



universität  
wien

# Diplomarbeit

Titel der Diplomarbeit

„Einfluss inkrementeller Budgetänderungen auf  
Verteilungskennzahlen risikoneutral optimierter  
stochastischer Entscheidungsbäume -  
*Exploratorische numerische Analysen mit Hilfe der  
Experimentalsoftwar Milp Heid 2.0*“

Verfasserin

Olympia Mwakyoma

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften  
(Mag.rer.soc.oec.)

Wien, im April 2008

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 157

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Internationale Betriebswirtschaftslehre

Betreuer:

O. Univ. -Prof. Dr. Kurt Heidenberger

## **Vorwort**

Die vorliegende Diplomarbeit ist unter der Betreuung von Herrn O.Univ.-Prof. Dr. Kurt Heidenberger entstanden. Ihm gilt mein besonderer Dank für seine fachliche Unterstützung, die er mir im Rahmen der Entstehung dieser Arbeit entgegengebracht hat.

Des Weiteren danke ich meinen Eltern für die persönliche und finanzielle Unterstützung, die sie mir im Laufe meines Studiums zukommen haben lassen.

Besonderer Dank gilt nicht zuletzt Christian, der mir in den letzten Jahren mit viel Geduld, Verständnis und moralischer Unterstützung zur Seite stand.

Wien, im April 2008

# Inhaltsverzeichnis

<b>VORWORT</b> .....	<b>I</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>II</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>IV</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>VI</b>
<b>VARIABLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>XI</b>
<b>1 EINLEITUNG UND ÜBERBLICK</b> .....	<b>1</b>
<b>2 DAS ENTSCHEIDUNGSMODELL</b> .....	<b>2</b>
2.1 DAS ENTSCHEIDUNGSMODELL VERSION 2.0 .....	2
2.1.1 <i>Knotentypen</i> .....	3
2.1.2 <i>Allgemeine Modellcharakteristika</i> .....	8
2.1.3 <i>Ressourcenrestriktion</i> .....	8
2.1.4 <i>Zielfunktion</i> .....	9
2.2 ERGEBNISBERECHNUNG.....	9
2.2.1 <i>Die projektbezogene Ergebnisauswertung</i> .....	10
<b>3 RISIKOQUANTIFIZIERUNGSMETHODEN</b> .....	<b>12</b>
3.1 DER VALUE AT RISK .....	13
3.1.1 <i>Die Grenzen des VaR-Einsatzes bei Nicht - Finanzdienstleistungsunternehmen</i> .....	13
3.1.2 <i>Definitionen und Berechnung des Value at Risks</i> .....	14
3.1.3 <i>Schwächen des Value at Risk-Modells</i> .....	16
3.2 DER CONDITIONAL VALUE AT RISK (CVAR) .....	16
3.2.1 <i>Definition des Conditional Value at Risks</i> .....	18
3.2.2 <i>CVaR unter der Annahme einer diskreten Verteilung</i> .....	18
<b>4 RISIKOMESSUNG UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER SUBJEKTIVEN RISIKOEINSTELLUNG</b> .....	<b>19</b>
<b>5 DIE PROJEKTE</b> .....	<b>21</b>
5.1 PROJEKT 1 (P1) .....	22
5.1.1 <i>Die festgelegten Ressourcen und Erträge</i> .....	23
5.1.2 <i>Visualisierung der Stützkurven der Typ 3 und Typ +3 Knoten</i> .....	23
5.1.3 <i>Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse bei einer inkrementellen Budgetverringerng</i> ...	29
5.1.4 <i>Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse bei einer inkrementellen Budgeterhöhung</i> .....	35
5.1.5 <i>Abschließende Feststellungen</i> .....	35
5.2 PROJEKT 2 (P2) .....	36
5.2.1 <i>Die festgelegten Ressourcen und Erträge</i> .....	37
5.2.2 <i>Visualisierung der Stützkurven der Typ 3 und Typ +3 Knoten</i> .....	37
5.2.3 <i>Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse bei einer inkrementellen Budgetverringerng</i> ...	40
5.2.4 <i>Abschließende Feststellungen</i> .....	52
5.2.5 <i>Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse bei einer inkrementellen Budgeterhöhung</i> .....	53
5.2.6 <i>Abschließende Feststellungen</i> .....	56
5.3 PROJEKT 3 (P3) .....	57
5.3.1 <i>Die festgelegten Ressourcen und Erträge</i> .....	58
5.3.2 <i>Visualisierung der Stützkurven</i> .....	58
5.3.3 <i>Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse bei einer inkrementellen Budgetverringerng</i> ...	66
5.3.4 <i>Abschließende Feststellungen</i> .....	80
5.3.5 <i>Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse bei einer inkrementellen Budgeterhöhung</i> .....	80
5.3.6 <i>Abschließende Feststellungen</i> .....	94

5.4	PROJEKT 4 (P4) .....	95
5.4.1	<i>Die festgelegten Ressourcen und Erträge</i> .....	96
5.4.2	<i>3. Visualisierung der Stützkurven</i> .....	96
5.4.3	<i>Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse bei einer inkrementellen Budgetverringerng</i> ...	97
5.4.4	<i>Abschließende Feststellungen</i> .....	118
5.4.5	<i>Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse einer inkrementellen Budgeterhöhung</i> .....	119
5.4.6	<i>Abschließende Feststellungen</i> .....	140
<b>6</b>	<b>EXKURS: VERGLEICH DER VAR- UND CVAR – SCHRANKEN MIT DEM <math>\mu</math>-<math>\sigma</math> – KRITERIUM BEI DER PORTFOLIOAUSWAHL</b> .....	<b>141</b>
6.1	DIE $\mu$ - $\sigma$ -VAR UND $\mu$ - $\sigma$ -CVAR SCHRANKEN .....	143
6.1.1	<i>Die Effizienzgrenzen der <math>\mu</math>-<math>\sigma</math>-VaR und <math>\mu</math>-<math>\sigma</math>-CvaR Schranken</i> .....	144
6.1.2	<i>Minimum – VaR- und Minimum – CVaR – Portfolios</i> .....	144
6.1.3	<i>Eigenschaften der VaR – und der CVaR – Schranken</i> .....	145
6.2	ENTSCHEIDUNGSVERHALTEN BEI EINEM NIEDRIGEN KONFIDENZNIVEAU .....	146
6.3	ENTSCHEIDUNGSVERHALTEN BEI EINEM MODERATEN KONFIDENZNIVEAU .....	147
6.4	ENTSCHEIDUNGSVERHALTEN BEI EINEM HOHEN KONFIDENZNIVEAU .....	149
6.5	ENTSCHEIDUNGSVERHALTEN WENN DIE CVAR – SCHRANKE GRÖßER IST ALS DIE VAR – SCHRANKE 150	
6.5.1	<i>Verhalten bei hoher Risikoaversion</i> .....	150
6.5.2	<i>Verhalten bei leichter Risikoaversion</i> .....	151
6.6	ENTSCHEIDUNGSVERHALTEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG EINES RISIKOLOSEN FINANZIERUNGSTITELS 152	
<b>7</b>	<b>RESÜMEE</b> .....	<b>155</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>157</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 5.1: Einbezogenen Knotenarten in P1 .....	22
Tabelle 5.2: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Geldaufwand des Übergangs 3 zu 5 .....	24
Tabelle 5.3: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Personalaufwand des Übergangs 3 zu 5 .....	25
Tabelle 5.4: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Ertrag des Übergangs 3 zu 5.....	26
Tabelle 5.5: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Geldaufwand des Übergangs 14 zu 16 .....	27
Tabelle 5.6: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Personalaufwand des Übergangs 14 zu 16 .....	27
Tabelle 5.7: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Ertrag des Übergangs 14 zu 16.....	28
Tabelle 5.8 P1: Geldaufwand im Zuge der Budgetsenkung.....	30
Tabelle 5.9 P1: Personalaufwand im Zuge der Budgetsenkung.....	34
Tabelle 5.10 P1: Ertrag im Zuge der Budgetsenkung .....	35
Tabelle 5.11: Einbezogenen Knotenarten des P2 .....	36
Tabelle 5.12: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Geldaufwand des Übergangs 17 zu 18 .....	38
Tabelle 5.13: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Personalaufwand des Übergangs 17 zu 18.....	38
Tabelle 5.14: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Ertrags des Übergangs 17 zu 18 .....	39
Tabelle 5.15 P2: Geldaufwand im Zuge der Budgeterhöhung .....	41
Tabelle 5.16 P2: Detailanalyse zu den $\sigma$ - $\mu$ -Veränderungen .....	42
Tabelle 5.17 P2: Detailanalyse zu den CV-CCV-Veränderungen .....	43
Tabelle 5.18 P2: Detailanalyse zu den Nutzenveränderungen .....	44
Tabelle 5.19 P2: Personalaufwand im Zuge der Budgetsenkung.....	45
Tabelle 5.20 P2; Personalaufwand: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung...	47
Tabelle 5.21 P2; Personalaufwand: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgetsenkung .....	48
Tabelle 5.22 P2: Ertrag im Zuge der Budgetsenkung .....	49
Tabelle 5.23 P2; Ertrag: Detailanalyse zu den $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen .....	50
Tabelle 5.24 P2; Detailanalyse: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung .....	51
Tabelle 5.25 P2; Ertrag: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgetsenkung .....	52
Tabelle 5.26 P2: Personalaufwand im Zuge der Budgeterhöhung .....	54
Tabelle 5.27 P2: Personalaufwand im Zuge der Budgeterhöhung .....	55
Tabelle 5.28 P2: Ertrag im Zuge der Budgeterhöhung.....	56
Tabelle 5.29: Einbezogene Knotenarten des P3 .....	57
Tabelle 5.30: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Geldaufwand des Übergangs 6 zu 16 .....	59
Tabelle 5.31: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Personalaufwands des Übergangs 6 zu 16.....	60
Tabelle 5.32: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Ertrag des Übergangs 6 zu 16.....	61
Tabelle 5.33: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Geldaufwand des Übergangs 10 zu 23 .....	62
Tabelle 5.34: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Personalaufwand des Übergangs 10 zu 23.....	62
Tabelle 5.35: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Ertrag des Übergangs 10 zu 23.....	63
Tabelle 5.36: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Geldaufwand des Übergangs 12 zu 25 .....	64
Tabelle 5.37: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Personalaufwand des Übergangs 12 zu 25.....	65
Tabelle 5.38: Wahrscheinlichkeitsbereich der Ertrags-Stützkurve des Übergangs 12 zu 25...	65
Tabelle 5.39 P3: Geldaufwand im Zuge der Budgetsenkung .....	67
Tabelle 5.40 P3; Geldaufwand: Detailanalyse zu den $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen.....	68
Tabelle 5.41 P3; Geldaufwand: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung.....	69
Tabelle 5.42 P3; Geldaufwand: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgetsenkung .....	70

Tabelle 5.43 P3: Personalaufwand im Zuge der Budgetsenkung.....	72
Tabelle 5.44 P3; Personalaufwand: Detailanalyse zu den $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen.....	73
Tabelle 5.45 P3: Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung ...	74
Tabelle 5.46 P3; Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgetsenkung .....	75
Tabelle 5.47 P3: Ertrag im Zuge der Budgetsenkung .....	76
Tabelle 5.48 P3: Detailanalyse zu den $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen .....	77
Tabelle 5.49 P3: Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung ...	78
Tabelle 5.50 P3: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgetsenkung .....	79
Tabelle 5.51 P3: Geldaufwand im Zuge der Budgeterhöhung .....	82
Tabelle 5.52 P3: Detailanalyse zu den $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung .....	83
Tabelle 5.53 P3 Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung...	84
Tabelle 5.54 P3: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgetsenkung .....	85
Tabelle 5.55 P3: Personalaufwand im Zuge der Budgeterhöhung .....	86
Tabelle 5.56 P3: Detailanalyse zu den $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung .....	87
Tabelle 5.57 P3 Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung...	88
Tabelle 5.58 P3: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgetsenkung .....	89
Tabelle 5.59 P3: Ertrag im Zuge der Budgeterhöhung.....	91
Tabelle 5.60 P3: Detailanalyse zu den $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung .....	92
Tabelle 5.61 P3 Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung...	93
Tabelle 5.62 P3: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgeterhöhung .....	94
Tabelle 5.63: Einbezogene Knotenarten des P4 .....	95
Tabelle 5.64 P4: Geldaufwand im Zuge der Budgeterhöhung .....	98
Tabelle 5.65 P4: Detailanalyse zu den $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung.....	100
Tabelle 5.66 P4 Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung ..	102
Tabelle 5.67 P4: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgetsenkung .....	104
Tabelle 5.68 P4: Personalaufwand im Zuge der Budgetsenkung.....	106
Tabelle 5.69 P4: Detailanalyse zu den $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung.....	107
Tabelle 5.70 P4 Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung ..	109
Tabelle 5.71 P4: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgetsenkung .....	111
Tabelle 5.72 P4: Ertrag im Zuge der Budgetsenkung .....	112
Tabelle 5.73 P4: Detailanalyse zu den $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung.....	114
Tabelle 5.74 P4 Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung ..	116
Tabelle 5.75 P4: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgetsenkung .....	118
Tabelle 5.76 P4: Geldaufwand im Zuge der Budgeterhöhung .....	120
Tabelle 5.77 P4: Detailanalyse zu den $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung ...	122
Tabelle 5.78 P4 Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung.	124
Tabelle 5.79 P4: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgeterhöhung ....	126
Tabelle 5.80 P4: Personalaufwand im Zuge der Budgeterhöhung .....	127
Tabelle 5.81 P4: Detailanalyse zu den $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung ...	129
Tabelle 5.82 P3 Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung.	131
Tabelle 5.83 P4: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgeterhöhung ....	133
Tabelle 5.84 P4: Personalaufwand im Zuge der Budgeterhöhung .....	134
Tabelle 5.85 P4: Detailanalyse zu den $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung ...	136
Tabelle 5.86 P4 Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung.	138
Tabelle 5.87 P4: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgeterhöhung ....	140

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1: VaR unter der Annahme einer Normalverteilung .....	15
Abbildung 3.2: CVaR unter der Annahme einer Normalverteilung.....	17
Abbildung 5.1: Stochastischer Entscheidungsbaum des P1 .....	23
Abbildung 5.2: Geldaufwand-Stützkurve des Übergangs 3 zu 5 .....	25
Abbildung 5.3: Personalaufwand-Stützkurve des Übergangs 3 zu 5 .....	25
Abbildung 5.4: Ertrag-Stützkurve des Übergangs 3 zu 5 .....	26
Abbildung 5.5: Geldaufwand-Stützkurve des Übergangs 14 zu 16 .....	27
Abbildung 5.6: Personalaufwand-Stützkurve des Übergangs 14 zu 16 .....	28
Abbildung 5.7: Ertrag-Stützkurve des Übergangs 14 zu 16.....	28
Abbildung 5.8 P1; Geldaufwand: $\mu$ - $\sigma$ -Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung.....	31
Abbildung 5.9 P1; Geldaufwand: CV-CCV- Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung.....	32
Abbildung 5.10 P1 Geldaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgetsenkung .....	33
Abbildung 5.11: Stochastischer Entscheidungsbaum des P2 .....	37
Abbildung 5.12: Geldaufwand-Stützkurve des Übergangs 17 zu 18 .....	38
Abbildung 5.13: Personalaufwand-Stützkurve des Übergangs 17 zu 18 .....	39
Abbildung 5.14: Ertrags-Stützkurve des Übergangs 17 zu 18 .....	40
Abbildung 5.15 P2; Geldaufwand: $\mu$ - $\sigma$ -Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung.....	42
Abbildung 5.16 P2; Geldaufwand: CV-CCV- Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung.....	43
Abbildung 5.17 P2; Geldaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgetsenkung .....	44
Abbildung 5.18 P2; Personalaufwand: $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung.....	46
Abbildung 5.19 P2 Personalaufwand: Detailanalyse zu den $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen.....	46
Abbildung 5.20 P2; Personalaufwand: CV-CCV-Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung..	47
Abbildung 5.21 P2; Personalaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgetsenkung .....	48
Abbildung 5.22 P2; Ertrag: $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung .....	50
Abbildung 5.23 P2; Ertrag: CV-CCV-Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung .....	51
Abbildung 5.24 P2; Ertrag: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgetsenkung.....	52
Abbildung 5.25 Stochastischer Entscheidungsbaum des P3 .....	58
Abbildung 5.26: Geldaufwand-Stützkurve des Übergangs 6 zu 16 .....	60
Abbildung 5.27: Personalaufwands-Stützkurve des Übergangs 6 zu 16.....	60
Abbildung 5.28: Ertrag-Stützkurve des Übergangs 6 zu 16.....	61
Abbildung 5.29: Geldaufwands-Stützkurve des Übergangs 10 zu 23.....	62
Abbildung 5.30: Personalaufwands-Stützkurve des Übergangs 10 zu 23.....	63
Abbildung 5.31: Ertrags-Stützkurve des Übergangs 10 zu 23 .....	63
Abbildung 5.32: Geldaufwands-Stützkurve des Übergangs 12 zu 25.....	64
Abbildung 5.33: Personalaufwands-Stützkurve des Übergangs 12 zu 25.....	65
Abbildung 5.34: Ertrags-Stützkurve des Übergangs 12 zu 25 .....	66
Abbildung 5.35 P3; Geldaufwand: $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung.....	68
Abbildung 5.36 P3; Geldaufwand: CV-CCV-Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung.....	69
Abbildung 5.37 P3; Geldaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgetsenkung .....	70
Abbildung 5.38 P3; Personalaufwand: $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung.....	72
Abbildung 5.39 P3; Personalaufwand: CV-CCV-Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung..	73
Abbildung 5.40 P3; Personalaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgetsenkung .....	74
Abbildung 5.41 P3; Ertrag: $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung .....	77
Abbildung 5.42 P3; Ertrag: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung.....	78
Abbildung 5.43 P3; Ertrag: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgetsenkung.....	79

Abbildung 5.44 P3; Geldaufwand: $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgeterhöhung.....	82
Abbildung 5.45 P3; Geldaufwand: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung..	83
Abbildung 5.46 P3; Geldaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgeterhöhung.....	84
Abbildung 5.47 P3; Personalaufwand: $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgeterhöhung.....	87
Abbildung 5.48 P3; Personalaufwand: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung .....	88
Abbildung 5.49 P3; Personalaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgeterhöhung.....	89
Abbildung 5.50 P3; Personalaufwand: $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgeterhöhung.....	91
Abbildung 5.51 P3; Personalaufwand: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung .....	92
Abbildung 5.52 P3; Personalaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgeterhöhung.....	93
Abbildung 5.53: Stochastischer Entscheidungsbaum des P4.....	96
Abbildung 5.54 P4; Geldaufwand: $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgetverringerung .....	99
Abbildung 5.55 P4; Geldaufwand: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung .	101
Abbildung 5.56 P4; Personalaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgetsenkung ....	103
Abbildung 5.57 P4; Personalaufwand: $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung.....	106
Abbildung 5.58 P4; Personalaufwand: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung .....	108
Abbildung 5.59 P4; Personalaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgetsenkung .....	110
Abbildung 5.60 P4; Ertrag: $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung .....	113
Abbildung 5.61 P4; Ertrag: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung.....	115
Abbildung 5.62 P4; Ertrag: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgetsenkung.....	117
Abbildung 5.63 P4; Geldaufwand: $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgeterhöhung.....	121
Abbildung 5.64 P4; Geldaufwand: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung	123
Abbildung 5.65 P4; Geldaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgeterhöhung.....	125
Abbildung 5.66 P4; Personalaufwand: $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgeterhöhung.....	128
Abbildung 5.67 P4; Personalaufwand: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung .....	130
Abbildung 5.68 P4; Geldaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgeterhöhung.....	132
Abbildung 5.69 P4; Ertrag: $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgeterhöhung .....	135
Abbildung 5.70 P4; Ertrag: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung .....	137
Abbildung 5.71 P4; Ertrag: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgeterhöhung .....	139
Abbildung 6.1: Entscheidungsverhalten bei einem niedrigen Konfidenzniveau .....	147
Abbildung 6.2: Entscheidungsverhalten bei einem moderaten Konfidenzniveau.....	148
Abbildung 6.3: Entscheidungsverhalten bei einem hohen Konfidenzniveau.....	149
Abbildung 6.4: Entscheidungsverhalten wenn die CVaR-Schranke größer ist als die VaR- Schranke .....	150
Abbildung 6.5: Entscheidungsverhalten bei Vorhandensein eines risikolosen Finanzierungstitels.....	153

## Variablenverzeichnis

$A_x$	Urbildmenge
$a$	Risikoaversionsgrad
$E(X)$	Erwartungswert
$F(X)$	Verteilungsfunktion
$f(x)$	Dichtefunktion
$P$	Eintrittswahrscheinlichkeit
$Q(X)$	Umkehrfunktion der Verteilungsfunktion
$t$	Parameter der Wärmeleitungsgleichung
$Var(x)$	Varianz
$W$	Wahrscheinlichkeitsverteilung
$X$	Zufallsvariable
$Y$	Bedingte Zufallsvariable
$\alpha$	Quantil der Verteilung
$\Phi$	Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung
$\psi$	Präferenzfunktion

## Modellvariablen des MILP-Heid 2.0

$M$	Anzahl der Entscheidungsbäume
$M$	Index des Projektes ( $m = 1 \dots M$ )
$K$	Identifikationsnummer des Knotens $k$
$s$	Identifikationsnummer des Nachfolgers von $k$
$l_m$	Index des ersten Knotens im Baum $m$
$O_m$	Index des fiktiven Vorgängers von $l_m$
$A_m$	Menge aller Knotenindizes im $m$ – ten Baum
$E_m$	Menge aller Endknoten im $m$ – ten Baum
$L_k$	Menge aller Knotenindizes, die auf einem Pfad von der Wurzel des Baumes zum Knoten $k$ liegen
$S_k$	Identifikationsnummer der Nachfolger des Knotens $k$
$p_{k,s}$	Übergangswahrscheinlichkeit von Knoten $k$ zu Knoten $s$
$f_{k,s}^z$	Anzahl der Stützstellen, bei einer Linearisierung der Aufwand- oder Ertragsart $z$
$d_{k,s}^{z,l}$	Intervallgröße zwischen den Stützstellen bei einer Linearisierung von Aufwand- oder Ertragsart $z$
$R$	Anzahl der Ressourcenarten
$r$	Identifikationsnummer der Ressourcenart ( $r = 1 \dots R$ )
$c_{k,s}^r(p_{k,s})$	Ressourcenkonsum der Ressource $r$ abhängig von der Wahrscheinlichkeit $p_{k,s}$
$Q$	Anzahl der Ertragsarten
$e_{k,s}^q(p_{k,s})$	Ertrag des Ertragstyp $q$ abhängig von der Wahrscheinlichkeit $p_{k,s}$
$B^r$	Budget der Ressource $r$
$w_q$	Gewichtung der Ertragsart $q$
$x_k$	Die Wahrscheinlichkeit den Knoten $k$ zu erreichen
$y_s$	Binäre Entscheidungsvariable
$u_k$	Maximale Anzahl aktiver Nachfolger eines Typ 2 Knotens

## Variablen aus Kapitel 6

(Exkurs: Effizienzvergleich der VaR – und CVaR – Schranken unter der Annahme der  $\mu$ - $\sigma$ -Dominanz)

$E[r_w]$	Erwartete Rendite
$(\bar{E})$	Effizienzschranke
$L$	CVaR – Schranke
$k_\alpha$	Wert der das Konfidenzintervall für den CVaR bestimmt
$n$	Anzahl der Wertpapiere
$r_f$	Risikoloser Zinssatz
$r_w$	Rendite des Wertpapiers $j$
$V$	VaR – Schranke
$W$	Gesamtportfolio
$w_j$	Wertpapier $j$
$z_\alpha$	Wert der das Konfidenzintervall für den VaR bestimmt
$\alpha$	Quantil der Verteilung
$\sigma[r_w]$	Standardabweichung

## Abkürzungsverzeichnis

Aufl.	.....	Auflage
Bzw.	.....	Beziehungsweise
CVaR	.....	Conditional Value at Risk
<i>f. ff.</i>	.....	folgende Seite(n)
LP	.....	Lineare Programmierung
		Mixed Integer Linear
MILP	.....	Programming
rd.	.....	Rund
S.	.....	Seite
VaR	.....	Value at Risk
Vgl.	.....	Vergleiche
z.B.	.....	zum Beispiel
P1	.....	Projekt 1
P2	.....	Projekt 2
P3	.....	Projekt 3
P4	.....	Projekt 4

# 1 Einleitung und Überblick

Das Thema dieser Arbeit liegt einer Sensitivitätsanalyse an dem von den Betriebsinformatikern Jakob Kisslinger und Christian Netzer entwickelten Software-Tool MILP-Heid 2.0 zugrunde. Dieses Tool basiert auf dem Modell MILP-1.5 sowie dem Artikel „Dynamic Project Selection and Funding under Risk: A Decision Tree Based MILP Approach“ (Vgl. European Journal of Operational Research 95, 1996). Sowohl dieses Modell, als auch der Artikel, wurden von O.Univ.-Prof. Dr. Kurt Heidenberger (Lehrstuhl für Innovations- und Technologiemanagement, Universität Wien) entwickelt.

Die folgende Arbeit basiert auf dem von Prof. Dr. Kurt Heidenberger entwickelten MILP-Modell zur Lösung von sequentiellen Entscheidungsproblemen in der Projektplanung. Die Aufgabenstellung setzt sich im Wesentlichen mit der Beantwortung der folgenden Fragen auseinander.

- Welche Auswirkungen hat eine inkrementelle Budgetänderung auf die Verteilungsfunktion eines riskanten Investitionsprojekts?
- Welche Methoden können für die Risikomessung (und im Weiteren für die Risikosteuerung) bei riskanten Investitionsentscheidungen herangezogen werden? Welche Stärken bzw. Schwächen weisen diese in der Praxis auf?

Die folgenden sieben Kapitel widmen sich der Beantwortung dieser Fragen. Das zweite Kapitel umfasst zum einen die Modellbeschreibung und zum anderen die angewendeten Berechnungsmethoden für die Verteilungsfunktionen der Projektkandidaten. Das dritte Kapitel widmet sich zwei ausgewählten Methoden zur Risikomessung und Risikosteuerung für Investitionsprojekte. Zu den ausgewählten Methoden zählen der Value-at-Risk und der Conditional-Value-at-Risk. Im Zuge der Darstellung dieser Risikokennzahlen soll nicht nur auf ihre Ziele eingegangen werden, sondern auch auf ihre Eignung für Nicht-Finanzdienstleistungsunternehmen. Kapitel vier befasst sich anhand von Nutzenfunktionen, mit einer Risikobewertungsmethode unter Berücksichtigung subjektiver Risikoeinstellungen.

Das fünfte Kapitel präsentiert eine Sensitivitätsanalyse anhand des stochastischen Entscheidungsmodells an vier fiktiven Projekten. Das Hauptaugenmerk hierbei liegt in der Darstellung der Auswirkungen einer inkrementellen Budgetänderung auf die Verteilungsfunktion, die Risikokennzahlen (VaR und CVaR) und den Nutzen der Projekte. Im Zuge des Projektaufbaus wurde besonders auf das Einbinden der Typ 3 und Typ +3 Knoten geachtet. Dies erfolgte, indem unterschiedliche Kurvenverläufe für die einzelnen Ertrags- und Aufwand-Stützkurven gewählt wurden. Kapitel sechs beschäftigt sich mit den Stärken und Schwächen von Value-at-Risk- und Conditional-Value-at-Risk-Schranken unter der Annahme der  $\mu$ - $\sigma$ -Dominanz. Dieser Abschnitt erläutert unter anderem das Entscheidungsverhalten stark und schwach risikoaverser Entscheidungsträger bei Anwendung des Value-at-Risks, des Conditional-Value-at-Risks und des Minimum-Varianz-Portfolios. In weiterer Folge wird auch auf das Entscheidungsverhalten bei Vorhandensein eines risikolosen Finanzierungstitels (bzw. einer risikolosen Veranlagungsmöglichkeit) eingegangen.

## **2 Das Entscheidungsmodell**

Dieses Kapitel präsentiert den theoretischen Hintergrund des stochastischen Entscheidungsmodells, basierend auf dem von Prof. Dr. Heidenberger entwickelten Modellkonzept. Im Mittelpunkt stehen die einzelnen Knotentypen und die Berechnung der Verteilungsfunktionen. Da die Periodisierung und die Zinsrechnung bei der Berechnung der Erwartungswerte nicht berücksichtigt werden, wird auf diese nicht näher eingegangen.

### **2.1 Das Entscheidungsmodell Version 2.0**

Der Grundgedanke dieses Modells ist, dass Projekte aufgrund der begrenzten Anzahl zur Verfügung stehender Ressourcen als riskante Großinvestitionen betrachtet werden können. Die hierbei anfallenden Aufwendungen und Erträge können in monetäre und quantifizierbare nicht-monetäre Kategorien unterteilt werden. Ein Projekt durchläuft mehrere Zustände, wobei jeder Zustand eine beliebige Anzahl von Nachfolgezuständen haben kann. Die direkten Nachfolger können mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit erreicht werden.

Die Besonderheit dieses Entscheidungsmodells liegt darin, dass die Wahrscheinlichkeit einen bestimmten Folgezustand zu erreichen vom Ressourcenverbrauch abhängig gemacht werden kann. Der Ressourcenverbrauch wird in Aufwand gemessen, wobei jeder Zustandswechsel mit Erträgen verbunden ist.<sup>1</sup>

Jedes Projekt wird in Form eines stochastischen Entscheidungsbaumes dargestellt, welcher die Übergänge zwischen den einzelnen Zuständen und die dabei anfallenden Aufwendungen und Erträge zeigt. Das Ziel besteht darin, den gesamten Ertrag mit Hilfe einer optimalen Projektdynamik zu maximieren. Schlussendlich soll aus der Vielzahl möglicher Projekte jenes gewählt werden, das den höchsten Ertrag aufweist.<sup>2</sup>

### **2.1.1 Knotentypen**

Um eine Darstellung der unterschiedlichen Bedingungen in Entscheidungssituationen zu ermöglichen, bietet dieses Modell verschiedene Knotentypen an. Im Folgenden werden die zur Verfügung stehenden Knotentypen beschrieben.

#### **Typ 0 (Projektstartknoten)**

Dieser Knotentyp ermöglicht es einen Projektnamen zu vergeben und verfügt über keine weitere modellbezogene Funktionalität. Jeder Entscheidungsbaum eines Projektes muss mit diesem Knotentyp beginnen.<sup>3</sup>

#### **Typ 1 (Klassische Ereignisknoten)**

Allen Verbindungen die von diesem Knoten ausgehen, können fixe Übergangswahrscheinlichkeiten und fixe Erträge bzw. Aufwendungen zugeordnet werden. Die spezifizierbare konstante Übergangswahrscheinlichkeit dieses Knotens erfüllt die folgende Bedingung.<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> Vgl. Heidenberger (1995); S. 284 ff.

<sup>2</sup> Vgl. Kisslinger/Netzer (1999), S. 2 f.

<sup>3</sup> Vgl. Kisslinger/Netzer (1999), S. 10.

<sup>4</sup> Vgl. Heidenberger (1995), S. 287.

$$x_s = p_{k,s} \times x_k \quad (1)$$

## Typ 2 (Binäre Entscheidungsknoten)

Dieser Knotentyp ist ein reiner Entscheidungsknoten der es ermöglicht, aus der Menge der direkten Nachfolger ( $s \in S$ ) eine bestimmte Anzahl von Nachfolgern zu wählen. Den Nachfolgezuständen können keine fixen Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden. Dies hat zur Folge, dass die Wahrscheinlichkeit eine Folgeverbindung zu erreichen, nur die Werte  $p=1$  oder  $p=0$  annehmen kann. Aus  $l$  alternativen Nachfolgeknoten dürfen maximal  $u_k$  ausgewählt werden:<sup>5</sup>

$$\sum_{s \in S} x_s \leq u_k x_k \quad (2)$$

Für  $x_s$  gilt daher

$$x_k + y_s - 1 \leq x_s \quad (3)$$

$$x_s \leq y_s \quad (4)$$

Somit wird sichergestellt, dass für alle  $s \in S$  folgendes gilt

$$y_s \in \{0,1\} \quad (5)$$

## Typ +2

Dieser Knoten stellt eine Erweiterung des Knotentyps 2 in Form eines zusätzlichen Parameters dar. Mit Hilfe des neuen Parameters kann neben der maximalen Anzahl aktiver Nachfolger ( $u$ ) auch die minimale Anzahl der zu wählenden Nachfolger ( $v$ ) festgelegt werden. Somit gilt zusätzlich zu den für Knotentyp 2 definierten Bedingungen in den Gleichungen (2), bis (5) noch eine zusätzliche Nebenbedingung.<sup>6</sup>

$$\sum_{s \in S} x_s \geq v_k x_k \quad (6)$$

---

<sup>5</sup> Vgl. Heidenberger (1995), S. 287.

<sup>6</sup> Vgl. Kisslinger/Netzer (1999), S. 10f.

Für den Fall, dass die maximale Anzahl aktiver Nachfolger ( $u_k$ ) der Anzahl der minimalen Nachfolger ( $v_k$ ) entspricht, gilt (für alle  $u_k=v_k$ ) folgendes.<sup>7</sup>

$$\sum_{s \in S} x_s = v_k x_k = u_k x_k \quad (7)$$

### Typ 3

Die Besonderheit dieses stochastischen Entscheidungsmodells ist durch den von Prof. Dr. Heidenberger erstmalig entwickelten Typ 3 Knoten charakterisiert. Der Übergang dieses Knotentyps ( $k$ ) zu seinem Nachfolger ( $s$ ) ist von einer diskreten Zufallsvariable bestimmt. Diese diskrete Zufallsvariable mit der Übergangswahrscheinlichkeit  $p_{k,s}$ , ist von einer stetigen, abschnittsweise linear, monoton steigenden Funktion abhängig. Die Aufwendungen werden mittels einer Aufwandsfunktion  $c_{k,s}^r(p_{k,s})$  dargestellt, die konvex ist. Die Erträge werden in Form einer konkaven Ertragsfunktion  $e_{k,s}^q(p_{k,s})$  dargestellt. Da der Aufwand bzw. der Ertrag einer Folgeverbindung nicht rein linearer Form ist, muss der gültige Wahrscheinlichkeitsbereich in mehrere lineare Abschnitte unterteilt werden, deren Summe die lokale Übergangswahrscheinlichkeit  $p_{k,s}$  ergibt. Die Voraussetzung dafür, dass die Summe der Abschnittswahrscheinlichkeiten die lokale Übergangswahrscheinlichkeit  $p_{k,s}$  ergibt, wird durch die folgende Nebenbedingung gewährleistet.<sup>8</sup>

$$\sum_{l=1}^{f_{k,s}^z} p_{k,s}^{z,l} = p_{k,s} \quad (8)$$

oder

$$\sum_{l=1}^{f_{k,s}^z} x_{k,s}^{z,l} = x_{k,s} \quad (9)$$

Die Aufwands- bzw. Ertragsfunktionen, welche mittels Stützkurven dargestellt werden, sind in einem Wahrscheinlichkeitsbereich zwischen 0 und 1 abgebildet.<sup>9</sup>

$$\sum_{l=1}^{f_{k,s}^z} d_{k,s}^{z,l} = 1 \quad (10)$$

<sup>7</sup> Vgl. Kisslinger/Netzer (1999), S. 10 f.

<sup>8</sup> Vgl. Kisslinger/Netzer (1999), S. 7.

<sup>9</sup> Vgl. Kisslinger/Netzer (1999), S. 7.

Diese Nebenbedingung gewährleistet, dass die Summe der einzelnen linearen Abschnittsbreiten 1 ergibt. Für die Breite der einzelnen Abschnitte der stetigen, abschnittsweise linear, monoton steigenden Ertrags- bzw. Aufwandsfunktionen gelten die folgenden Nebenbedingungen.<sup>10</sup>

$$0 \leq x_k^{z,l} \leq d_{k,s}^{z,l} x_k \quad (11)$$

$$0 \leq p_{k,s}^{z,l} \leq d_{k,s}^{z,l} \quad (12)$$

Die Aufwandsfunktionen bestehen aus 2 Teilen. Der erste Teil stellt die fixen Aufwendungen (Fixkosten) dar, die anfallen sobald der Typ 3 Knoten erreicht wird. Im zweiten Teil werden mit Hilfe der Stützkurve die Aufwendungen der einzelnen linearen Abschnitte aufsummiert. Die Aufwendungen der einzelnen Abschnitte ergeben sich aus der Steigung und den dabei in Anspruch genommenen Wahrscheinlichkeiten. Demzufolge lässt sich eine Aufwandsfunktion wie folgt darstellen:<sup>11</sup>

$$c_{k,s}^r(p_{k,s}) = c_{k,s}^r + \sum_{l=1}^{f_{k,s}^r} c_{k,s}^{r,l} p_{k,s}^{r,l} \quad (13)$$

Die Ertragsfunktion verhält sich analog zur Aufwandsfunktion und ist somit wie folgt festgelegt:

$$e_{k,s}^q(p_{k,s}) = e_{k,s}^q + \sum_{l=1}^{f_{k,s}^q} e_{k,s}^{q,l} p_{k,s}^{q,l} \quad (14)$$

### Typ 3+

Dieser Knoten stellt eine Erweiterung des Typ 3 Knotens in Form einer Mindestübergangswahrscheinlichkeit  $o_{k,s}$  dar. Dieser Schwellenwert ermöglicht dem Entscheidungsträger dem Programm bei der Wahl der Folgeverbindungen vorzuschreiben bestimmte Verbindungen nur dann zu wählen, wenn die für die Folgeverbindung ermittelte Wahrscheinlichkeit  $x_s$  einen bestimmten Absolutbetrag überschreitet.

<sup>10</sup> Vgl. Kisslinger/Netzer (1999), S. 7 f.

<sup>11</sup> Vgl. Kisslinger/Netzer (1999), S. 8 f.

Dieser Schwellenwert ermöglicht bei Investitionsentscheidungen ein flexibles Auswahlverhalten unter Berücksichtigung vordefinierter Untergrenzen (bzw. Minima). Diese lokale Mindestübergangswahrscheinlichkeit  $o_{k,s}$  ist eine relative Wahrscheinlichkeit und muss nicht für alle vom Typ +3 Knoten ausgehenden Verbindungen vordefiniert werden. Die Summe der relativen Wahrscheinlichkeiten  $o_{k,s}$  muss maximal 1 ergeben. Dies wird durch die folgende Nebenbedingung gewährleistet.<sup>12</sup>

$$\sum_{s \in S_k} o_{k,s} \leq 1 \quad (15)$$

Ergibt die Summe aller spezifizierten Schwellenwerte 1, so entsprechen die Eigenschaften dieses Knotens im Wesentlichen dem des Typ 1 da die Übergangswahrscheinlichkeiten (im Fall des Erreichens des Knotens) praktisch fixiert sind. Wird nur für eine Verbindung eine Mindestübergangswahrscheinlichkeit definiert, so wird zumindest der Nachfolger mit dem spezifizierten Schwellenwert gewählt auch wenn dies nicht dem Optimum entspricht. Dies kann bewirken, dass nur ein Nachfolger mit der gesamten (zur Verfügung stehenden) Wahrscheinlichkeit gewählt wird, wenn damit ein optimales Ergebnis erzielt wird. Bricht jedoch der Pfad vor Erreichen eines Typ +3 Knotens ab (im Zuge der Optimierung) so wird selbst bei Vorgabe einer Mindestübergangswahrscheinlichkeit kein Nachfolger gewählt. Die Aufwands- bzw. Ertragsfunktionen dieses Knotentyps entsprechen jenen des Typ 3 Knotens. Die Einbindung der relativen Wahrscheinlichkeiten  $o_{k,s}$  bei der Darstellung des Übergangs vom Knoten  $k$  zu seiner Folgeverbindung  $s$  erfolgt mit Hilfe dieser Nebenbedingung.<sup>13</sup>

$$x_s \geq o_{k,s} x_k \quad (16)$$

#### **Typ 4 (Endknoten)**

Dieser Knotentyp verfügt analog zum Typ 0 Knoten über keine modellbezogene Funktionalität. Jeder Pfad eines Projektes (stochastischen Entscheidungsbaumes) muss mit diesem Knotentyp enden.<sup>14</sup>

---

<sup>12</sup> Vgl. Kisslinger/Netzer (1999), S. 11 f.

