

Elementaire gevoeligheidsanalyse

Dr. M. S. A. Vrijland

1.	Inleiding	C2200- 3
2.	Het rekenmodel	C2200- 4
3.	Gevoeligheidsanalyse	C2200- 7
4.	Dimensieloze gevoeligheid s	C2200- 9
5.	Monte Carlo-methode	C2200-10
6.	Discussie	C2200-14
7.	Literatuur	C2200-16

1. Inleiding

Tot de taken van de cost engineer behoort het ramen en begroten van investeringsprojecten. In de conceptuele fase van een project gaat dat aan de hand van spaarzame en nog in hoge mate voor verandering vatbare ontwerpgegevens. Maar ook tegen de tijd dat het ontwerp min of meer uitgekristalliseerd is, en de definitieve begroting voor budgetbeheersing in de bouwfase wordt opgesteld, zijn er nog steeds veel onzekerheden. Ook die taakstellende begroting berust op aannames met betrekking tot de kosten van materialen en arbeid en de ontwikkeling daarin.

Een begroting is in feite een rekenkundig model. De einduitkomst berust op het optellen van de producten van vermenigvuldiging van tot wel honderden parameters, die stuk voor stuk min of meer variabel zijn. Elke variabele heeft zijn eigen onzekerheidsmarge, en de einduitkomst dus ook. Het bepalen van de onzekerheidsmarge in de einduitkomst is een onderdeel van de onzekerheids- of risicoanalyse. Om te voorkomen dat tijd en geld verspild worden aan het preciseren van variabelen die de uitkomst niet of nauwelijks beïnvloeden richt de risicoanalyse zich in de eerste plaats op die variabelen die de grootste invloed hebben op de einduitkomst. Het opsporen daarvan is het doel van een gevoeligheidsanalyse.

Aan de hand van een rekenmodel wordt ingegaan op het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse in de praktijk en de wijze waarop de resultaten gepresenteerd kunnen worden. Het model is onveranderd overgenomen uit het verslag van de technisch economische evaluatie van een destillatie-unit [Maessen, 1985]. De door deze auteur gebruikte en geproduceerde data zijn niet omgerekend van guldens in euro's, en evenmin geactualiseerd. Wie zich daaraan stoort zou overal waar $NLG_{(1985)}$ staat heel goed $EUR_{(2003)}$ of € kunnen lezen. Het gaat in deze bijdrage immers niet om de feitelijke waarde van de in- en uitvoergegevens, maar om een in beginsel tijdsafhankelijke gevoeligheidsanalyse.

In drie tabellen zijn de door Maessen [1985] gebruikte data verzameld. Dit maakt het de lezer eenvoudig het rekenmodel als *spreadsheet*model te reproduceren.

2. Het rekenmodel

Maessen [1985] ontwierp een roestvast stalen vacuümdestillatiekolom met 40 zeefschotels, 20 m hoog, en met een diameter van 1,6 m. Hiermee kan 5000 kg/h ruw vetzuur in 95% opbrengst gezuiverd worden tot een verkoopbaar product. In tabel 1 wordt de investeringsraming gegeven, terwijl tabel 2 de parameters en variabelen geeft die als invoergegevens nodig zijn voor de gevoeligheidsanalyse.

	[kNLG ₁₉₈₅] ¹
Apparatuur	1 401
Montage	140
Leidingen	679
Isolatie	164
Instrumentatie	490
Electro	84
Bouw	338
Schilderwerk	49
Reservedelen en tijdelijke voorzieningen	237
Engineering	892
Onvoorzien	669
Totaal (na afronding, prijspeil 3Q85)	5 200

¹ Omdat het in dit hoofdstuk toch om een in beginsel tijdsafhankelijke gevoeligheidsanalyse gaat werd er voor gekozen de kostengegevens niet te actualiseren.

Tabel 1. Investeringsraming voor de destillatie van 5 ton/h ruw vetzuur [Maessen, 1985].

