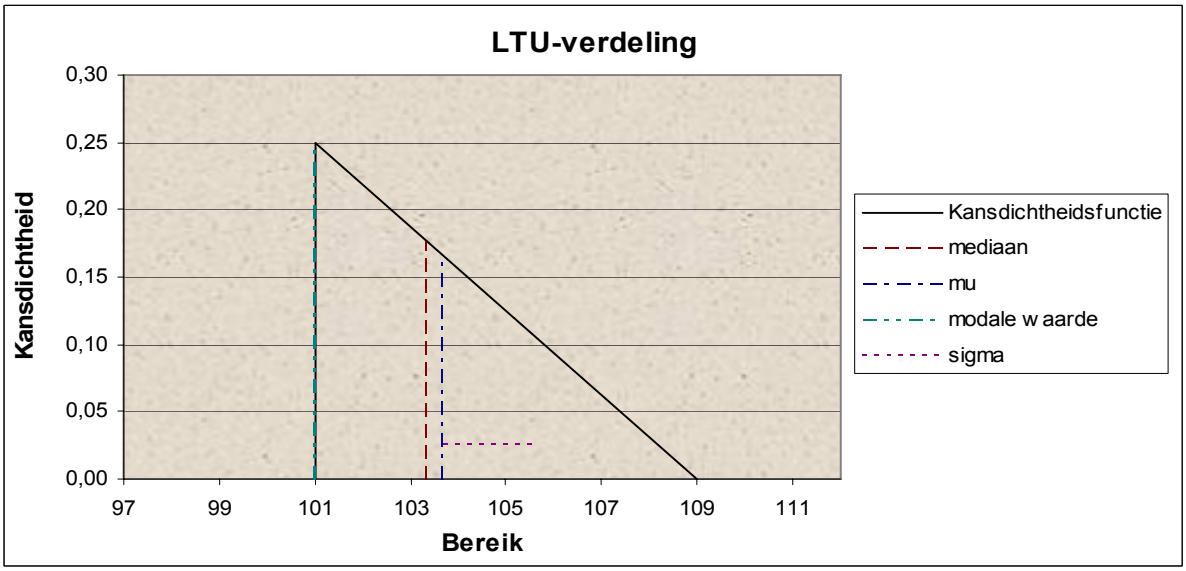
Figuur 1a: De kansdichtheidsfunctie [L=101, T=105, U=109].

Bij de omzetting van een driehoekige kdf in een normaal verdeelde kdf gaat informatie verloren. Het is evident dat er naar gestreefd moet worden om het verlies aan informatie te minimaliseren. In figuur 1b is het informatieverlies inzichtelijk gemaakt door zowel de originele driehoekige kfd als de hieruit afgeleide normale verdeling af te beelden.

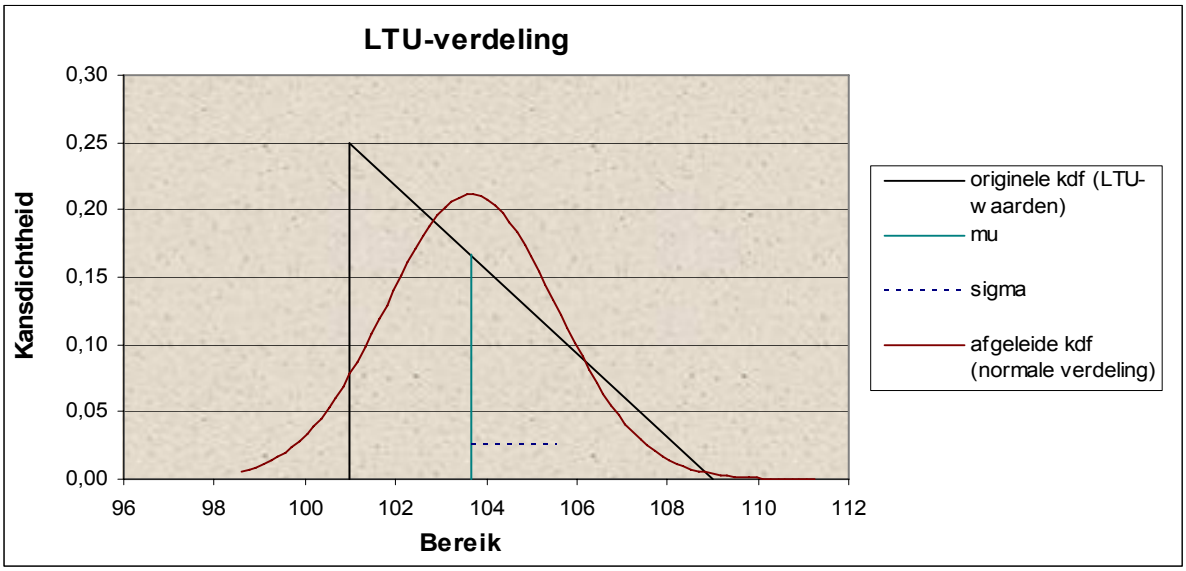


Figuur 1b: De kansdichtheidsfunctie [L=101, T=105, U=109].

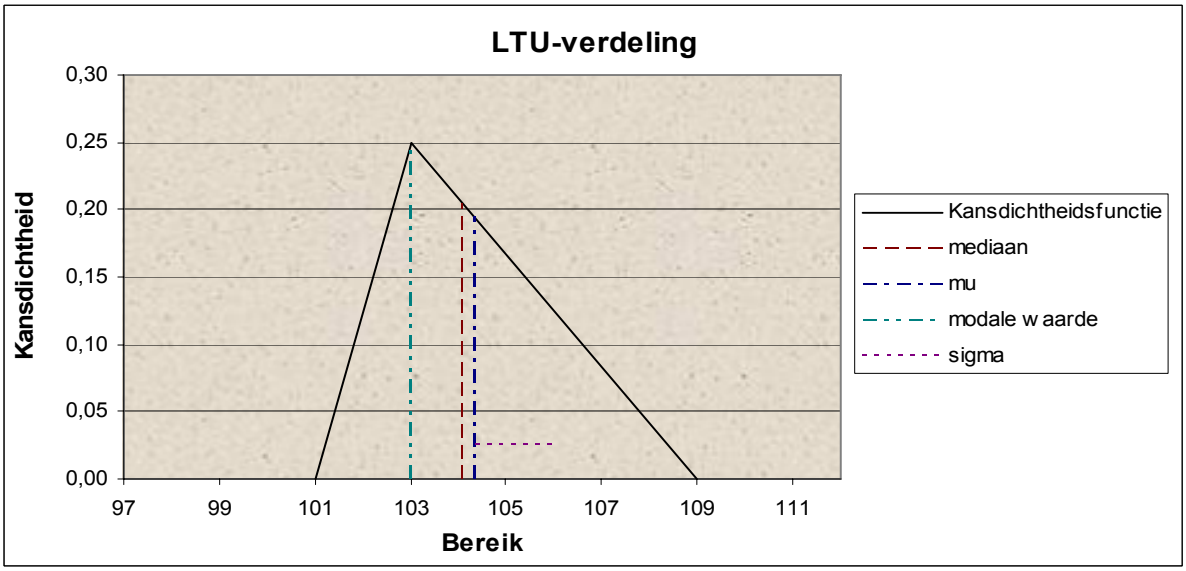
Uit figuur 1b kan visueel worden geconcludeerd dat in dit specifieke geval de normale verdeling een goede vervanger van de originele kdf is. De normale verdeling "volgt" immers vrij nauwkeurig de originele kdf. Voor het ontwikkelen van een model moet de normale verdeling in alle gevallen een bruikbaar alternatief opleveren. In het voorbeeld heeft de kostendeskundige een symmetrische verdeling bepaald, bekeken moet worden of de normale verdeling eveneens goed aansluit in het geval de kostendeskundige kiest voor een asymmetrische verdeling. In de figuren 2a en 2b zijn voor een extreme variant, waarbij de L en T waarde gelijk gekozen zijn, de kdf's weergegeven. In de figuren 3a en 3b is de scheve verdeling uit §4.2.1 behandeld.



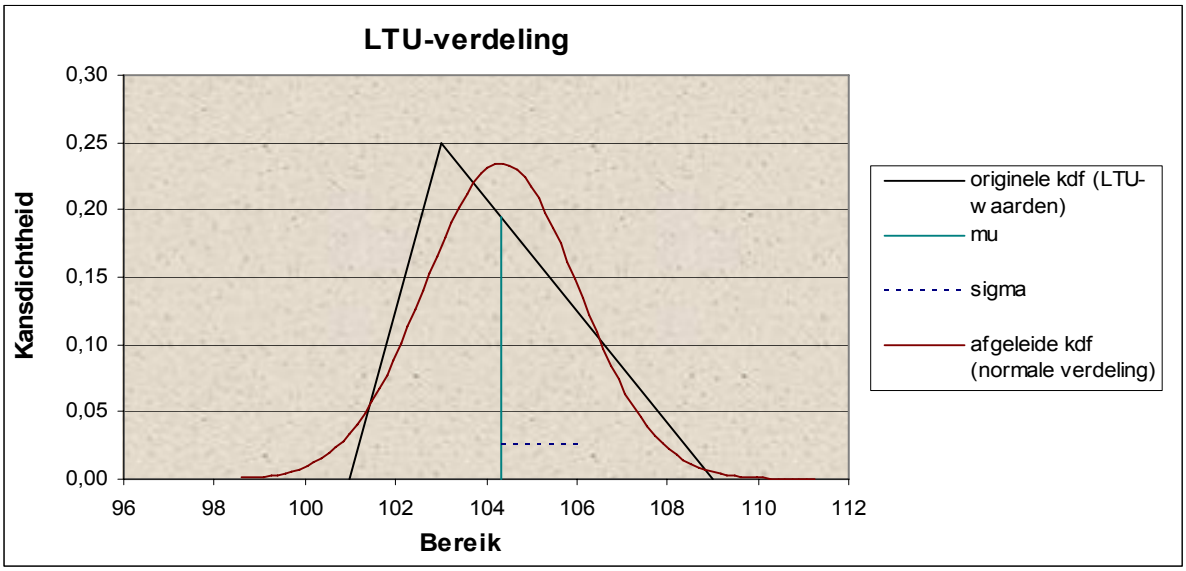
Figuur 2a: De kansdichtheidsfunctie [L=101, T=101, U=109].



Figuur 2b: De kansdichtheidsfuncties [L=101, T=101, U=109].



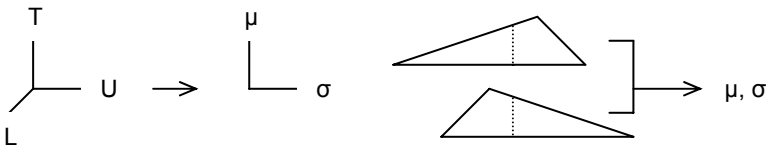
Figuur 3a: De kansdichtheidsfunctie [L=101, T=103, U=109].



Figuur 3b: De kansdichtheidsfuncties [L=101, T=103, U=109].

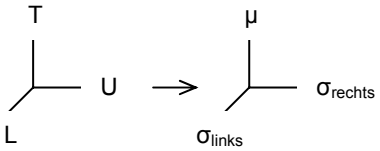
Uit de figuren 2a, 2b, 3a en 3b volgen twee belangrijke conclusies.
Ten eerste dient te worden opgemerkt dat de modus, mediaan en het gemiddelde van de originele verdeling divergeren naarmate de scheefheid van de originele verdeling toeneemt, de figuren 1a, 2a en 3a geven dit weer. Bij de normale verdeling daarentegen blijven de modus, mediaan en het gemiddelde gecentreerd in een punt. De normale verdeling heeft links en rechts van μ een gelijke kansdichtheid, terwijl bij de originele kdf de kansdichtheid links van μ groter is dan rechts van μ (in het geval dat de originele verdeling scheef naar rechts is).

Ten tweede de normale verdeling sluit steeds slechter aan bij de originele verdeling indien de scheefheid van de originele verdeling toeneemt. De figuren 1b, 2b en 3b geven dit weer. De oorzaak hiervan schuilt in het feit dat de normale verdeling een asymmetrie verdeling is en dus per definitie geen scheefheid kan afbeelden.
Ter verduidelijking wordt een asymmetrische kansdichtheidsfunctie op basis van LTU-waarden beschouwd. De combinaties van L, T en U kunnen worden weergegeven in een driedimensionale ruimte, terwijl de versimpeling tot μ en σ slechts in een twee dimensionaal vlak kan worden weergegeven.



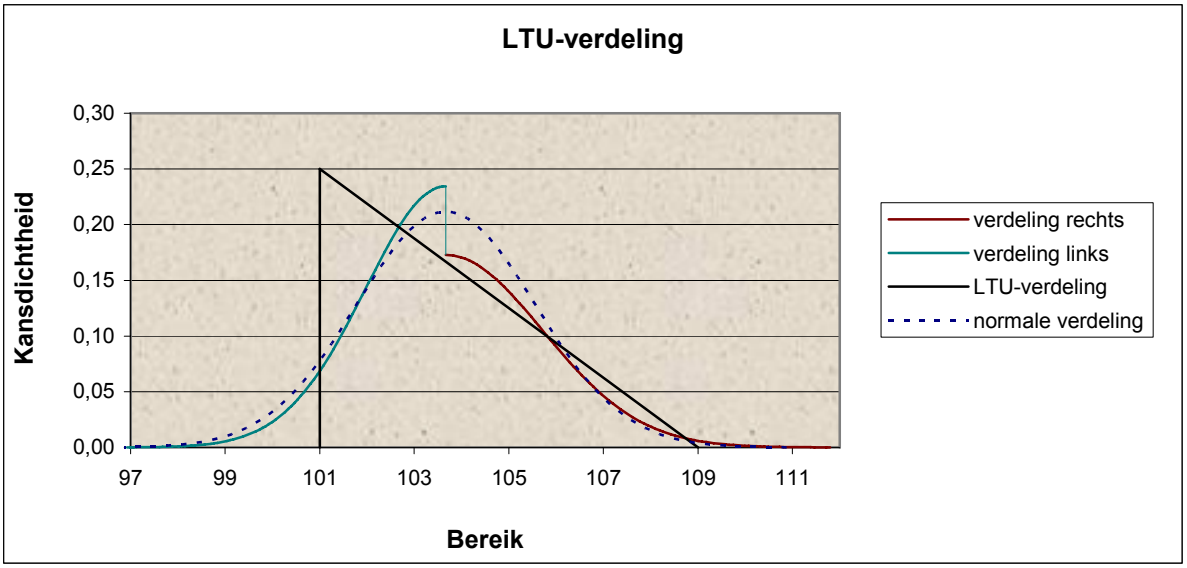
Figuur 4: Informatieverlies t.g.v. de vertaalslag in termen van μ en σ.

Een mogelijke verbeterslag in het vertalen van asymmetrische verdelingen in termen van μ en σ is om over te stappen naar twee normale verdelingen, één normale verdeling voor de kdf links van μ en één normale verdeling voor de kdf rechts van μ. Dientengevolge wordt de LTU-verdeling afgebeeld door μ, σ_{links} en σ_{rechts} waardoor deze afbeelding eveneens driedimensionaal is. Weliswaar gaat nog altijd informatie verloren, maar daar staat tegenover dat gewerkt kan worden met de "gewone" rekenregels die gelden voor het berekenen van μ en σ. In hoofdstuk 2 zijn de formules afgeleid voor het bepalen van σ_{links} en σ_{rechts}.



Figuur 5: Beperken informatieverlies door onderscheid te maken in σ_{rechts} en σ_{links}.

Voor de kansdichtheidsfunctie uit §4.2.1 is de vertaalslag gemaakt in termen van μ, σ_{links} en σ_{rechts}. In figuur 6 zijn zowel de originele kdf, de afgeleide normale verdeling als de alternatieve verdeling in termen van μ, σ_{links} en σ_{rechts} afgebeeld. De figuur laat zien dat de alternatieve verdeling een betere afbeelding van de originele verdeling is dan de normale verdeling.



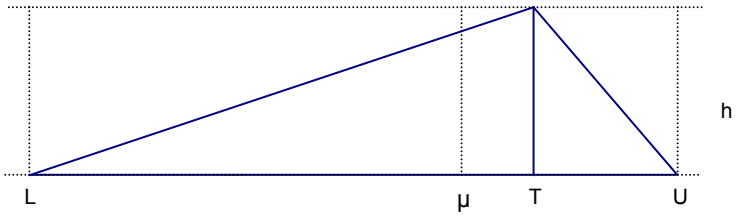
Figuur 6:De kansdichtheidsfuncties [L=101, T=103, U=109].

Mogelijk is een verbeterslag te maken in de translatie van een driehoekige verdeling in termen van μ en σ door de delen aan weerszijden van μ apart te beschouwen en afzonderlijk te voorzien van een μ en σ. In de navolgende bladzijden zijn de functievoorschriften voor het bepalen van de σ links van μ en de σ rechts van μ.

.

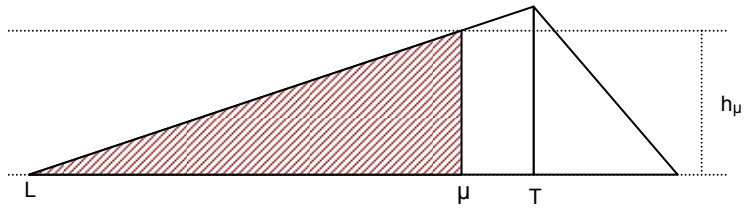
HET AFLEIDEN VAN σ_{LINKS} EN σ_{RECHTS} VAN μ.

LTU-verdeling: Beschouw de onderstaande verdeling.



Stelling: Op basis van sec de kansdichtheidsfunctie links van μ kan de standaardafwijking van de kansdichtheidsfunctie links van μ worden afgeleid. Overeenkomstig wordt gesteld dat op basis van de kansdichtheidsfunctie rechts van μ kan de standaardafwijking van de kansdichtheidsfunctie rechts van μ kan worden afgeleid.

Uitwerking: Beschouw het deel links van μ.



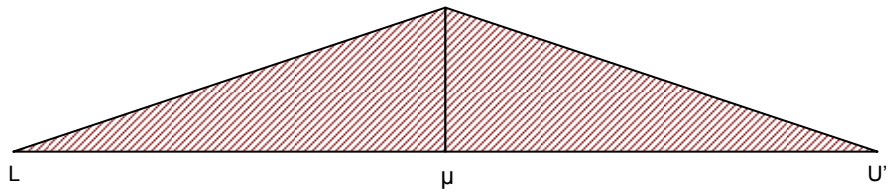
Berekenen hoogte ter plaats van μ.

$$H_\mu = \frac{2}{U-L}\frac{\mu - L}{T-L} \qquad als\ (T-L) \geq (U-T)$$

De variantie (var) van een driehoekige kansdichtheidsfunctie is gelijk aan het inwendige traagheidsmoment van de kansdichtheidsfunctie. Vanuit de mechanica is bekend dat het traagheidsmoment van een driehoek wordt berekend met de formule $I = \frac{1}{12}bh^3$.

Voor het correct hanteren van de formule moet als basis (b) de hoogte h_μ worden genomen en moet als hoogte (h) de absolute afstand $|L-\mu|$ worden genomen.

Voor het berekenen van de standaardafwijking links van μ moet de formule worden aangepast zodat de formule de variantie berekend van de kansdichtheidsfunctie links van μ én de spiegeling van deze kansdichtheidsfunctie ten opzichte van de μ-as.



Aangezien de standaardafwijking gelijk is aan de wortel van de variantie wordt de standaardafwijking links van μ (σ_{links})gegeven door:

$$\sigma_{links} = \sqrt{\frac{bh^3}{6}} \qquad als\ (T-L) \geq (U-T)$$

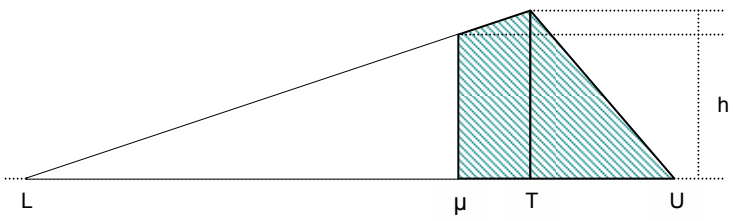
$$met: \qquad b = H_\mu = \frac{2}{U-L}\frac{\mu - L}{T-L}$$

$$h = |L-\mu|$$

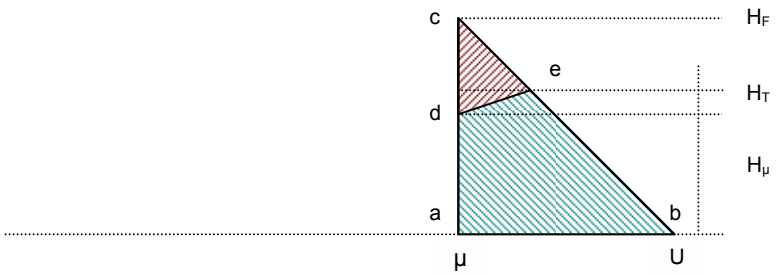
$$\mu = \frac{L+T+U}{3}$$

$$\sigma_{links} = \sqrt{\frac{\left(\frac{2}{U-L}\right)\left(\frac{\mu-L}{T-L}\right)(\mu-L)^3}{6}}$$

<u>*Uitwerking:*</u> Beschouw het deel rechts van μ.



Zie onderstaande figuur, het traagheidsmoment rechts van μ is te berekenen door het traagheidsmoment van de driehoek Δcde af te trekken van het traagheidsmoment van de driehoek Δabc.



Berekenen hoogte kansdichtheidsfunctie ter plaats van T (H_T).

$$H_T = \frac{2}{U-L}$$

Berekenen werkelijke hoogte kansdichtheidsfunctie ter plaats van μ (H_μ).

$$H_\mu = \frac{2}{U-L}\frac{\mu-L}{T-L} \qquad als\ (T-L) \geq (U-T)$$

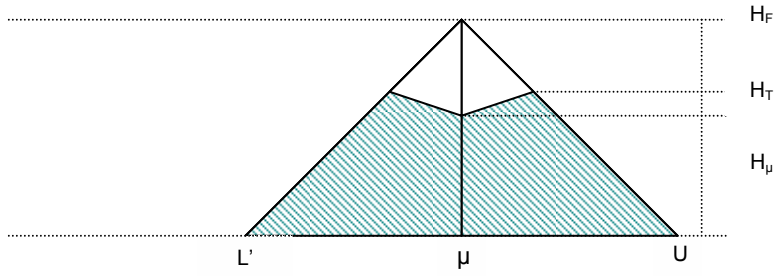
Berekenen fictieve hoogte kansdichtheidsfunctie ter plaats van μ (H_F).

$$H_F = \frac{2}{U-L}\frac{U-\mu}{U-T} \qquad als\ (T-L) \geq (U-T)$$

var Δabc : $$\frac{\left(\frac{2}{U-L}\right)\left(\frac{U-\mu}{U-T}\right)(U-\mu)^3}{12}$$

var Δabc : $$\frac{\left(\left(\frac{2}{U-L}\frac{U-\mu}{U-T}\right)-\left(\frac{2}{U-L}\frac{\mu-L}{T-L}\right)\right)(T-\mu)^3}{12}$$

De standaardafwijking rechts van μ (σ_{rechts}) is de wortel uit de variantie van de onderstaande figuur:



De standaardafwijking rechts van μ (σ_{rechts}) wordt berekend door:

$$\sigma_{rechts} = \sqrt{(2\,\text{var}\,\Delta abc - 2\,\text{var}\,\Delta cde)} \qquad als\ (T-L) \geq (U-T)$$

2 var Δabc : $$\frac{\left(\frac{2}{U-L}\right)\left(\frac{U-\mu}{U-T}\right)(U-\mu)^3}{6}$$

2 var Δabc : $$\frac{\left(\left(\frac{2}{U-L}\frac{U-\mu}{U-T}\right)-\left(\frac{2}{U-L}\frac{\mu-L}{T-L}\right)\right)(T-\mu)^3}{6}$$

$$\sigma_{rechts} = \sqrt{\frac{\left(\frac{2}{U-L}\right)\left(\frac{U-\mu}{U-T}\right)(U-\mu)^3}{6} - \frac{\left(\left(\frac{2}{U-L}\frac{U-\mu}{U-T}\right)-\left(\frac{2}{U-L}\frac{\mu-L}{T-L}\right)\right)(T-\mu)^3}{6}}$$

Eenzelfde exercitie kan worden uitgevoerd indien de driehoekige kansdichtheidsfunctie niet scheef naar rechts maar scheef naar links is. Tot de onderstaande functievoorschriften voor σ_{rechts} en σ_{links} wordt gekomen:

$$\left.\begin{aligned}
\sigma_{links} &= \sqrt{\frac{\left(\frac{2}{U-L}\right)\left(\frac{\mu-L}{T-L}\right)(\mu-L)^3}{6}} \\
\sigma_{rechts} &= \sqrt{\frac{\left(\frac{2}{U-L}\right)\left(\frac{U-\mu}{U-T}\right)(U-\mu)^3}{6} - \frac{\left(\frac{2}{U-L}\right)\left(\frac{U-\mu}{U-T}-\frac{\mu-L}{T-L}\right)(T-\mu)^3}{6}}
\end{aligned}\right\} als\ (T-L) \geq (U-T)$$

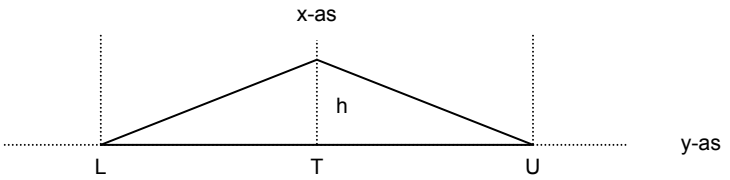
$$\left.\begin{aligned}
\sigma_{links} &= \sqrt{\frac{\left(\frac{2}{U-L}\right)\left(\frac{\mu-L}{T-L}\right)(\mu-L)^3}{6} - \frac{\left(\frac{2}{U-L}\right)\left(\frac{\mu-L}{T-L}-\frac{U-\mu}{U-T}\right)(\mu-T)^3}{6}} \\
\sigma_{rechts} &= \sqrt{\frac{\left(\frac{2}{U-L}\right)\left(\frac{U-\mu}{U-T}\right)(U-\mu)^3}{6}}
\end{aligned}\right\} als\ (T-L) \leq (U-T)$$

Bijlage D

Het onafhankelijke product van twee kansdichtheidsfuncties

DE KANSDICHTHEIDSFUNCTIE VAN HET PRODUCT VAN *PRIJS* EN *HOEVEELHEID*

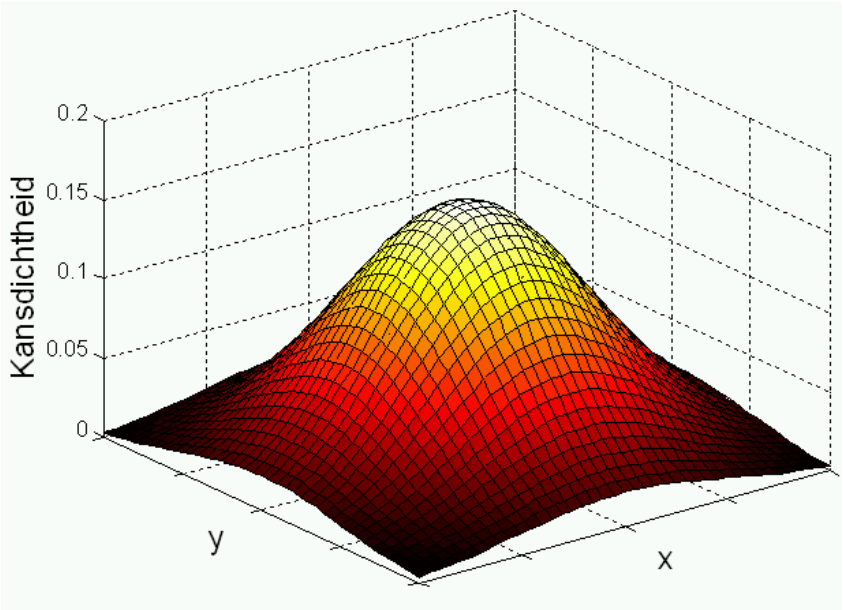
De opvatting van het probabilistisch ramen, is dat de bandbreedte van het totale project “bottum up” berekend kan worden. Verondersteld wordt dat op basis van de individuele verwachtingswaarde en spreiding van de kostenposten van de raming, de verwachtingswaarde (μ_{raming}) en spreiding (σ_{raming}) van de totale raming kan worden afgeleid. In de meeste gevallen wordt een kostenpost geraamd door het product van *prijs* maal *hoeveelheid*. In de SSK wordt gesteld dat de kostendeskundige aan *prijs* en *hoeveelheid* kansdichtheidsfuncties toe kan kennen door het ramen van de uiterste waarden en de meest waarschijnlijke waarde.



Figuur 1: Driehoekige kansdichtheidsfunctie

Wanneer twee kansdichtheidsfuncties (kdf’s) worden vermenigvuldigd speelt afhankelijkheid een rol. Wiskundig zijn twee methoden om deze vermenigvuldiging uit te voeren, de eerste methode veronderstelt afhankelijkheid, de tweede methode veronderstelt onafhankelijkheid tussen beide grootheden[1]. In het geval dat de grootheden *prijs* en *hoeveelheid* volledig onafhankelijk worden verondersteld geldt dat de waarde van de ene grootheid geen invloed op de waarde van de andere grootheid. In een simulatie kan onafhankelijkheid worden voorgesteld door een “random number generator” die voor beide grootheden apart een trekking conform de kansdichtheidsfuncties uitvoert.
In het geval dat beide grootheden volledig afhankelijk worden beschouwd dan is sprake van een volledige correlatie tussen beide uitkomsten. De waarde van de ene grootheid bepaalt in feite de waarde van de andere grootheid. In een simulatie kan afhankelijkheid worden voorgesteld door één enkele trekking van de “random number generator” waardoor de uitkomst voor beide grootheden vastligt. De correlatie kan negatief of positief zijn, Bij een negatieve correlatie is sprake van een negatief verband, ofwel als een grootheid toeneemt dan neemt de andere grootheid af. Bij een positief verband geldt het tegenovergestelde, wanneer een grootheid toeneemt, neemt de andere grootheid eveneens toe.
Bij het vermenigvuldigen van twee kdf’s wordt in het geval van volledige afhankelijkheid één variabele geëlimineerd doordat de waarde van de ene kdf de waarde van de andere kdf bepaalt. Dientengevolge is het mogelijk om met behulp van integraalrekening een algemeen geldend functievoorschrift voor het product af te leiden voor het hele uitkomstenbereik. Dit functievoorschrift is af te beelden in een twee dimensionale ruimte.
Het afleiden van een soortgelijk (twee dimensionaal) functievoorschrift voor het onafhankelijke product van twee kansdichtheidsfuncties behoort echter niet tot de mogelijkheden, aldus statistici werkzaam bij de Hogeschool Utrecht, de technische Universiteit Delft en de Universiteit Twente. Door de onafhankelijkheid tussen beide grootheden bestaat de kansdichtheidsfunctie uit een drie dimensionaal figuur, welke met behulp van geavanceerde programma’s kan worden weergegeven. In de figuren 2 is het product van twee onafhankelijke normale verdelingen afgebeeld.

[1] Kostendeskundigen binnen en buiten Holland Railconsult zijn van mening dat prijs en hoeveelheid onafhankelijk van elkaar beschouwd moeten worden.

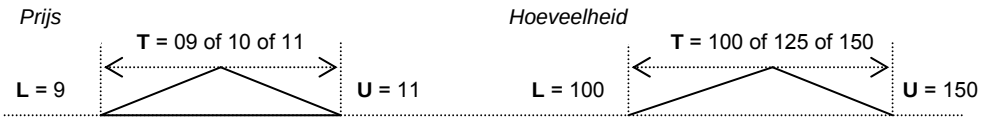


Figuur 2: 3D-voorstelling van het onafhankelijke product van twee grootheden.

Volgens statistici is het niet mogelijk om een algemeen geldend voorschrift te ontwikkelen om een drie dimensionale kdf om te zetten in een twee dimensionale kdf van gelijke kwaliteit. Voor een specifiek geval is het wel mogelijk om de kansdichtheidsfunctie te bepalen en in een tabel op te nemen aldus dr. K. Poortema. Deze oplossingsrichting is met behulp van Excel verder uitgewerkt.
In het geval van onafhankelijkheid is het wel mogelijk gebleken om de verwachtingswaarde en de standaardafwijking van het product te bepalen. Hiertoe dient het gemiddelde en de standaardafwijking eerst voor de grootheden afzonderlijk bepaald worden. Wanneer deze berekend zijn wordt het gemiddelde en de standaardafwijking van de kostenpost bepaald door de μ's en σ's van prijs en hoeveelheid conform de onderstaande formules te berekenen. Aangezien algemeen wordt verondersteld dat de grootheden prijs en hoeveelheid onafhankelijk van elkaar zijn worden deze formules gehanteerd om te komen tot μ en σ op postniveau.

Stel :	$hoeveelheid \sim N(\mu,\sigma^2)\ met\ parameters\ (\mu_h,\sigma_h)$
Stel :	$prijs \sim N(\mu,\sigma^2)\ met\ parameters\ (\mu_p,\sigma_p)$
Stel :	$hoeveelheid, prijs\ \ onderling\ \ onafhankelijk$
Formule 01	$\mu_{ph} = \mu_p \mu_h$
Formule 02	$\sigma_{ph} = \sqrt{(\mu_p\sigma_h)^2 + (\sigma_p\mu_h)^2 + (\sigma_p\sigma_h)^2}$

Om te beoordelen of de normale verdeling met de parameters μ en σ resulteert in een kansdichtheidsfunctie die goed aansluit bij de werkelijke onafhankelijke kansdichtheidsfunctie, zijn enkele functies berekend en in één figuur afgebeeld. De onderstaande kansdichtheidfuncties zijn beschouwd, in beide gevallen kan de top 3 waarden aannemen, zodoende ontstaan negen permutaties.

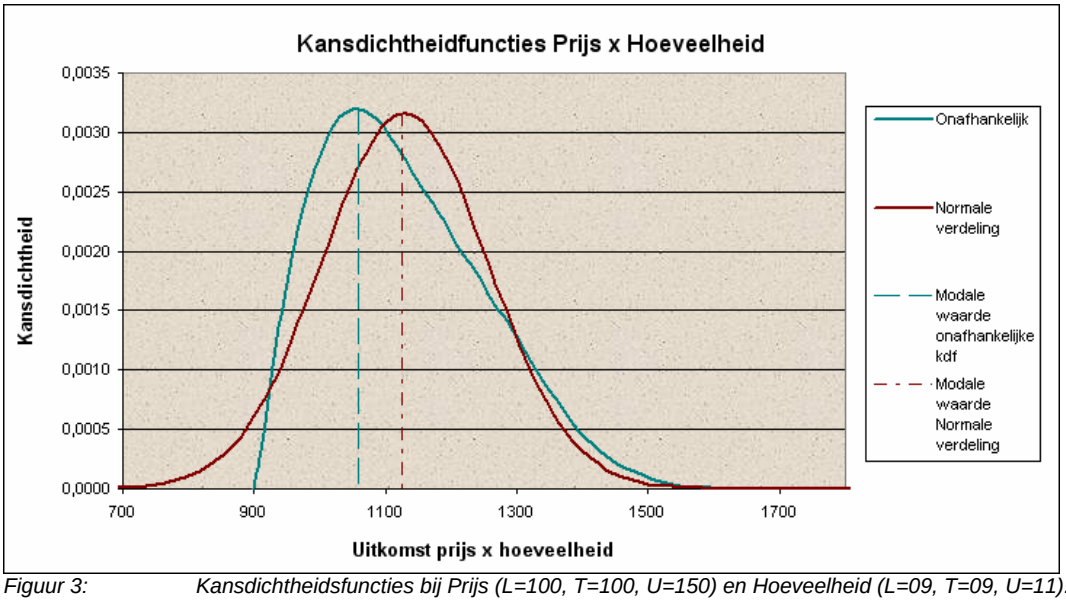


prijs		
L	T	U
€ 9,-	€ 9,-	€ 11,-
€ 9,-	€ 10,-	€ 11,-
€ 9,-	€ 11,-	€ 11,-

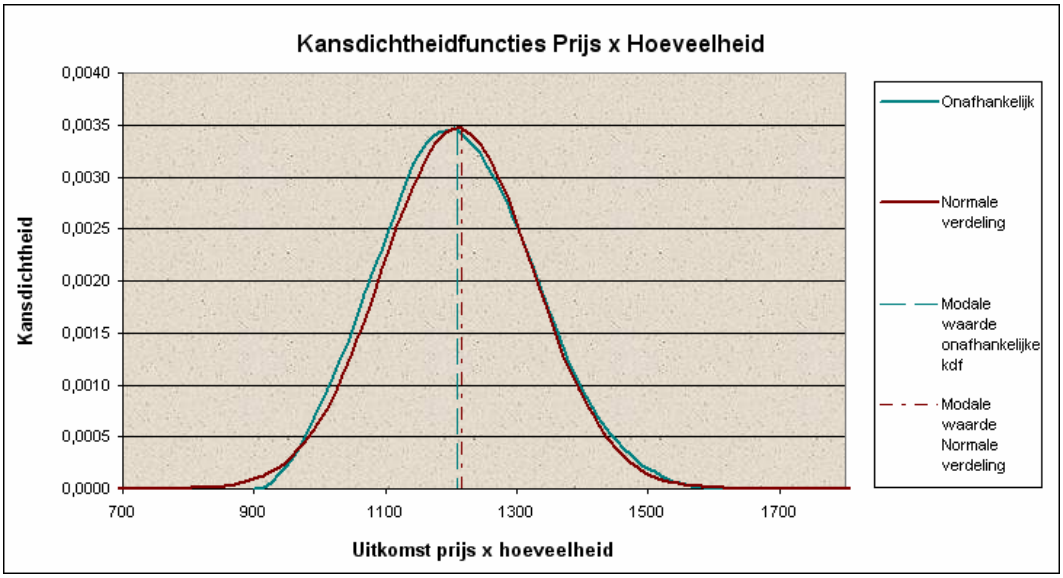
x

hoeveelheid		
L	T	U
100 m^2	100 m^2	150 m^2
100 m^2	125 m^2	150 m^2
100 m^2	150 m^2	150 m^2

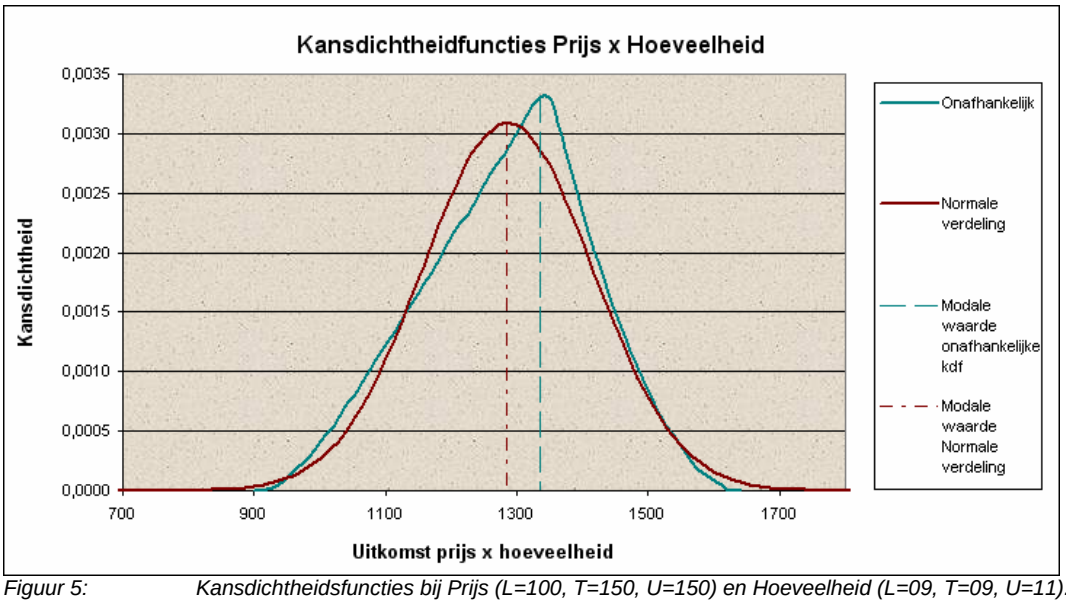
In de figuren 3 tot en met 11 is de werkelijke (met Excel berekende) kansdichtheidsfunctie uitgezet tegen de normale verdeling met μ en σ berekend met de formules 01 en 02.