<sup>13</sup> Vgl. Kisslinger/Netzer (1999), S. 11 f.

<sup>14</sup> Vgl. Kisslinger/Netzer (1999), S. 10 f.

### 2.1.2 Allgemeine Modellcharakteristika

Die Wahrscheinlichkeit  $x$  des Projektknotens ( $l_m$ ) ist für jeden Entscheidungsbaum folgendermaßen definiert.

$$x_{l_m} = 1 \quad \forall m \in \{1, \dots, M\} \quad (17)$$

Die lokale Übergangswahrscheinlichkeit  $p_{k,s}$  zwischen dem Knoten  $k$  und seinem Nachfolger  $s$  errechnet sich wie folgt.

$$p_{k,s} = \frac{x_s}{x_k} \quad \forall k \in A_m / l_m, x_k \neq 0 \quad (18)$$

Somit gilt für alle Knoten:

$$x_s \leq x_k \quad (19)$$

Mit Ausnahme des binären Entscheidungsknotens gilt für sämtliche Knotenarten, dass die Summe aller  $x$ -Werte aller Folgeverbindungen den  $x$ -Wert des Knotens selbst ergibt.<sup>15</sup>

$$\sum_{s \in S_k} x_s = x_k \quad \forall k \in A_m / E_m, m \in M \quad (20)$$

### 2.1.3 Ressourcenrestriktion

Wie bereits angeführt, ist eines der Hauptkriterien bei der Projektauswahl die begrenzte Anzahl an zur Verfügung stehenden Ressourcen. Um zu gewährleisten, dass die während eines Projektes anfallenden Aufwendungen (bzw. verbrauchten Ressourcen) das vorgegebene Budget ( $B$ ) nicht überschreiten, gilt die folgende Nebenbedingung für jede Ressourcenart ( $r$ ).<sup>16</sup>

$$\sum_{m \in M} \sum_{k \in A_m / E_m} \sum_{s \in S_k} c_{k,s}^r x_k + \sum_{l=1}^{f_{k,s}^r} c_{k,s}^{r,l} x_s^{r,l} \leq B^r \quad (21)$$

<sup>15</sup> Vgl. Kisslinger/Netzer (1999), S. 6.

<sup>16</sup> Vgl. Heidenberger (1995), S. 289.

## 2.1.4 Zielfunktion

Das Ziel dieses stochastischen Entscheidungsmodells liegt darin den Ertrag zu maximieren. Dies ist durch die folgende Zielfunktion definiert.

$$\sum_{q,r \in Q} \sum_{m \in M} \sum_{k \in A_m / E_m} \sum_{s \in S_k} w_q \left[ (e_{k,s}^q - c_{k,s}^r) x_k + \sum_{l=1}^{f_{k,s}^q} e_{k,s}^{q,l} x_s^{q,l} - \sum_{l=1}^{f_{k,s}^r} c_{k,s}^{r,l} x_s^{r,l} \right] \Rightarrow \max! \quad (22)$$

Der Parameter  $w_q$  ermöglicht dem Entscheidungsträger die jeweils festgelegten Ertragsarten zu gewichten.<sup>17</sup>

## 2.2 Ergebnisberechnung

Die statistische Auswertung der Optimierungsergebnisse und die Visualisierung der berechneten Größen im Zuge dieser Arbeit erfolgt durch die Berechnung des Erwartungswertes ( $\mu$ ) und der Standardabweichung ( $\sigma$ ). Das Programm ermittelt hierbei nur den Erwartungswert der diskret verteilten Zufallsvariablen.

Das Ziel der Ergebnisauswertung besteht darin den eventuellen Einfluss einer inkrementellen Budgetänderung auf den Erwartungswert und die Standardabweichung zu zeigen. In weiterer Folge sollen die ermittelten Steuerungsparameter auch der Berechnung der Risikokennzahlen und des Nutzens dienen. Der Erwartungswert  $\mu$  (oder  $E(X)$ ) einer diskreten Zufallsvariable mit den Werten,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  und der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $p_1, p_2, \dots, p_n$  errechnet sich wie folgt.<sup>18</sup>

$$\mu = E(X) = x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_n p_n = \sum_{i=1}^n x_i p_i \quad (23)$$

Im Unterschied zum arithmetischen Mittel, welches die Lage von Daten charakterisiert, zeigt der Erwartungswert die Lage der Verteilung für den Fall, dass das Experiment (oder die Investition) nicht durchgeführt wurde. Der Erwartungswert stellt somit das potentielle Ergebnis eines Experiments (bzw. einer Investition) dar.

<sup>17</sup> Vgl. Kisslinger/Netzer (1999), S. 8 f.

<sup>18</sup> Vgl. Elpelt/Hartung (2004), S. 242 f.

Die Varianz, und somit auch die Standardabweichung, setzen metrisch skalierte Zufallsvariablen voraus und bilden die wichtigsten Streuungsparameter einer diskreten Zufallsvariable.

$$\sigma^2 = \text{Var}(X) = (x_1 - \mu)^2 p_1 + (x_2 - \mu)^2 p_2 + \dots + (x_n - \mu)^2 p_n = \sum_{i=1}^n x_i^2 p_i - [E(X)]^2 \quad (24)$$

Die Standardabweichung ergibt sich aus der Wurzel der Varianz.

$$\sigma = \sqrt{\text{Var}(X)} \quad (25)$$

Die Varianz ist die erwartete quadratische Abweichung (oder Streuung) einer Zufallsvariable  $X$  (mit den Werten  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) von ihrem Erwartungswert.<sup>19</sup>

### 2.2.1 Die projektbezogene Ergebnisauswertung

Die Berechnung der Erwartungswerte und der Standardabweichung erfolgt, indem die Entscheidungsbäume nur noch auf die wesentlichen Bestandteile reduziert werden. Da für die Berechnung nur die Endknoten der gewählten Pfade von Bedeutung sind, werden die Pfade die im Zuge der Optimierung nicht gewählt wurden vollkommen weggelassen. Jedem Endknoten ist ein Wertepaar, bestehend aus dem jeweiligen Aufwand (bzw. dem Ertrag) und dem Wahrscheinlichkeitswert, zugeordnet. Der Erwartungswert ( $\mu$ ) eines Endknotens ergibt sich sodann aus der Multiplikation des Wertepaares. Die Summe der einzelnen Erwartungswerte jedes gewählten Endknotens ergibt schlussendlich den Erwartungswert des Projektes. Die Berechnung der Wertepaare ist von den einzelnen Knotentypen entlang eines Pfades abhängig. Durch Anwendung des Multiplikationssatzes für unabhängige Ereignisse werden von der Wurzel ausgehend, alle Übergangswahrscheinlichkeiten entlang eines gewählten Pfades bis zum Endknoten miteinander multipliziert. Die Aufwendungen bzw. die Erträge entlang eines gewählten Pfades werden aufsummiert.<sup>20</sup> Die Berechnung der Standardabweichung erfolgt unter Anwendung der in Abschnitt 2.2 angeführten Gleichung (24).

---

<sup>19</sup> Vgl. Elpelt/Hartung (2004), S. 248 f.

<sup>20</sup> Vgl. Kisslinger/Netzer (1999), S.13.

## **Berechnung des Typ 2 und des Typ +2 Knotens**

Wird nur ein aktiver Nachfolger gewählt, so entspricht die Berechnung der des Typen 1 Knotens. In Fällen, in denen mehr als ein aktiver Nachfolger gewählt wird, erfolgt eine komplexere Berechnungsweise als beim Typ1 Knoten, da alle gewählten direkten Nachfolger die Übergangswahrscheinlichkeit 1 besitzen. Die gewählten direkten Nachfolger übernehmen, aufgrund ihrer Übergangswahrscheinlichkeiten die Wahrscheinlichkeit des ausgehenden Knotens. Dies führt dazu, dass die Summe der Nachfolgewahrscheinlichkeiten  $x_s$  ein Vielfaches des ausgehenden Typen 2 (bzw. Typ +2) Knotens  $x_k$  ergibt. Die Summe aller bis zum Typ 2 (bzw. Typ +2) Knoten angefallenen Aufwendungen (oder Erträge) wird gleichmäßig auf die Anzahl der direkten Nachfolger aufgeteilt. Anschließend werden die jeweiligen Aufwendungen (oder Erträge) der jeweiligen Nachfolgeverbindung zum Quotienten hinzu addiert.<sup>21</sup>

Da bei der Berechnung des Erwartungswertes (und in späterer Folge der Standardabweichung) des gesamten Entscheidungsbaumes (Projekt) die Summe der Wahrscheinlichkeiten der Endknoten 1 ergeben muss, werden die gewählten Nachfolgeverbindungen zu einem Knoten zusammengefasst.

## **Berechnung des Typ 3 und des Typ +3 Knotens**

Die hier angewendete Berechnungsweise erfolgt analog zu der des Typen 1 Knotens. Aufgrund der spezifischen Aufwands- bzw. Ertragsfunktionen ergibt sich der zu addierende Betrag aus der Steigung der einzelnen Abschnitte der konvexen bzw. konkaven stückweise linearen Funktion. Der beim Erreichen dieses Knotentyps jeweils immer anfallende Fixkostenanteil wird bei den Folgeverbindungen durch das Hinzuaddieren zu den bisher angefallenen Kosten berücksichtigt.<sup>22</sup>

---

<sup>21</sup> Vgl. Kisslinger/Netzer (1999), S.14.

<sup>22</sup> Vgl. Kisslinger/Netzer (1999), S. 16.

### 3 Risikoquantifizierungsmethoden

Dieser Abschnitt widmet sich den Risikokennzahlen Value at Risk (VaR) und Conditional Value at Risk (CVaR), welche der Risikomessung dienen. Das Ziel dieses Kapitels liegt darin, die Eignung und Berechnung dieser Kennzahlen für die Quantifizierung des Risikos von Investitionsentscheidungen zu erläutern. Die im Folgenden beschriebenen Risikokennzahlen sollen für die in Kapitel 5 dargestellten Projekte berechnet werden. Da sich dieser Teil der Arbeit mit der Risikomessung beschäftigt, soll vorerst auf die Bedeutung dieses Begriffes eingegangen werden.

#### Der Risikobegriff

Üblicherweise herrscht in Entscheidungssituationen (und vor allem bei Investitionen), Ungewissheit über die zukünftigen Ereignisse aufgrund unvollständiger Informationen. Der Mangel an Informationen zum Entscheidungszeitpunkt heißt Unsicherheit (im Gegensatz zu Sicherheit, wenn vollständige Informationen vorhanden sind). Im Fall von Entscheidungen unter Ungewissheit können weder objektive noch subjektive Eintrittswahrscheinlichkeiten für relevante Umweltzustände ermittelt werden. Bei Entscheidungen unter Risiko (mit denen sich die vorliegende Arbeit befasst) können Wahrscheinlichkeitsverteilungen für mögliche zukünftige Ereignisse festgelegt werden. Entscheidungen unter Risiko setzen voraus, dass zum Entscheidungszeitpunkt ein unvollständiger Informationszustand herrscht und, dass die Konsequenzen bereits getroffener Entscheidungen kurzfristig nicht mehr rückgängig oder abgeändert werden können. Risiko stellt somit jene Gefahr dar, dass eine vordefinierte Zielgröße (z.B. die Maximierung des Ertrages) von einem Referenzwert negativ abweicht. Risikomaße sind die Varianz und die Standardabweichung, welche bereits in Kapitel 2.2. beschrieben wurden.<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> Vgl. Bacher (2004), S. 19.

### **3.1 Der Value at Risk**

Da Value at Risk-Modelle primär für Finanzdienstleistungsunternehmen entwickelt wurden, können diese für die Risikoanalyse im Nicht-Finanzdienstleistungssektor nicht ohne weiteres angewendet werden. Die Annahmen des VaR-Ansatzes sind, dass alle Portfolios „Marked to Market“ bewertet werden können, dass sie jederzeit glattgestellt werden können und, dass die Betrachtungszeiträume relativ kurz sind (1 Tag bis 1 Monat). Da diese Grundannahmen für den Großteil der Aktivitäten von Nicht-Finanzdienstleistungsunternehmen nicht getroffen werden können, beschränkt sich in der Praxis die Anwendung des VaR-Ansatzes vornehmlich auf Geld- und Kapitalmarkttransaktionen. Auf die Grenzen des VaR soll im Folgenden eingegangen werden.<sup>24</sup>

#### **3.1.1 Die Grenzen des VaR-Einsatzes bei Nicht - Finanzdienstleistungsunternehmen**

Die Wahl des Beobachtungszeitraumes und des Konfidenzniveaus hängt von der Zielsetzung des Entscheidungsträgers ab. Die Länge des Beobachtungszeitraumes sollte in Abhängigkeit von der Investitionsart, dem Planungshorizont, den Informationsbedürfnissen und der Marktstruktur festgelegt werden. Im Bezug auf die Marktstruktur ist jener Zeitraum signifikant, der für die Glattstellung einer Position (durch Verkauf oder Hedging) benötigt ist. Da es sich beim VaR-Ansatz um ein kurzfristig orientiertes Konzept handelt hat dies zur Folge, dass sich die Qualität der Ergebnisse mit zunehmendem Zeithorizont verringert. Des Weiteren hängt die Genauigkeit der VaR-Berechnungen von der zugrunde liegenden Anzahl an Daten (Beobachtungen) und den Verteilungsannahmen ab. All diese Voraussetzungen führen zu Problemen bei der Ermittlung des VaR für Nicht-Finanzdienstleistungsunternehmen, da ihre Investitionsplanungen meist langfristiger Natur sind. In der Praxis ist meist auch die große Anzahl an notwendigen Beobachtungen für die zugrunde liegenden Risikofaktoren, nicht verfügbar wie beispielsweise bei Innovationen. In der vorliegenden Arbeit besteht die Grundannahme, dass genügend historische Daten im Bezug auf die Marktstruktur und ähnliche bereits getätigte Investitionen, vorhanden sind.

---

<sup>24</sup> Vgl. Bacher (2004), S. 2 ff.

Da einer der schwierigsten aber wichtigsten Schritte in der Berechnung von Risikokennzahlen darin besteht, die richtigen Verteilungsannahmen zu treffen, wird in der Literatur zumeist eine Normalverteilung unterstellt. Die Annahme, dass die Zufallsvariablen normalverteilt sind, ermöglicht eine einfache und rasche (in vielen Fällen realitätsnahe) Berechnung der Risikokennzahlen.<sup>25</sup> Da die Zufallsvariablen des hier vorgestellten Programms diskret verteilt sind, wurden die hier vorgestellten Risikokennzahlen basierend auf dieser Annahme berechnet und miteinander verglichen.

### **3.1.2 Definitionen des Value at Risks**

Der VaR ist ein quantitatives Risikomaß zur Risikosteuerung. Er stellt den in Währungseinheiten geschätzten, maximalen Wertverlust einer Position oder eines Portfolios, der unter normalen Marktbedingungen mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (Konfidenzniveau) innerhalb eines bestimmten Zeitraumes (Halteperiode) eintreten könnte dar. Wird der aktuelle Marktwert als Referenzwert für den unsicheren zukünftigen Marktwert gewählt, so spricht man vom absoluten VaR. Wird anstelle dessen der Erwartungswert des zukünftigen Marktwertes als Referenzwert gewählt, so handelt es sich um den relativen VaR.<sup>26</sup>

Wie bereits angeführt, sind Ertragsgrößen im Zuge riskanter Investitionen nicht von vornherein bestimmbar und können daher als Zufallsvariablen aufgefasst werden.

Mit geeigneten Verfahren kann eine Wahrscheinlichkeitsverteilung ermittelt werden, um daraus ein Quantil zu berechnen. Mit Hilfe eines Quantils kann angegeben werden, welchen Wert die Zufallsvariable mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit erreicht (bzw. welcher Wert nicht überschritten wird). Das 5% Quantil zeigt beispielsweise, welchen Wert die Zufallsvariable mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% nicht überschreitet. Geht man von einem negativen Betrag aus, so kann dieser als Verlust aufgefasst werden, welcher mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% nicht überschritten wird.

---

<sup>25</sup> Vgl. Bacher (2004), 227 ff.

<sup>26</sup> Vgl. Bacher (2004), S. 11 ff.

Unter der Annahme, dass die Zusammensetzung der riskanten Position unverändert bleibt, und dass die Rahmenbedingungen des Marktes vorhersagbar (oder konstant) sind, ist der VaR einer Zufallsvariablen  $X$  mit der Verteilungsfunktion  $F(x)$  folgendermaßen definiert:<sup>27</sup>

$$P(X \leq -\text{VaR}_\alpha(X)) = \alpha \quad (28)$$

Die folgende Abbildung 3.1 veranschaulicht, dass der VaR als  $1-\alpha$  Quantil der Verteilungsfunktion von  $X$  aufgefasst werden kann.<sup>28</sup> Dies bedeutet, dass der VaR den Verlust darstellt, der mit einer Konfidenzwahrscheinlichkeit von  $1-\alpha$  eintritt.

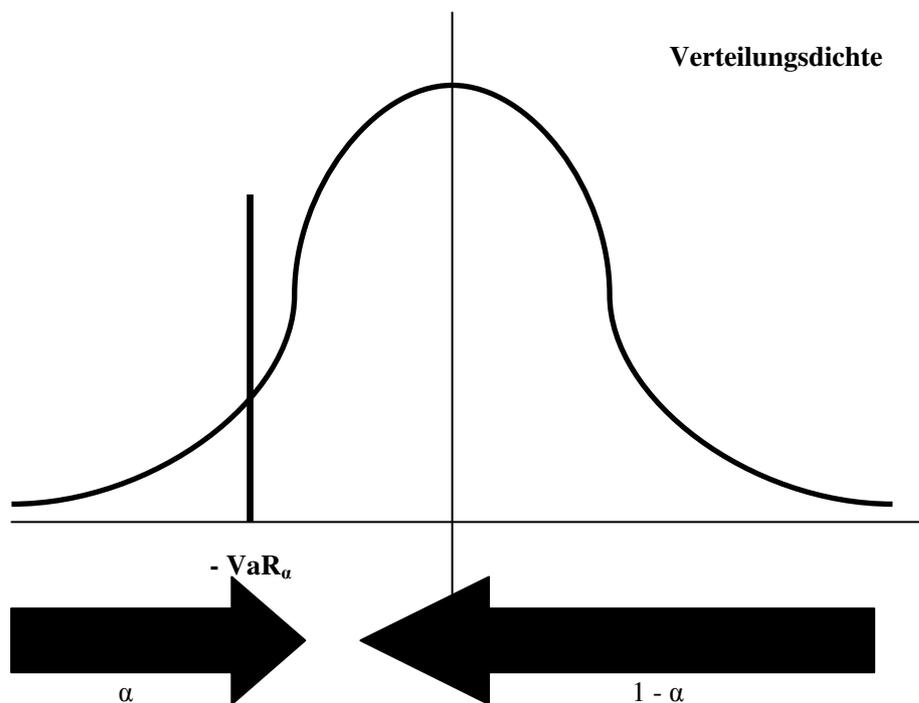


Abbildung 3.1: VaR unter der Annahme einer Normalverteilung

Da die in Kapitel 5 dargestellten (fiktiven) Projekte keine Verluste aufweisen erfolgt eine Umdeutung dieser Risikokennzahl. Dies erfolgt indem der VaR durch den Critical Value (CV) ersetzt wird. Bei einem 5%-igen Quantil zeigt der CV den Ertrag, der mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% nicht unterschritten wird.

<sup>27</sup> Vg. Hanisch (2005), S. 22 f.

<sup>28</sup> Abbildung entnommen aus: Hanisch (2005), S. 25.

### 3.1.3 Schwächen des Value at Risk-Modells

In der Literatur findet sich aufgrund der Grenzen des VaR auch viel Kritik an diesem Risikoquantifizierungsansatz für die Anwendung in der Praxis. Einige dieser Kritikpunkte sind hier angeführt.<sup>29</sup>

- Unter Annahme einer Normalverteilung können hohe Verluste bei Kenntnis des VaR ermittelt werden. Wendet man sich hingegen von dieser Annahme ab, so kann die Risikomessung mittels VaR zu unerwünschten Ergebnissen führen. Dies liegt daran, dass der VaR Ergebnisse deren Eintrittswahrscheinlichkeiten unterhalb des vordefinierten Quantils liegen („Tail Losses“) nicht wahrnimmt.
- Ein weiteres Problem des VaR liegt in seiner Subadditivität, da das Risiko einer zusammengesetzten Position höher sein kann als die Summe der Einzelrisiken. So kann beispielsweise ein Gesamtunternehmen seine Risikolimits weit verfehlen, obwohl alle Geschäftsbereiche sämtliche vorgelegte Risikobeschränkungen einhalten.
- Obwohl sich der VaR zur Risikomessung eignet, sollte er nicht zur Risikosteuerung angewendet werden. Fällt man unternehmerische Entscheidungen auf Basis des VaR, können diese durch bestimmte Optionsstrategien opportunistisch beeinflusst werden. Die fehlende Subadditivität ermöglicht es den VaR, einer Gesamtposition durch geschickte Aufteilung zu minimieren.

## 3.2 Der Conditional Value at Risk (CVaR)

Die Motivation zur Entwicklung des CVaR ergab sich unter anderem aus den in Abschnitt 3.1.3 angeführten Nachteilen des VaR. Hierbei spielte die mangelnde Berücksichtigung potentiell hoher Verluste die sich oberhalb des VaR befinden entscheidend. Gerade solche Verluste können unter bestimmten Umständen ein Existenz bedrohendes Ausmaß annehmen. Mit Hilfe des CVaR werden Verluste die bei der Berechnung des VaR ignoriert werden, besonders berücksichtigt. Dies hat zur Folge, dass der Wert des CVaR über dem des VaR liegt.

---

<sup>29</sup> Vgl. Hanisch (2005), S. 24 ff.

Unter der Annahme, dass die Verteilungsfunktion  $F(X)$  der Zufallsvariable  $X$  auf ihrem gesamten Träger stetig und streng monoton steigend ist, ist die Dichtefunktion mit  $f(x)$  bezeichnet.<sup>30</sup> Die Beschreibung des CVaR soll mit Hilfe der Abbildung 3.2 vereinfacht werden.<sup>31</sup>

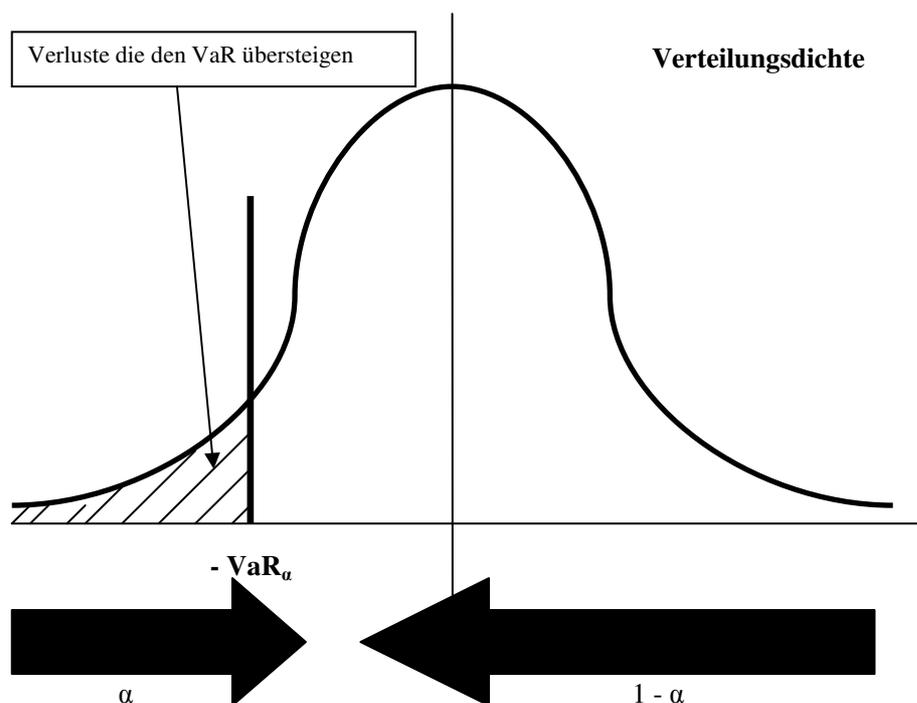


Abbildung 3.2: CVaR unter der Annahme einer Normalverteilung

Der schraffierte Bereich zeigt die Fehlbeträge die den VaR übertreffen und stellt somit die  $100\alpha\%$  der schlechtesten Realisierungen der Zufallsvariable  $X$  dar. In Abbildung 3.2 ist ersichtlich, dass bei der Risikomessung anhand des CVaR ausschließlich Realisierungen links vom negativen VaR berücksichtigt sind. Während der VaR den maximalen Verlust misst, der mit einem Konfidenzniveau von  $1-\alpha$  eintreten kann, zeigt der CVaR alle Fehlbeträge außerhalb des Konfidenzniveaus.

<sup>30</sup> Vgl. Hanisch (2005), S. 32 f.

<sup>31</sup> Abbildung entnommen aus: Hanisch (2005), S. 34.

Die Verteilung der 100 $\alpha$ % schlechtesten Realisierungen wird als  $\alpha$ -Tail der Verteilung bezeichnet und ist dadurch gekennzeichnet, dass sie den negativen VaR unterschreitet. Die hieraus resultierende Verteilungsfunktion des  $\alpha$ -Tails wird wie folgt beschrieben.<sup>32</sup>

### 3.2.1 Definition des Conditional Value at Risks

Unter der Annahme, dass  $X$  der zukünftige unsichere Wert einer Position ist und  $E(X) > -\infty$  gilt, entspricht der CVaR des Konfidenzniveaus  $1-\alpha$  dem Erwartungswert der Verluste in den schlechtesten 100 $\alpha$ % Fällen.  $E(X)$  sichert hierbei die Existenz des Erwartungswertes der schlechtesten Fälle. Unter den getroffenen Annahmen lässt sich der CVaR folgendermaßen beschreiben.<sup>33</sup>

$$CVaR_{\alpha}(X) = -E(X \mid X \leq -VaR_{\alpha}(X)) = -E(X \mid X < -VaR_{\alpha}(X)) \quad (29)$$

Der CVaR als bedingter Erwartungswert entspricht dem negativen Erwartungswert des  $\alpha$ -Tails der Verteilung von  $X$ .<sup>34</sup>

### 3.2.2 CVaR unter der Annahme einer diskreten Verteilung

Der CvaR stellt wie bereits beschrieben, den bedingten Erwartungswert dar. Da die in dieser Arbeit präsentierten Projekte keine Verluste aufweisen, soll dieser für die abschließenden Berechnungen umgedeutet werden. Anstelle des Erwartungswertes für die Annahme, dass der Verlust größer oder gleich dem VaR ist, soll dieser durch den Conditional Critical Value (den erwarteten Ertrag unter der Annahme, dass der CV unterschritten wird), ersetzt werden. Im Gegensatz zum CVaR welcher immer über dem VaR liegt, liegt der CCV immer unter dem ermittelten CV. Die bedingte Zufallsvariable  $Y$  unter der Bedingung  $X=x_i$  ( $Y \mid X = x_i$ ) besitzt die bedingte Verteilung

---

<sup>32</sup> Vgl. Hanisch (2005), S. 34 f.

<sup>33</sup> Vgl. Hanisch (2005), S. 35.

<sup>34</sup> Vgl. Hanisch (2005), S. 37.

$$\left( y_i; \frac{p_{i,j}}{p_i} \right); j = 1, 2, \dots \quad (30)$$

und einen bedingten Erwartungswert

$$E(Y | (X = x_i)) = \sum_j y_j \frac{p_{ij}}{p_i} \quad (31)$$

für jedes  $i$  mit  $x_i \in W_X$ .

Dies bedeutet, dass jeder einzelne Erwartungswert das mit der Wahrscheinlichkeit der anderen Zufallsvariablen gewichtete arithmetische Mittel der bedingten Erwartungswerte ist.<sup>35</sup>

## 4 Risikomessung unter Berücksichtigung der subjektiven Risikoeinstellung

Dieses Kapitel widmet sich einer weiteren Methode zur Bewertung riskanter Investitionsentscheidungen mit dem Ziel der Ertragsmaximierung. Die Bewertung von Investitionsentscheidungen kann anhand der Erfolgswahrscheinlichkeiten und den dadurch ausgelösten Aufwendungen (bzw. Zahlungen) erfolgen. Im Allgemeinen erfolgen Entscheidungen auf Basis der erwarteten Kapitalwerte. Diese Bewertungsmethode unterstellt jedoch ein risikoneutrales Verhalten. Die Berücksichtigung der Risikoeinstellung des Entscheidungsträgers kann mit Hilfe von Risikoaversionskoeffizienten erfolgen. Das Ungewissheitsmaß im Bezug auf die erwarteten Einzahlungsüberschüsse (bzw. die Erträge) kann wie bereits erläutert, durch die Streuung gebildet werden. Diese wird anschließend mit einem Parameter (dem Risikoaversionskoeffizienten) multipliziert und vom zugeordneten Erwartungswert subtrahiert. Der Risikoaversionskoeffizient spiegelt hierbei den Risikoaversionsgrad des Entscheidungsträgers wider. In der Literatur können viele Gestaltungsmöglichkeiten zur Bildung von Präferenzfunktionen unter Berücksichtigung des Risikoaversionsgrades gefunden werden. Eine Variante ist in Brockhoff (1994) zu finden und lässt sich wie folgt darstellen.<sup>36</sup>

---

<sup>35</sup> Vgl. Bosch (1998), S. 151.

<sup>36</sup> Vgl. Brockhoff (1994), S. 265 f.

$$\psi(\mu, \sigma) = \mu - a\sigma \quad (32)$$

Diese Präferenzfunktion gewährleistet jedoch für keine Wahrscheinlichkeitsverteilung das Kriterium der Rationalität nach Schneeweiß (1967), welches die Einhaltung des Prinzips der Monotonie, der Dominanz und des ordinalen Prinzips voraussetzt. Um das von Bernoulli verlangte Kriterium des rationalen Verhaltens als Voraussetzung für die Maximierung des Nutzenwertes zu gewährleisten, kann die Präferenzfunktion nicht beliebig gebildet werden. Bei der Bildung der Präferenzfunktion spielt der Einsatz der so genannten Wärmeleitungsgleichung eine bedeutende Rolle. Hierbei wird die Varianz ( $\sigma^2$ ) durch den Parameter  $t$  ersetzt.<sup>37</sup>

$$t = \frac{\sigma^2}{2} \quad (33)$$

Bei Anwendung der  $\mu$ - $\sigma$ -Bewertung kann die Präferenzfunktion des Entscheidungsträgers folgendermaßen dargestellt werden:<sup>38</sup>

$$\psi(\mu, \sigma) = \mu - at \quad (34)$$

$$\psi(\mu, \sigma) = \mu - \frac{a}{2}\sigma^2 \text{ wobei } a \neq 0 \text{ gilt.} \quad (35)$$

Zu beachten ist jedoch, dass bei Anwendung dieses Präferenzfunktionalis die Grundannahme besteht, dass die Zufallsvariablen (die Nettoeinzahlungsüberschüsse) normalverteilt sind.<sup>39</sup> Da das hier behandelte Entscheidungsmodell eine diskrete Verteilung der Zufallsvariablen unterstellt, sollen in weiterer Folge (in Kapitel 5) sämtliche Nutzenberechnungen unter Anwendung der in Brockhoff (1994) präsentierten Gleichung (32) erfolgen.

---

<sup>37</sup> Vgl. Schneeweiß (1967), S. 129.

<sup>38</sup> Vgl. Schneeweiß (1967), S. 149.

<sup>39</sup> Vgl. Schneeweiß (1967), S. 53 f.

## 5 Die Projekte

Das folgende Kapitel präsentiert eine Sensitivitätsanalyse anhand vier fiktiver Projekte. Die Sensitivitätsanalyse erfolgte in Form inkrementeller Budgetänderungen, wobei die Auswirkungen auf die Verteilungsfunktionen der einzelnen Projekte gemessen wurden. Bei der Konstruktion der Entscheidungsbäume (bzw. Projekte) wurde besonders auf den Verlauf der Stützkurven der Typ 3 bzw. der Typ +3 Knoten geachtet. Im Zuge der Analyse der vier Projekte werden die folgenden Daten präsentiert.

1. Der Projektaufbau (bzw. der Entscheidungsbaum).
2. Die festgelegten Ressourcen von denen aus die schrittweise Budgetsenkung erfolgte.
3. Visualisierung der Stützkurven der Typ 3 bzw. der Typ +3 Knoten.
4. Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse ( $\mu$ ,  $\sigma$ , CV, CCV, Nutzen) bei einer inkrementellen Budgetverringerung. Um die Budgetverringerung zu verdeutlichen sind die Größen auf der Abszisse (welche das Budget präsentiert) in sämtlichen Abbildungen in umgekehrter Reihenfolge dargestellt. Des Weiteren die ist die Budgetuntergrenze als Ursprung aller grafischen Darstellungen festgelegt.
5. Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse ( $\mu$ ,  $\sigma$ , CV, CCV, Nutzen) bei einer inkrementellen Budgeterhöhung.
6. Abschließende Feststellungen.

Für alle Projekte wurden jeweils zwei Ressourcenarten, bestehend aus Geldeinheiten und Personaleinheiten festgelegt. Im Zuge der inkrementellen Veränderungen des Budgets wurden beide Ressourcenarten synchron verändert. Da der Ertrag bei allen Projekten in Geldeinheiten gemessen wird, sind in den graphischen Darstellungen nur die Geldeinheiten abgezeichnet (um die Abbildungen übersichtlich zu gestalten). Die tabellarischen Darstellungen enthalten beide Budgetkomponenten. Wie bereits zu Beginn angeführt, wurde in allen Berechnungen die Möglichkeit der Einbeziehung von Soll- und Habenzinsen außer Acht gelassen. Um den Einfluss unterschiedlicher Risikoaversionsgrade zu untersuchen, wurden in sämtlichen Berechnungen 2 verschiedene Parameter ( $a_1 = 0,5$ ;  $a_2 = -0,5$ ) festgelegt.

## 5.1 Projekt 1 (P1)

Bei diesem Projekt wurden die folgenden Knotentypen miteinander verknüpft.

<b>Knotentyp</b>	<b>Anzahl</b>
<b>Typ 0</b>	1
<b>Typ 1</b>	2
<b>Typ +2</b>	1
<b>Typ 3</b>	1
<b>Typ +3</b>	1
<b>Typ 4</b>	10

**Tabelle 5.1: Einbezogenen Knotenarten in P1**

Der stochastische Entscheidungsbaum des Projektes 1 ist in Abbildung 5.1, welche dem Programm MILP-Heid Version 2 entnommen wurde, dargestellt.

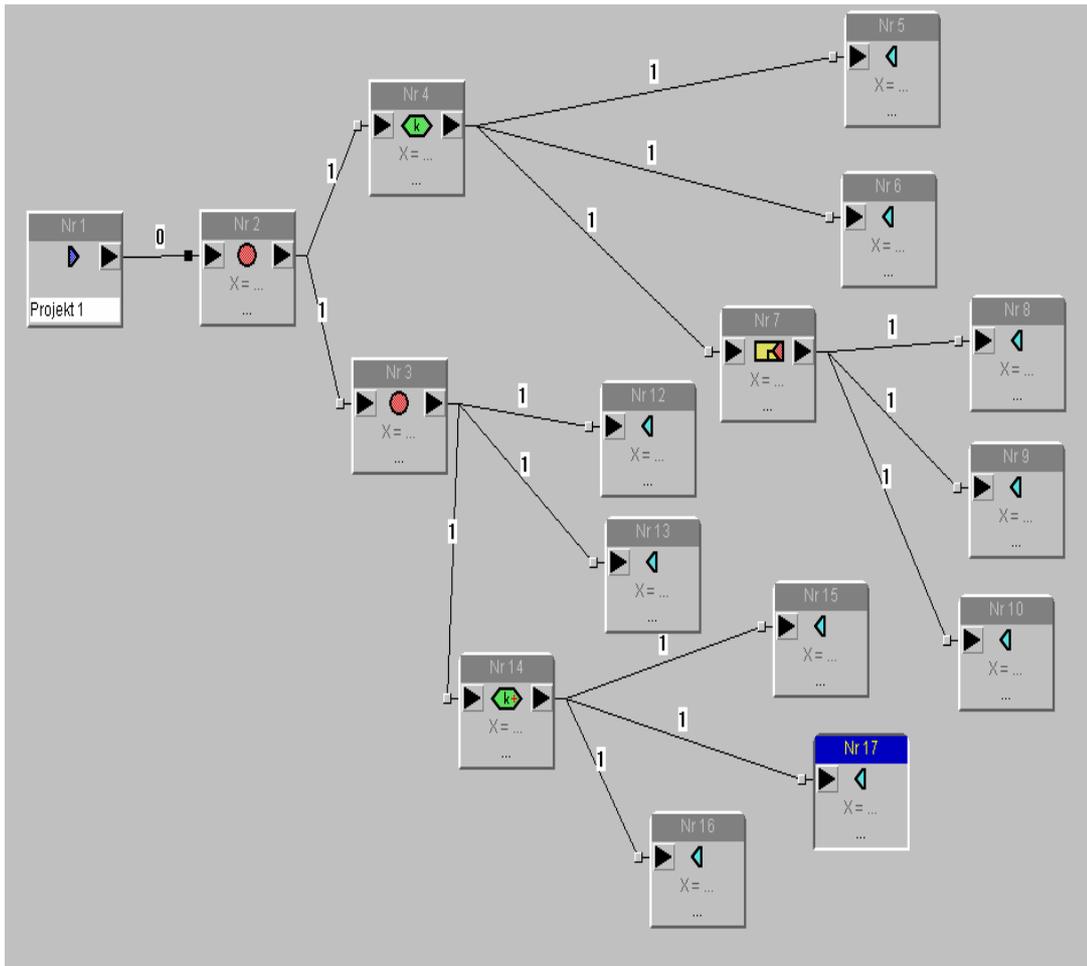


Abbildung 5.1: Stochastischer Entscheidungsbaum des P1

### 5.1.1 Die festgelegten Ressourcen und Erträge

Für den Parameter „Geldeinheiten“ wurde eine Gewichtung von 0,7 gewählt. Die Anfangsbudgetbeschränkung, von der aus die Sensibilitätsanalyse vorgenommen wurde, besteht aus 50.000 Geldeinheiten und 600 Personaleinheiten.