Totaal investeringsbedrag (uit tabel 1)	NLG		5.200.000
Eerste termijn (Eoy0) ¹	31/12/85	NLG	3.000.000
Tweede termijn (Eoy1)	31/12/86	NLG	2.200.000
Economische Levensduur	jaar		10
Sloopwaarde	NLG		0
Afschrijving	Lineair over economische levensduur		
Verzekering	% van de boekwaarde		1,0
Onderhoud eerste 5 jaar	% van de investering		4,0
Onderhoud na 5 jaar	% van de investering		5,0
Bedrijfstijd	uur/jaar		8000
Personeelskosten			380.000
Overheadkosten			2.100.000
In- en verkoopkosten			1.000.000
Voeding ruw vetzuur	kg/h		5000
Inkoopprijs	NLG/kg		3,00
Utilities			
	<i>inkoopprijs</i>	<i>verbruik</i>	
aardgas	NLG/Nm ³	0,50 Nm ³ /j	337.600
elektra	NLG/kWh	0,20 kWh/j	121.390
koelwtr	NLG/m ³	0,10 m ³ /j	344.000
stoom	NLG/ton	40,00 ton/j	428
Opslag t.b.v. verversing hot oil systeem, etc.: %			20,0
Productie zuiver vetzuur	kg/h		4750
Verkoopopbrengst	NLG/kg		3,30
Bodemproduct	kg/h		100
Verkoopopbrengst	NLG/kg		0,10
Topproduct	kg/h		140
Verkoopopbrengst	NLG/kg		0,00

¹ Eoy0 is „Einde jaar 0”, het basistijdstip voor de Netto Contante Waarde Berekening.

Tabel 2. Invoergegevens voor de economische evaluatie [Maessen, 1985].

Met de gegevens uit tabel 2 is het mogelijk de jaarwinst vóór belasting te berekenen. Om de Netto Contante Waarde van het project over de levensduur te berekenen zijn dan nog het door de fiscus vastgestelde percentage winstbelasting en de door de ondernemingsleiding bepaalde disconteringsvoet nodig. Immers:

C2200-6 Elementaire gevoeligheidsanalyse

$$\text{Netto Contante Waarde}_{16\%, \text{nabel.}} = I_0 + \frac{CF_{1,\text{nabel.}}}{1,16} + \frac{CF_{2,\text{nabel.}}}{1,16^2} + \dots + \frac{CF_{n,\text{nabel.}}}{1,16^n}$$

Daarom worden in tabel 3 nog de disconteringsvoet en het winst-belastingspercentage gegeven. Evenzo de percentages waarmee de diverse kostenposten geacht worden van jaar tot jaar te stijgen.

Winstbelasting	% (1985)	42,0
Disconteringsvoet	%/jaar	16,0
Jaarlijkse stijging personeelslasten	%/j	4,0
Jaarlijkse stijging overheadkosten	%/j	3,0
Jaarlijkse stijging in- en verkoopkosten	%/j	1,0
Jaarlijkse prijsstijging ruw vetzuur	%/j	3,5
Jaarlijkse stijging utiliteitskosten	%/j	5,0
Jaarlijkse stijging opbrengstprijzen	%/j	4,0

Tabel 3. Economisch klimaat.

In tabel 4 is te zien hoe het rekenmodel met de gegevens uit de tabellen 2 en 3 voor de base case komt tot een Netto Contante Waarde, na belasting, van zes en een kwart miljoen gulden.

Een Netto Contante Waarde van 6,26 MNLG houdt in [*Vrijland, 1990*] dat gedurende de levenscyclus van dit project, met deze parameter- en variabelenwaarden:

- de oorspronkelijke investering terugverdiend wordt;
- er een rendement van 16% (na belasting) over het nog niet afgeschreven deel van de investering gegenereerd wordt,
- er een overwinst met een contante waarde van 6,26 MNLG verdiend wordt.