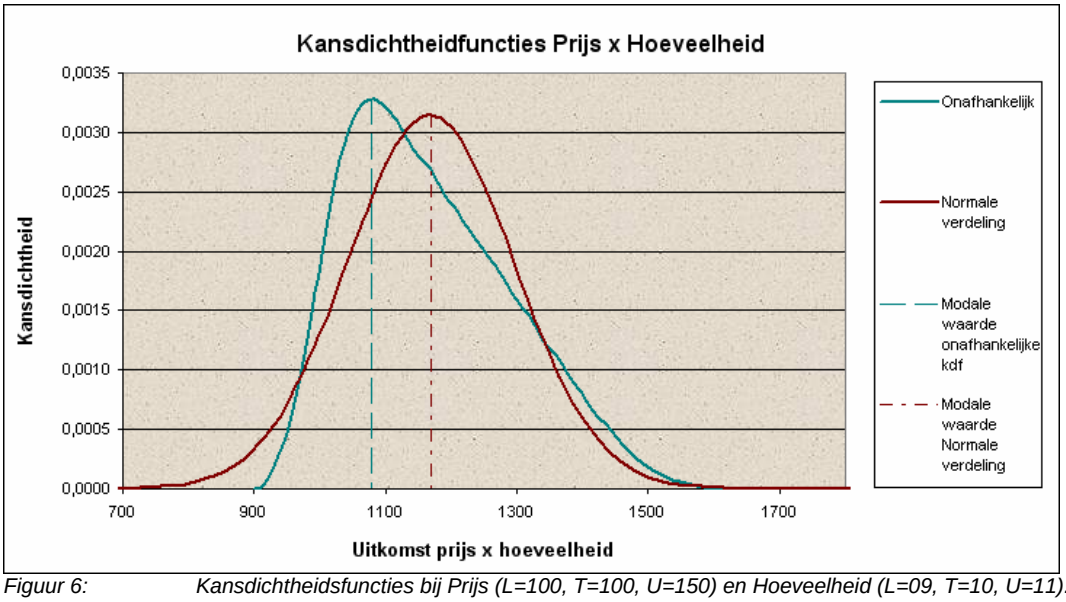
Figuur 3: Kansdichtheidsfuncties bij Prijs (L=100, T=100, U=150) en Hoeveelheid (L=09, T=09, U=11).



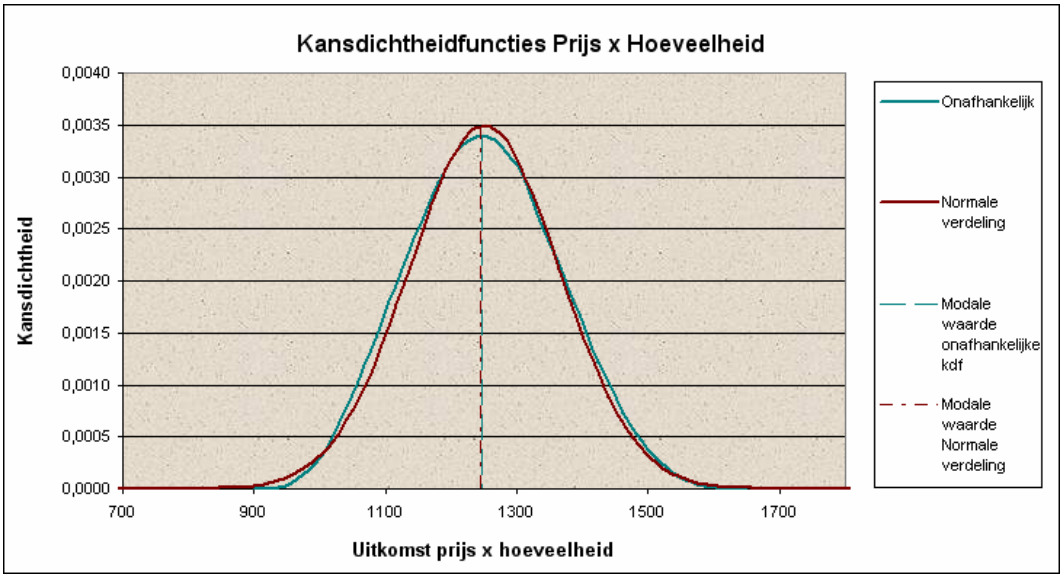
Figuur 4: Kansdichtheidsfuncties bij Prijs (L=100, T=125, U=150) en Hoeveelheid (L=09, T=09, U=11).



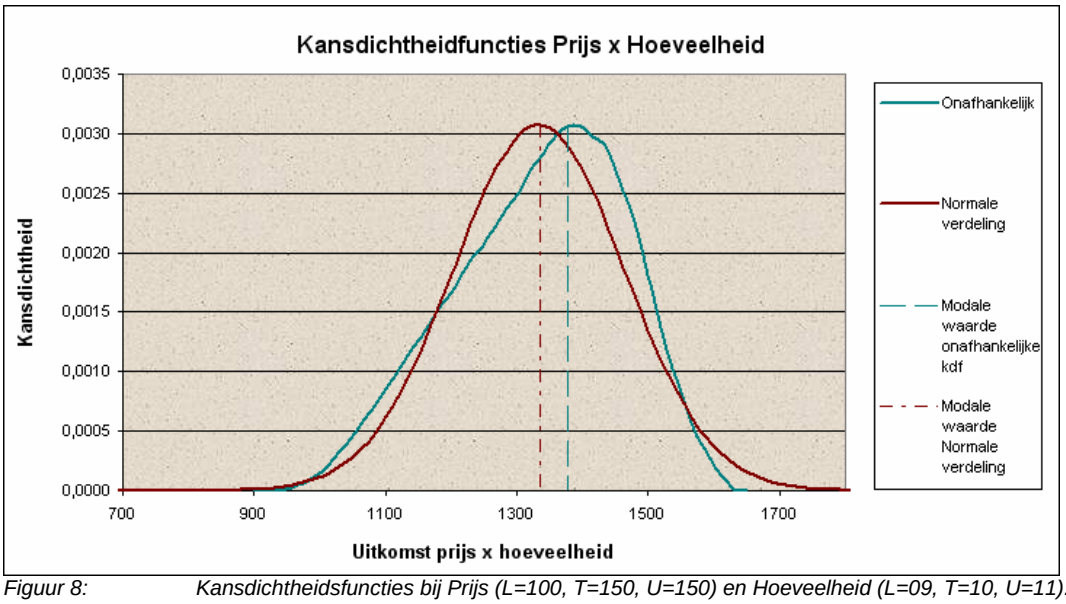
Figuur 5: Kansdichtheidsfuncties bij Prijs (L=100, T=150, U=150) en Hoeveelheid (L=09, T=09, U=11).



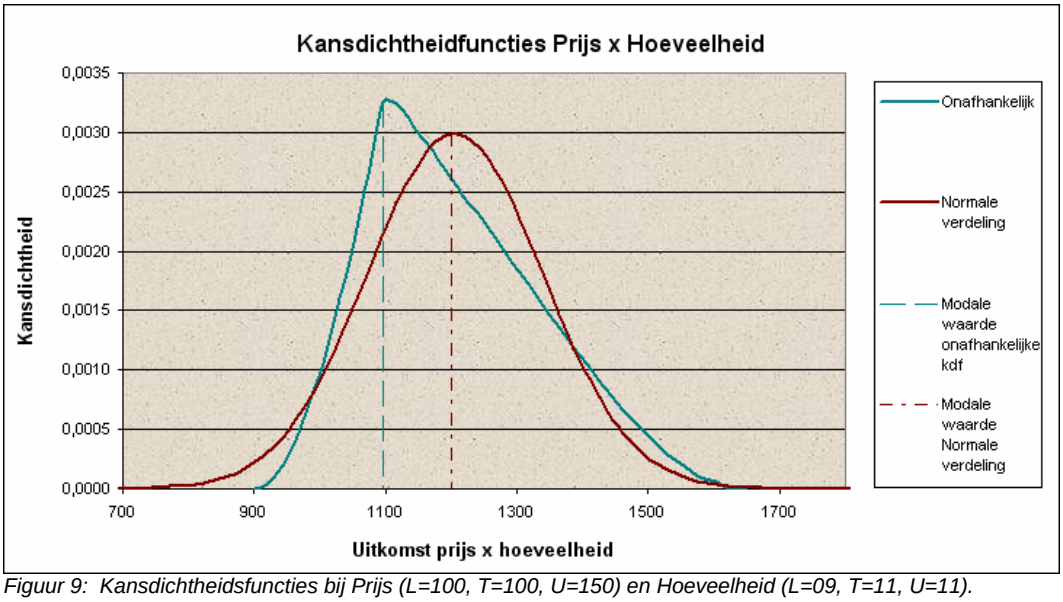
Figuur 6: Kansdichtheidsfuncties bij Prijs (L=100, T=100, U=150) en Hoeveelheid (L=09, T=10, U=11).



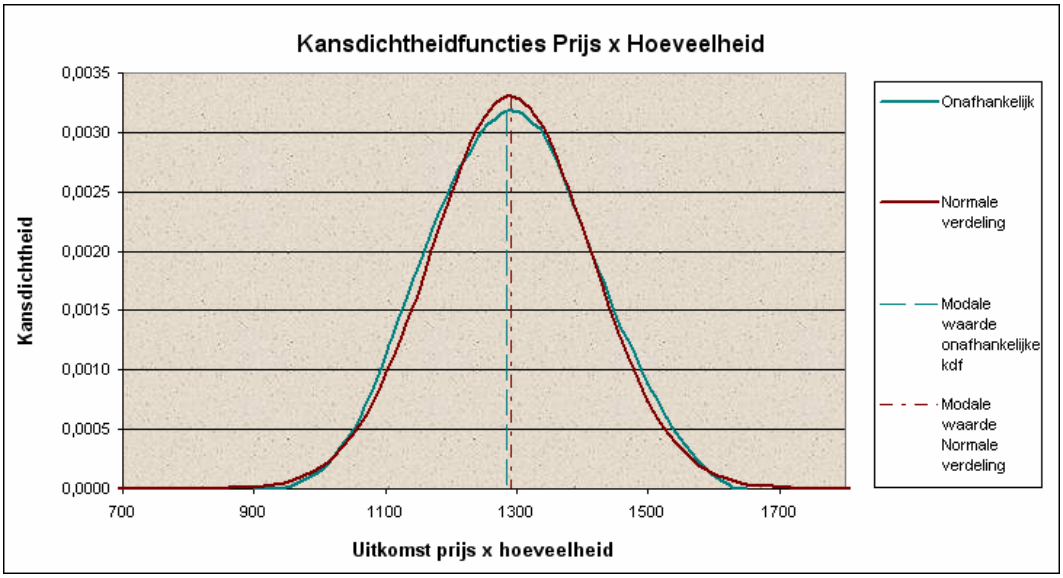
Figuur 7: Kansdichtheidsfuncties bij Prijs (L=100, T=125, U=150) en Hoeveelheid (L=09, T=10, U=11).



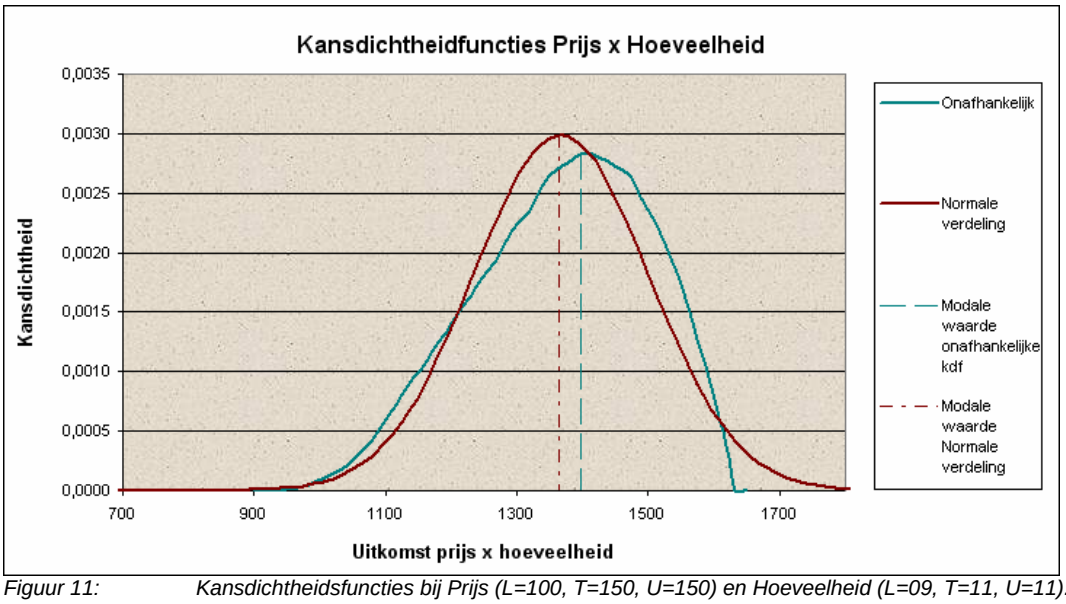
Figuur 8: Kansdichtheidsfuncties bij Prijs (L=100, T=150, U=150) en Hoeveelheid (L=09, T=10, U=11).



Figuur 9: Kansdichtheidsfuncties bij Prijs (L=100, T=100, U=150) en Hoeveelheid (L=09, T=11, U=11).



Figuur 10: Kansdichtheidsfuncties bij Prijs (L=100, T=125, U=150) en Hoeveelheid (L=09, T=11, U=11).



Figuur 11: Kansdichtheidsfuncties bij Prijs (L=100, T=150, U=150) en Hoeveelheid (L=09, T=11, U=11).

Samenvatting en conclusie

Voor negen permutaties is met behulp van Excel de kansdichtheidsfunctie van het product van *prijs* en *hoeveelheid* bepaald. Tevens is voor elk van de negen permutaties de bijbehorende kansdichtheidsfunctie bepaald. De kdf's zijn paarsgewijs tegen elkaar uitgezet waarna op basis van de grafische weergave conclusies zijn getrokken[2].

Uit de figuren 3 tot en met 11 wordt geconcludeerd dat informatie verloren gaat wanneer de normale verdeling op basis van de formules 01 en 02 wordt gehanteerd, immers beide kdf's zijn niet exact gelijk aan elkaar.

Eveneens kan uit figuur 7 worden geconcludeerd dat de normale verdeling nauwkeurig bij de werkelijkheid aansluit in het geval dat voor *prijs* en *hoeveelheid* symmetrische kansdichtheidfuncties worden gedefinieerd én *prijs* en *hoeveelheid* onafhankelijk worden verondersteld. Wanneer voor één of beide grootheden een scheve kansdichtheidsfunctie wordt gedefinieerd dan wordt de afwijking groter maar blijft deze desondanks redelijk dicht bij de werkelijke kansdichtheidfuncties.

[2] De verschillen tussen beide kdf's blijven relatief gezien intact wanneer wordt gemanipuleerd met de absolute afstand tussen de L en U. Met andere woorden de relatieve verschillen blijven ook intact indien "extreme" LTU-functies worden beschouwd.

Bijlage E

Nieuwe inzichten in het Probabilistisch Ramen

(Bron: Frank Dam, Holland Railconsult)

Nieuwe inzichten in het Probabilistisch Ramen

"Niet alles willen onderbouwen met probabilistisch ramen, maar verder zoeken naar de oorzaken van de verschillen tussen de methodieken voor het maken van ramingen"

Goed ramen is belangrijk. De manier waarop het nu gebeurt, is voor verbetering vatbaar. De met Probabilistisch Ramen (PR) bepaalde waarden voor de post onvoorzien en voor de bandbreedte zijn in de praktijk vaak kleiner dan de met Deterministisch Ramen (DR) bepaalde waarden. Dit artikel wijst twee oorzaken aan. Door deze oorzaken op te nemen in de methodiek van het PR en 'mee te nemen' bij het opstellen van de raming kunnen deze verschillen in de toekomst kleiner worden.

ir. J.C. Kuiper
Holland Railconsult

prof. drs. ir. J.K. Vrijling
TU Delft

In de GWW hebben we weliswaar systematieken als RISMAN en de Standaardsystematiek Kostenramingen (SSK) om ons op weg te helpen, maar de inhoudelijke kwaliteit van de raming wordt nog steeds bepaald door de kostenramer zelf. Veel organisaties ramen op probabilistische wijze. In dit artikel wordt vooral ingezoomd op de posten 'onvoorzien' en op de 'bandbreedte'. Onze stellingen zijn:

- In de huidige methodiek van het Probabilistisch Ramen (PR) wordt geen rekening gehouden met de extra onzekerheid die ontstaat doordat zowel de raming van de opdrachtgever als de aanbieding van opdrachtnemer stochastische variabelen zijn. Als hiermee wél rekening wordt gehouden dan kan de bandbreedte van een *voorspellende* raming tot ruim 1,4 keer groter worden aangehouden dan de bandbreedte bepaald volgens de huidige methodiek.
- In de huidige praktijk wordt onvoldoende rekening gehouden met het begrip 'Onvoorzien Projectonvoorzien', met name onvoorzien ten gevolge van fouten in de engineering. Dit beïnvloedt zowel de grootte van de post Onvoorzien als de bijbehorende bandbreedte.

Dit artikel is ook een pleidooi om niet *alles* te willen onderbouwen met PR, maar verder te zoeken naar de oorzaken van de verschillen tussen de methodieken voor het maken van ramingen. Er zijn vast nog meer oorzaken dan de twee hier behandelde.

Optelling en bandbreedte

PR is een hulpmiddel om de risico's en onzekerheden te vertalen naar de raming. Het resultaat bestaat uit twee uitkomsten: de *optelling* van de kostenposten in de raming en de *bandbreedte* van de raming. De bandbreedte vormt samen met de bijbehorende statistische betrouwbaarheid een maat voor de trefzekerheid van de raming.
Aan PR is de laatste tien jaar veel aandacht besteed, onder andere in de PAO-cursus 'Voorzien, Onvoorzien of Onzeker' (VOO-cursus), in 'De RISMAN-methode' en in de 'SSK', de Standaardsystematiek voor Kostenramingen in de GWW (SSK).
PR stelt je in staat een volgorde vast te stellen van de kostenposten die de grootste invloed hebben op de bandbreedte en daarom, uit een financieel belang, prioriteit verdienen bij de beheersing van risico's en onzekerheden. PR is een methodiek die weliswaar theoretisch wiskundig volledig is uitont-

wikkeld, maar waarin nog niet alle werkelijk optredende oorzaken zijn opgenomen.

Prioritering

In het kader hiernaast zijn PR en DR (Deterministisch Ramen) uiteengezet, voorzover nodig voor dit artikel. Zoals gesteld, blijkt het in de praktijk moeilijk om met PR de post onvoorzien en de bandbreedte te berekenen op de verwachte (deterministische) waarden. Men gaat daar soms niet goed mee om en past dan bijvoorbeeld de invoer aan in plaats van verder te speuren naar oorzaken en hun bijdrage aan de kostenposten en aan de bandbreedte. Aanpassingen van de invoer met als doel de bandbreedte te vergroten zijn verstoringen, omdat het inzicht in de fenomenen die tot afwijkingen in de raming leiden niet wordt verhoogd. Integendeel, de volgorde in de prioritering van de risico's en onzekerheden kan worden verstoord met alle gevolgen van dien voor de risicobeheersing. En dat terwijl die prioritering en de daaraan gekoppelde beheersing juist een belangrijke meerwaarde van het PR is!

Een nieuwe onzekerheid

In de huidige methodiek wordt nog geen rekening gehouden met de *extra* onzekerheid die ontstaat omdat de raming een voorspelling is van de door een *opdrachtnemer* uit te brengen offerte. We hebben onlangs deze onzekerheid als een nieuwe in rekening te brengen factor in de methodiek gevonden.
In de huidige methodiek wordt ervan uitgegaan dat de kansverdeling van de kosten wordt bepaald door de probabilistische raming (μ en σ) van de opdrachtgever. En dat de opdrachtgever daarin altijd de middenpositie (μ) inneemt. En dat de standaardafwijking (σ) de maat is voor de afwijking van de werkelijke kosten.
Dit is onzes inziens fout omdat de raming van de opdrachtgever, net als de ramingen van de aanbiedende aannemers, slechts één 'realisatie' vertegenwoordigt. Die komt niet per definitie overeen met het gemiddelde. Het gaat bij het bepalen van de bandbreedte om het verschil tussen de raming van de opdrachtgever en de offerte van de opdrachtnemer. Vermijd je die fout en veronderstel je dat de twee ramingen onafhankelijk zijn, dan leidt dit tot een bandbreedte die $\sqrt{2}$ keer groter is dan de met de huidige systematiek bepaalde bandbreedte (zie kader op de volgende pagina).

'Gerommel'

Dus zonder 'gerommel' aan de invoer, maar door het herkennen van een echte oorzaak, is de bandbreedte waar de opdrachtgever rekening mee moet houden al 1,41 keer groter dan de tot dusver aangehouden bandbreedte, die is opgebouwd uit de in kaart gebrachte risico's en onzekerheden!
Dit fenomeen is ontdekt bij een analyse van de trefzekerheid van ramingen in de aanbestedingsfase. De factor geldt echter ook voor de andere fasen en de andere kostencategorieën van een project, waarbij een verwachte werkelijkheid wordt voorspeld.

Onvoorzien Project Onvoorzien

In de praktijk wordt de post 'Project Onvoorzien' vaak te laag ingeschat. Wij doen de suggestie om voortaan rekening te houden met een nieuwe toekomstonzekerheid: 'Onverwachte (dus niet benoemde) majeure onvoorziene bijzondere gebeurtenissen', oftewel 'Onvoorzien Project Onvoorzien'. Bijzondere gebeurtenissen leveren een bijdrage aan zowel de optelling van de raming als de bandbreedte van de raming. Per bijzondere gebeurtenis is de standaardafwijking zelfs groter dan de kostenpost in de raming! (zie figuur pagina 33). Denk daarbij bijvoorbeeld aan de Erasmusbrug in Rotterdam. Na de ingebruikname bleek de majeure bijzondere gebeurtenis 'Rain Wind Induced Vibration', die niet was voorzien, toch op te treden.
Bij projectevaluaties (zie het afstudeerwerk van Boschloo) komen vaker gebeurtenissen naar boven die in de categorie 'Onvoorzien Project Onvoorzien' zouden kunnen worden geplaatst, omdat ze in de risicoanalyse vooraf niet waren

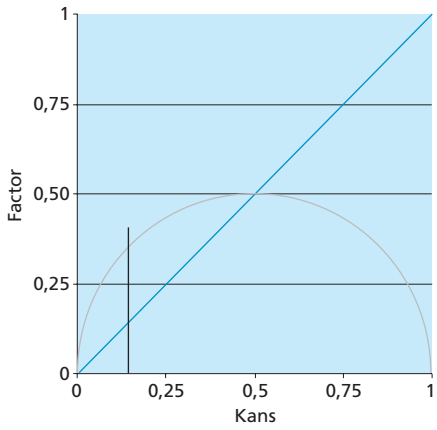
Deterministisch en Probabilistisch Ramen

Deterministische werkwijze

Deterministisch ramen is het optellen van de kostenposten die bestaan uit prijs × hoeveelheid. De bandbreedte is hier een geschatte waarde afhankelijk van de projectfase, gebaseerd op ervaring (nacalculatie van vergelijkbare projecten) en onderbuikgevoel.

Probabilistische werkwijze

Bij de probabilistische werkwijze wordt een kansverdeling voor de raming in zijn totaliteit bepaald. Deze kansverdeling heeft een gemiddelde, de zogenaamde verwachtingswaarde, een standaardafwijking en een bepaalde vorm. De trefzekerheid wordt bepaald door een onder- en overschrijdingskans te kiezen en hieruit de bandbreedte rond het gemiddelde te bepalen.
Deze kansverdeling is opgebouwd uit de onderliggende kansverdelingen van alle onderdelen van de raming. Deze onderliggende kansverdelingen hebben betrekking op de onzekerheden van hoeveelheden en prijzen van alle kostenposten van de raming. Daar worden de kansen en gevolgen van de ongewenste bijzondere gebeurtenissen (ongelukken en extreme tegenvallers) aan toegevoegd.
De berekende bandbreedte is dus de resultante van honderden inschattingen op het niveau van kostenposten en bijzondere gebeurtenissen.



De rechte lijn onder 45° bepaalt de te ramen kostenpost:
De te ramen kostenpost wordt bepaald met:
Post = factor × gevolg
Factor = kans
Post = kans × gevolg

De halve cirkel bepaalt de te ramen standaardafwijking:
De standaardafwijking wordt bepaald met:
Standaardafwijking=factor × gevolg

$$\text{factor} = \sqrt{\text{kans} \times (1-\text{kans})} \quad \text{(zie RISMAN)}$$

$$\text{standaardafwijking} = \sqrt{\text{kans} \times (1-\text{kans})} \times \text{gevolg}$$

Merk op dat bij een kans <0,5 de standaardafwijking groter is dan de te ramen kostenpost zelf!
Bijvoorbeeld bij een kans van 0,1 is de standaardafwijking 0,3.
Interessant is ook dat bij een kans >0,5 een reductie van de kans tot een vergroting van de standaardafwijking leidt, althans zolang de gereduceerde kans >0,5 blijft.

Te ramen kostenpost en standaardafwijking van een bijzondere gebeurtenis, afhankelijk van de kans van voorkomen

gesignaleerd. De praktijk leert dat het daarbij ook vaak gaat om ontwerpfouten die zich pas bij de detaillering of bij de uitvoering manifesteren en dan de projectkosten aanzienlijk kunnen verhogen. Bijzondere gebeurtenissen hebben de grootste bijdrage aan de totale bandbreedte van een raming. Boschloo (1999) heeft in een analyse van acht tunnelprojecten laten zien dat tijdens elk werk ten minste één ongewenste bijzondere gebeurtenis van aanmerkelijke omvang optreedt. Hij ontdekte ook dat fouten in de engineering, zowel in het ontwerp als bij de uitvoering, een belangrijke bron van dit soort tegenvallers zijn. Die werden tot nog toe niet expliciet genoemd.

Verder zoeken

Wij pleiten ervoor om de PR-bandbreedte te zien als het *verklaarde* deel van de DR-bandbreedte. Dat de verwachte bandbreedte groter is, moet ons niet verleiden tot het oppeppen van al bekende oorzaken maar juist stimuleren om verder te zoeken naar nog onbekende oorzaken. Als rekening wordt gehouden met de over het hoofd geziene onzekerheid van raming en aanbieding dan wordt de bandbreedte tot $\sqrt{2}$ maal groter.

(Bron: Montparnasse)

Verkeerd ramen kan onvoorziene gevolgen hebben

Het onderdeel 'Onvoorzien Projectonvoorzien' draagt bij aan de onderbouwing van de kostenpost projectonvoorzien en levert ook een aanzienlijke bijdrage aan de bandbreedte.

Literatuur

1. *Voorzien, Onvoorzien of Onzeker? PAO-cursus TU-Delft (VOO-cursus)*
2. *De RISMAN-methode, Kennisnetwerk Risicomanagement - RISNET, 1996*
3. *Wat kost dat? Standaardsystematiek voor kostenramingen in de GWW, 2e verbeterde druk van CROW-publicatie 137 (SSK), 2002*
4. *Boschloo, Meint. Evaluatie van ramingsstijgingen bij tunnels en viaducten, MSc-thesis 1999, Afstudeerrapport TU-Delft*

Verklaring van de factor $\sqrt{2}$

De factor $\sqrt{2}$ is theoretisch af te leiden uit de statistiek, of te bepalen door een simulatie in een spreadsheet. Stel: de winnende offerte van een aanbieder komt uit een populatie gekenmerkt door een normale verdeling met het gemiddelde μ en de standaardafwijking σ. Stel dat ook de raming van de opdrachtgever van dezelfde kwaliteit is (zelfde μ en σ) als de winnende offerte. De kansverdeling van de benodigde bandbreedte wordt bepaald door het verschil tussen twee willekeurige trekkingen uit deze populatie te bepalen. Het gemiddelde verschil is nul, de standaardafwijking is $\sigma \times \sqrt{2}$, namelijk het kwadratisch gemiddelde van σ en σ. De aan te houden standaardafwijking is dus ruim 1,41 keer groter dan die van de oorspronkelijke populatie. Het effect is toegelicht bij een normale verdeling, maar het geldt universeel.
Er zijn gevallen denkbaar dat deze extra onzekerheid kleiner is dan 41%, bijvoorbeeld als de opdrachtgever beschikt over een tweede geheel onafhankelijk opgestelde raming. Let op: de soms wel 10.000 ramingen die binnen één probabilistische raming worden gegenereerd kunnen niet worden beschouwd als onafhankelijk van elkaar opgestelde ramingen.

Bijlage F

Effectivity of Risk Management for Design & Construct Projects of Large Contractors

Effectivity of Risk Management for Design & Construct Projects of Large Contractors

J.G. Vastert[1], P.H.A.J.M. van Gelder[2]

[1,2] Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Stevinweg 1, 2600 GA Delft, the Netherlands

corresponding author: P.H.A.J.M. van Gelder, p.vangelder@ct.tudelft.nl, fax: +31-15-2785124

Abstract

This paper presents an evaluation on the risk analysis and risk management of a contractor for large Design and Construct projects. Risk management and risk analysis are vital tools to secure project profitability. The evaluation of individual projects brings to surface some discrepancies that obstruct the learning-cycle for today's projects. Therefore recommendations are made to increase effectiveness of risk management for Design and Construct projects.

1 Introduction

For a contractor the (financial) result of a project is highly influenced by risk. To assure project profitability the price is based on a cost estimation. This estimation is based on cost accounts (fixed and variable) and a projection of a risk analysis. In past years efforts have been made to produce estimations that are statistically controlled. This means that for a great number of projects the cost realisations all fall within statistical boundaries of the cost estimation, with just few exceptions.
Especially estimations for Design and Construct projects are sensitive to risk [1]. Risk control is merely concentrated in early project stages, though full implication is only known in later stages [2]. The responsibility for design implies more risk allocated at the contractor's account. In this paper, first the probabilistic approach to project cost estimation will be reviewed, followed by the factors which blur a proper evaluation of cost estimation in Design and Construct projects. One of these factors, namely the uncertainty in claims, will be studied in more detail, followed by a recommendation how to improve the evaluation method for probabilistic cost estimation.

2 The probabilistic approach to project cost estimation.

At the start of a project a cost estimation sums up all fixed and variable cost items (Fig. 1). A probabilistic cost estimation then starts with making an inventory of project risks throughout the project. This inventory has to be as complete as possible, identifying all relevant risk items. These risk items will be the input in the risk model, for which a Monte Carlo simulation is often used. For this purpose the risk items are modelled as either normal events or special events [3, 4, 5], characterised by their probability distribution. This distribution can be displayed in a density curve or in a cumulative distribution curve.

Using a Monte Carlo simulation the individual risk items can be combined to a cost probability distribution. When displayed in a density curve one can clearly show the distinction between fixed cost, variable costs and the reserve for risk. This reserve is set at an acceptable probability of exceedance, determined in the distribution curve [6].

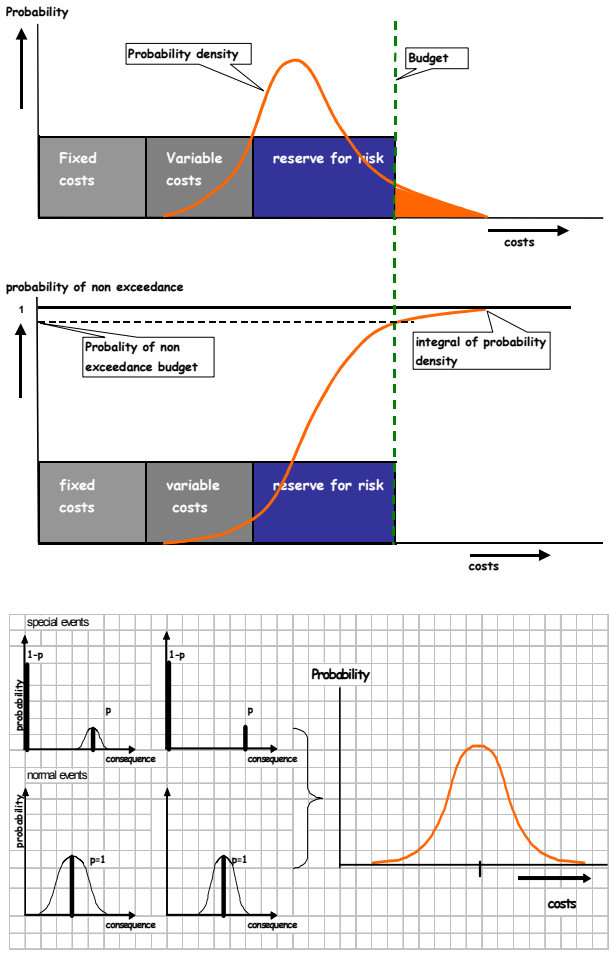
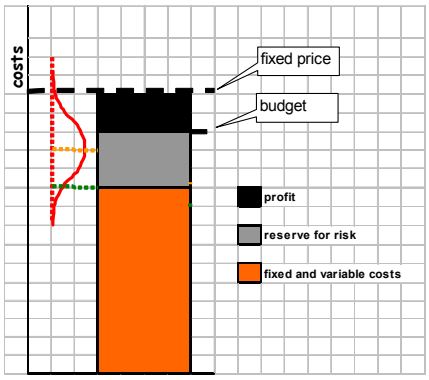


Figure 1 Probabilistic cost estimation



In a full probabilistic approach the project budget is fully determined by this cost estimation, its total budget following from the chosen acceptable probability of exceedance (Fig. 2). When applied in a transparent manner each project calculated in this way can be evaluated and used to build a database to refine this method.

Figure 2 Principle of probabilistic budgeting

3 Three factors that obfuscate the evaluation of probabilistic estimation for Design and Construct projects.

In practice risk management is a continuous process. At several stages in the project the risk analysis provides a momentary value (Fig. 3). The risk analysis thus delivers the information for the decision making in the process. To evaluate effectivity of risk management we concentrate on the quality of risk analysis and its role in the decision-making. To do so we will evaluate the cost specification known at the end of a Design & Construct project and compare it to the cost estimation as it is used to determine the project budget.

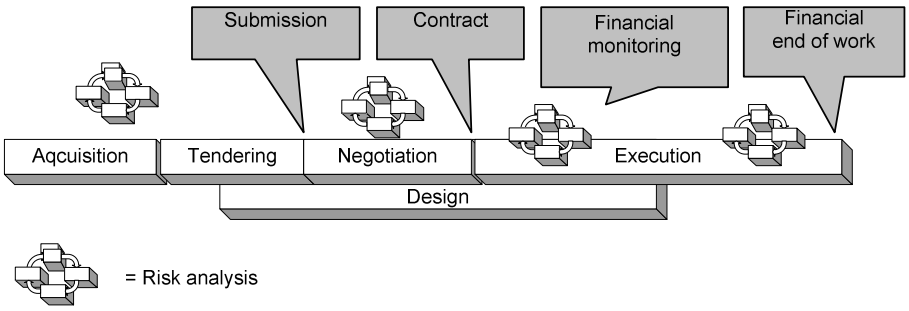


Figure 3 Risk analysis process during all stages of the project

The comparison shows the sufficiency of the budget, the reserve for risk, for the total costs due to risks during the project. In [7] two large Design & Construct projects have been examined. The projects were both part of the alignment of a new railroad through the Netherlands, both included a large tunnel and were characterised by their substantial contract price and construction time. During the evaluation of two large infrastructural projects it appeared, according to [7], that

three factors obfuscated the evaluation of probabilistic estimation for Design and Construct projects:

- The reserve for risk in the cost estimation is not only determined by the output of the risk analysis. This decision is a management decision and often influenced by commercial considerations. Therefore the cost estimation is not a full rational probabilistic method.

- Design & Construct contracts are sensitive to changes of the actual work scope as defined in the contract. During the realisation work-tasks are added and deleted. In the account of the project costs, the implication of these changes is included. The work scope used to set the budget can differ substantially from the actual scope of the realised project.

- During a Design & Construct project claim situations can occur. Claims mostly handle about a dispute between contractor and initiator concerning the account responsibility of a cost overrun that has occurred. The uncertainty around these claims is not accounted for in the risk analysis. Furthermore the costs and income of these claims are often separately accounted for in time. This blurs the overview during the project.

5 Claims and work outside the contract scope.

A Design & Construct project can be defined as the process that handles creating a solution for a complex problem. The goal is to solve this problem effectively and efficiently. Risk in Design & Construct projects can be divided into two kinds [1].

Process risk: Risk concerning the efficiency of the solution. This risk is principally allocated with the contractor

Perception risk: Risk concerning the perception of the problem and the effectivity of the solution. This risk is principally located with the initiator.

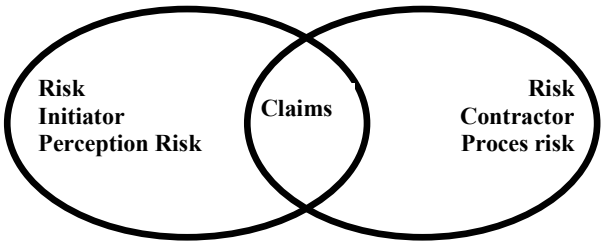


Figure 4 Schematic overview of claim risks

In practice it is not clear for every risk that leads to cost overrun whether initiator or contractor is responsible. In fact it is not clear if these risk are process risks or perception risks. Most claim situations handle these disputes (Fig. 4). Since cost overrun mostly occurs when extra work is done these costs are initially accounted for by the contractor who will then claim these costs at the initiator.