### 5.1.2 Visualisierung der Stützkurven der Typ 3 und Typ +3 Knoten

Bei der Konstruktion der Entscheidungsbäume wurde besonders auf den Anstieg der Aufwands- und Ertrags-Stützkurven der Typ 3 bzw. der Typ +3 Knoten geachtet. Bei diesem Projekt wurde ein gleichmäßiger Verlauf aller Stützkurven gewählt. Für jede Verbindung wurden Stützkurven für den Aufwand in Geldeinheiten, den in Personaleinheiten und für den Ertrag in Geldeinheiten konstruiert.

Wie bereits in Abschnitt 2.2.1 angeführt wurde, teilt sich der gültige Wahrscheinlichkeitsbereich bei solchen Verbindungen in mehrere Abschnitte, wobei die Summe der Abschnittswahrscheinlichkeiten die lokale Übergangswahrscheinlichkeit  $p_{k,s}$  (siehe Gleichung (7)) ergibt. Da Projekt 1 je einen Typ 3 Knoten und einen Typ +3 Knoten beinhaltet und jeder dieser Knoten 3 Folgeverbindungen hat, wurden insgesamt 18 Stützkurven konstruiert. Da alle erstellten Stützkurven ähnliche Verläufe besitzen, sollen im Folgenden nur die Ertrags- bzw. Aufwandsfunktionen zweier Knotenübergänge dargestellt werden. Die Abbildungen der einzelnen Stützkurven wurden aus dem Programm MILP-Heid Version 2 übernommen.

### **Stützkurven des Typ 3 Knotens für den Übergang von Knoten Nummer 4 zu 5**

Tabelle 5.2 zeigt den für die Aufwands-Stützkurve für Geldeinheiten gewählten Wahrscheinlichkeitsbereich.

<b>Wahrscheinlichkeit</b>	<b>Geldeinheiten</b>
0	10.000
0,3	15.000
0,7	31.000
1	45.000

**Tabelle 5.2: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Geldaufwand des Übergangs 3 zu 5**

Demzufolge lässt sich die Stützkurve für den Aufwand in Geldeinheiten in Abbildung 5.2 folgendermaßen darstellen.

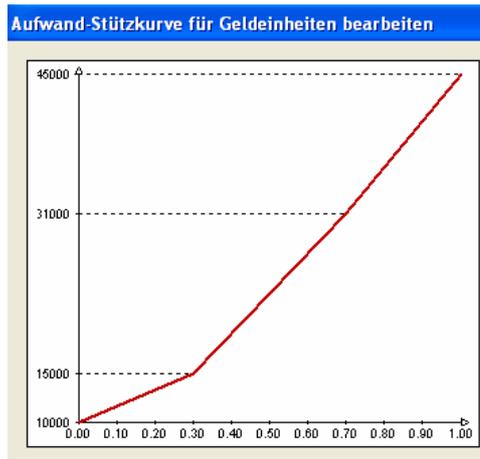


Abbildung 5.2: Geldaufwands-Stützkurve des Übergangs 3 zu 5

Bei der Konstruktion der Aufwandstützkurve in Personaleinheiten wurde der in Tabelle 5.3 präsentierte Wahrscheinlichkeitsbereich gewählt.

Wahrscheinlichkeit	Personaleinheiten
0	100
0,3	150
0,7	230
1	480

Tabelle 5.3: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Personalaufwand des Übergangs 3 zu 5

Die Stützkurve für den Aufwand in Personaleinheiten ist in Abbildung 5.3 dargestellt.

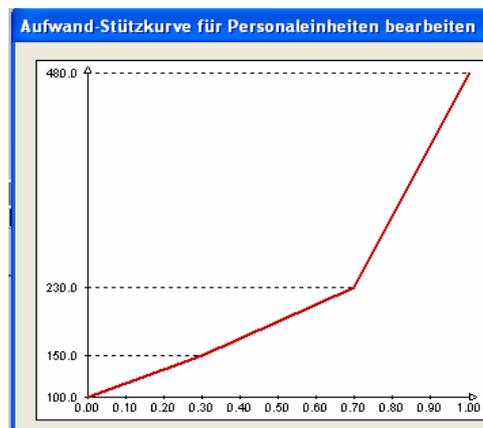


Abbildung 5.3: Personalaufwands-Stützkurve des Übergangs 3 zu 5

Die folgende Tabelle 5.4 zeigt den Wahrscheinlichkeitsbereich der Ertrags-Stützkurve.

Wahrscheinlichkeit	Geldeinheiten
0	0
0,3	20.000
0,7	32.000
1	39.000

Tabelle 5.4: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Ertrag des Übergangs 3 zu 5

Demzufolge lässt sich die Stützkurve für den Ertrag in Geldeinheiten in Abbildung 5.4 folgendermaßen darstellen.

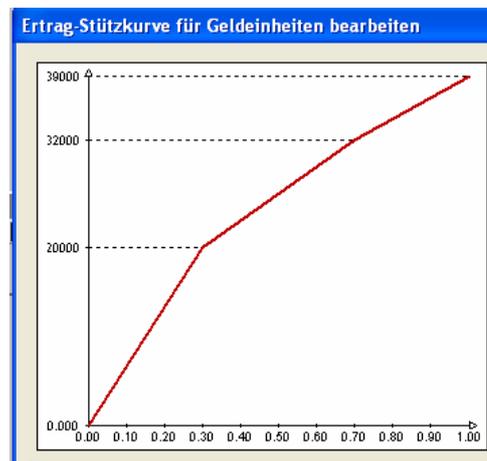


Abbildung 5.4: Ertrags-Stützkurve des Übergangs 3 zu 5

### Stützkurven des Typ +3 Knotens für den Übergang von Knoten Nummer 14 zu 16

Die festgelegte Mindestübergangswahrscheinlichkeit  $\sigma_{k,s}$  für diese Verbindung beträgt 0,35. Für den Verlauf der Aufwands-Stützkurve in Geldeinheiten wurde der in Tabelle 5.5 präsentierte Wahrscheinlichkeitsbereich gewählt.

Wahrscheinlichkeit	Geldeinheiten
0	10.000
0,2	11.000
0,5	18.000
0,7	25.000
1	40.000

Tabelle 5.5: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Geldaufwand des Übergangs 14 zu 16

Abbildung 5.5 zeigt die die Stützkurve für den Aufwand in Geldeinheiten.

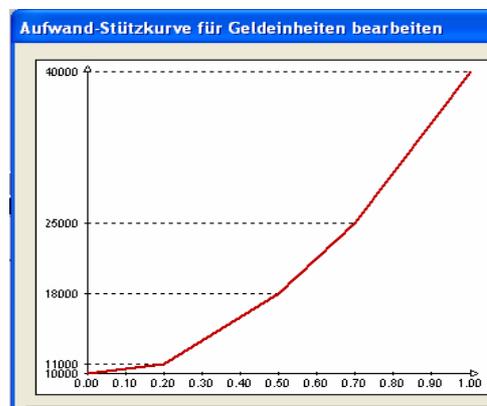


Abbildung 5.5: Geldaufwands-Stützkurve des Übergangs 14 zu 16

Der Wahrscheinlichkeitsbereich für die Stützkurve des Personalaufwands wird in Tabelle 5.6 gezeigt.

Wahrscheinlichkeit	Personaleinheiten
0	90
0,2	100
0,5	220
0,7	320
1	480

Tabelle 5.6: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Personalaufwand des Übergangs 14 zu 16

Demzufolge lässt sich die Stützkurve für den Aufwand in Personaleinheiten in Abbildung 5.6 folgendermaßen darstellen.

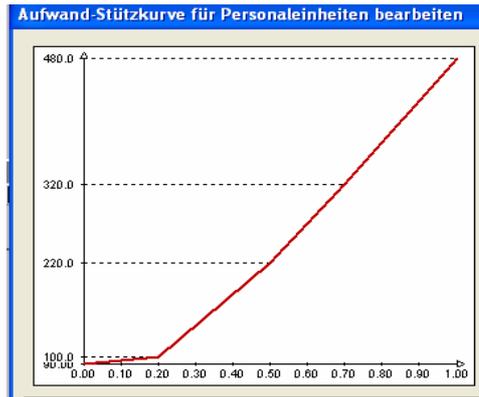


Abbildung 5.6: Personalaufwands-Stützkurve des Übergangs 14 zu 16

Für die Ertrags-Stützkurve in Geldeinheiten wurde der folgende in Tabelle 5.7 gezeigte Wahrscheinlichkeitsbereich gewählt.

Wahrscheinlichkeit	Geldeinheiten
0	0
0,2	19.000
0,5	40.000
0,7	48.000
1	48.200

Tabelle 5.7: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Ertrag des Übergangs 14 zu 16

Demzufolge lässt sich die Stützkurve für den Ertrag in Geldeinheiten in Abbildung 5.7 folgendermaßen darstellen.

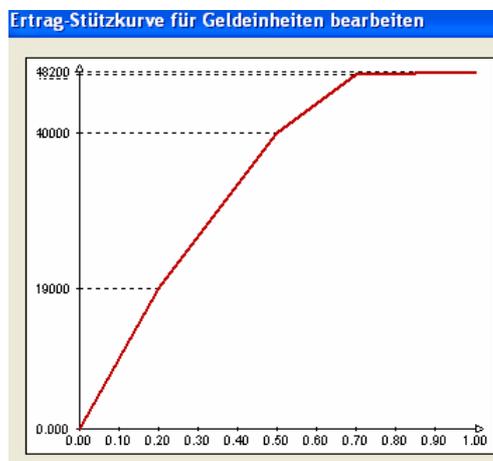


Abbildung 5.7: Ertrags-Stützkurve des Übergangs 14 zu 16

### **5.1.3 Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse bei einer inkrementellen Budgetverringering**

In diesem und im darauf folgenden Abschnitt 5.1.4 soll auf den Schwerpunkt dieser Arbeit eingegangen werden. Die an diesem Projekt angewendete Sensitivitätsanalyse besteht in der Präsentation der Folgen einer inkrementellen Budgetverringering. Die Auswirkungen der Budgetverringering wurden anhand eventueller Veränderungen der Standardabweichung, des Erwartungswertes, der Risikokennzahlen (CV und CCV), und des Nutzens für die einzelnen Aufwandsarten und den Ertrag gemessen. Die inkrementelle Ressourcenverringering erfolgte schrittweise um 1%, ausgehend vom Anfangsbudget (bestehend aus 50.000 Geldeinheiten und 600 Personaleinheiten). Insgesamt erfolgte eine Kürzung des Budgets um 30%. Eine weitere Verringerung konnte nicht vorgenommen werden, da das Limit erreicht wurde und das Programm somit kein Optimum berechnen kann. Bei der Ergebnisauswertung dieses Projektkandidatens zeigte sich, dass die Budgetsenkung keinen Einfluss auf die Ergebnisse hat. Im Folgenden sollen die Ergebnisse des Geldaufwands, des Personalaufwands und des Ertrages in tabellarischer und graphischer Form dargestellt werden.

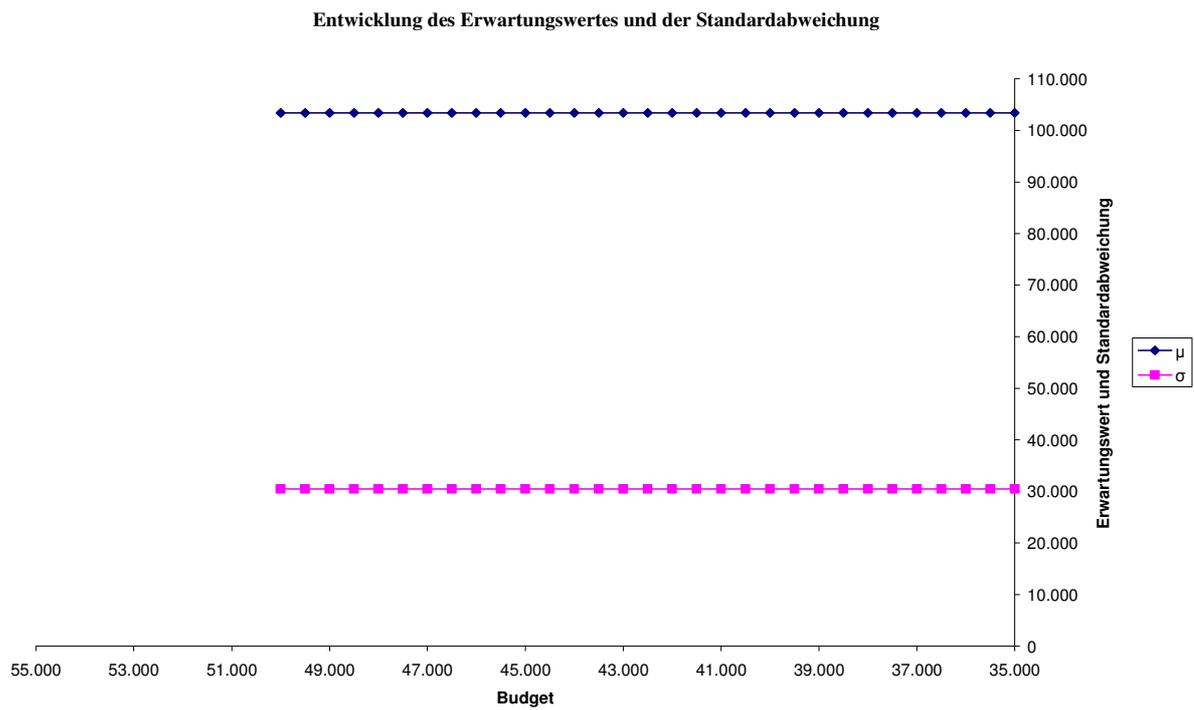
#### **Geldaufwand**

Die folgende Tabelle 5.8 zeigt die ermittelten Ergebnisse der vorgenommenen Budgetkürzung. Wie bereits angeführt ist ersichtlich, dass die Verringerung keinen Einfluss auf die Erwartungswerte die Standardabweichungen, die Risikokennzahlen und den Nutzen hat.

KZ Budget		$\mu$	$\sigma$	CV	CCV	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )
600	50.000	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
594	49.500	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
588	49.000	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
582	48.500	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
576	48.000	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
570	47.500	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
564	47.000	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
558	46.500	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
552	46.000	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
546	45.500	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
540	45.000	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
534	44.500	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
528	44.000	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
522	43.500	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
516	43.000	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
510	42.500	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
504	42.000	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
498	41.500	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
492	41.000	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
486	40.500	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
480	40.000	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
474	39.500	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
468	39.000	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
462	38.500	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
456	38.000	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
450	37.500	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
444	37.000	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
438	36.500	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
432	36.000	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
426	35.500	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70
420	35.000	103.420,00	30.450,60	98.857,13	78.767,13	118.645,30	88.194,70

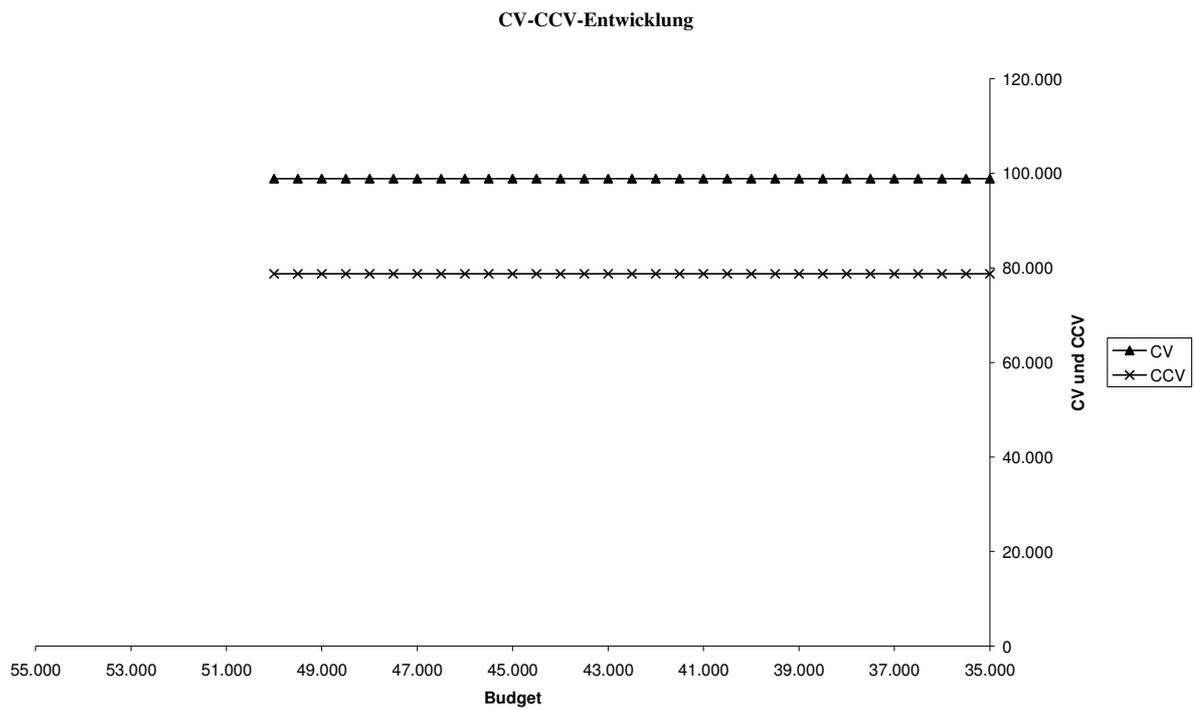
Tabelle 5.8 P1: Geldaufwand im Zuge der Budgetsenkung

Abbildung 5.8 zeigt die Entwicklung des Erwartungswertes und der Standardabweichung im Zuge der Budgetverringereung.



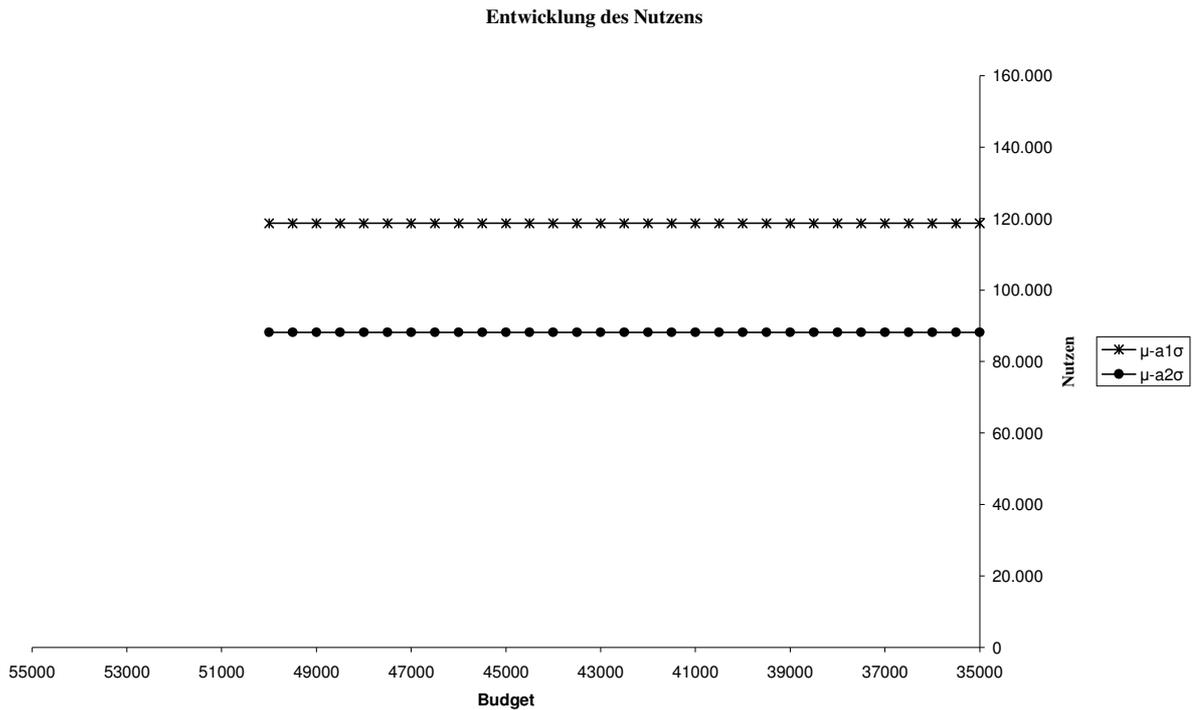
**Abbildung 5.8 P1; Geldaufwand:  $\mu$ - $\sigma$ -Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung**

Abbildung 5.9 zeigt den Verlauf des CV und des CCV im Zuge der Ressourcenkürzung.



**Abbildung 5.9 P1; Geldaufwand: CV-CCV- Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung**

Die folgende Abbildung 5.10 stellt die Entwicklung des Nutzens bei einer schrittweisen Budgetsenkung dar.



**Abbildung 5.10 P1 Geldaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgetsenkung**

### Personalaufwand

Die folgende Tabelle 5.9 zeigt die ermittelten Ergebnisse der vorgenommenen Budgetkürzungen. Da die schrittweise Verringerung keinen Einfluss auf die Resultate hat soll auf eine grafische Darstellung der Ergebnisse verzichtet werden.

<i>Budget</i> \ <i>KZ</i>		$\mu$	$\sigma$	<i>CV</i>	<i>CCV</i>	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )
600	50.000	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
594	49.500	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
588	49.000	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
582	48.500	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
576	48.000	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
570	47.500	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
564	47.000	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
558	46.500	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
552	46.000	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
546	45.500	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65

540	45.000	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
534	44.500	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
528	44.000	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
522	43.500	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
516	43.000	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
510	42.500	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
504	42.000	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
498	41.500	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
492	41.000	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
486	40.500	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
480	40.000	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
474	39.500	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
468	39.000	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
462	38.500	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
456	38.000	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
450	37.500	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
444	37.000	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
438	36.500	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
432	36.000	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
426	35.500	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65
420	35.000	1.236,23	441,17	1.190,00	932,83	1.456,82	1.015,65

Tabelle 5.9 P1: Personalaufwand im Zuge der Budgetsenkung

## Ertrag

Die folgende Tabelle 5.10 zeigt die einzelnen Ergebnisse der inkrementellen Ressourcenverringerng für den Ertrag. Da die schrittweise Verringerung auch hier keinen Einfluss auf die Ergebnisse hat, wurde auf eine grafische Darstellung der Ergebnisse verzichtet.

KZ Budget		$\mu$	$\sigma$	CV	CCV	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )
600	50.000	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
594	49.500	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
588	49.000	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
582	48.500	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
576	48.000	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
570	47.500	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
564	47.000	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
558	46.500	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
552	46.000	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00

546	45.500	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
540	45.000	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
534	44.500	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
528	44.000	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
522	43.500	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
516	43.000	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
510	42.500	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
504	42.000	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
498	41.500	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
492	41.000	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
486	40.500	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
480	40.000	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
474	39.500	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
468	39.000	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
462	38.500	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
456	38.000	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
450	37.500	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
444	37.000	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
438	36.500	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
432	36.000	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
426	35.500	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00
420	35.000	281.940	244.906,01	600.666,67	133.030,04	404.393,01	159.487,00

**Tabelle 5.10 P1: Ertrag im Zuge der Budgetsenkung**

#### **5.1.4 Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse bei einer inkrementellen Budgeterhöhung**

Die Budgeterhöhung erfolgte auch indem das Budget schrittweise um 1% erhöht wurde und anschließend die einzelnen Erwartungswerte, Standardabweichungen, Risikokennzahlen und der Nutzen ermittelt wurden.

Da die Budgeterhöhung auch hier keinen Einfluss auf die Verteilungsfunktion des Projektes hat, sind die Ergebnisse der inkrementellen Erhöhung mit denen der Verringerung identisch. Aus diesem Grund wurde auf eine weitere grafische und tabellarische Darstellung der Ergebnisse verzichtet.

#### **5.1.5 Abschließende Feststellungen**

Im Zuge der Sensitivitätsanalyse konnte festgestellt werden, dass die inkrementellen Budgetveränderungen keinen Einfluss auf den Erwartungswert, die Standardabweichung, die Risikokennzahlen und den Nutzen des Projektes 1 haben.

Dies hat zur Folge, dass bei einer Investitionsentscheidung das Minimum-Budget von 35.000 Geldeinheiten und 420 Personaleinheiten gewählt werden sollte. Eine weitere Unterschreitung des Budgets hat zur Folge, dass ein Optimum nicht mehr berechnet werden kann.

## 5.2 Projekt 2 (P2)

Bei diesem Projekt wurden die in Tabelle 5.11 dargestellten Knotentypen miteinander verknüpft.

<b>Knotentyp</b>	<b>Anzahl</b>
<b>Typ 0</b>	1
<b>Typ 1</b>	3
<b>Typ 2</b>	1
<b>Typ +2</b>	1
<b>Typ 3</b>	1
<b>Typ +3</b>	2
<b>Typ 4</b>	15

**Tabelle 5.11: Einbezogenen Knotenarten des P2**

Der stochastische Entscheidungsbaum des Projektes 2 ist in der aus dem Programm MILP-Heid Version 2 entnommenen Abbildung 5.11 dargestellt.

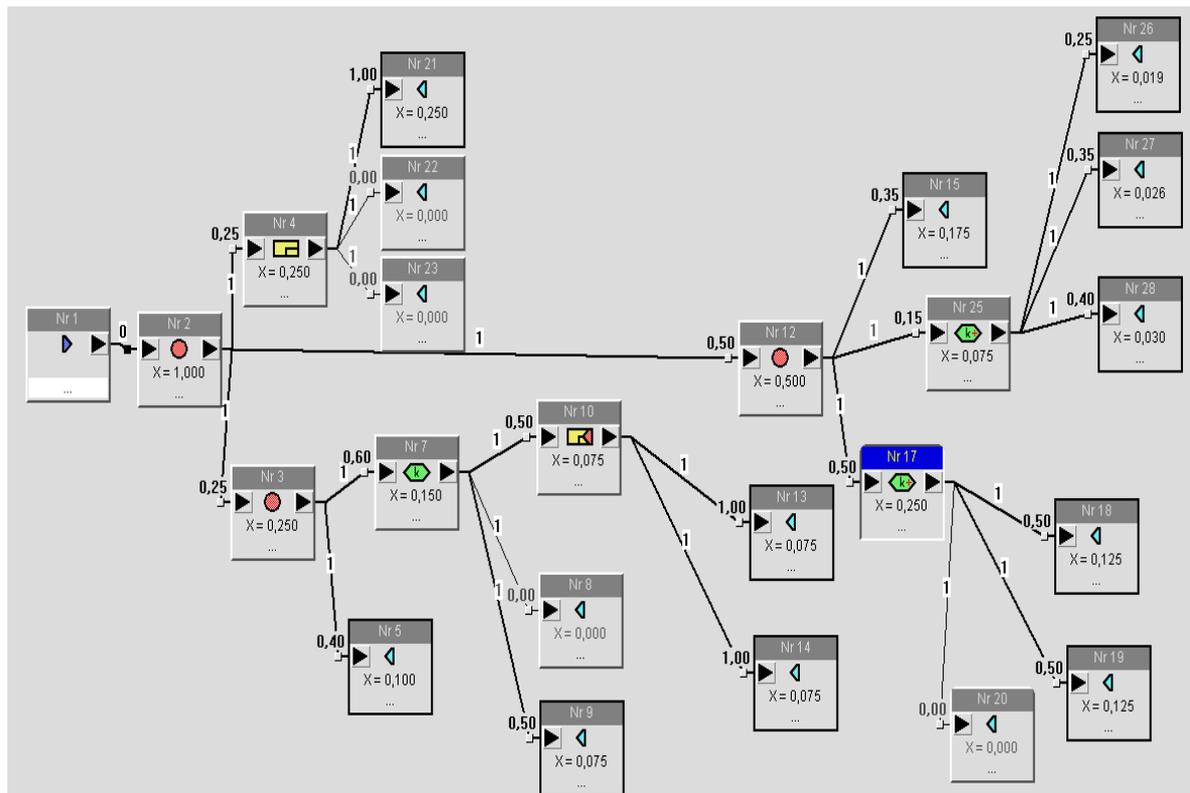


Abbildung 5.11: Stochastischer Entscheidungsbaum des P2

### 5.2.1 Die festgelegten Ressourcen und Erträge

Für den Parameter „Geldeinheiten“ wurde eine Gewichtung von 0,9 gewählt. Die Anfangsbudgetbeschränkung, von der aus die Sensitivitätsanalyse erfolgte wurde, besteht aus 50 Geldeinheiten und 10 Personaleinheiten.

### 5.2.2 Visualisierung der Stützkurven der Typ 3 und Typ +3 Knoten

In diesem Projekt wurden insgesamt 27 Aufwands- und Ertrags-Stützkurven konstruiert, wobei alle einen ähnlichen Verlauf besitzen.

Der Anstieg der Stützkurven ist zu Beginn nur inkrementell und erhöht sich erst in den letzten Wahrscheinlichkeitsabschnitten radikal. Aufgrund der gleichartigen Kurvenverläufe sollen im Folgenden nur die Stützkurven einer Verbindung präsentiert werden. Die Abbildungen der einzelnen Stützkurven wurden dem Programm MILP-Heid Version 2 entnommen.

### Stützkurven des Typ + 3 Knotens für den Übergang von Knoten Nummer 17 zu 18

Die Mindestübergangswahrscheinlichkeit ( $o_{k,s}$ ) für diese Verbindung beträgt 0,35. Die folgende Tabelle 5.12 zeigt den festgelegten Wahrscheinlichkeitsbereich der Aufwands-Stützkurve für Geldeinheiten.

Wahrscheinlichkeit	Geldeinheiten
0	20
0,5	20,1
1	100

Tabelle 5.12: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Geldaufwand des Übergangs 17 zu 18

Die dazugehörige Stützkurve lässt sich in Abbildung 5.12 wie folgt darstellen.

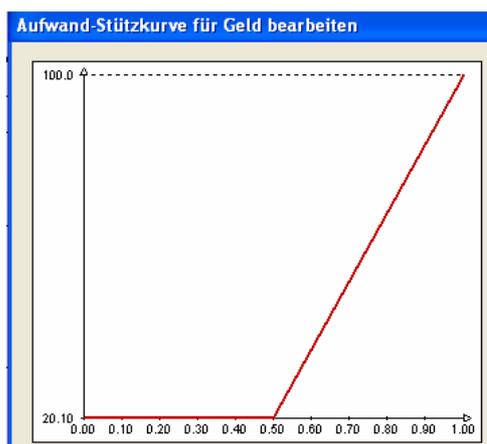


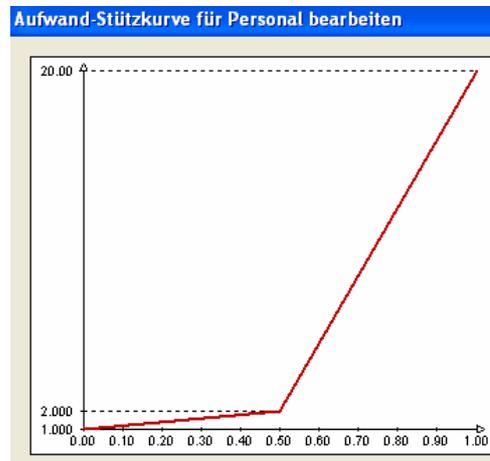
Abbildung 5.12: Geldaufwands-Stützkurve des Übergangs 17 zu 18

Die folgende Tabelle 5.13 zeigt den Wahrscheinlichkeitsbereich für die Aufwands-Stützkurve der Personaleinheiten.

Wahrscheinlichkeit	Personaleinheiten
0	1
0,5	2
1	20

Tabelle 5.13: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Personalaufwand des Übergangs 17 zu 18

Demzufolge lässt sich die Aufwands-Stützkurve für Personaleinheiten in Abbildung 5.13 wie folgt darstellen.



**Abbildung 5.13: Personalaufwands-Stützkurve des Übergangs 17 zu 18**

Der Wahrscheinlichkeitsbereich für die Ertrags-Stützkurve in Geldeinheiten wird in der folgenden Tabelle 5.14 dargestellt.

Wahrscheinlichkeit	Ertrag
0	300
0,5	900
1	900,5

**Tabelle 5.14: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Ertrags des Übergangs 17 zu 18**

Die dazugehörige Stützkurve zeigt Abbildung 5.14.

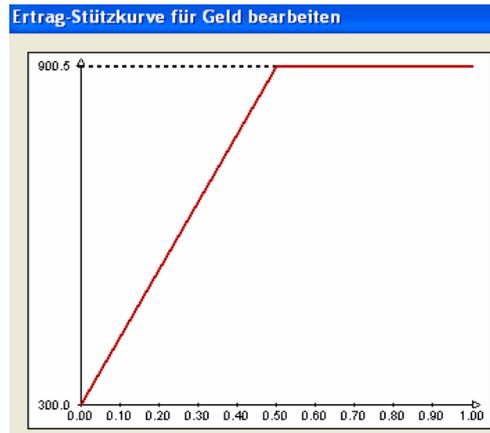


Abbildung 5.14: Ertrags-Stützkurve des Übergangs 17 zu 18

### 5.2.3 Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse bei einer inkrementellen Budgetverringering

In diesem und dem darauf folgenden Abschnitt soll auf die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse eingegangen werden. Die Sensitivitätsanalyse erfolgte in Form einer schrittweisen Budgetverringering um jeweils 2%. Ausgangspunkt ist das Anfangsbudget von 50 Geldeinheiten und 10 Personaleinheiten. Die Auswirkungen der Budgetveränderungen wurden anhand des Erwartungswertes, der Standardabweichung, der Risikokennzahlen und des Nutzens gemessen. Die Ergebnisse der Analyse sind in tabellarischer und grafischer Form für den Geldaufwand, den Personalaufwand und den Ertrag dargestellt. Insgesamt erfolgte eine Budgetverringering und Erhöhung um jeweils 50%. Eine weitere Minimierung konnte nicht durchgeführt werden, da dies zu einer Unterschreitung des Ressourcenlimits führt und somit kein Optimum berechnet werden kann. Im Folgenden soll auf die einzelnen Ergebnisse einer Budgetverringering eingegangen werden.

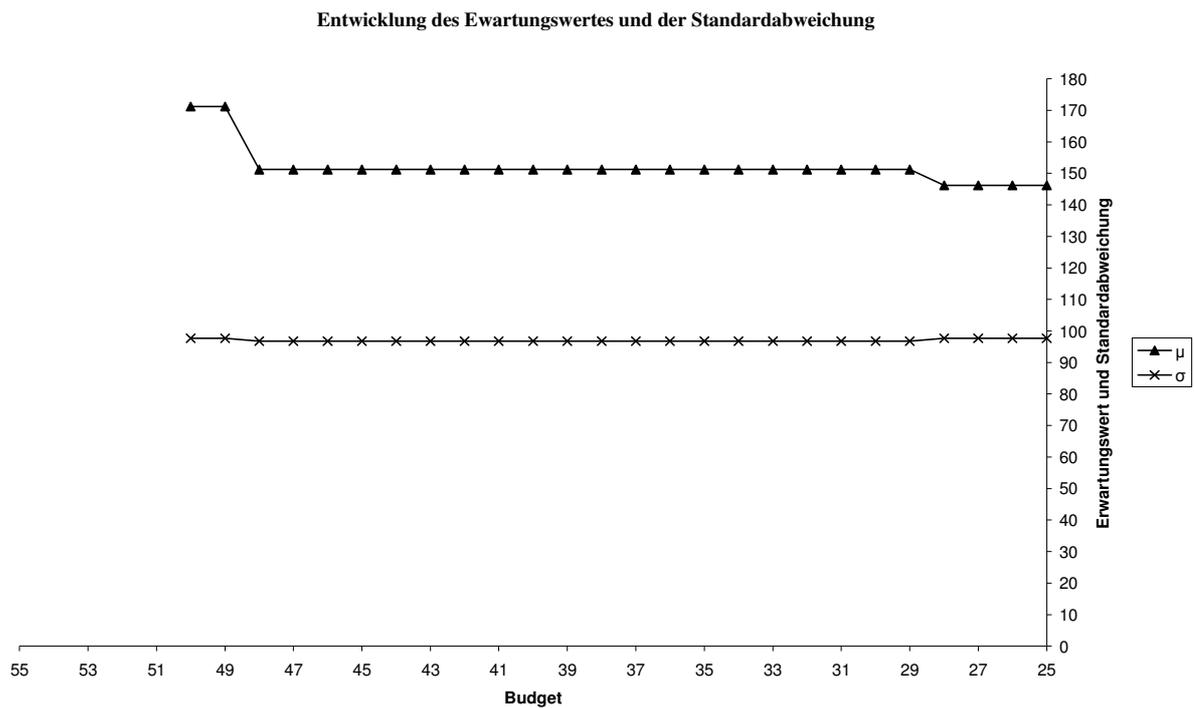
#### Geldaufwand

Die folgende Tabelle 5.15 zeigt die ermittelten Ergebnisse im Zuge einer schrittweisen 2%-igen Budgetverringering. Die Budgetkürzung führte an 2 Stellen zu einer Veränderung der Ergebnisse, welche in der folgenden Tabelle hervorgehoben sind.

Budget \ KZ		$\mu$	$\sigma$	CV	CCV	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )
10,00	50	171,22	97,64	93,20	62,09	220,04	122,40
9,80	49	171,22	97,64	93,20	62,09	220,04	122,40
9,60	48	<b>151,22</b>	<b>96,77</b>	<b>93,20</b>	<b>62,09</b>	<b>199,61</b>	<b>102,84</b>
9,40	47	151,22	96,77	93,20	62,09	199,61	102,84
9,20	46	151,22	96,77	93,20	62,09	199,61	102,84
9,00	45	151,22	96,77	93,20	62,09	199,61	102,84
8,80	44	151,22	96,77	93,20	62,09	199,61	102,84
8,60	43	151,22	96,77	93,20	62,09	199,61	102,84
8,40	42	151,22	96,77	93,20	62,09	199,61	102,84
8,20	41	151,22	96,77	93,20	62,09	199,61	102,84
8,00	40	151,22	96,77	93,20	62,09	199,61	102,84
7,80	39	151,22	96,77	93,20	62,09	199,61	102,84
7,60	38	151,22	96,77	93,20	62,09	199,61	102,84
7,40	37	151,22	96,77	93,20	62,09	199,61	102,84
7,20	36	151,22	96,77	93,20	62,09	199,61	102,84
7,00	35	151,22	96,77	93,20	62,09	199,61	102,84
6,80	34	151,22	96,77	93,20	62,09	199,61	102,84
6,60	33	151,22	96,77	93,20	62,09	199,61	102,84
6,40	32	151,22	96,77	93,20	62,09	199,61	102,84
6,20	31	151,22	96,77	93,20	62,09	199,61	102,84
6,00	30	151,22	96,77	93,20	62,09	199,61	102,84
5,80	29	151,22	96,77	93,20	62,09	199,61	102,84
5,60	28	<b>146,22</b>	<b>97,62</b>	<b>93,20</b>	<b>53,24</b>	<b>195,03</b>	<b>97,41</b>
5,40	27	146,22	97,62	93,20	53,24	195,03	97,41
5,20	26	146,22	97,62	93,20	53,24	195,03	97,41
5,00	25	146,22	97,62	93,20	53,24	195,03	97,41

Tabelle 5.15 P2: Geldaufwand im Zuge der Budgeterhöhung

In Abbildung 5.15 ist ersichtlich dass der Erwartungswert stärker auf die Budgetverringerng reagiert als die Standardabweichung.