	1985 Eoy 0	1986 1	1987 2	1988 3	..	1996 11
Investering Boekwaarde	3000	2200	5200	4680		520
Verzekering			52	47		5
Onderhoud			208	208		260
Personeel			380	395		541
Overhead			2100	2163		2740
In- en Verkoop			1000	1010		1094
Grondstoffen			120000	124200		163548
Utilities			294	308		455
Totale kosten			124034	128331		168643
Omzet			125480	130499		178597
Exploitatiesaldo			1446	2168		9954
Afschrijving			520	520		520
Fiscale winst			926	1648		9434
Winstbelasting @ 42%			389	692		3962
Netto kasstroom	-3000	-2200	1057	1476		5992
Contant @ 16%	-3000	-1897	786	946		1171
NCW @ 16%	6260	kNLG (na belasting)				

Tabel 4. Het rekenmodel met de invoergegevens uit de tabellen 2 en 3.

Het moge duidelijk zijn dat met deze cijfers de vetzuurdestillatie-unit een aantrekkelijk project lijkt. Hoe staat het er echter voor als één of meer van de aannames te optimistisch zijn? Het zal blijken dat er dan variabelen zijn die bij afwijking het eindresultaat nauwelijks beïnvloeden, en variabelen waar de einduitkomst uitermate gevoelig voor is. Maessen [1985] rekende zelf een aantal pessimistische scenario's door. In de volgende paragraaf zullen we een meer systematische gevoeligheidsanalyse opzetten.

3. Gevoeligheidsanalyse

Een veelgebruikte methode om de gevoeligheid van het eindresultaat van een berekening voor de diverse invoerwaarden te onderzoeken is deze stuk voor stuk een hogere of lagere waarde toe te kennen, en met deze nieuwe waarde het model opnieuw door te rekenen. Zo zal een 10% hoger uitvallende investering de NCW met 461 kNLG laten dalen. Veel dramatischer zou een prijsstijging van

ruw vetzuur zijn. Een 10% hogere prijs, dus 3,30 NLG in plaats van 3,00 NLG zou de NCW met 32.652 kNLG laten dalen, ofwel een positieve NCW van 6,26 MNLG laten verkeren in een negatieve van 26,4 MNLG. Hoewel prijsstijgingen van 10% in de praktijk zeker niet ondenkbaar zijn, manifesteert zich hier toch direct een van de zwakke punten van de stuk-voor-stukbenadering. Het is immers evenmin ondenkbaar dat de hogere grondstofprijs – althans voor een deel – kan worden doorberekend in die van het eindproduct. De voor de hand liggende oplossing is dat niet de grondstofprijs gevarieerd wordt terwijl alle overige variabelen onveranderd blijven, maar dat de *marge* tussen grondstof en product gevarieerd wordt. Zo kunnen paren, trio's, kwartetten, enz. van variabelen gekozen worden die gezamenlijk variëren. In wezen worden op die manier verschillende scenario's doorgerekend.

Een tweede methode kan worden gevonden in het toepassen van de Monte Carlo-techniek waarbij een groot aantal malen alle inputvariabelen tegelijkertijd een willekeurige waarde binnen hun eigen waarschijnlijkheidsgebied wordt toegekend. Deze methode komt in paragraaf 5 kort aan de orde.