The problem therefore occurs that during the different stages of construction costs and possible income are separately accounted for in time. Even when construction is finished the financial result is still very uncertain because claims are often exceeding construction time.

Furthermore common risk analysis for the contractor is based on process risk. The inventory contains risk items with uncertainty in occurrence and consequence. There are no risk items with uncertainty in allocation. In the evaluation of two large infrastructure projects the exposure to uncertainty in claims was dominant to process risk exposure. The financial evaluation of the risk analysis is therefore blurred because the financial consequences of claim risk and process risk are not separately accounted for.

The most important control measure available for the contractor for risk due to claim situations is two folded:

- Screen the contract on deficiencies and possible interpretation differences.
- Appoint a contract manager to the work to concentrate all juridical work.

It is not very suitable to control the risk from claim situations statistically in the risk analysis.

The key question that now arises is how to evaluate the risk analysis at the start of the project to the financial result without the financial repercussions of claims. Only then will it be possible to acquire statistical material that can be used to refine the risk analysis for process risk.

6 Recommendations for an improvement of probabilistic cost estimation and its evaluation.

The solution for the problem of a clear evaluation of reserve for risk consists of the distinction of process risk as identified in the risk analysis and the exposure to risk due to claims. For a contractor claim risk mainly consists of the uncertainty of compensation for costs made with work supposedly outside the contract scope.
If we want a full oversight during work to effectively manage the exposure, the risk analysis will also have to provide information on claim risk. Furthermore the evaluation of process and claim risk for many projects will give the contractor a statistical tool.

This can be achieved with the following adjustment to the risk analysis. In every momentary value presented in the risk analysis exposure on process risk and claim risk have to be separated. The probability function of the total cost is shifted along the x-axis if a new claim risk has led to costs and if that risk was not accounted for in the risk analysis. The exposure to the claim risk is separately displayed in a new budget function with the probability on compensation for the extra cost. If we account for every claim risk separately we can at any time calculate the most

probable value of total profit or loss by combining the probability distribution of cost and budget.

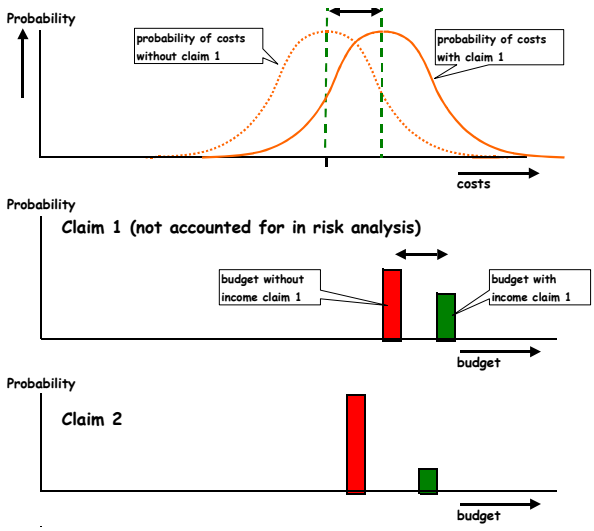


Figure 5 Output Risk Analysis claims

To do so we consider all claims independent of each other. Then a Markov chain can simulate all possible outcomes of the claims together:

$$B_{tot} = \sum_{i=1}^{n} q_i * \overline{B}_i$$

For which i=1,...,n represent all claims, $\overline{B}_i$ *are all possible combinations of claims,* q_i *is the probability on a combination by multiplying the probabilities on claim i.*

This provides a probability function of the total budget. Together with the cost probability from the risk analysis we can now at any time see and calculate the exposure. Furthermore the financial outcome can be evaluated separately for cost and budget, and for process risk (risk analysis) and risk due to claims. This way each project provides clear and useful information to answer the question if the reserve for risk is sufficient. Furthermore the outcome can be statistically useful when gathered in separate databases.

Acknowledgements

The authors thank ir A.Q.C. van der Horst and ir S.H. van Royen from HBG Civiel and Prof. Vrijling from TU Delft for encouraging discussions and their insights in the current study.

References

1. Ridder de H.A.J.,*Design and Construct of Complex Civil Engineering Systems,* 1994
2. Smith GR, Bohn CM, Small to medium contractor contingency and assumption of risk, JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT-ASCE, 125 (2): 101-108 MAR-APR 1999
3. PAO, Stichting Postacademisch Onderwijs, *Cursus Voorzien, Onvoorzien Onzeker*, (in Dutch, Course on Foreseen, Unforeseen, Uncertain by Post Academic Education), TUDelft, Faculteit der Civiele Techniek, 1995.
4. Vrijling, J.K., *Budgetreserveringen ten behoeve van projecten*, (in Dutch, Budget reservations for projects), TUDelft, Faculteit der Civiele Techniek,1994
5. Vrijling J.K. et al., *Kansen in de civiele techniek Deel 1: Probabilistisch ontwerpen in theorie*, (in Dutch: Probabilities in Civil Engineering, part I: probabilistic design in theory), CUR, Ministerie van Verkeer en Waterstaat,1997
6. Spooner, J. E. (1974). *''Probabilistic estimating.'' J. Constr. Div.*, ASCE, 100(1), 65–77.
7. Vastert, JG. *Effectivity of Risk Management for Design & Construct Projects of HBG Civiel*, (in Dutch: Effectiviteit van het risicomanagement bij Design & Construct projecten van HBG Civiel), MSc-thesis, TU Delft, 2003.

Bijlage G

Analyse van een unieke dataset

ANALYSE VAN EEN UNIEKE DATASET

In februari 2005 heeft ing. R.H. Gaasbeek ter afronding van de opleiding KOAD aan de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen de resultaten van zijn eindscriptie gepresenteerd.
Het onderzoek is gefundeerd op een uniek en werkelijk aanbesteed project met een aanneemsom van rond de €2,4 miljoen. Het bijzondere van dit project is het feit dat maar liefst negen verschillende aannemers met een open begroting hebben geoffreerd. Aangezien de aannemers over dezelfde voorinformatie (tekeningen; bestek; aanwijzing etc.) beschikten, moeten de prijsverschillen uitsluitend te verklaren zijn door verschillen in vertaling van de informatie en hun commerciële overwegingen. Hoeveelheden liggen namelijk vast
Bij de analyse van de gegevens zijn alle open begrotingen gerangschikt via besteksindeling (STABU II) om zo de bedragen per hoofdstuk te bepalen. Ondanks het "voorschrift" dat de begroting volgens de besteksindeling moesten worden opgezet waren afwijkingen geconstateerd, omwille van het onderzoek zijn deze gecorrigeerd.

Aanvullende informatie met betrekking tot het onderzoek van ing. R.H. Gaasbeek:
- Het onderzoek heeft betrekking op de aanbestedingsfase. Dit is de fase welke loopt van het verstrekken van de stukken (bestek en tekeningen) aan één of meer aannemers tot aan het moment dat de aannemers hun inschrijfsom indienen bij de aanbesteder. Juist voor deze fase is gekozen omdat in deze periode de aannemers met gelijke informatie (bestek en tekeningen, nota's van aanvulling en wijziging e.d.) bezig zijn om door middel van een "vertaalslag" deze informatie om te zetten in een prijs.
- Het bouwkostenadviesbureau is in het bezit van negen aanbiedingen van aannemers voor hetzelfde project. Deze gegevens zijn verkregen via een zogenaamde onderhandse aanbesteding met voorafgaande selectie (eerst zijn een twintigtal aannemers gevraagd naar hun werkwijze en visie op het project uiteindelijk zijn negen aannemers geselecteerd voor de aanbesteding). De bouwkostenadvisering in alle fasen was in handen van het adviesbureau.
- Het project betreft de nieuwbouw van een appartementencomplex (18 stuks) in het midden van het land, aan deze aanbesteding hebben de geselecteerde negen aannemers meegedaan. Deze hebben na de aanbesteding de volgende zaken ter beschikking gesteld aan de aanbesteder:
  - Inschrijfbiljet (offerte);
  - De open bouwkostenbegroting gerangschikt volgens de besteksmethode (de hoofdstukindeling van het bestek volgend). De begroting was tot op detail-/ regelniveau (= hoeveelheid x norm (manuren; materiaal; materieel; onderaanneming)) gespecificeerd.

SSK
Het volgende citaat is uit de SSK afkomstig. *"De geraamde kostenposten hebben meestal een scheve verdeling naar rechts; een kostendeskundige schat namelijk eerder te laag dan te hoog in en de kans dat het misgaat is groter dan de kans dat het beter gaat dan verwacht".* In deze bijlage is gekeken of deze veronderstelling onderbouwd kan worden met de ter beschikking gestelde dataset.

Gebruikte data
Het complete project is onderverdeeld in 37 STABU-hoofdstukken. Een nadere analyse van de gegevens leert dat bij 18 hoofdstukken een of meerdere aanbestedingsbegrotingen afwijkingen bevatte. Voor de analyse is enkel gewerkt met de complete datasets van de resterende 19 hoofdstukken.

Scheefheid
Om de scheefheid (scheef naar links of scheef naar rechts) te beoordelen is op basis van elk van de datasets een driehoekige kansdichtheidsfunctie geconstrueerd die de dataset het beste representeert. Voor elk van de 19 hoofdstukken is een afzonderlijke dataset gedefinieerd bestaande uit negen inschrijfbegrotingen. Conform de theorie[1] zijn uitschieters gedefinieerd en zijn deze buiten de dataset geplaatst. In de 19 datasets zijn in totaal 14 uitschieters gevonden hetgeen overeenkomt met een percentage van 8,19%[2].

[1] Zie hoofdstuk 2.6, Statistiek-II voor CTM, W.C.M. Kallenberg, september 2000.
[2] Een kanttekening dient geplaatst te worden bij het identificeren van uitschieters, gezien het vrij hoge percentage vastgestelde uitschieters (bijna 10%) is de statistische methode wellicht een te "strenge" methode.

Op basis van de geschoonde datasets is de driehoekige kansdichtheidsfunctie geconstrueerd waarbij de LTU-waarden op de onderstaande wijze uit de datasets zijn geëxtraheerd:
- L = de minimum waarde in de dataset.
- U = de maximum waarde in de dataset.
- T = $3\mu - L - U$, waarbij μ het rekenkundige gemiddelde van de dataset is.

Van de 19 geëvalueerde datasets bleken 6 scheef naar links en 13 scheef naar rechts te zijn, de gegevens lijken de veronderstelling in de SSK dus te ondersteunen. Bij de datasets van de hoofdstukken 40 en 46 is opmerkelijk genoeg een T berekend die links van L ligt, zie figuur 1, hetgeen per definitie niet kan want L ≤ T ≤ U. Deze LTU-verdeling daarom dus ongeschikt gebleken om de dataset te karakteriseren. Het moge duidelijk zijn dat er onvoldoende onafhankelijke datasets beschouwd zijn om te kunnen concluderen dat in 2/19 = 10,53% de LTU-verdeling een onjuiste verdeling is.

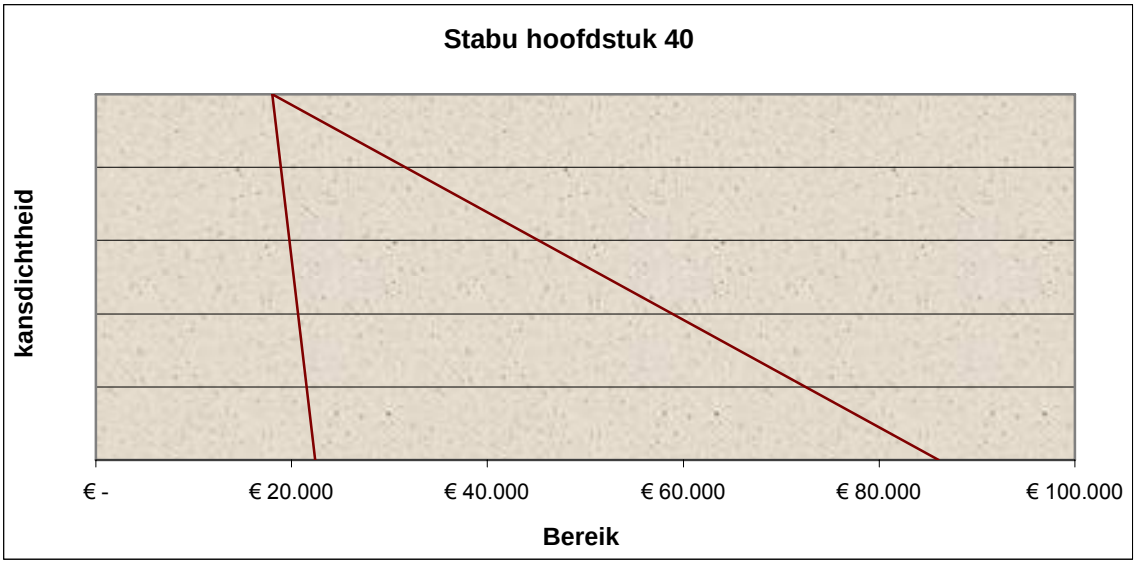


Fig. 1: De berekende LTU-verdeling bij STABU-hoofdstuk 40, (100% tussen U en L).

Voor elk van de datasets zijn L en U als functie van T uitgedrukt door gebruik te maken van de formules L = T*(1-x) en U uitgedrukt in U = T*(1+y). In tabel 1 zijn de relatieve waarde van L en U ten opzichte van T weergegeven.

STABU	x	T	y	Scheefte
12	50,76	1	38,64	links
20	14,38	1	18,85	rechts
22	0,91	1	19,65	rechts
23	5,01	1	2,38	links
24	47,36	1	35,90	links
25	12,92	1	22,07	rechts
30	18,64	1	4,64	links
33	12,45	1	30,87	rechts
35	14,64	1	202,60	rechts
41	16,21	1	60,82	rechts
42	23,21	1	8,73	links
43	48,14	1	228,75	rechts
44	18,96	1	22,23	rechts
45	13,19	1	60,12	rechts
47	30,79	1	124,02	rechts
48	21,75	1	33,95	rechts
70	16,82	1	8,52	links
Gemiddeld:	**21,54%**	**1,000**	**54,28%**	**rechts**

Tabel 1 De relatieve LTU-waarden per STABU-hoofdstuk.

Een overkoepelende LTU-verdeling voor de 19 datasets is bepaald door de gemiddelden voor x en y te berekenen. Hierbij zijn de datasets op basis van hoofdstuk 40 en 46 als uitschieters beschouwd en buiten de berekening gehouden. De dataset voor het geheel wordt gedefinieerd door L = T*(1-21,54), T, U = T*(1+54,28) en is afgebeeld in figuur 2.

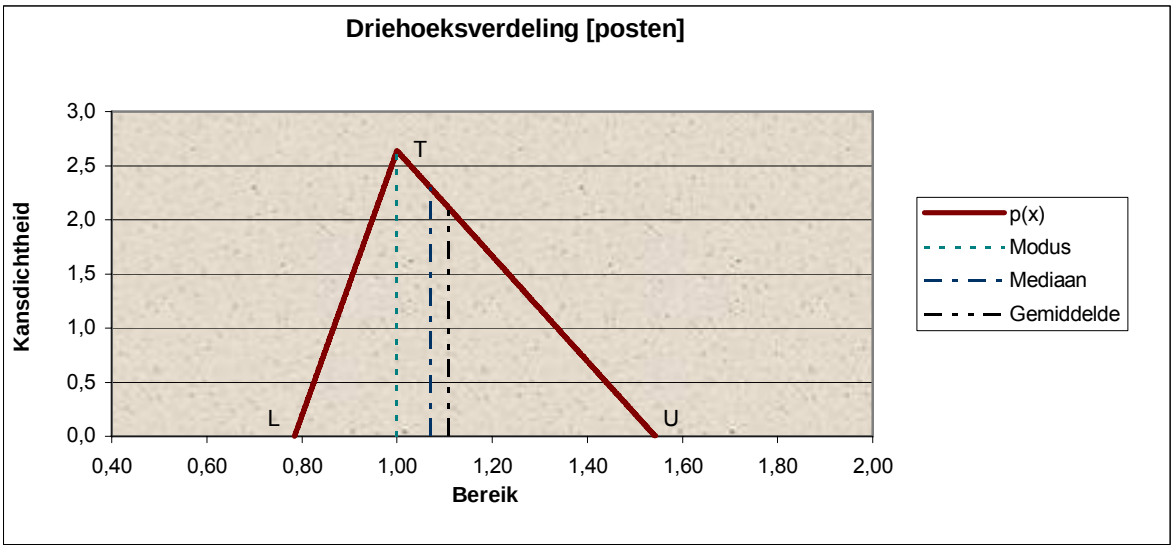


Fig. 2: De berekende gemiddelde LTU-verdeling op hoofdstukniveau bij negen inschrijfbegrotingen.

Realistische kansdichtheidsfunctie

Voor het bepalen of de verdeling scheef naar links of scheef naar rechts is, is de gehanteerde methode ter bepaling van de LTU-waarden correct. De gedefinieerde LTU-verdelingen geven echter niet de best mogelijke kdf van de datasets. Door L en U gelijk aan de uitersten van de dataset te stellen wordt gekomen tot een te smalle kdf, immers de kans dat zowel L en U bij negen onafhankelijke trekkingen worden getrokken is nihil. Met behulp van Excel is bekeken hoe het bereik moet worden vergroot zodat bij negen trekkingen de kleinste en grootste trekking gelijk L en U benaderen[3]. Wanneer de originele kdf dusdanig wordt aangepast[4] dat L en U beide een overschrijdingskans van 10% hebben, blijken de laagste en hoogste trekking nagenoeg gelijk aan de originele L en U te zijn. Zodoende wordt gekomen tot een nieuw functievoorschrift verkregen door: $L = T(1-0.5327)$, T, $U = T(1+0.8905)$.

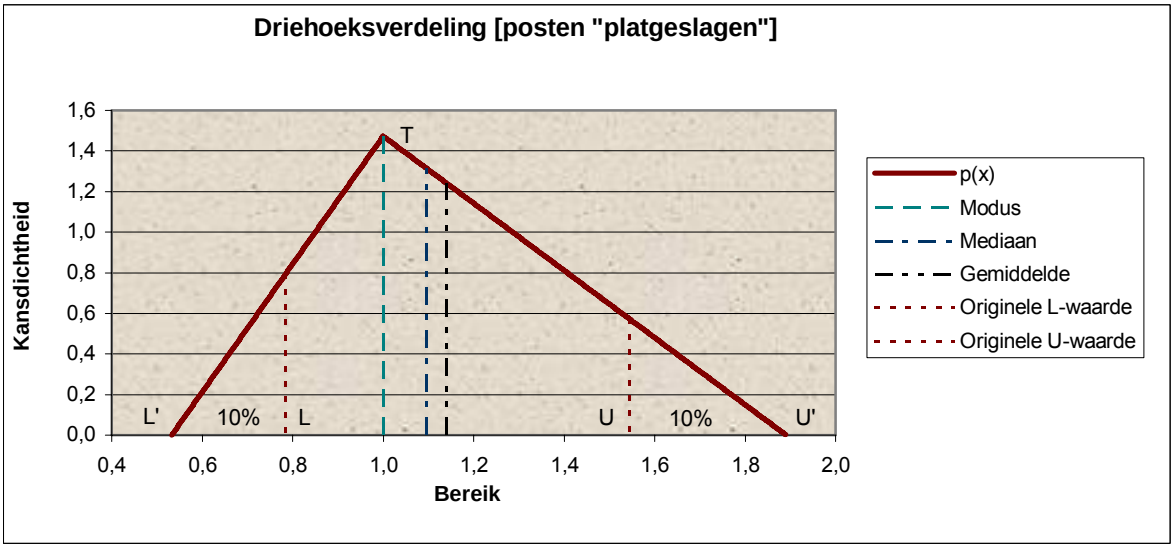


Fig. 3: De werkelijke LTU-verdeling op hoofdstukniveau bij negen inschrijfbegrotingen, (80% tussen U en L).

De negen inschrijfbegrotingen te weten: €2.385.000, €2.395.000, €2.484.000, €2.498.000, €2.579.000, €2.583.000, €2.653.000, €2.742.626 en €2.942.000 zijn als een speciale dataset gedefinieerd. Voor deze dataset is in figuur 4 de berekende LTU-verdeling zonder onder- en overschrijding weergegeven. De realistische of werkelijk LTU-verdeling van is in figuur 5 afgebeeld. Opgemerkt dient te worden dat de hoogste inschrijfbegroting als uitschieter is gedefinieerd en dientengevolge buiten beschouwing is gelaten.

[3] De L en U van de trekking zijn berekend als het gemiddelde van 1.000 simulaties.
[4] In de figuren is deze aanpassing omschreven door de term “platslaan”.

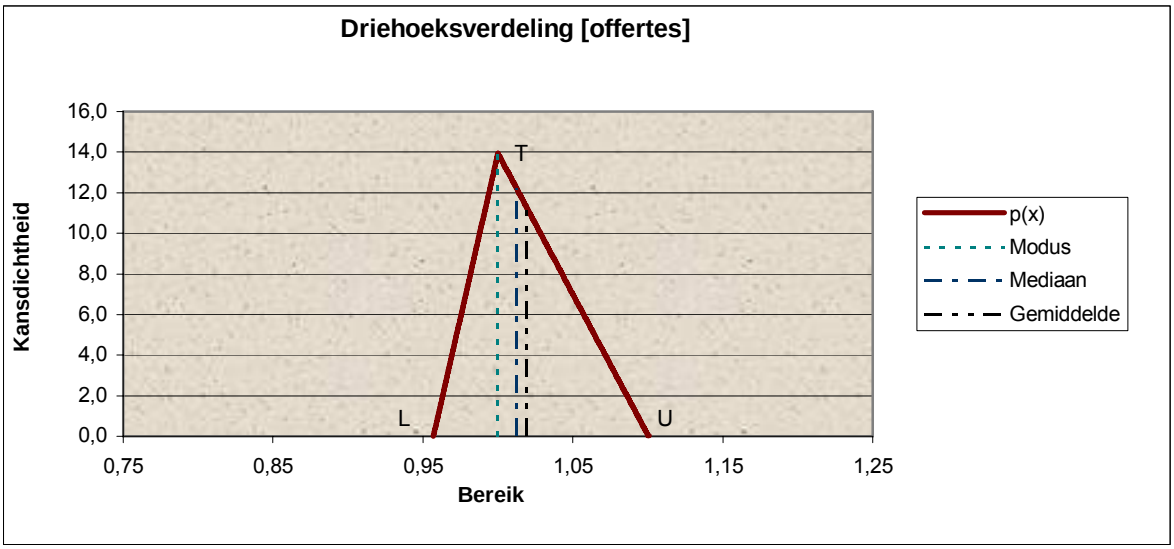


Fig. 4: De berekende LTU-verdeling op basis van negen inschrijfbegrotingen.

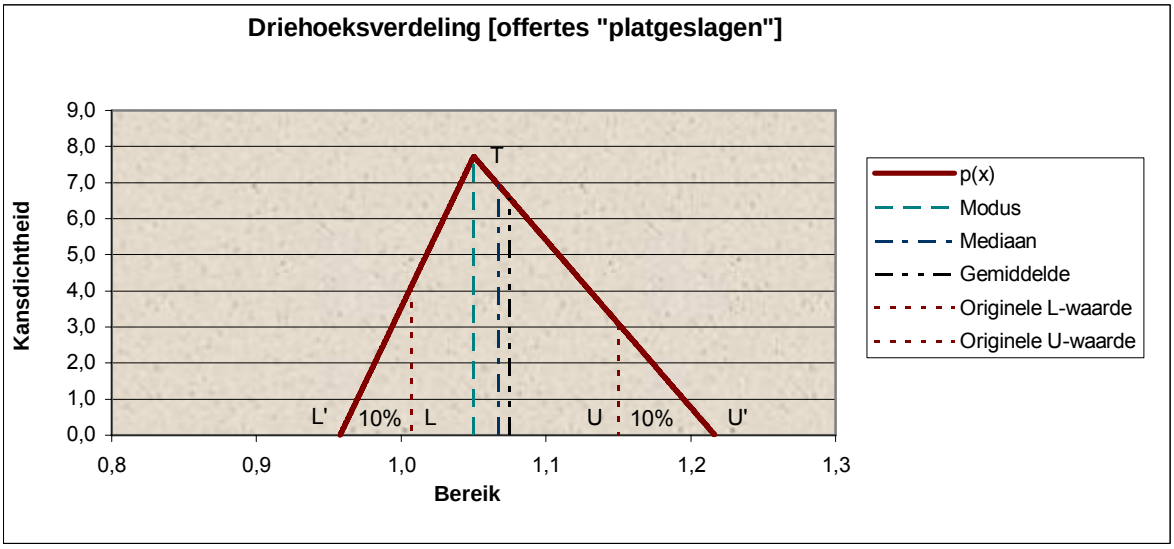


Fig. 5: De werkelijke LTU-verdeling op basis van negen inschrijfbegrotingen, (80% tussen U en L).

Samenvatting en conclusies

Aan de hand van negen open inschrijfbegrotingen van een werkelijk aanbesteed project is een statistische analyse uitgevoerd. Het betreft een werk van rond de €2.400.000,- met begrotingen die elkaar weinig ontlopen. Bij van de inschrijfbegrotingen zijn de bedragen per STABU-hoofdstuk geraamd, daardoor is een unieke dataset beschikbaar gekomen.

Een aparte database is gedefinieerd voor elk van de hoofdstukken en de negen inschrijfbegrotingen zelf. Op basis van de datasets is de gemiddelde LTU-verdeling berekenend, deze is “platgeslagen” om de uiterste waarden ook in de simulatie te laten optreden, figuur 5 laat deze LTU-verdeling op basis van negen inschrijfbegrotingen zien. De L-waarde is hierbij gelijk aan de T-waarde minus ca. 10% én de U-waarde is gelijk aan de T-waarde plus ca. 17%.

De gemiddelde en vervolgens “platgeslagen” LTU-verdeling op hoofdstukniveau is weergegeven in figuur 3. Opvallend is dat de gemiddelde L-waarde gelijk is aan T minus ca. 50% én dat de U-waarde gelijk is aan T plus ca. 90%. Uitgaande van deze unieke dataset kan worden geconcludeerd dat zelfs in de besteksfase sprake is van een vrij ruime LTU-verdeling, dat wil zeggen dat de L en U waarden relatief ver van de meest waarschijnlijke T-waarde vandaan liggen.

De verdeling van de hoofdstukken bleek evenals de verdeling van de inschrijfbegrotingen scheef naar rechts te zijn. De bevindingen op basis van deze dataset bevestigen de veronderstelling in de SSK dat de verdelingen meestal scheef naar rechts zijn. Bij 2 van de 19 beschouwde hoofdstukken is het onmogelijk gebleken een passende LTU-verdeling te construeren op basis van de data[5]. Gezien het geringe aantal onafhankelijke datasets kan niets met zekerheid worden geconcludeerd, doch uit de data blijkt wel dat de LTU-verdeling in het merendeel van de gevallen de data kan beschrijven.

[5] Wellicht is het wel mogelijk om een driehoekige verdeling te construeren wanneer van het uitgangspunt wordt afgeweken dat T een vaste waarde is waarbij enkel L en U kunnen variëren.

Bijlage H

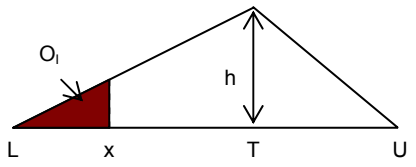
Het berekenen van de nieuwe L en U waarden op basis van een gesteld overschrijdingspercentage

HET BEREKENEN VAN NIEUWE L- EN U-WAARDEN.

Diverse programma's om op probabilistische wijze kosten te ramen bieden de functionaliteit om de gedefinieerde LTU-verdelingen op een speciale wijze te modificeren. Deze programma's bieden de optie om in een Monte Carlo simulatie toch op waarden kleiner dan de L en groter van U te doen voorkomen. Hiertoe past de programmatuur de L- en U waarden dusdanig aan dat zich links van de originele L en rechts van de originele U een gelijke percentage van de nieuwe kansdichtheidsfunctie (kdf) bevindt. Uitgangspunt is dat de modale waarde van zowel de originele als de aangepaste verdeling gelijk is.
Om deze functionaliteit eveneens te kunnen bieden in een Niveau-II spreadsheetmodel is bekeken hoe dit in Excel op te nemen is. Hiertoe is het probleem vanuit een wiskundig oogpunt benaderd. Een formule is afgeleid waardoor het mogelijk is om een willekeurige LTU-verdeling te modificeren opdat het gewenste percentage buiten de originele uiterste waarden valt.
Onderstaand is de afleiding gegeven, deze afleiding is uitgevoerd in drie stappen. Allereerst is gekeken of de "hoogte" van de kfd van invloed is op de problematiek. Vervolgens is gekeken hoe de nieuwe L-waarde, aangeduid met L', berekend kan worden opdat een gesteld percentage van de kdf buiten L komt te liggen. Tenslotte is bekeken op welke wijze de U-waarde moet worden bijgesteld tot U', zodat zich links van L en rechts van U een gelijk percentage van de nieuwe kdf bevindt. De bijlage is overeenkomstig de drie stappen ingedeeld.

Stap 1: **De invloed van de "hoogte" van de kansdichtheidsfunctie**

Gegeven: Beschouw de onderstaande LTU-verdeling.



Vraag: heeft een verandering van hoogte invloed op een gesteld percentage?

Oplossing:

$$\frac{O_l}{O_{totaal}} = \frac{\frac{1}{2}(x-L)\frac{(x-L)h}{(T-L)}}{\frac{1}{2}(U-L)h}$$

$$\frac{O_l}{O_{totaal}} = \frac{\frac{h(x-L)^2}{2(T-L)}}{\frac{h(U-L)}{2}}$$

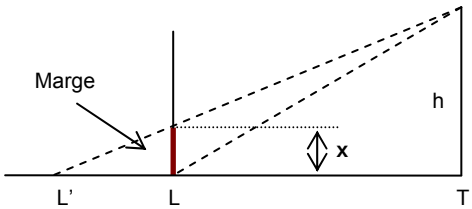
$$\frac{O_l}{O_{totaal}} = \frac{2h(x-L)^2}{2h(T-L)(U-L)}$$

$$\frac{O_l}{O_{totaal}} = \frac{(x-L)^2}{(T-L)(U-L)}$$

Conclusie: de hoogte heeft géén invloed om een gesteld percentage, want h komt niet in de formule voor.

Stap 2: **Het bepalen van L' aan de hand van een gesteld percentage**

Gegeven: Beschouw de onderstaande LTU-verdeling.



Vraag: Is **x** te bepalen aan de hand van een gestelde marge?

Stel:

$\text{Marge} = O_l$
$\text{basis} = \mathbf{x}$
$\text{hoogte} = (L - L')$
$0 = \mathbf{x} = h$
$\text{Stel}\,(T - L) = A$

Oplossing: Schrijf L-L' als functie van **x**

$$(L - L') = \left[\frac{h(T-L)}{1-\mathbf{x}h} - (T-L)\right] \quad met \quad 0 < \mathbf{x} < 1$$

Bepaal de oppervlakte van de kdf links van L

$$O_l = ½ * basis * hoogte$$

$$O_l = ½ * \mathbf{x} * (L - L') \; met \; 0 < \mathbf{x} < 1$$

$$O_l = \frac{1}{2}\mathbf{x}\left(\frac{hA}{1-\mathbf{x}h} - A\right) \; met \; 0 < \mathbf{x} < 1$$

$$2O_l = \mathbf{x}\left(\frac{hA}{1-\mathbf{x}h} - A\right) \; met \; 0 < \mathbf{x} < 1$$

$$2O_l = \left(\frac{h\mathbf{x}A}{1-\mathbf{x}h} - \mathbf{x}A\right) \; met \; 0 < \mathbf{x} < 1$$

$$2O_l = \left(\frac{h\mathbf{x}A}{1-\mathbf{x}h} - \frac{\mathbf{x}A(1-\mathbf{x}h)}{1-\mathbf{x}h}\right) \; met \; 0 < \mathbf{x} < 1$$

$$2O_l = \left(\frac{h\mathbf{x}A - \mathbf{x}A + h\mathbf{x}^2A}{1-\mathbf{x}h}\right) \; met \; 0 < \mathbf{x} < 1$$

Uit stap 1 is gebleken dat de hoogte geen invloed heeft, stel h = 1

$$2O_I = \left(\frac{Ax^2}{1-x}\right)$$

$$Ax^2 - 2O_I x + 2O_I = 0$$

$$abc - formule = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

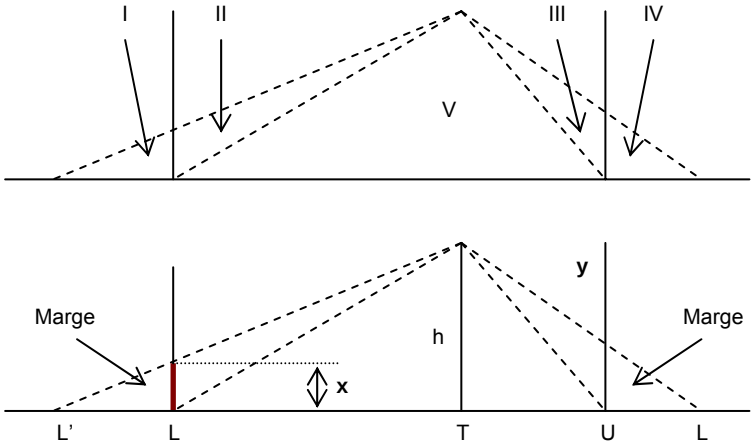
$a = A \quad = (T - L)$
$b = 2O_I \quad = 2(gesteld\ percentage)$
$c = -2O_I \quad = -2(gesteld\ percentage)$

Getallen voorbeeld: $stel\, O_I = 0{,}15 \ \ én \ \ A = 4 \quad x_1 = 0{,}239 \quad x_2 = -0{,}314$

<u>*Conclusie:*</u> **x** is te berekenen aan de hand van een gesteld percentage.

Stap 3: **Het bepalen van U' aan de hand van een gesteld percentage**

Gegeven: Beschouw de onderstaande LTU-verdeling.



Vraag: Kunnen **x** en **y** uniform worden bepaald opdat links van de L-waarde én rechts van U-waarde een marge van **z**% optreedt!?

Stel:

$\mathbf{y} = \beta\mathbf{x}$

$\mathbf{z} = O_I$

$O_I = O_{IV}$

$\text{basis} = \mathbf{x}$

$\text{hoogte} = (L - L')$

$0 = \mathbf{x} = h$

$\text{Stel}\,(T - L) = A$

$\text{Stel}\,(U - T) = B$

Oplossing: Bepaal de functievoorschriften van de 5 oppervlakten

$$O_I = \frac{1}{2}x\left(\frac{hA}{1-xh} - A\right) \; met \;\; 0 < x < 1$$

$$O_{II} = \frac{1}{2}x\,A \;\; met \;\; 0 < x < 1$$

$$O_{III} = \frac{1}{2}\beta x\left(\frac{hB}{1-\beta xh} - B\right) \; met \;\; 0 < \beta x < 1 \; én \;\; \beta = \Re$$

$$O_{IV} = \frac{1}{2}\beta x\,B \;\; met \;\; 0 < x < 1 \; én \;\; \beta = \Re$$

$$O_V = \frac{1}{2}(A + B)h$$

Stel O_I en O_{IV} gelijk aan elkaar en los β op.

$$O_I = O_{IV}$$

$$\frac{1}{2}x\left(\frac{hA}{1-xh} - A\right) = \frac{1}{2}\beta x\left(\frac{hB}{1-\beta xh} - B\right)$$

$$x\left(\frac{hA}{1-xh} - A\right) = \beta x\left(\frac{hB}{1-\beta xh} - B\right)$$

Uit stap 1 is gebleken dat de hoogte geen invloed heeft, stel h = 1

$$x\left(\frac{A}{1-x} - A\right) = \beta x\left(\frac{B}{1-\beta x} - B\right)$$

$$\left(\frac{A}{1-x} - A\right) = \beta\left(\frac{B}{1-\beta x} - B\right)$$

$$\frac{A}{1-x} - A = \frac{B\beta}{1-\beta x} - B\beta$$

$$\frac{A}{1-x} - \frac{A(1-x)}{1-x} = \frac{B\beta}{1-\beta x} - \frac{B\beta(1-\beta x)}{1-\beta x}$$

$$\frac{A - A(1-x)}{1-x} = \frac{B\beta - B\beta(1-\beta x)}{1-\beta x}$$

$$\frac{Ax}{1-x} = \frac{B\beta^2 x}{1-\beta x}$$

$$(B\beta^2 x)(1-x) = (Ax)(1-\beta x)$$

$$Bx\beta^2 - Bx^2\beta^2 = Ax - Ax^2\beta$$

$$B\beta^2 - Bx\beta^2 = A - Ax\beta$$

$$(1-x)B\beta^2 + Ax\beta - A = 0$$

$$abc - formule = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

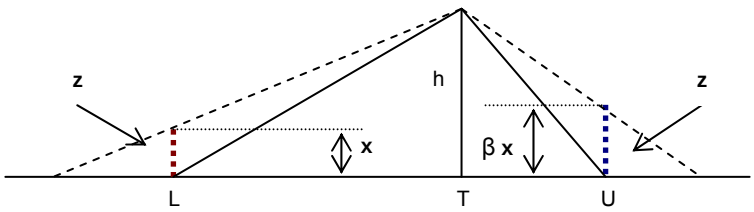
$$a = (1-x)B$$
$$b = Ax$$
$$c = -A$$

Getallen voorbeeld: $stel\ x = 0{,}239\ \ én\ \ A = 4\ \ én\ \ B = 2\ \ \ \beta_1 = -1{,}965\ \ \ \beta_2 = 1{,}337$

<u>*Conclusie:*</u> vanuit **x** is **y** te berekenen, door **x** met een factor β te vermenigvuldigen.

Samenvatting en Conclusies

Resumé: Beschouw de onderstaande LTU-verdeling.



Teneinde een bepaalde overschrijdingskans **z**, links van de L-waarde te creëren, moet de oorsprong van het lijnstuk LT meer naar links komen te liggen. Dit heeft tot gevolg dat verticaal op de L-positie een nieuwe hoogte **x** ontstaat. Dito ontstaan een nieuwe hoogte β**x** verticaal op de U-positie wanneer rechts van de U een gelijke overschrijdingsmarge wordt verondersteld. Het blijkt dat β eenduidig is bepaald door de positie van de LT en U. Voor x en β zijn de onderstaande formules afgeleid.

Afgeleid: $\mathbf{z} = \textit{enkelzijdige overschrijdingspercentage}$

$$\mathbf{x} = \frac{-(-2\mathbf{z}) \pm \sqrt{(-2\mathbf{z})^2 - 4(A)(2\mathbf{z})}}{2(A)}$$

$$\beta = \frac{-(Ax) \pm \sqrt{(Ax)^2 - 4((1-x)B)(-A)}}{2((1-x)B)}$$

Conclusie: De waarden voor **x** en β zijn alleen op te lossen met de abc-formule.

De "solver" functie in Excel biedt uitkomst voor het oplossen van deze complexe formules.