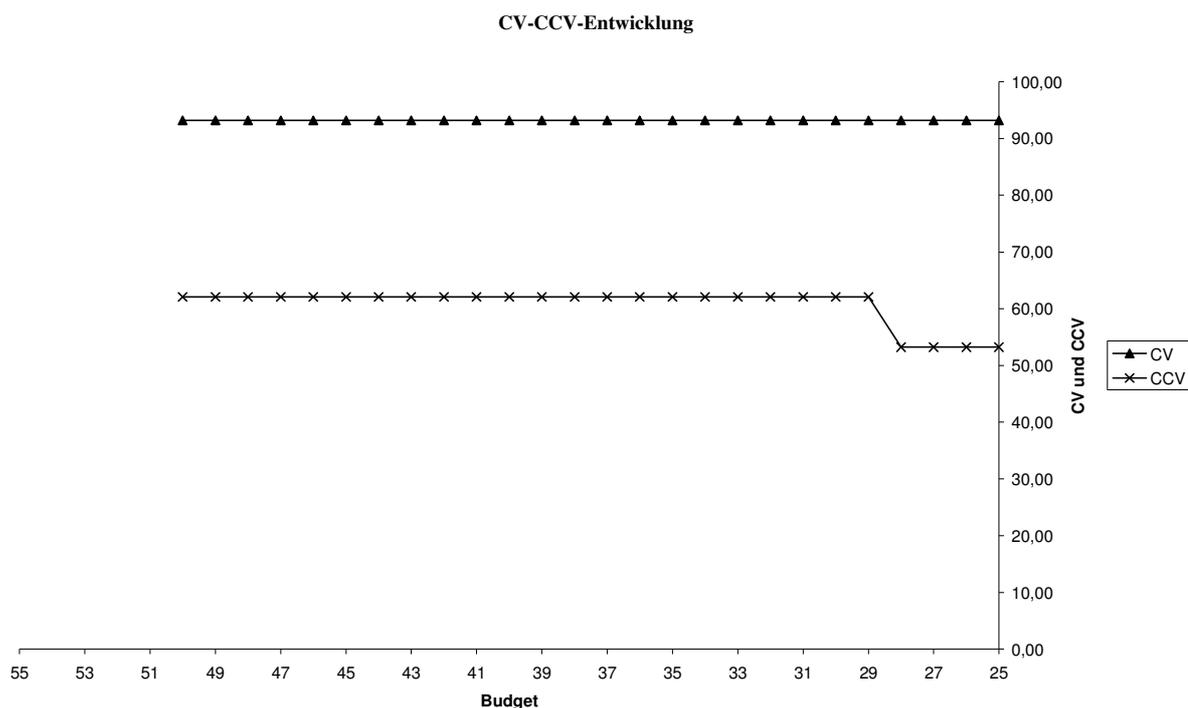
**Abbildung 5.15 P2; Geldaufwand:  $\mu$ - $\sigma$ -Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung**

Tabelle 5.16 zeigt die Dataanalyse der Veränderungen des Erwartungswertes und der Standardabweichung.

Budget (in Geldeinheiten)	$\mu$	Absolute Veränderung	relative Veränderung	$\sigma$	absolute Veränderung	relative Veränderung
49	171,22	-20,00	-11,68%	97,64	-0,87	-0,89%
48	151,22			96,77		
29	151,22	-5,00	-3,31%	96,77	0,85	0,88%
28	146,22			97,62		

**Tabelle 5.16 P2: Detailanalyse zu den  $\sigma$ - $\mu$ -Veränderungen**

In Abbildung 5.16 ist die Entwicklung des CV und des CCV ersichtlich. Während der CV unverändert bleibt, führt die Budgetsenkung an einer Stelle zu einer Senkung des CCV.



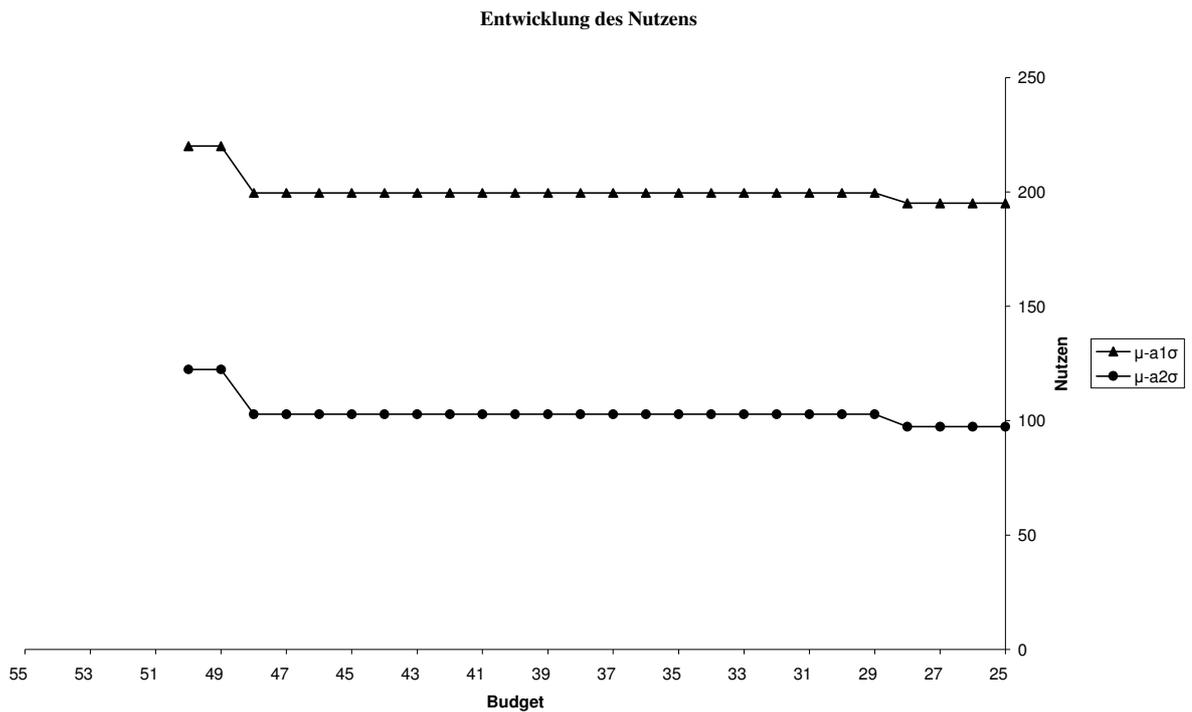
**Abbildung 5.16 P2; Geldaufwand: CV-CCV- Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung**

Die folgende Tabelle 5.17 beinhaltet die Detailanalyse zu den Veränderungen des CV und des CCV. Hier ist ersichtlich, dass die schrittweise Budgetkürzung eine Senkung des CCV um 14,25% bewirkt (bei einem Budget von 28 Geldeinheiten und 5,6 Personaleinheiten).

Budget (in Geldeinheiten)	CV	absolute Veränderung	relative Veränderung	CCV	Absolute Veränderung	relative Veränderung
49	93,20	0,00	0,00%	62,09	0	0,00%
48	93,20			62,09		
29	93,20	0,00	0,00%	62,09	-8,85	-14,25%
28	93,20			53,24		

**Tabelle 5.17 P2: Detailanalyse zu den CV-CCV-Veränderungen**

Die folgende Abbildung 5.17 welche die Nutzenentwicklung visualisiert zeigt, dass die Ressourcenverringerung an 2 Stellen zu einer Senkung beider Nutzenparameter führt. Des Weiteren ist ersichtlich, dass der Nutzen bei Anwendung des Risikoaversionsgrades  $a_1$ , immer über dem Nutzen unter Annahme von  $a_2$  liegt.



**Abbildung 5.17 P2; Geldaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgetsenkung**

Tabelle 5.18 zeigt, dass die Budgetsenkung prozentuell einen stärkeren Rückgang des Nutzens bei einem Risikoaversionsgrad von  $a_2$  bewirkt als bei  $a_1$ .

Budget (in Geldeinheiten)	$a_1$	absolute Veränderung	relative Veränderung	$a_2$	absolute Veränderung	relative Veränderung
49	220,04	-20,43	-9,28%	122,40	-19,56	-15,98%
48	199,61			102,84		
29	199,61	-4,58	-2,29%	102,84	-5,43	-5,28%
28	195,03			97,41		

**Tabelle 5.18 P2: Detailanalyse zu den Nutzenveränderungen**

### Personalaufwand

Die folgende Tabelle 5.19 zeigt die ermittelten Ergebnisse der schrittweisen Budgetminimierung. Auch hier führt die Budgetsenkung an 2 Stellen zu Veränderungen der Resultate (welche hervorgehoben sind).

Budget		KZ		$\mu$	$\sigma$	CV	CCV	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )
		Personal	Geld						
10,00	50	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12		
9,80	49	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12		
9,60	48	<b>15,83</b>	<b>7,87</b>	<b>12,00</b>	<b>8,61</b>	<b>19,77</b>	<b>11,90</b>		
9,40	47	15,83	7,87	12,00	8,61	19,77	11,90		
9,20	46	15,83	7,87	12,00	8,61	19,77	11,90		
9,00	45	15,83	7,87	12,00	8,61	19,77	11,90		
8,80	44	15,83	7,87	12,00	8,61	19,77	11,90		
8,60	43	15,83	7,87	12,00	8,61	19,77	11,90		
8,40	42	15,83	7,87	12,00	8,61	19,77	11,90		
8,20	41	15,83	7,87	12,00	8,61	19,77	11,90		
8,00	40	15,83	7,87	12,00	8,61	19,77	11,90		
7,80	39	15,83	7,87	12,00	8,61	19,77	11,90		
7,60	38	15,83	7,87	12,00	8,61	19,77	11,90		
7,40	37	15,83	7,87	12,00	8,61	19,77	11,90		
7,20	36	15,83	7,87	12,00	8,61	19,77	11,90		
7,00	35	15,83	7,87	12,00	8,61	19,77	11,90		
6,80	34	15,83	7,87	12,00	8,61	19,77	11,90		
6,60	33	15,83	7,87	12,00	8,61	19,77	11,90		
6,40	32	15,83	7,87	12,00	8,61	19,77	11,90		
6,20	31	15,83	7,87	12,00	8,61	19,77	11,90		
6,00	30	15,83	7,87	12,00	8,61	19,77	11,90		
5,80	29	15,83	7,87	12,00	8,61	19,77	11,90		
5,60	28	<b>14,83</b>	<b>8,20</b>	<b>11,00</b>	<b>6,82</b>	<b>18,93</b>	<b>10,73</b>		
5,40	27	14,83	8,20	11,00	6,82	18,93	10,73		
5,20	26	14,83	8,20	11,00	6,82	18,93	10,73		
5,00	25	14,83	8,20	11,00	6,82	18,93	10,73		

Tabelle 5.19 P2: Personalaufwand im Zuge der Budgetsenkung

Abbildung 5.18 zeigt die Entwicklung des Erwartungswertes und der Standardabweichung im Zuge der schrittweisen Budgetsenkung. Die Budgetkürzung führt an beiden Stellen zu einer Senkung des Erwartungswertes. Die Ressourcenverringerung bewirkt zu Beginn eine Starke Senkung der Standardabweichung und danach einen schwachen Anstieg.

Entwicklung des Erwartungswertes und der Standardabweichung

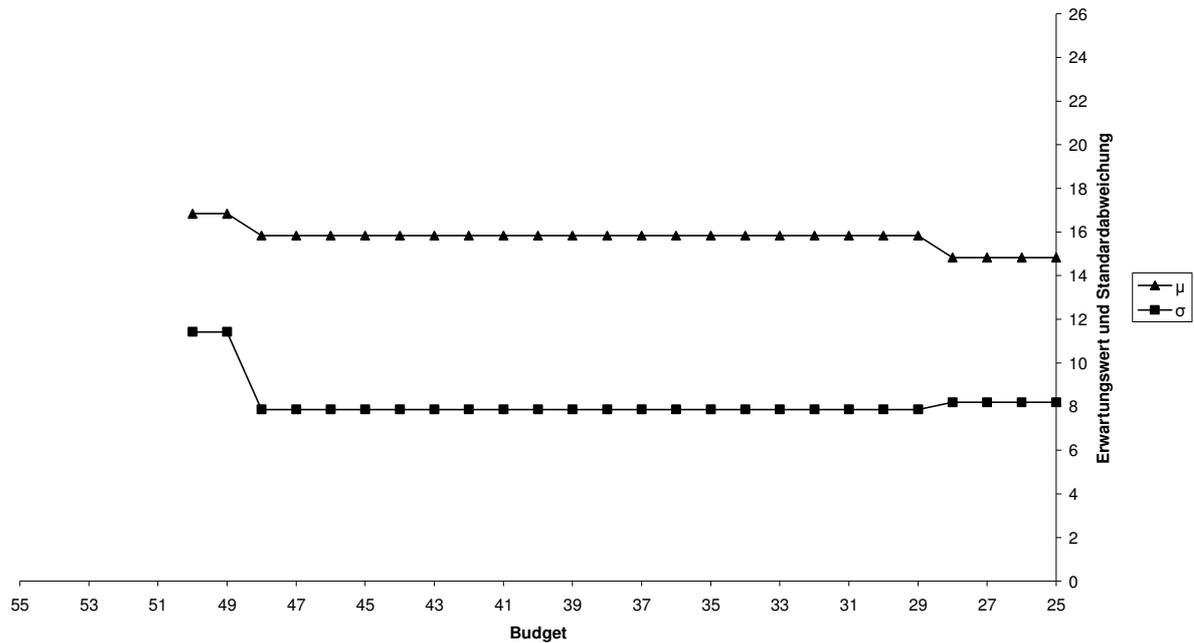


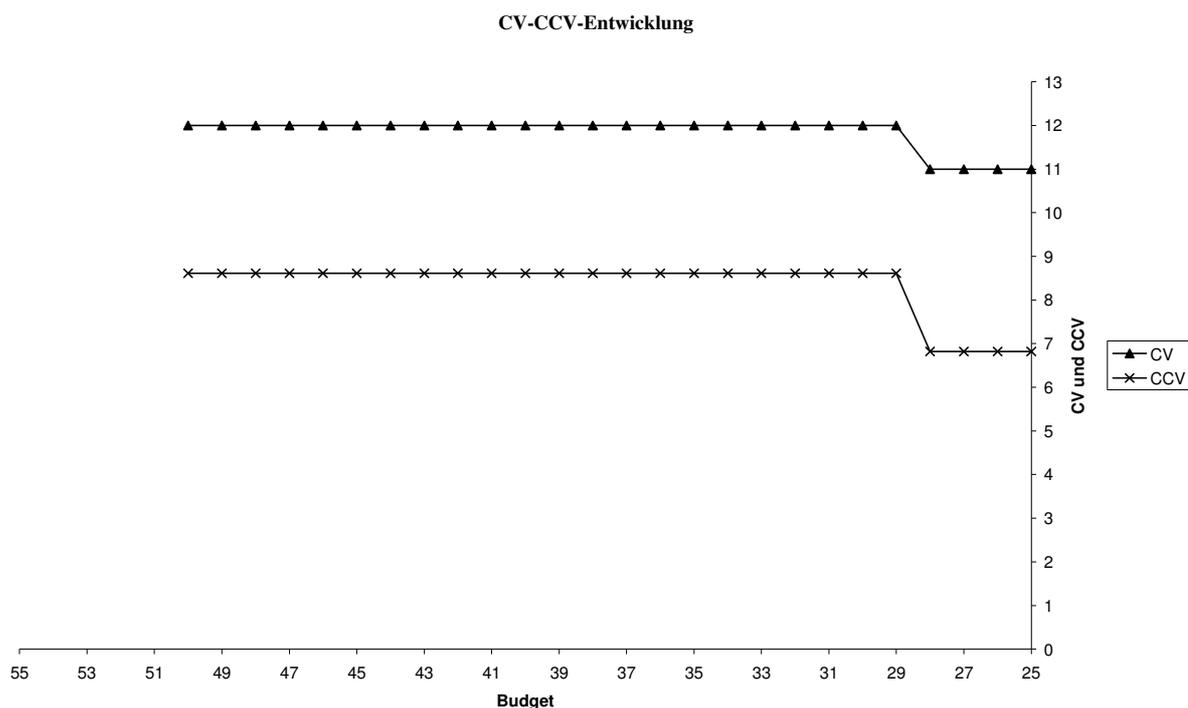
Abbildung 5.18 P2; Personalaufwand:  $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung

Tabelle 5.19 zeigt die Detailanalyse zu den Veränderungen des Erwartungswertes und der Standardabweichung. Hier ist ersichtlich, dass die Standardabweichung mit einer 31,09%igen Senkung stärker auf die Budgetsenkung reagiert als der Erwartungswert.

Budget (in Geldeinheiten)	$\mu$	absolute Veränderung	relative Veränderung	$\sigma$	absolute Veränderung	relative Veränderung
49	16,83	-1,00	-5,94%	11,42	-3,55	-31,09%
48	15,83			7,87		
29	15,83	-1,00	-6,32%	7,87	0,33	4,19%
28	14,83			8,20		

Abbildung 5.19 P2 Personalaufwand: Detailanalyse zu den  $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen

Abbildung 5.20 welche die Entwicklung des CV und des CCV darstellt zeigt, dass die Budgetsenkung nur an einer Stelle zu einem Rückgang beider Risikokennzahlen führt.



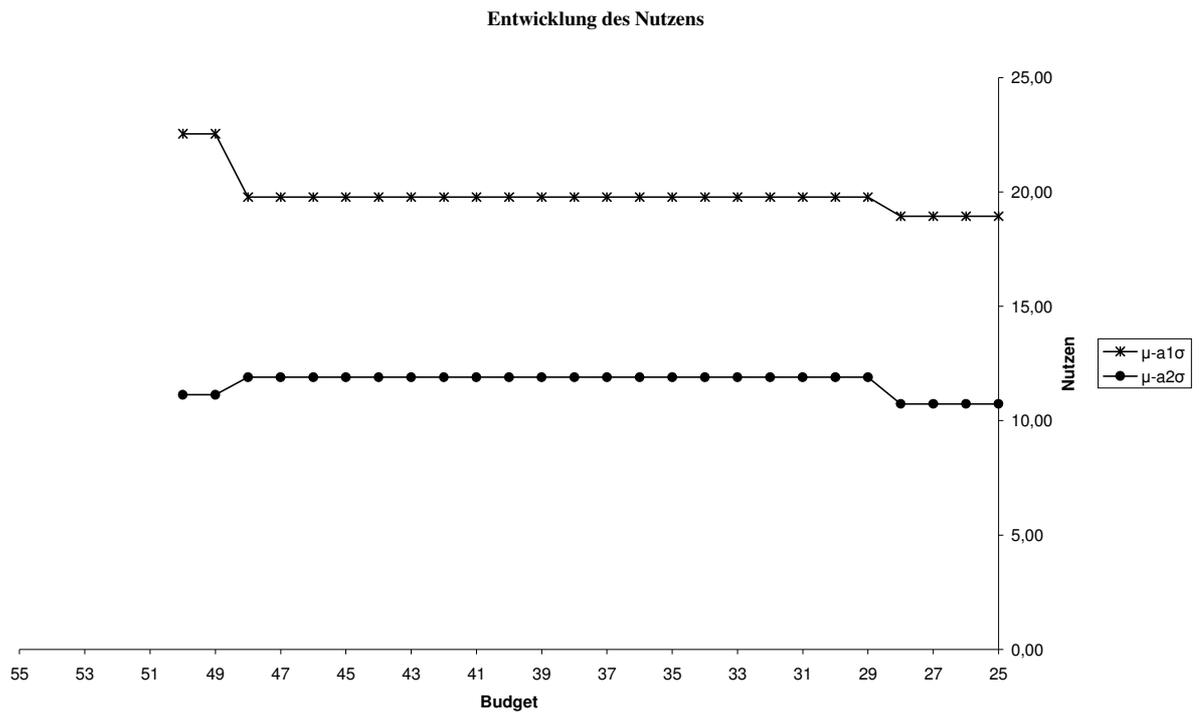
**Abbildung 5.20 P2; Personalaufwand: CV-CCV-Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung**

In Tabelle 5.20 welche die Detailanalyse zu den Veränderungen der Risikokennzahlen zeigt ist ersichtlich, dass der CCV (mit einem -20,79%-igen Rückgang) stärker auf die Ressourcensenkung reagiert als der CV (mit einem -8,33%-igen Rückgang).

Budget (in Geldeinheiten)	CV	absolute Veränderung	relative Veränderung	CCV	absolute Veränderung	relative Veränderung
49	12,00	0,00	0,00%	8,61	0,00	0,00%
48	12,00			8,61		
29	12,00	-1,00	-8,33%	8,61	-1,79	-20,79%
28	11,00			6,82		

**Tabelle 5.20 P2; Personalaufwand: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung**

Abbildung 5.21 zeigt die Entwicklung des Nutzens im Verlauf der schrittweisen Budgetsenkung. Bei einem Risikoaversionsgrad von  $a_2$  steigt dieser zu Beginn leicht an und sinkt danach. Unter der Annahme des Risikoaversionsgrades  $a_1$  sinkt der Nutzen an beiden Stellen.



**Abbildung 5.21 P2; Personalaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgetsenkung**

Tabelle 5.21 zeigt die Detailanalyse zu den Nutzenänderungen. Obwohl der Nutzen bei einem Risikoaversionsgrad von  $a_1$  immer über dem von  $a_2$  liegt, bewirkt die Budgetkürzung eine stärkere Nutzensenkung des Nutzens bei  $a_1$ .

Budget (in Geldeinheiten)	$a_1$	absolute Veränderung	relative Veränderung	$a_2$	absolute Veränderung	relative Veränderung
49	22,54	-2,77	-12,29%	11,12	0,78	7,01%
48	19,77			11,90		
29	19,77	-0,84	-4,25%	11,90	-1,17	-9,83%
28	18,93			10,73		

**Tabelle 5.21 P2; Personalaufwand: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgetsenkung**

## Ertrag

Die folgende Tabelle 5.22 zeigt die einzelnen Ergebnisse der inkrementellen Budgetminimierung. Auch hier führte die Budgetkürzung an 2 Stellen zu einer Veränderung der Resultate (welche hervor gehoben sind).

Budget \ KZ		$\mu$	$\sigma$	CV	CCV	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )
10,00	50	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
9,80	49	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
9,60	48	<b>1.896,91</b>	<b>2.168,42</b>	<b>1.954,00</b>	<b>620,74</b>	<b>2.981,12</b>	<b>812,70</b>
9,40	47	1.896,91	2.168,42	1.954,00	620,74	2.981,12	812,70
9,20	46	1.896,91	2.168,42	1.954,00	620,74	2.981,12	812,70
9,00	45	1.896,91	2.168,42	1.954,00	620,74	2.981,12	812,70
8,80	44	1.896,91	2.168,42	1.954,00	620,74	2.981,12	812,70
8,60	43	1.896,91	2.168,42	1.954,00	620,74	2.981,12	812,70
8,40	42	1.896,91	2.168,42	1.954,00	620,74	2.981,12	812,70
8,20	41	1.896,91	2.168,42	1.954,00	620,74	2.981,12	812,70
8,00	40	1.896,91	2.168,42	1.954,00	620,74	2.981,12	812,70
7,80	39	1.896,91	2.168,42	1.954,00	620,74	2.981,12	812,70
7,60	38	1.896,91	2.168,42	1.954,00	620,74	2.981,12	812,70
7,40	37	1.896,91	2.168,42	1.954,00	620,74	2.981,12	812,70
7,20	36	1.896,91	2.168,42	1.954,00	620,74	2.981,12	812,70
7,00	35	1.896,91	2.168,42	1.954,00	620,74	2.981,12	812,70
6,80	34	1.896,91	2.168,42	1.954,00	620,74	2.981,12	812,70
6,60	33	1.896,91	2.168,42	1.954,00	620,74	2.981,12	812,70
6,40	32	1.896,91	2.168,42	1.954,00	620,74	2.981,12	812,70
6,20	31	1.896,91	2.168,42	1.954,00	620,74	2.981,12	812,70
6,00	30	1.896,91	2.168,42	1.954,00	620,74	2.981,12	812,70
5,80	29	1.896,91	2.168,42	1.954,00	620,74	2.981,12	812,70
5,60	28	<b>1.789,41</b>	<b>2.313,25</b>	<b>1.954,00</b>	<b>477,41</b>	<b>2.946,04</b>	<b>632,79</b>
5,40	27	1.789,41	2.313,25	1.954,00	477,41	2.946,04	632,79
5,20	26	1.789,41	2.313,25	1.954,00	477,41	2.946,04	632,79
5,00	25	1.789,41	2.313,25	1.954,00	477,41	2.946,04	632,79

Tabelle 5.22 P2: Ertrag im Zuge der Budgetsenkung

Die Auswirkungen der schrittweisen Budgetverringderung auf den Erwartungswert und die Standardabweichung, sind in Abbildung 5.22 dargestellt. Die Budgetsenkung führt zu einer Senkung des Erwartungswertes und einer Erhöhung der Standardabweichung.

Entwicklung des Erwartungswertes und der Standardabweichung

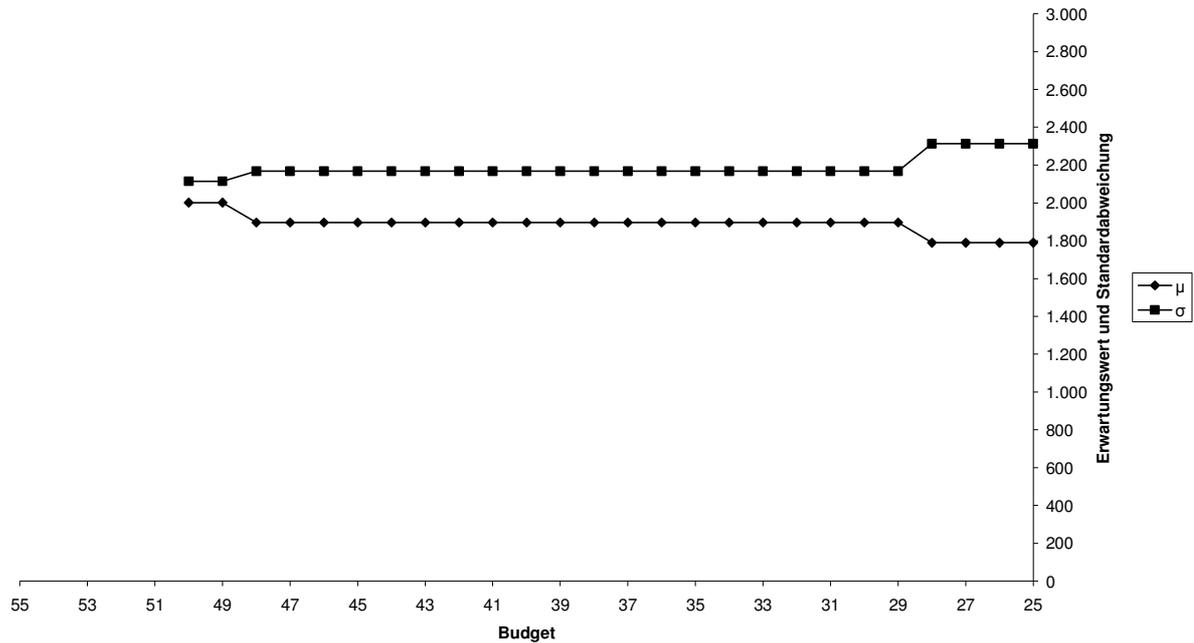


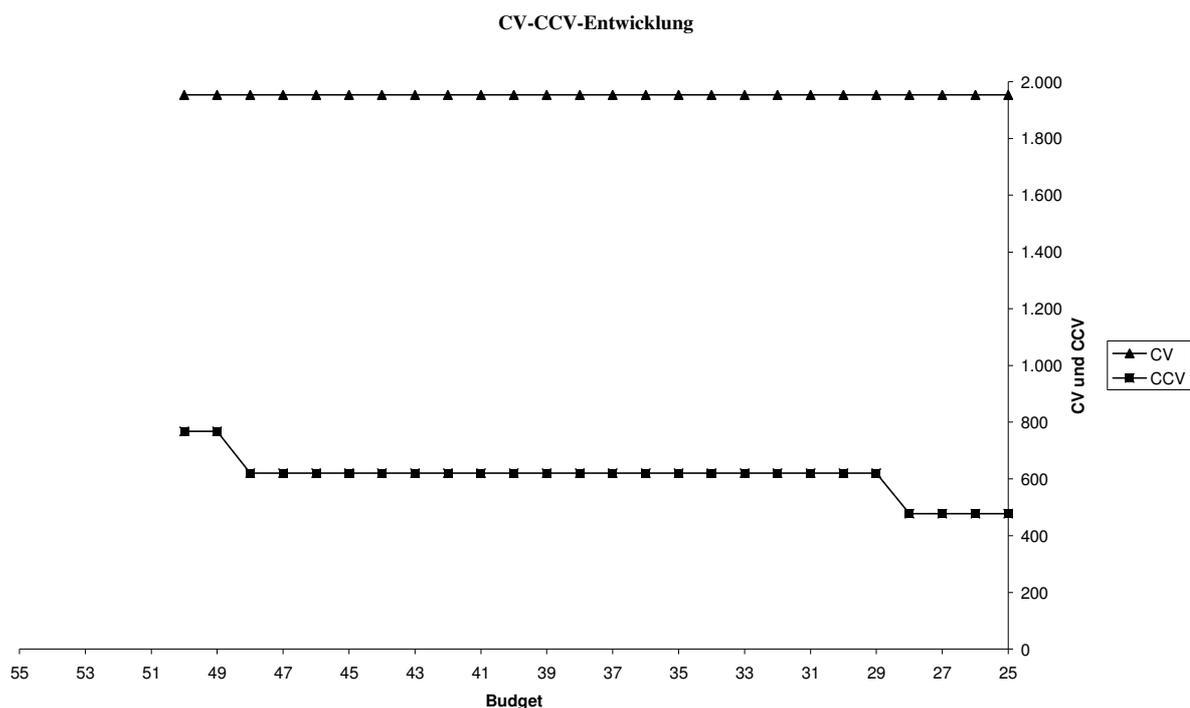
Abbildung 5.22 P2; Ertrag:  $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung

Tabelle 5.23 beinhaltet die Detailanalyse zu den Veränderungen des Erwartungswertes und der Standardabweichung.

Budget (in Geldeinheiten)	$\mu$	absolute Veränderung	relative Veränderung	$\sigma$	absolute Veränderung	relative Veränderung
49	2.001,91	-105,00	-5,24%	2.114,62	53,80	2,54%
48	1.896,91			2.168,42		
29	1.896,91	-107,50	-5,67%	2.168,42	144,83	6,68%
28	1.789,41			2.313,25		

Tabelle 5.23 P2; Ertrag: Detailanalyse zu den  $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen

Abbildung 5.23 zeigt den Verlauf des CV und des CCV im Rahmen der schrittweisen Budgetsenkung. Während der CV unverändert bleibt bewirkt die Ressourcensenkung einen Rückgang des CCV.



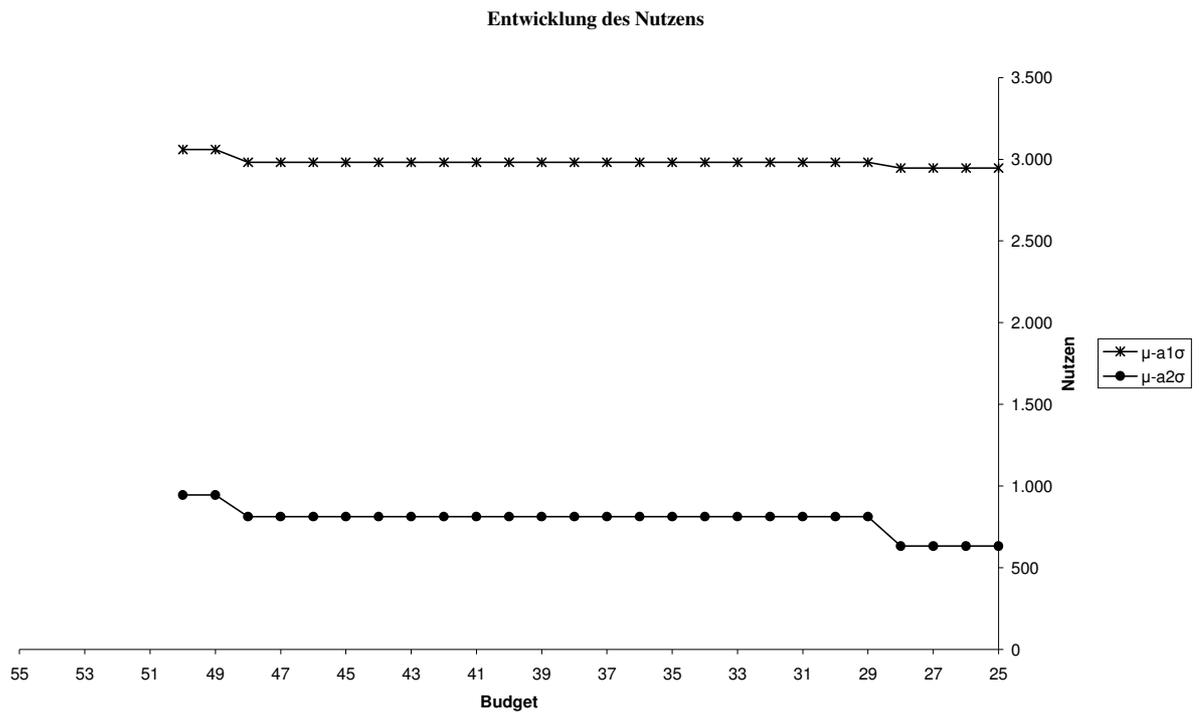
**Abbildung 5.23 P2; Ertrag: CV-CCV-Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung**

Die folgende Tabelle 5.24 zeigt die Detailanalyse zu den Veränderungen des CV und des CCV im Zuge der Budgetsenkung. Während der CV unverändert bleibt, sinkt der CCV an beiden Stellen.

Budget (in Geldeinheiten)	CV	absolute Veränderung	relative Veränderung	CCV	absolute Veränderung	relative Veränderung
49	1.954,00	0,00	0,00%	768,21	-147,47	-19,20%
48	1.954,00			620,74		
29	1.954,00	0,00	0,00%	620,74	-143,33	-23,09%
28	1.954,00			477,41		

**Tabelle 5.24 P2; Detailanalyse: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung**

Abbildung 5.24 zeigt den Verlauf des Nutzens unter der Annahme unterschiedlicher Risikoaversionsgrade ( $a_1$ ,  $a_2$ ). Hier ist ersichtlich, dass die Budgetsenkung bei  $a_2$  eine stärkere Nutzensenkung bewirkt.



**Abbildung 5.24 P2; Ertrag: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgetsenkung**

Tabelle 5.25 beinhaltet die Dataanalyse der Nutzenänderungen für die Risikoaversionskoeffizienten  $a_1$  und  $a_2$ .

Budget (in Geldeinheiten)	$a_1$	Absolute Veränderung	relative Veränderung	$a_2$	absolute Veränderung	Relative Veränderung
49	3.059,22	-78,10	-2,55%	944,60	-131,90	-13,96%
48	2.981,12			812,70		
29	2.981,12	-35,08	-1,18%	812,70	-179,91	-22,14%
28	2.946,04			632,79		

**Tabelle 5.25 P2; Ertrag: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgetsenkung**

### 5.2.4 Abschließende Feststellungen

Im Bereich der Erwartungswerte reagiert der Geldaufwand prozentuell am stärksten auf die Budgetsenkung (mit einer Gesamtsenkung von rd. -14,6%), im Vergleich zum Personalaufwand (mit einer Gesamtsenkung von rd. -11,88%) und zum Ertrag (mit einer Gesamtsenkung von rd. -10,56%).

Im Bereich der Standardabweichungen führt die Ressourcensenkung einzig beim Ertrag zu einer Erhöhung (von rd. 9,39%) der Volatilität. Während die Standardabweichung des Geldaufwandes (mit einem insgesamt -0,02%-igen Rücklauf) kaum auf die Budgetsenkung reagiert, sinkt die des Personalaufwandes (mit insgesamt -28,20%) wesentlich.

Die Gesamtbetrachtung der Sensitivität des CV zeigt, dass nur der CV des Personalaufwandes (mit einer rd. -8,33%-igen Verringerung) auf die Ressourcensenkung reagiert. Die CVs des Geldaufwandes und des Ertrags bleiben unverändert. Im Vergleich zum CV reagiert der CVV in allen Kategorien (Aufwand und Ertrag) auf die Budgetsenkung. Der CCV des Ertrages reagiert (mit einem rd. -33,01%-igen Gesamtrücklauf) am stärksten im Vergleich zu dem des Personalaufwandes (mit rd. -20,79%) und dem des Geldaufwandes (mit rd. -14,25%).

Im Bereich des Nutzens ist ersichtlich, dass der Nutzen des Risikoaversionsgrads  $a_1$  immer über dem des  $a_2$  liegt. Folglich ist die Risikoaversion bei der Anwendung von  $a_1$  schwächer. Die Analyse der Gesamtveränderungen zeigt, dass der Nutzen des Ertrags mit dem Risikoaversionsgrad  $a_2$  (mit einer -33,01%-igen Senkung) am stärksten auf die Budgetrestriktionen reagiert. An zweiter Stelle liegt die (-20,41%-ige) Nutzenverringerng des Geldaufwandes mit  $a_2$  als Risikoaversionsgrad.

### **5.2.5 Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse bei einer inkrementellen Budgeterhöhung**

Im Folgenden werden die Ergebnisse einer inkrementellen Budgeterhöhung dargestellt. Wie bereits angeführt, erfolgte eine schrittweise Erhöhung des Budgets um 2%. Im Zuge der Analyse konnte festgestellt werden, dass die inkrementellen Veränderungen keinen Einfluss auf die einzelnen Ergebnisse haben. Wie zuvor, sollen nun die ermittelten Ergebnisse für den Geldaufwand, den Personalaufwand und den Ertrag präsentiert werden. Auf eine grafische Darstellung wurde aufgrund der gleich bleibenden Ergebnisse verzichtet.

## Geldaufwand

Die folgende Tabelle 5.26 zeigt die ermittelten Ergebnisse der inkrementellen Budgeterhöhung.

Budget \ KZ		$\mu$	$\sigma$	CV	CCV	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )
10,00	50	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
10,20	51	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
10,40	52	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
10,60	53	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
10,80	54	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
11,00	55	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
11,20	56	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
11,40	57	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
11,60	58	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
11,80	59	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
12,00	60	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
12,20	61	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
12,40	62	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
12,60	63	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
12,80	64	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
13,00	65	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
13,20	66	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
13,40	67	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
13,60	68	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
13,80	69	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
14,00	70	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
14,20	71	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
14,40	72	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
14,60	73	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
14,80	74	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40
15,00	75	171,22	97,64	94,00	65,45	220,04	122,40

Tabelle 5.26 P2: Personalaufwand im Zuge der Budgeterhöhung

## Personalaufwand

Tabelle 5.27 zeigt die ermittelten Ergebnisse der inkrementellen Budgeterhöhung.

