



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Flexibele versus dedicated capaciteit: een educationele tool

Frouke Bamps

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

PROMOTOR :

Prof. dr. Inneke VAN NIEUWENHUYSE



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be

Universiteit Hasselt
Campus Hasselt:
Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt
Campus Diepenbeek:
Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

2019
2020



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Flexibele versus dedicated capaciteit: een educationele tool

Frouke Bamps

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

PROMOTOR :

Prof. dr. Inneke VAN NIEUWENHUYSE



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Flexibele versus dedicated capaciteit: een educationele tool

Frouke Bamps

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen,
afstudeerrichting Supply Chain Management

PROMOTOR :

Prof. dr. Inneke VAN NIEUWENHUYSE

Frouke Bamps
Flexibele versus dedicated capaciteit: een educationele tool
Promotor: Prof. dr. Inneke Van Nieuwenhuyse

Deze masterproef werd geschreven tijdens de COVID-19 crisis in 2020. Deze wereldwijde gezondheids crisis heeft mogelijk een impact gehad op het schrijf- en verwerkingsproces, de onderzoekshandelingen en de onderzoeksresultaten die aan de basis liggen van dit werkstuk.

Dedicated versus flexibele capaciteit: een educationele tool

Frouke Bamps

Handelswetenschappen

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen, Universiteit Hasselt

Productiebedrijven zijn op zoek naar het optimale capaciteitsportfolio om hun producten te produceren. Daarbij hebben ze de keuze uit twee soorten capaciteit: dedicated capaciteit of flexibele capaciteit. Het is noodzakelijk om het optimale capaciteitsportfolio te kiezen. Het doel van dit onderzoek is om te achterhalen welk effect verschillende parameters hebben op het optimale capaciteitsportfolio, de verwachte netto actuele waarde en de variantie van de netto actuele waarde. Hiervoor is de volgende onderzoeksvraag opgesteld: *Hoe wordt het optimale capaciteitsportfolio beïnvloed door de verschillende parameters?* Om een antwoord te kunnen formuleren op de hoofdvraag zullen er experimenten uitgevoerd worden rond de parameters. Deze parameters zijn de correlatiecoëfficiënt, de contributiemarge en de prioriteitsregel. We bestuderen een productiebedrijf AutoCo met twee soorten producten in een single-period met budget en zonder budget. Er zal per parameter een uitgebreid overzicht verleend worden van de effecten.

Kernwoorden: dedicated capaciteit, flexibele capaciteit, netto actuele waarde, variantie, single-period, risico-neutraal, risico-avers, correlatie, contributiemarge, prioriteitsregel

1 Inleiding

Deze masterproef heeft als onderwerp “Flexibele versus dedicated capaciteit: een educationele tool”. Productiebedrijven ondervinden moeilijkheden met veranderingen in de vraag (Alp, Tan, 2008). Onzekerheid in de vraag is hierbij een cruciale factor. Bijgevolg zijn bedrijven opzoek naar het optimale capaciteitsportfolio. Dit is voor de risico-neutrale investeerder het portfolio dat de NAW maximaliseert. De risico-averse investeerder maakt echter een afweging tussen de verwachte NAW en de variantie van de NAW. Ze hebben daarbij de keuze uit verschillende types capaciteit om de goederen te produceren. Wanneer ze zich focussen op een reeks machines die toegewijd zijn aan één product, dan gebruikt dit bedrijf een dedicated capaciteit (Van Mieghem, 2008). Dedicated capaciteit is goedkoper per eenheid. Maar het heeft als nadeel dat de machines slechts één soort product kunnen produceren (Narongwanich, Duenyas, & Birge, 2002). In tegenstelling tot dedicated capaciteit, bestaat flexibele capaciteit uit machines die meerdere producttypes kunnen produceren. Flexibele capaciteit heeft als kenmerk dat het duurder is: het heeft een hogere kost per eenheid en deze machines vereisen een hogere uitgave op het gebied van investering (Narongwanich, et al, 2002). Vervolgens kunnen bedrijven ook kiezen voor de zogenaamde *tailored* combinatie, waarbij het bedrijf een combinatie maakt van zowel dedicated en flexibele capaciteit. Het doel is om opzoek te gaan naar het optimale capaciteitsportfolio.

De hoofdvraag die in deze masterproef zal behandeld worden is: “Hoe wordt het optimale capaciteitsportfolio beïnvloed door verschillende paramaters?”.

De deelvragen die in deze masterproef behandeld worden zijn:

- Wat is het effect van een variërende correlatie?
- Wat is het effect van een veranderend contributiemarge op de verwachte NAW en de variantie?
- Wat als de priority regel behouden wordt? Wat gebeurt er als de priority regel gewijzigd wordt en er voorrang wordt gegeven aan het product met een lagere winstvariantie om de flexibele lijn op te vullen?

Deze onderzoeksvragen worden beantwoord aan de hand van een simulatie in Microsoft Excel. Naderhand zal er een educationele tool ontwikkeld worden. Deze tool dient als een leidraad voor studenten bij het onderzoeken van het optimale capaciteitsportfolio onder verschillende voorwaarden.

In sectie 2 van deze masterproef wordt er een kort literatuuroverzicht gegeven van de bestaande literatuur rond flexibele en dedicated capaciteit en wordt er een toelichting verleend van bepaalde cruciale concepten. Vervolgens in sectie 3 wordt de probleemstelling aangekaart. Daarna wordt in sectie 4 de methodologie toegelicht. De data, simulatie en optimalisatie worden beschreven, alsook de experimenten. In sectie 5 worden de resultaten van de experimenten behandeld. In sectie 6 worden enkele conclusies en inzichten weergegeven rond de experimenten.

Frouke Bamps
Flexibele versus dedicated capaciteit: een educationele tool
Promotor: Prof. dr. Inneke Van Nieuwenhuyse

2 Literatuuroverzicht

Deze sectie is opgedeeld in 2 subsecties. In sectie 2.1. wordt er een kort overzicht aangereikt omtrent de relevante literatuur. In sectie 2.2. zullen de cruciale concepten, die nodig zijn doorheen deze masterproef, beschreven worden. Bij het zoeken naar wetenschappelijke artikels zal er beroep gedaan worden op de databanken van de UHasselt, Google Scholar en Researchgate. Er zal gezocht worden op volgende termen: ‘dedicated capacity’, ‘flexible capacity’, ‘FMS’, ‘net present value’, ‘operational flexibility’, ‘hedging’. Verder zal er in de wetenschappelijke artikels nagegaan worden of dat de auteurs relevante bronnen gebruikt hebben.

2.1 Relevante literatuur

Tabel 1 geeft een overzicht van de relevante literatuur in het kader van dit onderzoek, waarbij er wordt vastgesteld dat er vóór het jaar 2000 veel relevante literatuur beschikbaar is, de meeste artikels zich baseren op Jan Van Mieghem en er vrijwel geen artikels beschikbaar zijn die de combinatie maken tussen risico en correlatie. Er wordt aangegeven over hoeveel producten het gaat, of er al dan niet rekening wordt gehouden met risico-aversie en correlatie tussen de producten, welk model er wordt toegepast en wat de doelfunctie is in het desbetreffende artikel. In de rijen zijn de verschillende geraadpleegde papers terug te vinden en in de kolommen de verschillende karakteristieken. De papers zijn gesorteerd op basis van jaartal: ze zijn weergegeven in oplopende volgorde.

Tabel 1: Relevant literatuuroverzicht

Auteur(s)	Jaartal	Focus	Aantal producten	Rekening houdend met risico-aversie	Rekening houdend met correlatie tussen de producten	Model	Doelfunctie
Fine, C. H. & Freud, F.	1986, 1990	Model en analyse van het investeren in flexibele capaciteit, met in fase 1 de	n	Nee	Ja	Tweefasig stochastisch programma	Maximaliseren van verwachte winst.

		investeringsbeslissing en in fase 2 de productiebeslissing.					
Caulkins, J.P. & Fine, C.H.	1988	Interactie tussen investeren in flexibele productiesystemen en seizoensvoorraden.	2	Nee	Ja	Wiskundig model	Maximaliseren winst.
Kulatilaka, N.	1988	Waarde van flexibele capaciteit.	Onbekend	Risico-neutraal	Nee	Stochastisch dynamisch programma	Maximaliseren winst.
Fine, C. H. & Pappu, S.	1988	Impact van flexibele productiesystemen en de concurrentie tussen bedrijven op gebied van investeringsbeslissingen.	2	Nee	Nee	Spel-theoretisch model	Maximaliseren winst.
Chakravarty, A.K.	1989	Meten van de impact van een rantsoenerings-beleid, dat nodig is om de totale capaciteit gelijk te verdelen over de faciliteiten, op de optimale capaciteitsgrootte.	2	Nee	Nee	Wiskundig beslissings-model	Minimaliseren investeringskost.
Gupta, D., Gerchak, Y., & Buzacott, J.A.	1992	Investeren in flexibele, dedicated capaciteit of een mix.	2 product groepen	Nee	Ja	Allocatie-model	Maximaliseren opbrengst.

Van Mieghem, J. A.	1998	Optimale investering in flexibele capaciteit in functie van contributiemarges, investeringskosten en vraagonzekerheid.	2	Nee	Ja	Meerfasig beslissings-model Newsvendor model	Maximaliseren van operating profit.
Bish, E.K., & Wang, Q.	2004	Optimale resource investeringsbeslissing van een bedrijf dat ex-post pricing gebruikt in een monopolistische setting.	2	Nee	Ja	Twefasig stochastisch beslissings-probleem	Maximaliseren van de verwachte winst.
Van Mieghem, J.A.	2007	Studie hoe resource allocation in netwerken het risico van de investering in capaciteit kan beperken.	2	Ja	Ja	Twefasig resource model	Maximaliseren opbrengst.
Chod, J., Nils, R., & Van Mieghem, J.A.	2010	Focus op de relatie tussen financial hedging en operationele flexibiliteit waarbij beiden gebruikt worden om te beantwoorden aan vraagonzekerheid.	2	Mismatch Risk Profit variability	Ja	Wiskundig model	Maximaliseren winst.

Hagspiel, V.	2011	Bestuderen van de optimale investeringsstrategie bij de keuze tussen dedicated capaciteit en flexibele capaciteit.	2	Nee	Ja	Algemeen wiskundig model	Maximaliseren winst.
Jakubovskis, A.	2017	Impact van het verwerven van flexibele productietechnologieën op de totale capaciteitsbezettingsgraad onder vraagonzekerheid.	1	Nee	Ja	Tweefasig robuust optimalisatie-model	Minimaliseren van de som van de vaste productiekosten.

Uit dit literatuuroverzicht kunnen enkele conclusies worden getrokken. Ten eerste is het duidelijk dat er vanaf het jaar 2000 weinig relevant onderzoek is uitgevoerd dat als ondersteuning kan bieden voor deze masterproef. Voor het jaar 2000 is er voldoende literatuur waarop men zich kan baseren. Verder is het vrij opmerkelijk dat vrijwel alle artikels zich baseren op Van Mieghem (1998, 2007, 2010) en daarbij ook focussen op 2 producten. Vervolgens houdt de meeste literatuur rekening met de correlatie tussen de producten bij het zoeken naar het optimale capaciteitsportfolio.

Er zijn echter ook enkele tekortkomingen in de literatuur: er is vrijwel nergens een artikel dat de combinatie maakt tussen het rekening houden met risico en correlatie, behalve het artikel van Jan Van Mieghem (2007). Alsook zijn er weinig artikels die zich focussen op de combinatie van het rekening houden met risico en het zoeken naar het optimale capaciteitsportfolio. Wel is er veel literatuur die zich bezig houdt met risico-aversie en risico-neutraliteit in het algemeen. Daarenboven is het opmerkelijk dat er telkens gefocust wordt op de (verwachte) winst en de opbrengst, en niet op de netto actuele waarde.

2.2 Cruciale concepten

Het is vanzelfsprekend dat, wanneer een bedrijf een investering (I) doet, men ook wil dat deze investering rendabel is. Als er vandaag geld geïnvesteerd wordt, dan wordt hier een bepaalde interest op behaald na elk jaar. Vandaag geld investeren, zal in de toekomst meer geld opleveren doormiddel van interest. Hoe hoger de interestvoet (k), hoe groter de waarde van het geld in de toekomst. De toekomstige waarde van geld, ook wel de future value (FV) genoemd, wordt berekend door:

$$FV = I * (1 + k)^t$$

Met t: tijd

Bijvoorbeeld: \$100 investeren aan een interestvoet van 6% op 1 jaar, levert \$106 dollar op (Brealey, Myers & Marcus, 2018).

Andersom kan ook gesteld worden dat men zich de vraag kan stellen hoeveel geld men vandaag moet investeren om op het einde van het jaar een bepaald bedrag te bezitten. In het voorbeeld betekent dit: hoeveel moeten we vandaag investeren om op het einde van het jaar \$106 te bezitten? Met andere woorden: wat is de huidige waarde, present value (PV), van de \$106 pay-off? Met pay-off wordt de return bedoeld, die men krijgt door het investeren van \$100. De present value wordt berekend door:

$$PV = \frac{\text{future value na } t \text{ periodes}}{(1 + k)^t}$$

Toegepast op het voorbeeld: als men \$106 op het einde van het jaar wil (t = 1) met een r van 6%, moet men vandaag \$100 investeren. Om de huidige waarde te kennen, wordt de toekomstige waarde van de investering verdisconteerd aan de interestvoet k, of simpelweg de verdisconteringsvoet (discount rate). Deze methode wordt de *discounted cash-flow* methode genoemd (Brealey et al., 2018) en wordt gebruikt om de NAW te berekenen.

De netto actuele waarde (NAW) is een methode om de efficiëntie van een investering te analyseren. Op lange termijn kan de waarde van geld schommelen. De NAW-methode houdt rekening met de tijdswaarde van dat geld en de inkomende kasstromen tijdens de periode waarover de investering loopt. De NAW is het verschil tussen de huidige waarde van de toekomstige kasstromen, en de huidige investeringskost van het project (Mościbrodzka & Homa, 2019). De NAW wordt berekend als:

$$NAW = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1 + k)^t} - I$$

Met CF_t : inkomende kasstromen gedurende t
n : de duur van de investering

I : investeringskost

k: verdisconteringsvoet

Als de $NAW > 0$, dan is de investering waardevol en is het aan te raden de investering uit te voeren. De som van de verdisconteerde kasstromen is met andere woorden groter dan de investeringskost (Brealey et al., 2018). Als de $NAW = 0$, dan is de investering neutraal voor de investeerder: ze kost evenveel als ze opbrengt. Als $NAW < 0$, dan is de investering niet winstgevend en kan ze beter niet uitgevoerd worden (Jakubczyk, 2008).

De verdisconteringsvoet wordt gebruikt om een beeld te kunnen geven van de huidige waarde van de kasstromen die in de toekomst zullen plaatsvinden (Visscher & Tops, 2015).

De netto actuele waarde kan negatief beïnvloed worden door allerlei risico's. De term risico refereert naar de blootstelling aan een kans op verlies of schade. Risico is een combinatie van 2 factoren: de kans dat een nadelige gebeurtenis plaatsvindt, en het gevolg van deze gebeurtenis (Van Mieghem, 2008).

Investeerders kunnen risico-neutraal of risico-avers zijn. Risico-neutrale investeerders streven naar een maximale verwachte NAW zonder rekening te houden met het risico van de investering. Het merendeel van de investeerders is echter risico-avers: zij streven niet enkel naar een maximale verwachte NAW, maar wegen deze af ten opzichte van het risico. Er wordt een trade-off gemaakt tussen de payoff van de investering (de NAW) en het risico, gemeten door de variantie (σ^2) van de NAW.

Algemeen wordt de variantie gebruikt om aan te geven hoe sterk de waarden van een kansvariabele van elkaar verschillen (McClave, Sincich, & Knyppstra, 2016). Bij het berekenen van de NAW kan bijhorend de variantie berekend worden door:

$$\text{Variantie } (\sigma^2) = \sum_{i=1}^n (\pi_i - \mu)^2$$

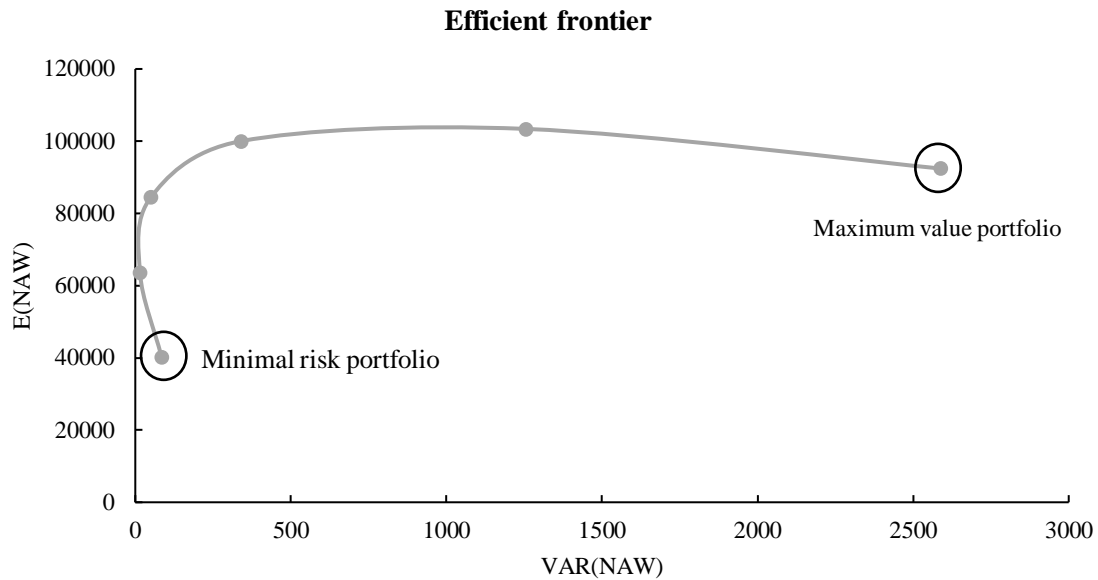
Met: Π_i : Operating profit

μ : Gemiddelde van de operating profits doorheen de duurtijd van de investering

$n = 400$

Een risico-neutrale manager, die zeer risico-neutraal is, zou kiezen voor de capaciteitsportfolio die de verwachte NAW maximaliseert (i.e., de maximum value portfolio), ongeacht het daarmee samenhangende risico. Een investeerder die oneindig risico-avers is, kiest voor de capaciteitsportfolio die het risico minimaliseert, de minimal risk portfolio. Tussen deze 2 punten bevinden zich punten die voor een gegeven variantie de verwachte NAW maximaliseren. Een verbinding van al deze punten vormt de efficient frontier (Van Mieghem, 2008). De efficient frontier is met andere woorden de verzameling van alle optimale portfolio's waarbij voor een gegeven risico de NAW gemaximaliseerd

wordt. Indien portfolio's zich onder de efficient frontier bevinden, dan zijn ze sub-optimaal. Er kan voor hetzelfde risico een hogere NAW gegenereerd worden. Figuur 1 is een weergave van deze efficient frontier met alle optimale portfolio's voor de gegeven varianties met een minimal risk portfolio en een maximum value portfolio.