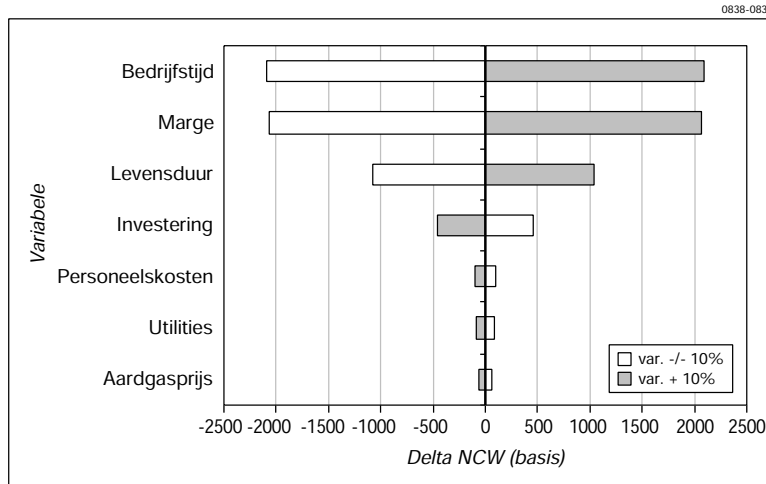
Hierboven werd vooruitgelopen op een presentatiewijze voor de uitkomst van een gevoeligheidsanalyse, namelijk die waarbij de gevoeligheid in contant geld wordt uitgedrukt. Zie tabel 5.

Zie ook figuur 1.	$NCW_{basis}[kNLG]$	Toename (+), Afname (-/-)	
		Var. -/- 10%	Var. + 10%
Bedrijfstijd	6260	-/-2088	+2088
Marge product -/- grondstof	„	-/- 2066	2066
Levensduur	„	+ 1071	-/- 1045
Investing	„	-/- 461	+ 461
Personeelskosten	„	+105	-/- 105
Utilities	„	+ 84	-/- 84
Aardgasprijs	„	+ 58	-/- 58

Tabel 5. Toe- c.q. afname van de NCW_{basis} onder invloed van 10% hogere c.q. 10% lagere waarden voor geselecteerde variabelen.

Deze gegevens kunnen aanschouwelijk gemaakt worden in een zogeheten tornado-plot, figuur 1. De toegevoegde waarde van zowel de tabel als de plot kan worden vergroot door niet alle parameters met hetzelfde percentage te laten variëren, maar de percentages te differentiëren naar waarschijnlijkheid. Zo zou zeker in de concep-

tuele fase de investering bijvoorbeeld met ± 30% gevarieerd kunnen worden, de levensduur met ± 20%, en de personeelskosten (in het eerste bedrijfsjaar) met ± 5%. De ingezette percentages moeten dan per variabele wel duidelijk aangegeven en onderbouwd worden!



Figuur 1. De invloed van geselecteerde variabelen op de NCW_{basis}

4. Dimensieloze gevoeligheids

In de vorige paragraaf is de invoerwaarde van de verschillende variabelen gevarieerd met een relatief hoog percentage. Het doel was daarbij om de effecten van de variatie in geld uit te drukken.

In voorkomende gevallen kan het prettig zijn de gevoeligheid dimensieloos aan te geven. In feite zou men dan voor $i = (1 \dots n)$ variabelen de partiële afgeleide ($\partial (NCW_{basis}) / \partial (variabele_i)$) willen bepalen. In de praktijk kan dit worden bereikt door de te onderzoeken variabele niet met 10% of meer, maar slechts in minieme mate, bijvoorbeeld met 1 ppm te laten stijgen.

$$S_i = \frac{\frac{\Delta NCW_{basis}}{NCW_{basis}}}{\frac{\Delta variabele_i}{variabele_i}} \text{ met } \Delta variabele_i = 10^{-6} \times variabele_i$$

Zo werden voor de vetzuurdestillatiekolom de in tabel 6 gegeven waarden berekend.

Twee zaken vragen speciale aandacht bij het bestuderen van tabel 6. In de eerste plaats vallen de extreme, en tegengestelde, waarden van s voor de prijzen van ruw en van gezuiverd vetzuur op. Omdat het aannemelijk is dat deze twee variabelen een zekere parallel gedrag zullen vertonen is het beter de *spreiding* tussen de twee waarden te variëren. In de tweede plaats zijn ook de dimensieloze gevoeligheden s voor de disconteringsvoet en voor het winstbelastingspercentage in de tabel opgenomen. Die variabelen zijn echter extern opgelegd, en op projectniveau niet te beïnvloeden. De informatieve waarde van de gevoeligheidsberekening voor deze twee wordt daarmee uiterst gering.