Budget \ KZ		$\mu$	$\sigma$	CV	CCV	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )
10,00	50	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
10,20	51	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
10,40	52	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
10,60	53	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
10,80	54	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
11,00	55	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
11,20	56	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
11,40	57	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
11,60	58	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
11,80	59	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
12,00	60	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
12,20	61	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
12,40	62	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
12,60	63	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
12,80	64	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
13,00	65	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
13,20	66	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
13,40	67	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
13,60	68	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
13,80	69	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
14,00	70	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
14,20	71	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
14,40	72	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
14,60	73	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
14,80	74	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12
15,00	75	16,83	11,42	12,00	8,61	22,54	11,12

Tabelle 5.27 P2: Personalaufwand im Zuge der Budgeterhöhung

## Ertrag

Tabelle 5.28 zeigt die ermittelten Ergebnisse der inkrementellen Budgeterhöhung.

Budget \ KZ		$\mu$	$\sigma$	CV	CCV	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )
10,00	50	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
10,20	51	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
10,40	52	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
10,60	53	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
10,80	54	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
11,00	55	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
11,20	56	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
11,40	57	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
11,60	58	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
11,80	59	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
12,00	60	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
12,20	61	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
12,40	62	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
12,60	63	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
12,80	64	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
13,00	65	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
13,20	66	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
13,40	67	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
13,60	68	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
13,80	69	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
14,00	70	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
14,20	71	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
14,40	72	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
14,60	73	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
14,80	74	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60
15,00	75	2.001,91	2.114,62	1.954,00	768,21	3.059,22	944,60

Tabelle 5.28 P2: Ertrag im Zuge der Budgeterhöhung

### 5.2.6 Abschließende Feststellungen

Bei einer schrittweisen Budgeterhöhung bleiben die Verteilungsfunktionen des Projektes gleich.

### 5.3 Projekt 3 (P3)

Für dieses Projekt wurden die folgenden (in Tabelle 5.29 dargestellten) Knotentypen miteinander verknüpft.

<b>Knotentyp</b>	<b>Anzahl</b>
<b>Typ 0</b>	1
<b>Typ 1</b>	1
<b>Typ 2</b>	2
<b>Typ +2</b>	1
<b>Typ 3</b>	2
<b>Typ +3</b>	3
<b>Typ 4</b>	13

**Tabelle 5.29: Einbezogene Knotenarten des P3**

Abbildung 5.25 zeigt den stochastischen Entscheidungsbaum des Projektes 3. Diese wurde dem Programm MILP-Heid Version 2 entnommen.

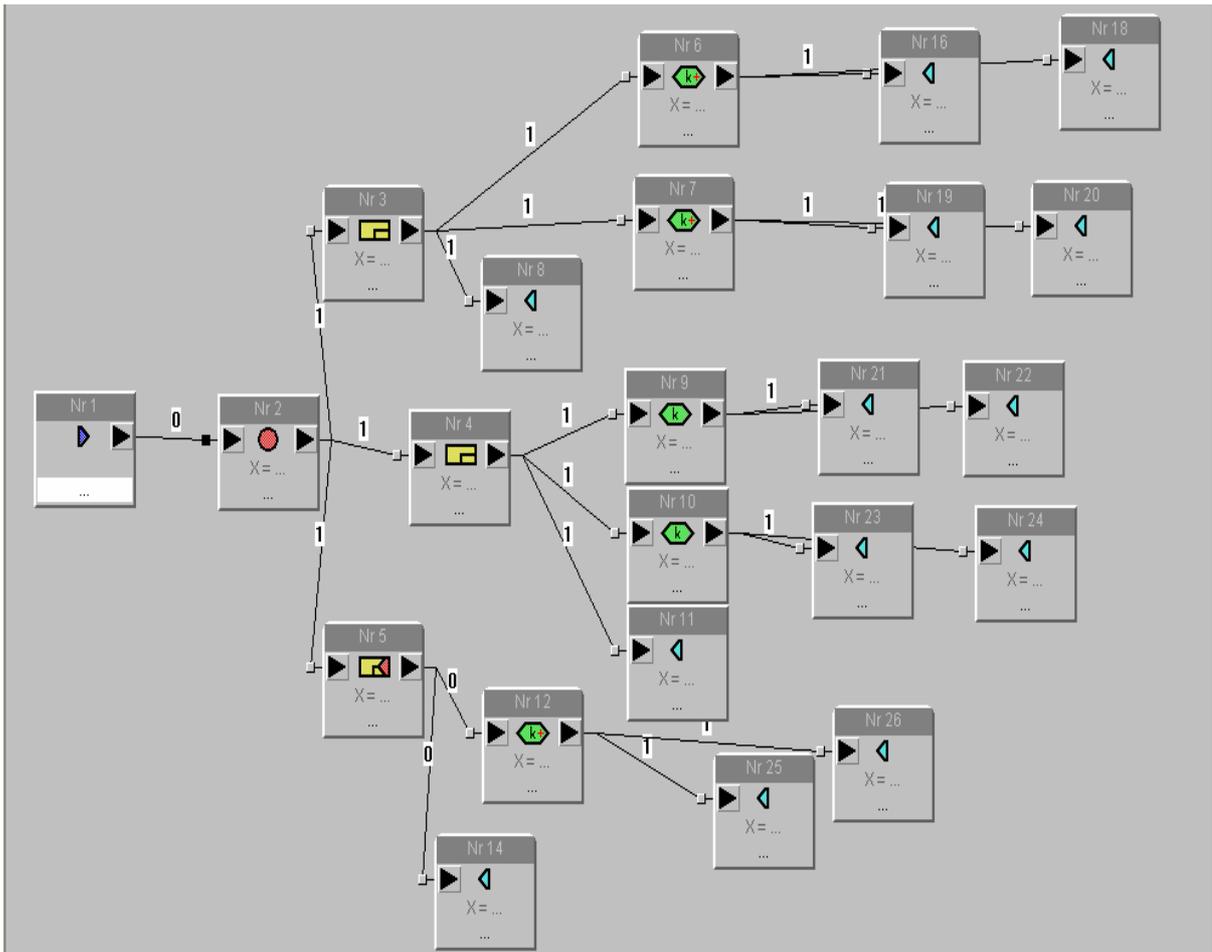


Abbildung 5.25 Stochastischer Entscheidungsbaum des P3

### 5.3.1 Die festgelegten Ressourcen und Erträge

Auch in diesem Projekt wurden die beiden Ressourcenarten Geldeinheiten und Personaleinheiten festgelegt wobei die Ressourcenart Geldeinheiten mit 1 gewichtet wurde. Die Messung der Erträge erfolgt in Geldeinheiten. Die Anfangsbudgetbeschränkung von der aus die inkrementellen Veränderungen durchgeführt wurden, beläuft sich auf 100 Geldeinheiten und 10 Personaleinheiten.

### 5.3.2 Visualisierung der Stützkurven

In diesem Projekt wurden (im Gegensatz zu den vorherigen Projekten) unterschiedliche Kurvenverläufe bei der Konstruktion der Aufwands- bzw. Ertragsfunktionen für die Typ 3 und Typ +3 Knoten gewählt.

Die Stützkurven der von dem Knoten Nummer 8 (einem Typ 2 Knoten) ausgehenden Typ +3 Knoten (Nummer 6 und 7), haben zu Beginn einen sehr schwachen Anstieg, welcher in den letzten Abschnitten radikal ansteigt. Die vom Knoten Nummer 4 (einem Typ 2 Knoten) ausgehenden Aufwands- und Ertrags-Stützkurven der Typ 3 Knoten (Nummer 9 und 10) sind durch einen linearen Kurvenverlauf charakterisiert. Der Stützkurvenverlauf des vom Knoten Nummer 5 (Typ +2) ausgehenden Typ +3 Knotens (Nummer 12) hat einen gleichmäßigen Anstieg. Für dieses Projekt wurden insgesamt 30 Stützkurven konstruiert, von welchen in diesem Abschnitt 9 graphisch dargestellt sind. Wie auch bei den vorherigen Projekten, wurden die Abbildungen der einzelnen Stützkurven dem Programm MILP-Heid Version 2 entnommen.

### **Stützkurven des Typ+ 3 Knotens für den Übergang von Knoten Nummer 6 zu 16**

Die festgelegte Mindestübergangswahrscheinlichkeit  $o_{k,s}$  für diese Verbindung beträgt 0,4. Für die Aufwands-Stützkurve in Geldeinheiten wurde der in Tabelle 5.30 dargestellte Wahrscheinlichkeitsbereich gewählt.

<b>Wahrscheinlichkeit</b>	<b>Geldeinheiten</b>
0	1
0,3	2
0,7	3,5
1	150

**Tabelle 5.30: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Geldaufwand des Übergangs 6 zu 16**

Demzufolge lässt sich die Stützkurve für den Aufwand in Geldeinheiten in Abbildung 5.26 folgendermaßen darstellen.

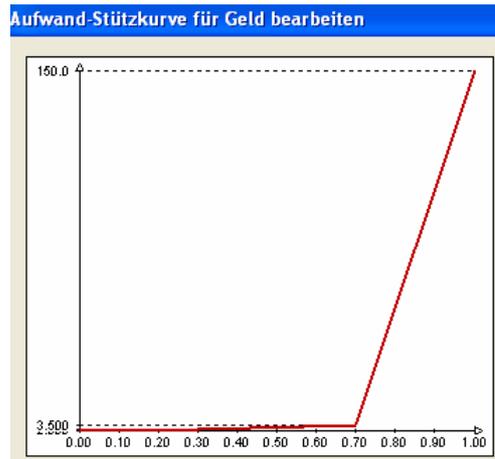


Abbildung 5.26: Geldaufwands-Stützkurve des Übergangs 6 zu 16

Die folgende Tabelle 5.31 zeigt den festgelegten Wahrscheinlichkeitsbereich für den Verlauf der Aufwands-Stützkurve der Personaleinheiten.

Wahrscheinlichkeit	Personaleinheiten
0	0
0,3	0,1
0,7	0,4
1	10

Tabelle 5.31: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Personalaufwands des Übergangs 6 zu 16

Die dazugehörige Stützkurve des Aufwands in Personaleinheiten ist in Abbildung 5.27 dargestellt.

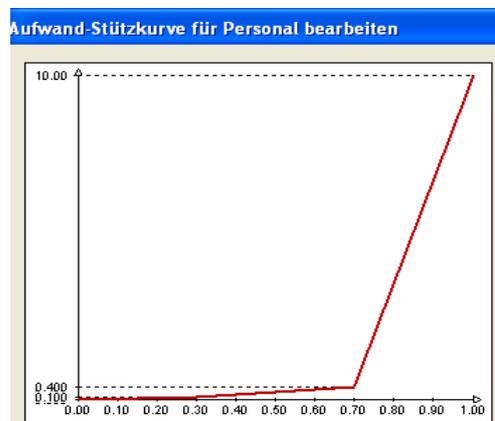


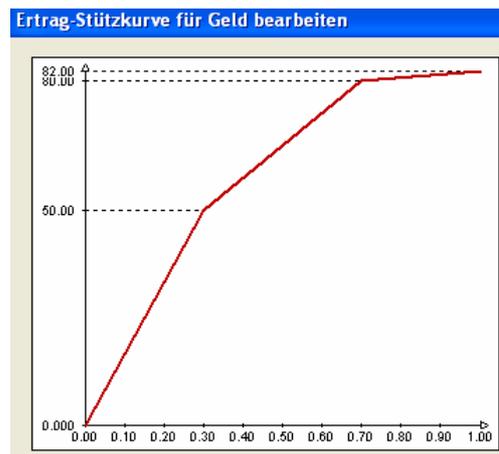
Abbildung 5.27: Personalaufwands-Stützkurve des Übergangs 6 zu 16

Für die Ertragsfunktion in Geldeinheiten wurde der folgende, in Tabelle 5.32 dargestellte Wahrscheinlichkeitsbereich gewählt.

Wahrscheinlichkeit	Geldeinheiten
0	0
0,3	50
0,7	80
1	82

**Tabelle 5.32: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Ertrag des Übergangs 6 zu 16**

Die folgende Abbildung 5.28 zeigt die dazugehörige Stützkurve für den Ertrag in Geldeinheiten.



**Abbildung 5.28: Ertrags-Stützkurve des Übergangs 6 zu 16**

### **Stützkurven des Typ 3 Knotens für den Übergang von Knoten Nummer 10 zu 23**

Für die Aufwands-Stützkurve in Geldeinheiten wurde der in Tabelle 5.33 ausgewiesene Wahrscheinlichkeitsbereich gewählt.

Wahrscheinlichkeit	Geldeinheiten
0	60
1	100

Tabelle 5.33: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Geldaufwand des Übergangs 10 zu 23

Die lineare Stützkurve für den Aufwand in Geldeinheiten ist in Abbildung 5.29 dargestellt.

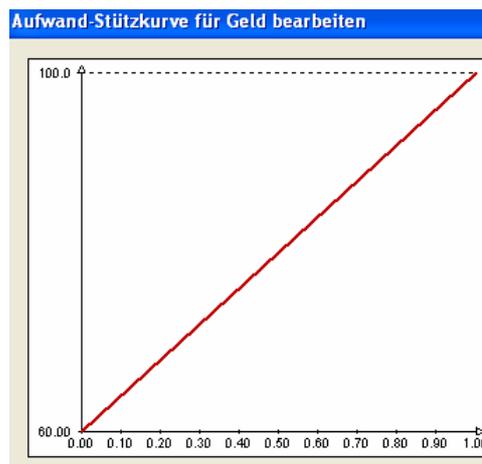


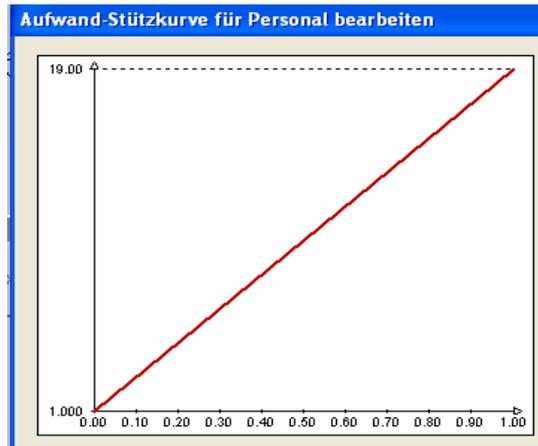
Abbildung 5.29: Geldaufwands-Stützkurve des Übergangs 10 zu 23

Die folgende Tabelle 3.26 zeigt den festgelegten Wahrscheinlichkeitsbereich für den Verlauf der Aufwandsstützkurve der Personaleinheiten.

Wahrscheinlichkeit	Personaleinheiten
0	1
1	19

Tabelle 5.34: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Personalaufwand des Übergangs 10 zu 23

Demzufolge lässt sich die Stützkurve für den Aufwand in Personaleinheiten folgendermaßen in Abbildung 5.30 darstellen.



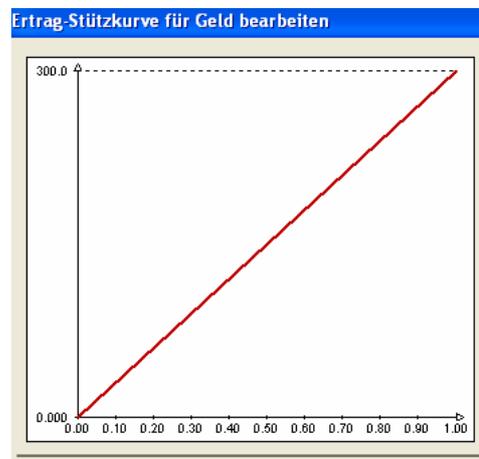
**Abbildung 5.30: Personalaufwands-Stützkurve des Übergangs 10 zu 23**

Tabelle 5.35 zeigt den für die Ertragsfunktion in Geldeinheiten gewählten Wahrscheinlichkeitsbereich.

Wahrscheinlichkeit	Ertrag
0	0
1	300

**Tabelle 5.35: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Ertrag des Übergangs 10 zu 23**

Demzufolge lässt sich die Stützkurve für den Ertrag in Geldeinheiten in Abbildung 5.31 wie folgt darstellen.



**Abbildung 5.31: Ertrags-Stützkurve des Übergangs 10 zu 23**

### Stützkurven des Typ+ 3 Knotens für den Übergang von Knoten Nummer 12 zu 25

Es wurde keine Mindestübergangswahrscheinlichkeit für diese Verbindung festgelegt. Die Aufwands-Stützkurve in Geldeinheiten hat den in Tabelle 5.36 präsentierten Wahrscheinlichkeitsbereich.

Wahrscheinlichkeit	Geldeinheiten
0	30
0,3	7
0,7	200
1	350

Tabelle 5.36: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Geldaufwand des Übergangs 12 zu 25

Demzufolge lässt sich die Stützkurve für den Aufwand in Geldeinheiten in Abbildung 5.32 folgendermaßen darstellen.

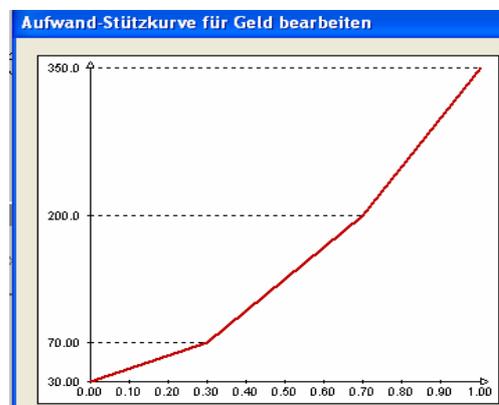


Abbildung 5.32: Geldaufwands-Stützkurve des Übergangs 12 zu 25

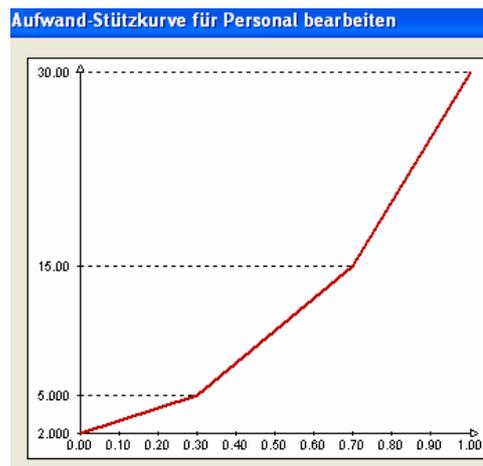
Die folgende Tabelle 5.37 zeigt den festgelegten Wahrscheinlichkeitsbereich für den Verlauf der Aufwands-Stützkurve der Personaleinheiten.

Wahrscheinlichkeit	Personaleinheiten
0	2

0,3	5
0,7	15
1	30

**Tabelle 5.37: Wahrscheinlichkeitsbereich für den Personalaufwand des Übergangs 12 zu 25**

Die Stützkurve des Aufwands in Personaleinheiten ist in Abbildung 5.33 dargestellt.



**Abbildung 5.33: Personalaufwands-Stützkurve des Übergangs 12 zu 25**

Für die Ertragsfunktion in Geldeinheiten wurde der folgende in Tabelle 5.38 gezeigte Wahrscheinlichkeitsbereich definiert.

Wahrscheinlichkeit	Ertrag
0	200
0,3	350
0,7	450
1	470

**Tabelle 5.38: Wahrscheinlichkeitsbereich der Ertrags-Stützkurve des Übergangs 12 zu 25**

Die Stützkurve für den Ertrag in Geldeinheiten zeigt Abbildung 5.34.

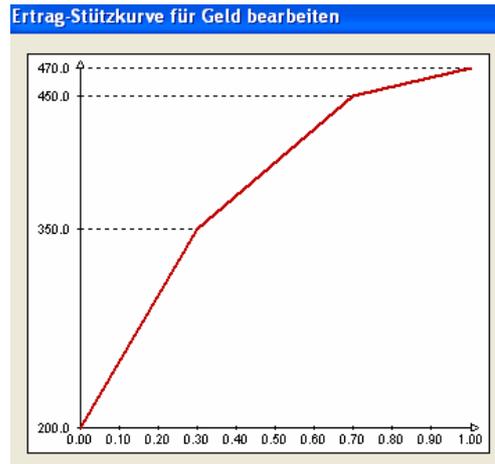


Abbildung 5.34: Ertrags-Stützkurve des Übergangs 12 zu 25

### 5.3.3 Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse bei einer inkrementellen Budgetverringernng

Die inkrementelle Budgetverringernng erfolgte bei in Form einer schrittweisen Kürzung der Ressourcen um 1%. Ausgangspunkt der Analyse ist das Anfangsbudget von 100 Geldeinheiten und 10 Personaleinheiten. Die Auswirkungen der Sensitivitätsanalyse wurden an dem Erwartungswert, der Standardabweichung den Risikokennzahlen und dem Nutzen gemessen. Im Folgenden sollen die Ergebnisse dieser Analyse für den Geldaufwand, den Personalaufwand und den Ertrag präsentiert werden. Insgesamt erfolgte eine Budgetminimierung bis zu einem Budget von 60 Geldeinheiten und 6 Personaleinheiten.

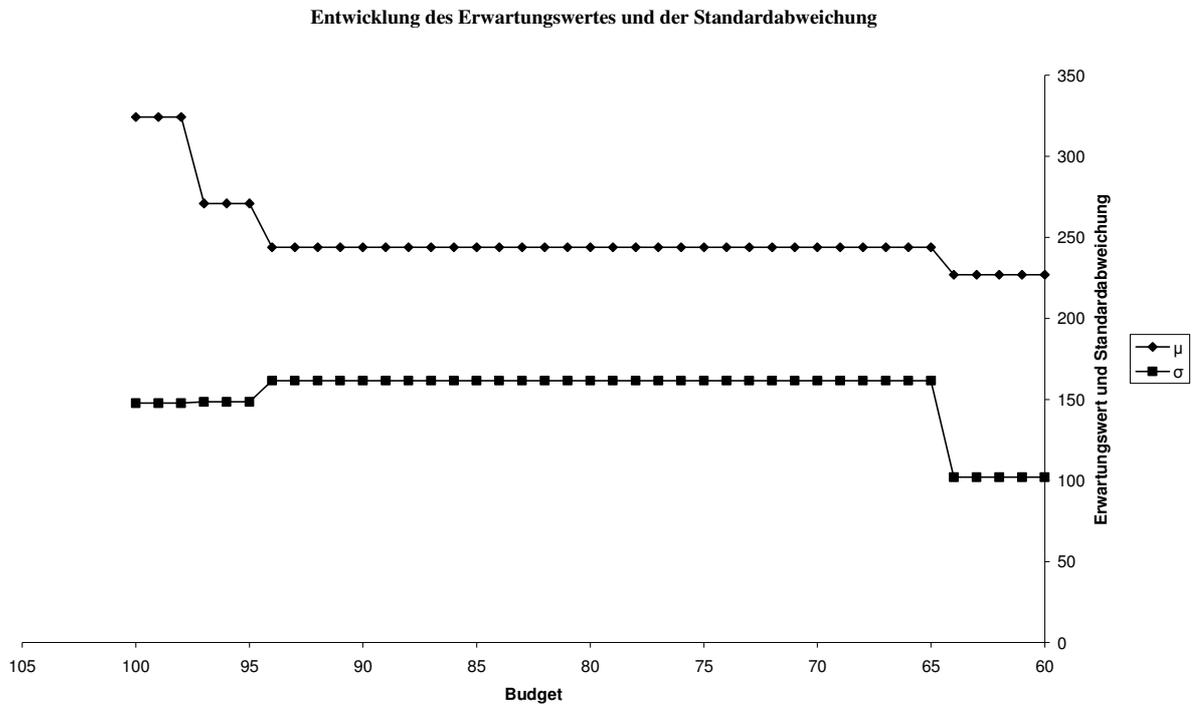
#### Geldaufwand

Die folgende Tabelle 5.39 zeigt die einzelnen Ergebnisse der schrittweisen Budgetverringernng. Hier ist ersichtlich, dass die Budgetsenkung an 3 Stellen zu einer Ergebnisänderung führt (diese wurden hervorgehoben).

Budget \ KZ		$\mu$	$\sigma$	CV	CCV	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )
10,00	100	324,20	147,71	347,33	206,57	398,06	250,35
9,90	99	324,20	147,71	347,33	206,57	398,06	250,35
9,80	98	324,20	147,71	347,33	206,57	398,06	250,35
9,70	97	<b>271,00</b>	<b>148,52</b>	<b>193,86</b>	<b>149,15</b>	<b>345,26</b>	<b>196,74</b>
9,60	96	271,00	148,52	193,86	149,15	345,26	196,74
9,50	95	271,00	148,52	193,86	149,15	345,26	196,74
9,40	94	<b>244,00</b>	<b>161,68</b>	<b>118,86</b>	<b>106,29</b>	<b>324,84</b>	<b>163,16</b>
9,30	93	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
9,20	92	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
9,10	91	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
9,00	90	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
8,90	89	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
8,80	88	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
8,70	87	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
8,60	86	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
8,50	85	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
8,40	84	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
8,30	83	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
8,20	82	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
8,10	81	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
8,00	80	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
7,90	79	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
7,80	78	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
7,70	77	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
7,60	76	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
7,50	75	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
7,40	74	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
7,30	73	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
7,20	72	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
7,10	71	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
7,00	70	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
6,90	69	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
6,80	68	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
6,70	67	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
6,60	66	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
6,50	65	244,00	161,68	118,86	106,29	324,84	163,16
6,40	64	<b>227,00</b>	<b>101,93</b>	<b>118,86</b>	<b>106,29</b>	<b>277,97</b>	<b>176,04</b>
6,30	63	227,00	101,93	118,86	106,29	277,97	176,04
6,20	62	227,00	101,93	118,86	106,29	277,97	176,04
6,10	61	227,00	101,93	118,86	106,29	277,97	176,04
6,00	60	227,00	101,93	118,86	106,29	277,97	176,04

Tabelle 5.39 P3: Geldaufwand im Zuge der Budgetsenkung

Abbildung 5.35 zeigt den Verlauf des Erwartungswertes und der Standardabweichung im Rahmen der Budgetsenkung. Während die Ressourcenverringerung zu einer Senkung des Erwartungswertes führt, steigt die Standardabweichung zu Beginn und sinkt danach.



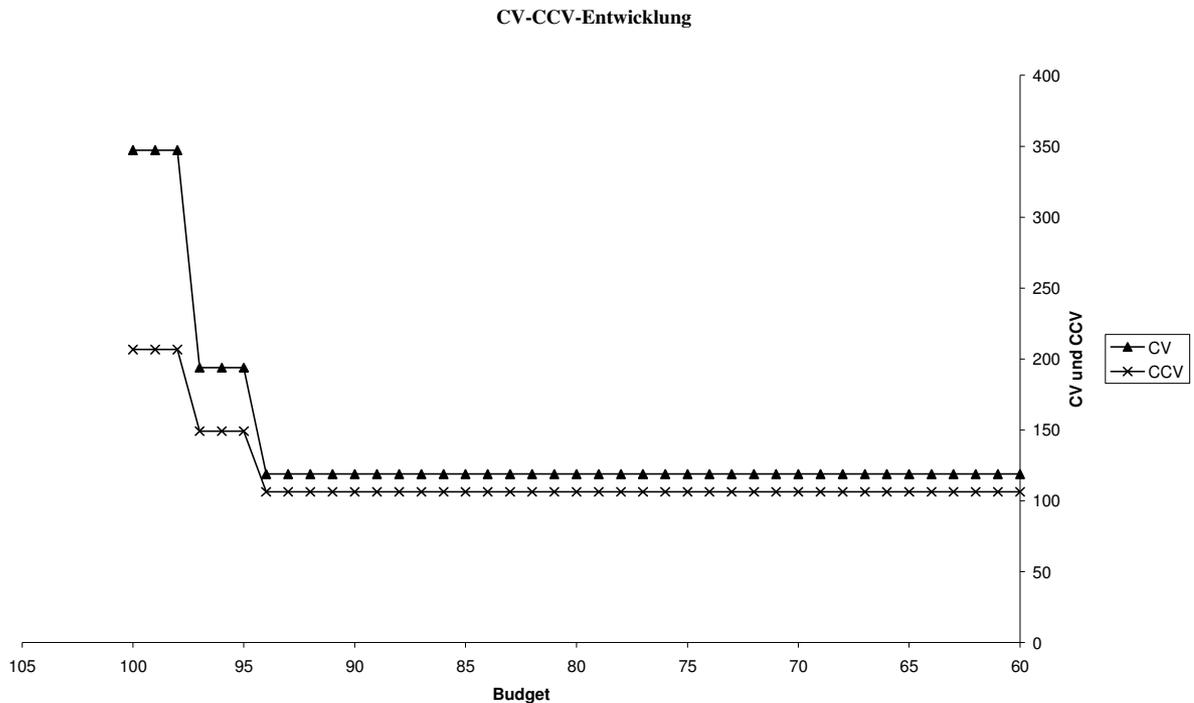
**Abbildung 5.35 P3; Geldaufwand:  $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung**

Tabelle 5.40 beinhaltet die Dataanalyse zu den Veränderungen des Erwartungswertes und der Standardabweichung.

Budget (in Geldeinheiten)	$\mu$	absolute Veränderung	relative Veränderung	$\sigma$	absolute Veränderung	relative Veränderung
98	324,20	-53,20	-16,41%	147,71	0,81	0,55%
97	271,00			148,52		
95	271,00	-27,00	-9,96%	148,52	13,16	8,86%
94	244,00			161,68		
65	244,00	-17,00	-6,97%	161,68	-59,75	-36,96%
64	227,00			101,93		

**Tabelle 5.40 P3; Geldaufwand: Detailanalyse zu den  $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen**

Abbildung 5.36 zeigt den Verlauf des CV und des CCV im Rahmen der schrittweisen Ressourcenkürzung. Hier ist ersichtlich, dass der Wert beider Risikokennzahlen an 2 Stellen sinkt.



**Abbildung 5.36 P3; Geldaufwand: CV-CCV-Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung**

Tabelle 5.41 zeigt die Detailanalyse zu den Veränderungen des CV und des CCV. Hier ist ersichtlich, dass der CV stärker auf die Budgetsenkung reagiert.

Budget (in Geldeinheiten)	CV	absolute Veränderung	relative Veränderung	CCV	absolute Veränderung	relative Veränderung
98	347,33	-153,47	-44,19%	206,57	-57,42	-27,80%
97	193,86			149,15		
95	193,86	-75,00	-38,69%	149,15	-42,86	-28,74%
94	118,86			106,29		
65	118,86	0,00	0,00%	106,29	0,00	0,00%
64	118,86			106,29		

**Tabelle 5.41 P3; Geldaufwand: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung**

Abbildung 5.37 stellt den Verlauf des Nutzens im Zuge der Ressourcensenkung dar. Während der Nutzen bei einem Risikoaversionsgrad von  $a_1$  an 3 Stellen sinkt, verringert sich dieser bei  $a_2$  zu Beginn und steigt schlussendlich leicht an.

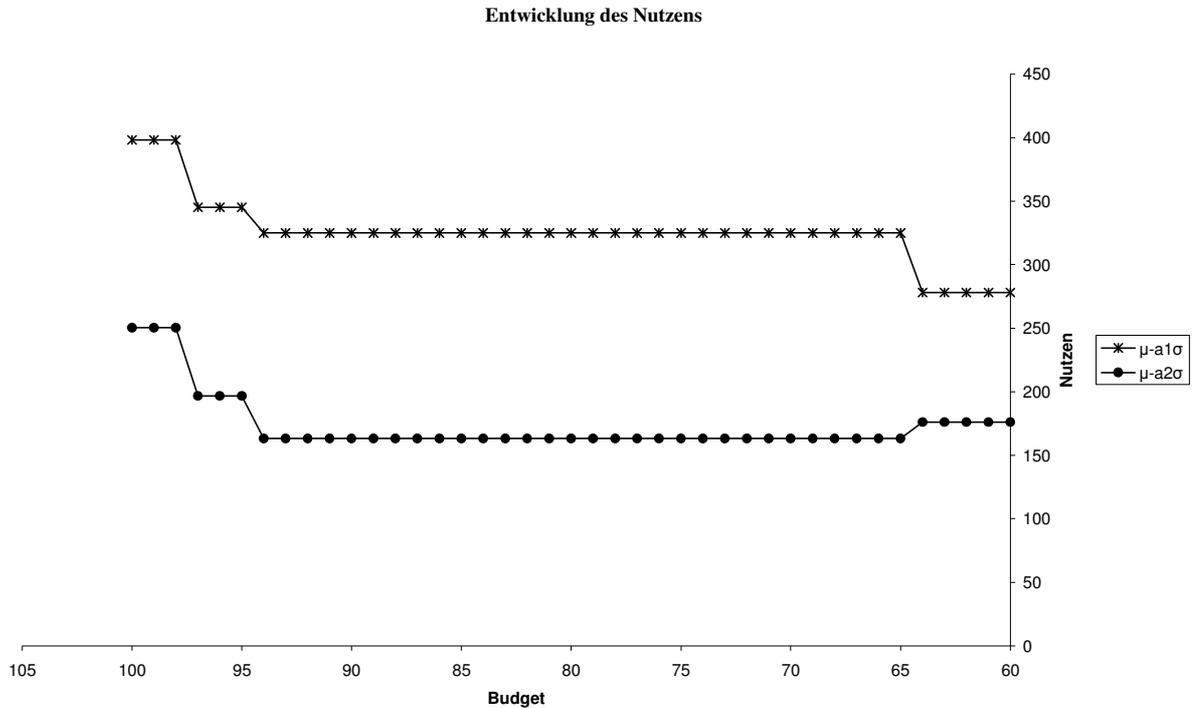


Abbildung 5.37 P3; Geldaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgetsenkung

Tabelle 5.42 beinhaltet die Detailanalyse zu den Veränderungen des Nutzens. Hier ist ersichtlich, dass der Nutzen bei  $a_2$  trotz Budgetverringern leicht ansteigt (um 7,89%).

Budget (in Geldeinheiten)	$a_1$	absolute Veränderung	relative Veränderung	$a_2$	absolute Veränderung	relative Veränderung
98	398,06	-52,8	-13,26%	250,35	-53,61	-21,41%
97	345,26			196,74		
95	345,26	-20,42	-5,91%	196,74	-33,58	-17,07%
94	324,84			163,16		
65	324,84	-46,87	-14,43%	163,16	12,88	7,89%
64	277,97			176,04		

Tabelle 5.42 P3; Geldaufwand: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgetsenkung

## Personalaufwand

Die folgende Tabelle 5.43 zeigt die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse wobei ersichtlich ist, dass die schrittweise Senkung der Ressourcen im Gegensatz zu den anderen Bereichen (Geldaufwand und Ertrag) an 4 Stellen zu einer Veränderung der Ergebnisse führt.

Budget \ KZ		$\mu$	$\sigma$	CV	CCV	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )
10,00	100	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
9,90	99	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
9,80	98	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
9,70	97	<b>28,38</b>	<b>19,77</b>	<b>24,48</b>	<b>14,66</b>	<b>38,27</b>	<b>18,50</b>
9,60	96	28,38	19,77	24,48	14,66	38,27	18,50
9,50	95	28,38	19,77	24,48	14,66	38,27	18,50
9,40	94	<b>27,68</b>	<b>20,06</b>	<b>22,48</b>	<b>13,51</b>	<b>37,71</b>	<b>17,65</b>
9,30	93	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
9,20	92	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
9,10	91	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
9,00	90	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
8,90	89	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
8,80	88	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
8,70	87	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
8,60	86	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
8,50	85	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
8,40	84	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
8,30	83	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
8,20	82	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
8,10	81	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
8,00	80	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
7,90	79	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
7,80	78	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
7,70	77	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
7,60	76	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
7,50	75	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
7,40	74	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
7,30	73	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
7,20	72	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
7,10	71	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
7,00	70	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
6,90	69	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
6,80	68	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
6,70	67	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
6,60	66	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65

6,50	65	27,68	20,06	22,48	13,51	37,71	17,65
6,40	64	<b>17,72</b>	<b>11,02</b>	<b>8,87</b>	<b>7,86</b>	<b>23,23</b>	<b>12,21</b>
6,30	63	17,72	11,02	8,87	7,86	23,23	12,21
6,20	62	17,72	11,02	8,87	7,86	23,23	12,21
6,10	61	<b>21,65</b>	<b>10,51</b>	<b>22,38</b>	<b>13,47</b>	<b>26,91</b>	<b>16,40</b>
6,00	60	21,65	10,51	22,38	13,47	26,91	16,40

Tabelle 5.43 P3: Personalaufwand im Zuge der Budgetsenkung

Abbildung 5.38 zeigt den Verlauf des Erwartungswertes und der Standardabweichung im Rahmen der Ressourcensenkung. Auffällig ist hier, dass der Erwartungswert bei einem bereits stark gesenkten Budget plötzlich ansteigt.

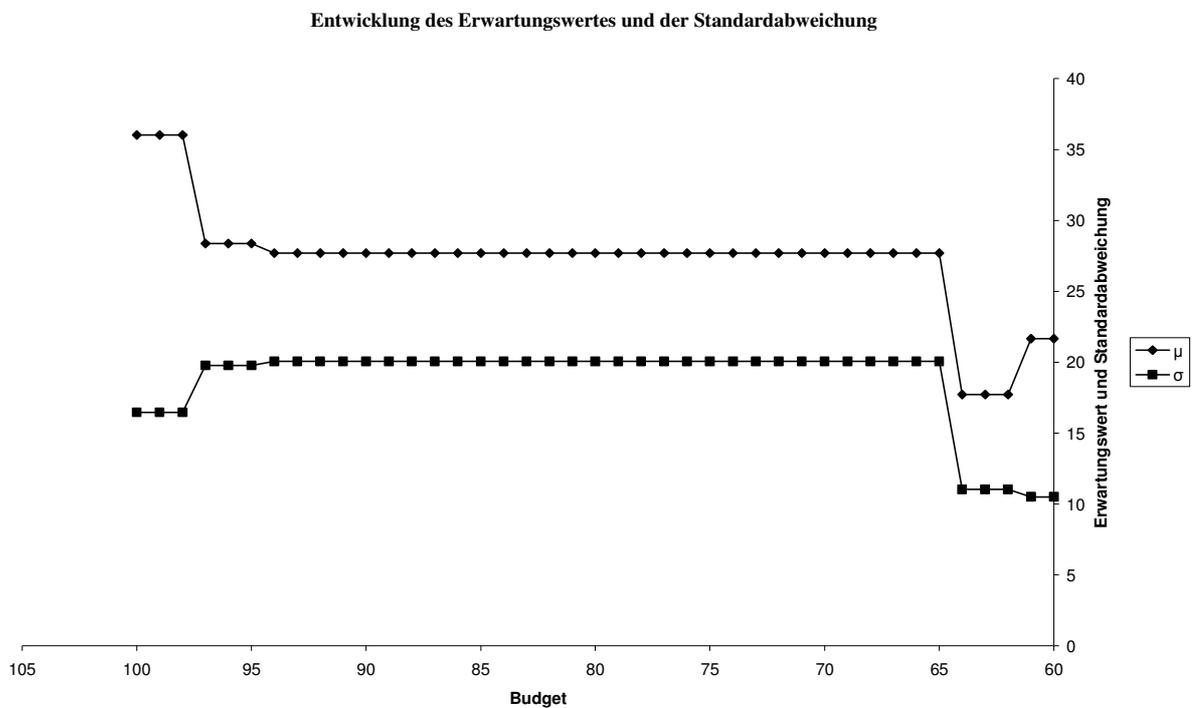


Abbildung 5.38 P3; Personalaufwand:  $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung

Tabelle 5.44 zeigt die Detailanalyse zu den Veränderungen des Erwartungswertes und der Standardabweichung. Hier ist ersichtlich, dass der Erwartungswert bei einem Budget von 64 Geldeinheiten (und 6,4 Personaleinheiten) stark sinkt und bei einer weiteren inkrementellen Verringerung auf 61 Geldeinheiten (und 6,1 Personaleinheiten) plötzlich steigt.