Figuur 1: Efficient frontier met minimal risk portfolio en maximum value portfolio

3 Probleemstelling

In sectie 3.1. wordt er een overzicht geformuleerd van de case Auto Co. In sectie 3.2. worden de vaste en variabele kosten, die te maken hebben met de case, gemodelleerd.

3.1 Auto Co

Om inzichten te bekomen omtrent de invloed van verschillende parameters op de efficiënte portfolio's, wordt er doorheen de gehele masterproef gebruik gemaakt van de case Auto Co uit het boek *Operations strategy: Principles and Practice* (Van Mieghem, 2008).

Auto Co is een autoproducent van twee soorten auto's: Afour en Bassat. Het doel is om aan de hand van een simulatie in Excel het optimale capaciteitsportfolio te kiezen, door een afweging te maken van de verwachte NAW versus de variantie van de NAW. Via de simulatie zal de jaarlijkse vraag naar beide producten gesimuleerd worden. De looptijd van de investering is slechts 1 jaar; er wordt bij de berekening van de NAW dan ook geen rekening wordt gehouden met de tijdswaarde van geld. Er wordt enkel rekening gehouden met een single-period.

De capaciteiten van beide lijnen zijn beslissingsvariabelen (zie Tabel 2). Deze dienen we te optimaliseren in de simulatie. Verder geeft kolom 3 van tabel 2 de capaciteitsbeperkingen van zowel de dedicated capaciteit als van de flexibele capaciteit weer: de productiehoeveelheden van beide lijnen moeten vanzelfsprekend kleiner zijn dan de capaciteiten van beide lijnen. De beslissingsvariabelen omtrent de productiehoeveelheden worden als volgt weergegeven:

x_A : jaarlijkse productiehoeveelheden Afours geproduceerd onder dedicated capaciteit

x_B : jaarlijkse productiehoeveelheden Bassats geproduceerd onder dedicated capaciteit

x'_A : jaarlijkse productiehoeveelheden Afours geproduceerd onder flexibele capaciteit

x'_B : jaarlijkse productiehoeveelheden Bassats geproduceerd onder flexibele capaciteit

Tabel 2: Capaciteitsbeperking dedicated en flexibele capaciteit

	Maximum capaciteit (in eenheden)	Capaciteitsbeperking
Dedicated lijn Afour (x_A)	CAP_A	$x_A \leq CAP_A$
Dedicated lijn Bassat (x_B)	CAP_B	$x_B \leq CAP_B$
Flexibele lijn (x'_A, x'_B)	CAP_{FLEX}	$x'_A + x'_B \leq CAP_{FLEX}$

De beperkingen bij beide lijnen moeten uitgebreid worden met de niet-negativiteitsbeperking.

$$x_A, x_B, x'_A, x'_B \geq 0$$

De vraag naar beide producten wordt aangeduid door D_A , de vraag naar de Afour, en D_B , de vraag naar Bassats. Vanzelfsprekend moeten de productiehoeveelheden die toegewezen zijn aan de verschillende lijnen kleiner of gelijk zijn dan de vraag. Als de hoeveelheden groter zijn dan de vraag, dan ontstaan er overschotten.

Per vraagscenario wordt de overkomende operating profit berekend: i.e., de toegewezen productiehoeveelheden vermenigvuldigd met de bijhorende contributiemarges. De operating profit wordt berekend als volgt:

$$\text{Operating profit } (\pi) = \$2000 (x_A + x'_A) + \$1000 (x_B + x'_B)$$

Subject to

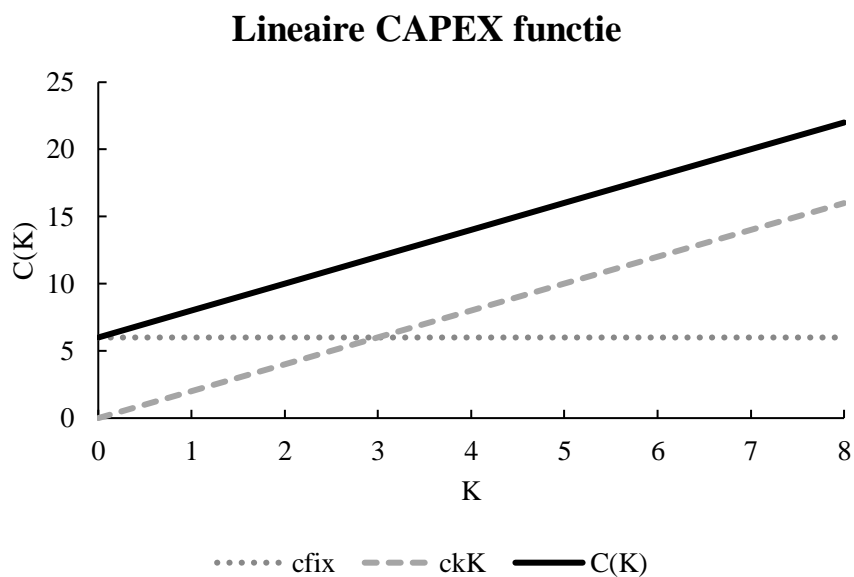
$x_A \leq CAP_A$	(dedicated Afour capaciteitsbeperking)
$x_B \leq CAP_B$	(dedicated Bassat capaciteitsbeperking)
$x'_A + x'_B \leq CAP_{FLEX}$	(flexibele capaciteitsbeperking)
$x_A + x'_A \leq D_A$	(Afour vraagbeperking)
$x_B + x'_B \leq D_B$	(Bassat vraagbeperking)
$x_A, x_B, x'_A, x'_B \geq 0$	(niet-negativiteitbeperking)

3.2 Modelling vaste en variabele investeringskosten

De kapitaalsuitgaven voor de investering in capaciteit worden gemodelleerd via vaste en variabele investeringskosten. De lineaire *capital expenditure* functie (CAPEX functie) veronderstelt een vaste kost (c_{fix}) en een marginale kost per eenheid kapitaal (c_K). Beiden zijn constant. De lineaire CAPEX functie ziet er als volgt uit:

$$C(K) = c_{fix} + c_K K$$

Figuur 2 geeft een stijgende lineaire CAPEX functie weer, met de vaste capaciteitskost c_{fix} en variabele capaciteitskost $c_K K$. De ricocoëfficiënt van K is de marginale kost c_K . De totale kosten van figuur 2 vormen de totale investeringskost in capaciteit ($C(K)$), als functie van de gekozen hoeveelheid capaciteit (K) (Van Mieghem, 2008).



Figuur 2: Modelling lineaire CAPEX functie

4 Methodologie

Via experimenten onderzoeken we het effect van verschillende factoren (correlatie, contributiemarge en prioriteitsregel) op het optimale capaciteitsportfolio, en op de verwachte waarde en de variantie van de NAW van de NAW. Aan de hand van de simulatie wordt er een onderbouwd antwoord geformuleerd op de centrale onderzoeksvraag en de drie bijvragen. Verder geeft de educationele tool inzicht aan de studenten wat het effect is van een verandering in de verschillende parameters. Er wordt stap voor stap nagegaan welke parameters telkens veranderen en wat hun precieze effect is.

Vervolgens wordt er beroep gedaan op bestaande literatuur om de bevindingen in de optimalisatie te staven. Bij het zoeken naar de wetenschappelijke artikels, wordt er voornamelijk gebruik gemaakt van de databanken van de Universiteit Hasselt alsook van Google Scholar en Researchgate. Via deze tools worden er vlot artikels gevonden op basis van volgende zoektermen: ‘dedicated capacity’, ‘flexible capacity’, ‘correlation’, ‘contribution margins’, ‘net present value’, ‘mean profits’, ‘variance of profits’.

4.1 Data en notatie

Om experimenten te kunnen simuleren, is het vanzelfsprekend dat de Excel-file inputdata bevat. Merk op dat doorheen de hele case de vraagdata en de capaciteiten integers zijn en met 10^3 gereduceerd zijn. De variantie is met 10^{12} gereduceerd om grote getallen te vermijden. Bijvoorbeeld: als de NAW in Excel \$68 016 bedraagt, dan is dit in werkelijkheid gelijk aan \$68 016 000. De overeenkomstige variantie bedraagt dan \$13 075 500 000 000 in werkelijkheid, maar wordt in Excel weergegeven door \$13,08, doordat ze geschaald wordt.

De inputdata omvatten twee tabellen: de data omtrent de vraagvoorspelling en de financiële data. De data omtrent de vraagvoorspelling bevat vijf parameters: het gemiddelde van beide producten, de standaardafwijking van beide producten en de correlatiecoëfficiënt. In deze masterproef definiëren we de correlatiecoëfficiënt als r . Tabel 3 geeft de inputdata weer van de Afours en de Bassats omtrent de vraagvoorspelling, waarbij het gemiddelde en de standaardafwijking van Bassat groter is dan het gemiddelde en de standaardafwijking van de Afour.

De correlatiecoëfficiënt is een maat voor de sterkte van het lineaire verband tussen 2 variabelen, in dit geval de Afour en de Bassat. Deze kan een waarde aannemen tussen -1 en +1. Hoe dichter de waarde van r tegen of gelijk aan 0 is, hoe zwakker het lineaire verband tussen de 2 variabelen. Hoe sterker

r ligt tegen -1 of $+1$, hoe sterker het lineaire verband is. Als ze negatief (positief) gecorreleerd zijn en de correlatiecoëfficiënt zodus een negatief (positief) teken heeft, dan stijgt de vraag naar de Afours wanneer de vraag naar Bassats daalt (stijgt) (McClave et al., 2016). Tabel 4 toont de financiële data, waarbij de eenheidscontributiemarge van de Afour dubbel zo hoog is als de eenheidscontributiemarge van de Bassat en waarbij de kost per eenheid capaciteit van de flexibele lijn hoger is dan de kost per eenheid capaciteit van de dedicated lijnen.

Tabel 3: Inputdata vraagvoorspelling per jaar

Vraagvoorspelling		
	Afour	Bassat
Gemiddelde (μ)	100	200
Standaardafwijking (σ)	30	50
Correlatie (r)		-0,9

Tabel 4: Financiële data Afour en Bassat

	Eenheids- contributiemarge (m)	Kost per eenheid capaciteit dedicated lijn (ck_{ded})	Kost per eenheid capaciteit flexibele lijn (ck_{flex})
Afour (A)	\$2000	\$800	\$900
Bassat (B)	\$1000	\$700	\$900

Vervolgens bevat de file beslissingsvariabelen. Bij het optimaliseren van de NAW, zullen de beslissingsvariabelen veranderen. De beslissingsvariabelen zijn de dedicated capaciteiten voor beide producten en de flexibele capaciteit, zoals al eerder aangegeven in sectie 2. De investeringskost is afhankelijk van de capaciteiten, en wordt berekend door:

$$I = (CAP_A * ck_{dedA}) + (CAP_B * ck_{dedB}) + (CAP_{FLEX} * ck_{FLEX})$$

Bij de berekening van x_A , x'_A , x_B en x'_B wordt de prioriteitsregel toegepast. Deze regel komt voort uit de *theory of constraints* (TOC). TOC gaat uit van 2 basisprincipes: elke systeem heeft ten minste

één beperking en de aanwezigheid van beperkingen zorgt voor een mogelijkheid tot verbetering. Verder gaat TOC uit van de assumptie dat het doel van elke organisatie is om geld te verdienen (Rahman, 1998). De prioriteitsregel stelt dat de flexibele capaciteit voorrang moet geven aan het product met de hoogste contributiemarge. In het basismodel is dit de Afour ($m = \$2000$) in tegenstelling tot de Bassat ($m = \$1000$).

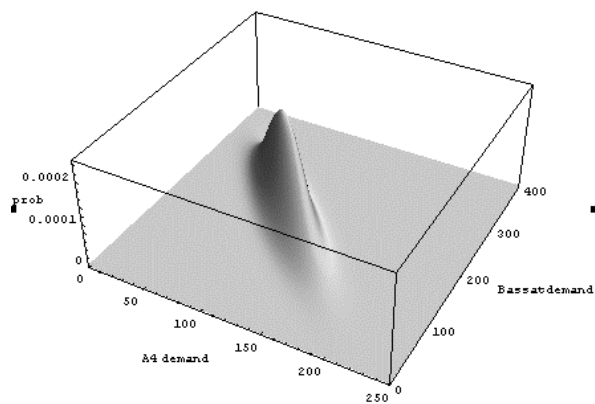
Ten slotte kan de winstvariantie van elk product berekend worden, wanneer telkens aan de volledige vraag kan voldaan worden. Deze wordt berekend door:

$$\text{Afour: } 2000^2 * 30^2 = 3\,600\,000\,000$$

$$\text{Bassat: } 1000^2 * 50^2 = 2\,500\,000\,000$$

4.2 Simulatie

Daaropvolgend worden de vraagscenario's gesimuleerd voor een bivariate normaal verdeelde vraag. Een bivariate normale verdeling is een tweedimensionale verdeling. Figuur 3 geeft een bivariate normaal verdeelde vraag weer met een correlatiecoëfficiënt van $-0,9$.



Figuur 3: bivariate normale verdeling, $r = -0,9$

Verder definiëren we in deze masterproef:

Z_A : sample van de standaard normale verdeling voor de vraag naar Afours

Z_B : sample van de standaard normale verdeling voor de vraag naar Bassats

(D_A, D_B) : vraagvector, vraag naar Afours en de vraag naar Bassats

x_A : jaarlijkse productiehoeveelheden Afours geproduceerd onder dedicated capaciteit

x_B : jaarlijkse productiehoeveelheden Bassats geproduceerd onder dedicated capaciteit
 x'_A : jaarlijkse productiehoeveelheden Afours geproduceerd onder flexibele capaciteit
 x'_B : jaarlijkse productiehoeveelheden Bassats geproduceerd onder flexibele capaciteit

Z_A en Z_B worden, zoals eerder vermeld, getrokken uit de bivariate standaard normale verdeling. Het zijn als het ware hulpgetallen om zo een bivariate vector (D_A , D_B) te simuleren. In de simulatie in Excel worden deze samples verborgen, maar de precieze berekening kan teruggevonden worden in appendix 1.

Een vraagscenario, of vraagvector, bestaat uit een combinatie van een vraag naar Afours en een vraag naar Bassats, aangeduid door D_A en D_B , en bevindt zich op 1 rij. We berekenen de vector als volgt:

$$D_A = \mu + \sigma_A Z_A$$

$$D_B = \mu_B + \sigma_B r Z_A + \sigma_B \sqrt{1 - r^2} Z_B$$

Aansluitend worden de contingente activiteiten, x_A , x_B , x'_A , x'_B , per vraagvector berekend. Hier wordt de prioriteitsregel toegepast. Het is vanzelfsprekend dat de productiehoeveelheden x_A en x_B als eerste worden opgevuld. De formules zijn als volgt:

$$x_A = \text{MIN}(D_A; \text{CAP}_A)$$

$$x_B = \text{MIN}(D_B; \text{CAP}_B)$$

$$x'_A = \text{MIN}(D_A - x_A; \text{CAP}_{\text{FLEX}})$$

$$x'_B = \text{MIN}(D_B - x_B; \text{CAP}_{\text{FLEX}} - x'_A)$$

Verder berekent de tool voor iedere kolom van de vraag, D_A en D_B , het gemiddelde en de variantie als volgt:

$$\mu_A = \frac{\sum_{i=1}^n D_A}{n}$$

$$\mu_B = \frac{\sum_{i=1}^n D_B}{n}$$

$$\sigma_A^2 = \sum_{i=1}^{400} (D_A - \mu_A)^2$$

$$\sigma_B^2 = \sum_{i=1}^{400} (D_B - \mu_B)^2$$

Merk op dat het gemiddelde en de standaardafwijking van de vraag overeen komen met de gemiddeldes en de standaardafwijkingen uit de inputdata. Voor de overige kolommen wordt enkel het gemiddelde berekend. Ten slotte berekent de tool voor ieder vraagscenario, en dus op iedere rij, de overeenkomstige jaarlijkse winst door:

$$\pi = \$2000 (x_A + x'_A) + \$1000 (x_B + x'_B)$$

Vervolgens wordt de gemiddelde verwachte winst per jaar berekend. Het gaat over verwachte winst, omdat de vraag en bijgevolg de winst nog niet gerealiseerd is. Het gaat over een voorspelling.

$$E(\text{profit}) = \frac{\sum_{i=1}^n \pi_i}{n}$$

Ten slotte wordt de verwachte NAW berekend en de bijhorende variantie door:

$$E(\text{NAW}) = E(\text{profit}) - I$$
$$E(\text{VAR}) = E(\sigma)^2$$

4.3 Optimalisatie

Als laatste stap zal de optimalisatie in elk experiment uitgevoerd worden. Optimaliseren betekent in dit geval de verwachte NAW zo groot mogelijk maken, al dan niet onder beperkende voorwaarden op de variantie van deze NAW. Het optimale capaciteitsportfolio voor de risico-neutrale investeerder maximaliseert de verwachte NAW. De risico-averse investeerder weegt de verwachte NAW af tegen de variantie van de verwachte NAW. De resulterende capaciteiten, CAP_A , CAP_B en CAP_{FLEX} , bepalen de bijhorende investeringskost.