Toepassing: Door middel van de solver-functie Excel kan voor elke LTU-functie een gewenst overschrijdingspercentage worden bepaald. De werking van deze functie binnen Excel is echter te arbeidsintensief om frequent toe te passen, hetgeen het geval zou zijn als de raming uit veel kostenposten bestaat. Dit kan worden opgelost door met behulp van de solver-functie enkele tabellen te creëren waaruit Excel de gegevens kunnen worden opgehaald.

Bijlage I

De gevoeligheid van het model op basis van correlatiegroepen

DE THEORIE ACHTER EEN MODEL OP BASIS VAN CORRELATIEGROEPEN

Rijkswaterstaat, één van de drijfveren van het probabilistisch ramen, heeft bij de CiT-group het programma Risicoraming v1.1.3 laten ontwikkelen. Medio 2005 is dit programma bij Holland Railconsult in gebruik genomen. In het programma is de functionaliteit opgenomen dat op regelniveau kan worden gewerkt met:
- LTU-waarden voor zowel prijs als hoeveelheid
- Kans x Gevolg berekeningen (voor toekomstonzekerheden)
- Opslagpercentages.

Voor het doorreken van de raming maakt Risicoraming gebruik van een Monte Carlo simulatie. Voor deze simulaties kan gekozen worden voor of afhankelijkheid tussen de posten of voor onafhankelijkheid tussen de posten[1].

Correlatiegroepen en –percentages.

Een alternatieve niveau-II methode is ontwikkeld om te komen tot een optelling van μ's en σ's van de kostenposten tot de μ en σ van de totale raming. Met behulp van Excel is een alternatieve methode uitgewerkt, de methode berust op de veronderstelling dat elke post kan worden gezien als een samenstelling van een aantal kostengroepen. Zo kan bijvoorbeeld de raming van de kosten van een werkvloer worden onderverdeeld in een kostengroep voor zand, grind, wapening et cetera. Voordat wordt bekeken hoe deze methodiek in een niveau-II spreadsheetmodel kan worden opgenomen, worden eerst de eigenschappen van de kern van het beoogde spreadsheetmodel geanalyseerd om zodoende te kunnen beoordelen of de methodiek geschikt is om te dienen als uitgangspunt voor een niveau-II spreadsheetmodel.

In plaats van een kostengroep wordt vaak gesproken van een *correlatiegroep*. In principe kan voor elke post een reeks een willekeurig aantal groepen gedefinieerd worden. Dit is echter niet praktisch, zodoende is gekozen om het aantal groepen te beperken tot:
- Materieel; de kosten benodigd voor het gebruik van het materieel in het project.
- Materiaal; de kosten benodigd voor de aanschaf/ de koop van de grondstoffen.
- Manuren; de benodigde kosten voor engineering en het verwerken van het materiaal en de bediening van het materieel.

Deze onderverdeling in groepen is een onderverdeling die in de bouw vaker aan de orde komt. Kostendeskundigen kunnen per vakdiscipline de kosten aan *Arbeid*, *Materiaal* en *Materieel* goed in schatten. Zodoende zijn de kostendeskundigen in staat om per discipline zogenaamde correlatiepercentages van de betreffende disciplines te kunnen schatten. Een correlatiepercentage geeft in een percentage weer wat het kostenaandeel van *Arbeid*, *Materiaal* en *Materieel* is. Dientengevolge is het mogelijk om de geraamde kosten voor een post op te splitsen in een aandeel voor *Arbeid*, *Materiaal* en *Materieel*. In figuur 1, zijn voor tien disciplines de correlatiefactoren weergegeven, deze waarden zijn bepaald aan de hand van één specifiek project.

Bij het modelleren wordt de aanname gemaakt dat de correlatiegroepen onderling volledig onafhankelijk (extern) zijn maar dat binnen de correlatiegroep sprake is van volledige afhankelijkheid (intern). Ter illustratie, wanneer de lonen van betonvlechters stijgen, is het plausibel dat de lonen van bekistingmakers eveneens stijgen (intern). Het is echter niet aannemelijk dat de materiaalkosten van een strekkende meter spoor zal stijgen (extern).

Om te kunnen rekenen/ ramen met correlatiegroepen moet voor elke post het aandeel van de kosten in arbeid, materiaal en materieel worden gedefinieerd, zie figuur 1.

Voor de berekening moet op postniveau de verwachtingswaarde van de post (μ_{post}) en de standaardafwijking van de post (σ_{post}) berekend worden. Deze kunnen berekend worden op basis van LTU-waarden voor prijs en hoeveelheid, zie ook bijlagen B en D.

Wanneer σ_{post} en μ_{post} bekend zijn kan per correlatiegroep de σ_{post} en μ_{post} worden toebedeeld. De berekening voor het toedelen van de verwachtingswaarde over de correlatiegroepen is proportioneel, de veronderstelde correlatiepercentages bepalen het aandeel voor de betreffende correlatiegroep. De onderstaande formule 01 geeft de berekeningsmethode voor de verwachtingswaarde weer.

Formule 01

$$\mu_{\text{correlatiegroep}} = \mu_{\text{post}}\alpha_i$$

$$\alpha_i = \textit{correlatiepercentage voor de betreffende correlatiegroep}$$

[1] In de vermenigvuldiging van *prijs* en *hoeveelheid* worden *prijs* en *hoeveelheid* altijd onafhankelijk van elkaar beschouwd (ook wanneer de raming volledig afhankelijk wordt doorgerekend)

Voor de berekening voor het toedelen van de standaardafwijking op postniveau naar een standaardafwijking per correlatiegroep wordt de onderstaande formule 02[2] gehanteerd. De formule berekend de spreiding dusdanig dat de wortel uit de kwadratensom van de spreidingsaandelen van de correlatiegroepen gelijk is aan de standaardafwijking op postniveau.

Formule 02

$$\sigma_{\text{correlatiegroep}} = \sigma_{\text{post}} \sqrt{\frac{\alpha_i^2}{\sum_{n=1}^{i} \alpha_i^2}}$$

$\alpha_i =$ *correlatiepercentages voor de betreffende correlatiegroep*

Modelopbouw

Aan de hand van de figuren 1, 2 en 3 zal de rekenkundige werking van het model worden toegelicht. Ter verduidelijking worden de rekenkundige handelingen met betrekking tot de post "Geluidschermen" inzichtelijk gemaakt.

	Omschrijving/ Post	P x H [deterministisch]:			Correlatiegroepen:		
		|-%|	T	|+%|	arbeid	materiaal	materieel
1	Baanbouw	10%	€ 103.601	20%	5%	70%	25%
2	Spoorwegbouw	10%	€ 196.385	20%	8%	74%	18%
3	**Geluidschermen**	**10%**	**€ 62.383**	**20%**	**10%**	**70%**	**20%**
4	Bovenleiding en draagconstructie	20%	€ 100.057	20%	25%	60%	15%
5	Tractie-voeding	20%	€ 46.513	20%	30%	65%	5%
6	Beveiliging	20%	€ 300.728	20%	30%	60%	10%
7	K&L-derden	10%	€ 299.856	50%	10%	70%	20%
8	Kunstwerken beton	15%	€ 106.081	25%	40%	40%	20%
9	Kunstwerken staal	15%	€ 530.406	25%	40%	40%	20%
10	Stations	30%	€ 49.471	30%	40%	40%	20%

Figuur 1: De invoer van het model.

In figuur 1 zijn de invoergegevens afgebeeld. Per post is de T-waarde opgegeven en zijn de L- en U-waarde door middel van percentages aangegeven. Tevens zijn in dit model drie correlatiegroepen gedefinieerd, te weten *arbeid*, *materiaal* en *materieel*. Voor elk van de kostenposten is procentueel invulling gegeven aan de correlatiegroepen.

L_{old}	T_{old}	U_{old}	$\frac{T-L}{U-L}$	Bèta	Variabele	L_{new}	T_{new}	U_{new}	μ	σ_{total}	vc:
93241	103601	124321	0,33	0,80	0,62	76502	103601	144808	108304	14042	0,13
176747	196385	235662	0,33	0,80	0,62	145016	196385	274496	205299	26617	0,13
56145	**62383**	**74860**	**0,33**	**0,80**	**0,62**	**46065**	**62383**	**87196**	**65215**	**8455**	**0,13**
80046	100057	120068	0,50	1,00	0,55	55811	100057	144303	100057	18063	0,18
37210	46513	55816	0,50	1,00	0,55	25945	46513	67081	46513	8397	0,18
240582	300728	360874	0,50	1,00	0,55	167744	300728	433712	300728	54290	0,18
269870	299856	449784	0,17	0,62	0,73	187639	299856	575574	354356	81498	0,23
90169	106081	132602	0,38	0,85	0,60	66438	106081	159977	110832	19167	0,17
450845	530406	663008	0,38	0,85	0,60	332191	530406	799885	554161	95836	0,17
34630	49471	64312	0,50	1,00	0,55	16656	49471	82286	49471	13397	0,27

Figuur 2: Het bepalen van μ en σ per kostensoort.

[2] Deze formule is ontwikkeld door Hans Kuiper en wijkt af van de formule die prof. drs.ir. J.K. Vrijling in de PAO-cursus heeft gegeven. De formule van Kuiper verdeelt $\sigma_{\text{kostenpost}}$ dusdanig dat $\sigma_{\text{correlatiegroep}}$ evenredig is met de$\mu_{\text{correlatiegroep}}$ en bovendien dat de wortel uit onafhankelijke kwadratische optelling van de σ's van de correlatiegroepen de originele $\sigma_{\text{kostenpost}}$ oplevert.

Gebruikmakend van de invoertabel zijn de LTU-waarden per kostenpost berekend, zie figuur 2, deze waarden zijn aangeduid met L_{old}, T_{old} en U_{old} en zijn als volgt berekend:

$$L_{old} = T_{invoer} * (1 - \%_{invoer}) = €62.383 * (1 - 0{,}10) = €56.145$$

$$T_{old} = T_{invoer} = €62.383 = €62.383$$

$$U_{old} = T_{invoer} * (1 + \%_{invoer}) = €62.383 * (1 + 0{,}20) = €74.860$$

In het model is de mogelijk opgenomen om de kansdichtheidsfunctie (kdf) op basis van L_{old}, T_{old} en U_{old} dusdanig aan te passen opdat een bepaald percentage links van L_{old} en rechts van U_{old} komt te liggen. De percentages die het model kan verwerken zijn 0%, 5%, 10% en 15%. Aangezien deze percentages zowel links van L_{old} en rechts van U_{old} optreden betekent dit dat het model over de functionaliteit beschikt om de kdf dusdanig te modificeren dat 0%, 10%, 20% of 30% van de kdf zich buiten de uiterste waarden bevindt. In het voorbeeld is een percentage van 30% aangehouden.
Zie figuur 2, de waarden in de kolommen “bèta” en “variabele” worden door middel van een zoekfunctie opgehaald uit een tabel. De “bèta” en “variabele” zijn nodig voor het herdefiniëren van L_{old} en U_{old} in L_{new} en U_{new} zodat aan de voorwaarde voor overschrijding van L_{old} en U_{old} wordt voldaan. Voor elk percentage is een aparte gegevenstabel gemaakt, de totstandkoming is een complexe procedure welke in bijlage H is behandeld.

$$L_{new} = L_{old} + zoekactie = €46.065$$

$$T_{new} = T_{old} + zoekactie = €62.383$$

$$U_{new} = U_{old} + zoekactie = €87.196$$

Op basis van de nieuw gedefinieerde LTU-waarden is conform de standaardformules de verwachtingswaarde en de standaardafwijking berekend.

$$\mu_{kostenpost} = \frac{L + T + U}{3}$$

$$\mu_{kostenpost} = \frac{€46.065 + €62.383 + €87.196}{3}$$

$$\mu_{kostenpost} = €65.215$$

$$\sigma_{kostenpost} = \sqrt{\frac{L^2 + T^2 + U^2 - LT - LU - TU}{18}}$$

$$\sigma_{kostenpost} = \sqrt{\frac{€46.065^2 + €62.383^2 + €87.197^2 - €46.065 * €62.383 - €46.065 * €87.197 - €62.383 * €87.197}{18}}$$

$$\sigma_{kostenpost} = €8.455$$

$$VC_{kostenpost} = \frac{€8.455}{€65.215.} = 0{,}13$$

α_1 arbeid	μ	σ	α_2 materiaal	μ	σ	α_3 materieel	μ	σ			
0,05	5415	942	0,70	75813	13194	0,25	27076	4712			
0,08	16424	2781	0,74	151921	25722	0,18	36954	6257			
0,10	**6521**	**1151**	**0,70**	**45650**	**8054**	**0,20**	**13043**	**2301**			
0,25	25014	6770	0,60	60034	16247	0,15	15009	4062			
0,30	13954	3510	0,65	30233	7606	0,05	2326	585			
0,30	90218	24014	0,60	180437	48028	0,10	30073	8005			
0,10	35436	11090	0,70	248049	77633	0,20	70871	22181			
0,40	44333	12778	0,40	44333	12778	0,20	22166	6389			
0,40	221664	63891	0,40	221664	63891	0,20	110832	31945			
0,40	19788	8931	0,40	19788	8931	0,20	9894	4466			
arbeid	μ	σ	materiaal	μ	σ	materieel	μ	σ	**totaal:**	μ	σ
Model:	**478768**	**135858**	Model:	1077924	282083	Model:	338244	90902	Model:	**1894936**	**326024**

Figuur 2: Het bepalen van μ en σ per kostensoort.

Op basis van de berekende $\sigma_{kostenpost}$ en $\mu_{kostenpost}$ wordt door gebruik te maken van de formules 01 en 02 de corresponderende σ en μ per correlatiegroep berekend.

$$\alpha_{arbeid;kostenpost} = invoer$$

$$\mu_{\text{arbeid};kostenpost} = \mu_{\text{kostenpost}}\alpha_{arbeid}$$

$$\mu_{\text{arbeid};kostenpost} = 0{,}10 * €65.215$$

$$\mu_{\text{arbeid};kostenpost} = €6.521$$

$$\sigma_{\text{arbeid};kostenpost} = \sigma_{\text{kostenpost}}\sqrt{\frac{\alpha^2_{arbeid}}{\alpha^2_{arbeid} + \alpha^2_{materiaal} + \alpha^2_{materieel}}}$$

$$\sigma_{\text{arbeid};kostenpost} = €8.455\sqrt{\frac{0{,}10^2}{0{,}10^2 + 0{,}20^2 + 0{,}20^2}}$$

$$\sigma_{\text{arbeid};kostenpost} = €1.151$$

Voor het berekenen van de verwachtingswaarde standaardafwijking voor de correlatiegroepen worden de onderstaande formules gehanteerd.

$$\mu_{\text{arbeid};totaal} = \sum_{n=1}^{i} \mu_{\text{arbeid};kostenpost}$$

$$\sigma_{\text{arbeid};totaal} = \sum_{n=1}^{i} \sigma_{\text{arbeid};kostenpost}$$

Concreet leidt dit tot:

$$\mu_{\text{arbeid};totaal} = €5.415 + €16.424 + €6.221 \ et \ cetera = €478.768$$

$$\sigma_{\text{arbeid};totaal} = €942 + €2.781 + €1.151 \ et \ cetera = €135.858$$

Voor het berekenen van de verwachtingswaarde standaardafwijking voor de totale raming worden de onderstaande formules gehanteerd.

$$\mu_{raming/totaal} = \sum_{n=1}^{i} \mu_{correlatiegroep;totaal}$$

$$\sigma_{raming/totaal} = \sum_{n=1}^{i} \sqrt{\sigma^2_{\text{correlatiegroep;totaal}}}$$

Concreet leidt dit tot:

$$\mu_{raming/totaal} = €478.768 + €1.0779.924 + €338.244 = €1.894936$$

$$\sigma_{raming/totaal} = \sqrt{€135.858^2 + €282.083^2 + €90.902^2} = €326.024$$

Analyse

Het model zoals boven is beschreven is onderworpen aan een viertal analyses, de volgende zaken zijn onderzocht:

- De regelgevoeligheid van het model.
- De gevoeligheid ten aanzien van mutaties in correlatiepercentages.
- De gevoeligheid ten aanzien van mutaties in LTU-waarden.
- De gevoeligheid ten aanzien van mutaties in T-waarden.

Analyse 1 De invloed van het aantal regels op de standaardafwijking van de raming

Een van de problemen die spelen bij het programma Risicoraming v1.1.3 is dat de bandbreedte wordt beïnvloed door het aantal regels waaruit de raming is opgebouwd. Om te controleren of het model "regelgevoelig" is, is de variatiecoëfficiënt van de raming berekend. De variatiecoëfficiënt (vc) is het quotient van de standaardafwijking en de verwachtingswaarde. In figuur 1 is per discipline een fictieve raming gemaakt voor posten, De LTU-waarden per discipline zijn gegeven op postniveau.

Omschrijving/ Post		P x H [deterministisch]:			Correlatiegroepen:		
		|-%|	T	|+%|	arbeid	materiaal	materieel
1	Baanbouw	10%	€103.601	20%	5%	70%	25%
2	Spoorwegbouw	10%	€196.385	20%	8%	74%	18%
3	Geluidschermen	10%	€62.383	20%	10%	70%	20%
4	Bovenleiding en draagconstructie	20%	€100.057	20%	25%	60%	15%
5	Tractie-voeding	20%	€46.513	20%	30%	65%	5%
6	Beveiliging	20%	€300.728	20%	30%	60%	10%
7	K&L-derden	10%	€299.856	50%	10%	70%	20%
8	Kunstwerken beton	15%	€106.081	25%	40%	40%	20%
9	Kunstwerken staal	15%	€530.406	25%	40%	40%	20%
10	Stations	30%	€49.471	30%	40%	40%	20%
Methode volledig afhankelijk		μ_{raming}	€1.868.757		σ_{raming}	€157.037	
Methode o.b.v. correlatiegroepen		μ_{raming}	€1.868.757		σ_{raming}	€150.670	
Methode volledig onafhankelijk		μ_{raming}	€1.868.757		σ_{raming}	€ 66.838	

Figuur 1 De referentieraming van een project met werkelijke factoren 10 regels.

Om de uitkomsten van het model te kunnen vergelijken is de bandbreedte eveneens bepaald voor de uitersten, de bandbreedte behorend bij het volledige afhankelijk en volledig onafhankelijk doorrekenen van de raming. De uitkomst van het model is opmerkelijk dicht bij de volledig afhankelijke situatie.

De variatiecoëfficiënt van de bandbreedte betreft: $\frac{€150.670}{€1.868.757} = 8{,}06\%$

In figuur 2 is het model weergegeven waarbij niet 10 maar 20 regels zijn opgenomen. Om de beide projecten eerlijk te kunnen vergelijken zijn tweemaal dezelfde waarden ingevoerd. Wanneer de data weergegeven in de figuren 1 en 2 met elkaar wordt vergeleken valt op dat de μ en σ van de raming in twee gevallen een verdubbeling opleveren, namelijk: de volledig afhankelijke methode en de methode op basis van correlatiegroepen. Wanneer de onafhankelijke methode wordt beschouwd blijkt dat de σ met een factor $\sqrt{2}$ toeneemt. Hieruit blijkt dat de onafhankelijke berekeningswijze sterk regelafhankelijk is. Geconcludeerd kan worden dat de methode op basis van correlatiegroepen <u>on</u>gevoelig is voor het aantal regels.

Omschrijving/ Post		P x H [deterministisch]:			Correlatiegroepen:		
		|-%|	T	|+%|	arbeid	materiaal	materieel
1	Baanbouw	10%	€ 103.601	20%	5%	70%	25%
2	Spoorwegbouw	10%	€ 196.385	20%	8%	74%	18%
3	Geluidschermen	10%	€ 62.383	20%	10%	70%	20%
4	Bovenleiding en draagconstructie	20%	€ 100.057	20%	25%	60%	15%
5	Tractie-voeding	20%	€ 46.513	20%	30%	65%	5%
6	Beveiliging	20%	€ 300.728	20%	30%	60%	10%
7	K&L-derden	10%	€ 299.856	50%	10%	70%	20%
8	Kunstwerken beton	15%	€ 106.081	25%	40%	40%	20%
9	Kunstwerken staal	15%	€ 530.406	25%	40%	40%	20%
10	Stations	30%	€ 49.471	30%	40%	40%	20%
11	Baanbouw	10%	€ 103.601	20%	5%	70%	25%
12	Spoorwegbouw	10%	€ 196.385	20%	8%	74%	18%
13	Geluidschermen	10%	€ 62.383	20%	10%	70%	20%
14	Bovenleiding en draagconstructie	20%	€ 100.057	20%	25%	60%	15%
15	Tractie-voeding	20%	€ 46.513	20%	30%	65%	5%
16	Beveiliging	20%	€ 300.728	20%	30%	60%	10%
17	K&L-derden	10%	€ 299.856	50%	10%	70%	20%
18	Kunstwerken beton	15%	€ 106.081	25%	40%	40%	20%
19	Kunstwerken staal	15%	€ 530.406	25%	40%	40%	20%
20	Stations	30%	€ 49.471	30%	40%	40%	20%
Methode volledig afhankelijk		μ_{raming}	€ 3.737.514		σ_{raming}	€ 314.074	
Methode o.b.v. correlatiegroepen		μ_{raming}	€ 3.737.514		σ_{raming}	€ 301.340	
Methode volledig onafhankelijk		μ_{raming}	€ 3.737.514		σ_{raming}	€ 94.524	

Figuur 2 De fictieve raming van een project met werkelijke factoren 20 regels.

Analyse 2 De invloed van het toepassen van een overschrijdingsfactor

In het programma Risicoraming v1.1.3 is de functionaliteit opgenomen dat op regelniveau een overschrijdingspercentage kan worden opgenomen. Een overschrijdingspercentage van bijvoorbeeld 30% houdt in dat zich links van L én rechts van U 15% van de kansdichtheidsfunctie bevindt. In figuur drie zijn de μ en σ van de raming opgenomen indien per post een overschrijdingspercentage van 30% wordt gehanteerd.

Omschrijving/ Post		P x H [deterministisch]:			Correlatiegroepen:		
		|-%|	T	|+%|	arbeid	materiaal	materieel
1	Baanbouw	10%	€ 103.601	20%	5%	70%	25%
2	Spoorwegbouw	10%	€ 196.385	20%	8%	74%	18%
3	Geluidschermen	10%	€ 62.383	20%	10%	70%	20%
4	Bovenleiding en draagconstructie	20%	€ 100.057	20%	25%	60%	15%
5	Tractie-voeding	20%	€ 46.513	20%	30%	65%	5%
6	Beveiliging	20%	€ 300.728	20%	30%	60%	10%
7	K&L-derden	10%	€ 299.856	50%	10%	70%	20%
8	Kunstwerken beton	15%	€ 106.081	25%	40%	40%	20%
9	Kunstwerken staal	15%	€ 530.406	25%	40%	40%	20%
10	Stations	30%	€ 49.471	30%	40%	40%	20%
Methode volledig afhankelijk		μ_{raming}	€ 1.894.936		σ_{raming}	€ 339.763	
Methode o.b.v. correlatiegroepen		μ_{raming}	€ 1.894.936		σ_{raming}	€ 326.024	
Methode volledig onafhankelijk		μ_{raming}	€ 1.894.936		σ_{raming}	€ 143.857	

Figuur 3 De fictieve raming van een project met werkelijke factoren 10 regels, overschrijding 30%.

Wanneer de figuren 1 en drie met elkaar worden vergeleken blijkt dat zowel de μ als de σ te zijn toegenomen. De verhoging van de verwachtingswaarde is gering, doch de bandbreedte van de raming is meer dan verdubbeld. Uit figuur 1 kan de bandbreedte van het model ten opzichte van de bandbreedte in de volledig afhankelijke situatie worden berekend, deze is 150.670 / 157.037 ≈ 95,95%. Wanneer een overschrijdingspercentage van 30% gehanteerd wordt is deze verhouding 326.024 / 339.763 ≈ 95,96% geconcludeerd kan worden dat bij het gebruik van overschrijdingspercentages voornamelijk de bandbreedte toeneemt.

Analyse 3 De invloed van de spreiding op de invoergegevens

Om te bepalen of het model gevoelig is voor veranderingen in LTU-waarden is een referentieraming gedefinieerd. Deze raming is afgebeeld in figuur 4. Uitgangspunt van voor de analyse is derhalve een raming opgebouwd uit 10 gelijke posten met een gelijke spreiding. De resultaten van het model worden vergeleken met de μ en σ die berekend worden wanneer het project volledig afhankelijk wordt doorgerekend. Hiertoe is gekozen omdat de volledig afhankelijke benadering ongevoelig is voor het aantal regels.
In de referentieraming is de bandbreedte van het model ten opzichte van de bandbreedte in de volledig afhankelijke situatie 9.807 / 10.206 ≈ 96.09%. In figuur 5 zijn de uitkomsten van het model afgebeeld waarbij de T-waarden niet constant €10.000 zijn maar juist sterk fluctueren. In dit geval blijkt de verhouding 190.276 / 192.693 ≈ 98.75% te zijn. In figuur 6 is bekeken wat deze verhouding is wanneer T constant wordt gehouden maar de L en U waarden sterk fluctueren. De verhouding blijkt in het specifieke geval uit te komen op 35.849 / 36.671 ≈ 97.76%. Uit deze exercitie kan worden afgeleid dat het model sterk aansluit bij de afhankelijke veronderstelling.

Omschrijving/ Post		P x H [deterministisch]:			Correlatiegroepen:		
		|-%|	T	|+%|	arbeid	materiaal	materieel
1	Baanbouw	25%	€10.000	25%	5%	70%	25%
2	Spoorwegbouw	25%	€10.000	25%	8%	74%	18%
3	Geluidschermen	25%	€10.000	25%	10%	70%	20%
4	Bovenleiding en draagconstructie	25%	€10.000	25%	25%	60%	15%
5	Tractie-voeding	25%	€10.000	25%	30%	65%	5%
6	Beveiliging	25%	€10.000	25%	30%	60%	10%
7	K&L-derden	25%	€10.000	25%	10%	70%	20%
8	Kunstwerken beton	25%	€10.000	25%	40%	40%	20%
9	Kunstwerken staal	25%	€10.000	25%	40%	40%	20%
10	Stations	25%	€10.000	25%	40%	40%	20%
Methode volledig afhankelijk		μ_{raming}	€ 100.000		σ_{raming}	€ 10.206	
Methode o.b.v. correlatiegroepen		μ_{raming}	€ 100.000		σ_{raming}	€ 9.807	
Methode volledig onafhankelijk		μ_{raming}	€ 100.000		σ_{raming}	€ 3.227	

Figuur 4 De referentieraming met werkelijke correlatiefactoren.

Omschrijving/ Post		P x H [deterministisch]:			Correlatiegroepen:		
		|-%|	T	|+%|	arbeid	materiaal	materieel
1	Baanbouw	25%	€1.000	25%	5%	70%	25%
2	Spoorwegbouw	25%	€2.000	25%	8%	74%	18%
3	Geluidschermen	25%	€5.000	25%	10%	70%	20%
4	Bovenleiding en draagconstructie	25%	€10.000	25%	25%	60%	15%
5	Tractie-voeding	25%	€20.000	25%	30%	65%	5%
6	Beveiliging	25%	€50.000	25%	30%	60%	10%
7	K&L-derden	25%	€100.000	25%	10%	70%	20%
8	Kunstwerken beton	25%	€200.000	25%	40%	40%	20%
9	Kunstwerken staal	25%	€500.000	25%	40%	40%	20%
10	Stations	25%	€1.000.000	25%	40%	40%	20%
Methode volledig afhankelijk		μ_{raming}	€1.888.000		σ_{raming}	€192.693	
Methode o.b.v. correlatiegroepen		μ_{raming}	€1.888.000		σ_{raming}	€190.276	
Methode volledig onafhankelijk		μ_{raming}	€1.888.000		σ_{raming}	€116.504	

Figuur 5 De raming L en U relatief constant, T fluctueert.

Omschrijving/ Post		P x H [deterministisch]:			Correlatiegroepen:		
		|-%|	T	|+%|	arbeid	materiaal	materieel
1	Baanbouw	25%	€10.000	25%	5%	70%	25%
2	Spoorwegbouw	0%	€10.000	25%	8%	74%	18%
3	Geluidschermen	25%	€10.000	0%	10%	70%	20%
4	Bovenleiding en draagconstructie	25%	€10.000	150%	25%	60%	15%
5	Tractie-voeding	75%	€10.000	250%	30%	65%	5%
6	Beveiliging	100%	€10.000	500%	30%	60%	10%
7	K&L-derden	50%	€10.000	75%	10%	70%	20%
8	Kunstwerken beton	50%	€10.000	75%	40%	40%	20%
9	Kunstwerken staal	25%	€10.000	100%	40%	40%	20%
10	Stations	25%	€10.000	100%	40%	40%	20%
Methode volledig afhankelijk		μ_{raming}	€ 130.000		σ_{raming}	€ 36.671	
Methode o.b.v. correlatiegroepen		μ_{raming}	€ 130.000		σ_{raming}	€ 35.849	
Methode volledig onafhankelijk		μ_{raming}	€ 130.000		σ_{raming}	€ 16.277	

Figuur 6 De raming T constant, L en U fluctueren.

Analyse 4 De invloed correlatiefactoren op de bandbreedte

Om te bepalen of het model gevoelig is voor veranderingen in correlatiefactoren zijn in de figuren 7, 8, 9, 10 en 11 op systematische wijze de correlatiepercentages aangepast. In figuur 7 is de referentieraming weergegeven waaraan de modellen afgebeeld in de figuren 8, 9, 10 en 11 worden vergeleken. Wederom wordt de variatiecoëfficiënt van de volledig afhankelijke raming als standaard genomen, deze variatiecoëfficiënt is 8.186 / 9.186 ≈ 89,11%.

	Omschrijving/ Post	P x H [deterministisch]:			Correlatiegroepen:		
		|-%|	T	|+%|	arbeid	materiaal	materieel
1	Baanbouw	25%	€10.000	25%	5%	70%	25%
2	Spoorwegbouw	25%	€10.000	25%	8%	74%	18%
3	Geluidschermen	25%	€10.000	25%	10%	70%	20%
4	Bovenleiding en draagconstructie	25%	€10.000	25%	25%	60%	15%
5	Tractie-voeding	25%	€10.000	25%	30%	65%	5%
6	Beveiliging	25%	€10.000	25%	30%	60%	10%
7	K&L-derden	25%	€10.000	25%	10%	70%	20%
8	Kunstwerken beton	25%	€10.000	25%	40%	40%	20%
9	Kunstwerken staal	25%	€10.000	25%	40%	40%	20%
10	Stations	0%	€0	0%	0%	0%	0%
Methode volledig afhankelijk		μ_{raming}	€ 90.000		σ_{raming}	€ 9.186	
Methode o.b.v. correlatiegroepen		μ_{raming}	€ 90.000		σ_{raming}	€ 8.862	
Methode volledig onafhankelijk		μ_{raming}	€ 90.000		σ_{raming}	€ 3.062	

Figuur 7 De referentieraming op basis van 9 posten LTU-constant.

De variatiecoëfficiënt van het model ondervindt de maximale afwijking wanneer de volledige μ en σ over de diagonaal van de correlatiegroepen wordt verdeeld, zoals weergegeven in figuur 8. De maximale afwijking is 5.030 / 9.186 ≈ 57,73%, dit is gelijk aan de afwijking die op basis van de onderstaande formule mag worden verwacht.

Formule 03

$$\sigma_{\min} = \sigma_{\max} \frac{1}{\sqrt{n}}$$

$$n = aantal\ \ gedefinieerde\ correlatiegroepen$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\text{afhankelijk}}$$

De minimale afwijking wordt gevonden wanneer elke correlatiefactor gelijk is aan 1/n, zoals weergegeven in figuur 9. De afwijking ten opzichte van de μ en σ die worden berekend in het geval van volledige afhankelijkheid is dan gelijk aan nul.

Geconcludeerd kan worden dat de variatiecoëfficiënt van het model zich tussen 1 en $1/\sqrt{n}$ van de maximale variatiecoëfficiënt bevindt. Waarbij de maximale variatiecoëfficiënt wordt gevonden door gebruik te maken van de afhankelijke rekenregels.

	Omschrijving/ Post	P x H [deterministisch]:			Correlatiegroepen:		
		|-%|	T	|+%|	arbeid	materiaal	materieel
1	Baanbouw	25%	€10.000	25%	100%	0%	0%
2	Spoorwegbouw	25%	€10.000	25%	100%	0%	0%
3	Geluidschermen	25%	€10.000	25%	100%	0%	0%
4	Bovenleiding en draagconstructie	25%	€10.000	25%	0%	100%	0%
5	Tractie-voeding	25%	€10.000	25%	0%	100%	0%
6	Beveiliging	25%	€10.000	25%	0%	100%	0%
7	K&L-derden	25%	€10.000	25%	0%	0%	100%
8	Kunstwerken beton	25%	€10.000	25%	0%	0%	100%
9	Kunstwerken staal	25%	€10.000	25%	0%	0%	100%
10	Stations	0%	€0	0%	0%	0%	0%
Methode volledig afhankelijk		μ_{raming}	€ 90.000		σ_{raming}	€ 9.186	
Methode o.b.v. correlatiegroepen		μ_{raming}	€ 90.000		σ_{raming}	€ 5.303	
Methode volledig onafhankelijk		μ_{raming}	€ 90.000		σ_{raming}	€ 3.062	

Figuur 8 De raming op basis van 9 posten, bandbreedte minimaal.

	Omschrijving/ Post	P x H [deterministisch]:			Correlatiegroepen:		
		|-%|	T	|+%|	arbeid	materiaal	materieel
1	Baanbouw	25%	€10.000	25%	33%	33%	33%
2	Spoorwegbouw	25%	€10.000	25%	33%	33%	33%
3	Geluidschermen	25%	€10.000	25%	33%	33%	33%
4	Bovenleiding en draagconstructie	25%	€10.000	25%	33%	33%	33%
5	Tractie-voeding	25%	€10.000	25%	33%	33%	33%
6	Beveiliging	25%	€10.000	25%	33%	33%	33%
7	K&L-derden	25%	€10.000	25%	33%	33%	33%
8	Kunstwerken beton	25%	€10.000	25%	33%	33%	33%
9	Kunstwerken staal	25%	€10.000	25%	33%	33%	33%
10	Stations	0%	€0	0%	0%	0%	0%
Methode volledig afhankelijk		μ_{raming}	€ 90.000		σ_{raming}	€ 9.186	
Methode o.b.v. correlatiegroepen		μ_{raming}	€ 90.000		σ_{raming}	€ 9.186	
Methode volledig onafhankelijk		μ_{raming}	€ 90.000		σ_{raming}	€ 3.062	

Figuur 9 De raming op basis van 9 posten, bandbreedte maximaal.

	Omschrijving/ Post	P x H [deterministisch]:			Correlatiegroepen:		
		|-%|	T	|+%|	arbeid	materiaal	materieel
1	Baanbouw	25%	€10.000	25%	80%	10%	10%
2	Spoorwegbouw	25%	€10.000	25%	80%	10%	10%
3	Geluidschermen	25%	€10.000	25%	80%	10%	10%
4	Bovenleiding en draagconstructie	25%	€10.000	25%	10%	80%	10%
5	Tractie-voeding	25%	€10.000	25%	10%	80%	10%
6	Beveiliging	25%	€10.000	25%	10%	80%	10%
7	K&L-derden	25%	€10.000	25%	10%	10%	80%
8	Kunstwerken beton	25%	€10.000	25%	10%	10%	80%
9	Kunstwerken staal	25%	€10.000	25%	10%	10%	80%
10	Stations	0%	€0	0%	0%	0%	0%
Methode volledig afhankelijk		μ_{raming}	€ 90.000		σ_{raming}	€ 9.186	
Methode o.b.v. correlatiegroepen		μ_{raming}	€ 90.000		σ_{raming}	€ 6.528	
Methode volledig onafhankelijk		μ_{raming}	€ 90.000		σ_{raming}	€ 3.062	

Figuur 10 De raming op basis van 9 posten, bij correlatiefactoren van 80%.

Omschrijving/ Post		P x H [deterministisch]:			Correlatiegroepen:		
		|-%|	T	|+%|	arbeid	materiaal	materieel
1	Baanbouw	25%	€10.000	25%	60%	20%	20%
2	Spoorwegbouw	25%	€10.000	25%	60%	20%	20%
3	Geluidschermen	25%	€10.000	25%	60%	20%	20%
4	Bovenleiding en draagconstructie	25%	€10.000	25%	20%	60%	20%
5	Tractie-voeding	25%	€10.000	25%	20%	60%	20%
6	Beveiliging	25%	€10.000	25%	20%	60%	20%
7	K&L-derden	25%	€10.000	25%	20%	20%	60%
8	Kunstwerken beton	25%	€10.000	25%	20%	20%	60%
9	Kunstwerken staal	25%	€10.000	25%	20%	20%	60%
10	Stations	0%	€0	0%	0%	0%	0%
Methode volledig afhankelijk		μ_{raming}	€ 90.000		σ_{raming}	€ 9.186	
Methode o.b.v. correlatiegroepen		μ_{raming}	€ 90.000		σ_{raming}	€ 7.995	
Methode volledig onafhankelijk		μ_{raming}	€ 90.000		σ_{raming}	€ 3.062	

Figuur 11 De raming op basis van 9 posten, bij correlatiefactoren van 60%.

In de figuren 10 en 11 is gekeken hoe de bandbreedte veranderd wanneer over de diagonaal respectievelijk 80% en 60% wordt ingevuld. In het eerste geval wordt gekomen tot 6.528 / 9.186 ≈ 71,06% van de maximale bandbreedte. In het tweede geval wordt gekomen tot 7.995 / 9.186 ≈ 87,03%.

Samenvatting en conclusies

In deze bijlage is de gevoeligheid van een model op basis van correlatiegroepen bekeken. Voor de evaluatie is gebruik gemaakt van correlatiefactoren die voor een tiental disciplines door kostendeskundigen van Holland Railconsult bepaald zijn.

De eerste bevinding is dat het model ongevoelig is voor het aantal regels. Daarmee wordt bedoeld dat variatiecoëfficiënt, gedefinieerd als het quotiënt van σ_{raming} en μ_{raming}, gelijk blijft wanneer in de raming bestaat uit een enkele post of uit een aantal maal exact dezelfde post.

De tweede bevinding, zie ondermeer figuur 8 en 9, is dat bandbreedte van het model zich tussen de maximale bandbreedte en $1/\sqrt{n}$ de maximale bandbreedte bevindt. Hierbij stelt n het aantal gedefinieerde correlatiegroepen voor en wordt de maximale bandbreedte gevonden door de raming volledig afhankelijk door te rekenen. Wanneer een drietal correlatiegroepen (arbeid, materiaal, materieel) worden gedefinieerd komt $1/\sqrt{n}$ overeen met ca. 60%. Uit ondermeer figuur 1 blijkt dat bij “normaal” gebruik de bandbreedte van het model zich rond de ca. 95% van de maximale bandbreedte ophoudt. Ofwel een model op basis van correlatiegroepen heeft een bandbreedte die de bandbreedte in het geval van volledige afhankelijkheid nadert. De figuren 4, 5 en 6 laten zien dat de variatie in σ_{post} en μ_{post} vrijwel geen invloed hebben op dit percentage.