Dezelfde opmerking geldt – zij het in mindere mate – voor de overhead- en de in- en verkoopkosten. Ook die zijn op projectniveau immers nauwelijks te beïnvloeden.

Investering	-/- 0.74
Levensduur	-/- 0.15
Onderhoudskosten	-/- 0.09
Bedrijfstijd	+ 3.34
Personeelskosten	-/- 0.17
Aantal operators	-/- 0.12
Jaarlijkse stijging personeelslasten	-/- 0.02
Inkoopkosten ruw vetzuur	-/- 52.16
Jaarlijkse prijsstijging ruw vetzuur	-/- 6.31
Aardgaskosten	-/- 0.09
Elektriciteitskosten	-/- 0.01
Koelwaterkosten	-/- 0.02
Stoomkosten	-/- 0.01
Opbrengst zuiver vetzuur	+ 55.46
Jaarlijkse prijsstijging zuiver vetzuur	+ 7.72
Overheadkosten	-/- 0.90
In- en verkoopkosten	-/- 0.40
Winstbelasting	-/- 1.04
Disconteringsvoet	-/- 1.63

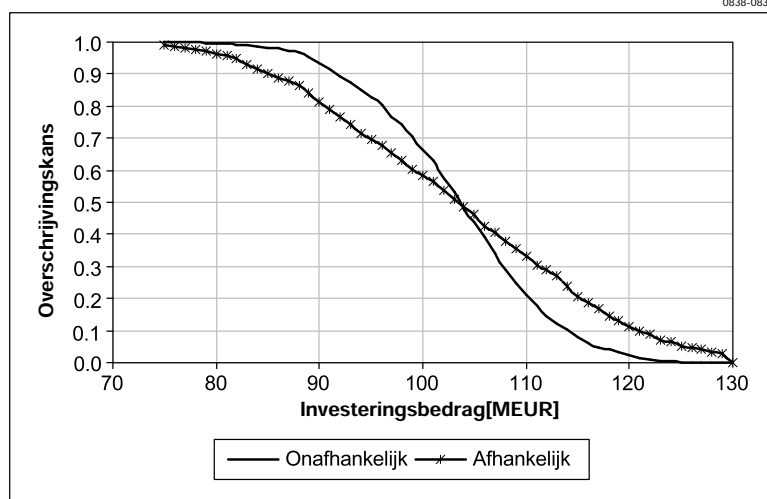
Tabel 6. *Dimensieloze gevoeligheid s van de NCW_{basis} voor diverse parameters.*

5. Monte Carlo-methode

Het bezwaar van de stuk-voor-stukmethode waarmee in de vorige paragrafen de gevoeligheid per variabele is bepaald en vastgelegd, is

dat – toch heel goed denkbare – interactie tussen de diverse parameters in beginsel genegeerd wordt. Soms kan dit goed worden opgevangen door een nieuwe variabele te introduceren. Zo werd de gevoeligheid voor het prijsverschil tussen grondstof en product gekozen als variabele in plaats van de prijzen van grondstof en product afzonderlijk.

Een methode om de gevoeligheid van de einduitkomst voor *alle* variabelen tegelijkertijd te bepalen is de Monte Carlo-methode. [o.a. Vrijland, 1995]. Op basis van toevalsgetallen wordt aan elke variabele een waarde binnen zijn waarschijnlijkheidsgebied toegekend. Dan wordt het model doorgerekend en de einduitkomst genoteerd. Deze procedure wordt een groot aantal malen herhaald. In de praktijk kan bij het toch vrij eenvoudige rekenmodel dat een begroting is met 1000 runs worden volstaan. Dan wordt de cumulatieve verdelingsfunctie van de einduitkomsten bepaald en grafisch vastgelegd. Zie figuur 2.



Figuur 2. Presentatie van het resultaat van een Monte Carlo-simulatie.