Budget (in Geldeinheiten)	$\mu$	Absolute Veränderung	Relative Veränderung	$\sigma$	Absolute Veränderung	relative Veränderung
98	36,03	-7,65	-21,23%	16,46	3,31	20,11%
97	28,38			19,77		
95	28,38	-0,70	-2,47%	19,77	0,29	1,47%
94	27,68			20,06		
65	27,68	-9,96	-35,98%	20,06	-9,04	-45,06%
64	17,72			11,02		
62	17,72	3,93	22,18%	11,02	-0,51	-4,63%
61	21,65			10,51		

Tabelle 5.44 P3; Personalaufwand: Detailanalyse zu den  $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen

Abbildung 5.39 zeigt den Verlauf des CV und des CCV im Rahmen der Ressourcensenkung. Analog zum Erwartungswert steigen beide Risikokennzahlen bei einem stark gesenkten Budget plötzlich an.

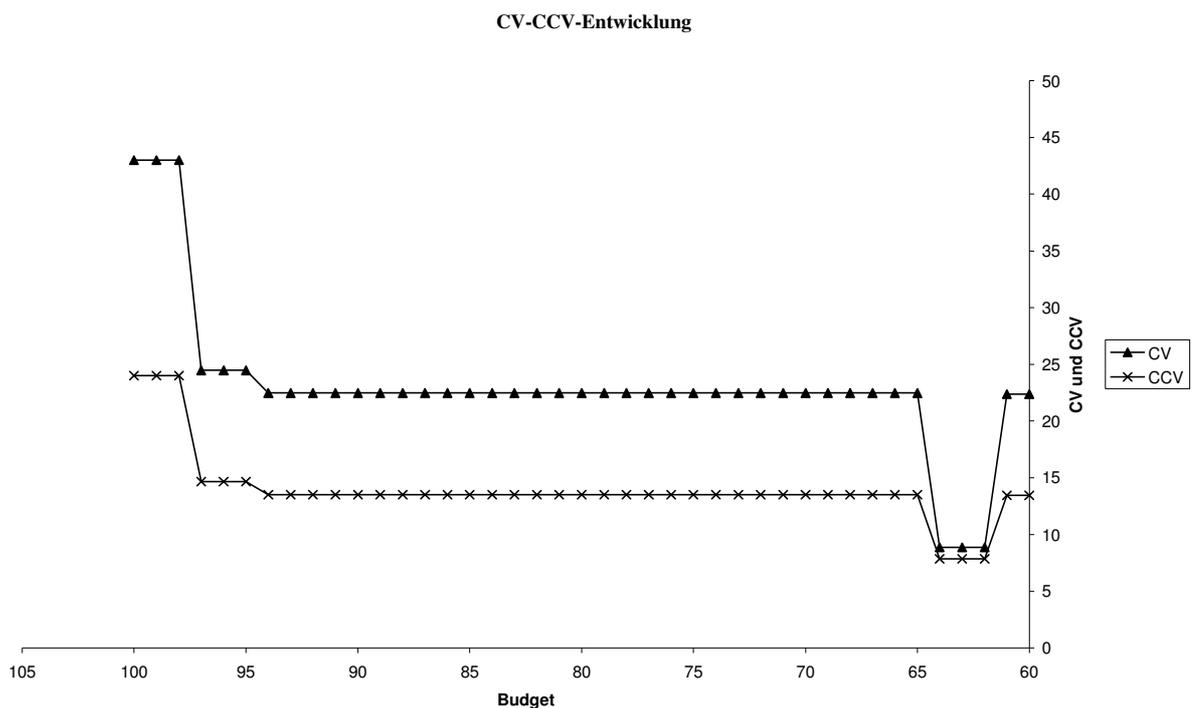


Abbildung 5.39 P3; Personalaufwand: CV-CCV-Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung

Tabelle 5.49 welche die Veränderungen des CV und des CCV darstellt, zeigt den beträchtlichen Anstieg der CV (um 152,31%) und des CCV (um 71,37%).

Budget (in Geldeinheiten)	CV	Absolute Veränderung	relative Veränderung	CCV	absolute Veränderung	Relative Veränderung
98	43,00	-18,52	-43,07%	24,01	-9,35	-38,94%
97	24,48			14,66		
95	24,48	0,00	0,00%	14,66	-1,15	-7,84%
94	24,48			13,51		
65	24,48	-15,61	-63,77%	13,51	-5,65	-41,82%
64	8,87			7,86		
62	8,87	13,51	152,31%	7,86	5,61	71,37%
61	22,38			13,47		

Tabelle 5.45 P3: Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung

Abbildung 5.40 zeigt die Entwicklung des Nutzens bei einem Risikoaversionsgrad von  $a_1$  und  $a_2$ , im Zuge der Budgetsenkung. Auch hier ist ein Anstieg des Nutzens trotz stark verringertem Budget ersichtlich.

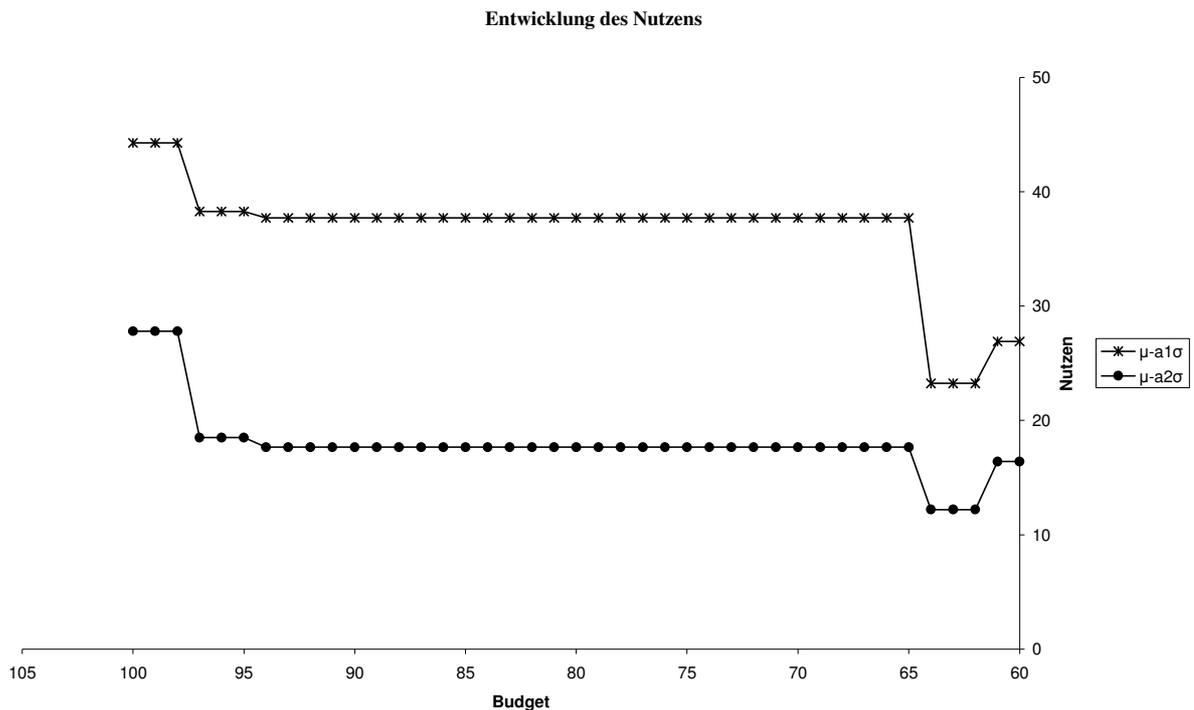


Abbildung 5.40 P3; Personalaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgetsenkung

Tabelle 5.46 beinhaltet die Detailanalyse zu den Veränderungen des Nutzens.

Budget (in Geldeinheiten)	$a_1$	absolute Veränderung	relative Veränderung	$a_2$	absolute Veränderung	relative Veränderung
98	44,26	-5,99	-13,53%	27,80	-9,30	-33,45%
97	38,27			18,50		
95	38,27	-0,56	-1,46%	18,50	-0,85	-4,59%
94	37,71			17,65		
65	37,71	-14,48	-38,40%	17,65	-5,44	-30,82%
64	23,23			12,21		
62	23,23	3,68	15,84%	12,21	4,19	34,32%
61	26,91			16,40		

Tabelle 5.46 P3; Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgetsenkung

## Ertrag

Tabelle 5.47 zeigt die Ergebnisse der inkrementellen Budgetsenkung, wie auch beim Geldaufwand führt diese an 3 Stellen zu Veränderungen (welche hervorgehoben sind).

KZ Budget		$\mu$	$\sigma$	CV	CCV	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )
10,00	100	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
9,90	99	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
9,80	98	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
9,70	97	<b>550,00</b>	<b>211,00</b>	<b>648,00</b>	<b>491,78</b>	<b>655,50</b>	<b>444,50</b>
9,60	96	550,00	211,00	648,00	491,78	655,50	444,50
9,50	95	550,00	211,00	648,00	491,78	655,50	444,50
9,40	94	<b>497,00</b>	<b>175,83</b>	<b>648,00</b>	<b>470,95</b>	<b>584,92</b>	<b>409,09</b>
9,30	93	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
9,20	92	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
9,10	91	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
9,00	90	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
8,90	89	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
8,80	88	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
8,70	87	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
8,60	86	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
8,50	85	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
8,40	84	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
8,30	83	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09

8,20	82	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
8,10	81	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
8,00	80	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
7,90	79	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
7,80	78	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
7,70	77	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
7,60	76	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
7,50	75	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
7,40	74	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
7,30	73	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
7,20	72	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
7,10	71	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
7,00	70	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
6,90	69	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
6,80	68	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
6,70	67	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
6,60	66	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
6,50	65	497,00	175,83	648,00	470,95	584,92	409,09
6,40	64	364,00	182,92	505,67	350,95	455,46	272,54
6,30	63	<b>364,00</b>	<b>182,92</b>	<b>505,67</b>	<b>350,95</b>	<b>455,46</b>	<b>272,54</b>
6,20	62	364,00	182,92	505,67	350,95	455,46	272,54
6,10	61	364,00	182,92	505,67	350,95	455,46	272,54
6,00	60	364,00	182,92	505,67	350,95	455,46	272,54

**Tabelle 5.47 P3: Ertrag im Zuge der Budgetsenkung**

Abbildung 5.41 zeigt die Entwicklung des Erwartungswertes und der Standardabweichung im Rahmen der Budgetsenkung. Diese zeigt, dass die Ressourcenverringerung beim Erwartungswert zu Senkungen führt während die Standardabweichung im Wesentlichen steigt.

Entwicklung des Erwartungswertes und der Standardabweichung

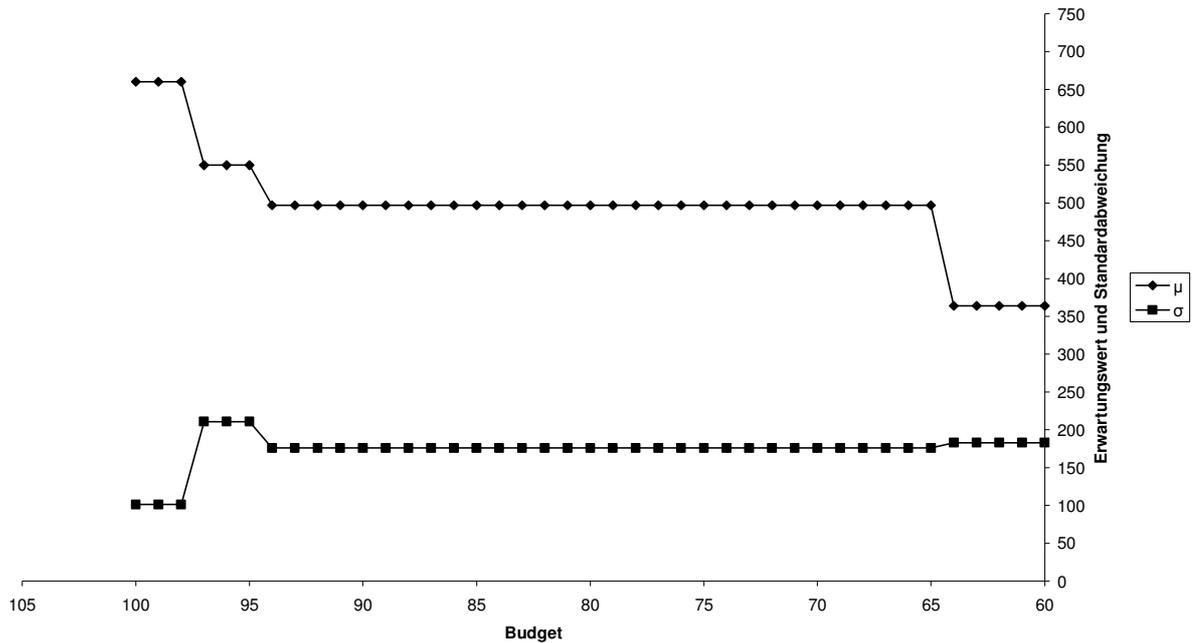


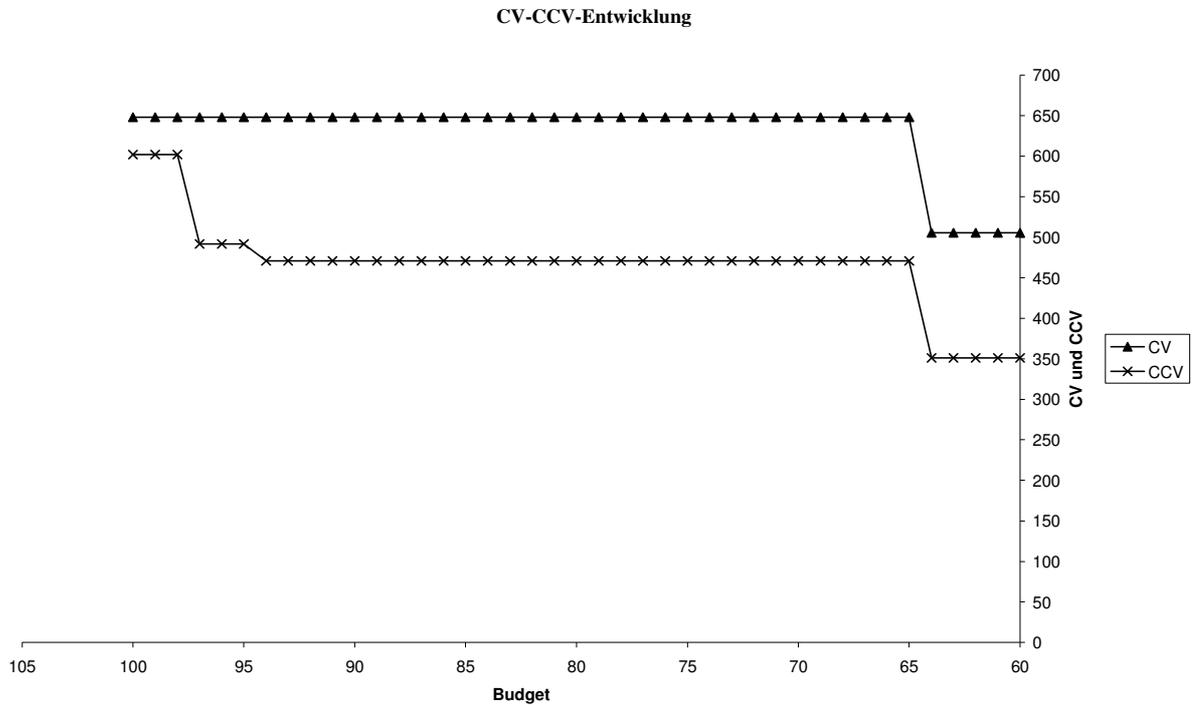
Abbildung 5.41 P3; Ertrag:  $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung

Tabelle 5.48 beinhaltet die Detailanalyse zu den Veränderungen des Erwartungswertes und der Standardabweichung. Hier ist ersichtlich, dass der Budgetrückgang auf 64 Geldeinheiten (und 6,4 Personaleinheiten) beim Erwartungswert die stärkste Senkung bewirkt. Die Standardabweichung verzeichnet schon zu Beginn (bei einem Budget von 97 Geldeinheiten und 9,7 Personaleinheiten) den stärksten Anstieg.

Budget (in Geldeinheiten)	$\mu$	absolute Veränderung	relative Veränderung	$\sigma$	absolute Veränderung	relative Veränderung
98	660,30	-110,30	-16,70%	101,37	109,63	108,15%
97	550,00			211,00		
95	550,00	-53,00	-9,64%	211,00	-35,17	-16,67%
94	497,00			175,83		
65	497,00	-133	-26,76%	175,83	7,09	4,03%
64	364,00			182,92		

Tabelle 5.48 P3: Detailanalyse zu den  $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen

Abbildung 5.42 zeigt den Verlauf des CV und des CCV im Rahmen der Budgetsenkung.



**Abbildung 5.42 P3; Ertrag: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung**

Tabelle 5.49 zeigt die Veränderungen des CV und des CCV. Tabelle 5.49 verdeutlicht, dass die Budgetsenkung auf 64 Geldeinheiten (und 6,4 Personaleinheiten) bei beiden Risikokennzahlen einen starken Rückgang bewirkt.

Budget (in Geldeinheiten)	CV	absolute Veränderung	relative Veränderung	CCV	absolute Veränderung	relative Veränderung
98	648,00	0,00	0,00%	602,13	-110,35	-18,33%
97	648,00			491,78		
95	648,00	0,00	0,00%	491,78	-20,83	-4,24%
94	648,00			470,95		
65	648,00	-142,33	-21,96%	470,95	-120	-25,48%
64	505,67			350,95		

**Tabelle 5.49 P3: Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung**

Abbildung 5.43 zeigt den Verlauf des Nutzens im Zuge der schrittweisen Ressourcensenkung. Hier ist ersichtlich, dass der Nutzen bei beiden Risikoaversionsgraden an 3 Stellen sinkt.

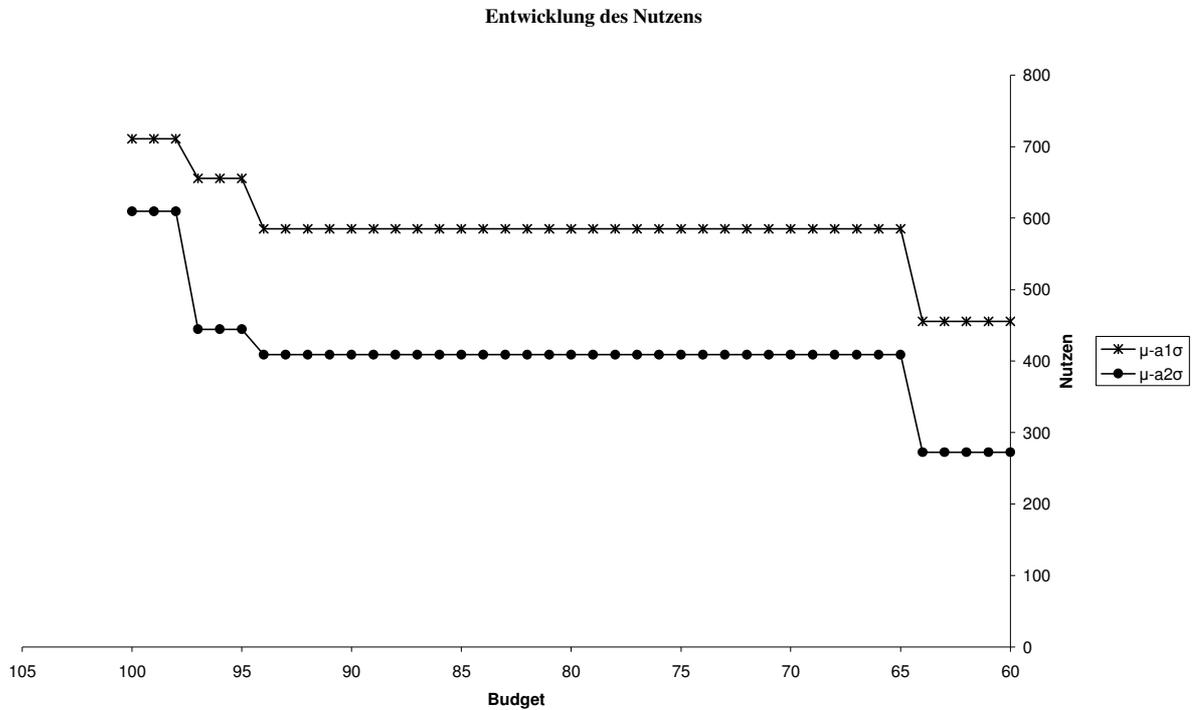


Abbildung 5.43 P3; Ertrag: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgetsenkung

Die folgende Tabelle 5.50 zeigt die Detailanalyse zu den Veränderungen des Nutzens.

Budget (in Geldeinheiten)	$a_1$	absolute Veränderung	relative Veränderung	$a_1$	absolute Veränderung	relative Veränderung
98	710,99	-55,49	-7,80%	609,62	-165,12	-27,09%
97	655,50			444,50		
95	655,50	-70,58	-10,77%	444,50	-35,41	-7,97%
94	584,92			409,09		
65	584,92	-129,46	-22,13%	409,09	-136,55	-33,38%
64	455,46			272,54		

Tabelle 5.50 P3: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgetsenkung

### **5.3.4 Abschließende Feststellungen**

Im Bereich der Erwartungswerte reagiert der Erwartungswert (mit einem prozentuellen Gesamtrücklauf von rd. -44,87%) am stärksten auf die Ressourcensenkung. Der Erwartungswert des Personalaufwands sinkt insgesamt um rd. -29,98% und der des Geldaufwands um rd. -29,98%. Bei näherer Betrachtung der Gesamtentwicklung der einzelnen Standardabweichungen sticht der starke Anstieg der Volatilität des Ertrags (in Höhe von rd. 80,45%) hervor. Im Vergleich hierzu sinkt die Standardabweichung des Geldaufwands um rd. -30,99% und die des Personalaufwands um rd. -39,91%.

Der Vergleich der Gesamtveränderungen der einzelnen CVs zeigt, dass der des Geldaufwands (mit einer Verringerung um rd. -65,78%), gefolgt von dem des Personalaufwands (mit rd. -47,95%) und dem des Ertrags (mit rd. -21,96%) am stärksten auf die Ressourcensenkung reagiert. Auch im Bereich der CCVs reagiert der des Geldaufwands (mit rd. -48,55%), im Vergleich zu dem des Personalaufwands (mit rd. -43,90%) und dem des Ertrags (mit rd. -41,72%) am stärksten.

Die Betrachtung der Gesamtveränderung des Nutzens in den einzelnen Kategorien (Aufwand und Ertrag) zeigt, dass der Nutzen des Ertrags mit dem Risikoaversionsgrad  $a_2$  den stärksten Rückgang (mit rd. -55,29%) erleidet. Dieser ist dicht gefolgt vom Gesamtrückgang des Nutzens des Personalaufwands (mit rd. -41,01% bei  $a_2$  und rd. -39,20% bei  $a_1$ ).

### **5.3.5 Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse bei einer inkrementellen Budgeterhöhung**

Dieser Abschnitt behandelt die Ergebnisse der inkrementellen Budgeterhöhung von Projekt 3. Ausgehend vom Anfangsbudget (von 100 Geldeinheiten und 10 Personaleinheiten) erfolgte eine schrittweise Budgeterhöhung um 1% bis auf ein Budget von 140 Geldeinheiten und 14 Personaleinheiten. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse in tabellarischer und grafischer Form für den Geldaufwand, den Personalaufwand und den Ertrag präsentiert.

## Geldaufwand

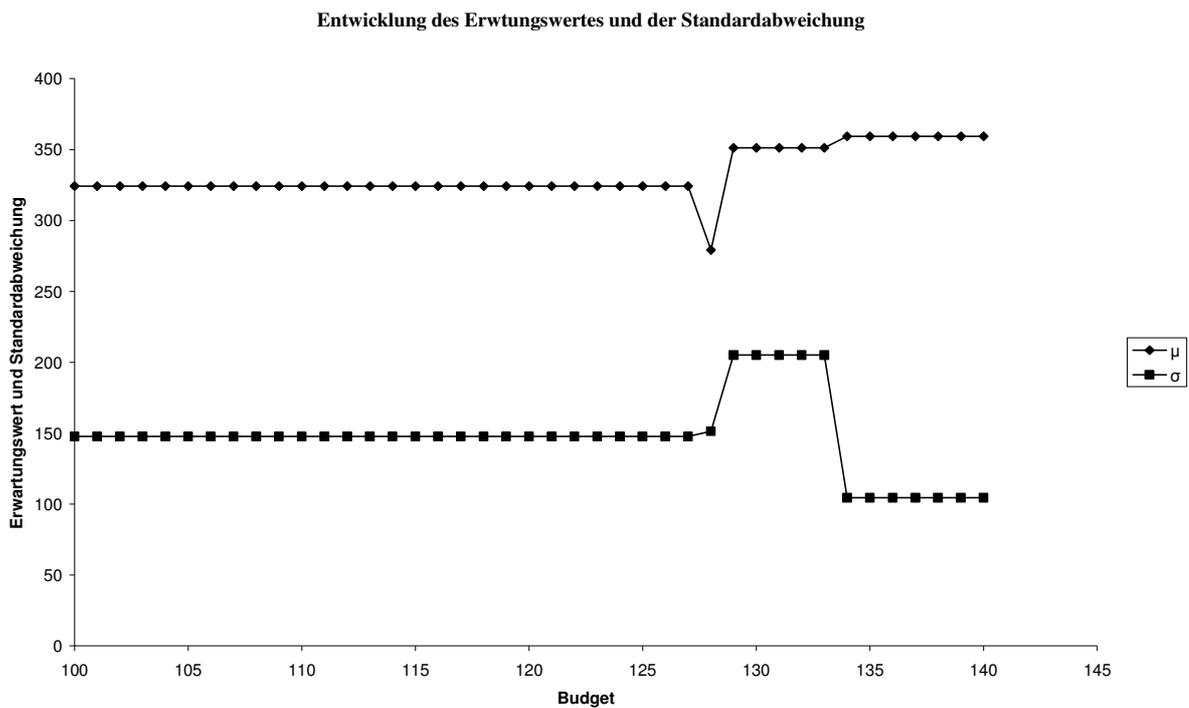
Die folgende Tabelle 5.51 zeigt die jeweiligen Ergebnisse der schrittweisen Ressourcenerhöhung für den Geldaufwand. Dieser Tabelle ist auch zu entnehmen, dass die Erhöhung insgesamt an 3 Stellen zu einer Änderung der Ergebnisse führt (diese wurden hervorgehoben).

Budget \ KZ		$\mu$	$\sigma$	CV	CCV	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )
10,00	100	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
10,10	101	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
10,20	102	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
10,30	103	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
10,40	104	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
10,50	105	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
10,60	106	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
10,70	107	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
10,80	108	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
10,90	109	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
11,00	110	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
11,10	111	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
11,20	112	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
11,30	113	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
11,40	114	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
11,50	115	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
11,60	116	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
11,70	117	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
11,80	118	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
11,90	119	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
12,00	120	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
12,10	121	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
12,20	122	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
12,30	123	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
12,40	124	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
12,50	125	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
12,60	126	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
12,70	127	324,23	147,71	347,33	206,57	398,09	250,38
12,80	128	<b>279,08</b>	<b>151,29</b>	<b>231,82</b>	<b>160,49</b>	<b>354,73</b>	<b>203,44</b>
12,90	129	<b>351,20</b>	<b>205,08</b>	<b>347,33</b>	<b>249,43</b>	<b>453,74</b>	<b>248,66</b>
13,00	130	351,20	205,08	347,33	249,43	453,74	248,66
13,10	131	351,20	205,08	347,33	249,43	453,74	248,66
13,20	132	351,20	205,08	347,33	249,43	453,74	248,66
13,30	133	351,20	205,08	347,33	249,43	453,74	248,66

13,40	134	<b>359,28</b>	<b>104,44</b>	<b>347,33</b>	<b>266,51</b>	<b>411,50</b>	<b>307,06</b>
13,50	135	359,28	104,44	347,33	266,51	411,50	307,06
13,60	136	359,28	104,44	347,33	266,51	411,50	307,06
13,70	137	359,28	104,44	347,33	266,51	411,50	307,06
13,80	138	359,28	104,44	347,33	266,51	411,50	307,06
13,90	139	359,28	104,44	347,33	266,51	411,50	307,06
14,00	140	359,28	104,44	347,33	266,51	411,50	307,06

**Tabelle 5.51 P3: Geldaufwand im Zuge der Budgeterhöhung**

Abbildung 5.44 zeigt den Verlauf des Erwartungswertes und der Standardabweichung im Rahmen der Ressourcenerhöhung. Diese zeigt, dass der Erwartungswert trotz Budgeterhöhung an einer Stelle (bei einem Budget von 128 Geldeinheiten und 12,8 Personaleinheiten) fällt.



**Abbildung 5.44 P3; Geldaufwand:  $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgeterhöhung**

In Tabelle 5.52 welche die Detailanalyse zu den Veränderungen des Erwartungswertes und der Standardabweichung zeigt, ist der 13,93%-ige Rückgang des Erwartungswertes bei einem Budget von 128 Geldeinheiten (und 12,8 Personaleinheiten) ersichtlich.

Budget (in Geldeinheiten)	$\mu$	absolute Veränderung	relative Veränderung	$\sigma$	Absolute Veränderung	relative Veränderung
127	324,23	-45,15	-13,93%	147,71	3,58	2,42%
128	279,08			151,29		
128	279,08	72,12	25,84%	151,29	53,79	35,55%
129	351,20			205,08		
133	351,20	8,08	2,30%	205,08	-100,64	-49,07%
134	359,28			104,44		

Tabelle 5.52 P3: Detailanalyse zu den  $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung

Abbildung 5.45 zeigt die Entwicklung des CV und des CCV. Auch hier ist ein starker Rückgang beider Risikokennzahlen an einer Stelle (bei einem Budget von 128 Geldeinheiten und 12,8 Personaleinheiten) erkennbar.

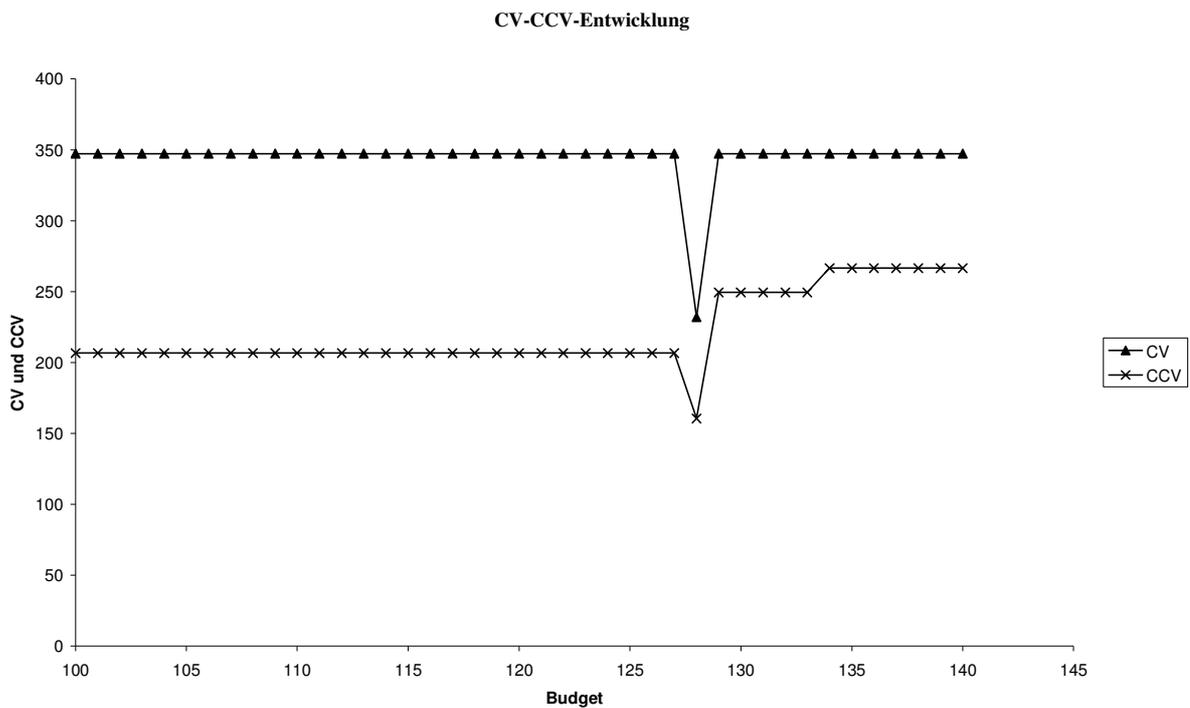


Abbildung 5.45 P3; Geldaufwand: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung

Tabelle 5.53 welche die Detailanalyse zu den Veränderungen des CV und des CCV beinhaltet, zeigt dass die betragsmäßige Senkung des CV der darauf folgenden Erhöhung entspricht.

Budget (in Geldeinheiten)	CV	absolute Veränderung	relative Veränderung	CCV	absolute Veränderung	Relative Veränderung
127	347,33	-115,51	-33,26%	206,57	-46,08	-22,31%
128	231,82			160,49		
128	231,82	115,51	49,83%	160,49	88,94	55,42%
129	347,33			249,43		
133	347,33	0,00	0,00%	249,43	17,08	6,85%
134	347,33			266,51		

Tabelle 5.53 P3 Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung

Abbildung 5.46 zeigt den Verlauf des Nutzens bei einem Risikoaversionsgrad von  $a_1$  und  $a_2$  im Zuge der Budgeterhöhung.

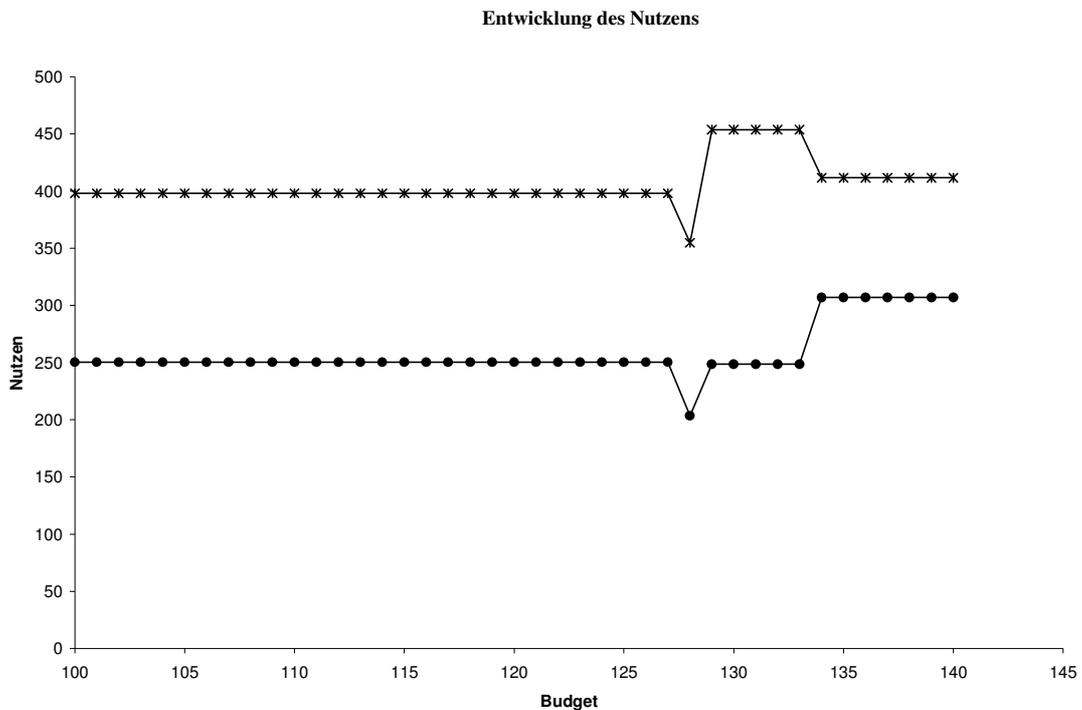


Abbildung 5.46 P3; Geldaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgeterhöhung

Tabelle 5.54 beinhaltet die Detailanalyse zu den Veränderungen des Nutzens.

Budget (in Geldeinheiten)	$a_1$	absolute Veränderung	relative Veränderung	$a_2$	absolute Veränderung	relative Veränderung
127	398,09	-43,36	-10,89%	250,38	-46,94	-18,75%
128	354,73			203,44		
128	354,73	99,01	27,91%	203,44	45,22	22,23%
129	453,74			453,74		
133	453,74	-42,24	-9,31%	248,66	58,4	23,49%
134	411,50			307,06		

Tabelle 5.54 P3: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgetsenkung

### Personalaufwand

Die hier angeführte Tabelle 5.55 präsentiert die einzelnen Ergebnisse der schrittweisen Budgeterhöhung, diese führt an 3 Stellen zu Veränderungen der Ergebnisse führt (welche hervorgehoben sind).

Budget \ KZ		$\mu$	$\sigma$	CV	CCV	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )
10,00	100	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
10,10	101	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
10,20	102	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
10,30	103	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
10,40	104	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
10,50	105	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
10,60	106	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
10,70	107	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
10,80	108	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
10,90	109	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
11,00	110	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
11,10	111	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
11,20	112	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
11,30	113	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
11,40	114	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
11,50	115	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
11,60	116	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
11,70	117	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
11,80	118	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
11,90	119	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80

12,00	120	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
12,10	121	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
12,20	122	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
12,30	123	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
12,40	124	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
12,50	125	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
12,60	126	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
12,70	127	36,03	16,46	43,00	24,01	44,26	27,80
12,80	128	<b>30,84</b>	<b>19,20</b>	<b>31,07</b>	<b>18,15</b>	<b>40,44</b>	<b>21,24</b>
12,90	129	<b>36,73</b>	<b>15,73</b>	<b>43,00</b>	<b>25,16</b>	<b>44,60</b>	<b>28,87</b>
13,00	130	36,73	15,73	43,00	25,16	44,60	28,87
13,10	131	36,73	15,73	43,00	25,16	44,60	28,87
13,20	132	36,73	15,73	43,00	25,16	44,60	28,87
13,30	133	36,73	15,73	43,00	25,16	44,60	28,87
13,40	134	<b>38,84</b>	<b>14,19</b>	<b>43,00</b>	<b>28,17</b>	<b>45,94</b>	<b>31,75</b>
13,50	135	38,84	14,19	43,00	28,17	45,94	31,75
13,60	136	38,84	14,19	43,00	28,17	45,94	31,75
13,70	137	38,84	14,19	43,00	28,17	45,94	31,75
13,80	138	38,84	14,19	43,00	28,17	45,94	31,75
13,90	139	38,84	14,19	43,00	28,17	45,94	31,75
14,00	140	38,84	14,19	43,00	28,17	45,94	31,75

**Tabelle 5.55 P3: Personalaufwand im Zuge der Budgeterhöhung**

Abbildung 5.47 zeigt den Verlauf des Erwartungswertes und der Standardabweichung im Zuge der Ressourcenerhöhung. Wie auch beim Geldaufwand sinkt der Erwartungswert kurzweilig bei einem Budget von 128 Geldeinheiten (und 12,8 Personaleinheiten) trotz erhöhtem Budget.