Geconcludeerd wordt dat de kern van het model geschikt is om te dienen als uitgangspunt voor een niveau-II spreadsheetmodel.

Bijlage J

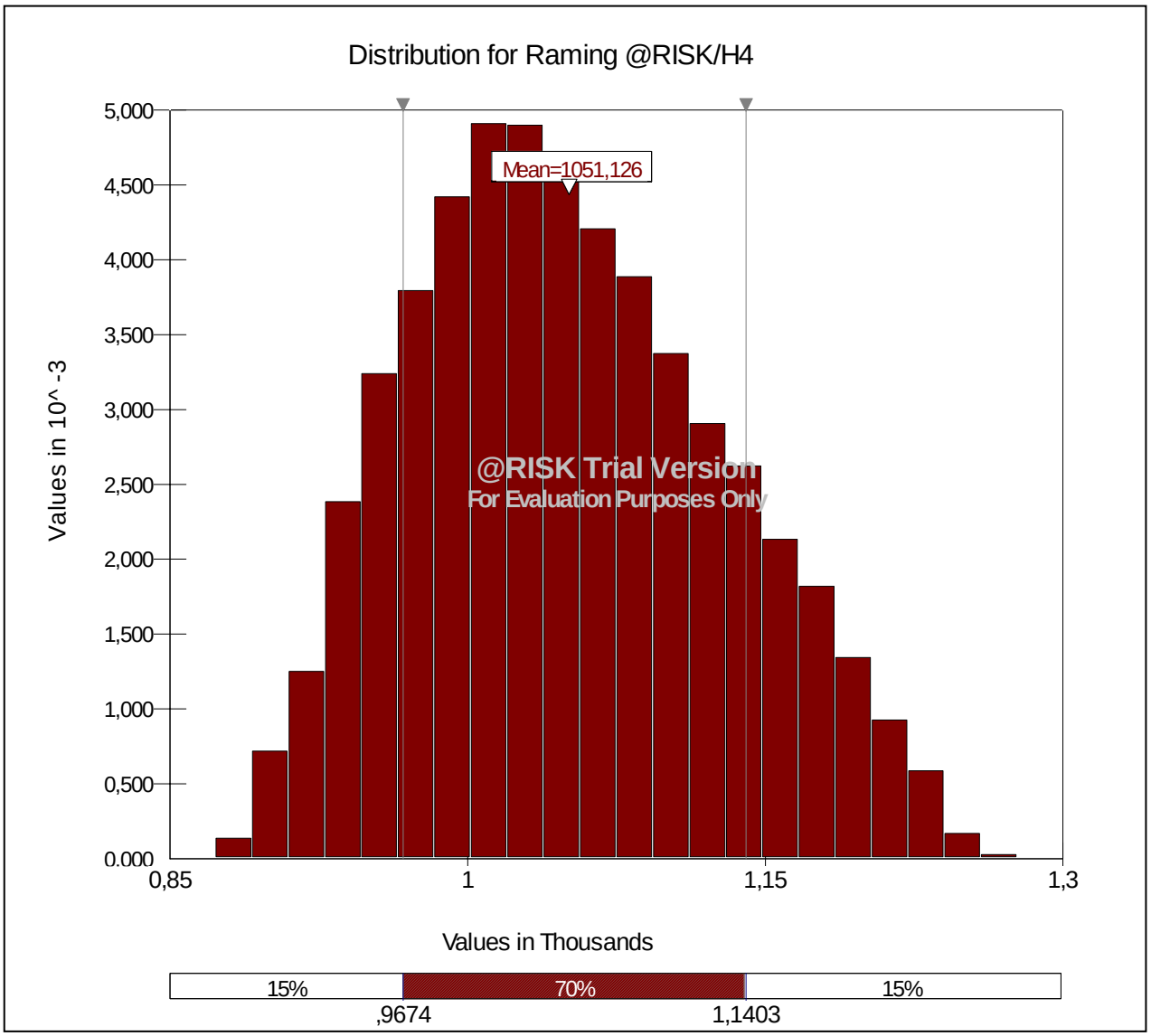
Grafische en numerieke output van @RISK, Risicoraming v1.1.3 en het Niveau-II spreadsheet-model op basis van correlatiegroepen

@RISK

Grafische en numerieke output van @RISK:

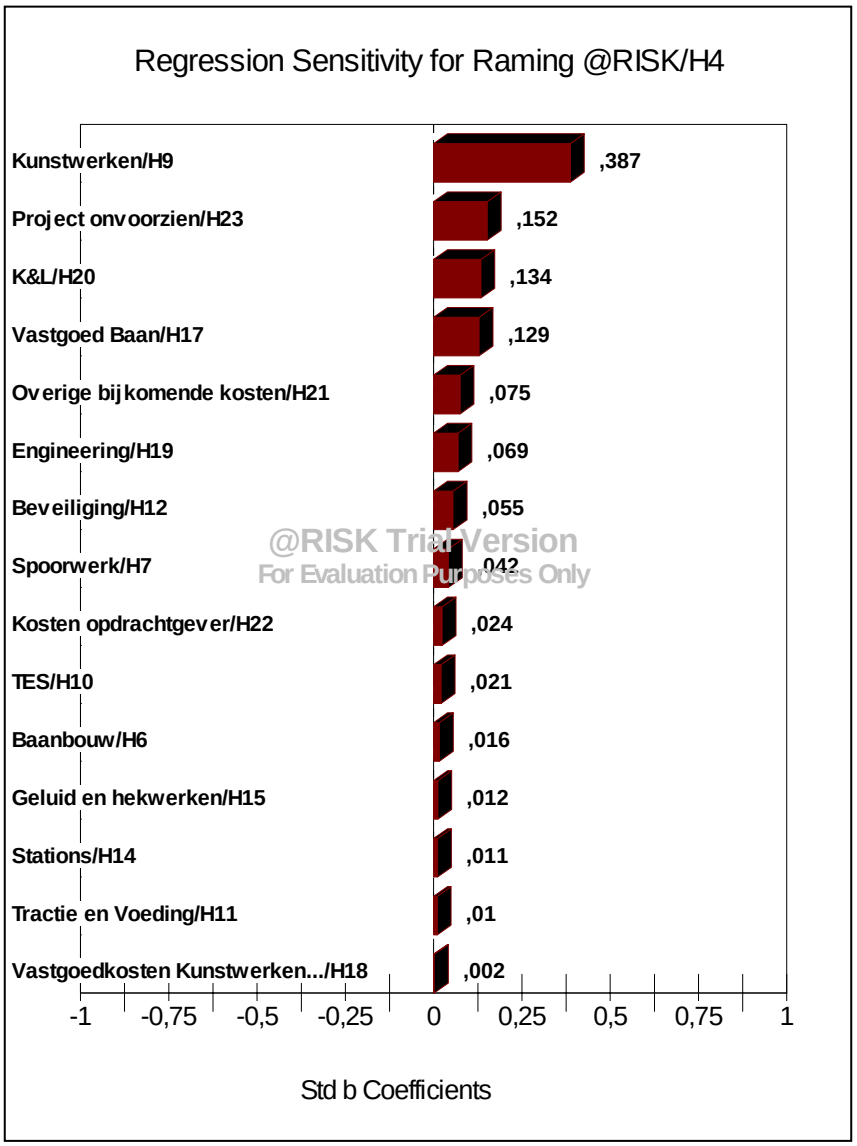
- Volledig afhankelijk (geen overschrijding op disciplineniveau).
- Volledig afhankelijk (30% overschrijding op disciplineniveau).
- Volledig onafhankelijk (geen overschrijding op disciplineniveau).
- Volledig onafhankelijk (30% overschrijding op disciplineniveau).

Raming @RISK [Volledig afhankelijk, overschrijding L- en U-waarden per discipline 0%]



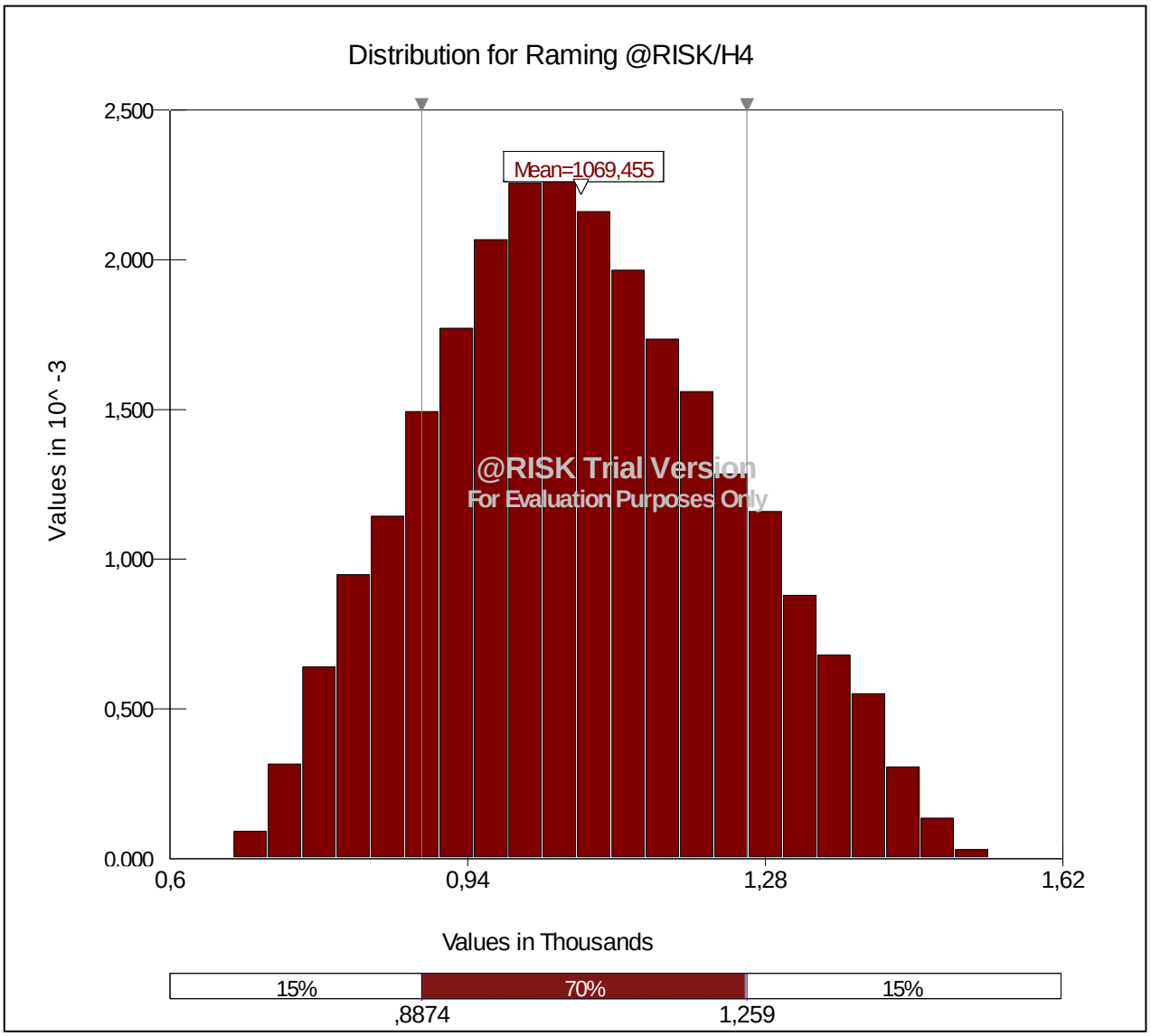
Name	Raming @RISK
Minimum	873,1755
Mean	1051,126
Maximum	1277,326
Std Dev	77,82851
Variance	6057,276
Skewness	0,28598
Kurtosis	2,412522
Mode	1016,581
Left X	967,4095
Left P	85%
Right X	1140,303
Right P	15%
Diff. X	172,8931
Diff. P	70%
5th Perc.	933,6464
95th Perc.	1190,12

Tornadodiagram [afhankelijk, 0% overschrijding]



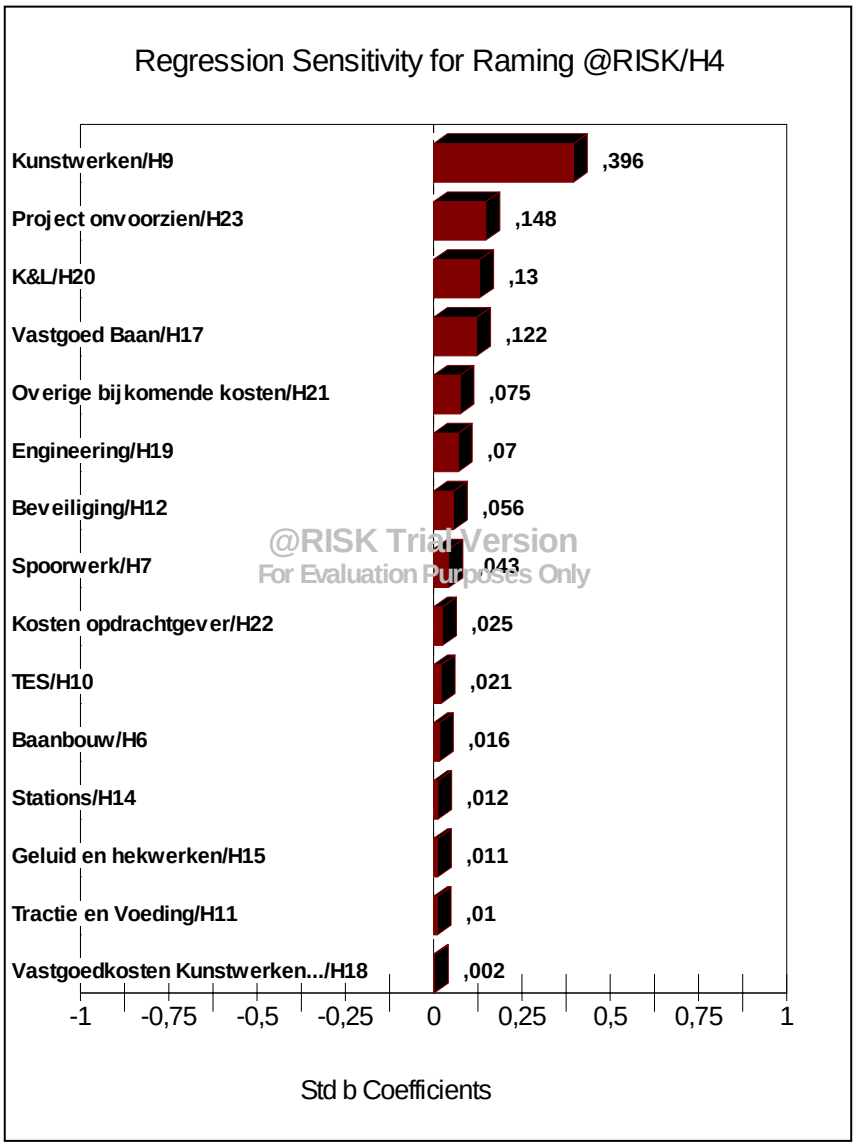
Rank	Name	Regression
#1	Kunstwerken	39%
#2	Project onvoorzien	15%
#3	K&L	13%
#4	Vastgoed Baan	13%
#5	Overige bijkomende kosten	8%
#6	Engineering	7%
#7	Beveiliging	6%
#8	Spoorwerk	4%
#9	Kosten opdrachtgever	2%
#10	TES	2%
#11	Baanbouw	2%
#12	Geluid en hekwerken	1%
#13	Stations	1%
#14	Tractie en Voeding	1%
#15	Vastgoedkosten Kunstwerken	0%

Raming @RISK [Volledig afhankelijk, overschrijding L- en U-waarden per discipline 30%]



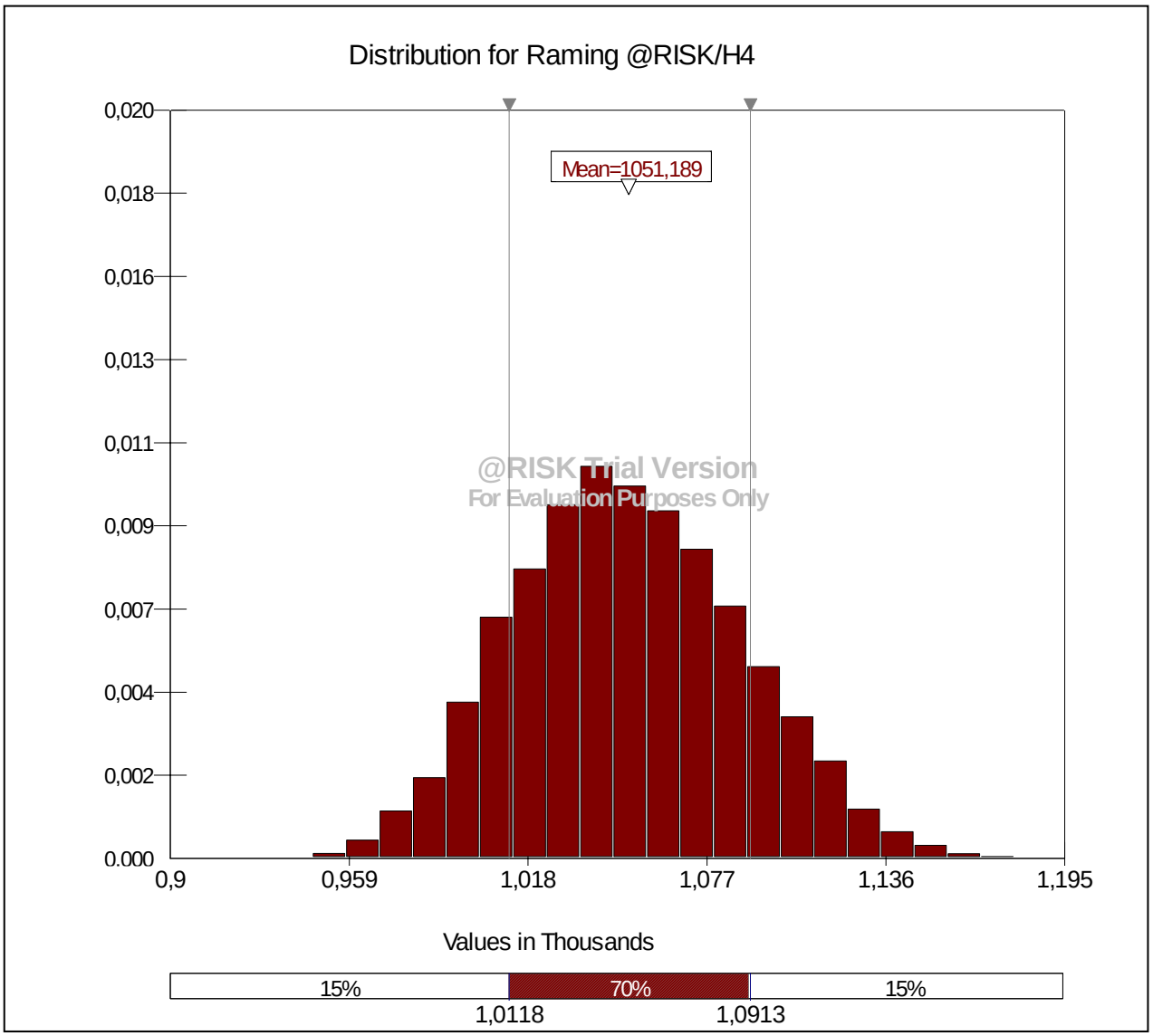
Name	Raming @RISK
Minimum	673,0106
Mean	1069,455
Maximum	1536,137
Std Dev	168,1774
Variance	28283,63
Skewness	0,173501
Kurtosis	2,423337
Mode	948,9138
Left X	887,4175
Left P	85%
Right X	1259,026
Right P	15%
Diff. X	371,6089
Diff. P	70%
5th Perc.	800,9929
95th Perc.	1365,456

Tornadodiagram [afhankelijk, 30% overschrijding]



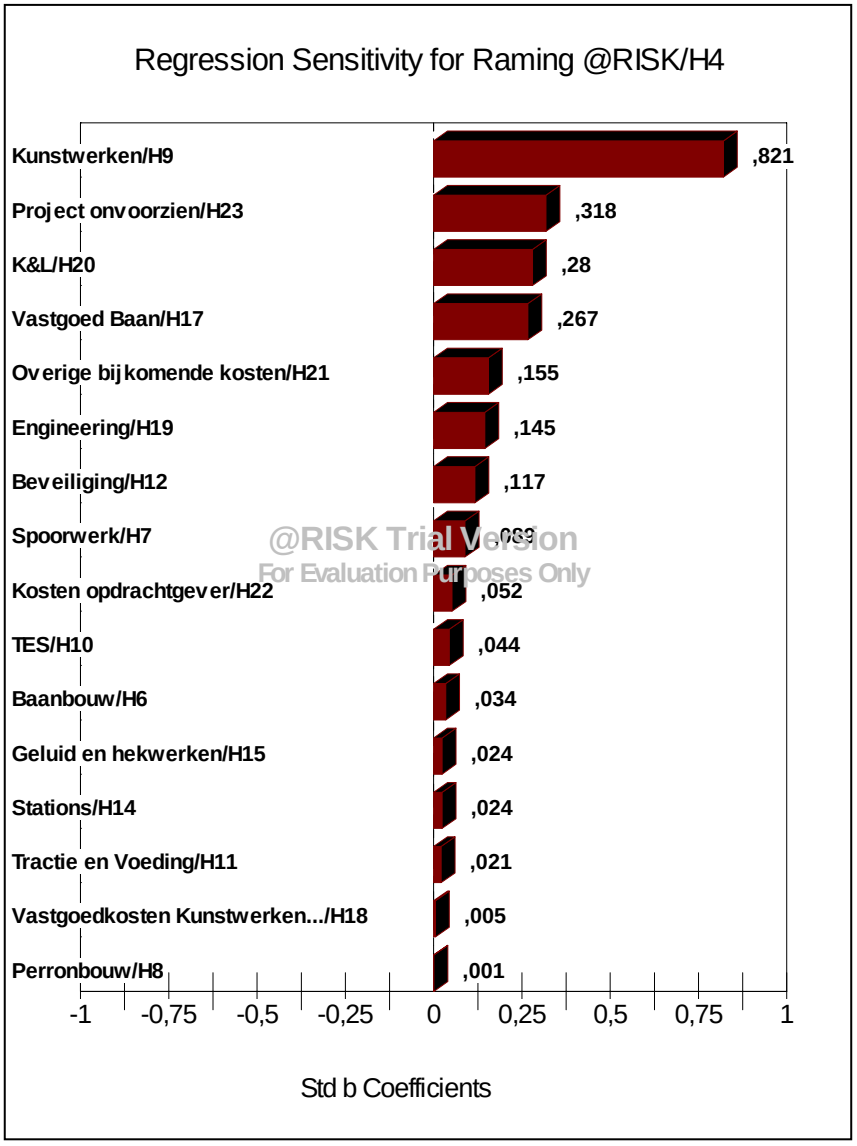
Rank	Name	Regression
#1	Kunstwerken	40%
#2	Project onvoorzien	15%
#3	K&L	13%
#4	Vastgoed Baan	12%
#5	Overige bijkomende kosten	8%
#6	Engineering	7%
#7	Beveiliging	6%
#8	Spoorwerk	4%
#9	Kosten opdrachtgever	3%
#10	TES	2%
#11	Baanbouw	2%
#12	Stations	1%
#13	Geluid en hekwerken	1%
#14	Tractie en Voeding	1%
#15	Vastgoedkosten Kunstwerken	0%

Raming @RISK [Volledig onafhankelijk, overschrijding L- en U-waarden per discipline 0%]



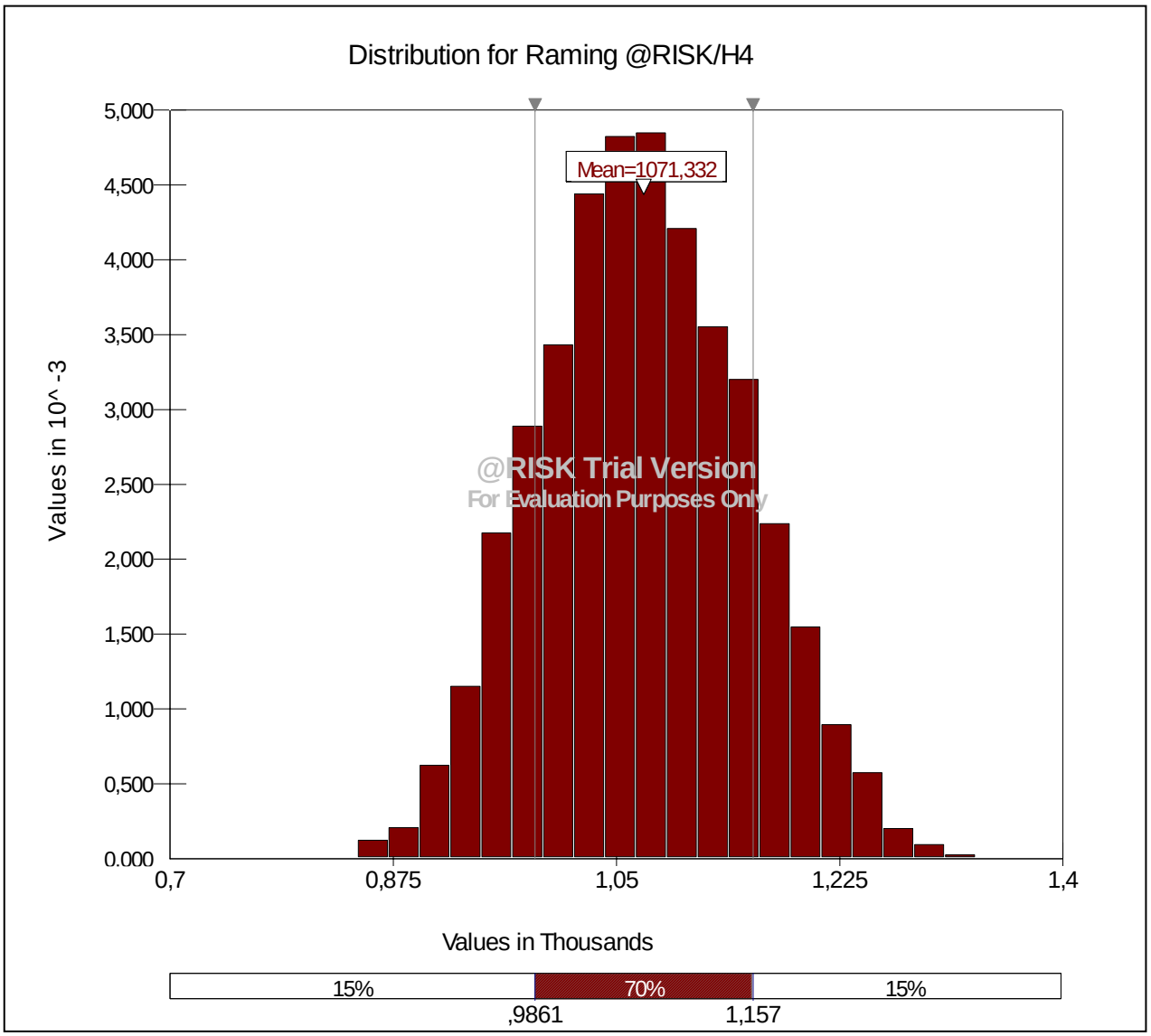
Name	Raming @RISK
Minimum	936,1209
Mean	1051,189
Maximum	1178,59
Std Dev	37,18735
Variance	1382,899
Skewness	0,169006
Kurtosis	2,714215
Mode	992,9944
Left X	1011,784
Left P	85%
Right X	1091,343
Right P	15%
Diff. X	79,55853
Diff. P	70%
5th Perc.	992,8554
95th Perc.	1190,12

Tornadodiagram [onafhankelijk, 0% overschrijding]



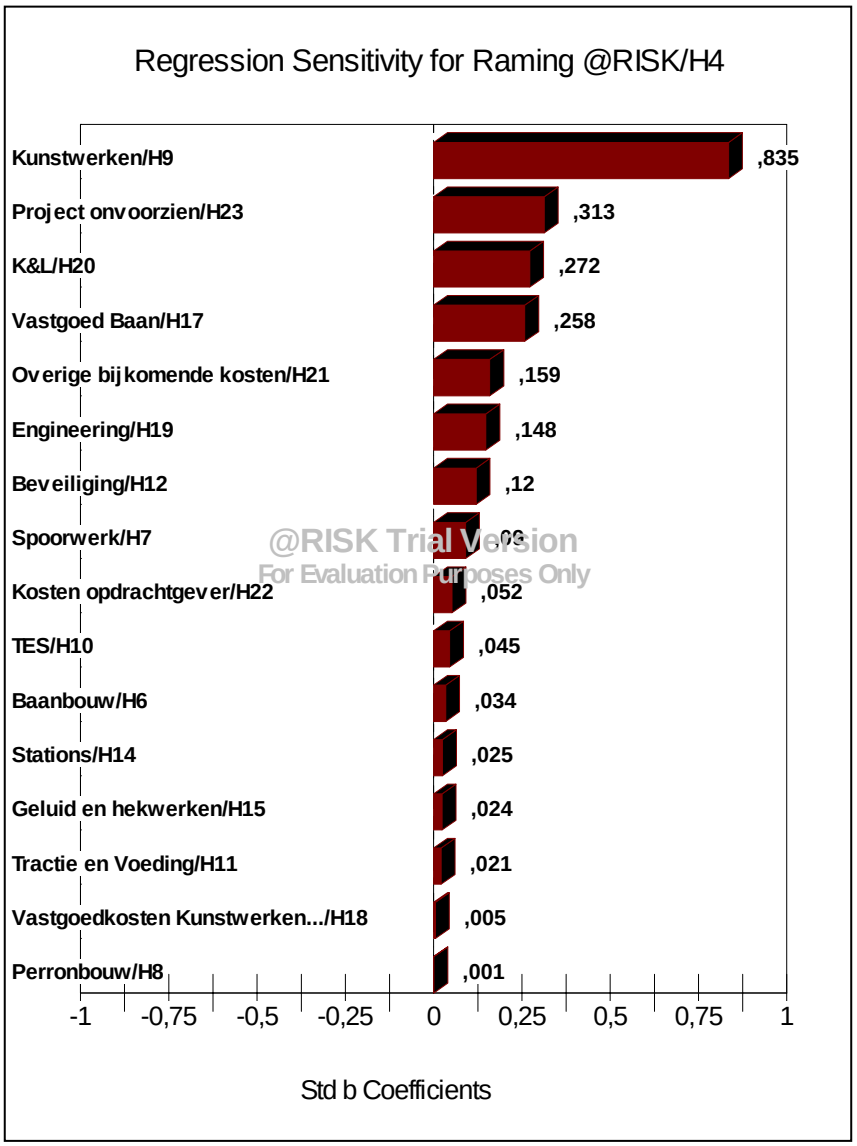
Rank	Name	Regression
#1	Kunstwerken	82%
#2	Project onvoorzien	32%
#3	K&L	28%
#4	Vastgoed Baan	27%
#5	Overige bijkomende kosten	16%
#6	Engineering	15%
#7	Beveiliging	12%
#8	Spoorwerk	9%
#9	Kosten opdrachtgever	5%
#10	TES	4%
#11	Baanbouw	3%
#12	Geluid en hekwerken	2%
#13	Stations	2%
#14	Tractie en Voeding	2%
#15	Vastgoedkosten Kunstwerken	1%
#16	Perronbouw	0%

Raming @RISK [Volledig onafhankelijk, overschrijding L- en U-waarden per discipline 30%]



Name	Raming @RISK
Minimum	799,0275
Mean	1071,332
Maximum	1332,171
Std Dev	79,84529
Variance	6375,271
Skewness	9,58E-02
Kurtosis	2,671558
Mode	1049,908
Left X	986,1446
Left P	85%
Right X	1157,042
Right P	15%
Diff. X	170,897
Diff. P	70%
5th Perc.	943,6272
95th Perc.	1205,602

Tornadodiagram [onafhankelijk, 30% overschrijding]



Rank	Name	Regression
#1	Kunstwerken	84%
#2	Project onvoorzien	31%
#3	K&L	27%
#4	Vastgoed Baan	26%
#5	Overige bijkomende kosten	16%
#6	Engineering	15%
#7	Beveiliging	12%
#8	Spoorwerk	9%
#9	Kosten opdrachtgever	5%
#10	TES	5%
#11	Baanbouw	3%
#12	Stations	3%
#13	Geluid en hekwerken	2%
#14	Tractie en Voeding	2%
#15	Vastgoedkosten Kunstwerken	1%
#16	Perronbouw	0%

Spreadsheetmodel

Numerieke output van het spreadsheetmodel:

- Volledig afhankelijk (geen overschrijding op disciplineniveau).
- Volledig afhankelijk (30% overschrijding op disciplineniveau).
- Volledig onafhankelijk (geen overschrijding op disciplineniveau).
- Volledig onafhankelijk (30% overschrijding op disciplineniveau).

Niveau-II Spreadsheetmodel (sec correlatiegroepen) [overschrijding L- en U-waarden 0%]

Opdrachtgever:	**HR**
Project:	**Model op basis van correlatie**
Variant:	**Getabelleerde standaardafwijkingen**
Overschreiding:	**0%** De cummulatieve tweezijdige overschrijding op regelniveau
Betrouwbaarheid:	**70%** De gewenste betrouwbaarheid van de totaalraming
RVOI-fase:	**1**

Input-tabel:		**μ**				**σ**			
		Voorziene kosten:				**Onvoorziene kosten:**			
RVOI:		**bekend:**	**ntd:**	**object:**	**project:**	**bekend:**	**ntd:**	**object:**	**project:**
1	100,00%	90,9%	0,0%	0,0%	0,0%	1	2	3	10
2	100,00%	90,9%	0,0%	0,0%	0,0%	1	2	3	10
3	100,00%	90,9%	0,0%	0,0%	0,0%	1	2	3	10
4	100,00%	90,9%	0,0%	0,0%	0,0%	1	2	3	10

	Voorziene Kosten [Direct én Indirect]									**Onvoorziene kosten**						**Totaal:**		
	Bekend			**N.t.d.**						**Object**								
				Percentage			Geidentificeerd			Percentage			Geidentificeerd					
	μ	**σ**	**vc:**	**μ**	**σ**	**vc:**	**μ**	**σ**	**vc:**	**μ**	**σ**	**vc:**	**μ**	**σ**	**vc:**	**μ**	**σ**	**vc:**
Bouwkosten	948	76	8%	0	0	0%	0	0	0%	0	0	0%	0	0	0%	948	76	8,005%
Vastgoedkosten	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	0,000%
Engineeringskosten	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	0,000%
Overige bijkomende kosten	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	0,000%
Basisraming:	948	76	8%	0	0	0%	0	0	0%	0	0	0%	0	0	0%	948	76	8,005%
Project onvoorzien										0	0	0%	0	0	0%	103	12	11,58%
Totaal:																1.051,2	76,8	**7,309%**

Bandbreedte: ondergrens € **972** gemiddelde € **1.051** bovengrens € **1.130** bij **70%** betrouwbaarheidsinterval

Niveau-II Spreadsheetmodel (sec correlatiegroepen) [overschrijding L- en U-waarden 30%]

Opdrachtgever:	**HR**
Project:	**Model op basis van correlatie**
Variant:	**Getabelleerde standaardafwijkingen**
Overschreiding:	**30%** De cummulatieve tweezijdige overschrijding op regelniveau
Betrouwbaarheid:	**70%** De gewenste betrouwbaarheid van de totaalraming
RVOI-fase:	**1**

Input-tabel:		**μ**				**σ**			
		Voorziene kosten:				**Onvoorziene kosten:**			
RVOI:		**bekend:**	**ntd:**	**object:**	**project:**	**bekend:**	**ntd:**	**object:**	**project:**
1	100,00%	90,9%	0,0%	0,0%	0,0%	1	2	3	10
2	100,00%	90,9%	0,0%	0,0%	0,0%	1	2	3	10
3	100,00%	90,9%	0,0%	0,0%	0,0%	1	2	3	10
4	100,00%	90,9%	0,0%	0,0%	0,0%	1	2	3	10

	Voorziene Kosten [Direct én Indirect]									**Onvoorziene kosten**						**Totaal:**		
	Bekend			**N.t.d.**						**Object**								
				Percentage			Geidentificeerd			Percentage			Geidentificeerd					
	μ	**σ**	**vc:**	**μ**	**σ**	**vc:**	**μ**	**σ**	**vc:**	**μ**	**σ**	**vc:**	**μ**	**σ**	**vc:**	**μ**	**σ**	**vc:**
Bouwkosten	962	164	17%	0	0	0%	0	0	0%	0	0	0%	0	0	0%	962	164	17,060%
Vastgoedkosten	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	0,000%
Engineeringskosten	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	0,000%
Overige bijkomende kosten	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	0,000%
Basisraming:	962	164	17%	0	0	0%	0	0	0%	0	0	0%	0	0	0%	962	164	17,060%
Project onvoorzien										0	0	0%	0	0	0%	107	25	23,00%
Totaal:																1.069,3	166,0	**15,519%**

Bandbreedte: ondergrens € **898** gemiddelde € **1.069** bovengrens € **1.240** bij **70%** betrouwbaarheidsinterval

Niveau-II Spreadsheetmodel (correlatiegroepen & vaste variatiecoëfficiënten) [overschrijding L- en U-waarden per discipline 0%]

Opdrachtgever:	**HR**
Project:	**Model op basis van correlatie**
Variant:	**Getabelleerde standaardafwijkingen**
Overschreiding:	**0%** De cummulatieve tweezijdige overschrijding op regelniveau
Betrouwbaarheid:	**70%** De gewenste betrouwbaarheid van de totaalraming
RVOI-fase:	**1**

Input-tabel:		**μ**				**σ**			
		Voorziene kosten:				**Onvoorziene kosten:**			
RVOI:		**bekend:**	**ntd:**	**object:**	**project:**	**bekend:**	**ntd:**	**object:**	**project:**
1	90,91%	90,9%	0,0%	0,0%	10,0%	1	2	3	10
2	90,91%	90,9%	0,0%	0,0%	10,0%	1	2	3	10
3	90,91%	90,9%	0,0%	0,0%	10,0%	1	2	3	10
4	90,91%	90,9%	0,0%	0,0%	10,0%	1	2	3	10

	Voorziene Kosten [Direct én Indirect]									**Onvoorziene kosten**						**Totaal:**		
	Bekend			**N.t.d.**						**Object**								
				Percentage			Geidentificeerd			Percentage			Geidentificeerd					
	μ	**σ**	**vc:**	**μ**	**σ**	**vc:**	**μ**	**σ**	**vc:**	**μ**	**σ**	**vc:**	**μ**	**σ**	**vc:**	**μ**	**σ**	**vc:**
Bouwkosten	948	76	8%	0	0	0%	0	0	0%	0	0	0%	0	0	0%	948	76	8,005%
Vastgoedkosten	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	0,000%
Engineeringskosten	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	0,000%
Overige bijkomende kosten	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	0,000%
Basisraming:	948	76	8%	0	0	0%	0	0	0%	0	0	0%	0	0	0%	948	76	8,005%
Project onvoorzien										0	0	0%	0	0	0%	95	76	80,055%
Totaal:																1.043,0	107,3	**10,292%**