Voor het geven van een voorbeeld van een Monte Carlo-simulatie is een zeer eenvoudig rekenmodel gebruikt. Niets zou het toepassen van de Monte Carlo-techniek op het rekenmodel van paragraaf 2 in de weg staan. Dat zou echter veel meer werk vragen zonder toege-

voegde waarde voor het inzicht in de methode. Hier is een model gebruikt waarbij een investering op 100 miljoen € is geraamd op basis van de som van drie variabelen, A, B en C, met dezelfde modus ($1/3$ van $100 = 33,3$ M €), maar elk met een eigen onzekerheidsgebied.

- A is normaal verdeeld met een gemiddelde = modus (MO) van 33,3 met een standaarddeviatie (SD) = 6,67 M € .
- B laat in zijn frequentieverdeling een driehoekig patroon zien, met een laagste waarde (LO) van 30, een hoogste (HI) van 45. Ook hier is de modus (MO) 33,3 M € .
- C is uniform verdeeld over een gebied met een laagste waarde (LO) van 28 en een hoogste (HI) van 40 M € .

In elk van de 1000 runs van een Monte Carlo-simulatie krijgen A, B en C telkens een nieuwe waarde toegekend op basis van een toevalsgetal. De exercitie wordt uitgevoerd in een *spreadsheet*model.

Een toevalsgetal wordt gegenereerd met (in MS Excel) de functie =RAND(). Dit toevalsgetal wordt elke keer dat het opgeroepen wordt ververs, en geeft waarden die uniform verdeeld zijn tussen 0 en 1. Zo kunnen met behulp van RAND() direct waarden voor variabele C gegenereerd worden die uniform verdeeld zullen zijn tussen de hoogste en de laagste waarde:

$$C_i = LO + RAND() \times (HI - LO) =$$

$$C_1 = 28 + 0.326404 \times (40 - 28) = 31,92$$

$$C_2 = 28 + 0.803596 \times (40 - 28) = 37,64$$

$$C_3 = 28 + 0.027654 \times (40 - 28) = 28,33$$

$$C_4 = \dots \dots \dots \text{enz.}, \text{ tot } C_{1000}.$$

Voor A en voor B moet het uniform verdeelde toevalsgetal worden omgezet in een normaal c.q. driehoekig verdeeld toevalsgetal, respectievelijk NRN en TRN. Eerst voor A:

$$NRN_i = NORMSINV(RAND()) \quad \text{en} \quad A_i = MO + NRN_i \times SD$$

<i>RAND()</i>	
0,044578	$A_1 = 33,3 - 1,699864 \times 6,67 = 22,00$
0,146811	$A_2 = 33,3 - 1,050207 \times 6,67 = 26,33$
0,158735	$A_3 = 33,3 - 0,999671 \times 6,67 = 26,67$
	enz., tot A_{1000} .

dan voor B:

Eerst: $mo = (MO - LO) / (HI - LO)$ en dan

$$TRN = \sqrt{mo \times RAND()} \quad \text{als } RAND() \leq mo$$

0838-0840

$$TRN = 1 - \sqrt{(1 - mo) \times (1 - RAND())} \quad \text{als } RAND() \geq mo$$

0838-0841

Met $mo = (33,3 - 30) / (45 - 30) = 0,222$ gevolgd door

$$B_i = LO + TRN_i \times (HI - LO) =$$

RAND()

0,992279

0,735137

0,621884

enz., tot B_{1000} .