Entwicklung des Erwartungswertes und der Standardabweichung

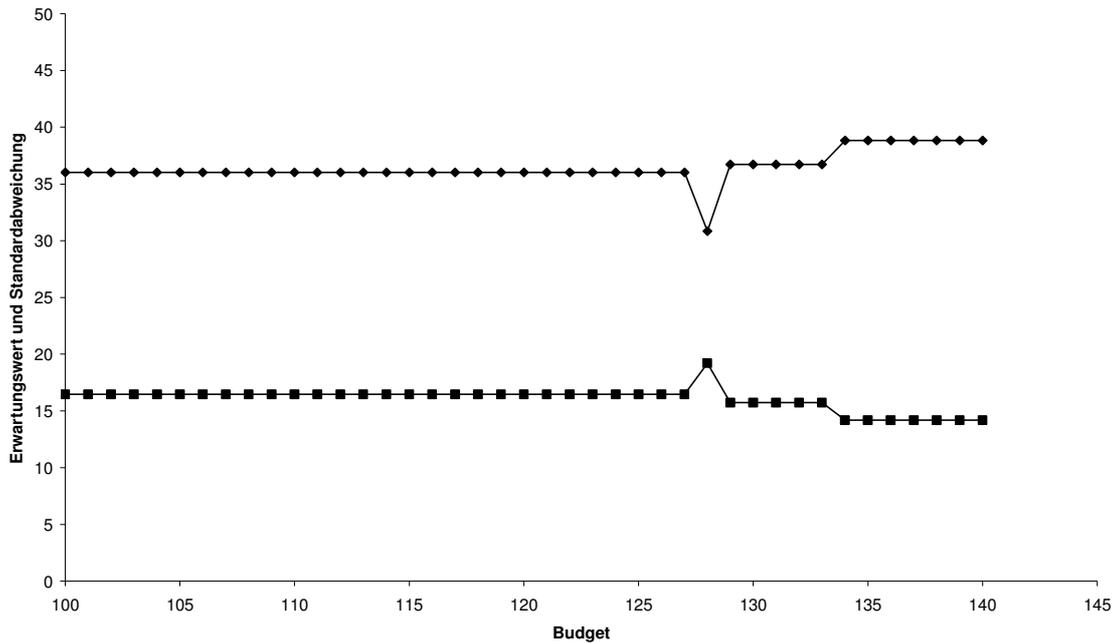


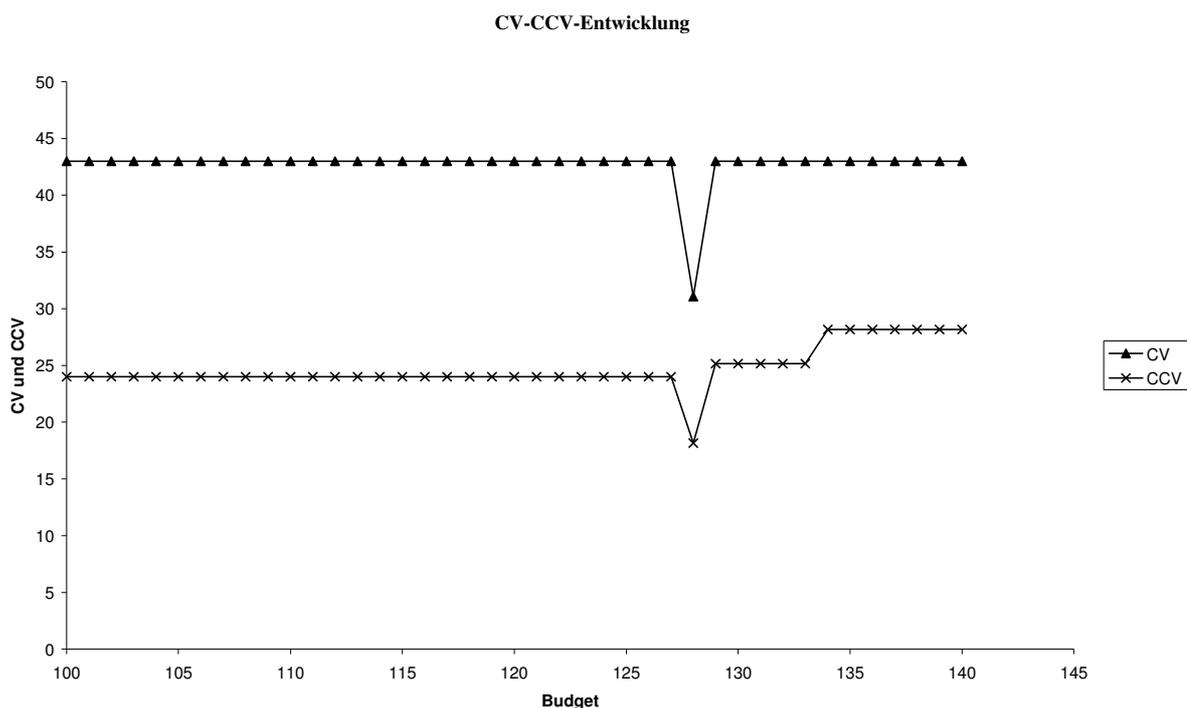
Abbildung 5.47 P3; Personalaufwand:  $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgeterhöhung

Tabelle 5.56 beinhaltet die Detailanalyse zu den Veränderungen des Erwartungswertes und der Standardabweichung. Hier ist ersichtlich, dass der anfängliche Rückgang des Erwartungswertes der darauf folgenden Erhöhung im Wesentlichen entspricht.

Budget (in Geldeinheiten)	$\mu$	absolute Veränderung	relative Veränderung	$\sigma$	absolute Veränderung	Relative Veränderung
127	36,03	-5,19	-14,40%	16,46	2,74	16,65%
128	30,84			19,20		
128	30,84	5,89	19,10%	19,20	-3,47	-18,07%
129	36,73			15,73		
133	36,73	2,11	0,00%	15,73	-1,54	-9,79%
134	38,84			14,19		

Tabelle 5.56 P3: Detailanalyse zu den  $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung

Abbildung 5.48 zeigt den Verlauf des CV und des CCV im Zuge der Ressourcenerhöhung. Beide Risikokennzahlen sinken stark bei einem Budget von 128 Geldeinheiten (12,8 Personaleinheiten).



**Abbildung 5.48 P3; Personalaufwand: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung**

Tabelle 5.57 zeigt die Veränderungen des CV und des CCV. Wie auch beim Geldaufwand entspricht der betragsmäßige Rückgang des CV dem darauf folgenden Anstieg.

Budget (in Geldeinheiten)	CV	absolute Veränderung	relative Veränderung	CCV	absolute Veränderung	Relative Veränderung
127	43,00	-11,93	-27,74%	24,01	-5,86	-24,41%
128	31,07			18,15		
128	31,07	11,93	38,40%	18,15	7,01	38,62%
129	43,00			25,16		
133	43,00	0,00	0,00%	25,16	3,01	11,96%
134	43,00			28,17		

**Tabelle 5.57 P3 Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung**

Abbildung 5.49 zeigt die Entwicklung des Nutzens im Rahmen der Budgeterhöhung.

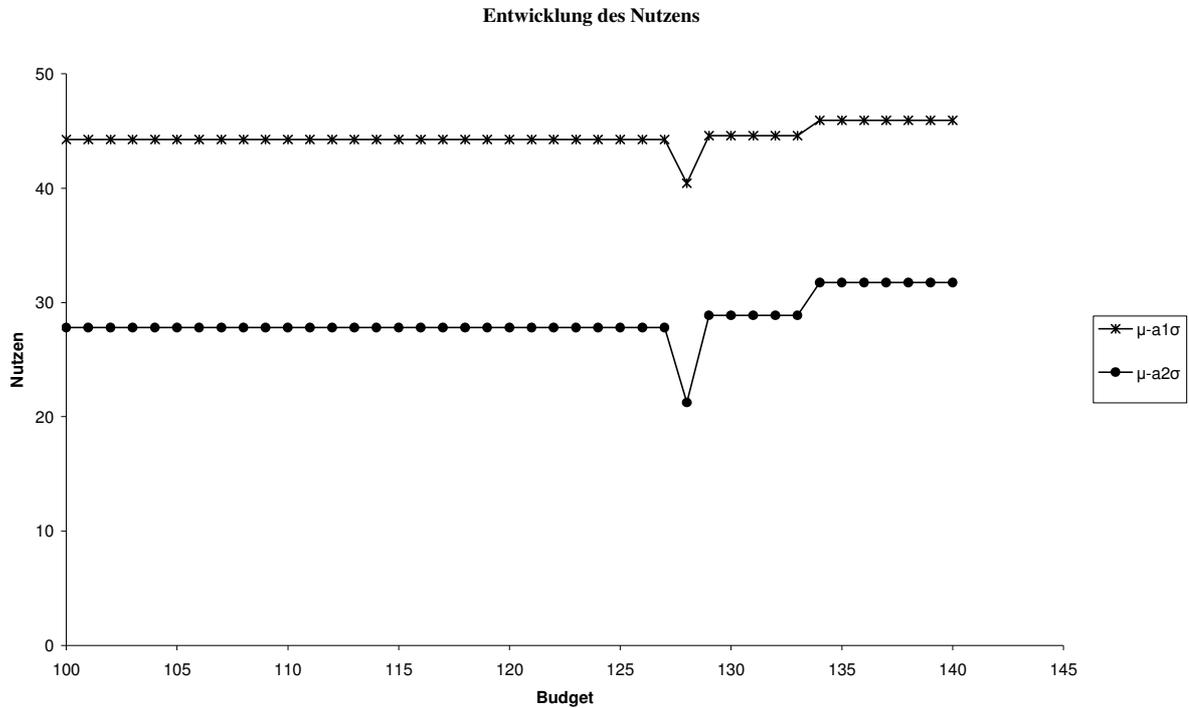


Abbildung 5.49 P3; Personalaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgeterhöhung

Tabelle 5.58 zeigt die Veränderungen des Nutzens für die hier herangezogenen Risikoaversionsgrade  $a_1$  und  $a_2$ .

Budget (in Geldeinheiten)	$a_1$	absolute Veränderung	relative Veränderung	$a_2$	absolute Veränderung	relative Veränderung
127	44,26	-3,82	-8,63%	27,80	-6,56	-23,60%
128	40,44			21,24		
128	40,44	4,16	10,29%	21,24	7,63	35,92%
129	44,60			28,87		
133	44,60	1,34	3,00%	28,87	2,88	9,98%
134	45,94			31,75		

Tabelle 5.58 P3: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgetsenkung

## Ertrag

Die folgende Tabelle 5.59 zeigt die ermittelten Ergebnisse der inkrementellen Ressourcenerhöhung welche an 3 Stellen zu einer Veränderung der Ergebnisse führt.

Budget \ KZ		$\mu$	$\sigma$	CV	CCV	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )
10,00	100	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
10,10	101	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
10,20	102	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
10,30	103	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
10,40	104	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
10,50	105	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
10,60	106	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
10,70	107	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
10,80	108	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
10,90	109	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
11,00	110	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
11,10	111	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
11,20	112	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
11,30	113	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
11,40	114	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
11,50	115	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
11,60	116	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
11,70	117	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
11,80	118	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
11,90	119	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
12,00	120	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
12,10	121	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
12,20	122	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
12,30	123	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
12,40	124	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
12,50	125	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
12,60	126	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
12,70	127	660,30	101,37	648,00	602,13	710,99	609,62
12,80	128	<b>556,92</b>	<b>217,12</b>	<b>654,68</b>	<b>494,75</b>	<b>665,48</b>	<b>448,36</b>
12,90	129	<b>713,30</b>	<b>108,58</b>	<b>648,00</b>	<b>625,94</b>	<b>767,59</b>	<b>659,01</b>
13,00	130	713,30	108,58	648,00	625,94	767,59	659,01
13,10	131	713,30	108,58	648,00	625,94	767,59	659,01
13,20	132	713,30	108,58	648,00	625,94	767,59	659,01
13,30	133	713,30	108,58	648,00	625,94	767,59	659,01
13,40	134	<b>720,22</b>	<b>112,36</b>	<b>654,68</b>	<b>629,33</b>	<b>776,40</b>	<b>664,04</b>
13,50	135	720,22	112,36	654,68	629,33	776,40	664,04

13,60	136	720,22	112,36	654,68	629,33	776,40	664,04
13,70	137	720,22	112,36	654,68	629,33	776,40	664,04
13,80	138	720,22	112,36	654,68	629,33	776,40	664,04
13,90	139	720,22	112,36	654,68	629,33	776,40	664,04
14,00	140	720,22	112,36	654,68	629,33	776,40	664,04

Tabelle 5.59 P3: Ertrag im Zuge der Budgeterhöhung

Abbildung 5.50 zeigt die Entwicklung des Erwartungswertes und der Standardabweichung im Rahmen der Ressourcenerhöhung. Wie auch im Bereich des Geldaufwands und des Personalaufwands, sinkt der Erwartungswert bei einem Budget von 128 Geldeinheiten (und 12,8 Personaleinheiten).

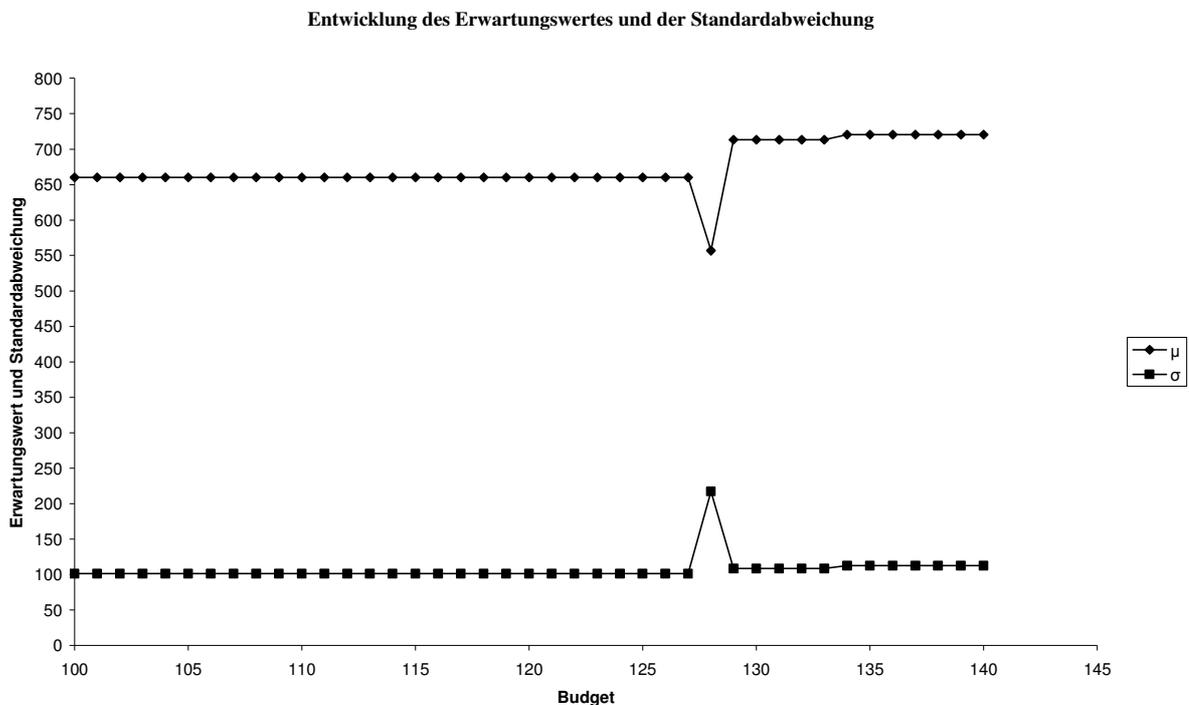


Abbildung 5.50 P3; Personalaufwand:  $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgeterhöhung

Tabelle 5.60 zeigt die Detailanalyse zu den Veränderungen des Erwartungswertes und der Standardabweichung.

Budget (in Geldeinheiten)	$\mu$	Absolute Veränderung	relative Veränderung	$\sigma$	absolute Veränderung	relative Veränderung
127	660,30	-103,38	-15,66%	101,37	115,75	114,19%
128	556,92			217,12		
128	556,92	156,38	28,08%	217,12	-108,54	-49,99%
129	713,30			108,58		
133	713,30	6,92	0,97%	108,58	3,78	3,48%
134	720,22			112,36		

Tabelle 5.60 P3: Detailanalyse zu den  $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung

Abbildung 5.51 zeigt den Verlauf des CV und des CCV im Zuge der Budgeterhöhung. Im Vergleich zum Geldaufwand und zum Personalaufwand steigt der CV bei einem Budget von 128 Geldeinheiten (12,8 Personaleinheiten).

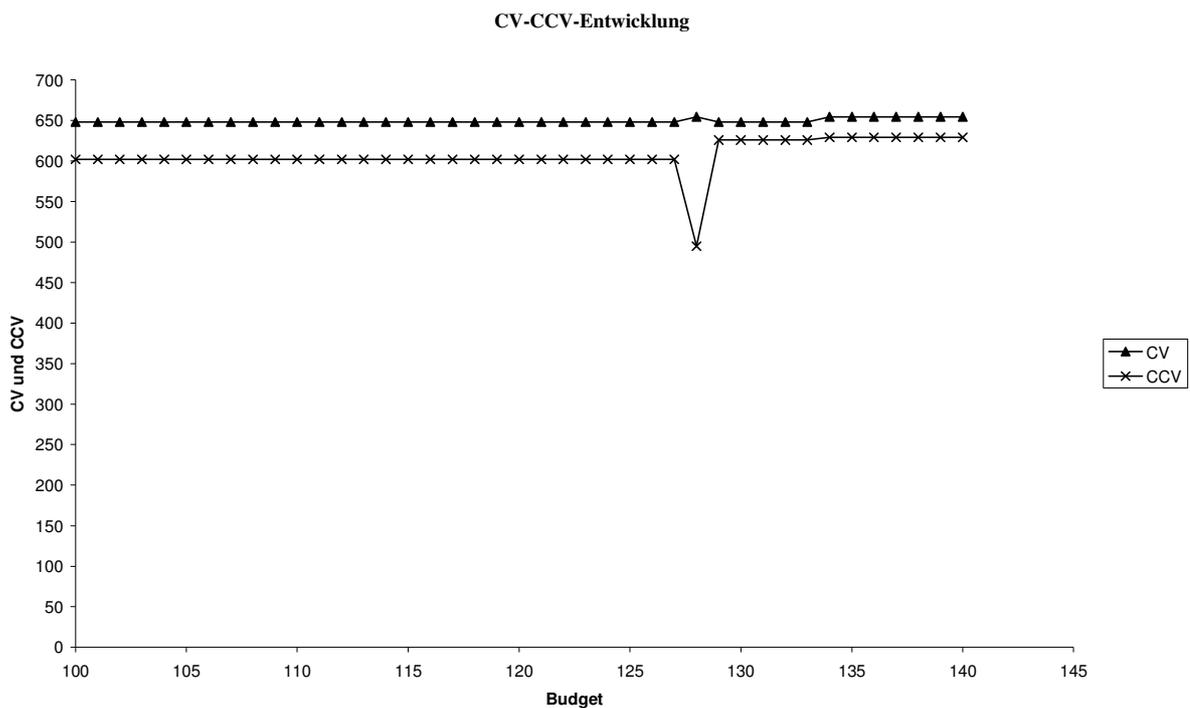


Abbildung 5.51 P3; Personalaufwand: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung

Tabelle 5.61 zeigt die Detailanalyse der Veränderungen des CV und des CCV. Hier ist ersichtlich, dass sämtliche Veränderungen des CV betragsmäßig identisch sind.

Budget (in Geldeinheiten)	CV	Absolute Veränderung	relative Veränderung	CCV	absolute Veränderung	relative Veränderung
127	648,00	6,68	1,03%	602,13	-107,38	-17,83%
128	654,68			494,75		
128	654,68	-6,68	-1,02%	494,75	131,19	26,52%
129	648,00			625,94		
133	648,00	6,68	1,03%	625,94	3,39	0,54%
134	654,68			629,33		

Tabelle 5.61 P3 Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung

Abbildung 5.52 zeigt den Verlauf des Nutzens im Zuge der schrittweisen Ressourcenerhöhung.

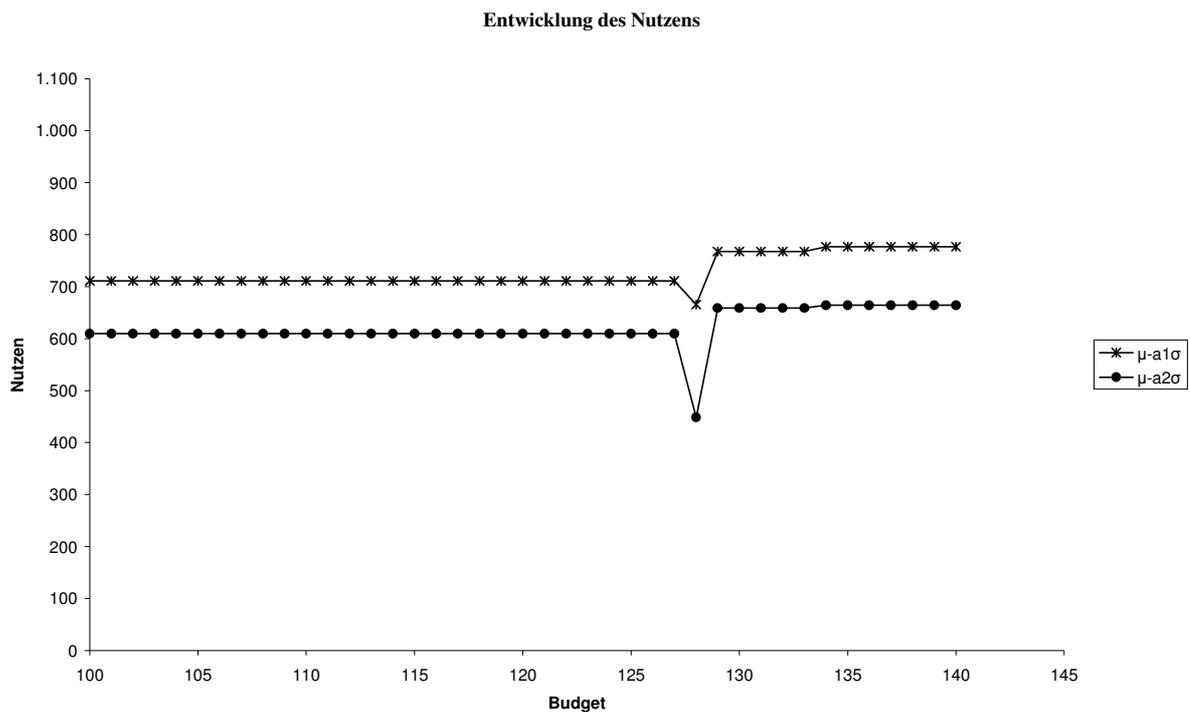


Abbildung 5.52 P3; Personalaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgeterhöhung

Tabelle 5.62 beinhaltet die Detailanalyse zu den Veränderungen des Nutzens bei einem Risikoaversionsgrad von  $a_1$  und  $a_2$ .

Budget (in Geldeinheiten)	$a_1$	absolute Veränderung	relative Veränderung	$a_2$	absolute Veränderung	relative Veränderung
127	710,99	-45,51	-6,40%	609,62	-161,26	-26,45%
128	665,48			448,36		
128	665,48	102,11	15,34%	448,36	210,65	46,98%
129	767,59			659,01		
133	767,59	8,81	1,15%	659,01	5,03	0,76%
134	776,40			664,04		

Tabelle 5.62 P3: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgeterhöhung

### 5.3.6 Abschließende Feststellungen

Die schrittweise Budgeterhöhung führt in allen Kategorien (Aufwand und Ertrag), bei einem Budget von 128 Geldeinheiten und 12,8 Personaleinheiten, zu einer Senkung der Erwartungswerte. Dieser Systemfehler des Milp 2.0 (in den Berechnungen) verdeutlicht sich bei Betrachtung der Gesamtveränderungen aller CVs. Die kurzweilige Senkung aller CVs entspricht betragsmäßig der darauf folgenden Erhöhung (bei einem Budget von 128 Geldeinheiten und 12,8 Personaleinheiten).

Bei Außerachtlassung dieses Programmfehlers ist bei Betrachtung der prozentuellen Gesamtveränderungen der einzelnen Erwartungswerte ersichtlich, dass alle Kategorien einen ähnlichen Anstieg verzeichnen. Der Erwartungswert des Geldaufwands, hat (mit rd. 10,81%) knapp gefolgt von dem des Ertrags (mit rd. 9,07%) und dem des Personalaufwands (mit rd. 7,80%), den stärksten Anstieg. Die Nähere Betrachtung der Gesamtentwicklung der einzelnen Standardabweichungen verdeutlicht, dass die Budgeterhöhung einzig beim Ertrag zu einer Erhöhung der Volatilität (mit rd. 10,84%) führt. Im Vergleich hierzu führt die Ressourcenerhöhung bei der Standardabweichung zu einer Gesamtsenkung von rd. -29,29% beim Geldaufwand und beim Personalaufwand zu einer Gesamtverringerng in Höhe von rd. 13,79%.

Unter Außerachtlassung des Systemfehlers reagiert einzig der CV des Ertrags auf die Budgeterhöhung (mit einem inkrementellen Anstieg von rd. 1,03%). Im Bereich der CCVs hat der des Geldaufwands den stärksten Gesamtanstieg (mit rd. 29,02%).

Der prozentuelle Gesamtanstieg des CCV des Personalaufwands beläuft sich auf rd. 17,33% wobei der des Ertrags mit rd. 4,52% am schwächsten reagiert.

Die Gesamtbetrachtung der Nutzenentwicklungen zeigt, dass der Nutzen bei einem Risikoaversionsgrad von  $a_2$  beim Geldaufwand (mit rd. 22,56%) im Vergleich zu dem des Personalaufwands (mit rd. 14,21%) den stärksten Anstieg aufweist.

#### 5.4 Projekt 4 (P4)

Bei diesem Projekt wurden die in Tabelle 5.63 dargestellten Knotentypen miteinander verknüpft.

<b>Knotentyp</b>	<b>Anzahl</b>
<b>Typ 0</b>	1
<b>Typ 1</b>	3
<b>Typ 2</b>	4
<b>Typ 3</b>	3
<b>Typ 4</b>	14

**Tabelle 5.63: Einbezogene Knotenarten des P4**

Die aus dem Programm MILP-Heid. Version 2 entnommene Abbildung 5.53 zeigt den stochastischen Entscheidungsbaum von Projekt 4.

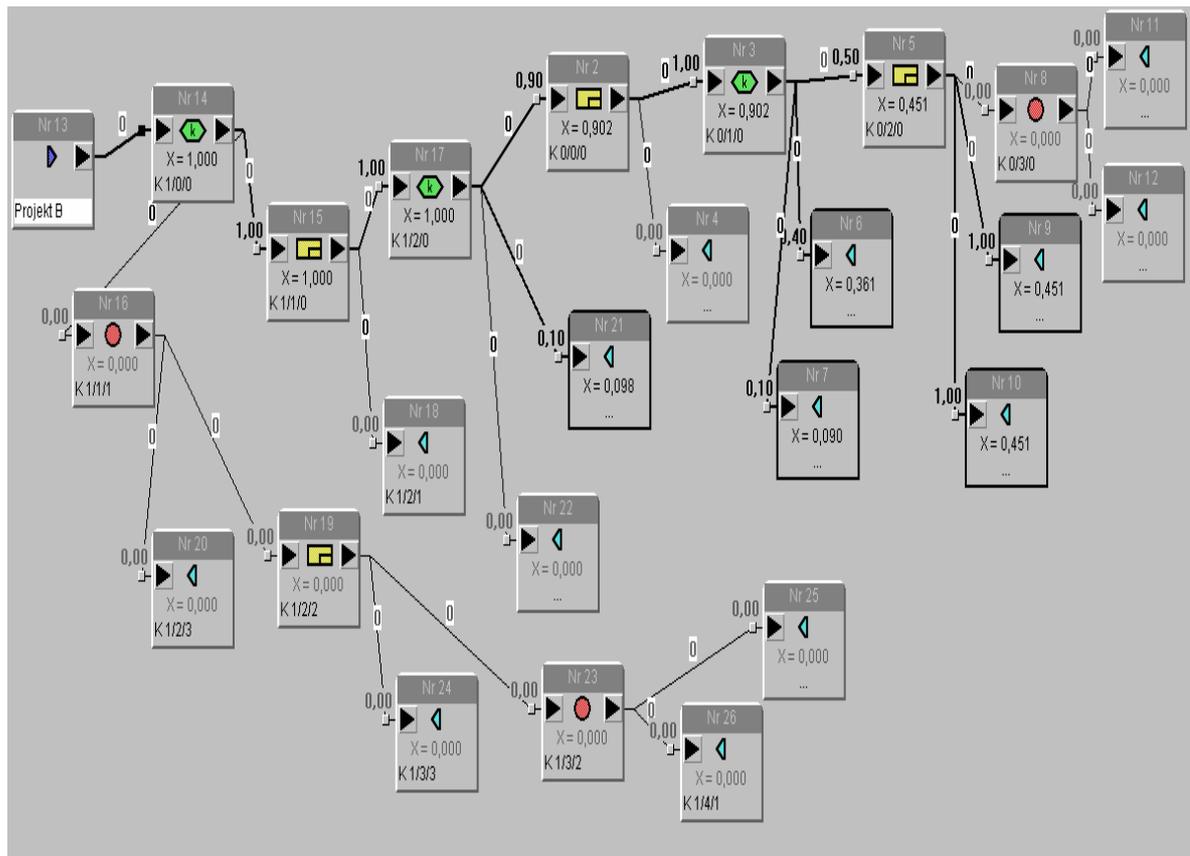


Abbildung 5.53: Stochastischer Entscheidungsbaum des P4

### 5.4.1 Die festgelegten Ressourcen und Erträge

Auch hier wurden die beiden Ressourcen Geldeinheiten und Personaleinheiten gewählt, wobei die zur Verfügung stehenden Geldeinheiten mit 1 gewichtet wurden. Die Anfangsbudgetbeschränkung von der aus die Sensitivitätsanalyse erfolgte, besteht aus 100 Geldeinheiten und 10 Personaleinheiten.

### 5.4.2 3. Visualisierung der Stützkurven

In diesem Projekt wurden insgesamt 24 Stützkurven konstruiert, wobei im Vergleich zu den bisherigen Projekten unterschiedliche Kurvenverläufe festgelegt wurden. In den Projekten 1, 2 und 3 wurden für alle von den insgesamt 3 Typ 3 bzw. Typ +3 ausgehenden Folgeverbindungen ähnliche Verläufe gewählt (mit schwachem, radikalem und linearem

Anstieg). In Projekt 4 erfolgte eine willkürliche Gestaltung der Stützkurven, sodass alle bisherigen Kurvenverläufe in einem Projekt zusammengefasst wurden. Da die grafischen Darstellungen der einzelnen Kurven den bisher gezeigten stark ähneln, soll auf die bisherigen Abbildungen verwiesen werden. Des Weiteren wurden für einige Folgeverbindungen keine Ertrags-Stützkurven konstruiert, was zur Folge hat, dass das Erreichen dieser Verbindungen nur mit Kosten (bzw. Aufwendungen) verbunden ist.

### 5.4.3 Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse bei einer inkrementellen Budgetverringering

Die inkrementelle Budgetverringering erfolgte in Form einer schrittweisen Ressourcensenkung um 1%. Ausgangspunkt ist das Anfangsbudget von 100 Geldeinheiten und 10 Personaleinheiten, wobei die Untergrenze für die inkrementelle Senkung bei 60 Geldeinheiten und 6 Personaleinheiten liegt. Die Folgen wurden wie auch zuvor, anhand des Erwartungswerts, der Volatilität, den Risikokennzahlen und des Nutzens gemessen. Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass die Projektverteilung schon auf leichte Budgetänderungen reagiert. Im Folgenden werden die einzelnen Ergebnisse für den Geldaufwand, den Personalaufwand und den Ertrag dargestellt.

#### Geldaufwand

Die folgende Tabelle 5.64 zeigt anhand der jeweiligen Ergebnisse welche Folgen die Budgetsenkung auf die Projektverteilung hat. In dieser Tabelle ist ersichtlich, dass jede Senkung zu einer Veränderung der Ergebnisse führt.

<i>Budget</i>		<i>KZ</i>					
		$\mu$	$\sigma$	<i>CV</i>	<i>CCV</i>	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )
<i>Personal</i>	<i>Geld</i>						
10,00	100	103	53,62	144,00	81,76	129,81	76,19
9,90	99	102	53,77	144,00	80,90	128,89	75,12
9,80	98	101	53,84	144,00	79,97	127,92	74,08

9,70	97	100	53,91	144,00	79,19	126,96	73,05
9,60	96	99	52,41	144,00	69,36	125,21	72,80
9,50	95	98	52,22	51,00	46,20	124,11	71,89
9,40	94	97	51,13	51,00	46,20	122,56	71,43
9,30	93	96	50,01	132,00	47,22	121,01	71,00
9,20	92	95	51,19	144,00	77,33	120,60	69,41
9,10	91	94	48,16	132,00	64,01	118,08	69,92
9,00	90	93	53,06	51,00	40,01	119,53	66,47
8,90	89	92	53,22	132,00	51,62	118,61	65,39
8,80	88	91	52,30	132,00	59,48	117,15	64,85
8,70	87	90	51,35	132,00	65,85	115,68	64,33
8,60	86	89	50,35	128,00	47,09	114,18	63,83
8,50	85	88	27,83	51,00	49,53	101,92	74,09
8,40	84	87	28,35	51,00	49,08	101,18	72,83
8,30	83	86	28,79	51,00	48,70	100,40	71,61
8,20	82	85	28,74	51,00	48,33	99,37	70,63
8,10	81	84	29,58	51,00	48,00	98,79	69,21
8,00	80	83	29,90	51,00	47,70	97,95	68,05
7,90	79	82	30,21	51,00	47,39	97,11	66,90
7,80	78	81	30,47	51,00	47,13	96,24	65,77
7,70	77	80	30,71	51,00	48,86	95,36	64,65
7,60	76	79	30,89	51,00	46,63	94,45	63,56
7,50	75	78	31,06	51,00	46,39	93,53	62,47
7,40	74	77	31,28	51,00	46,01	92,64	61,36
7,30	73	76	32,28	51,00	43,99	92,14	59,86
7,20	72	75	33,20	51,00	42,00	91,60	58,40
7,10	71	74	34,08	51,00	40,01	91,04	56,96
7,00	70	73	34,70	38,98	38,66	90,35	55,65
6,90	69	72	35,06	38,94	38,01	89,53	54,47
6,80	68	71	35,39	38,89	37,38	88,70	53,31
6,70	67	70	35,69	38,85	36,78	87,85	52,16
6,60	66	69	35,98	38,80	36,16	86,99	51,01
6,50	65	68	36,18	38,75	35,59	86,09	49,91
6,40	64	67	36,37	38,70	35,05	85,19	48,82
6,30	63	66	36,54	38,64	34,53	84,27	47,73
6,20	62	65	36,69	38,59	34,02	83,35	46,66
6,10	61	64	36,80	38,53	33,53	82,40	45,60
6,00	60	63	36,87	38,46	33,06	81,44	44,57

**Tabelle 5.64 P4: Geldaufwand im Zuge der Budgeterhöhung**

Abbildung 5.54 zeigt die Entwicklung des Erwartungswertes und der Standardabweichung im Rahmen der Ressourcensenkung. In dieser Abbildung ist der lineare Verlauf des Erwartungswertes ersichtlich. Des Weiteren ist der starke Rückgang der Standardabweichung bei einem Budget von 85 Geldeinheiten (und 8,5 Personaleinheiten) ersichtlich.

Entwicklung des Erwartungswertes und der Standardabweichung

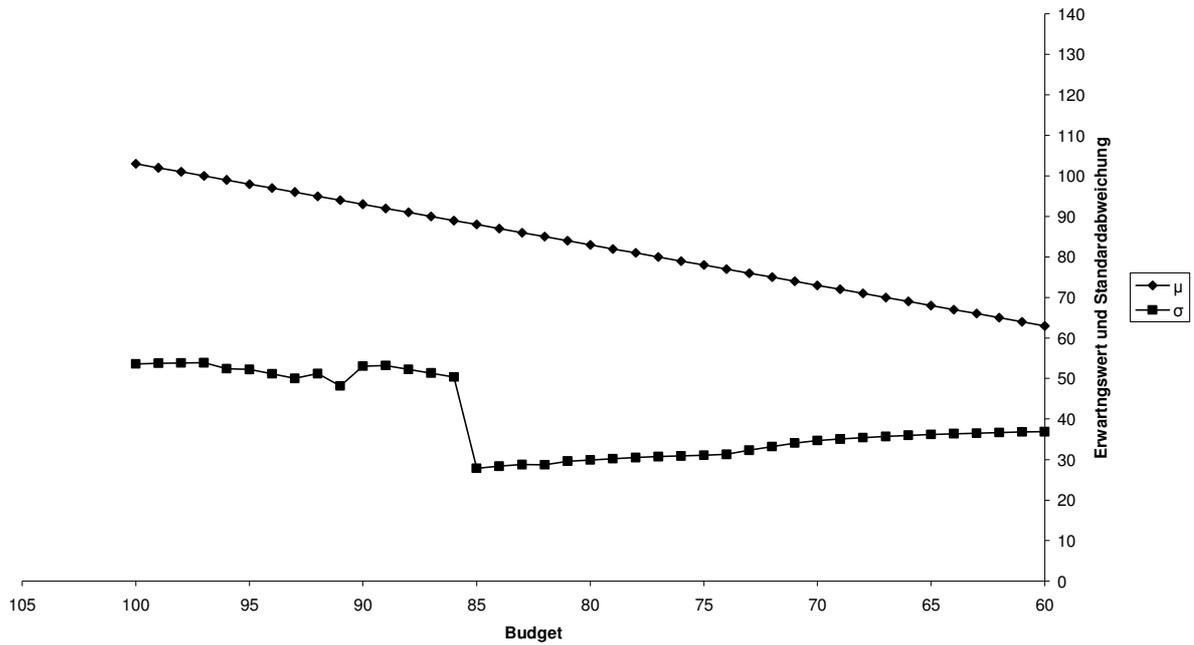


Abbildung 5.54 P4; Geldaufwand:  $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgetverringerung

Tabelle 5.65 beinhaltet die Detailanalyse zu den Veränderungen des Erwartungswertes und der Standardabweichung.