Bandbreedte: ondergrens € **932** gemiddelde € **1.043** bovengrens € **1.154** bij **70%** betrouwbaarheidsinterval

Opdrachtgever:	HR
Project:	Model op basis van correlatie
Variant:	Getabelleerde standaardafwijkingen
Overschreiding:	0%
Betrouwbaarheid:	70%
RVOI-fase:	1
Bouwkosten:	**bekend**

	Discipline:		P x H [deterministisch]:					correlatiegroepen:		
			|%|		T	|%|		arbeid	materiaal	materieel
1	Baanbouw	ok	10%	€	19,86	20%	ok	5%	70%	25%
2	Spoorwerk	ok	10%	€	52,73	20%	ok	8%	74%	18%
3	Perronbouw	ok	10%	€	0,41	20%	ok	10%	70%	20%
4	Kunstwerken	ok	15%	€	366,28	25%	ok	25%	60%	15%
5	TES	ok	15%	€	26,67	15%	ok	30%	65%	5%
6	Tractie en Voeding	ok	15%	€	12,48	15%	ok	30%	60%	10%
7	Beveiliging	ok	15%	€	70,39	15%	ok	10%	70%	20%
8	K&L Technische installaties	-	0%	€	-	0%	ok	40%	40%	20%
9	Stations	ok	30%	€	7,27	30%	ok	40%	40%	20%
10	Geluid en hekwerken	ok	10%	€	14,42	20%	ok	40%	40%	20%
11	Landschappelijke inpassing	-	0%	€	-	0%	ok	5%	70%	25%
12	Vastgoed Baan	ok	10%	€	75,92	50%	ok	8%	74%	18%
13	Vastgoedkosten Kunstwerken	ok	10%	€	1,35	50%	ok	10%	70%	20%
14	Engineering	ok	15%	€	74,72	20%	ok	25%	60%	15%
15	K&L	ok	10%	€	79,88	50%	ok	30%	65%	5%
16	Overige bijkomende kosten	ok	15%	€	80,24	20%	ok	30%	60%	10%
17	Kosten opdrachtgever	ok	15%	€	26,48	20%	ok	10%	70%	20%
18		-	0%	€	-	0%	-			
19		-	0%	€	-	0%	-			
20		-	0%	€	-	0%	-			

L_{old}	T_{old}	U_{old}	[T-L]/[U-L]	Bèta	Variable	L_{new}	T_{new}	U_{new}	μ	σ_{total}	vc:
17,88	19,86	23,84	0,33	ONWAAR	ONWAAR	17,88	19,86	23,84	20,53	1,24	0,0603
47,45	52,73	63,27	0,33	ONWAAR	ONWAAR	47,45	52,73	63,27	54,48	3,29	0,0603
0,37	0,41	0,49	0,33	ONWAAR	ONWAAR	0,37	0,41	0,49	0,42	0,03	0,0603
311,33	366,28	457,85	0,38	ONWAAR	ONWAAR	311,33	366,28	457,85	378,49	30,22	0,0798
22,67	26,67	30,67	0,50	ONWAAR	ONWAAR	22,67	26,67	30,67	26,67	1,63	0,0612
10,61	12,48	14,36	0,50	ONWAAR	ONWAAR	10,61	12,48	14,36	12,48	0,76	0,0612
59,83	70,39	80,95	0,50	ONWAAR	ONWAAR	59,83	70,39	80,95	70,39	4,31	0,0612
0,00	0,00	0,00	0,00	ONWAAR	ONWAAR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000
5,09	7,27	9,45	0,50	ONWAAR	ONWAAR	5,09	7,27	9,45	7,27	0,89	0,1225
12,98	14,42	17,31	0,33	ONWAAR	ONWAAR	12,98	14,42	17,31	14,90	0,90	0,0603
0,00	0,00	0,00	0,00	ONWAAR	ONWAAR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000
68,33	75,92	113,88	0,17	ONWAAR	ONWAAR	68,33	75,92	113,88	86,04	9,96	0,1158
1,22	1,35	2,03	0,17	ONWAAR	ONWAAR	1,22	1,35	2,03	1,53	0,18	0,1158
63,51	74,72	89,66	0,43	ONWAAR	ONWAAR	63,51	74,72	89,66	75,96	5,36	0,0705
71,90	79,88	119,83	0,17	ONWAAR	ONWAAR	71,90	79,88	119,83	90,53	10,48	0,1158
68,20	80,24	96,29	0,43	ONWAAR	ONWAAR	68,20	80,24	96,29	81,57	5,75	0,0705
22,51	26,48	31,77	0,43	ONWAAR	ONWAAR	22,51	26,48	31,77	26,92	1,90	0,0705
0,00	0,00	0,00	0,00	ONWAAR	ONWAAR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000
0,00	0,00	0,00	0,00	ONWAAR	ONWAAR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000
0,00	0,00	0,00	0,00	ONWAAR	ONWAAR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000

μ	σ	vc
948,19	75,91	0,0801

α_1 arbeid	μ	σ	α_2 materiaal	μ	σ	α_3 materieel	μ	σ
0,05	1,03	0,08	0,70	14,37	1,16	0,25	5,13	0,42
0,08	4,36	0,34	0,74	40,32	3,18	0,18	9,81	0,77
0,10	0,04	0,00	0,70	0,30	0,02	0,20	0,08	0,01
0,25	94,62	11,32	0,60	227,09	27,18	0,15	56,77	6,79
0,30	8,00	0,68	0,65	17,33	1,48	0,05	1,33	0,11
0,30	3,74	0,34	0,60	7,49	0,68	0,10	1,25	0,11
0,10	7,04	0,59	0,70	49,27	4,11	0,20	14,08	1,17
0,40	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00
0,40	2,91	0,59	0,40	2,91	0,59	0,20	1,45	0,30
0,40	5,96	0,60	0,40	5,96	0,60	0,20	2,98	0,30
0,05	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00
0,08	6,88	1,04	0,74	63,67	9,63	0,18	15,49	2,34
0,10	0,15	0,02	0,70	1,07	0,17	0,20	0,31	0,05
0,25	18,99	2,01	0,60	45,58	4,82	0,15	11,39	1,20
0,30	27,16	4,38	0,65	58,85	9,50	0,05	4,53	0,73
0,30	24,47	2,54	0,60	48,94	5,09	0,10	8,16	0,85
0,10	2,69	0,26	0,70	18,84	1,81	0,20	5,38	0,52
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

arbeid	μ	σ	materiaal	μ	σ	materieel	μ	σ
	208,05	24,81		601,99	70,00		138,15	15,68

Niveau-II Spreadsheetmodel (correlatiegroepen & vaste variatiecoëfficiënten) [overschrijding L- en U-waarden per discipline 30%]

Opdrachtgever:	**HR**
Project:	**Model op basis van correlatie**
Variant:	**Getabelleerde standaardafwijkingen**
Overschreiding:	**30%** De cummulatieve tweezijdige overschrijding op regelniveau
Betrouwbaarheid:	**70%** De gewenste betrouwbaarheid van de totaalraming
RVOI-fase:	**1**

Input-tabel:		**μ**				**σ**			
		Voorziene kosten:				**Onvoorziene kosten:**			
RVOI:		**bekend:**	**ntd:**	**object:**	**project:**	**bekend:**	**ntd:**	**object:**	**project:**
1	90,91%	90,9%	0,0%	0,0%	10,0%	1	2	3	10
2	90,91%	90,9%	0,0%	0,0%	10,0%	1	2	3	10
3	90,91%	90,9%	0,0%	0,0%	10,0%	1	2	3	10
4	90,91%	90,9%	0,0%	0,0%	10,0%	1	2	3	10

	Voorziene Kosten [Direct én Indirect]									**Onvoorziene kosten**						**Totaal:**		
	Bekend			**N.t.d.**						**Object**								
				Percentage			Geidentificeerd			Percentage			Geidentificeerd					
	μ	**σ**	**vc:**	**μ**	**σ**	**vc:**	**μ**	**σ**	**vc:**	**μ**	**σ**	**vc:**	**μ**	**σ**	**vc:**	**μ**	**σ**	**vc:**
Bouwkosten	962	164	17%	0	0	0%	0	0	0%	0	0	0%	0	0	0%	962	164	17,060%
Vastgoedkosten	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	0,000%
Engineeringskosten	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	0,000%
Overige bijkomende kosten	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	0,000%
Basisraming:	962	164	17%	0	0	0%	0	0	0%	0	0	0%	0	0	0%	962	164	17,060%
Project onvoorzien										0	0	0%	0	0	0%	96	164	170,60%
Totaal:																1.058,1	232,1	**21,934%**

Bandbreedte: ondergrens € **819** gemiddelde € **1.058** bovengrens € **1.297** bij **70%** betrouwbaarheidsinterval

Opdrachtgever:	HR
Project:	Model op basis van correlatie
Variant:	Getabelleerde standaardafwijkingen
Overschreiding:	30%
Betrouwbaarheid:	70%
RVOI-fase:	1
Bouwkosten:	**bekend**

	Discipline:		P x H [deterministisch]:					correlatiegroepen:		
			|%|		T	|%|		arbeid	materiaal	materieel
1	Baanbouw	ok	10%	€	19,86	20%	ok	5%	70%	25%
2	Spoorwerk	ok	10%	€	52,73	20%	ok	8%	74%	18%
3	Perronbouw	ok	10%	€	0,41	20%	ok	10%	70%	20%
4	Kunstwerken	ok	15%	€	366,28	25%	ok	25%	60%	15%
5	TES	ok	15%	€	26,67	15%	ok	30%	65%	5%
6	Tractie en Voeding	ok	15%	€	12,48	15%	ok	30%	60%	10%
7	Beveiliging	ok	15%	€	70,39	15%	ok	10%	70%	20%
8	K&L Technische installaties	-	0%	€	-	0%	ok	40%	40%	20%
9	Stations	ok	30%	€	7,27	30%	ok	40%	40%	20%
10	Geluid en hekwerken	ok	10%	€	14,42	20%	ok	40%	40%	20%
11	Landschappelijke inpassing	-	0%	€	-	0%	ok	5%	70%	25%
12	Vastgoed Baan	ok	10%	€	75,92	50%	ok	8%	74%	18%
13	Vastgoedkosten Kunstwerken	ok	10%	€	1,35	50%	ok	10%	70%	20%
14	Engineering	ok	15%	€	74,72	20%	ok	25%	60%	15%
15	K&L	ok	10%	€	79,88	50%	ok	30%	65%	5%
16	Overige bijkomende kosten	ok	15%	€	80,24	20%	ok	30%	60%	10%
17	Kosten opdrachtgever	ok	15%	€	26,48	20%	ok	10%	70%	20%
18		-	0%	€	-	0%	-			
19		-	0%	€	-	0%	-			
20		-	0%	€	-	0%	-			

L_{old}	T_{old}	U_{old}	[T-L]/[U-L]	Bèta	Variable	L_{new}	T_{new}	U_{new}	μ	σ_{total}	vc:
17,88	19,86	23,84	0,33	0,80	0,62	14,67	19,86	27,76	20,77	2,69	0,1297
47,45	52,73	63,27	0,33	0,80	0,62	38,93	52,73	73,70	55,12	7,15	0,1297
0,37	0,41	0,49	0,33	0,80	0,62	0,30	0,41	0,57	0,43	0,06	0,1297
311,33	366,28	457,85	0,38	0,85	0,60	229,40	366,28	552,37	382,68	66,18	0,1729
22,67	26,67	30,67	0,50	1,00	0,55	17,82	26,67	35,51	26,67	3,61	0,1354
10,61	12,48	14,36	0,50	1,00	0,55	8,34	12,48	16,62	12,48	1,69	0,1354
59,83	70,39	80,95	0,50	1,00	0,55	47,05	70,39	93,74	70,39	9,53	0,1354
0,00	0,00	0,00	0,00	#N/B	#N/B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000
5,09	7,27	9,45	0,50	1,00	0,55	2,45	7,27	12,09	7,27	1,97	0,2708
12,98	14,42	17,31	0,33	0,80	0,62	10,65	14,42	20,16	15,08	1,95	0,1297
0,00	0,00	0,00	0,00	#N/B	#N/B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000
68,33	75,92	113,88	0,17	0,62	0,73	47,51	75,92	145,73	89,72	20,63	0,2300
1,22	1,35	2,03	0,17	0,62	0,73	0,84	1,35	2,59	1,60	0,37	0,2300
63,51	74,72	89,66	0,43	0,90	0,58	48,20	74,72	106,00	76,31	11,81	0,1548
71,90	79,88	119,83	0,17	0,62	0,73	49,99	79,88	153,34	94,40	21,71	0,2300
68,20	80,24	96,29	0,43	0,90	0,58	51,76	80,24	113,83	81,94	12,68	0,1548
22,51	26,48	31,77	0,43	0,90	0,58	17,08	26,48	37,56	27,04	4,19	0,1548
0,00	0,00	0,00	0,00	#N/B	#N/B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000
0,00	0,00	0,00	0,00	#N/B	#N/B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000
0,00	0,00	0,00	0,00	#N/B	#N/B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000

μ	σ	vc
961,88	164,10	0,1706

α_1 arbeid	μ	σ	α_2 materiaal	μ	σ	α_3 materieel	μ	σ
0,05	1,04	0,18	0,70	14,54	2,53	0,25	5,19	0,90
0,08	4,41	0,75	0,74	40,79	6,91	0,18	9,92	1,68
0,10	0,04	0,01	0,70	0,30	0,05	0,20	0,09	0,02
0,25	95,67	24,80	0,60	229,61	59,53	0,15	57,40	14,88
0,30	8,00	1,51	0,65	17,33	3,27	0,05	1,33	0,25
0,30	3,74	0,75	0,60	7,49	1,50	0,10	1,25	0,25
0,10	7,04	1,30	0,70	49,27	9,08	0,20	14,08	2,59
0,40	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00
0,40	2,91	1,31	0,40	2,91	1,31	0,20	1,45	0,66
0,40	6,03	1,30	0,40	6,03	1,30	0,20	3,02	0,65
0,05	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00
0,08	7,18	2,16	0,74	66,39	19,94	0,18	16,15	4,85
0,10	0,16	0,05	0,70	1,12	0,35	0,20	0,32	0,10
0,25	19,08	4,43	0,60	45,78	10,62	0,15	11,45	2,66
0,30	28,32	9,08	0,65	61,36	19,67	0,05	4,72	1,51
0,30	24,58	5,61	0,60	49,17	11,22	0,10	8,19	1,87
0,10	2,70	0,57	0,70	18,93	3,99	0,20	5,41	1,14
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

arbeid	μ	σ	materiaal	μ	σ	materieel	μ	σ
	210,90	53,79		611,01	151,26		139,97	34,01

Risicoraming v1.1.3

Grafische en numerieke output Risicoraming:

- Volledig afhankelijk (geen overschrijding op disciplineniveau).
- Volledig afhankelijk (30% overschrijding op disciplineniveau).
- Volledig onafhankelijk (geen overschrijding op disciplineniveau).
- Volledig onafhankelijk (30% overschrijding op disciplineniveau).

Risicoraming [Volledig afhankelijk én volledig onafhankelijk, overschrijding per discipline 0%]

Deelproject resultaten

Project: Raming
Deelproject: Risicoraming 00

Samenvatting topwaarden | Raming topwaarden | Samenvatting gemiddelden | Raming gemiddelden | Niveau II

Sleep een kolomkop hier naar toe om op te groeperen

Kostencategorie	Kostensoort	Omschrijving	Code	Eenheid	Hoeveelheid	Prijs/e	Kosten	Btw
Bouwkosten	Direct, bekend	Baanbouw			1,00	€ 19,86	€ 19,86	€ 3,77
Bouwkosten	Direct, bekend	Spoorwerk			1,00	€ 52,73	€ 52,73	€ 10,02
Bouwkosten	Direct, bekend	Perronbouw			1,00	€ 0,41	€ 0,41	€ 0,08
Bouwkosten	Direct, bekend	Kunstwerken			1,00	€ 366,28	€ 366,28	€ 69,59
Bouwkosten	Direct, bekend	TES			1,00	€ 26,67	€ 26,67	€ 5,07
Bouwkosten	Direct, bekend	Tractie en Voeding			1,00	€ 12,48	€ 12,48	€ 2,37
Bouwkosten	Direct, bekend	Beveiliging			1,00	€ 70,39	€ 70,39	€ 13,37
Bouwkosten	Direct, bekend	K&L Technische installaties			1,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
Bouwkosten	Direct, bekend	Stations			1,00	€ 7,27	€ 7,27	€ 1,38
Bouwkosten	Direct, bekend	Geluid en hekwerken			1,00	€ 14,42	€ 14,42	€ 2,74
Bouwkosten	Direct, bekend	Landschappelijke inpassing			1,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
Bouwkosten	Direct, bekend	Vastgoed Baan			1,00	€ 75,92	€ 75,92	€ 14,42
Bouwkosten	Direct, bekend	Vastgoedkosten Kunstwerken			1,00	€ 1,35	€ 1,35	€ 0,26
Bouwkosten	Direct, bekend	Engineering			1,00	€ 74,72	€ 74,72	€ 14,20
Bouwkosten	Direct, bekend	K&L			1,00	€ 79,88	€ 79,88	€ 15,18
Bouwkosten	Direct, bekend	Overige bijkomende kosten			1,00	€ 80,24	€ 80,24	€ 15,25
Bouwkosten	Direct, bekend	Kosten opdrachtgever			1,00	€ 26,48	€ 26,48	€ 5,03
							€ 909,09	€ 172,73

Sortering herstellen | Sluiten | Afdrukken | Help

Deelproject resultaten

Project: Raming
Deelproject: Risicoraming 00

Samenvatting topwaarden | Raming topwaarden | Samenvatting gemiddelden | Raming gemiddelden | Niveau II

Sleep een kolomkop hier naar toe om op te groeperen

Kostencategorie	Kostensoort	Omschrijving	Code	Eenheid	Hoeveelheid	Prijs/e	Kosten	Btw
Bouwkosten	Direct, bekend	Baanbouw			1,03	€ 19,86	€ 20,53	€ 3,90
Bouwkosten	Direct, bekend	Spoorwerk			1,03	€ 52,73	€ 54,48	€ 10,35
Bouwkosten	Direct, bekend	Perronbouw			1,03	€ 0,41	€ 0,42	€ 0,08
Bouwkosten	Direct, bekend	Kunstwerken			1,03	€ 366,28	€ 378,49	€ 71,91
Bouwkosten	Direct, bekend	TES			1,00	€ 26,67	€ 26,67	€ 5,07
Bouwkosten	Direct, bekend	Tractie en Voeding			1,00	€ 12,48	€ 12,48	€ 2,37
Bouwkosten	Direct, bekend	Beveiliging			1,00	€ 70,39	€ 70,39	€ 13,37
Bouwkosten	Direct, bekend	K&L Technische installaties			1,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
Bouwkosten	Direct, bekend	Stations			1,00	€ 7,27	€ 7,27	€ 1,38
Bouwkosten	Direct, bekend	Geluid en hekwerken			1,03	€ 14,42	€ 14,90	€ 2,83
Bouwkosten	Direct, bekend	Landschappelijke inpassing			1,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
Bouwkosten	Direct, bekend	Vastgoed Baan			1,13	€ 75,92	€ 86,04	€ 16,35
Bouwkosten	Direct, bekend	Vastgoedkosten Kunstwerken			1,13	€ 1,35	€ 1,53	€ 0,29
Bouwkosten	Direct, bekend	Engineering			1,02	€ 74,72	€ 75,96	€ 14,43
Bouwkosten	Direct, bekend	K&L			1,13	€ 79,88	€ 90,53	€ 17,20
Bouwkosten	Direct, bekend	Overige bijkomende kosten			1,02	€ 80,24	€ 81,57	€ 15,50
Bouwkosten	Direct, bekend	Kosten opdrachtgever			1,02	€ 26,48	€ 26,92	€ 5,11
							€ 948,19	€ 180,16

Sortering herstellen | Sluiten | Afdrukken | Help

Deelproject resultaten

Project: Raming
Deelproject: Risicoraming 00

Samenvatting topwaarden | Raming topwaarden | Samenvatting gemiddelden | Raming gemiddelden | Niveau II

Kostencategorie	Kostensoort	Omschrijving	Mu (h)	Sigma (h)	Mu (e)	Sigma (e)	Mu (post)	Sigma (post)
Bouwkosten	Direct, bekend	Baanbouw	1,03	0,06	19,86	0,00	20,53	1,26
Bouwkosten	Direct, bekend	Spoorwerk	1,03	0,06	52,73	0,00	54,50	3,33
Bouwkosten	Direct, bekend	Perronbouw	1,03	0,06	0,41	0,00	0,42	0,03
Bouwkosten	Direct, bekend	Kunstwerken	1,03	0,08	366,28	0,00	378,57	30,64
Bouwkosten	Direct, bekend	TES	1,00	0,06	26,67	0,00	26,67	1,66
Bouwkosten	Direct, bekend	Tractie en Voeding	1,00	0,06	12,48	0,00	12,48	0,78
Bouwkosten	Direct, bekend	Beveiliging	1,00	0,06	70,39	0,00	70,39	4,37
Bouwkosten	Direct, bekend	K&L Technische installaties	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bouwkosten	Direct, bekend	Stations	1,00	0,12	7,27	0,00	7,27	0,90
Bouwkosten	Direct, bekend	Geluid en hekwerken	1,03	0,06	14,42	0,00	14,91	0,91
Bouwkosten	Direct, bekend	Landschappelijke inpassing	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bouwkosten	Direct, bekend	Vastgoed Baan	1,13	0,13	75,92	0,00	86,12	10,09
Bouwkosten	Direct, bekend	Vastgoedkosten Kunstwerken	1,13	0,13	1,35	0,00	1,53	0,18
Bouwkosten	Direct, bekend	Engineering	1,02	0,07	74,72	0,00	75,97	5,43
Bouwkosten	Direct, bekend	K&L	1,13	0,13	79,88	0,00	90,62	10,62
Bouwkosten	Direct, bekend	Overige bijkomende kosten	1,02	0,07	80,24	0,00	81,58	5,83
Bouwkosten	Direct, bekend	Kosten opdrachtgever	1,02	0,07	26,48	0,00	26,92	1,93
SubTotaal		Normale onzekerheden					948,48	35,46
SubTotaal		Bijzondere gebeurtenissen					0,00	0,00
Totaal							948,48	35,46
BTW							180,21	
Totaal		inclusief BTW					1.128,69	

Sluiten | Afdrukken | Help

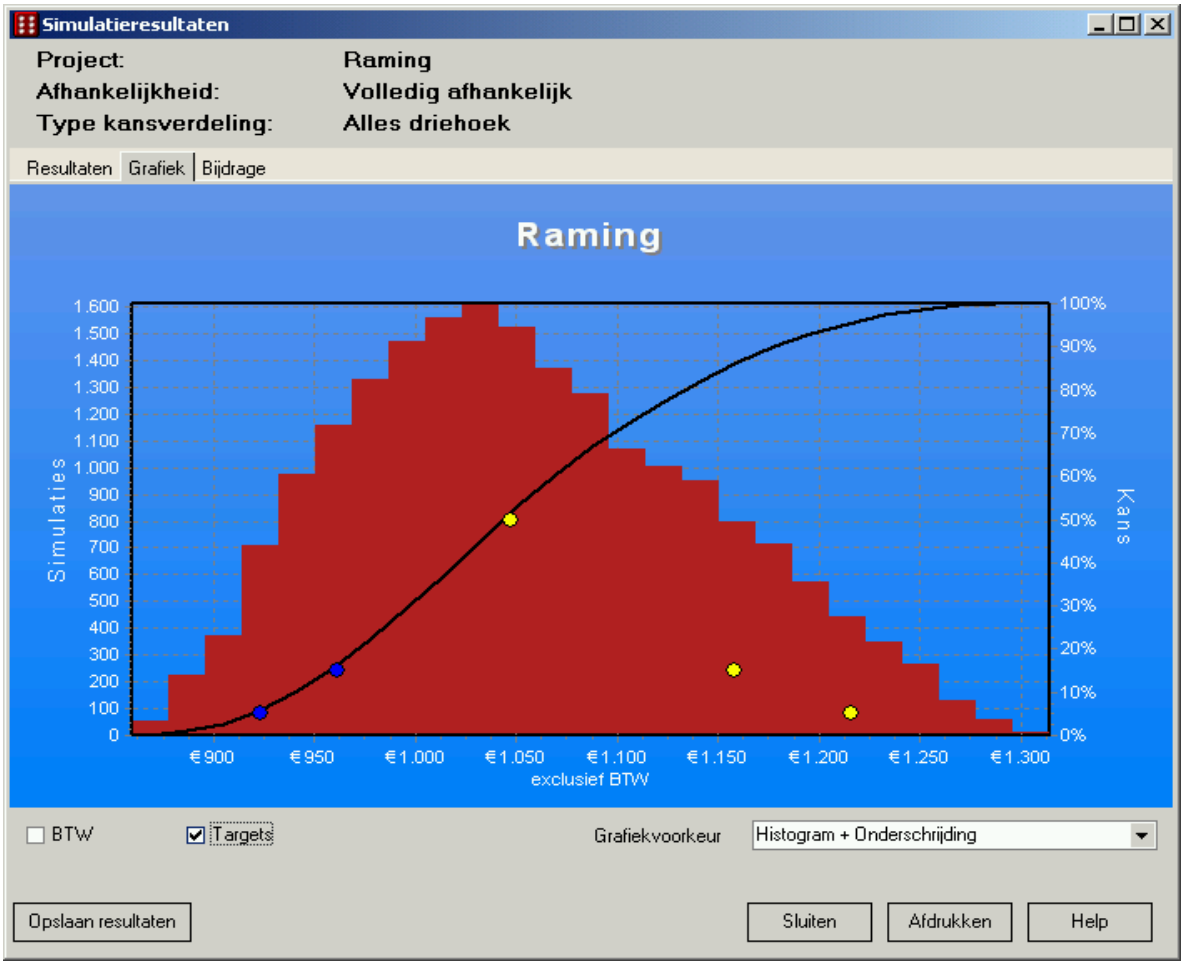
Simulatieresultaten

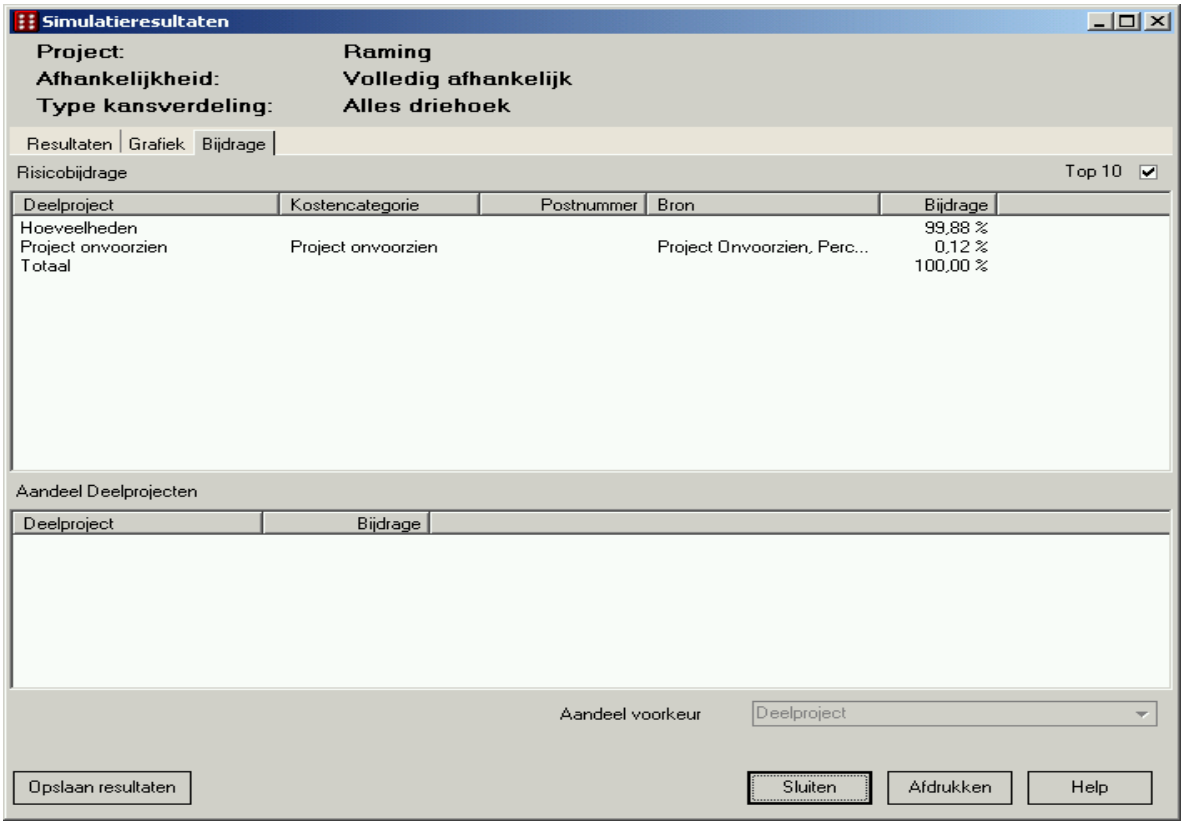
Project: Raming
Afhankelijkheid: Volledig afhankelijk
Type kansverdeling: Alles driehoek

Resultaten | Grafiek | Bijdrage

Omschrijving	Type	Waarde	Resultaat excl. BTW	Resultaat incl. BTW
5%<	Kans <	5 %	€ 923,36	€ 1.081,83
15%<	Kans <	15 %	€ 961,31	€ 1.125,85
50%>	Kans >	50 %	€ 1.047,47	€ 1.226,14
15%>	Kans >	15 %	€ 1.157,84	€ 1.354,94
5%>	Kans >	5 %	€ 1.215,49	€ 1.422,09
Simulatiedatum		21-2-2006 10:03:54		
Aantal runs		10.000		
Minimum waarde			€ 859,51	€ 1.008,76
Maximum waarde			€ 1.314,05	€ 1.532,12
Verwachtingswaarde (Mu)			€ 1.056,52	€ 1.236,74
Sigma			€ 88,62	€ 103,40
Variatie			8,39 %	8,36 %
Meest waarschijnlijke waarde (T)			€ 1.000,00	€ 1.172,73
Scheefheid			0,32	0,31
Winstcriterium	0,00 %	€ 0,00	n.v.t.	n.v.t.
Verliescriterium	0,00 %		€ 1.314,05	€ 1.532,12
Blootstellingscriterium	0,00 %	€ 0,00	€ 1.314,05	€ 1.532,12

Opslaan resultaten | Sluiten | Afdrukken | Help


Simulatieresultaten
Project: Raming
Afhankelijkheid: Volledig afhankelijk
Type kansverdeling: Alles driehoek
Resultaten
Grafiek
Bijdrage
Raming
Simulaties
Kans
1.600
1.500
1.400
1.300
1.200
1.100
1.000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
€ 900
€ 950
€ 1.000
€ 1.050
€ 1.100
€ 1.150
€ 1.200
€ 1.250
€ 1.300
exclusief BTW
BTW
Targets
Grafiekvoorkeur
Histogram + Onderschrijding
Opslaan resultaten
Sluiten
Afdrukken
Help


Simulatieresultaten
Project: Raming
Afhankelijkheid: Volledig afhankelijk
Type kansverdeling: Alles driehoek
Resultaten
Grafiek
Bijdrage
Risicobijdrage
Top 10
Deelproject
Kostencategorie
Postnummer
Bron
Bijdrage
Hoeveelheden 99,88 %
Project onvoorzien Project onvoorzien Project Onvoorzien, Perc... 0,12 %
Totaal 100,00 %
Aandeel Deelprojecten
Deelproject
Bijdrage
Aandeel voorkeur
Deelproject
Opslaan resultaten
Sluiten
Afdrukken
Help

Simulatieresultaten

Project: Raming
Afhankelijkheid: Volledig onafhankelijk
Type kansverdeling: Alles driehoek

Resultaten | Grafiek | Bijdrage

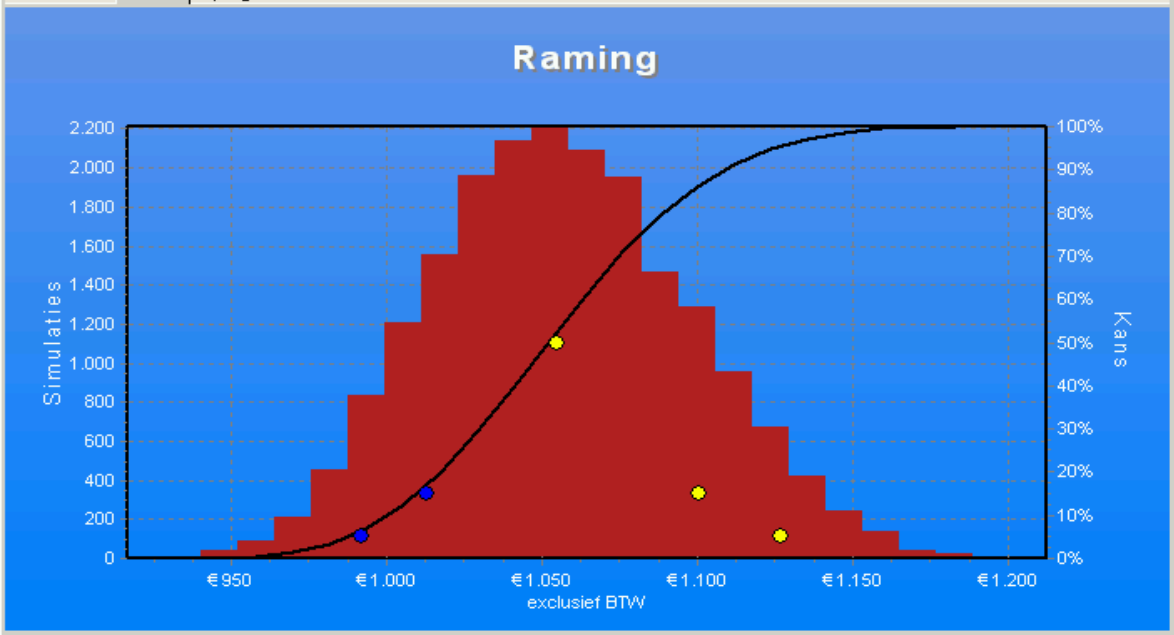
Omschrijving	Type	Waarde	Resultaat excl. BTW	Resultaat incl. BTW
5%<	Kans <	5 %	€ 991,94	€ 1.161,80
15%<	Kans <	15 %	€ 1.012,83	€ 1.186,10
50%>	Kans >	50 %	€ 1.054,92	€ 1.234,96
15%>	Kans >	15 %	€ 1.100,80	€ 1.288,19
5%>	Kans >	5 %	€ 1.127,06	€ 1.318,38
Simulatiedatum		21-2-2006 10:09:11		
Aantal runs		10.000		
Minimum waarde			€ 916,82	€ 1.075,06
Maximum waarde			€ 1.212,46	€ 1.414,64
Verwachtingswaarde (Mu)			€ 1.056,54	€ 1.236,76
Sigma			€ 41,29	€ 47,75
Variatie			3,91 %	3,86 %
Meest waarschijnlijke waarde (T)			€ 1.000,00	€ 1.172,73
Scheefheid			0,18	0,17
Winstcriterium	0,00 %	€ 0,00	n.v.t.	n.v.t.
Verliescriterium	0,00 %		€ 1.212,46	€ 1.414,64
Blootstellingscriterium	0,00 %	€ 0,00	€ 1.212,46	€ 1.414,64

Opslaan resultaten | Sluiten | Afdrukken | Help

Simulatieresultaten

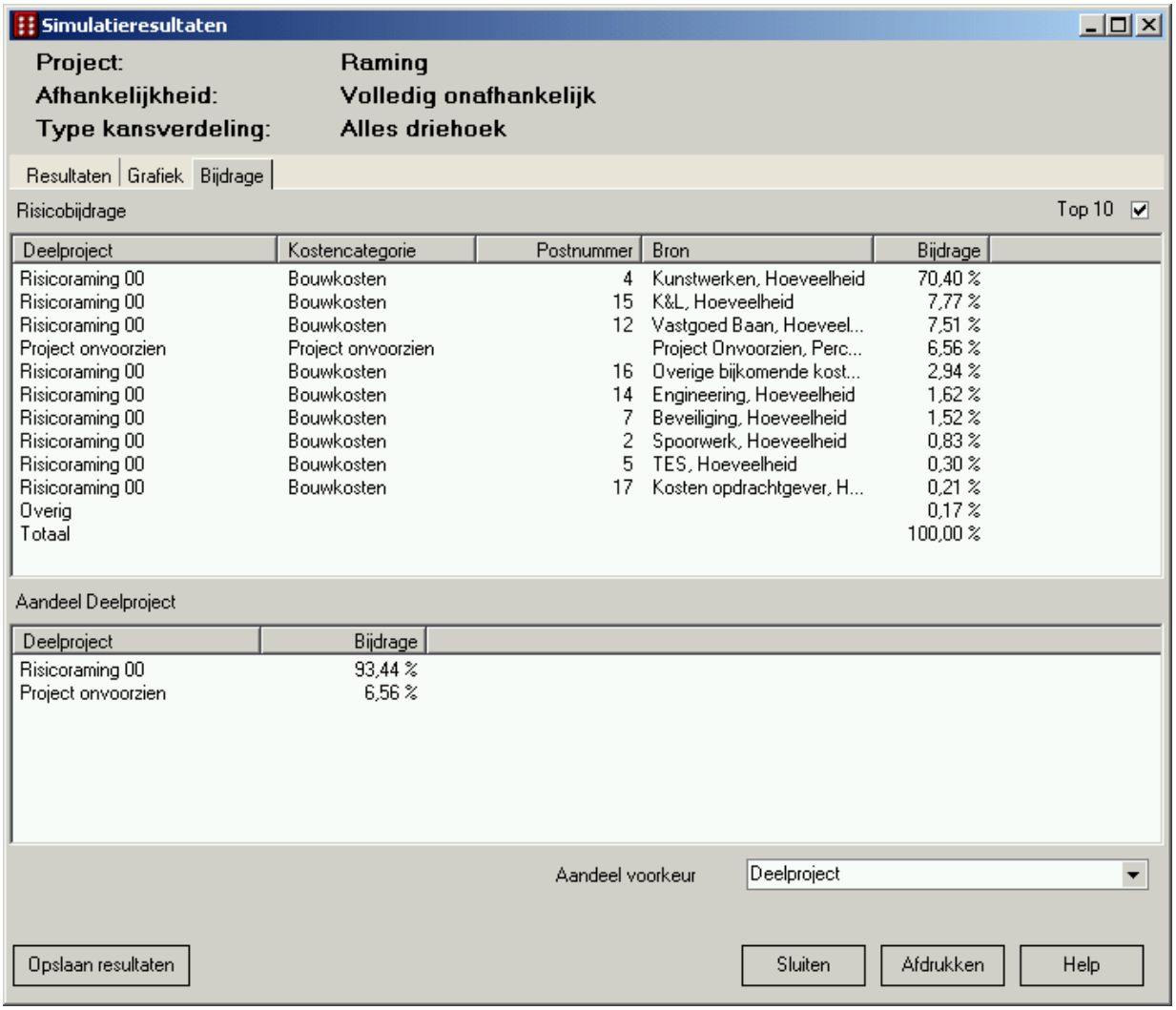
Project: Raming
Afhankelijkheid: Volledig onafhankelijk
Type kansverdeling: Alles driehoek