$$B_1 = 30 + 0,922506 \times (45 - 30) = 43,84$$

$$B_2 = 30 + 0,546123 \times (45 - 30) = 38,19$$

$$B_3 = 30 + 0,457699 \times (45 - 30) = 36,87$$

Dan wordt per run het totaal bepaald:

$$T_1 = A_1 + B_1 + C_1 = 22,00 + 43,84 + 31,92 = 97,76$$

$$T_2 = A_2 + B_2 + C_2 = 26,33 + 38,19 + 37,64 = 102,16$$

$$T_3 = A_3 + B_3 + C_3 = 26,67 + 36,87 + 28,33 = 91,87$$

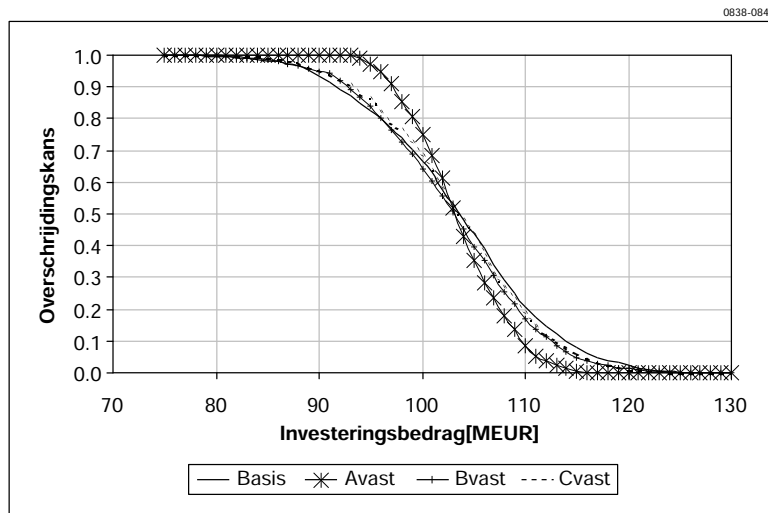
enz., tot T_{1000} .

Van de 1000 totalen wordt de cumulatieve frequentieverdeling bepaald en genormeerd als cumulatieve kans tussen 0 en 1.

Figuur 2 geeft dan de kans dat een bepaald investeringsbedrag wordt overschreden. De kans dat het investeringsbedrag groter is dan 80 M € is vrijwel 1, dat het groter is dan 96 M € is 80%, dat het groter is dan 110 M € is 20%.

Deze getallen zijn afgelezen op de lijn die met „Onafhankelijk” is aangeduid. Bij de bepaling van deze lijn zijn de drie variabelen A, B en C onderling als volledig onafhankelijk beschouwd. De lijn die met „Afhankelijk” is aangeduid is verkregen door de drie variabelen volledig te correleren: in elke run werd voor A, B en C hetzelfde toevalsgetal gebruikt. Met andere woorden: alle drie variabelen hadden simultaan een hoge of een lage waarde, of een waarde dicht bij de modus. In het geval van deelcorrelaties zal een lijn ontstaan die tussen de beide gepresenteerde lijnen in ligt. Er zijn *add ins* voor *spreadsheet software* op de markt die het meenemen van deelcorrelaties in Monte Carlo-simulaties eenvoudig maken, bijvoorbeeld @RISK en *Crystal Ball*.

De Monte Carlo-techniek opent nu de mogelijkheid na te gaan voor welke variabele de einduitkomst het meest gevoelig is. We gebruiken dan als het ware een omgekeerde stuk-voor-stukmethode: gedurende 1000 runs wordt of A of B of C gefixeerd door uit te gaan van 0,5 in plaats van een toevalsgetal. De andere twee worden wel geheel vrij gelaten. Zo kan figuur 3 geconstrueerd worden.



Figuur 3. Monte Carlo-simulaties met telkens één variabele gefixeerd.

Uit figuur 3 valt af te leiden dat de einduitkomst het meest gevoelig is voor de waarde van A. Immers, als deze gefixeerd wordt is de spreiding in de einduitkomsten het kleinst. Als B of C gefixeerd worden, krijgen we lijnen die nauwelijks afwijken van de basislijn (die verkregen was door A, B en C volledig onafhankelijk te laten variëren binnen hun domein). Opgemerkt moet nog worden dat de uitspraak dat als voor de investering een bedrag van 110 M € wordt uitgetrokken de overschrijdingskans 20% is, in beginsel gedaan mag worden met 95% zekerheid.