De optimalisatie gebeurt via Solver (Oplosser). Solver gaat op zoek naar de minimale of maximale waarde voor een formule in een cel, gegeven de randvoorwaarden.

In de parameters van de Oplosser moet de doelfunctie worden bepaald. Hier komt de verwachte NAW. Deze dient gemaximaliseerd te worden door de verandering van de variabele cellen CAP_A , CAP_B en CAP_{FLEX} . Verder kan, afhankelijk van het experiment, de optimalisatie onderworpen worden aan randvoorwaarden:

- 1) Het totale budget voor de investeringskost: deze budgetbeperking bedraagt \$100 miljoen. Alle experimenten worden toegepast met budgetbeperking en zonder budgetbeperking..

- 2) Randvoorwaarde op de variantie van de NAW: de experimenten met wisselende correlatie en prioriteitsregel worden uitgevoerd voor zowel een risico-neutrale als een risico-averse beslissingsnemer. Voor de optimalisatie van het experiment rond contributiemarge wordt er enkel rekening gehouden met een risico-neutrale investeerder.

4.4 Experimenten

In deze sectie worden de experimenten beschreven. In sectie 4.4.1 wordt het experiment omtrent correlatie weergegeven. In sectie 4.4.2 wordt er geëxperimenteerd met de contributiemarges. Ten slotte in sectie 4.4.3 wordt het experiment met de prioriteitsregel uitgewerkt.

4.4.1 Correlatie

Om een gefundeerd antwoord te geven op deelvraag 1: “Wat is het effect van een variërende correlatie?” worden er vijf scenario’s uitgewerkt. In het basismodel is $r = -0,9$; de Afour en Bassats zijn negatief gecorreleerd. Als de vraag naar de Afour stijgt, dan daalt de vraag naar de Bassat. Tabel 5 geeft de 5 experimenten weer rond de correlatiecoëfficiënt, waarbij r varieert van -1 tot en met 1 .

Tabel 5: Overzicht experiment correlatie: $r(-0,9)$, $r(1)$, $r(-1)$, $r(0,5)$, $r(-0,5)$

Experiment	Correlatie
$r(-0,9)$	-0,9
$r(-1)$	-1,0
$r(-0,5)$	-0,5
$r(0,5)$	0,5
$r(1)$	1,0

4.4.2 Contributiemarges

Deelvraag 2, “Wat is het effect van een veranderend contributiemarge op de verwachte NAW en de verwachte variantie van de NAW?”, wordt onderzocht in experiment 2. In het basismodel worden de contributiemarges van de Afour en de Bassat gesteld op respectievelijk \$2000 en \$1000. Tabel 6 toont de verschillende experimenten rond contributiemarge, waarbij er gevarieerd zal worden met de contributiemarges van zeer heterogeen, zoals nu het geval is, tot zeer homogeen.

Bij het invullen van de flexibele lijn, wordt er voorrang gegeven aan het product met de hoogste contributiemarge. Het doel van de experimenten rond contributiemarge is om te onderzoeken welk effect homogene contributiemarges hebben op het invullen van de flexibele lijn. De contributiemarges zullen telkens steeds homogener worden totdat de contributiemarge van de Afour gelijk is aan de contributiemarge van de Bassat.

Tabel 6: Overzicht experiment contributiemarge: m(1000), m(800), m(600), m(400), m(200), m(100), m(50), m(0)

Experiment	Contributiemarge Afour (m_A)	Contributiemarge Bassat (m_B)
m(1000)	2000	1000
m(800)	1800	1000
m(600)	1600	1000
m(400)	1400	1000
m(200)	1200	1000
m(100)	1100	1000
m(50)	1050	1000
m(0)	1000	1000

4.4.3 Prioriteitsregel

In experiment 3 wordt er onderzocht: “Wat gebeurt er als de priority regel gewijzigd wordt en er voorrang wordt gegeven aan het product met een lagere winstvariantie om de flexibele lijn op te vullen?”.

In het basisexperiment wordt voorrang gegeven aan de Afour om de flexibele lijn op te vullen. Dit is ook het product met de hoogste winstvariantie, zoals sectie 4.1. aangeeft. In experiment 3 wordt de variantie van de Afours behouden op \$30; de variantie van de Bassats wordt in 3 verschillende fases

verlaagd naar \$30, \$15 en \$2. In de simulatie wordt er voorrang gegeven aan de Bassats, doordat zij een lagere winstvariantie hebben. Dit is de nieuwe prioriteitsregel. Tabel 7 geeft de verschillende experimenten weer waarbij de variantie van de Afours gelijk blijft (\$30) en de variantie van de Bassats daalt tot \$2.

Tabel 7: Overzicht experimenten prioriteitsregel: VAR(50), VAR(30), VAR(15), VAR(2)

Experiment	Variantie Afour	Variantie Bassat
VAR(50)	\$30	\$50
VAR(30)	\$30	\$30
VAR(15)	\$30	\$15
VAR(2)	\$30	\$2

5 Resultaten

In deze sectie worden de resultaten besproken van de experimenten rond de 3 parameters. In sectie 5.1. worden de resultaten besproken van de correlatie-experimenten. In sectie 5.2. worden de resultaten van de contributiemarge-experimenten toegelicht, en tenslotte in sectie 5.3. de resultaten van de experimenten rond de prioriteitsregel.

5.1 Correlatie

Subsectie 5.1.1. geeft een vergelijking van het optimale capaciteitsportfolio, het effect op de verwachte NAW en de verwachte variantie tussen de experimenten met en zonder budgetconstraint. Vervolgens worden de efficient frontiers van de experimenten met en zonder budgetbeperking besproken in sectie 5.1.1.1 en sectie 5.1.1.2.

5.1.1 Vergelijking optimale capaciteitsportfolio en het effect op de verwachte NAW en verwachte variantie NAW met en zonder budgetconstraint

De resultaten van de experimenten rond correlatie onder budgetbeperking tonen aan dat een veranderende correlatie weinig tot geen verschil geeft in het optimale capaciteitsportfolio voor de risico-neutrale investeerder. Er wordt telkens evenveel in CAP_A , CAP_B en CAP_{FLEX} geïnvesteerd, ongeacht de correlatiecoëfficiënt. Figuur 4 toont aan, dat hoewel de correlatie sterk positief en sterk negatief wordt, er geen verandering plaatsvindt in het optimale capaciteitsportfolio indien er een budgetconstraint wordt opgelegd. Dit is te wijten aan het beperkte budget. Indien we dezelfde experimenten rond correlatie uitvoeren zonder budgetbeperking, dan zijn er wel sterkere verschillen waar te nemen. Volgens onderzoek van Van Mieghem (1997) stijgen de dedicated capaciteiten op een concave manier als de correlatie stijgt. Dit is inderdaad het geval voor de dedicated capaciteit van de Afour. We zien op figuur 4 dat wanneer de correlatie stijgt (van $r=-1$ tot $r = 1$) de dedicated capaciteit van de Afour's steeds stijgt. De flexibele capaciteit kent een dalend verloop naarmate de correlatie positiever wordt. Hoe negatiever de correlatie, hoe meer er geïnvesteerd wordt in CAP_{FLEX} (Van Mieghem, 2008). De invulling van de

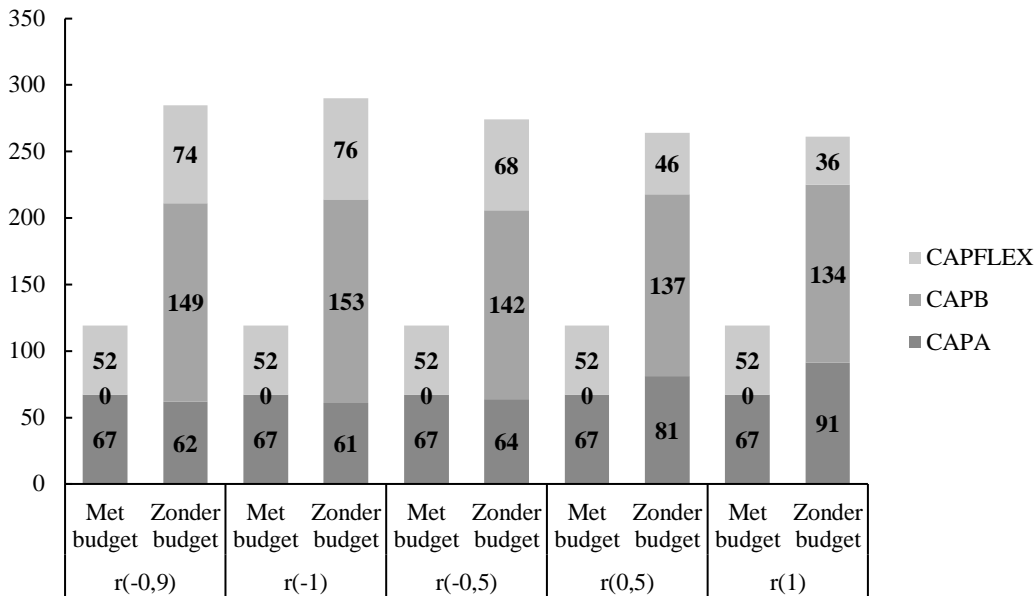
flexibele capaciteit daalt convex (Van Mieghem, 1997). Als de correlatie stijgt, dan daalt de invulling van CAP_{FLEX} . CAP_B kent een dalend verloop.

Ander onderzoek toont dezelfde resultaten aan. Als de correlatie stijgt, dan zal er meer geïnvesteerd worden in de dedicated capaciteit en minder in de flexibele capaciteit (Netessine, Dobson, & Shumsky, 2002). Het is vanzelfsprekend dat de capaciteitskost van de flexibele capaciteit hoger is dan de capaciteitskost van de dedicated capaciteiten. Flexibele capaciteit is in het algemeen duurder. Daardoor zal, wanneer de correlatie stijgt, er meer geïnvesteerd worden in de dedicated capaciteit en minder in de flexibele capaciteit (Netessine et al., 2002).

Onderzoek van Fine en Freud (1990) toont aan dat flexibele capaciteit geen bijkomende waarde kan leveren wanneer de producten perfect positief gecorreleerd zijn. Het is enkel voordelig om in CAP_{FLEX} te investeren als $r = 1$, indien de flexibele capaciteit het product goedkoper kan produceren dan de dedicated capaciteit. Deze bevindingen worden weerlegd door Jan Van Mieghem (1998). Hij stelt dat flexibele capaciteit wel bijkomende waarde kan leveren, ook al zijn de producten positief gecorreleerd.

Verder toont Jan Van Mieghem (1998) aan dat bij een perfect positieve correlatie, het investeren in de flexibele capaciteit ervoor kan zorgen dat er meer geproduceerd kan worden van het winstgevende product, de Afour, ten koste van het minst winstgevende product, de Bassat. Hij toont grafisch aan dat, wanneer de producten een perfecte negatieve correlatie hebben, er minder geïnvesteerd wordt in CAP_A dan wanneer de producten een perfect positieve correlatie hebben. Dit is ook het geval in Figuur 4: CAP_A daalt inderdaad wanneer de correlatie negatiever wordt. Figuur 4 toont bijgevolg aan dat er meer geïnvesteerd wordt in CAP_A en minder in zowel CAP_B als CAP_{FLEX} indien er geen budgetbeperking wordt opgelegd.

Optimale capaciteitsportfolio met en zonder budgetbeperking



Figuur 4: Optimale capaciteitsportfolio, experiment $r(-0,9) - r(0,5)$, met budget = \$100 milj. en zonder budget

Voor de experimenten met een budget van \$100 milj. blijft de verwachte NAW min of meer dezelfde hoeveelheid behouden, alsook de verwachte variantie. Er is vrijwel geen effect waar te nemen door het beperkte budget. Bij de experimenten zonder budgetconstraint is er namelijk wel een sterke verandering waar te nemen in de verwachte NAW en de variantie van de verwachte NAW.

Tabel 8 toont de verandering van de verwachte NAW en de variantie van de NAW voor de experimenten rond correlatie onder de randvoorwaarde met budget of zonder budget, waarbij de verwachte NAW en de variantie van de verwachte NAW constant blijven als r positief wordt bij de experimenten met budget. Bij de experimenten zonder budget daalt logischerwijs de verwachte NAW als gevolg van een stijging in de correlatie en stijgt de verwachte variantie van de NAW. Hoe hoger de correlatie, hoe hoger de verwachte variantie. Dit betekent zodoende dat er meer risico gepaard gaat met een hoge correlatie.

Tabel 8: Optimale verwachte NAW en verwachte variantie NAW, experiment $r(-0,9) - r(0,5)$, budget = \$100 milj. en zonder budget

	Budget = \$100 milj.		Geen budget	
Experiment	Optimale verwachte NAW	Verwachte variantie	Optimale verwachte NAW	Verwachte variantie
r(-0,9)	\$111 085	\$828	\$155 457	\$813
r(-1)	\$111 085	\$827	\$157 142	\$744
r(-0,5)	\$111 085	\$828	\$150 536	\$1 257
r(0,5)	\$111 024	\$839	\$142 711	\$2 638
r(1)	\$111 084	\$824	\$141 121	\$3 234

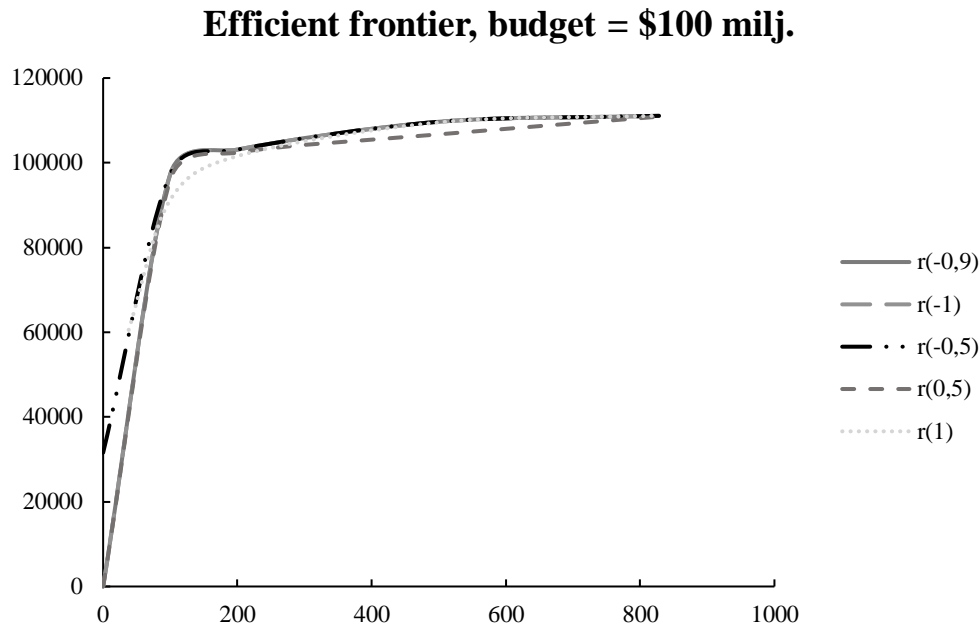
5.1.1.1 Efficient frontier, budget = \$100 milj.

De risico-averse investeerder, die zeer risico-avers is, prefereert het capaciteitsportfolio met de laagste verwachte variantie. De risico-neutrale investeerder, die zeer risico-neutraal is, prefereert het capaciteitsportfolio dat de NAW maximaliseert, ongeacht de verwachte variantie van de NAW. Figuur 5 toont dat de risico-averse investeerder, die zeer risico-avers is, een betere frontier behaalt indien $r = -0,5$ en dat de risico-neutrale investeerder, die zeer risico-neutraal is, onverschillig is tussen een correlatie van -1 , $-0,9$ of $-0,5$: ze genereren namelijk allemaal dezelfde verwachte NAW van \$111 085.