Resultaten | Grafiek | Bijdrage



☐ BTW ☑ Targets Grafiekvoorkeur Histogram + Onderschrijding

Opslaan resultaten | Sluiten | Afdrukken | Help



Simulatieresultaten

Project: Raming
Afhankelijkheid: Volledig onafhankelijk
Type kansverdeling: Alles driehoek

Resultaten | Grafiek | Bijdrage

Risicobijdrage — Top 10 ☑

Deelproject	Kostencategorie	Postnummer	Bron	Bijdrage
Risicoraming 00	Bouwkosten	4	Kunstwerken, Hoeveelheid	70,40 %
Risicoraming 00	Bouwkosten	15	K&L, Hoeveelheid	7,77 %
Risicoraming 00	Bouwkosten	12	Vastgoed Baan, Hoeveel...	7,51 %
Project onvoorzien	Project onvoorzien		Project Onvoorzien, Perc...	6,56 %
Risicoraming 00	Bouwkosten	16	Overige bijkomende kost...	2,94 %
Risicoraming 00	Bouwkosten	14	Engineering, Hoeveelheid	1,62 %
Risicoraming 00	Bouwkosten	7	Beveiliging, Hoeveelheid	1,52 %
Risicoraming 00	Bouwkosten	2	Spoorwerk, Hoeveelheid	0,83 %
Risicoraming 00	Bouwkosten	5	TES, Hoeveelheid	0,30 %
Risicoraming 00	Bouwkosten	17	Kosten opdrachtgever, H...	0,21 %
Overig				0,17 %
Totaal				100,00 %

Aandeel Deelproject

Deelproject	Bijdrage
Risicoraming 00	93,44 %
Project onvoorzien	6,56 %

Aandeel voorkeur: Deelproject

Opslaan resultaten | Sluiten | Afdrukken | Help

Risicoraming [Volledig afhankelijk én volledig onafhankelijk, overschrijding per discipline 30%]

Deelproject resultaten

Project: Raming
Deelproject: Risicoraming 30

Samenvatting topwaarden | Raming topwaarden | Samenvatting gemiddelden | Raming gemiddelden | Niveau II

Sleep een kolomkop hier naar toe om op te groeperen

Kostencategorie	Kostensoort	Omschrijving	Code	Eenheid	Hoeveelheid	Prijs/e	Kosten	Btw
Bouwkosten	Direct, bekend	Baanbouw			1,00	€ 19,86	€ 19,86	€ 3,77
Bouwkosten	Direct, bekend	Spoorwerk			1,00	€ 52,73	€ 52,73	€ 10,02
Bouwkosten	Direct, bekend	Perronbouw			1,00	€ 0,41	€ 0,41	€ 0,08
Bouwkosten	Direct, bekend	Kunstwerken			1,00	€ 366,28	€ 366,28	€ 69,59
Bouwkosten	Direct, bekend	TES			1,00	€ 26,67	€ 26,67	€ 5,07
Bouwkosten	Direct, bekend	Tractie en Voeding			1,00	€ 12,48	€ 12,48	€ 2,37
Bouwkosten	Direct, bekend	Beveiliging			1,00	€ 70,39	€ 70,39	€ 13,37
Bouwkosten	Direct, bekend	K&L Technische installaties			1,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
Bouwkosten	Direct, bekend	Stations			1,00	€ 7,27	€ 7,27	€ 1,38
Bouwkosten	Direct, bekend	Geluid en hekwerken			1,00	€ 14,42	€ 14,42	€ 2,74
Bouwkosten	Direct, bekend	Landschappelijke inpassing			1,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
Bouwkosten	Direct, bekend	Vastgoed Baan			1,00	€ 75,92	€ 75,92	€ 14,42
Bouwkosten	Direct, bekend	Vastgoedkosten Kunstwerken			1,00	€ 1,35	€ 1,35	€ 0,26
Bouwkosten	Direct, bekend	Engineering			1,00	€ 74,72	€ 74,72	€ 14,20
Bouwkosten	Direct, bekend	K&L			1,00	€ 79,88	€ 79,88	€ 15,18
Bouwkosten	Direct, bekend	Overige bijkomende kosten			1,00	€ 80,24	€ 80,24	€ 15,25
Bouwkosten	Direct, bekend	Kosten opdrachtgever			1,00	€ 26,48	€ 26,48	€ 5,03
							€ 909,09	€ 172,73

Sortering herstellen | Sluiten | Afdrukken | Help

Deelproject resultaten

Project: Raming
Deelproject: Risicoraming 30

Samenvatting topwaarden | Raming topwaarden | Samenvatting gemiddelden | Raming gemiddelden | Niveau II

Sleep een kolomkop hier naar toe om op te groeperen

Kostencategorie	Kostensoort	Omschrijving	Code	Eenheid	Hoeveelheid	Prijs/e	Kosten	Btw
Bouwkosten	Direct, bekend	Baanbouw			1,03	€ 19,86	€ 20,53	€ 3,90
Bouwkosten	Direct, bekend	Spoorwerk			1,03	€ 52,73	€ 54,48	€ 10,35
Bouwkosten	Direct, bekend	Perronbouw			1,03	€ 0,41	€ 0,42	€ 0,08
Bouwkosten	Direct, bekend	Kunstwerken			1,03	€ 366,28	€ 378,49	€ 71,91
Bouwkosten	Direct, bekend	TES			1,00	€ 26,67	€ 26,67	€ 5,07
Bouwkosten	Direct, bekend	Tractie en Voeding			1,00	€ 12,48	€ 12,48	€ 2,37
Bouwkosten	Direct, bekend	Beveiliging			1,00	€ 70,39	€ 70,39	€ 13,37
Bouwkosten	Direct, bekend	K&L Technische installaties			1,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
Bouwkosten	Direct, bekend	Stations			1,00	€ 7,27	€ 7,27	€ 1,38
Bouwkosten	Direct, bekend	Geluid en hekwerken			1,03	€ 14,42	€ 14,90	€ 2,83
Bouwkosten	Direct, bekend	Landschappelijke inpassing			1,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
Bouwkosten	Direct, bekend	Vastgoed Baan			1,13	€ 75,92	€ 86,04	€ 16,35
Bouwkosten	Direct, bekend	Vastgoedkosten Kunstwerken			1,13	€ 1,35	€ 1,53	€ 0,29
Bouwkosten	Direct, bekend	Engineering			1,02	€ 74,72	€ 75,96	€ 14,43
Bouwkosten	Direct, bekend	K&L			1,13	€ 79,88	€ 90,53	€ 17,20
Bouwkosten	Direct, bekend	Overige bijkomende kosten			1,02	€ 80,24	€ 81,57	€ 15,50
Bouwkosten	Direct, bekend	Kosten opdrachtgever			1,02	€ 26,48	€ 26,92	€ 5,11
							€ 948,19	€ 180,16

Sortering herstellen | Sluiten | Afdrukken | Help

Deelproject resultaten

Project: Raming
Deelproject: Risicoraming 30

Samenvatting topwaarden | Raming topwaarden | Samenvatting gemiddelden | Raming gemiddelden | Niveau II

Kostencategorie	Kostensoort	Omschrijving	Mu (h)	Sigma (h)	Mu (e)	Sigma (e)	Mu (post)	Sigma (post)
Bouwkosten	Direct, bekend	Baanbouw	1,05	0,14	19,86	0,00	20,78	2,69
Bouwkosten	Direct, bekend	Spoorwerk	1,05	0,14	52,73	0,00	55,15	7,14
Bouwkosten	Direct, bekend	Perronbouw	1,05	0,14	0,41	0,00	0,43	0,06
Bouwkosten	Direct, bekend	Kunstwerken	1,05	0,18	366,28	0,00	383,11	66,15
Bouwkosten	Direct, bekend	TES	1,00	0,14	26,67	0,00	26,67	3,61
Bouwkosten	Direct, bekend	Tractie en Voeding	1,00	0,14	12,48	0,00	12,48	1,69
Bouwkosten	Direct, bekend	Beveiliging	1,00	0,14	70,39	0,00	70,39	9,53
Bouwkosten	Direct, bekend	K&L Technische installaties	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bouwkosten	Direct, bekend	Stations	1,00	0,27	7,27	0,00	7,27	1,97
Bouwkosten	Direct, bekend	Geluid en hekwerken	1,05	0,14	14,42	0,00	15,08	1,95
Bouwkosten	Direct, bekend	Landschappelijke inpassing	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bouwkosten	Direct, bekend	Vastgoed Baan	1,19	0,27	75,92	0,00	90,00	20,57
Bouwkosten	Direct, bekend	Vastgoedkosten Kunstwerken	1,19	0,27	1,35	0,00	1,60	0,37
Bouwkosten	Direct, bekend	Engineering	1,02	0,16	74,72	0,00	76,43	11,80
Bouwkosten	Direct, bekend	K&L	1,19	0,27	79,88	0,00	94,69	21,64
Bouwkosten	Direct, bekend	Overige bijkomende kosten	1,02	0,16	80,24	0,00	82,08	12,68
Bouwkosten	Direct, bekend	Kosten opdrachtgever	1,02	0,16	26,48	0,00	27,09	4,18
SubTotaal		Normale onzekerheden					963,25	75,88
SubTotaal		Bijzondere gebeurtenissen					0,00	0,00
Totaal							963,25	75,88
BTW							183,02	
Totaal		inclusief BTW					1.146,27	

Sluiten | Afdrukken | Help

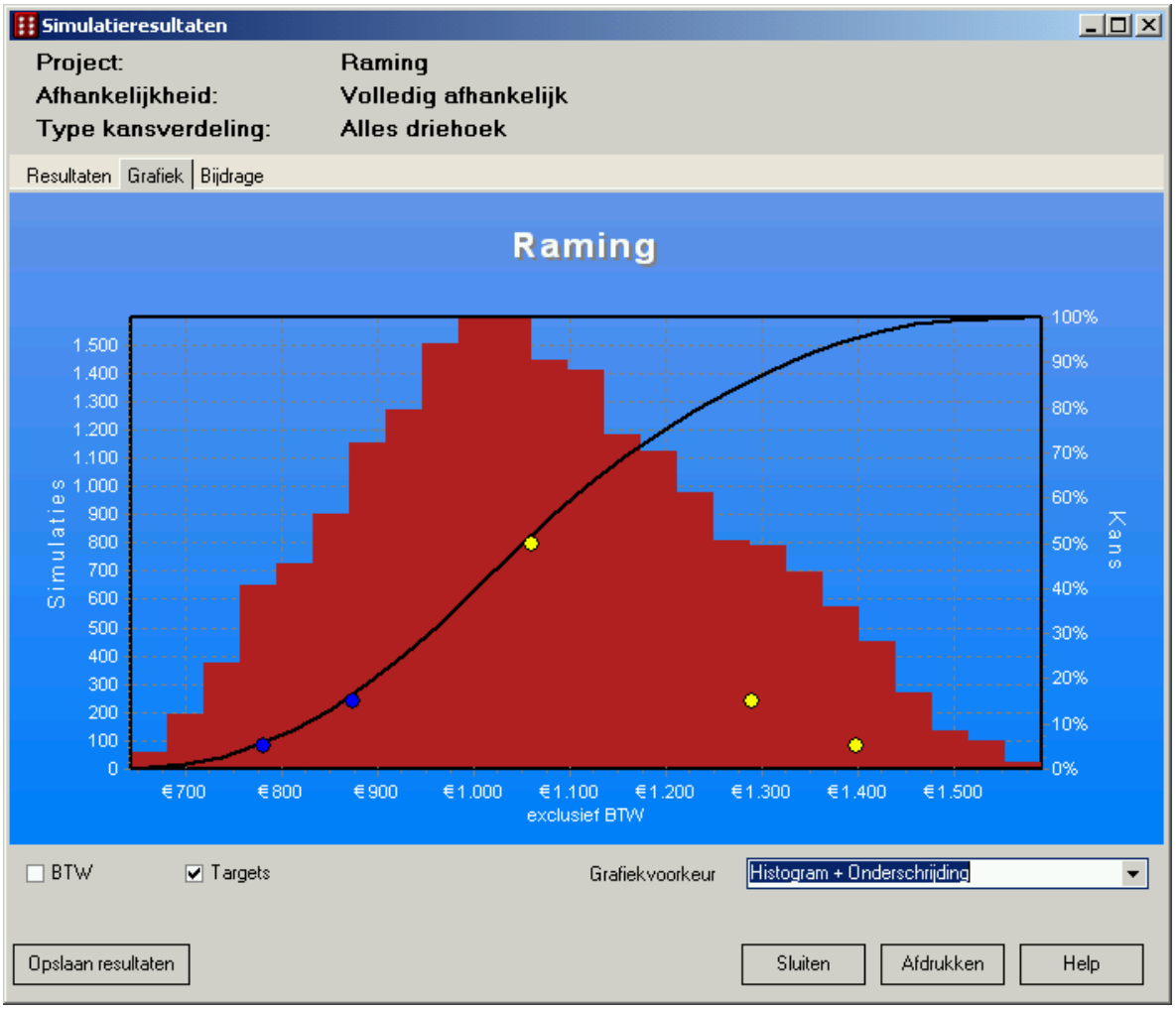
Simulatieresultaten

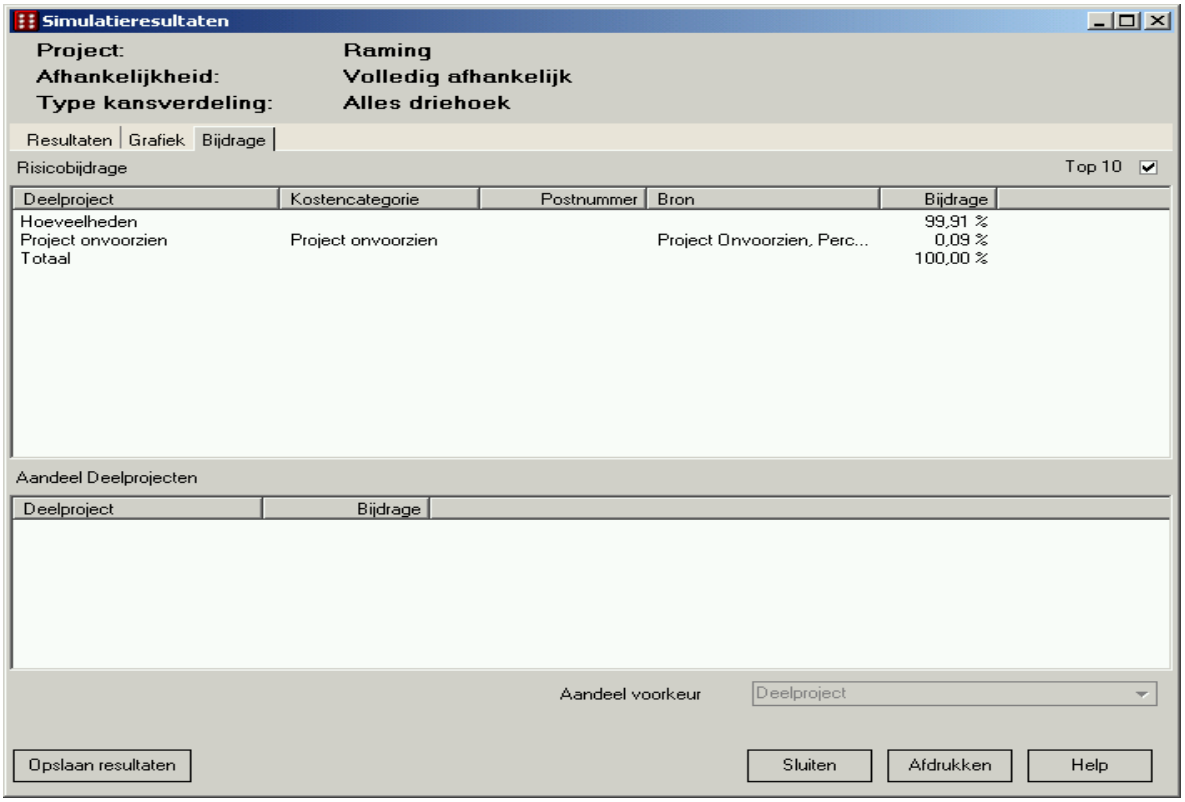
Project: Raming
Afhankelijkheid: Volledig afhankelijk
Type kansverdeling: Alles driehoek

Resultaten | Grafiek | Bijdrage

Omschrijving	Type	Waarde	Resultaat excl. BTW	Resultaat incl. BTW
5%<	Kans <	5 %	€ 781,50	€ 915,43
15%<	Kans <	15 %	€ 874,20	€ 1.022,47
50%>	Kans >	50 %	€ 1.060,25	€ 1.239,80
15%>	Kans >	15 %	€ 1.290,10	€ 1.508,53
5%>	Kans >	5 %	€ 1.399,49	€ 1.636,86
Simulatiedatum		21-2-2006 12:45:47		
Aantal runs		10.000		
Minimum waarde			€ 642,72	€ 756,40
Maximum waarde			€ 1.591,95	€ 1.852,87
Verwachtingswaarde (Mu)			€ 1.074,13	€ 1.256,43
Sigma			€ 186,85	€ 217,98
Variatie			17,40 %	17,35 %
Meest waarschijnlijke waarde (T)			€ 1.000,00	€ 1.172,73
Scheefheid			0,22	0,21
Winstcriterium	0,00 %	€ 0,00	n.v.t.	n.v.t.
Verliescriterium	0,00 %		€ 1.591,95	€ 1.852,87
Blootstellingscriterium	0,00 %	€ 0,00	€ 1.591,95	€ 1.852,87

Opslaan resultaten | Sluiten | Afdrukken | Help


Simulatieresultaten
Project: Raming
Afhankelijkheid: Volledig afhankelijk
Type kansverdeling: Alles driehoek
Resultaten
Grafiek
Bijdrage
Raming
Simulaties
Kans
1.500
1.400
1.300
1.200
1.100
1.000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
€700
€800
€900
€1.000
€1.100
€1.200
€1.300
€1.400
€1.500
exclusief BTW
BTW
Targets
Grafiekvoorkeur
Histogram + Onderschrijding
Opslaan resultaten
Sluiten
Afdrukken
Help


Simulatieresultaten
Project: Raming
Afhankelijkheid: Volledig afhankelijk
Type kansverdeling: Alles driehoek
Resultaten
Grafiek
Bijdrage
Risicobijdrage
Top 10
Deelproject
Kostencategorie
Postnummer
Bron
Bijdrage
Hoeveelheden 99,91 %
Project onvoorzien Project onvoorzien Project Onvoorzien, Perc... 0,09 %
Totaal 100,00 %
Aandeel Deelprojecten
Deelproject
Bijdrage
Aandeel voorkeur
Deelproject
Opslaan resultaten
Sluiten
Afdrukken
Help

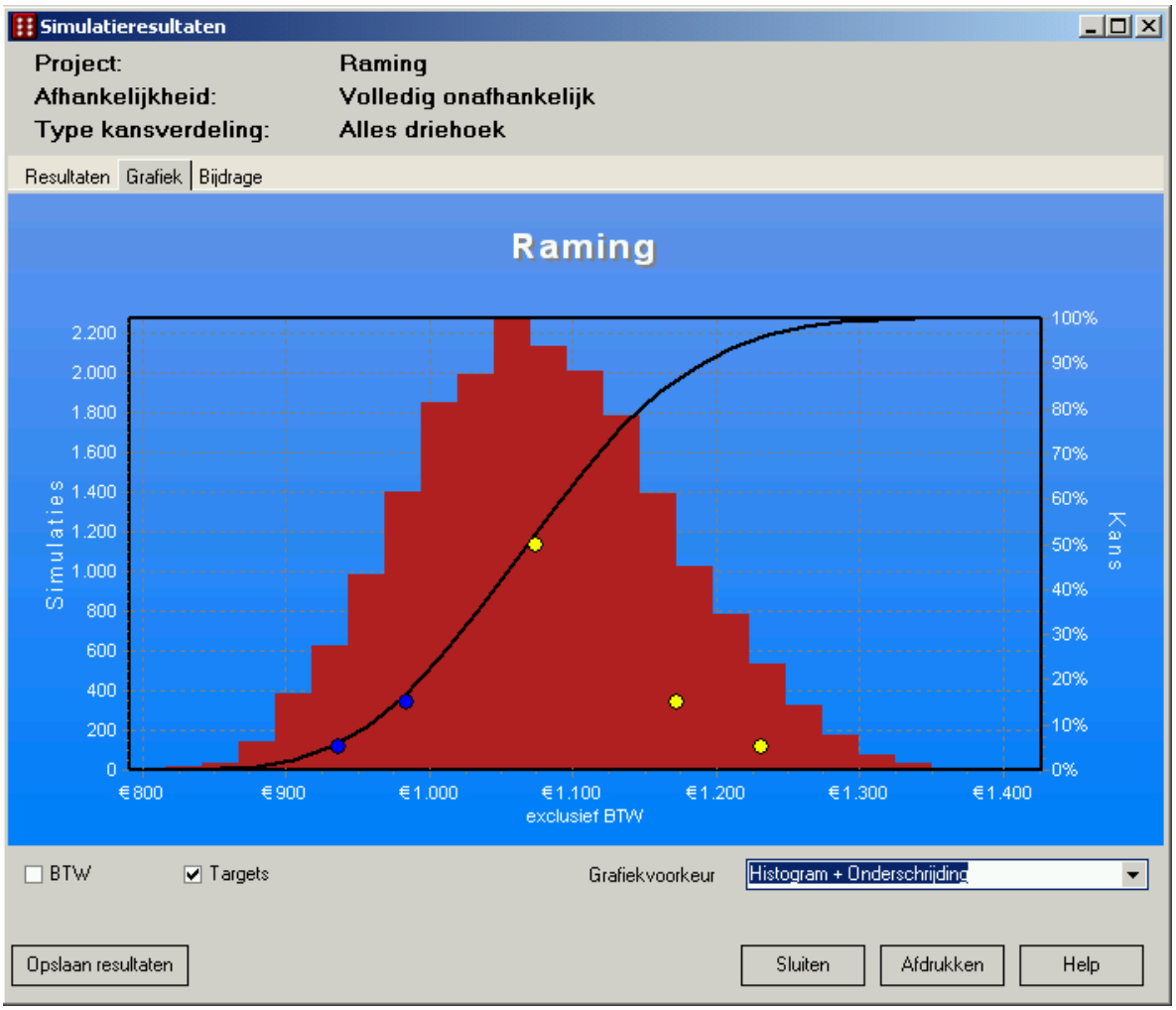
Simulatieresultaten

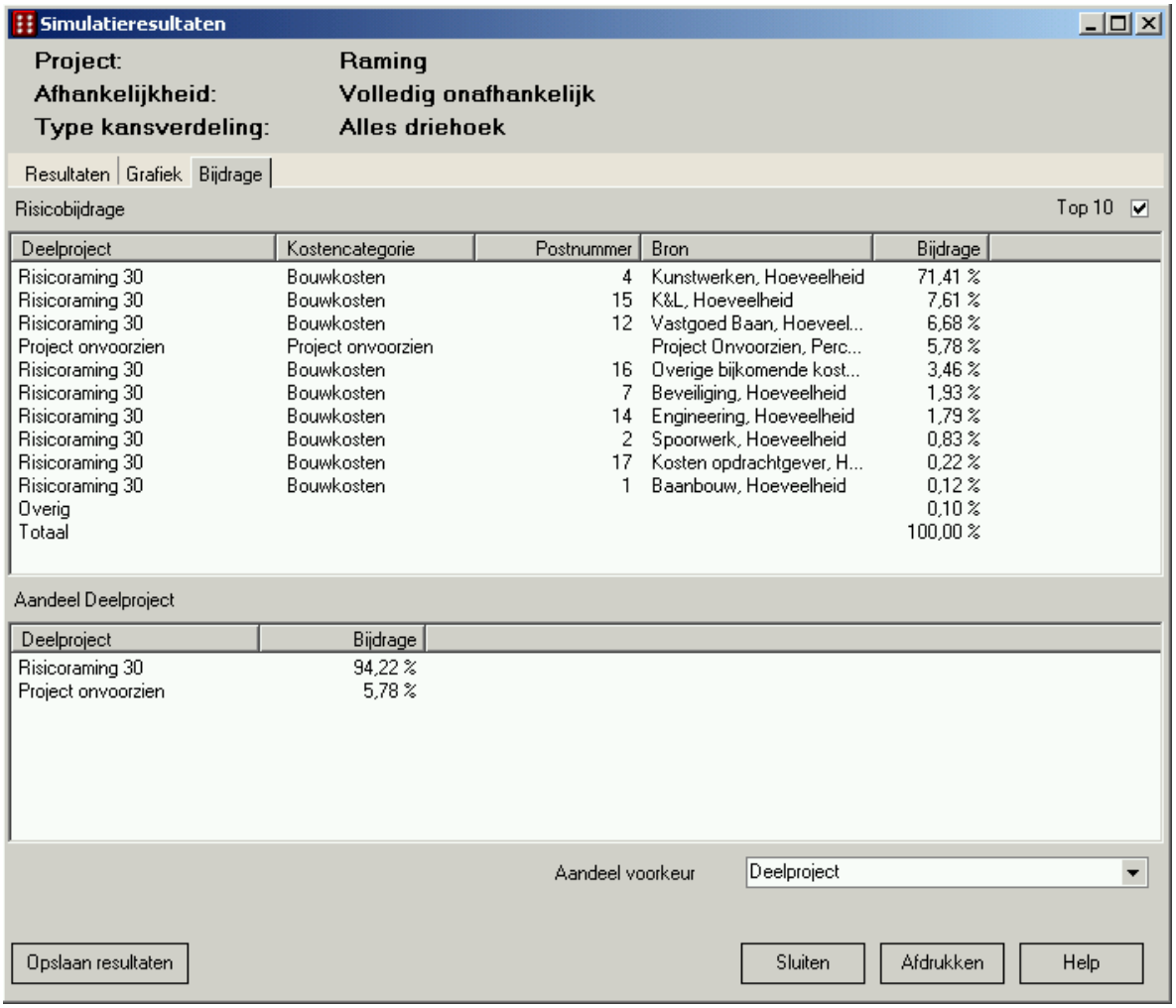
Project: Raming
Afhankelijkheid: Volledig onafhankelijk
Type kansverdeling: Alles driehoek

Resultaten | Grafiek | Bijdrage

Omschrijving	Type	Waarde	Resultaat excl. BTW	Resultaat incl. BTW
5%<	Kans <	5 %	€ 936,69	€ 1.096,84
15%<	Kans <	15 %	€ 984,26	€ 1.152,26
50%>	Kans >	50 %	€ 1.074,30	€ 1.256,89
15%>	Kans >	15 %	€ 1.172,12	€ 1.370,43
5%>	Kans >	5 %	€ 1.231,08	€ 1.438,19
Simulatiedatum		21-2-2006 12:50:49		
Aantal runs		10.000		
Minimum waarde			€ 790,80	€ 931,01
Maximum waarde			€ 1.426,97	€ 1.658,59
Verwachtingswaarde (Mu)			€ 1.077,63	€ 1.260,61
Sigma			€ 88,92	€ 102,87
Variatie			8,25 %	8,16 %
Meest waarschijnlijke waarde (T)			€ 1.000,00	€ 1.172,73
Scheefheid			0,18	0,17
Winstcriterium	0,00 %	€ 0,00	n.v.t.	n.v.t.
Verliescriterium	0,00 %		€ 1.426,97	€ 1.658,59
Blootstellingscriterium	0,00 %	€ 0,00	€ 1.426,97	€ 1.658,59

Opslaan resultaten | Sluiten | Afdrukken | Help





Simulatieresultaten

Project: Raming
Afhankelijkheid: Volledig onafhankelijk
Type kansverdeling: Alles driehoek

Resultaten | Grafiek | Bijdrage

Risicobijdrage — Top 10 ☑

Deelproject	Kostencategorie	Postnummer	Bron	Bijdrage
Risicoraming 30	Bouwkosten	4	Kunstwerken, Hoeveelheid	71,41 %
Risicoraming 30	Bouwkosten	15	K&L, Hoeveelheid	7,61 %
Risicoraming 30	Bouwkosten	12	Vastgoed Baan, Hoeveel...	6,68 %
Project onvoorzien	Project onvoorzien		Project Onvoorzien, Perc...	5,78 %
Risicoraming 30	Bouwkosten	16	Overige bijkomende kost...	3,46 %
Risicoraming 30	Bouwkosten	7	Beveiliging, Hoeveelheid	1,93 %
Risicoraming 30	Bouwkosten	14	Engineering, Hoeveelheid	1,79 %
Risicoraming 30	Bouwkosten	2	Spoorwerk, Hoeveelheid	0,83 %
Risicoraming 30	Bouwkosten	17	Kosten opdrachtgever, H...	0,22 %
Risicoraming 30	Bouwkosten	1	Baanbouw, Hoeveelheid	0,12 %
Overig				0,10 %
Totaal				100,00 %

Aandeel Deelproject

Deelproject	Bijdrage
Risicoraming 30	94,22 %
Project onvoorzien	5,78 %

Aandeel voorkeur: Deelproject

Opslaan resultaten | Sluiten | Afdrukken | Help

Bijlage K

De gevolgen van het onafhankelijk beschouwen van kostensoorten

GEVOLGEN VAN HET ONAFHANKELIJK BESCHOUWEN VAN KOSTENSOORTEN

Ten behoeve van de ontwikkeling van het Niveau-II spreadsheetmodel hebben kostendeskundigen van Holland Railconsult op basis van kennis en ervaring invulling gegeven aan het verloop van de bandbreedte. Het aandeel *nader te detailleren kosten* en het aandeel *onvoorziene kosten* zijn afhankelijk van de RVOI-fase bepaald. Per RVOI-fase hebben de kostendeskundigen de percentages bepaald waarbij de *bekende voorziene kosten* als uitgangspunt zijn gebruikt.
De percentages die bepaald zijn voor het *nader te detailleren* zijn percentages over de *bekende voorziene kosten*. De percentages die zijn bepaald ten aanzien van het *object onvoorzien* hebben betrekking op de voorziene kosten (de som van bekende voorziene kosten en nader te detailleren kosten). Het *project onvoorzien* heeft betrekking op de *basisraming* (de optelling van de bekende, de nader te detailleren en kosten en het object onvoorzien). In de onderstaande tabel zijn de bevindingen weergegeven.[1]

RVOI-fase	Bekende voorziene kosten	Ntd voorziene kosten	Object onvoorzien	Project onvoorzien
1	100,00%	20,00%	10,00%	20,00%
2	100,00%	15,00%	7,50%	15,00%
3	100,00%	5,00%	5,00%	12,50%
4	100,00%	0,00%	0,00%	10,00%

Tabel 1: percentages nader te detailleren, object onvoorzien en project onvoorzien in de tijd.

Voor het bepalen van de verwachtingswaarden van de kostensoorten wordt gebruik gemaakt van lineaire vermenigvuldiging. Gebruikmakend van formule 01 is invulling gegeven aan de bekende voorziene kosten zodat de totaalsom per RVOI-fase uitkomt op 100. In tabel 2 zijn de verwachtingswaarden van de kostensoorten weergegeven opdat de verwachtingswaarde bij elke fase gelijk aan 100 is.

Formule 01 $$\%_{bk} = \frac{1}{(1+\%_{ntd})(1+\%_{po})(1+\%_{po})} * 100\%$$

RVOI-fase	Bekende voorziene kosten	Ntd voorziene kosten	Object onvoorzien	Project onvoorzien	Totaal:
1	63,13	12,63	7,58	16,67	100
2	70,34	10,55	6,07	13,04	100
3	80,62	4,03	4,23	11,11	100
4	90,91	0,00	0,00	9,09	100

Tabel 2: De verwachtingswaarden van nader te detailleren, object onvoorzien en project onvoorzien.

Verondersteld wordt dat de standaardafwijking van het *nader te detailleren* groter of gelijk is aan de spreiding behorend bij de *bekende voorziene kosten*. De spreiding die samenhangt met het object onvoorzien zal onder normale omstandigheden gedeeltelijk zijn opgebouwd uit *kans & gevolg* berekeningen. De corresponderende spreiding zal dan relatief gezien die van het *nader te detailleren* overtreffen. De maximale spreiding wordt gevonden bij het *project onvoorzien* aangezien deze kostensoort bijna volledig opgebouwd wordt met *kans & gevolg* berekeningen.

In de onderstaande exercitie is als uitgangspunt gehanteerd dat de bijtelling van het *nader te detailleren*, het *object onvoorzien* en het *project onvoorzien* niet mag leiden tot een verkleining van de variatiecoëfficiënt van de als uitgangspunt gekozen bekende voorziene kosten. Bekeken is wat de standaardafwijkingen van de betreffende kostenposten moeten zijn zodat de variatiecoëfficiënt van de totale raming gelijk is aan de variatiecoëfficiënt van de *bekende voorziene kosten*. Ter bepaling van de standaardafwijkingen zijn de onderstaande formules afgeleidt:

$$\frac{\sigma_{bk}}{\mu_{bk}} = \frac{\sqrt{\sigma_{bk}^2 + \sigma_{ntd}^2}}{\mu_{bk} + \mu_{ntd}}$$

[1] Opgemerkt dient te worden dat de percentages sterk projectafhankelijk zijn.

$$\sqrt{\sigma_{bk}^2 + \sigma_{ntd}^2} = \frac{\sigma_{bk}\left(\mu_{bk} + \mu_{ntd}\right)}{\mu_{bk}}$$

$$\sigma_{ntd}^2 = \left(\frac{\sigma_{bk}\left(\mu_{bk} + \mu_{ntd}\right)}{\mu_{bk}}\right)^2 - \sigma_{bk}^2$$

Formule 02 $$\sigma_{ntd} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{bk}\left(\mu_{bk} + \mu_{ntd}\right)}{\mu_{bk}}\right)^2 - \sigma_{bk}^2}$$

Op overeenkomstige wijze valt af te leiden dat:

Formule 03 $$\sigma_{oo} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{bk}\left(\mu_{bk} + \mu_{ntd} + \mu_{oo}\right)}{\mu_{bk}}\right)^2 - \sigma_{bk}^2 - \sigma_{ntd}^2}$$

Formule 04 $$\sigma_{po} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{bk}\left(\mu_{bk} + \mu_{ntd} + \mu_{oo} + \mu_{po}\right)}{\mu_{bk}}\right)^2 - \sigma_{bk}^2 - \sigma_{ntd}^2 - \sigma_{po}^2}$$

De standaardafwijkingen voor de kostensoorten zijn bepaald met behulp van de formules 02 tot en met 04. De standaardafwijkingen zijn weergegeven in tabel 3, in tabel 4 is de variatiecoëfficiënt per kostensoort bepaald door het quotiënt te nemen van de waarden uit de tabellen 2 en 3.

RVOI-fase	Bekende voorziene kosten	Ntd voorziene kosten	Object onvoorzien	Project onvoorzien	Totaal:
1	25,25	16,75	13,89	22,11	40
2	17,58	9,99	7,98	12,35	25
3	8,06	2,58	2,71	4,58	10
4	4,55	0,00	0,00	2,08	5

Tabel 3: De standaardafwijkingen van nader te detailleren, object onvoorzien en project onvoorzien.

RVOI-fase	Bekende voorziene kosten	Ntd voorziene kosten	Object onvoorzien	Project onvoorzien	Totaal:
1	0,40	1,33	1,83	1,33	0,40
2	0,25	0,95	1,31	0,95	0,25
3	0,10	0,64	0,64	0,41	0,10
4	0,05	0,00	0,00	0,23	0,05

Tabel 4: De variatiecoëfficiënten van nader te detailleren, object onvoorzien en project onvoorzien.

Uit tabel 4 wordt geconcludeerd dat de variatiecoëfficiënten van de posten *nader te detailleren*, *object onvoorzien* en *project onvoorzien* in veel gevallen meer dan 100% moet bedragen om ervoor zorg te dragen dat deze posten geen verlaging van de variatiecoëfficiënten van de totale raming teweegbrengen.

RVOI-fase	Bekende voorziene kosten	Ntd voorziene kosten	Object onvoorzien	Project onvoorzien
1	T ± 98%	T ± 325%	T ± 449%	T ± 325%
2	T ± 61%	T ± 232%	T ± 322%	T ± 232%
3	T ± 24%	T ± 157%	T ± 157%	T ± 101%
4	T ± 12%	0%	0%	T ± 56%

Tabel 5: De LTU-waarden van nader te detailleren, object onvoorzien en project onvoorzien.

Stel dat de posten *nader te detailleren*, *object onvoorzien* en *project onvoorzien* middels de LTU-benadering in de raming worden opgenomen. In tabel 5 zijn L en U als functie van T uitgedrukt, opdat de variatiecoëfficiënten van tabel 4 worden bereikt, hierbij is uitgegaan van een symmetrische LTU-verdeling. De tabel toont aan dat zelfs in RVOI-fase 3 waarden van boven de 100% noodzakelijk zijn om ervoor te zorgen dat de bijtelling van de posten *nader te detailleren*, *object onvoorzien* en *project onvoorzien* niet resulteert in een afname van de variatiecoëfficiënt.

Opgemerkt dient te worden dat bij percentages van boven de 100% de L-waarde een negatieve waarde is. Dit is zeer opvallend aangezien negatieve waarden in de raming staan voor inkomsten in plaats van uitgaven!

Stel dat de opdrachtgever eisen stelt ten aanzien van de bekende én nader te detailleren voorziene kosten, het object onvoorzien en het project onvoorzien. Afhankelijk van de projectfase hanteert de opdrachtgever de onderstaande eisen wanneer LTU-waarden in de raming worden opgenomen:

- RVOI-fase 1 T ± 100%
- RVOI-fase 2 T ± 50%
- RVOI-fase 3 T ± 25%
- RVOI-fase 4 T ± 10%

In tabel 6 zijn de bandbreedten berekend die volgen bij het gebruik van de bovenstaande LTU-waarden. Uit de tabel valt af te lezen dat de bandbreedte van het totale project smaller is dan de bandbreedten die bij de traditionele wijze van ramen werden geaccepteerd.

RVOI-fase	Bekende voorziene kosten	Ntd voorziene kosten	Object onvoorzien	Project onvoorzien	Totaal:
1	25,77	5,15	3,09	6,80	27,33
2	14,36	2,15	1,24	2,66	14,81
3	8,23	0,41	0,43	1,13	8,33
4	3,71	0,00	0,00	0,37	3,73

Tabel 6: De bandbreedte bij gebruik van realistische (geaccepteerde) LTU-waarden.