6. Discussie

„Een gevoeligheidsanalyse uitvoeren op een (rekenkundig of ander) model is het bestuderen hoe de spreiding in de uitkomsten van dat model toegerekend kan worden, kwalitatief of kwantitatief, aan ver-

schillende bronnen van variatie, en hoe het bestudeerde model afhangt van de ingevoerde informatie” [Saltelli et al. 2001].

„Oorspronkelijk werd een gevoeligheidsanalyse opgezet louter om onzekerheden in de invoergegevens en de parameters van een model te onderzoeken. In de loop der tijd werd dit uitgebreid tot het meenemen van onzekerheden in de structuur van het model en de er aan ten grondslag liggende aannamen en specificaties. Over het geheel genomen wordt een gevoeligheidsanalyse gebruikt om het vertrouwen in het model en zijn voorspellingen te vergroten, door inzicht te geven in de reacties van het model op veranderingen in invoer, zij het de gegevens die dienen om het te calibreren, de modelstructuren of modelonafhankelijke variabelen” [ibid].

Rekenmodellen worden steeds meer toegepast om voorspellingen te doen over het gedrag van systemen. Denk aan milieu (emissies, ozonlaag, kernafval, geluid, enz.), economie (conjunctuurontwikkeling, bevolkingsgroei en leeftijdsopbouw, enz.). Rekenmodellen voor begrotingen zijn in het algemeen vrij eenvoudig. Het blijft doorgaans bij vermenigvuldigen, delen, aftrekken en optellen, met mogelijk een enkele machtsverheffing waar de Williams’ 0,6-regel voor schaalvergroting wordt gebruikt. Daarom kan volstaan worden met een eenvoudige gevoeligheidsanalyse. Wie zich wil verdiepen in meer verfijnde technieken en de achtergronden daarvan wordt verwezen naar het boek van Saltelli et al. [2001]. De in de praktijk werkzame cost engineer zal doorgaans kunnen volstaan met de stuk-voor-stukmethode om de grootste – en dus relevante – gevoeligheden op te sporen. Voor de presentatie van zijn of haar resultaten is er dan de keuze uit de hier beschreven tornado-plot, de dimensieloze gevoeligheid, of het Monte Carlo-overschrijdingskansdiagram. Ook *scatter plots*, *radar plots* of *cobweb plots* [Cooke RM, Van Noortwijk JM, 2000] en eenvoudige taartpuntdiagrammen kunnen toegepast worden om de prioriteit aan te geven waarmee de talrijke variabelen die de uitkomst van een model beïnvloeden nader onderzocht moeten worden. Het is daarbij van belang dat deze informatie intuïtief leesbaar is. Een ondernemer die zijn ondernemersrisico wil inschatten moet inzicht kunnen krijgen zonder dat hij eerst grote deskundigheid op het gebied van het opzetten en interpreteren van een gevoeligheidsanalyse hoeft te ontwikkelen.

7. Literatuur

@RISK: zie <http://www.palisade.com>

Cooke, R. M., Van Noortwijk, J. M., „Graphical Methods”, p. 245-264 in *Saltelli et al*, loc. cit.

Crystal Ball: zie <http://www.decisioneering.com>.

Maessen, L. P. H., *Cost Engineering bij het opzetten van een destillatie-unit*, Afstudeerverslag IHBO Eindhoven (1985).

Saltelli, A., Chan, K. en E. M. Scott, *Sensitivity Analysis*, ISBN 0471998923, Wiley, New York (2001).

Vrijland, M. S. A., „Beoordeling van investeringsvoorstellen”, *Handboek Cost Engineers* C210:1-14, ISBN 9065008381, Samsom, Alphen aan den Rijn (1990).

Vrijland, M. S. A., „Range Estimating”, *Handboek Cost Engineers* G3600:1-18, ISBN 9065008381, Samsom, Alphen aan den Rijn (1995).