De risico-averse investeerder, die zeer risico-avers is, behaalt een betere frontier indien de producten een correlatie hebben van $-0,5$. Dit geeft hem namelijk een variantie van \$0 en een verwachte NAW van \$31 585, terwijl de producten met een correlatiecoëfficiënt van -1 , $-0,9$ en $0,5$ ook een variantie van \$0 hebben, maar een verwachte NAW geven van \$0. Hij kan dientengevolge voor dezelfde minimale variantie van \$0, een hogere verwachte NAW krijgen. Indien diezelfde beslissingsnemer toch ervoor kiest om risico aan te gaan in lichte mate, dan is hij het beste af bij een correlatie van $r = +1$. Daar is de verwachte variantie van de NAW \$38 en de verwachte NAW \$60 541.

De risico-neutrale investeerder, die zeer risico-neutraal is, haalt de hoogste verwachte NAW bij een correlatie van -1 , $-0,9$ en $-0,5$. Toch zal hij het meeste voordeel halen bij een correlatie van -1 . Bij deze correlatie krijgt hij de maximale verwachte NAW van \$111 085, maar tegen een lagere variantie: \$827.

Noch de risico-averse investeerders, noch de risico-neutrale investeerders winnen bij de stijging van correlatie. Doordat de verwachte NAW en de variantie van de NAW steeds vrijwel gelijk blijft, halen de investeerders slechts een beperkt of zelfs geen voordeel.



Figuur 5: Efficient frontiers, experiment $r(-0,9) - r(1)$, budget = \$100 milj.

5.1.1.2 Efficient frontiers, geen budget

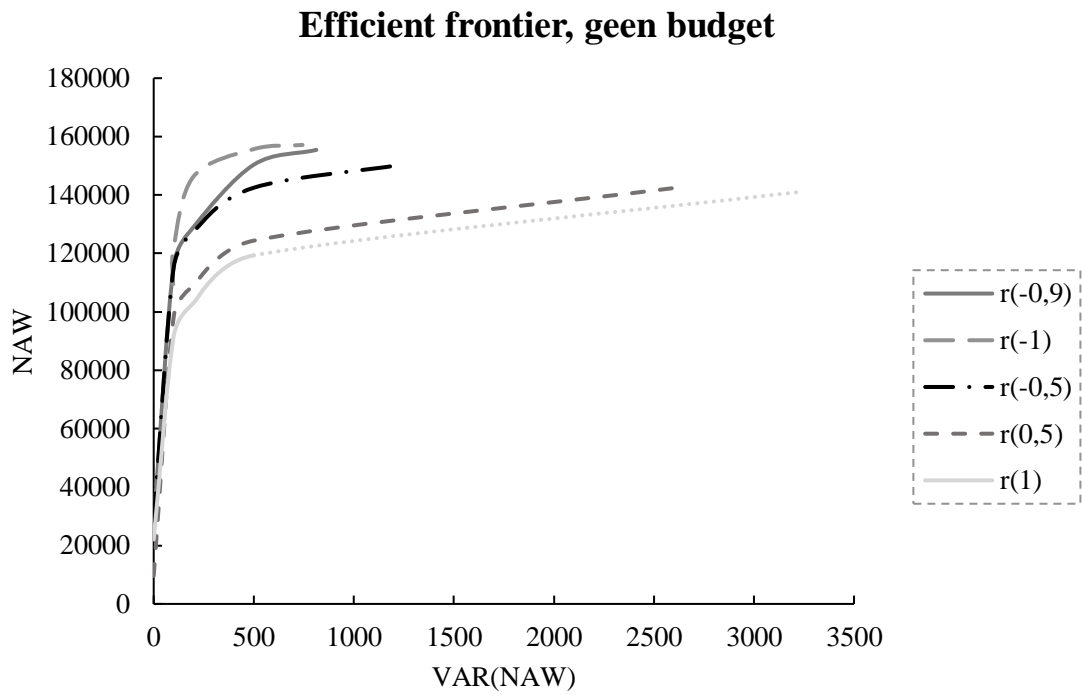
Een risico-averse investeerder, die zeer sterk risico-avers is, prefereert logischerwijs een variantie van \$0. Dat betekent dat deze risico-averse investeerder bij alle correlatiecoëfficiënten en zonder budget een voordeel haalt, behalve bij een coëfficiënt van -1. Deze r geeft namelijk een variantie van de verwachte NAW van \$97, terwijl de overige experimenten een verwachte variantie geven van \$0. Deze investeerder behaalt een betere frontier indien de $r = -0,5$. In dat geval is de verwachte NAW het hoogste: \$28 301. Merk op dat de verwachte NAW van experiment $r(-1)$ aanzienlijk hoger is: \$109 432. Naarmate de correlatiecoëfficiënt stijgt, daalt de verwachte NAW.

De risico-neutrale investeerder, die zeer sterk risico-neutraal is, haalt het meeste voordeel bij een correlatie van -1. Dan bedraagt de verwachte NAW \$157 142. Merk op dat de verwachte variantie bij een correlatie van $r = -1$ de laagste verwachte variantie is van alle experimenten.

Indien de correlatie stijgt, dan ondervindt de risico-neutrale investeerder een sterke invloed. Naarmate de correlatie stijgt, stijgt de variantie van de verwachte NAW sterk. Indien $r = +1$, dan bedraagt de variantie \$3 234. Deze investeerder ondervindt bijgevolg een nadeel van de stijging in de correlatie. Voor een hogere correlatiecoëfficiënt krijgt hij een hogere variantie en een lagere verwachte NAW. In tegenstelling tot een lagere correlatiecoëfficiënt, zodus negatief, waarbij hij een lagere variantie én een hogere verwachte NAW krijgt.

Ook de risico-averse investeerder ondervindt een hoge invloed van een stijgende correlatie. Bij een stijgende correlatie, daalt de verwachte NAW. De verwachte NAW daalt tussen $r = -1$ en $r = -0,9$ van \$109 432 naar \$27 626, maar stijgt tussen $r = -0,9$ en $r = -0,5$ tot \$28 301 en daalt vervolgens weer bij $r = 0,5$. Bij een perfecte positieve correlatiecoëfficiënt stijgt de verwachte NAW opnieuw. De verwachte NAW bedraagt \$9 567 indien $r = 0,5$ en bedraagt \$22 065 indien $r = 1$. Deze investeerder behaalt dus een voordeel indien er een stijging is in de correlatie van $r = 0,5$ tot $r = 1$, maar ondervindt een nadeel ten opzichte van alle negatieve correlatiecoëfficiënten. De verwachte NAW is namelijk bij alle negatieve correlatiecoëfficiënten hoger dan bij de positieve correlatiecoëfficiënten.

Figuur 6 toont dat de risico-neutrale investeerder een betere frontier bereikt bij een correlatie van -1 en de risico-averse investeerder bij een correlatie van $-0,5$ indien ze beiden respectievelijk extreem risico-neutraal en risico-avers zijn.



Figuur 6: Efficient frontiers, experiment $r(-0,9) - r(1)$, geen budget

5.2 Contributiemarge

Deze sectie is onderverdeeld in slechts 1 subsectie. Subsectie 5.2.1. maakt een vergelijking van de resultaten uit de experimenten m.b.t. contributiemarge met en zonder budgetconstraint.

5.2.1 Vergelijking experiment contributiemarge met budgetconstraint en zonder budgetconstraint

Het is nuttig om een vergelijking te formuleren tussen de experimenten rond contributiemarge met budget en zonder budget. Figuur 7 toont een daling in CAP_A , een stijging in CAP_B en een daling in CAP_{FLEX} naarmate de contributiemarges homogener worden bij een budgetbeperking. Verder toont figuur 7 een gelijkblijvende CAP_A , een stijging in CAP_B en een daling in CAP_{FLEX} naarmate de contributiemarges homogener worden zonder budgetbeperking. Naarmate we meer naar rechts gaan op Figuur 7, richting $m(0)$, worden de contributiemarges homogener.

Bij experiment $m(1000)$ is de optimale hoeveelheid CAP_A voor de risico-neutrale investeerder bij de experimenten met en zonder budget quasi gelijk. De resultaten van dit experiment met en zonder budgetconstraint tonen aan dat er veel geïnvesteerd wordt in de dedicated capaciteit van de Afour. Dit is vanzelfsprekend omdat de Afour momenteel de hoogste contributiemarge heeft. Zonder budget wordt er altijd min of meer evenveel geïnvesteerd in CAP_A , ongeacht het verschil in contributiemarge. Er is een lichte afwijking bestaande als gevolg van afronding.

Als we vervolgens kijken naar de hoeveelheid CAP_B in experiment $m(1000)$, dan is het opmerkelijk dat bij het experiment met budget er niet geïnvesteerd wordt in CAP_B en bij het experiment zonder budget is $CAP_B = 149$. De reden hiervoor is dat met een beperkt budget, men zal investeren in het product met de grootste contributiemarge, de Afour (Van Mieghem, 2008). Investeren in CAP_B is hier niet voordelig. Bovendien is de contributiemarge van de Afour zelfs dubbel zo groot als de contributiemarge van de Bassat. Het investeren in CAP_{FLEX} is vervolgens wel voordelig, aangezien deze capaciteit (ook) kan benut worden met de productiehoeveelheden van de Afour. Binnen het gegeven budget van \$100 000 bij heterogene contributiemarges, wordt de dedicated lijn van het product met de hoogste contributiemarge (CAP_A) zo veel mogelijk benut en wordt de flexibele lijn benut met het product met de hoogste contributiemarge.

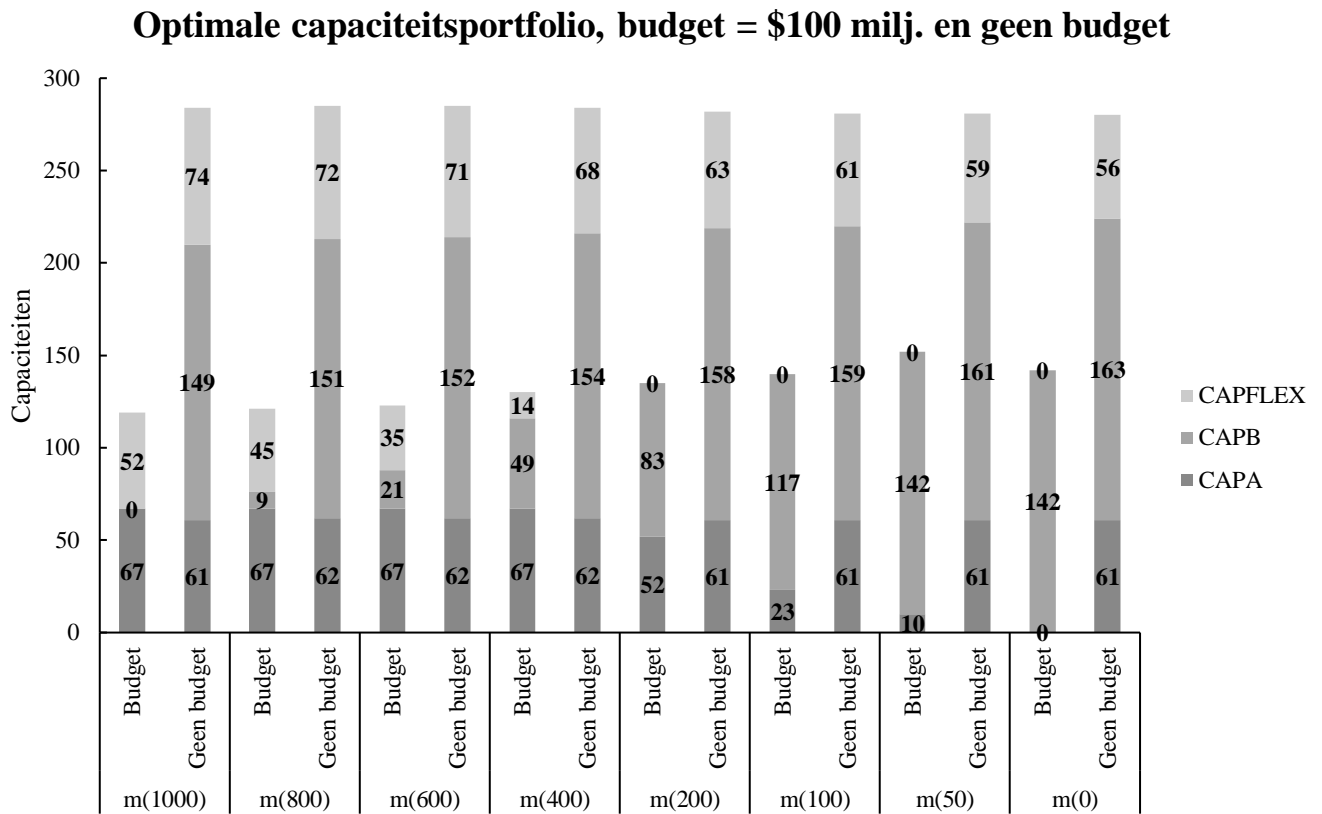
Naargelang de contributiemarges homogener worden, blijft CAP_A stabiel bij de experimenten zonder budget. Volgens Van Mieghem (1998) zou de investering in CAP_A moeten dalen naarmate de

contributiemarges homogener worden. Dit is niet het geval in de experimenten zonder budget. Bij de experimenten met een budgetbeperking daalt de hoeveelheid CAP_A wel. Dit is een vanzelfsprekend effect. Het voordeel dat gehaald kan worden uit het product met de hoogste contributiemarge wordt steeds kleiner als de contributiemarges homogener worden. Opmerkelijk is het experiment $m(100)$. Er is een grote daling in de investering van CAP_A ten opzichte van het vorige experiment $m(200)$. De hoeveelheid van CAP_A kent een sterke daling van 52 eenheden naar 23 eenheden. Een reden hiervoor is dat het voordeel om te investeren in CAP_A wegvalt. Het verschil tussen de contributiemarge van de Afour (\$1100) en de capaciteitskost van de Afour (\$800) zorgt voor een nettoverschil van \$300. Verder is het verschil tussen het contributiemarge van de Bassat (\$1000) en de capaciteitskost van de Bassat (\$700) ook \$300. Bijgevolg valt het voordeel om in de Afour te investeren weg en wordt dit gecompenseerd door de sterke stijging in CAP_B van experiment $m(200)$ tot $m(100)$. Als ten slotte de contributiemarges van beide producten gelijk gesteld worden in experiment $m(0)$, in dit geval \$1000, dan daalt CAP_A zelfs tot 0 (Van Mieghem, 1997). Dit is te verklaren doordat de investeringskost van CAP_A hoger is (\$800) dan de investeringskost van CAP_B (\$700).

Verder is er bij beide experimenten, met budget en zonder budget, een stijging in de hoeveelheid CAP_B . Zoals eerder verklaard, stijgt de hoeveelheid CAP_B als de contributiemarges homogener worden. Weliswaar is dit effect groter bij de experimenten met budgetbeperking, want zonder budget is de keuze om al dan niet te investeren in CAP_B minder doorslaggevend door het onbeperkte budget. Indien er wel een budget is, stijgt de hoeveelheid van CAP_B steeds sterker omdat de voorkeur uitgaat naar de Bassat met een capaciteitskost van \$700 ten opzichte van de Afour met een capaciteitskost van \$800. Bij de experimenten met budget stijgt CAP_B uiteindelijk tot 142 eenheden bij homogene contributiemarges. De vergelijking van de experimenten met en zonder budget leert ons dat het effect van de investering in de capaciteiten bij beiden wel degelijk bestaande, maar bij het ene is het effect sterker dan bij de andere.

Ten slotte kan er ook een vergelijking gemaakt worden op basis van CAP_{FLEX} . Het effect bij CAP_{FLEX} is min of meer hetzelfde als bij CAP_B . De hoeveelheid CAP_{FLEX} daalt bij beide experimenten, maar de daling is sterker bij de experimenten met budget dan zonder budget. Het wordt minder interessant om de flexibele lijn op te vullen met het product met de grootste contributiemarge naarmate de contributiemarges homogener worden. Bij de experimenten met budget wordt de flexibele capaciteit niet meer benut en daalt volledig tot 0. Investeren in CAP_{FLEX} is niet meer voordelig. De resultaten zijn ook te verklaren aan het feit dat het experiment uitgevoerd onder de assumptie dat de manager risico-neutraal is. Verder wordt de daling van CAP_{FLEX} gesubstitueerd door een stijging in CAP_B (Van Mieghem, 1997).

Volgens onderzoek van Van Mieghem (1998) zijn deze resultaten verklaarbaar. Indien we de contributiemarge van de Afour verhogen en de contributiemarge van de Bassat constant houden op \$1000, dan zal het verschil in eenheidscontributiemarge $\Delta m = m_A - m_B$ steeds groter worden. Indien Δm groot genoeg is, dan pas zal het voordeliger zijn om te investeren in de dedicated capaciteit van de Afour. De capaciteitskost van de Afour is hoger dan die van de Bassat. Pas vanaf het moment dat de uitweging bestaande is van de capaciteitskosten tegen elkaar, dan zal er meer geïnvesteerd worden in CAP_A . De reden hiervoor is dat het product met de hoogste contributiemarge daardoor ook het meeste geld genereert. Bovendien heeft het verhogen van de contributiemarge van de Afour een ander positief effect: door de stijging wordt de dedicated resource van het minst winstgevende product, in dit geval de Bassat, gesubstitueerd door flexibele capaciteit (Van Mieghem, 1998). Zo bestaat er, binnen het budget van \$100 miljoen een grotere mogelijkheid om de flexibele capaciteit op te vullen met het product met de hoogste contributiemarge. De investering in CAP_B daalt, want het is voordeliger om het budget te investeren in een product met een grotere contributiemarge (Van Mieghem, 1998).