Conclusies

Van de onderstaande bandbreedte per RVOI-fase is uitgegaan:

- RVOI-fase 1 40%
- RVOI-fase 2 25%
- RVOI-fase 3 10%
- RVOI-fase 4 5%

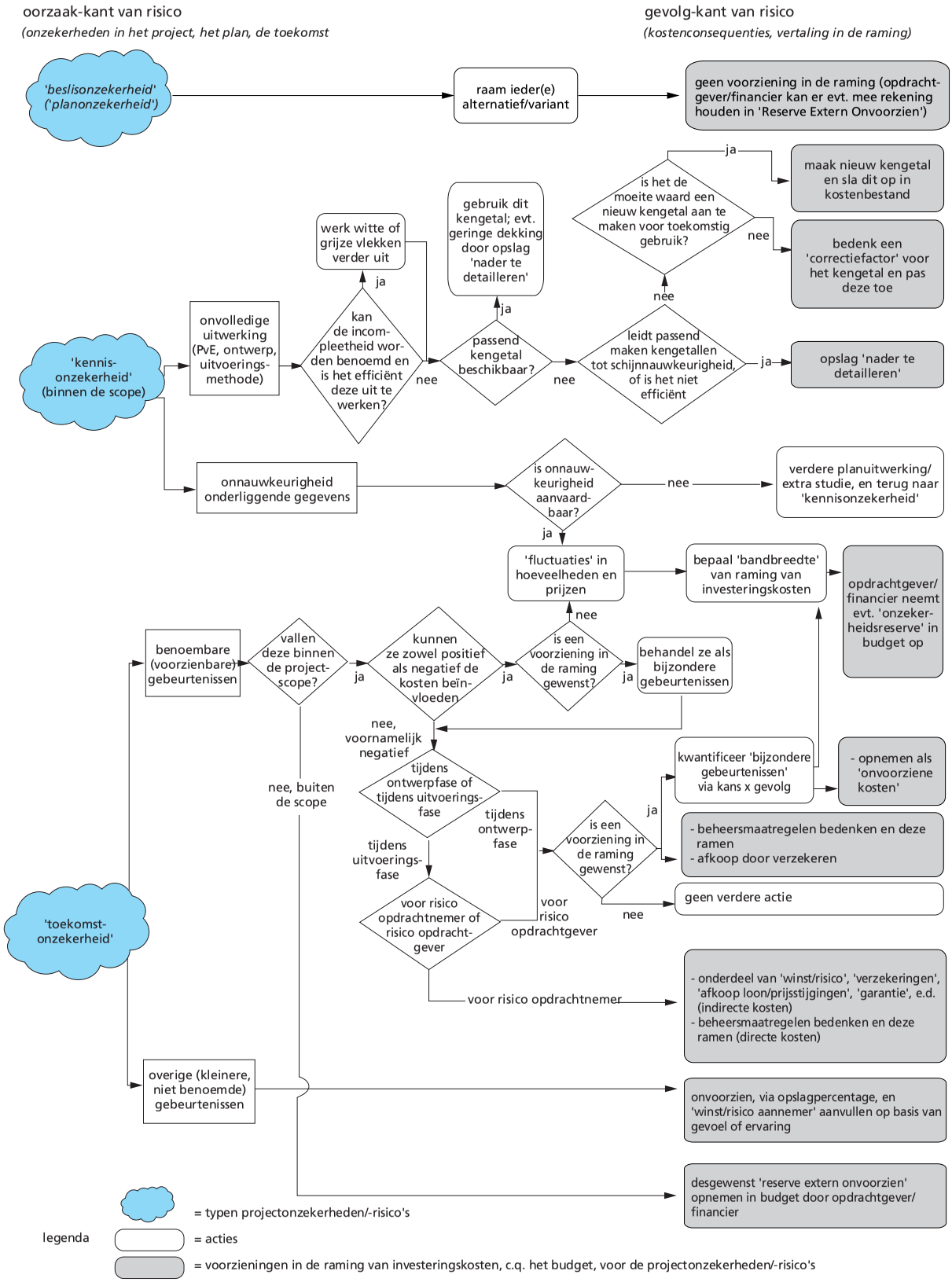
Gebleken is dat de kostendeskundige de LTU-waarden zeer ruim moet ramen om ervoor te zorgen dat de van oudsher geaccepteerde deterministisch bepaalde bandbreedten worden behaald. Uit tabel 5 kan zelfs worden geconcludeerd dat de L- en U-waarden dusdanig ver van de meest waarschijnlijke T-waarde af moeten liggen dat de kostendeskundige deze in zijn vakbekwaamheid moeilijk kan toepassen. Het is immers op zijn minst twijfelachtig of een opdrachtgever negatieve waarden in de raming zal accepteren.

Geconcludeerd wordt dat bij het gebruik van een LTU-waarden die aansluiten bij het “gevoel” van de kostendeskundige wordt gekomen tot bandbreedten die veel kleiner zijn dan de bandbreedten die bij de traditionele wijze van ramen geaccepteerd werden.

Bijlage L

Illustraties uit de SSK:
- Stroomschema
- Investeringsmodel
- Bewerkingen om te ramen
- Probabilistische raming

TERUG


oorzaak-kant van risico
(onzekerheden in het project, het plan, de toekomst
gevolg-kant van risico
(kostenconsequenties, vertaling in de raming)
'beslisonzekerheid' ('planonzekerheid')
raam ieder(e) alternatief/variant
geen voorziening in de raming (opdrachtgever/financier kan er evt. mee rekening houden in 'Reserve Extern Onvoorzien')
ja
maak nieuw kengetal en sla dit op in kostenbestand
is het de moeite waard een nieuw kengetal aan te maken voor toekomstig gebruik?
nee
bedenk een 'correctiefactor' voor het kengetal en pas deze toe
gebruik dit kengetal; evt. geringe dekking door opslag 'nader te detailleren'
werk witte of grijze vlekken verder uit
ja
nee
ja
'kennis-onzekerheid' (binnen de scope)
onvolledige uitwerking (PvE, ontwerp, uitvoerings-methode)
kan de incom-pleetheid wor-den benoemd en is het efficiënt deze uit te werken?
nee
passend kengetal beschikbaar?
nee
leidt passend maken kengetallen tot schijnnauwkeurigheid, of is het niet efficiënt
ja
opslag 'nader te detailleren'
onnauwkeurigheid onderliggende gegevens
is onnauw-keurigheid aanvaard-baar?
nee
verdere planuitwerking/ extra studie, en terug naar 'kennisonzekerheid'
ja
'fluctuaties' in hoeveelheden en prijzen
bepaal 'bandbreedte' van raming van investeringskosten
opdrachtgever/ financier neemt evt. 'onzeker-heidsreserve' in budget op
nee
benoembare (voorzienbare) gebeurtenissen
vallen deze binnen de project-scope?
ja
kunnen ze zowel positief als negatief de kosten beïn-vloeden
ja
is een voorziening in de raming gewenst?
ja
behandel ze als bijzondere gebeurtenissen
nee, voornamelijk negatief
nee, buiten de scope
tijdens ontwerpfase of tijdens uitvoerings-fase
tijdens ontwerp-fase
tijdens uitvoerings-fase
kwantificeer 'bijzondere gebeurtenissen' via kans x gevolg
- opnemen als 'onvoorziene kosten'
ja
is een voorziening in de raming gewenst?
- beheersmaatregelen bedenken en deze ramen
- afkoop door verzekeren
geen verdere actie
nee
voor risico opdrachtnemer of risico opdracht-gever
voor risico opdrachtgever
voor risico opdrachtnemer
- onderdeel van 'winst/risico', 'verzekeringen', 'afkoop loon/prijsstijgingen', 'garantie', e.d. (indirecte kosten)
- beheersmaatregelen bedenken en deze ramen (directe kosten)
'toekomst-onzekerheid'
overige (kleinere, niet benoemde) gebeurtenissen
onvoorzien, via opslagpercentage, en 'winst/risico aannemer' aanvullen op basis van gevoel of ervaring
desgewenst 'reserve extern onvoorzien' opnemen in budget door opdrachtgever/ financier
legenda
= typen projectonzekerheden/-risico's
= acties
= voorzieningen in de raming van investeringskosten, c.q. het budget, voor de projectonzekerheden/-risico's

TERUG

	KOSTENSOORTEN / Kostencategorieën	Voorziene kosten: directe kosten, bekend	Voorziene kosten: directe kosten, nader te detailleren	Voorziene kosten: indirecte kosten, bekend	Voorziene kosten: indirecte kosten, nader te detailleren	Onvoorziene kosten	Totaal
raming van het project binnen de gegeven project-scope	Bouwkosten	X	X	X	X	X	Σ
	Vastgoedkosten	X	X	X	X	X	Σ
	Engineeringskosten	X	X	X	X	X	Σ
	Overige bijkomende kosten	X	X	X	X	X	Σ
	Basisraming	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ
	Project Onvoorzien					X	.....
	Investeringskosten, excl. BTW	.....	.....	.....	.....	Σ	Σ
	BTW						X
	Investeringskosten, incl. BTW	prijspeil: X (dd.mm.jj)					Σ
	Bandbreedte X — X bij X % betrouwbaarheidsinterval						
bepaling van het budget t.b.v. financiering	Onzekerheidsreserve						X
	Reserve extern onvoorzien						X
	TOTAAL AAN TE HOUDEN VOOR BUDGETDOELEINDEN						Σ

Legenda:

X verantwoordelijkheid kostenramer

X verantwoordelijkheid financier

TERUG

KOSTENSOORTEN / kostencategorieën	Voorziene kosten=VK: directe kosten=DK: bekend	Voorziene kosten=VK: directe kosten=DK: nader te detailleren	Voorziene kosten=VK: indirecte kosten=IK: bekend	Voorziene kosten=VK: indirecte kosten=IK: nader te detailleren	Onvoorziene kosten	Totaal
BOUWKOSTEN						
Directe bouwkosten	h x p = BDBK	% x BDBK of h x p				Σ
Indirecte bouwkosten			% x DK en/of h x p = BIBK	% x BIBK of h x p		Σ
Onvoorzien					k x g en/of % x VK of h x p	.....
Totaal Bouwkosten	.....	.....	.....	.....	.....	Σ
VASTGOEDKOSTEN						
Directe vastgoedkosten	h x p = BDVK	% x BDVK of h x p				Σ
Indirecte vastgoedkosten			% x DK en/of h x p = BIVK	% x BIVK of h x p		Σ
Onvoorzien					k x g en/of % x VK of h x p	.....
Totaal Vastgoedkosten	.....	.....	.....	.....	.....	Σ
ENGINEERINGSKOSTEN						
Directe engineeringskosten	h x p = BDEK	% x BDEK of h x p				Σ
Indirecte engineeringskosten			% x DK en/of h x p = BIEK	% x BIEK of h x p		Σ
Onvoorzien					k x g en/of % x VK of h x p	.....
Totaal Engineeringskosten	.....	.....	.....	.....	.....	Σ
OVERIGE BIJKOMENDE KOSTEN						
Directe overige bijkomende kosten	h x p = BDOK	% x BDOK of h x p				Σ
Indirecte overige bijkomende kosten			% x DK en/of h x p = BIOK	% x BIOK of h x p		Σ
Onvoorzien					k x g en/of % x VK of h x p	.....
Totaal overige bijkomende kosten	.....	.....	.....	.....	.....	Σ
BASISRAMING	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ = BR
Totaal overige bijkomende kosten						
Project Onvoorzien					% x BR of k x g of h x p	.....
INVESTERINGSKOSTEN, excl. BTW	.....	.....	.....	.....	Σ	Σ
BTW						.....
INVESTERINGSKOSTEN, incl. BTW	prijspeil ..... (dd.mm.jj)					Σ

Bandbreedte ..... — ..... bij .... % betrouwbaarheidsinterval

Onzekerheidsreserve .....

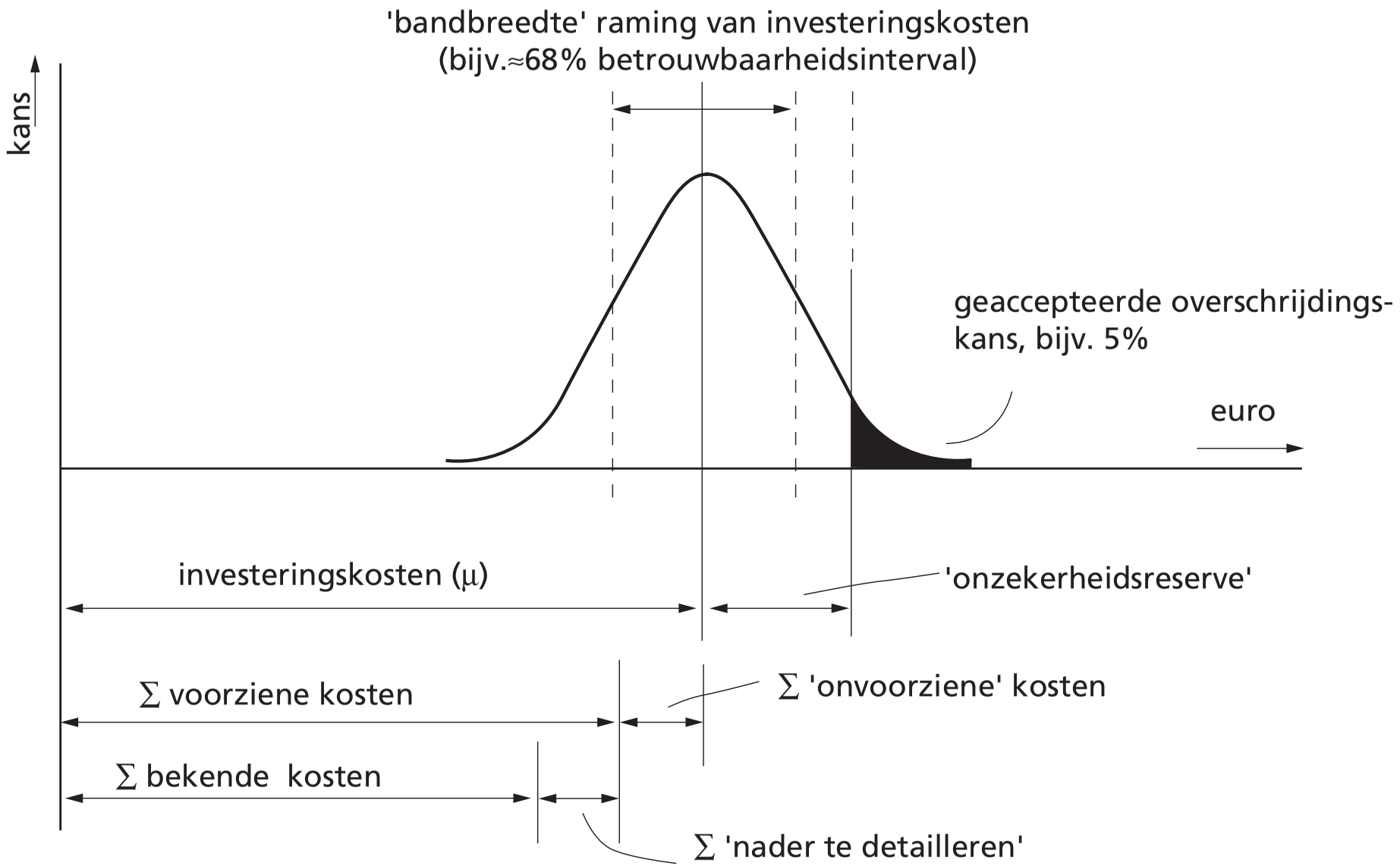
Reserve extern onvoorzien .....

TOTAAL AAN TE HOUDEN VOOR BUDGETDOELEINDEN Σ

Legenda

.....	verantwoordelijkheid ramer	h x p	hoeveelheid maal prijs	% x DK	% maal aangegeven subtotaal
.....	verantwoordelijkheid financier	k x g	kans maal (financieel) gevolg	Σ	som

TERUG


'bandbreedte' raming van investeringskosten
(bijv.≈68% betrouwbaarheidsinterval)
kans
geaccepteerde overschrijdings-
kans, bijv. 5%
euro
investeringskosten (μ)
'onzekerheidsreserve'
∑ voorziene kosten
∑ 'onvoorziene' kosten
∑ bekende kosten
∑ 'nader te detailleren'

Bijlage M

De verbetering van het stroomschema

STROOMSCHEMA

In de SSK is een stroomschema opgenomen waarmee in kaart is gebracht hoe risico's en onzekerheden al dan niet in de raming kunnen worden opgenomen. Het stroomschema is in bijlage L opgenomen. Startpunt is steeds één van de projectonzekerheden (linkerkant van het schema), die door middel van een risicoanalyse geïdentificeerd zijn. In dit stroomschema worden plan-, toekomst- en kennisonzekerheden onderscheiden.

- Toekomstonzekerheid
  Gebeurtenissen die in de toekomst liggen en die invloed hebben op (de kosten van) het bouwproject. Deze gebeurtenissen kunnen gewenst en ongewenst zijn en kunnen deels voorzienbaar (benoembaar), deels onvoorzienbaar (onbenoembaar) zijn.

- Kennisonzekerheid (beschrijvende onzekerheid)
  Het ontbreken van informatie om een keuze/beschrijving te maken van de alternatieven/varianten, de situatie, het scenario, het systeem of de variabelen.

- Beslisonzekerheid (planonzekerheid)
  De onzekerheid of de juiste alternatieven of varianten bij een plan gekozen zijn, de onzekerheid of er geen andere alternatieven/varianten zijn en de onduidelijkheid over de voorkeur.

Het stroomschema zoals opgenomen in de SSK geeft een goede indicatie over de wijze waarop risico's en onzekerheden in de raming moeten worden opgenomen. Het schema kent echter ook enkele zwakke punten:

1. Ten eerste legt het stroomschema de nadruk op de "telling" van de raming. Wanneer het stroomschema doorlopen wordt blijkt dat de acties veelal betrekking hebben op een handeling waardoor het risico of de onzekerheid in een vast bedrag wordt vertaald. Het verwerken van de "spreiding" in de raming als gevolg van het risico of de onzekerheid wordt in veel gevallen niet als actie onderscheiden. Dit staat haaks op het paradigma van de SSK namelijk dat de "bandbreedte" van de raming bottom up kan worden berekend.

2. Een tweede zwakte van het stroomschema is dat door de hoge graad van detaillering de suggestie wordt gewekt dat deze uitontwikkeld is. Het opstellen van een gedegen kostenraming is echter een dusdanig complex proces dat dit niet in detail is op te nemen in een stroomschema. Een stroomschema is wel geschikt ter indicatie.

3. Het derde punt van kritiek betreft het volgende, in het stroomschema zijn plan-, toekomst- en kennisonzekerheden opgenomen waarmee indirect wordt gesuggereerd dat dit de enige bronnen zijn die invloed hebben op de (bandbreedte van de) raming. Weliswaar wordt gesproken van "overige (kleinere niet benoemde) gebeurtenissen als aanvulling op de drie typen onzekerheden, maar deze vervullen slechts een ondergeschikte rol.

Verbeteringen ten aanzien van het stroomschema

Ten aanzien van het stroomschema in de SSK is een verbeterslag gemaakt waarbij gestreefd is naar een zo hoog mogelijk abstractieniveau. In het stroomschema zijn naast plan-, toekomst- en kennisonzekerheden vier andere typen onzekerheden onderscheiden, te weten: design-, aanbiedings-, markt- en budgetonzekerheden. Door deze 'nieuwe' onzekerheden expliciet in het stroomschema op te nemen wordt invulling gegeven aan één van de uitkomsten van het onderzoek, namelijk dat nog niet alle bronnen van bandbreedte zijn geïdentificeerd. Daarnaast is in het stroomschema dusdanig aangepast dat conform de bottom up benadering elke onzekerheid vertaald wordt in een actie die betrekking heeft voor zowel de "telling" als de "bandbreedte" van de raming. Daarnaast is in het stroomschema aangegeven of een actie invloed heeft op de bepaling van de grootte van de door de opdrachtgever te bepalen "onzekerheidsreserve" en/of de "reserve extern onvoorzien".

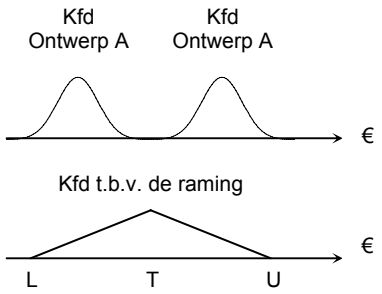
Planonzekerheden
Bij planonzekerheden bestaat onduidelijkheid over het te realiseren alternatief. In de SSK wordt gesteld dat voor elke variant een aparte raming dient te worden gemaakt. Indien de varianten aanzienlijk van elkaar verschillen is dit een logische actie. Moeilijker wordt het echter wanneer de varianten dichter bijeen liggen, in een dergelijk geval kan desgewenst in overleg met de opdrachtgever één variant worden geraamd en desgewenst een voorziening in bijvoorbeeld de "onzekerheidsreserve" worden opgenomen om dekking te geven aan de planonzekerheid. De opdrachtgever is verantwoordelijk voor het bepalen van de *reserve extern onvoorzien*.

Kennisonzekerheden
Bij kennisonzekerheden is het van belang te bepalen of de onzekerheid betrekking heeft op "onvolledige uitwerking" van het ontwerp of dat de onzekerheid betrekking heeft op de "onnauwkeurigheid van de onderliggende gegevens". *Onvolledige uitwerking* treedt vooral in de vroege RVOI fasen op wanneer het hoofdontwerp wel vastligt maar nog niet in detail uitgewerkt is. In een dergelijk geval heeft de onzekerheid betrekking op de bekende kosten en kan de telling en de bandbreedte door een LTU-benadering voor zowel prijs als hoeveelheid bepaald worden. Van *onnauwkeurigheid in onderliggende gegevens* is sprake indien het ontwerp definitief en uitgewerkt is maar desondanks het ontwerp of de uitvoeringsmethode niet volstaat om alles onder bekende kosten te ramen. In een dergelijk geval biedt de kostensoort "nader te detailleren" uitkomst en kan invulling aan deze kostensoort worden gegeven door gebruik van een opslagpercentage door deze te ramen met behulp van LTU-waarden. Hierbij dient te worden opgemerkt dat het nader te detailleren een grotere standaardafwijking heeft in vergelijking tot de bekende kosten. De kostendeskundige is verantwoordelijk voor de vertaling van kennisonzekerheden in de raming. In het stroomschema zijn daarom ook geen acties opgenomen waarbij de verantwoordelijkheid ligt bij de opdrachtgever.

Toekomstonzekerheden
Kostenposten die vallen onder de noemer toekomstonzekerheden zijn het moeilijkste in de raming op te nemen. Wanneer een toekomstonzekerheid is geïdentificeerd en in de raming dient te worden opgenomen dan moet allereerst bepaald worden of deze toekomstonzekerheid binnen of buiten de scope van het project valt. Dit lijkt triviaal doch onderzoek heeft uitgewezen dat het merendeel van de kostenoverschrijdingen toe te wijzen is aan ongebudgetteerde scopewijzigingen. Wanneer een toekomstonzekerheid buiten de scope van het project valt dient in samenwerking met de opdrachtgever bepaald te worden hoe het risico/onzekerheid in de raming moet worden opgenomen. Immers de kostendeskundige is verantwoordelijk voor de raming *binnen* de scope van het project, de kostendeskundige heeft enkel een adviserende rol voor zaken die *buiten* de scope van het project vallen.
Wanneer toekomstonzekerheden binnen de scope van het project vallen dan dient te worden bepaald of deze al dan niet toebehoren aan een specifiek object, indien dit niet het geval is dan dient de toekomstonzekerheid opgenomen te worden onder het project onvoorzien. Bij elk geïdentificeerde onzekerheid dient te worden nagegaan of een beheersmaatregel op zijn plaats is.
Eén van de uitkomsten van het onderzoek is dat niet alle onvoorziene kosten [object of project onvoorzien] voor realisatie kunnen worden voorzien. In het stroomschema zijn daarom de niet te identificeren onvoorziene kosten expliciet opgenomen.

Design-, aanbiedings-, markt- en budgetonzekerheden
Het stroomschema van de SSK is uitgebreid met vier “nieuwe” onzekerheden. De onzekerheden zijn moeilijk te concretiseren maar zijn nadrukkelijk opgenomen in het stroomschema om aan te geven dat de raming van investeringskosten niet enkel uit plan-, kennis- en toekomstonzekerheden bestaat. De verantwoordelijkheid bij het ramen van design-, aanbiedings-, markt- en budgetonzekerheden ligt bij de opdrachtgever. De opdrachtgever dient namelijk zelf te omwille van de budgetraming te bepalen op welke wijze dekking wordt gegeven aan deze onzekerheden. De kostendeskundige heeft wel een adviserende rol.

Designonzekerheden
Onder designonzekerheid wordt de onzekerheid ten aanzien van het ontwerp verstaan. Vooral in vroege projectfasen is de onzekerheid ten aanzien van de definitieve invulling van het ontwerp dusdanig groot dat de LTU-benadering in sommige gevallen wellicht ongeschikt is. In het stroomschema in de SSK wordt dit niet onderkend.
In vroege ontwerpfasen kan het voorkomen dat het nog niet bekend is of deelontwerp A of deelontwerp B in het definitieve ontwerp zal worden opgenomen. Een dergelijk designonzekerheid is niet goed te beschrijven met een LTU-benadering zoals de onderstaande illustratie weergeeft.

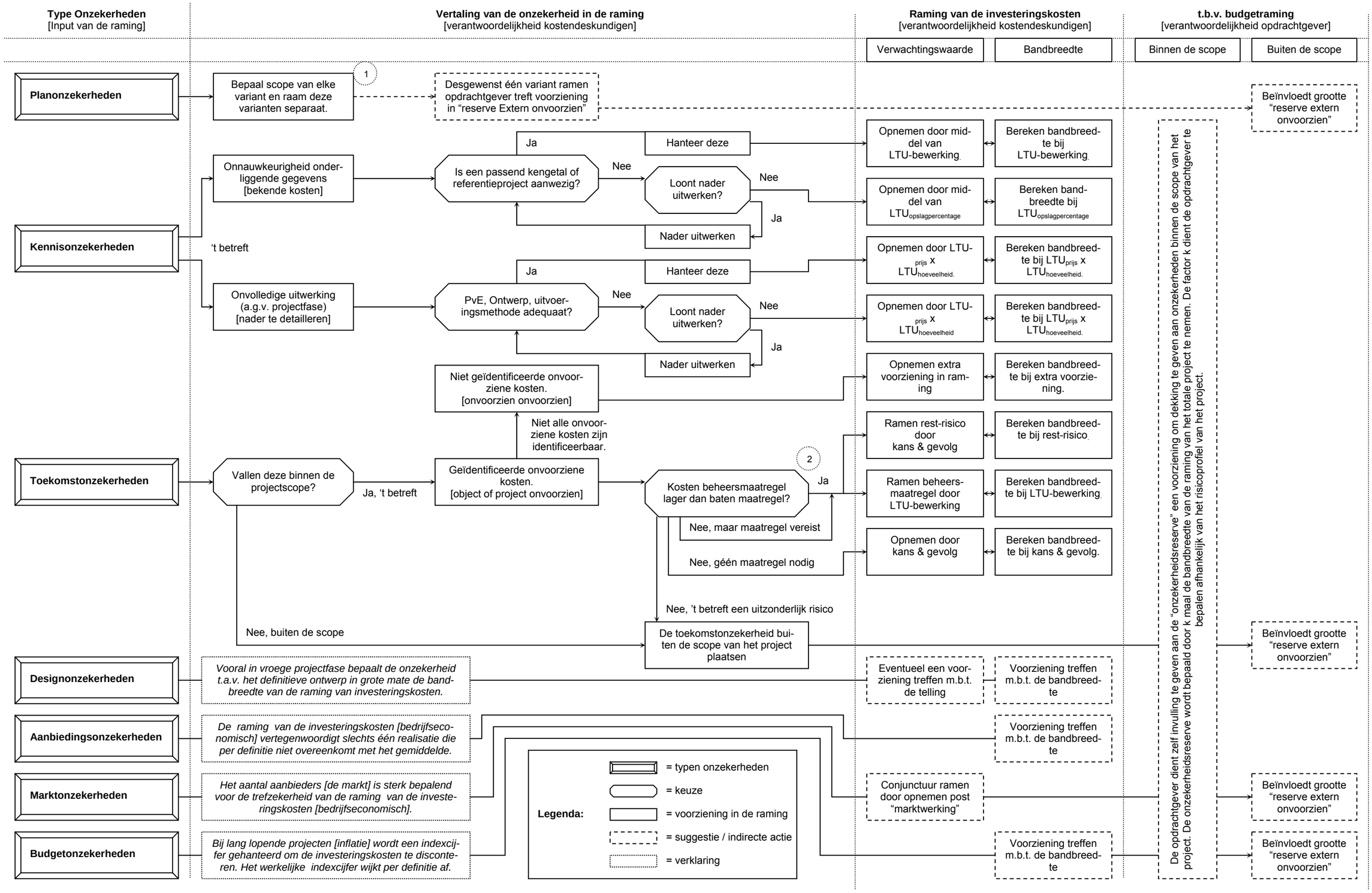


Aanbiedingsonzekerheden
Met aanbiedingsonzekerheid[1] wordt bedoeld dat de raming van de kostendeskundige slechts één realisatie is die per definitie niet overeenkomt met het gemiddelde. Wanneer meerdere kostendeskundigen het project zouden ramen dan is de gemiddelde raming een betere indicator voor de investeringskosten van het project dan wanneer één enkele kostenraming wordt beschouwd. De bandbreedte behorend bij de deze gemiddelde raming zal echter groter zijn dan wanneer één enkele kostenraming wordt beschouwd.
Daarnaast is de wijze van contracteren van belang. Een project kan als één groot project op de markt worden gezet maar het project kan ook als een aantal afzonderlijke deelprojecten op de markt worden aangeboden. Dit heeft consequenties ten aanzien van de bandbreedte van het totale project.

Marktonzekerheden
Een derde bron van onzekerheid/bandbreedte die niet in originele stroomschema is opgenomen betreft de marktonzekerheid. De raming van de investeringskosten is een bedrijfseconomische raming, de trefzekerheid van de raming wordt ondermijnd doordat deze raming een voorspelling dient te geven van marktramingen. In de bedrijfseconomische raming wordt geen rekening gehouden met zaken als marktconjunctuur, bedrijfsstrategie, bedrijfscontinuïteit et cetera. Wanneer de raming wordt gebruikt ter indicatie van de markt dan dient rekening gehouden te worden met deze bron van onzekerheden.

Budgetonzekerheden
Budgetonzekerheid speelt met name bij meerjarige projecten. Bij het ramen van de investeringskosten van grote (meerjarige) projecten worden uitgaven in de toekomst verdisconteerd naar een vooraf bepaald prijspijl. Ramingen in verschillende projectfasen worden onderling vergelijkbaar door in elke raming hetzelfde prijspeil te hanteren. Het verdisconteren is noodzakelijk om de devaluatie van het geld in de loop der tijd te compenseren. Voor het verdisconteren worden percentages aangehouden, deze percentages zijn een voorspelling en elke voorspelling of onzekerheid dient in de raming vertaald te worden in bandbreedte.
Het ministerie van financiën stelt bij meerjarige projecten een budgetindex vast waarmee gedurende het project mee wordt verdisconteerd. Deze budgetindex kan afwijken met de werkelijke waarde.

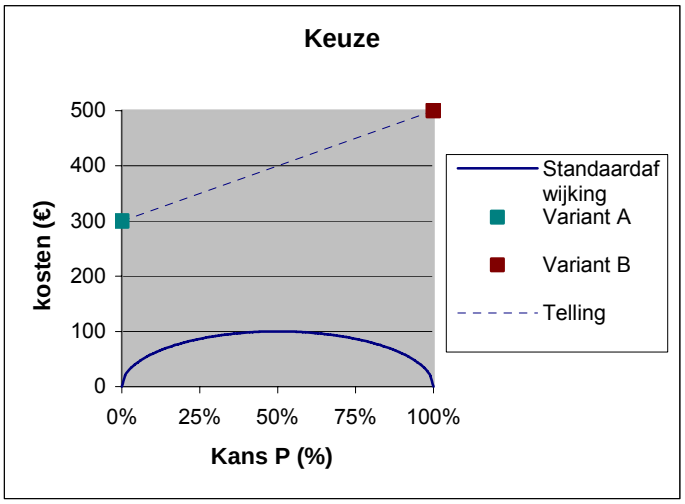
[1] Zie ondermeer Bijlage E


Type Onzekerheden
[Input van de raming]
Vertaling van de onzekerheid in de raming
[verantwoordelijkheid kostendeskundigen]
Raming van de investeringskosten
[verantwoordelijkheid kostendeskundigen]
t.b.v. budgetraming
[verantwoordelijkheid opdrachtgever]
Verwachtingswaarde
Bandbreedte
Binnen de scope
Buiten de scope
Planonzekerheden
Bepaal scope van elke variant en raam deze varianten separaat.
1
Desgewenst één variant ramen opdrachtgever treft voorziening in "reserve Extern onvoorzien"
Beïnvloedt grootte "reserve extern onvoorzien"
Kennisonzekerheden
't betreft
Onnauwkeurigheid onderliggende gegevens [bekende kosten]
Is een passend kengetal of referentieproject aanwezig?
Ja
Hanteer deze
Nee
Loont nader uitwerken?
Nee
Ja
Nader uitwerken
Onvolledige uitwerking (a.g.v. projectfase) [nader te detailleren]
PvE, Ontwerp, uitvoeringsmethode adequaat?
Ja
Hanteer deze
Nee
Loont nader uitwerken?
Nee
Ja
Nader uitwerken
Niet geïdentificeerde onvoorziene kosten. [onvoorzien onvoorzien]
Niet alle onvoorziene kosten zijn identificeerbaar.
Toekomstonzekerheden
Vallen deze binnen de projectscope?
Ja, 't betreft
Geïdentificeerde onvoorziene kosten. [object of project onvoorzien]
2
Kosten beheersmaatregel lager dan baten maatregel?
Ja
Nee, maar maatregel vereist
Nee, géén maatregel nodig
Nee, 't betreft een uitzonderlijk risico
Nee, buiten de scope
De toekomstonzekerheid buiten de scope van het project plaatsen
Opnemen door middel van LTU-bewerking
Bereken bandbreedte bij LTU-bewerking
Opnemen door middel van LTUopslagpercentage
Bereken bandbreedte bij LTUopslagpercentage
Opnemen door LTUprijs x LTUhoeveelheid
Bereken bandbreedte bij LTUprijs x LTUhoeveelheid
Opnemen door LTUprijs x LTUhoeveelheid
Bereken bandbreedte bij LTUprijs x LTUhoeveelheid
Opnemen extra voorziening in raming
Bereken bandbreedte bij extra voorziening.
Ramen rest-risico door kans & gevolg
Bereken bandbreedte bij rest-risico
Ramen beheersmaatregel door LTU-bewerking
Bereken bandbreedte bij LTU-bewerking
Opnemen door kans & gevolg
Bereken bandbreedte bij kans & gevolg
De opdrachtgever dient zelf invulling te geven aan de "onzekerheidsreserve" een voorziening om dekking te geven aan onzekerheden binnen de scope van het project. De onzekerheidsreserve wordt bepaald door k maal de bandbreedte van de raming van het totale project te nemen. De factor k dient de opdrachtgever te bepalen afhankelijk van het risicoprofiel van het project.
Designonzekerheden
Vooral in vroege projectfase bepaalt de onzekerheid t.a.v. het definitieve ontwerp in grote mate de bandbreedte van de raming van investeringskosten.
Eventueel een voorziening treffen m.b.t. de telling
Voorziening treffen m.b.t. de bandbreedte
Beïnvloedt grootte "reserve extern onvoorzien"
Aanbiedingsonzekerheden
De raming van de investeringskosten [bedrijfseconomisch] vertegenwoordigt slechts één realisatie die per definitie niet overeenkomt met het gemiddelde.
Voorziening treffen m.b.t. de bandbreedte
Marktonzekerheden
Het aantal aanbieders [de markt] is sterk bepalend voor de trefzekerheid van de raming van de investeringskosten [bedrijfseconomisch].
Conjunctuur ramen door opnemen post "marktwerking"
Beïnvloedt grootte "reserve extern onvoorzien"
Budgetonzekerheden
Bij lang lopende projecten [inflatie] wordt een indexcijfer gehanteerd om de investeringskosten te disconteren. Het werkelijke indexcijfer wijkt per definitie af.
Voorziening treffen m.b.t. de bandbreedte
Beïnvloedt grootte "reserve extern onvoorzien"
Legenda:
= typen onzekerheden
= keuze
= voorziening in de raming
= suggestie / indirecte actie
= verklaring

Uitleg van de asterisken opgenomen in het stroomschema:

1 Varianten / Ontwerpkeuzen

Een probleem dat bij plan- en kennisonzekerheden kan optreden is dat de keuze uit twee of meer alternatieven in een bepaald stadium nog niet gemaakt is. Bij dit soort keuzes is het van groot belang dat naast de *telling* ook de *bandbreedte* in de raming wordt opgenomen. In de onderstaande figuur is dit probleem gevisualiseerd.



In de raming kan een dergelijk probleem het beste worden opgenomen door uit te gaan van de goedkoopste variant en afhankelijk van de kans van optreden van de duurdere variant een voorziening ten aanzien van de bandbreedte en de telling te treffen. De bandbreedte en de verwachtingswaarde dienen op de onderstaande wijze in de raming te worden opgenomen.

Variant A ≥ Variant B
P = kans op variant B
G = Variant B – Variant A
Verwachtingswaarde: Variant A + PG
Standaardafwijking: G * $\sqrt{P(1-P)}$

2 Beheersmaatregelen

Wanneer toekomstonzekerheden zijn geïdentificeerd en in de raming verwerkt moeten worden is het van belang om te bepalen of beheersmaatregelen op zijn plaats zijn. Een beheersmaatregel moet in de raming worden opgenomen indien de kosten van deze maatregelen lager zijn dan de baten als gevolg van de beheersmaatregel. Beheersmaatregelen kunnen op de onderstaande wijze worden genomen:

- Beheersen door risico te verzekeren, in sommige gevallen kan bijvoorbeeld een CAR-verzekering voor het risico worden afgesloten.
- Beheersen door risico in te perken, maatregelen nemen waardoor de kans van optreden wordt verkleind en/of maatregelen nemen waardoor het financiële gevolg bij optreden wordt verminderd.
- Beheersen door het risico uit te sluiten, dit kan door te kiezen voor bijvoorbeeld een andere uitvoeringsmethode.

Het voorkomen dat een beheersmaatregel verijst is ondanks het feit dat de baten van de maatregel lager zijn dan de kosten van de beheersmaatregel. Dit kan wanneer de opdrachtgever een beheersmaatregel wenst, maar het kan ook voorkomen dat een maatregel wordt doorgevoerd om de bandbreedte te reduceren. In uitzonderlijke gevallen is het noodzakelijk om een toekomstonzekerheid in overleg met de opdrachtgever buiten de scope van het project te plaatsen. Dit moet plaatsvinden wanneer een klein risico een gevolg heeft dusdanig groot is dat zowel de telling als de bandbreedte van dit risico buitenproportioneel zijn ten opzichte van de projectraming.