Figuur 7: Optimale capaciteitsportfolio, experiment m(1000) – m(0), vergelijking budget en geen budget

Tabel 9 toont voor de experimenten met en zonder budgetbeperking de daling in de verwachte NAW en de daling van de variantie van de verwachte NAW tot op het punt m(100) voor de experimenten met budget en tot op het punt m(200) voor de experimenten zonder budget. De verwachte NAW kent een dalend verloop voor de experimenten met en zonder budget. Dit is een logisch gevolg van dalende contributiemarges. Bij de vergelijking van de verwachte NAW en de verwachte variantie van de NAW in tabel 9, is het vanzelfsprekend dat de verwachte NAW altijd hoger is bij de experimenten zonder budget dan bij de experimenten met budget. Er valt immers een constraint weg bij de optimalisatie. De variantie van de verwachte NAW is bij elk experiment hoger voor het experiment zonder budget dan met budget, behalve bij experiment m(1000). Opmerkelijk bij de variantie van de verwachte NAW is dat de variantie bij beide experimenten een dalend verloop heeft en vanaf een bepaald punt weer stijgend is. Dit punt is voor de experimenten met budget bij het experiment m(100) en bij de experimenten zonder budget bij het experiment m(200).

Tabel 9: vergelijking verwachte NAW en verwachte variantie NAW bij budget = \$100 milj. en geen budget, experiment m(1000) – m(0)

Experiment	Budget of geen budget	Verwachte NAW	Variatie verwachte NAW
m(1000)	Budget	\$111 085	\$828
	Geen budget	\$155 457	\$806
m(800)	Budget	\$92 397	\$518
	Geen budget	\$135 885	\$554
m(600)	Budget	\$74 222	\$287
	Geen budget	\$116 353	\$367
m(400)	Budget	\$57 551	\$124
	Geen budget	\$96 874	\$249
m(200)	Budget	\$44 982	\$22
	Geen budget	\$77 537	\$205
m(100)	Budget	\$41 225	\$16
	Geen budget	\$67 956	\$206
m(50)	Budget	\$40 445	\$43
	Geen budget	\$63 189	\$216
m(0)	Budget	\$40 229	\$82
	Geen budget	\$58 452	\$243

5.3 Prioriteitsregel

In deze sectie worden de resultaten van de experimenten rond de prioriteitsregel besproken. In sectie 5.3.1. worden de resultaten getoond van het experiment met een budget, waarbij sectie 5.3.1.1. de resultaten omtrent de efficient frontiers weergeeft. In de volgende sectie, sectie 5.3.2., worden de resultaten van dezelfde experimenten weergegeven zonder budget. Subsectie 5.3.2.1. geeft een overzicht van de efficient frontiers zonder budgetbeperking. Ten slotte wordt in sectie 5.3.3. een vergelijking verleend van de efficient frontiers met budget en zonder budget.

5.3.1 Capaciteiten en effect op de verwachte NAW en verwachte variantie NAW met budgetconstraint

De resultaten van de experimenten rond de prioriteitsregel met een budget van \$100 miljoen tonen geen zeer opmerkelijke resultaten. Figuur 8 toont dat het optimale capaciteitsportfolio voor de risico-neutrale investeerder niet verandert bij een budget van \$100 milj., naarmate de variantie van de Bassat daalt.

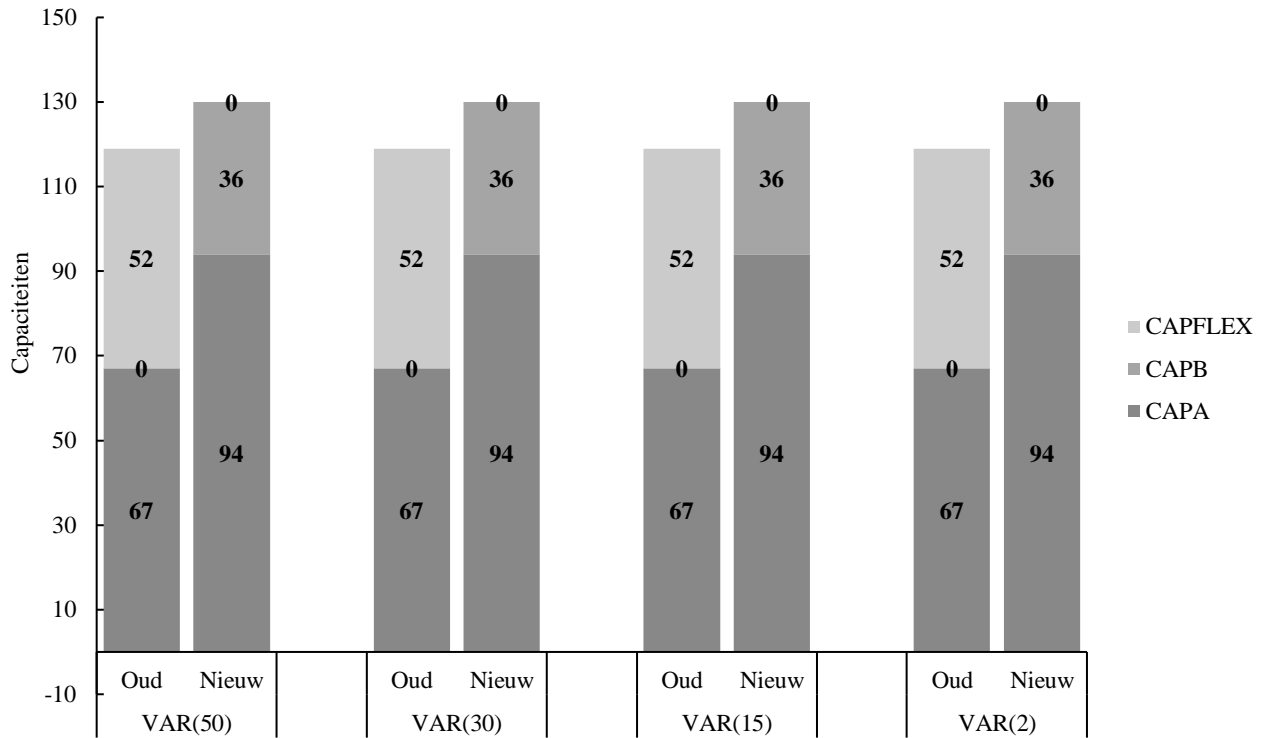
Indien de variantie van de vraag naar Bassats daalt, is er bij zowel de oude als de nieuwe prioriteitsregel geen verandering in het optimale capaciteitsportfolio voor de risico-neutrale investeerder. Het optimale capaciteitsportfolio blijft met andere woorden doorheen de experimenten stabiel voor dezelfde prioriteitsregel. Wel is er een verschil in het optimale capaciteitsportfolio tussen de 2 regels bij hetzelfde experiment en dus bij dezelfde variantie van de Bassat.

Bij de oude prioriteitsregel wordt er het meeste geïnvesteerd in CAP_A , omdat dit product de hoogste contributiemarge heeft. Er wordt niet geïnvesteerd in CAP_B . Dit is een vanzelfsprekend resultaat aangezien het budget beperkt is en men dientengevolge meer voordeel kan halen door te investeren in het product met de hoogste contributiemarge. Er wordt wel geïnvesteerd in CAP_{FLEX} aangezien het voordelig is om hierin in te investeren. Het voordeel wordt gehaald doormiddel van voorrang te geven aan de Afour, het product met de hoogste contributiemarge.

Het is vanzelfsprekend dat CAP_{FLEX} daalt tot 0 bij de nieuwe prioriteitsregel voor het optimale portfolio van de risico-neutrale investeerder. Er is voorrang gegeven aan het product met de laagste contributiemarge, de Bassat. Het voordeel dat bestaande was om CAP_{FLEX} op te vullen met het product met de hoogste contributiemarge, is er niet meer. Ook al daalt de variantie van de Bassat, het is niet voordelig om te investeren in CAP_{FLEX} binnen het budget van \$100 miljoen. Als gevolg hiervan wordt

er aanzienlijk meer geïnvesteerd in CAP_A, want dit genereert nog steeds het meeste geld. Er wordt vervolgens ook geïnvesteerd in CAP_B.

Optimale capaciteitsportfolio, budget = \$100 milj.



Figuur 8: Optimale capaciteitsportfolio voor de risico-neutrale investeerder, experiment VAR(50) – VAR(2), budget = \$100 milj., oude versus nieuwe prioriteitsregel

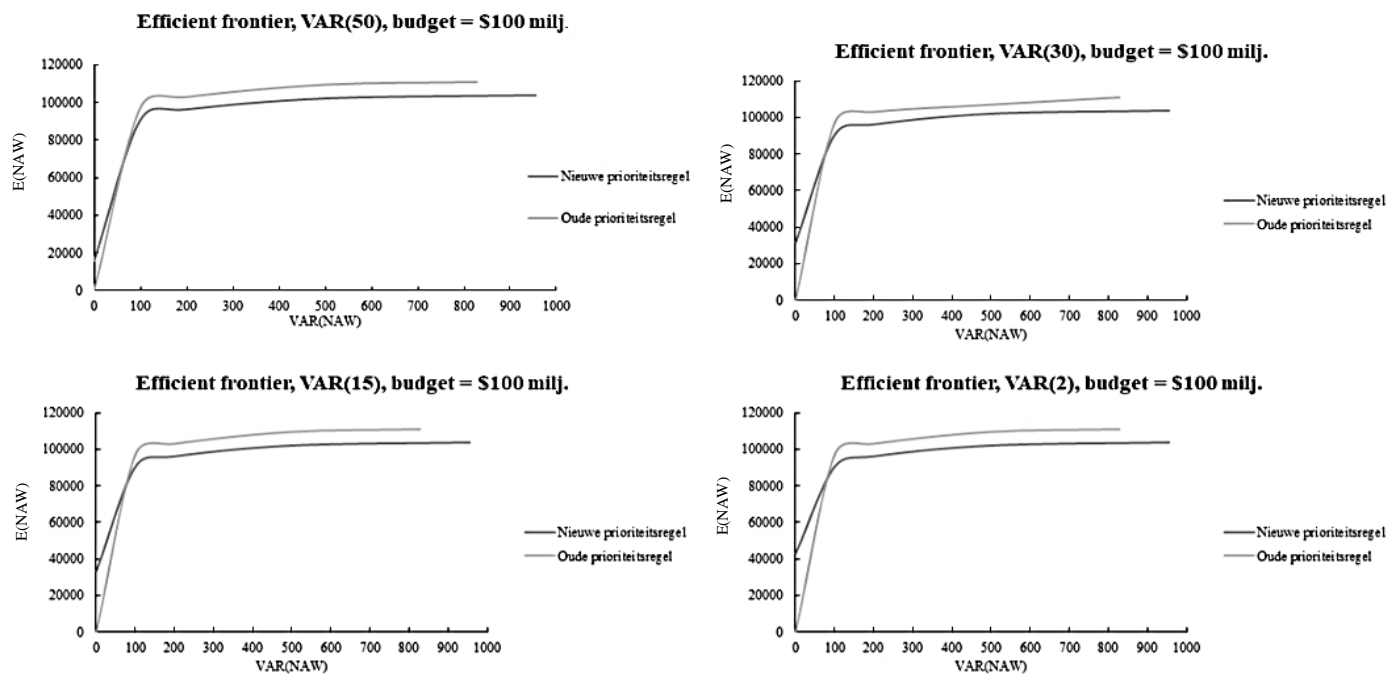
Doordat het optimale capaciteitsportfolio voor beide prioriteitsregels niet verandert doorheen de experimenten, is het vanzelfsprekend dat de verwachte NAW en de variantie van de verwachte NAW ook niet veranderen. Tabel 10 toont een constante verwachte NAW en een constante variantie van de verwachte NAW voor beide prioriteitsregels met budgetbeperking. Merk op dat deze getallen afgerond zijn. Het is zelfs opmerkelijk dat, ook al daalt de variantie van de Bassat, de verwachte variantie van de NAW bij de nieuwe prioriteitsregel hoger is dan bij de oude prioriteitsregel. Daarenboven is de verwachte NAW bij de oude prioriteitsregel hoger dan bij de nieuwe prioriteitsregel.

Tabel 10: Optimale verwachte NAW en verwachte variantie NAW, experiment VAR(50) – VAR(2), budget = \$100 milj., oude versus nieuwe prioriteitsregel

Experi- ment	VAR(50)		VAR(30)		VAR(15)		VAR(2)	
	Oude	Nieuwe	Oude	Nieuwe	Oude	Nieuwe	Oude	Nieuwe
VAR (NAW)	\$827	\$956	\$827	\$957	\$829	\$956	\$828	\$957
NAW	\$111 085	\$103 973	\$111 085	\$103 973	\$111 085	\$103 973	\$111 085	\$103 973

5.3.1.1 Efficient frontiers

Het is vervolgens nuttig om een vergelijking te maken tussen de oude prioriteitsregel en de nieuwe prioriteitsregel om na te gaan wanneer de risico-neutrale beslissingsnemer beter af is en wanneer de risico-averse beslissingsnemer een voordeel haalt.



Figuur 9: Efficient frontier experiment prioriteitsregel, VAR (50): $\sigma^2_A=30, \sigma^2_B=50$, VAR (30): $\sigma^2_A=30, \sigma^2_B=30$, VAR (15): $\sigma^2_A=30, \sigma^2_B=15$, VAR (2): $\sigma^2_A=30, \sigma^2_B=2$ budget = \$100 milj., oude versus nieuwe prioriteitsregel

Figuur 9 toont aan dat sterke risico-averse investeerders steeds een voordeel zullen halen bij het toepassen van de nieuwe prioriteitsregel; matig risico-averse investeerders alsook risico-neutrale investeerders bereiken een betere frontier door te kiezen voor de oude prioriteitsregel.

Het minimal risk portfolio van de oude prioriteitsregel bestaat voor alle experimenten uit een verwachte variantie van de NAW van \$0. Opmerkelijk is dat de verwachte NAW voor experiment VAR(50) en VAR(30) gelijk is aan \$0, terwijl de verwachte NAW bij de overige 2 experimenten verschilt van \$0. Bij VAR(15) stijgt de verwachte NAW tot \$21 en bij VAR(2) tot \$81.

Het minimal risk portfolio van de nieuwe prioriteitsregel heeft ook voor alle experimenten een verwachte variantie gelijk aan \$0. Opmerkelijk is wel, en dit is ook duidelijk grafisch te zien op figuur 9, dat wanneer de variantie van de Bassat daalt, de verwachte NAW stijgt in het minimal risk portfolio. Met andere woorden: de verwachte NAW van het minimal risk portfolio stijgt naarmate we gaan van VAR(50) tot VAR(2) voor de nieuwe prioriteitsregel. Dat betekent dat het intercept met de y-as steeds hoger ligt.

De voorkeur van de risico-neutrale investeerder, die zeer risico-neutraal is, zou bij ieder experiment uitgaan naar de oude prioriteitsregel, die de voorrang geeft aan de Afour om de flexibele lijn op te vullen. Als de risico-neutrale investeerder vervolgens zou moeten kiezen tussen de verschillende experimenten en een keuze zou kunnen maken over de variantie van de Bassat, dan is hij hier onverschillig over. Alle experimenten genereren voor de oude prioriteitsregel dezelfde verwachte NAW en dezelfde verwachte variantie van de NAW.

Het maximum value portfolio is voor de oude prioriteitsregel voor elk experiment hetzelfde, namelijk: verwachte NAW = \$111 085 en verwachte variantie van de NAW = \$828. Tabel 10 toonde deze resultaten. Merk op dat de getallen van de verwachte variantie in tabel 10 afgerond zijn en niet allemaal \$828 bedragen. Er bestaat een lichte afwijking.

Het maximum value portfolio van de nieuwe prioriteitsregel is ook voor elk experiment hetzelfde, namelijk: verwachte NAW = \$103 873 en een verwachte variantie van de NAW = \$957. Tabel 10 toonde deze resultaten, maar ook hier zijn de getallen afgerond en bestaat er een lichte afwijking.

De voorkeur van de risico-averse investeerder, die zeer risico-avers is, gaat uit naar de laagste variantie. De risico-averse investeerder bereikt een betere frontier indien hij de nieuwe prioriteitsregel van toepassing is. Indien de risico-averse investeerder moet kiezen tussen de verschillende experimenten en een keuze zou kunnen maken over de variantie van de Bassat, dan zal zijn voorkeur uitgaan naar experiment VAR(2). Hier krijgt de risico-averse investeerder voor dezelfde variantie (\$0), de hoogste verwachte NAW (\$42 857).

5.3.2 Capaciteiten en effect op de verwachte NAW en variantie zonder budgetconstraint

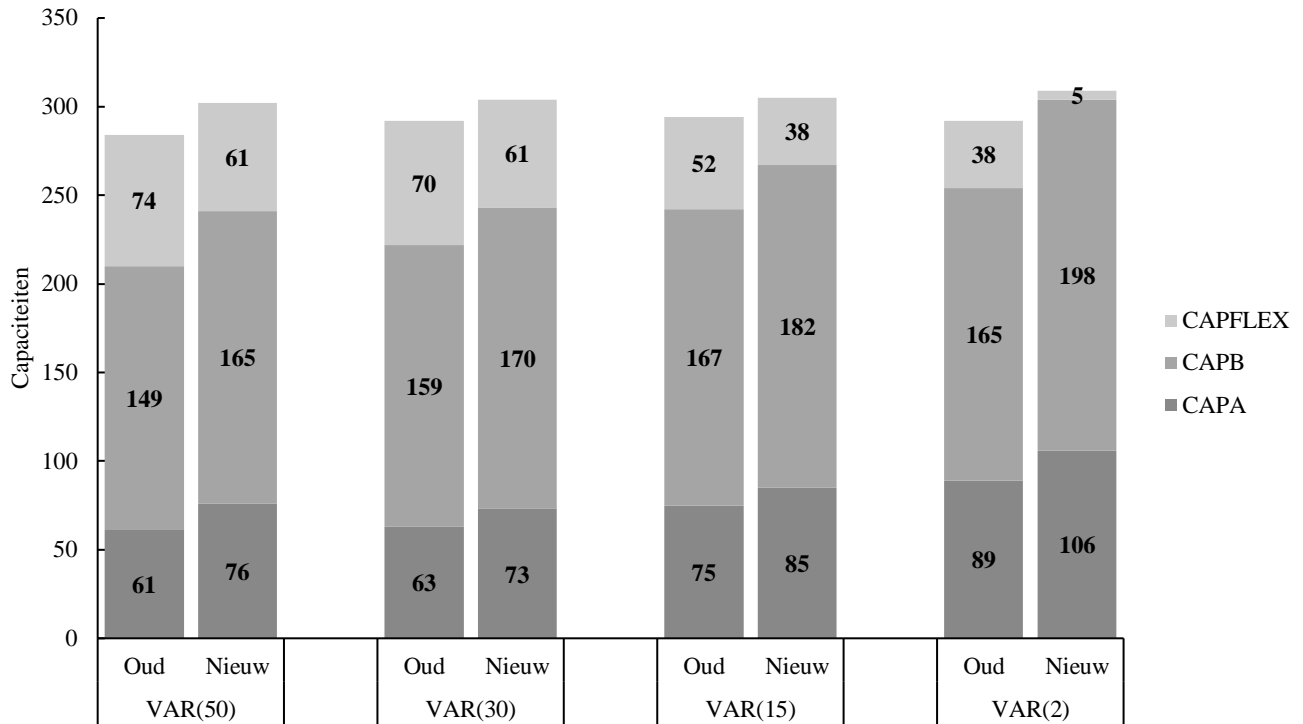
Dezelfde experimenten zonder budget tonen geheel andere resultaten. De optimale capaciteitsportfolio's voor de risico-neutrale investeerder blijven doorheen de experimenten niet gelijk voor éénzelfde prioriteitsregel, in tegenstelling tot de experimenten met budget.

Bij de oude prioriteitsregel stijgt de hoeveelheid van CAP_A doorheen de experimenten. CAP_B kent ook een stijgend verloop tot en met experiment VAR(15). Bij het daaropvolgende experiment, VAR(2), daalt de hoeveelheid CAP_B waarin wordt geïnvesteerd weer matig. De flexibele capaciteit kent een dalend verloop naarmate de variantie van de Bassat daalt.

Bij de nieuwe prioriteitsregel kent de dedicated capaciteit van de Afour een ander verloop. CAP_A daalt van VAR(50) tot en met VAR(30), maar stijgt vanaf dat moment weer. Verder kent de dedicated capaciteit van de Bassat ook een ander verloop bij de nieuwe prioriteitsregel dan bij de oude prioriteitsregel. CAP_B kent bij de nieuwe prioriteitsregel een stijgend verloop doorheen de experimenten. Ten slotte verloopt de evolutie van CAP_{FLEX} ook anders. Bij experiment VAR(50) en VAR(30) blijft CAP_{FLEX} dezelfde hoeveelheid behouden, maar vanaf dan daalt CAP_{FLEX} .

Figuur 10 toont aan dat bij de oude prioriteitsregel zonder budgetconstraint CAP_A stijgt, CAP_B piekt bij VAR(15) en CAP_{FLEX} daalt naarmate de variantie van de Bassat daalt. Verder toont figuur 10 dat CAP_A daalt tot en met VAR(30) en vervolgens stijgt, CAP_B stijgt en CAP_{FLEX} daalt vanaf VAR(30) bij de nieuwe prioriteitsregel zonder budgetconstraint.

Optimale capaciteitsportfolio, geen budget



Figuur 10: Optimale capaciteitsportfolio, experiment VAR(50) – VAR(2), geen budget, oude versus nieuwe prioriteitsregel

Verder tonen de resultaten van de verwachte NAW en de verwachte variantie van de NAW bij de experimenten zonder budget compleet andere cijfers dan bij de experimenten met een budget. Tabel 11 geeft weer dat de verwachte NAW bij beide prioriteitsregels stijgen tot en met VAR(15) en daarna dalen en dat de variantie van de verwachte NAW stijgt, naarmate de variantie van de Bassat daalt.

Bij de oude prioriteitsregel kent de verwachte NAW een stijgend verloop tot en met experiment VAR(15). In experiment VAR(2) daalt de verwachte NAW. Bij de nieuwe prioriteitsregel stijgt de verwachte NAW ook van experiment VAR(50) tot en met VAR(15). In experiment VAR(2) daalt de verwachte NAW. De verwachte NAW kent éénzelfde evolutie bij beide prioriteitsregels. Echter is de hoogte van de NAW van de nieuwe prioriteitsregel lager dan de NAW van de oude prioriteitsregel voor alle experimenten.

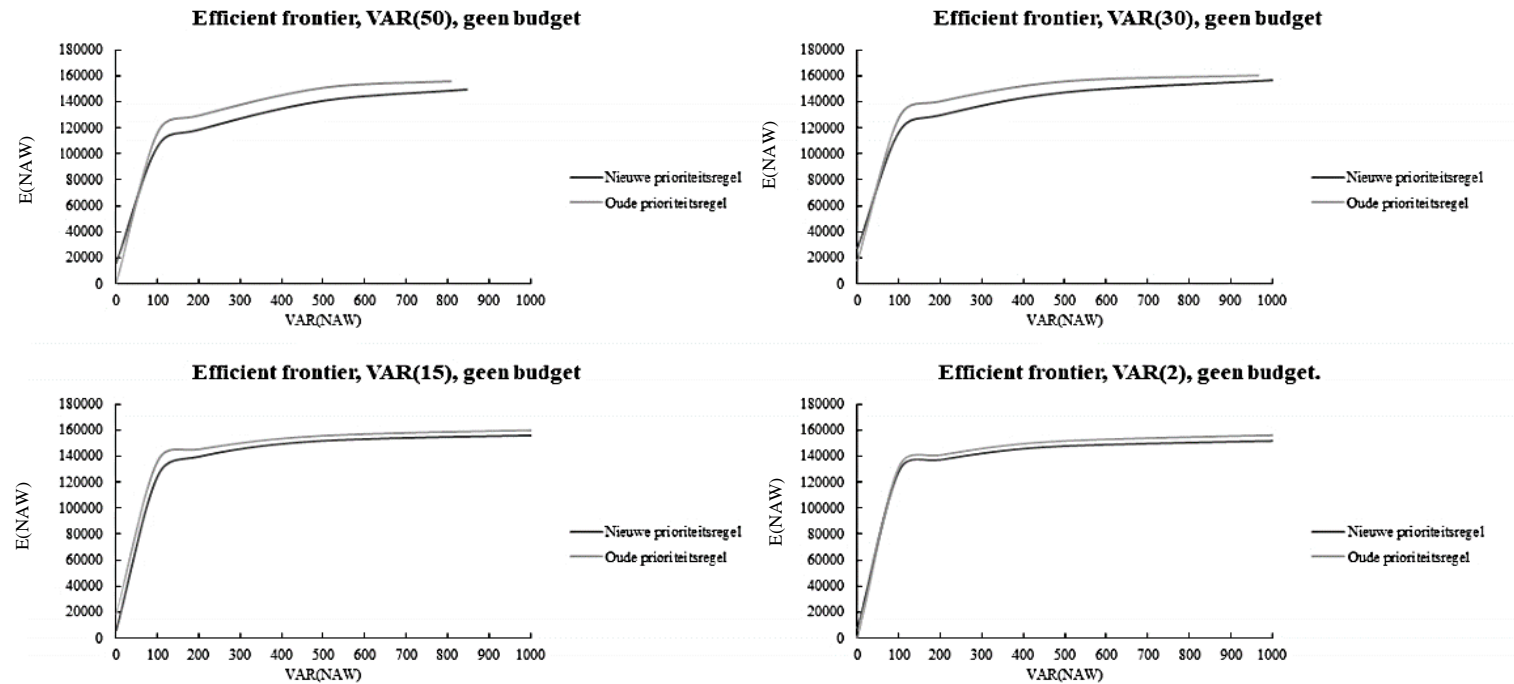
De verwachte variantie van de NAW heeft een stijgende evolutie bij beide prioriteitsregels. Hierbij is het ook opmerkelijk dat de variantie van de nieuwe prioriteitsregel steeds hoger ligt gedurende de experimenten dan de variantie bij de oude prioriteitsregel.

Tabel 11: Optimale verwachte NAW en verwachte variantie NAW, experiment VAR (50) – VAR(2), geen budget, oude versus nieuwe prioriteitsregel

Experiment	VAR(50)		VAR(30)		VAR(15)		VAR(2)	
	Oude	Nieuwe	Oude	Nieuwe	Oude	Nieuwe	Oude	Nieuwe
Prioriteits- regel	Oude	Nieuwe	Oude	Nieuwe	Oude	Nieuwe	Oude	Nieuwe
VAR (NAW)	\$808	\$847	\$966	\$1 006	\$1 195	\$1 269	\$1 490	\$1 658
NAW	\$155 457	\$149 766	\$160 626	\$156 229	\$161 381	\$157 641	\$159 443	\$156 086

5.3.2.1 Efficient frontiers

Ten slotte is het nuttig om een vergelijking te maken tussen de risico-neutrale investeerder en de risico-averse investeerder op basis van de efficient frontiers.



Figuur 11: Efficient frontier experiment prioriteitsregel, VAR (50): $\sigma_A^2=30, \sigma_B^2=50$, VAR (30): $\sigma_A^2=30, \sigma_B^2=30$, VAR (15): $\sigma_A^2=30, \sigma_B^2=15$, VAR (2): $\sigma_A^2=30, \sigma_B^2=2$, geen budget, oude versus nieuwe prioriteitsregel

Figuur 11 toont aan dat, zonder budgetbeperking, de risico-averse investeerder, die zeer risico-avers is, een betere frontier bereikt door te kiezen voor de nieuwe prioriteitsregel voor alle varianties van de Bassat, behalve bij VAR(15). De matig risico-averse investeerders en de risico-neutrale investeerders bereiken een betere frontier door te kiezen voor de oude prioriteitsregel.

Het is niet zo dat de efficient frontiers eenzelfde verloop hebben zoals bij de efficient frontiers van de experimenten met budgetbeperking. Bij de experimenten VAR(50), VAR(30) en VAR(2) ligt de efficient frontier van de nieuwe prioriteitsregel in het begin boven de efficient frontier van de oude prioriteitsregel tot op een bepaald punt. Vanaf dat punt ligt de efficient frontier van de oude prioriteitsregel boven de efficient frontier van de nieuwe prioriteitsregel. Echter, bij experiment VAR(15) ligt de efficient frontier van de oude prioriteitsregel altijd boven de efficient frontier van de nieuwe prioriteitsregel.

Het minimal risk portfolio van de oude prioriteitsregel bestaat voor alle experimenten uit een verwachte variantie van de NAW van \$0. Enkel bij experiment VAR(50) bedraagt de verwachte NAW ook \$0. Bij experiment VAR(30) en VAR(15) ligt de verwachte NAW beduidend hoger: respectievelijk \$17 363 en \$18 319. Bij experiment VAR(2) is de verwachte NAW aanzienlijk lager: \$23.

Het minimal risk portfolio van de nieuwe prioriteitsregel heeft ook voor alle experimenten een verwachte variantie gelijk aan \$0. Bij experiment VAR(50) en VAR(30) is de verwachte NAW zeer hoog, zoals te zien aan het intercept met de y-as op figuur 11. Deze bedragen respectievelijk: \$15 789 en \$27 850. Merk op dat de verwachte NAW bij VAR(50) lager is dan bij VAR(30). Bij experiment VAR(15) kent de verwachte NAW van het minimal risk portfolio de laagste waarde: \$5 469. Bij VAR(2) stijgt de verwachte NAW weer tot \$7 239.

Bijgevolg zou de risico-averse investeerder, die zeer risico-avers is, bij VAR(50), VAR(30) en VAR(2) kiezen voor de nieuwe prioriteitsregel. Zijn voorkeur gaat dan uit naar het opvullen van de flexibele lijn met het product met de laagste contributiemarge. Bij experiment VAR(15) gaat zijn voorkeur uit naar de oude prioriteitsregel: bij dezelfde verwachte variantie van \$0, krijgt hij bij de oude prioriteitsregel een hogere verwachte NAW. De risico-averse investeerder haalt de beste frontier in experiment VAR(30). Daar krijgt hij voor dezelfde variantie van \$0 de hoogste NAW: \$27 850.

Het maximum value portfolio ligt voor de oude prioriteitsregel hoger dan voor de nieuwe prioriteitsregel voor elk experiment. Die resultaten zijn terug te vinden in tabel 11.

De matig risico-averse investeerder en de risico-neutrale investeerder kiezen in dit geval altijd voor de oude prioriteitsregel. Indien deze investeerders zouden moeten kiezen tussen de verschillende

experimenten, dan zou hun voorkeur uitgaan naar experiment VAR(15). Dan krijgen ze de hoogste verwachte NAW, ongeacht het risico.

5.3.3. Vergelijking efficient frontiers experimenten met en zonder budgetbeperking

Het is bijgevolg nuttig om een vergelijking te formuleren tussen de efficient frontiers met en zonder budgetbeperking bij de verschillende prioriteitsregels en de verschillende experimenten. Deze vergelijking is gebaseerd op de figuren die zich bevinden in bijlage 1 tot en met 4. Het zijn dezelfde figuren uit sectie 5.3.1.1. en 5.3.2.1. maar dan samengevoegd per experiment.

In het experiment VAR(50), ondervindt een risico-averse investeerder, die zeer sterk risico-avers is, een voordeel indien hij een efficient frontier kan bereiken door te kiezen voor de nieuwe prioriteitsregel zonder budget. Hoewel voor deze investeerder de varianties van alle prioriteitsregels, ongeacht de budgetbeperking, \$0 bedragen, haalt deze investeerder voor de nieuwe prioriteitsregel zonder budget een verwachte NAW van \$15 789. Daaropvolgend geeft de nieuwe prioriteitsregel met een budgetbeperking de hoogste verwachte NAW, namelijk \$15 433. Ten slotte is de oude prioriteitsregel niet interessant voor deze investeerder; ze generen beiden een verwachte NAW van \$0.

De matig risico-averse investeerders en de risico-neutrale investeerders bereiken een betere frontier door geen budgetbeperking op te leggen. Zowel de oude als de nieuwe prioriteitsregel zonder budgetbeperking zijn voordeliger dan de prioriteitsregels met budgetbeperking. Indien deze investeerders geen budgetbeperking hanteren, dan bereiken ze een betere frontier indien ze kiezen voor de oude prioriteitsregel. De verwachte NAW bedraagt in dat geval \$155 457.

Bijlage 1 figuur 1 geeft weer voor VAR(50) weer dat de risico-averse investeerder, die sterk risico-avers is een betere frontier behaalt door te kiezen voor de nieuwe prioriteitsregel zonder budget. De matig risico-averse investeerder en de risico-neutrale investeerders bereiken een betere frontier door te kiezen voor de oude prioriteitsregel zonder budget.

Voor experiment VAR(30) geven de efficient frontiers andere resultaten weer. Het is voor de risico-averse investeerder, die zeer risico-avers is, niet het meest voordelig om te kiezen voor de nieuwe prioriteitsregel zonder budgetbeperking, zoals in experiment VAR(50). Deze risico-averse investeerder zal een betere frontier bereiken indien hij kiest voor de nieuwe prioriteitsregel met budget. Hij genereert dan namelijk een verwachte NAW van \$31 640 voor een verwachte variantie van de NAW van \$0. Daarenboven hebben alle prioriteitsregels een variantie van de verwachte NAW van \$0. Daaropvolgend geeft de nieuwe prioriteitsregel zonder budgetbeperking de hoogste verwachte NAW, namelijk \$27 850.

Ten slotte gevolgd door de oude prioriteitsregel zonder budgetbeperking met een verwachte NAW van \$17 363 en de oude prioriteitsregel met budgetbeperking haalt een verwachte NAW van \$0.

De matig risico-averse investeerders en de risico-neutrale investeerders bereiken een betere frontier door geen budgetbeperking op te leggen. Deze resultaten zijn analoog aan experiment VAR(50). Indien ook deze investeerders geen budgetbeperking hanteren, dan behalen ze een betere frontier door te kiezen voor de oude prioriteitsregel. De verwachte NAW bedraagt dan \$160 626.

Bijlage 2 figuur 2 geeft voor VAR(30) weer dat de risico-averse investeerder, die sterk risico-avers is, een betere frontier behaalt door te kiezen voor de nieuwe prioriteitsregel met budget. De matig risico-averse investeerder en de risico-neutrale investeerders bereiken een betere frontier door te kiezen voor de oude prioriteitsregel zonder budget.

Ook voor experiment VAR(15) haalt de risico-averse investeerder, die zeer risico-avers is, het meeste voordeel door te kiezen voor de nieuwe prioriteitsregel met een budgetbeperking. Hij genereert dan namelijk een verwachte NAW van \$33 629. Ook in dit experiment bedragen de varianties van alle andere prioriteitsregels, ongeacht de budgetbeperking of niet, \$0. In dit experiment geeft de oude prioriteitsregel zonder budget de op één na hoogste verwachte NAW, namelijk \$18 319. Ten slotte geeft de nieuwe prioriteitsregel zonder budget een verwachte NAW van \$5 469 en de oude prioriteitsregel met budgetbeperking een verwachte NAW van \$25.

Dezelfde resultaten als de resultaten uit experiment VAR(30) gelden voor de matig risico-averse investeerders en de risico-neutrale investeerders. Zij bereiken een betere frontier door geen budgetbeperking op te leggen. Indien ook deze investeerders geen budgetbeperking hanteren, dan behalen ze een betere frontier door te kiezen voor de oude prioriteitsregel. De verwachte NAW bedraagt dan \$161 381.

Bijlage 3 figuur 3 geeft voor VAR(15) weer dat de risico-averse investeerder, die sterk risico-avers is een betere frontier behaalt door te kiezen voor de nieuwe prioriteitsregel met budget. De matig risico-averse investeerder en de risico-neutrale investeerders bereiken een betere frontier door te kiezen voor de oude prioriteitsregel zonder budget.

Ten slotte haalt de risico-averse investeerder, die zeer risico-avers is, in experiment VAR(2) een voordeel indien hij kiest voor de nieuwe prioriteitsregel met budgetbeperking. Hij genereert dan een verwachte NAW van \$42 857. Analoog aan de vorige experimenten, bedragen de varianties van alle prioriteitsregels, ongeacht de budgetbeperking, \$0. Daaropvolgend heeft de nieuwe prioriteitsregel zonder budgetbeperking de op één na hoogste verwachte NAW, namelijk \$7 239. Ten slotte bedraagt de

verwachte NAW van de oude prioriteitsregel met budgetbeperking \$81, gevolgd door de oude prioriteitsregel zonder budgetbeperking met een verwachte NAW van \$23.

De matig risico-averse investeerders en de risico-neutrale investeerders bereiken een betere frontier door geen budgetbeperking op te leggen. Indien ze kiezen voor de oude prioriteitsregel, bereiken ze het meeste voordeel. De verwachte NAW bedraagt in dat geval \$159 443.

Bijlage 4 figuur 4 geeft voor VAR(2) weer dat de risico-averse investeerder, die sterk risico-avers is een betere frontier behaalt door te kiezen voor de nieuwe prioriteitsregel zonder budget. De matig risico-averse investeerder en de risico-neutrale investeerders bereiken een betere frontier door te kiezen voor de oude prioriteitsregel zonder budget.

Concluderend behalen de investeerder die matig risico-avers is en de risico-neutrale investeerder een betere frontier indien ze telkens kiezen voor de oude prioriteitsregel zonder een budgetbeperking. Prefererend behalen ze de hoogste verwachte NAW indien de variantie van de Bassat = 15 en de variantie van de Afour = 30.

De risico-averse investeerder die zeer risico-avers is, behaalt een voordeel indien hij een efficiënt frontier kan bereiken door te kiezen voor de nieuwe prioriteitsregel zonder budget voor een variantie van de Bassat = 50 en een variantie van de Bassat = 2. Indien de variantie van de Bassat = 30, dan behaalt de risico-averse investeerder een betere frontier door te kiezen voor de nieuwe prioriteitsregel met budget. Hetzelfde geldt voor een variantie van de Bassat van 15.

6 Conclusies en inzichten

In deze masterproef is er onderzoek uitgevoerd naar het optimale capaciteitsportfolio dat de verwachte netto actuele waarde maximaliseert, waarbij het effect van verschillende parameters gemeten wordt op dit portfolio en op de verwachte NAW.

Het effect van een variërende correlatie verschilt bij het hebben van een budget of zonder budget. Indien er een budgetbeperking is, dan zal de variërende correlatie geen invloed hebben op het optimale capaciteitsportfolio voor de risico-neutrale investeerder. Het portfolio blijft onveranderd. Daarenboven verandert de optimale verwachte NAW nauwelijks, alsook de verwachte variantie van de NAW. Indien er geen budgetbeperking is, dan verandert het optimale capaciteitsportfolio compleet. Bij een toenemende correlatie stijgt de hoeveelheid CAP_A en dalen de hoeveelheden CAP_B en CAP_{FLEX} . De verwachte NAW kent een dalend verloop en de verwachte variantie kent een stijgende evolutie naarmate de correlatie positiever wordt.

Noch de risico-averse investeerders, noch de risico-neutrale investeerders winnen bij de stijging van correlatie met een budgetbeperking. Doordat de verwachte NAW en de variantie van de NAW steeds vrijwel gelijk blijft, halen de investeerders slechts een beperkt of zelfs geen voordeel. De risico-averse investeerder, die zeer risico-avers is, behaalt een betere frontier indien de correlatiecoëfficiënt tussen de twee producten $-0,5$ bedraagt. Dit geeft hem de hoogste verwachte NAW tegen de laagste variantie. De risico-neutrale investeerder daarentegen, behaalt een betere frontier indien $r = -1$. Indien de correlatiecoëfficiënt stijgt, dan bereiken beide investeerders geen betere frontier.

Zonder budgetbeperking behaalt de risico-averse investeerder, die zeer risico-avers is, geen betere frontier indien de correlatiecoëfficiënt stijgt. Hij behaalt de hoogste verwachte NAW bij de laagste variantie bij $r = -0,5$. De matig risico-averse en de risico-neutrale investeerder ondervinden ook geen voordeel bij het stijgen van de correlatiecoëfficiënt. De risico-neutrale investeerder behaalt de beste frontier indien $r = -1$. Voor een hogere correlatiecoëfficiënt krijgt hij een hogere variantie én een lagere verwachte NAW. In tegenstelling tot een lagere correlatiecoëfficiënt, zodus negatief, waarbij hij een lagere variantie én een hogere verwachte NAW krijgt.

Indien de contributiemarges homogener worden bij een budget van \$100 miljoen, dan daalt de hoeveelheid CAP_A waarin geïnvesteerd wordt. Er zal bovendien meer in CAP_B geïnvesteerd worden, omdat de capaciteitskost lager is dan de capaciteitskost van CAP_A . Ten slotte zal CAP_{FLEX} dalen: het voordeel om deze lijn op te vullen met het product met de hoogste contributiemarge valt weg. Bij homogenere contributiemarges en geen budgetbeperking wordt er min of meer evenveel geïnvesteerd in

CAP_A . Er is een stijging waargenomen van CAP_B en een daling van CAP_{FLEX} . Bij beide experimenten is er een substitutie-effect: de daling van CAP_{FLEX} wordt gesubstitueerd door een stijging in CAP_B . Er is een gelijkaardige evolutie in de optimale capaciteitsportfolio's voor de risico-neutrale investeerder, behalve voor CAP_A . Zowel bij de experimenten met budget als zonder budget kent de optimale verwachte NAW een dalend verloop. De verwachte variantie van de NAW kent ook hetzelfde verloop voor de experimenten: een dalend verloop tot een bepaald punt en vanaf dan stijgend.

De experimenten rond de prioriteitsregel met budget tonen aan dat het optimale capaciteitsportfolio voor de risico-neutrale investeerder voor de oude prioriteitsregel en de nieuwe prioriteitsregel niet verandert als de variantie van de Bassat daalt. Het optimale capaciteitsportfolio verschilt wel tussen beide regels. Bij de oude prioriteitsregel wordt het meeste geïnvesteerd in CAP_A als bijgevolg van de hoogste contributiemarge. Er wordt niet geïnvesteerd in CAP_B door het beperkte budget. Men geeft de voorkeur aan het investeren in een product met een hoger contributiemarge. Investeren in CAP_{FLEX} is wel voordelig: er wordt nog steeds voorrang gegeven aan het product met de hoogste contributiemarge. Bij de nieuwe regel wordt de voorrang gegeven aan de Bassat: het voordeel om de flexibele lijn op te vullen met het product met de grootste contributiemarge is nu onbestaande. Er wordt meer geïnvesteerd in CAP_A . De verwachte NAW en verwachte variantie van de NAW blijven bijgevolg ook stabiel tussen de experimenten van dezelfde prioriteitsregel. Bij de experimenten zonder budget verandert het optimale capaciteitsportfolio wel. Doorheen de experimenten stijgt CAP_A en CAP_{FLEX} daalt voor de oude prioriteitsregel. CAP_B kent een stijgt wanneer de variantie van de Bassat daalt, maar daalt als de variantie van de Bassat gelijk is aan 2. Bij de nieuwe prioriteitsregel daalt CAP_A daalt als de variantie van de Bassat daalt, maar indien de variantie nog sterker daalt tot 15 en tot 2 dan stijgt CAP_A . CAP_B stijgt en CAP_{FLEX} is gedurende de eerste 2 experimenten stabiel vanaf dan daalt CAP_{FLEX} . De verwachte NAW stijgt tot en met experiment VAR(15) en daalt erna voor de oude prioriteitsregel en de nieuwe prioriteitsregel. De hoogte van de verwachte NAW is voor de nieuwe prioriteitsregel lager dan bij de oude prioriteitsregel. De verwachte variantie kent een stijgend evolutie bij beide regels.

De investeerder die matig risico-avers is en de risico-neutrale investeerder bereiken een betere frontier indien ze telkens kiezen voor de oude prioriteitsregel zonder een budgetbeperking. Indien de variantie van de Bassat = 15 en de variantie van de Afour = 30, dan behalen deze investeerders de hoogste verwachte NAW. De risico-averse investeerder, die zeer risico-avers is, behaalt de beste frontier door te kiezen voor de nieuwe prioriteitsregel zonder budget voor een variantie van de Bassat = 50 en een variantie van de Bassat = 2. Indien de variantie van de Bassat = 30, dan behaalt de risico-averse

investeerder een betere frontier door te kiezen voor de nieuwe prioriteitsregel met budget. Hetzelfde geldt voor een variantie van de Bassat van 15.

Dankwoord

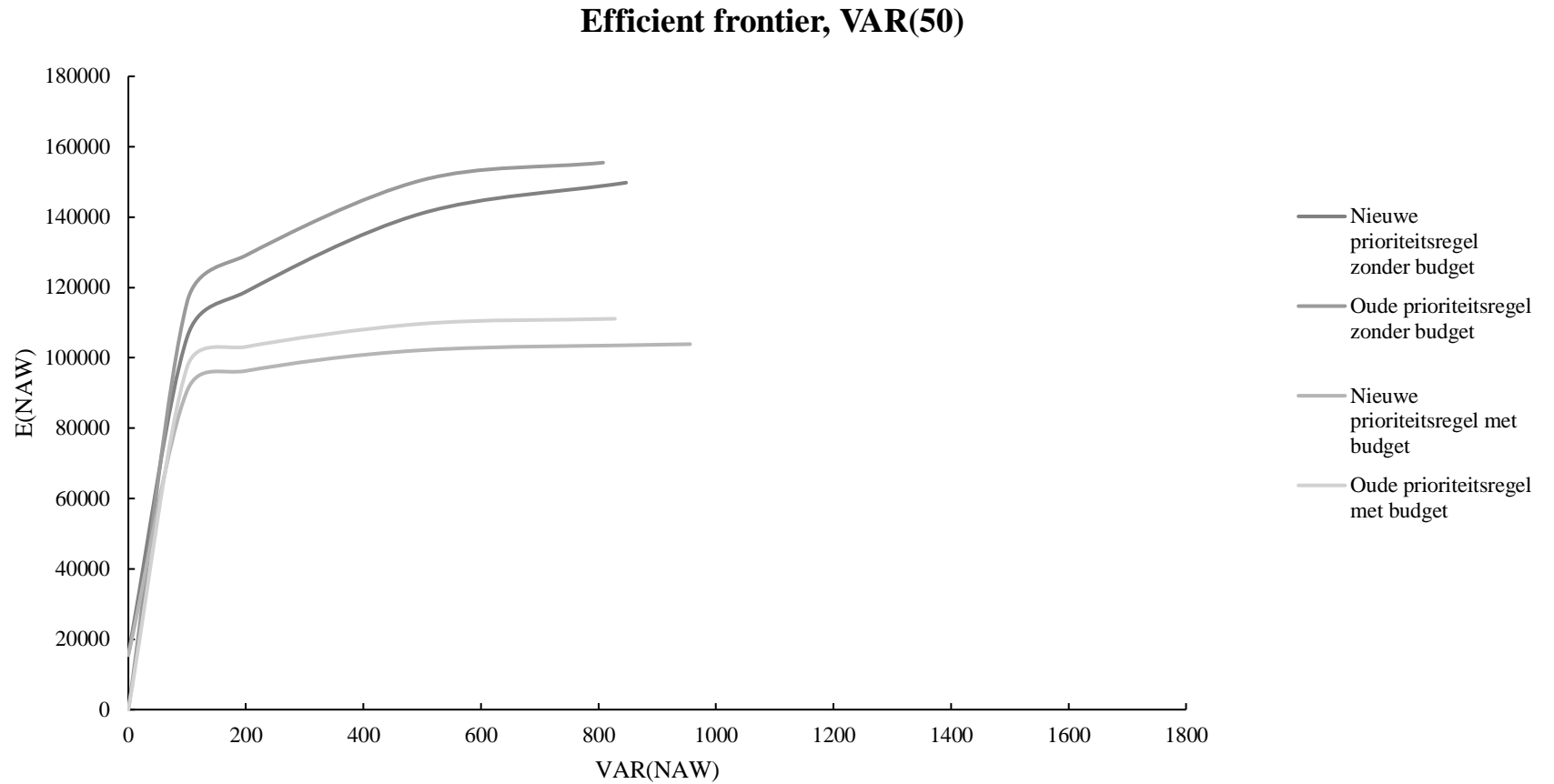
Ik wil iedereen bedanken die deze masterproef mogelijk heeft gemaakt. In het bijzonder, mijn promotor prof. dr. Inneke Van Nieuwenhuyse om mij te mogelijkheid te geven om onderzoek te kunnen verrichten rond dit onderwerp. Dit onderzoek kwam mede tot stand dankzij haar medewerking. Ik wil haar bedanken voor haar adviezen, aanbevelingen en het kritisch evalueren van mijn tekst. Ze heeft een grote ondersteuning geboden tijdens het schrijven van deze masterproef.

Referentielijst

- Bish, E. K., & Wang, Q. (2004). Optimal investment strategies for flexible resources, considering pricing and correlated demands. *Operations Research*, 52(6), 954-964.
- Brealey, R.A., Myers, S.C., & Marcus, A.J. (2018). *Fundamentals of Corporate Finance* (9^e ed.). New York, Verenigde Staten: McGraw-Hill Education International Edition.
- Caulkins, J. P., & Fine, C. H. (1990). Seasonal inventories and the use of product-flexible manufacturing technology. *Annals of Operations Research*, 26(1-4), 351-375.
- Chod, J., Rudi, N., & Van Mieghem, J. A. (2010). Operational flexibility and financial hedging: Complements or substitutes? *Management Science*, 56(6), 1030-1045.
- Chakravarty, A. K. (1989). Analysis of flexibility with rationing for a mix of manufacturing facilities. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 2(1), 43-62.
- De Borger, B., & Van Poeck, A. (2015). *Algemene Economie* (9^e ed.). Antwerpen, België: De Boeck.
- Fine, C. H., & Freund, R. M. (1986). Economic analysis of product-flexible manufacturing system investment decisions.
- Fine, C.H., & Freund, R.M., (1990). Optimal investment in product-flexible manufacturing capacity, *manage. Sci.*, 36: 4499466.
- Fine, C. H., & Pappu, S. (1990). Flexible manufacturing technology and product-market competition.
- Gupta, D., Gerchak, Y., & Buzacott, J. A. (1992). The optimal mix of flexible and dedicated manufacturing capacities: Hedging against demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 28(3), 309-319.
- Hagspiel, V. (2011). **Optimal Investment Strategies for Product-Flexible and Dedicated Manufacturing Systems under Demand Uncertainty** (Masterproef). Geraadpleegd via <https://pure.uvt.nl/ws/portalfiles/portal/1392447/dissertationHagspiel.pdf>
- Jakubczyc, J. (2008). *Metody oceny projektu gospodarczego. Podręcznik akademicki [Methods for assessing the economic project. Academic handbook]*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Jakubovskis, A. (2017). Flexible production resources and capacity utilization rates: A robust optimization perspective. *International Journal of Production Economics*, 189, 77-85.
- Kulatilaka, N. (1988). Valuing the flexibility of flexible manufacturing systems. *IEEE Transactions on engineering management*, 35(4), 250-257.
- McClave, T., Sincich, T., & Knypstra, S. (2016). *Statistiek* (12e ed.) Amsterdam, Nederland: Pearson.

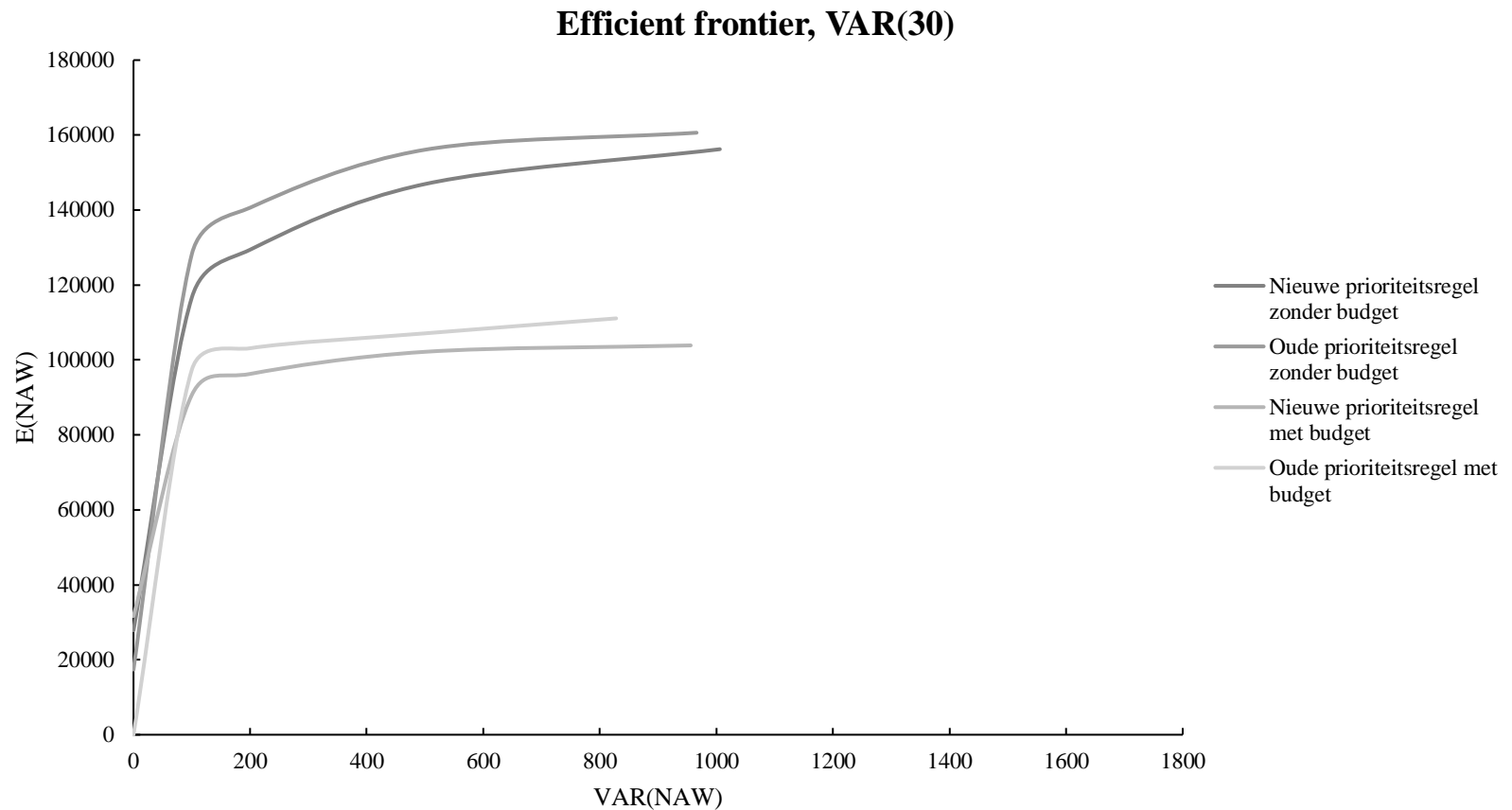
- Mościbrodzka, M., & Homa, M. (2019). The efficiency of an investing in investment funds in the context of a longevity. *Journal of Economics & Management*, 38, 107-128.
- Narongwanich, W., Duenyas, I., & Birge, J. R. (2002). Optimal portfolio of reconfigurable and dedicated capacity under uncertainty. *Preprint. University of Michigan*.
- Netessine, S., Dobson, G., & Shumsky, R. A. (2002). Flexible service capacity: Optimal investment and the impact of demand correlation. *Operations Research*, 50(2), 375-388.
- Rahman, S. U. (1998). Theory of constraints. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Tan, T., & Alp, O. (2008). An integrated approach to inventory and flexible capacity management subject to fixed costs and non-stationary stochastic demand. *OR spectrum*, 31(2), 337.
- Van Mieghem, J. A. (1997). Investment strategies for flexible resources. Technical report, Center for Mathematical Studies in Economics and Management Science, Northwestern University. Geraadpleegd via: <http://www.kellogg.nwu.edu/research/math>.
- Van Mieghem, J. A. (1998). Investment strategies for flexible resources. *Management Science*, 44(8), 1071-1078.
- Van Mieghem, J. A. (2007). Risk mitigation in newsvendor networks: Resource diversification, flexibility, sharing, and hedging. *Management Science*, 53(8), 1269-1288.
- Van Mieghem, J.A. (2008). *Operations strategy: Principles and Practice* (1st ed.). Belmont, U.S.A.: Dynamic Ideas.
- Visscher, K., & Tops, J. (2015). Investeren in taal levert op! *Capgemini Consulting is the strategy and transformation consulting brand of Capgemini Group*.

Bijlage 1. Figuur 1



Bijlage figuur 1: Vergelijking efficient frontiers VAR(50), oude en nieuwe prioriteitsregel, met en zonder budgetbeperking

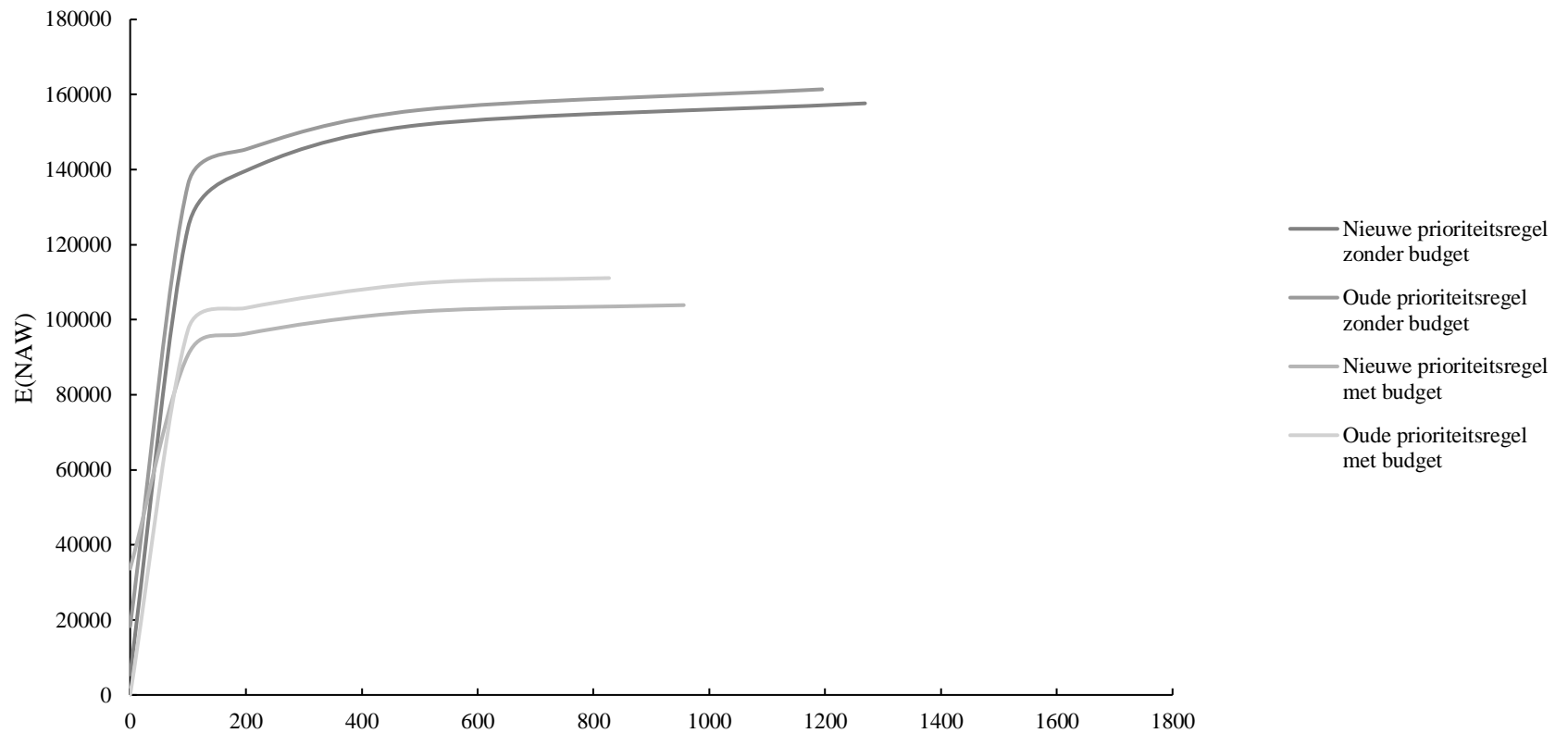
Bijlage 2. Figuur 2



Bijlage figuur 2: Vergelijking efficient frontiers VAR(30), oude en nieuwe prioriteitsregel, met en zonder budgetbeperking

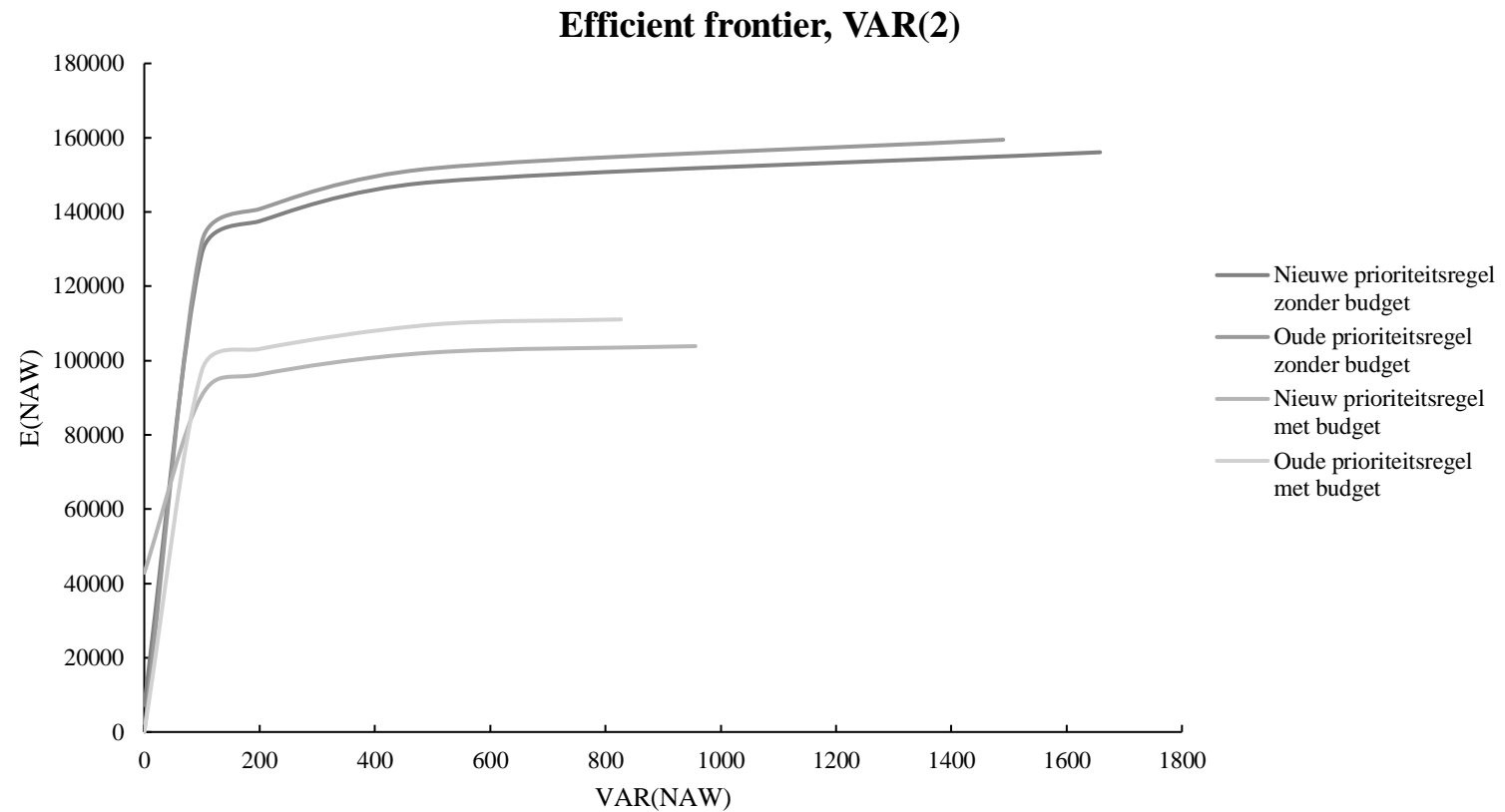
Bijlage 3. Figuur 3

Efficient frontier, VAR(15)



Bijlage figuur 3: Vergelijking efficient frontiers VAR(15), oude en nieuwe prioriteitsregel, met en zonder budgetbeperking

Bijlage 4. Figuur 4



Bijlage figuur 4: Vergelijking efficient frontiers VAR(2), oude en nieuwe prioriteitsregel, met en zonder budgetbeperking

Appendix I

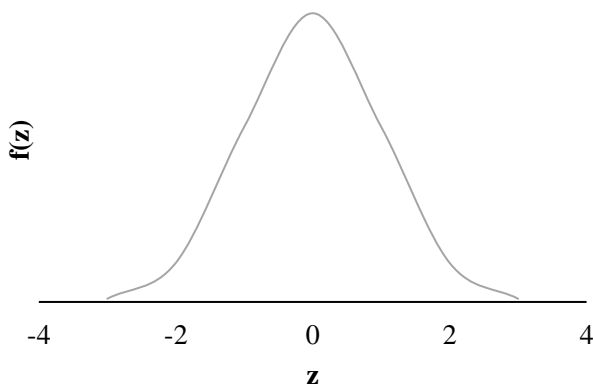
Z_A en Z_B zijn 2 hulpgetallen die gebruikt worden om de vraagvector (D_A , D_B) te berekenen. De 2 getallen worden getrokken uit de bivariate standaard normaal verdeling. De onderstaande functie berekent de inverse van de standaard normale cumulatieve verdelingsfunctie voor een random getal. In Excel worden ze berekend door de functie:

$$Z_A: = \text{normsinv}(\text{rand}())$$

$$Z_B: = \text{normsinv}(\text{rand}())$$

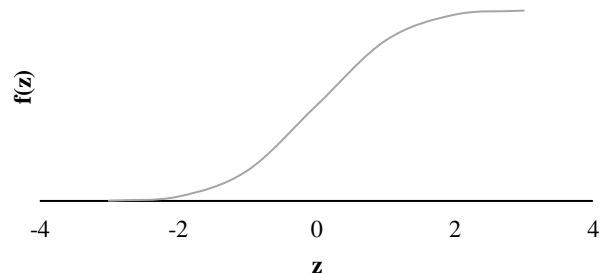
De standaard normale cumulatieve verdelingsfunctie in figuur 1 is de vereenvoudigde versie van de normale verdeling. Een normale verdeling is klokvormig en symmetrisch rond het gemiddelde μ . De standaardnormale kansverdeling, zoals in figuur 1, is een normale verdeling met $\mu = 0$ en $\sigma = 1$ (McClave et al., 2016).

Standaardnormale kansverdeling



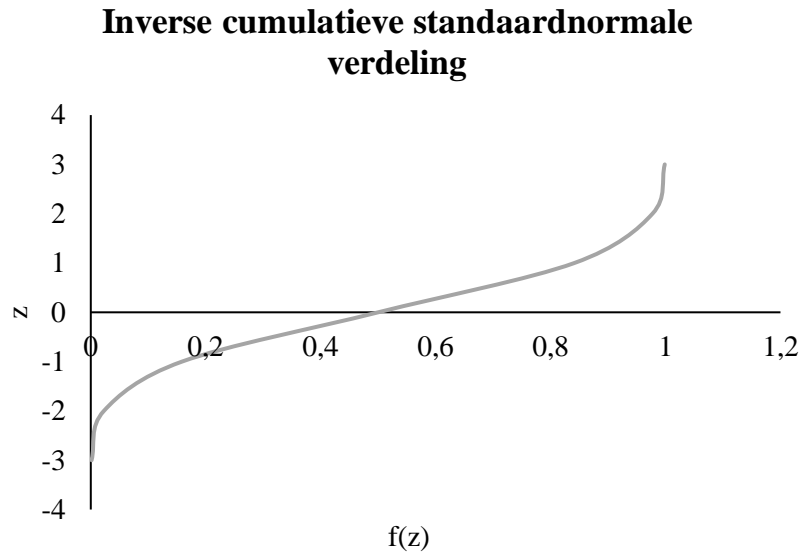
Figuur 1: standaardnormale kansverdeling

**Cumulatieve
standaardnormale
kansverdeling**



Figuur 2: cumulatieve standaardnormale kansverdeling

Om de getallen Z_A en Z_B te bekomen, berekent de functie in Excel uit de cumulatieve standaard normale verdeling voor een random getal (aangegeven door $\text{rand}()$) de inverse. De functie $\text{rand}()$ zoekt een willekeurig getal tussen 0 en 1. $\text{Normsinv}(\text{rand}())$ geeft dus de z -waarden weer uit de cumulatieve standaardnormale verdeling voor een random getal. Dit betekent dat de functie uit figuur 2 de inverse berekent, de z -waarde, van een getal tussen 0 en 1. Al deze waarden resulteren in een inverse-functie in figuur 3. Dit wordt gedaan voor zowel Z_A als Z_B .



Figuur 3: inverse cumulatieve standaardnormale kansverdeling