Budget (in Geldeinheiten)	$\mu$	absolute Veränderung	relative Veränderung	$\sigma$	absolute Veränderung	Relative Veränderung
100	103	0,00	0,00%	53,62	0,00	0,00%
99	102	-1	-0,97%	53,77	0,15	0,28%
98	101	-1	-0,98%	53,84	0,07	0,13%
97	100	-1	-0,99%	53,91	0,07	0,13%
96	99	-1	-1,00%	52,41	-1,50	-2,78%
95	98	-1	-1,01%	52,22	-0,19	-0,36%
94	97	-1	-1,02%	51,13	-1,09	-2,09%
93	96	-1	-1,03%	50,01	-1,12	-2,19%
92	95	-1	-1,04%	51,19	1,18	2,36%
91	94	-1	-1,06%	48,16	-3,03	-5,92%
90	93	-1	-1,06%	53,06	4,90	10,17%
89	92	-1	-1,08%	53,22	0,16	0,30%
88	91	-1	-1,09%	52,30	-0,92	-1,73%
87	90	-1	-1,10%	51,35	-0,95	-1,82%
86	89	-1	-1,11%	50,35	-1,00	-1,95%
85	88	-1	-1,12%	27,83	-22,52	-44,73%

84	87	-1	-1,14%	28,35	0,52	1,87%
83	86	-1	-1,15%	28,79	0,44	1,55%
82	85	-1	-1,16%	28,74	-0,05	-0,17%
81	84	-1	-1,18%	29,58	0,84	2,92%
80	83	-1	-1,19%	29,90	0,32	1,08%
79	82	-1	-1,20%	30,21	0,31	1,04%
78	81	-1	-1,22%	30,47	0,26	0,86%
77	80	-1	-1,23%	30,71	0,24	0,79%
76	79	-1	-1,25%	30,89	0,18	0,59%
75	78	-1	-1,27%	31,06	0,17	0,55%
74	77	-1	-1,28%	31,28	0,22	0,71%
73	76	-1	-1,30%	32,28	1,00	3,20%
72	75	-1	-1,32%	33,20	0,92	2,85%
71	74	-1	-1,33%	34,08	0,88	2,65%
70	73	-1	-1,35%	34,70	0,62	1,82%
69	72	-1	-1,37%	35,06	0,36	1,04%
68	71	-1	-1,39%	35,39	0,33	0,94%
67	70	-1	-1,41%	35,69	0,30	0,85%
66	69	-1	-1,43%	35,98	0,29	0,81%
65	68	-1	-1,45%	36,18	0,20	0,56%
64	67	-1	-1,47%	36,37	0,19	0,53%
63	66	-1	-1,49%	36,54	0,17	0,47%
62	65	-1	-1,52%	36,69	0,15	0,41%
61	64	-1	-1,54%	36,80	0,11	0,30%
60	63	-1	-1,56%	36,87	0,07	0,19%

**Tabelle 5.65 P4: Detailanalyse zu den  $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung**

Abbildung 5.55 stellt die Entwicklung des CV und des CCV im Rahmen der Budgetsenkung dar. Hier ist der sprunghafte Verlauf beider Risikokennzahlen ersichtlich, wobei der CCV immer unter dem CV liegt.

### CV-CCV-Entwicklung

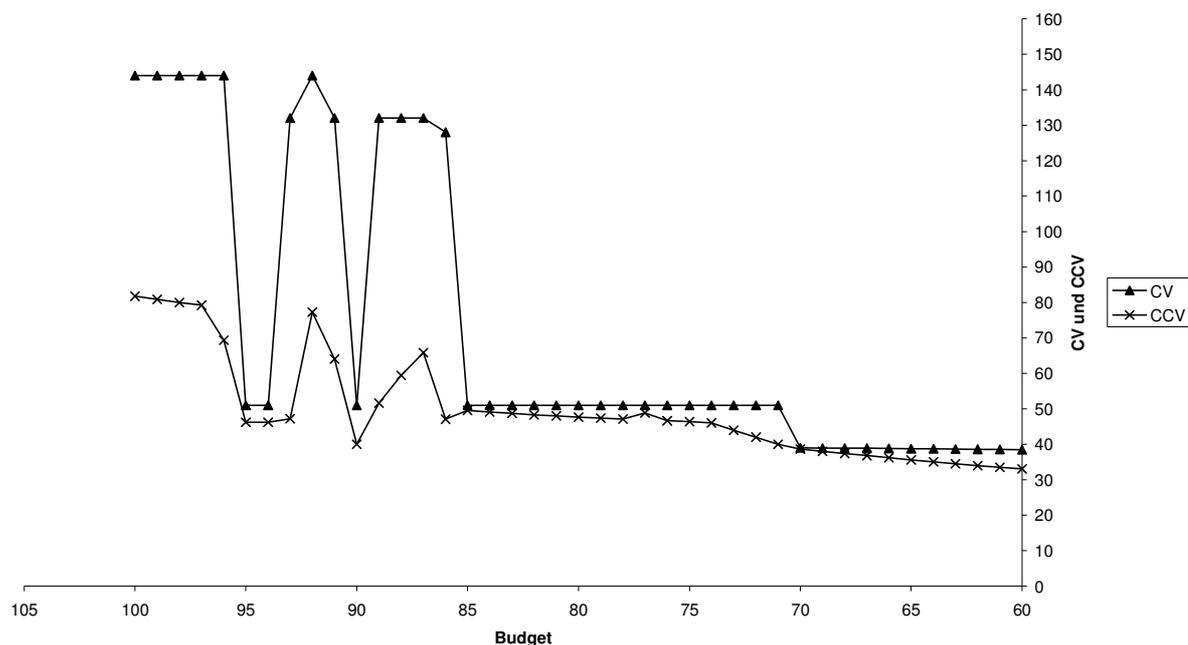


Abbildung 5.55 P4; Geldaufwand: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung

Tabelle 5.66 zeigt die Veränderungen des CV und des CCV im Zuge der Ressourcenverringernung.

Budget (in Geldeinheiten)	CV	Absolute Veränderung	Relative Veränderung	CCV	absolute Veränderung	relative Veränderung
100	144,00	0,00	0,00%	81,76	0,00	0,00
99	144,00	0,00	0,00%	80,90	-0,86	-1,05%
98	144,00	0,00	0,00%	79,97	-0,93	-1,15%
97	144,00	0,00	0,00%	79,19	-0,78	-0,98%
96	144,00	0,00	0,00%	69,36	-9,83	-12,41%
95	51,00	-93,00	-64,58%	46,20	-23,16	-33,39%
94	51,00	0,00	0,00%	46,20	0,00	0,00%
93	132,00	81,00	158,82%	47,22	1,02	2,21%
92	144,00	12,00	9,09%	77,33	30,11	63,77%
91	132,00	-12,00	-8,33%	64,01	-13,32	-17,22%
90	51,00	-81,00	-61,36%	40,01	-24,00	-37,49%
89	132,00	81,00	158,82%	51,62	11,61	29,02%
88	132,00	0,00	0,00%	59,48	7,86	15,23%
87	132,00	0,00	0,00%	65,85	6,37	10,71%
86	128,00	-4,00	-3,03%	47,09	-18,76	-28,49%
85	51,00	-77,00	-60,16%	49,53	2,44	5,18%

84	51,00	0,00	0,00%	49,08	-0,45	-0,91%
83	51,00	0,00	0,00%	48,70	-0,38	-0,77%
82	51,00	0,00	0,00%	48,33	-0,37	-0,76%
81	51,00	0,00	0,00%	48,00	-0,33	-0,68%
80	51,00	0,00	0,00%	47,70	-0,30	-0,62%
79	51,00	0,00	0,00%	47,39	-0,31	-0,65%
78	51,00	0,00	0,00%	47,13	-0,26	-0,55%
77	51,00	0,00	0,00%	48,86	1,73	3,67%
76	51,00	0,00	0,00%	46,63	-2,23	-4,56%
75	51,00	0,00	0,00%	46,39	-0,24	-0,51%
74	51,00	0,00	0,00%	46,01	-0,38	-0,82%
73	51,00	0,00	0,00%	43,99	-2,02	-4,39%
72	51,00	0,00	0,00%	42,00	-1,99	-4,52%
71	51,00	0,00	0,00%	40,01	-1,99	-4,74%
70	38,98	-12,02	-23,57%	38,66	-1,35	-3,37%
69	38,94	-0,04	-0,10%	38,01	-0,65	-1,68%
68	38,89	-0,05	-0,13%	37,38	-0,63	-1,66%
67	38,85	-0,04	-0,10%	36,78	-0,60	-1,61%
66	38,80	-0,05	-0,13%	36,16	-0,62	-1,69%
65	38,75	-0,05	-0,13%	35,59	-0,57	-1,58%
64	38,70	-0,05	-0,13%	35,05	-0,54	-1,52%
63	38,64	-0,06	-0,16%	34,53	-0,52	-1,48%
62	38,59	-0,05	-0,13%	34,02	-0,51	-1,48%
61	38,53	-0,06	-0,16%	33,53	-0,49	-1,44%
60	38,46	-0,07	-0,18%	33,06	-0,47	-1,40%

**Tabelle 5.66 P4 Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung**

Abbildung 5.56 zeigt den Verlauf des Nutzens für die Risikoaversionsgrade  $a_1$  und  $a_2$ .

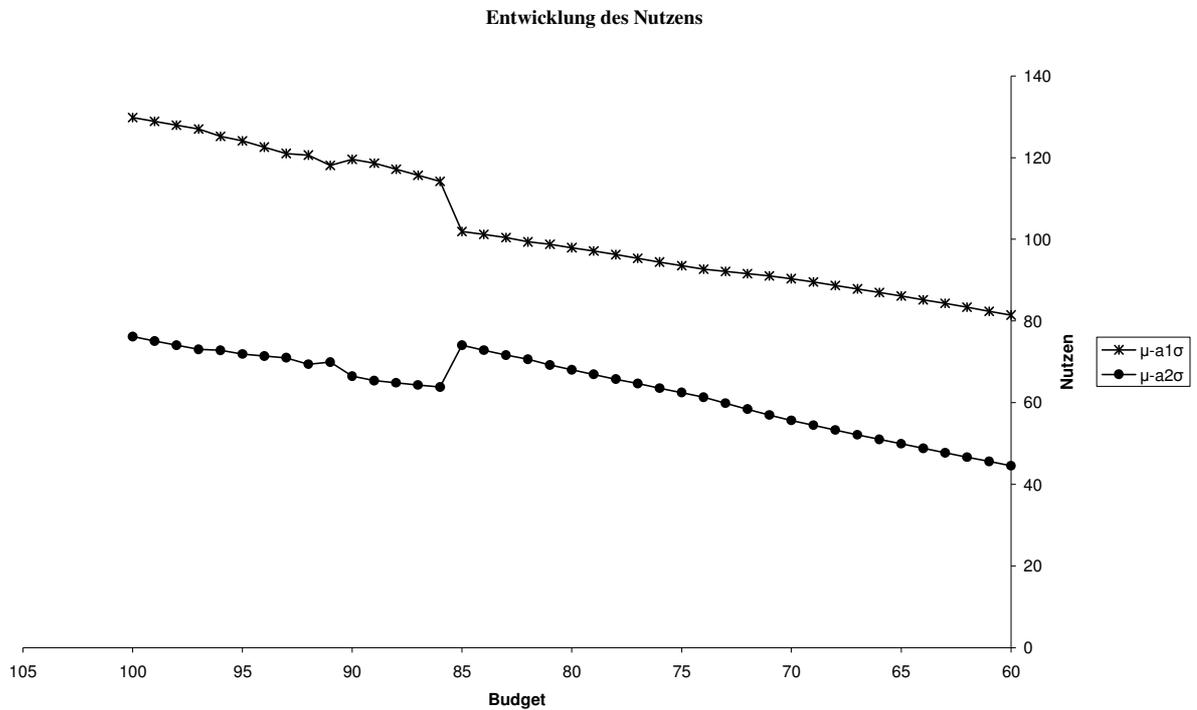


Abbildung 5.56 P4; Personalaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgetsenkung

Tabelle 5.67 zeigt die Detailanalyse zu den Nutzenänderungen.

Budget (in Geldeinheiten)	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	absolute Veränderung	relative Veränderung	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )	absolute Veränderung	Relative Veränderung
100	129,81	0,00	0,00%	76,19	0,00	0,00%
99	128,885	0,93	0,71%	75,115	1,08	1,41%
98	127,92	0,96	0,75%	74,08	1,04	1,38%
97	126,955	0,97	0,75%	73,045	1,04	1,40%
96	125,205	1,75	1,38%	72,795	0,25	0,34%
95	124,11	1,10	0,87%	71,89	0,91	1,24%
94	122,563	1,55	1,25%	71,433	0,46	0,64%
93	121,005	1,56	1,27%	70,995	0,44	0,61%
92	120,595	0,41	0,34%	69,405	1,59	2,24%
91	118,077	2,52	2,09%	69,917	-0,51	-0,74%
90	119,53	-1,45	-1,23%	66,47	3,45	4,93%
89	118,61	0,92	0,77%	65,39	1,08	1,62%
88	117,15	1,46	1,23%	64,85	0,54	0,83%
87	115,675	1,48	1,26%	64,325	0,52	0,81%

86	114,175	1,50	1,30%	63,825	0,50	0,78%
85	101,915	12,26	10,74%	74,085	-10,26	-16,08%
84	101,175	0,74	0,73%	72,825	1,26	1,70%
83	100,395	0,78	0,77%	71,605	1,22	1,68%
82	99,37	1,02	1,02%	70,63	0,98	1,36%
81	98,79	0,58	0,58%	69,21	1,42	2,01%
80	97,95	0,84	0,85%	68,05	1,16	1,68%
79	97,105	0,84	0,86%	66,895	1,16	1,70%
78	96,235	0,87	0,90%	65,765	1,13	1,69%
77	95,355	0,88	0,91%	64,645	1,12	1,70%
76	94,445	0,91	0,95%	63,555	1,09	1,69%
75	93,53	0,91	0,97%	62,47	1,09	1,71%
74	92,64	0,89	0,95%	61,36	1,11	1,78%
73	92,14	0,50	0,54%	59,86	1,50	2,44%
72	91,6	0,54	0,59%	58,4	1,46	2,44%
71	91,04	0,56	0,61%	56,96	1,44	2,47%
70	90,35	0,69	0,76%	55,65	1,31	2,30%
69	89,53	0,82	0,91%	54,47	1,18	2,12%
68	88,695	0,84	0,93%	53,305	1,17	2,14%
67	87,845	0,85	0,96%	52,155	1,15	2,16%
66	86,99	0,86	0,97%	51,01	1,15	2,20%
65	86,09	0,90	1,03%	49,91	1,10	2,16%
64	85,185	0,91	1,05%	48,815	1,10	2,19%
63	84,27	0,92	1,07%	47,73	1,09	2,22%
62	83,345	0,92	1,10%	46,655	1,08	2,25%
61	82,4	0,94	1,13%	45,6	1,06	2,26%
60	81,435	0,97	1,17%	44,565	1,04	2,27%

**Tabelle 5.67 P4: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgetsenkung**

## Personalaufwand

Tabelle 5.68 zeigt die ermittelten Resultate der Budgetsenkung. Auch hier ist erkennbar, dass der Personalaufwand bereits auf kleine Verringerungen der Ressourcen reagiert.

KZ Budget		$\mu$	$\sigma$	CV	CCV	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )
10,00	100	13,13	5,24	16,40	10,88	15,75	10,51
9,90	99	13,05	5,19	16,40	7,85	15,65	10,46
9,80	98	12,97	5,18	16,40	10,75	15,56	10,38
9,70	97	12,88	5,17	16,40	7,73	15,47	10,30
9,60	96	13,52	5,60	16,40	10,71	16,32	10,72
9,50	95	13,36	5,88	8,40	7,80	16,30	10,42
9,40	94	12,87	5,29	16,40	8,50	15,52	10,23
9,30	93	12,11	4,33	8,40	7,80	14,28	9,95
9,20	92	12,19	4,22	8,40	7,98	14,30	10,08
9,10	91	12,56	4,80	16,40	8,11	14,96	10,16
9,00	90	12,86	6,58	16,40	10,18	16,15	9,57
8,90	89	12,46	4,08	8,40	8,40	14,50	10,42
8,80	88	12,59	4,22	8,40	8,40	14,70	10,48
8,70	87	12,71	4,36	8,40	8,40	14,89	10,53
8,60	86	12,84	4,49	8,40	8,40	15,09	10,60
8,50	85	11,39	2,79	8,40	7,52	12,79	10,00
8,40	84	11,32	2,81	8,40	7,56	12,73	9,92
8,30	83	11,24	2,82	8,40	7,59	12,65	9,83
8,20	82	11,17	2,82	8,40	7,62	12,58	9,76
8,10	81	11,10	2,83	8,40	7,65	12,52	9,69
8,00	80	11,03	2,83	8,40	7,66	12,45	9,62
7,90	79	11,96	2,84	8,40	7,70	13,38	10,54
7,80	78	10,88	2,84	8,40	7,22	12,30	9,46
7,70	77	10,81	2,84	8,40	7,74	12,23	9,39
7,60	76	10,74	2,83	8,40	7,76	12,16	9,33
7,50	75	10,67	2,83	8,40	7,78	12,09	9,26
7,40	74	10,61	2,81	8,40	7,82	12,02	9,21
7,30	73	10,69	2,73	8,40	7,98	12,06	9,33
7,20	72	10,78	2,64	8,40	8,15	12,10	9,46
7,10	71	10,86	2,55	8,40	8,32	12,14	9,59
7,00	70	10,81	2,53	8,39	8,39	12,08	9,55
6,90	69	10,64	2,58	8,38	7,94	11,93	9,35
6,80	68	10,47	2,63	8,37	7,66	11,79	9,16
6,70	67	10,29	2,69	8,35	7,38	11,64	8,95
6,60	66	10,12	2,74	8,34	7,10	11,49	8,75
6,50	65	9,94	2,80	8,32	6,83	11,34	8,54
6,40	64	9,77	2,86	8,31	6,59	11,20	8,34

6,30	63	9,60	2,91	8,29	6,35	11,06	8,15
6,20	62	9,42	2,97	8,28	6,12	10,91	7,94
6,10	61	9,26	3,03	8,26	5,89	10,78	7,75
6,00	60	9,08	3,08	8,24	5,67	10,62	7,54

Tabelle 5.68 P4: Personalaufwand im Zuge der Budgetsenkung

Abbildung 5.57 zeigt die Entwicklung des Erwartungswertes und der Standardabweichung im Rahmen der schrittweisen Ressourcensenkung. In dieser Abbildung ist der sprunghafte Verlauf der Risikoparameter erkenntlich.

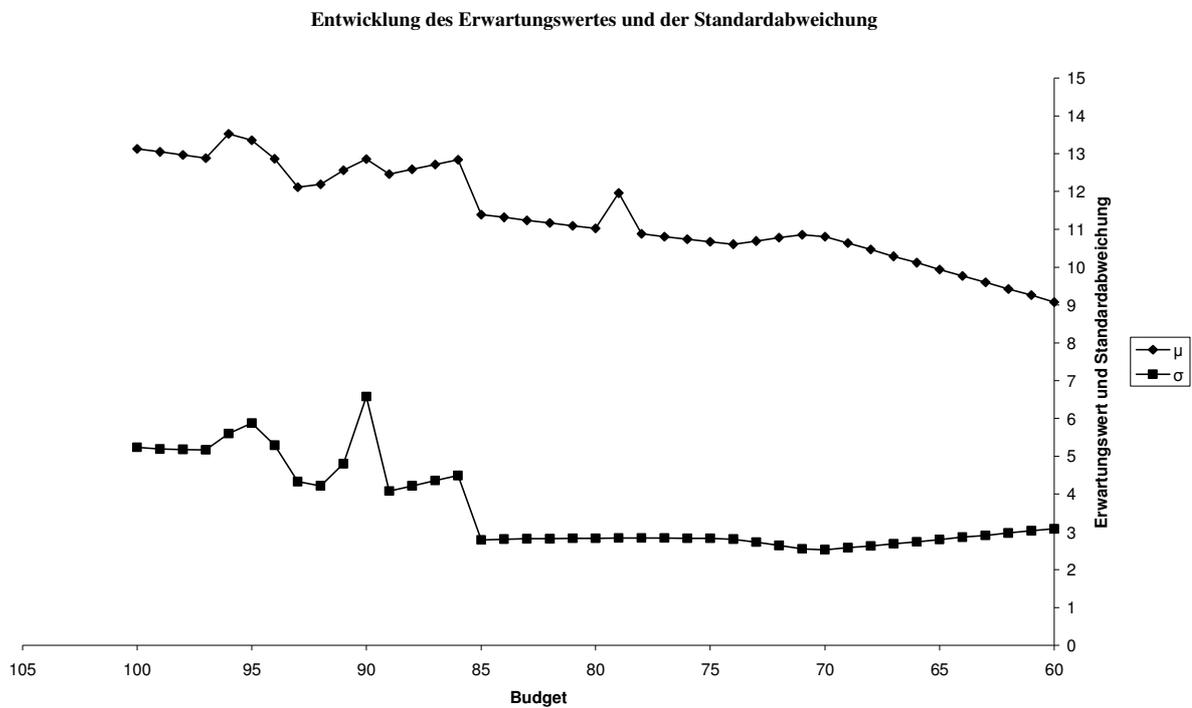


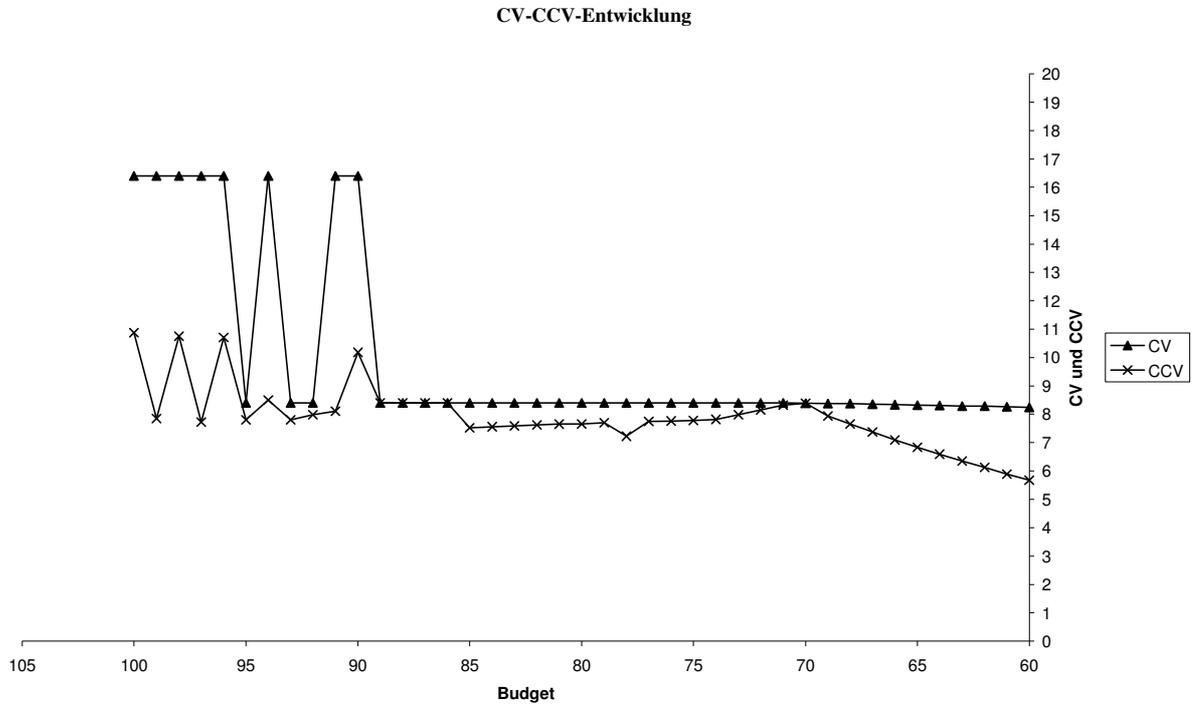
Abbildung 5.57 P4; Personalaufwand:  $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung

Tabelle 5.69 zeigt die Detailanalyse zu den Veränderungen des Erwartungswertes und der Standardabweichung.

Budget (in Geldeinheiten)	$\mu$	Absolute Veränderung	relative Veränderung	$\sigma$	absolute Veränderung	relative Veränderung
100	13,13	0,00	0,00%	5,24	0,00	0,00%
99	13,05	0,08	0,61%	5,19	0,05	0,95%
98	12,97	0,08	0,61%	5,18	0,01	0,19%
97	12,88	0,09	0,69%	5,17	0,01	0,19%
96	13,52	-0,64	-4,97%	5,60	-0,43	-8,32%
95	13,36	0,16	1,18%	5,88	-0,28	-5,00%
94	12,87	0,49	3,67%	5,29	0,59	10,03%
93	12,11	0,76	5,91%	4,33	0,96	18,15%
92	12,19	-0,08	-0,66%	4,22	0,11	2,54%
91	12,56	-0,37	-3,04%	4,80	-0,58	-13,74%
90	12,86	-0,30	-2,39%	6,58	-1,78	-37,08%
89	12,46	0,40	3,11%	4,08	2,50	37,99%
88	12,59	-0,13	-1,04%	4,22	-0,14	-3,43%
87	12,71	-0,12	-0,95%	4,36	-0,14	-3,32%
86	12,84	-0,13	-1,02%	4,49	-0,13	-2,98%
85	11,39	1,45	11,29%	2,79	1,70	37,86%
84	11,32	0,07	0,61%	2,81	-0,02	-0,72%
83	11,24	0,08	0,71%	2,82	-0,01	-0,36%
82	11,17	0,07	0,62%	2,82	0,00	0,00%
81	11,10	0,07	0,63%	2,83	-0,01	-0,35%
80	11,03	0,07	0,63%	2,83	0,00	0,00%
79	11,96	-0,93	-8,43%	2,84	-0,01	-0,35%
78	10,88	1,08	9,03%	2,84	0,00	0,00%
77	10,81	0,07	0,64%	2,84	0,00	0,00%
76	10,74	0,07	0,65%	2,83	0,01	0,35%
75	10,67	0,07	0,65%	2,83	0,00	0,00%
74	10,61	0,06	0,56%	2,81	0,02	0,71%
73	10,69	-0,08	-0,75%	2,73	0,08	2,85%
72	10,78	-0,09	-0,84%	2,64	0,09	3,30%
71	10,86	-0,08	-0,74%	2,55	0,09	3,41%
70	10,81	0,05	0,46%	2,53	0,02	0,78%
69	10,64	0,17	1,57%	2,58	-0,05	-1,98%
68	10,47	0,17	1,60%	2,63	-0,05	-1,94%
67	10,29	0,18	1,72%	2,69	-0,06	-2,28%
66	10,12	0,17	1,65%	2,74	-0,05	-1,86%
65	9,94	0,18	1,78%	2,80	-0,06	-2,19%
64	9,77	0,17	1,71%	2,86	-0,06	-2,14%
63	9,60	0,17	1,74%	2,91	-0,05	-1,75%
62	9,42	0,18	1,88%	2,97	-0,06	-2,06%
61	9,26	0,16	1,70%	3,03	-0,06	-2,02%
60	9,08	0,18	1,94%	3,08	-0,05	-1,65%

Tabelle 5.69 P4: Detailanalyse zu den  $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung

Abbildung 5.58 zeigt den Verlauf des CV und des CCV. Auch hier ist der sprunghafte Verlauf beider Risikokennzahlen ersichtlich, wobei der CCV stärker auf die Ressourcenminderungen reagiert.



**Abbildung 5.58 P4; Personalaufwand: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung**

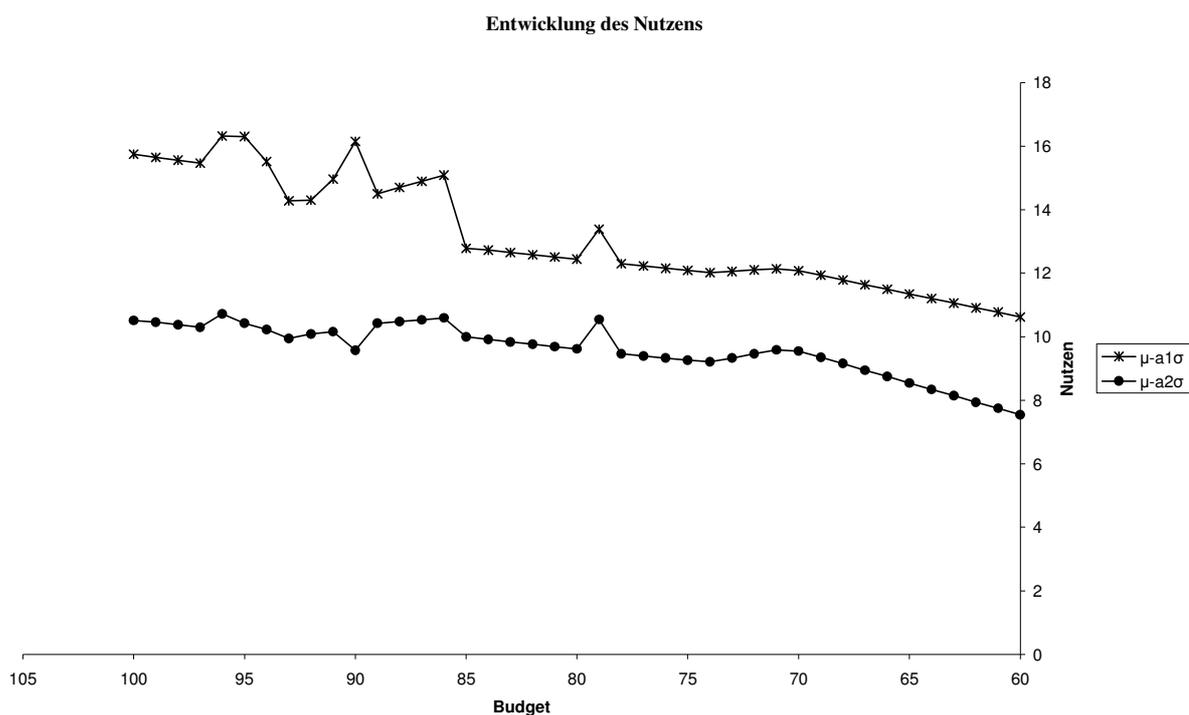
Tabelle 5.70 zeigt die Detailanalyse zu den Veränderungen des CV und des CCV.

Budget (in Geldeinheiten)	CV	Absolute Veränderung	relative Veränderung	CCV	absolute Veränderung	Relative Veränderung
100	16,40	0,00	0,00%	10,88	0,00	0,00%
99	16,40	0,00	0,00%	7,85	3,03	27,85%
98	16,40	0,00	0,00%	10,75	-2,90	-36,94%
97	16,40	0,00	0,00%	7,73	3,02	28,09%
96	16,40	0,00	0,00%	10,71	-2,98	-38,55%
95	8,40	8,00	48,78%	7,80	2,91	27,17%
94	16,40	-8,00	-95,24%	8,50	-0,70	-8,97%
93	8,40	8,00	48,78%	7,80	0,70	8,24%
92	8,40	0,00	0,00%	7,98	-0,18	-2,31%
91	16,40	-8,00	-95,24%	8,11	-0,13	-1,63%
90	16,40	0,00	0,00%	10,18	-2,07	-25,52%
89	8,40	8,00	48,78%	8,40	1,78	17,49%
88	8,40	0,00	0,00%	8,40	0,00	0,00%
87	8,40	0,00	0,00%	8,40	0,00	0,00%

86	8,40	0,00	0,00%	8,40	0,00	0,00%
85	8,40	0,00	0,00%	7,52	0,88	10,48%
84	8,40	0,00	0,00%	7,56	-0,04	-0,53%
83	8,40	0,00	0,00%	7,59	-0,03	-0,40%
82	8,40	0,00	0,00%	7,62	-0,03	-0,40%
81	8,40	0,00	0,00%	7,65	-0,03	-0,39%
80	8,40	0,00	0,00%	7,66	-0,01	-0,13%
79	8,40	0,00	0,00%	7,70	-0,04	-0,52%
78	8,40	0,00	0,00%	7,22	0,48	6,23%
77	8,40	0,00	0,00%	7,74	-0,52	-7,20%
76	8,40	0,00	0,00%	7,76	-0,02	-0,26%
75	8,40	0,00	0,00%	7,78	-0,02	-0,26%
74	8,40	0,00	0,00%	7,82	-0,04	-0,51%
73	8,40	0,00	0,00%	7,98	-0,16	-2,05%
72	8,40	0,00	0,00%	8,15	-0,17	-2,13%
71	8,40	0,00	0,00%	8,32	-0,17	-2,09%
70	8,39	0,01	0,12%	8,39	-0,07	-0,84%
69	8,38	0,01	0,12%	7,94	0,45	5,36%
68	8,37	0,01	0,12%	7,66	0,28	3,53%
67	8,35	0,02	0,24%	7,38	0,28	3,66%
66	8,34	0,01	0,12%	7,10	0,28	3,79%
65	8,32	0,02	0,24%	6,83	0,27	3,80%
64	8,31	0,01	0,12%	6,59	0,24	3,51%
63	8,29	0,02	0,24%	6,35	0,24	3,64%
62	8,28	0,01	0,12%	6,12	0,23	3,62%
61	8,26	0,02	0,24%	5,89	0,23	3,76%
60	8,24	0,02	0,24%	5,67	0,22	3,74%

**Tabelle 5.70 P4 Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung**

Abbildung 5.59 zeigt den Verlauf des Nutzens für den Risikoaversionsgrad  $a_1$  und  $a_2$ . Da dieser vom Erwartungswert und der Standardabweichung abgeleitet wird, ergibt sich auch hier ein sprunghafter Verlauf.



**Abbildung 5.59 P4; Personalaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgetsenkung**

Tabelle 5.71 zeigt die Detailanalyse zu den Veränderungen des Nutzens.

Budget (in Geldeinheiten)	$\mu-a_1\sigma$ ( $a_1=0,5$ )	absolute Veränderung	relative Veränderung	$\mu-a_2\sigma$ ( $a_2=0,5$ )	absolute Veränderung	relative Veränderung
100	15,75	0	0,00%	10,51	0	0,00%
99	15,645	0,105	0,67%	10,455	0,055	0,52%
98	15,56	0,085	0,54%	10,38	0,075	0,72%
97	15,465	0,095	0,61%	10,295	0,085	0,82%
96	16,32	-0,855	-5,53%	10,72	-0,425	-4,13%
95	16,3	0,02	0,12%	10,42	0,3	2,80%
94	15,515	0,785	4,82%	10,225	0,195	1,87%
93	14,275	1,24	7,99%	9,945	0,28	2,74%
92	14,3	-0,025	-0,18%	10,08	-0,135	-1,36%
91	14,96	-0,66	-4,62%	10,16	-0,08	-0,79%
90	16,15	-1,19	-7,95%	9,57	0,59	5,81%
89	14,5	1,65	10,22%	10,42	-0,85	-8,88%
88	14,7	-0,2	-1,38%	10,48	-0,06	-0,58%
87	14,89	-0,19	-1,29%	10,53	-0,05	-0,48%
86	15,085	-0,195	-1,31%	10,595	-0,065	-0,62%
85	12,785	2,3	15,25%	9,995	0,6	5,66%
84	12,725	0,06	0,47%	9,915	0,08	0,80%
83	12,65	0,075	0,59%	9,83	0,085	0,86%

82	12,58	0,07	0,55%	9,76	0,07	0,71%
81	12,515	0,065	0,52%	9,685	0,075	0,77%
80	12,445	0,07	0,56%	9,615	0,07	0,72%
79	13,38	-0,935	-7,51%	10,54	-0,925	-9,62%
78	12,3	1,08	8,07%	9,46	1,08	10,25%
77	12,23	0,07	0,57%	9,39	0,07	0,74%
76	12,155	0,075	0,61%	9,325	0,065	0,69%
75	12,085	0,07	0,58%	9,255	0,07	0,75%
74	12,015	0,07	0,58%	9,205	0,05	0,54%
73	12,055	-0,04	-0,33%	9,325	-0,12	-1,30%
72	12,1	-0,045	-0,37%	9,46	-0,135	-1,45%
71	12,135	-0,035	-0,29%	9,585	-0,125	-1,32%
70	12,075	0,06	0,49%	9,545	0,04	0,42%
69	11,93	0,145	1,20%	9,35	0,195	2,04%
68	11,785	0,145	1,22%	9,155	0,195	2,09%
67	11,635	0,15	1,27%	8,945	0,21	2,29%
66	11,49	0,145	1,25%	8,75	0,195	2,18%
65	11,34	0,15	1,31%	8,54	0,21	2,40%
64	11,2	0,14	1,23%	8,34	0,2	2,34%
63	11,055	0,145	1,29%	8,145	0,195	2,34%
62	10,905	0,15	1,36%	7,935	0,21	2,58%
61	10,775	0,13	1,19%	7,745	0,19	2,39%
60	10,62	0,155	1,44%	7,54	0,205	2,65%

Tabelle 5.71 P4: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgetsenkung

## Ertrag

Tabelle 5.72 zeigt anhand der Ermittelten Ergebnisse, dass auch der Ertrag auf jegliche Veränderungen des Budgets reagiert.

KZ Budget		$\mu$	$\sigma$	CV	CCV	$\mu-a_1\sigma$	$\mu-a_2\sigma$
10,00	100	39.994,60	33.867,20	71.893,15	28.505,70	56.928,20	23.061,00
9,90	99	39.993,80	34.484,40	73.034,18	28.375,90	57.236,00	22.751,60
9,80	98	39.993,00	35.079,01	74.214,29	28.187,30	57.532,51	22.453,50
9,70	97	39.992,20	35.698,71	75.435,52	28.094,29	57.841,56	22.142,85
9,60	96	39.991,40	35.434,80	74.901,11	22.761,46	57.708,80	22.274,00
9,50	95	39.990,50	35.930,70	75.888,00	21.127,18	57.955,85	22.025,15
9,40	94	39.989,10	35.947,37	75.932,00	17.763,10	57.962,79	22.015,42
9,30	93	39.987,80	35.946,00	75.932,00	28.005,01	57.960,80	22.014,80
9,20	92	39.986,25	35.947,76	75.932,00	28.002,99	57.960,13	22.012,37
9,10	91	39.984,80	35.943,00	75.932,00	20.627,01	57.956,30	22.013,30
9,00	90	39.983,30	35.950,75	75.932,00	20.624,70	57.958,68	22.007,93

8,90	89	39.981,70	35.950,76	75.908,00	8.227,21	57.957,08	22.006,32
8,80	88	39.980,20	35.949,24	75.908,00	15.405,47	57.954,82	22.005,58
8,70	87	39.978,70	35.947,76	75.908,00	21.123,70	57.952,58	22.004,82
8,60	86	39.977,20	35.946,24	75.908,00	25.923,99	57.950,32	22.004,08
8,50	85	39.973,40	25.902,11	4.049,00	4.046,79	52.924,46	27.022,35
8,40	84	39.972,80	26.749,93	4.049,00	4.046,13	53.347,77	26.597,84
8,30	83	39.972,20	27.592,31	4.049,00	4.045,56	53.768,36	26.176,05
8,20	82	39.971,60	28.462,78	4.049,00	4.044,99	54.202,99	25.740,21
8,10	81	39.971,00	29.333,86	4.049,00	4.044,50	54.637,93	25.304,07
8,00	80	39.970,40	30.222,49	4.049,00	4.044,04	55.081,65	24.859,16
7,90	79	39.969,80	31.139,46	4.049,00	4.043,59	55.539,53	24.400,07
7,80	78	39.969,20	32.066,89	4.049,00	4.043,19	56.002,65	23.935,76
7,70	77	39.968,60	33.023,01	4.049,00	4.042,79	56.480,11	23.457,10
7,60	76	39.968,00	33.996,94	4.049,00	4.042,44	56.966,47	22.969,53
7,50	75	39.967,40	35.000,15	4.049,00	4.008,98	57.467,48	22.467,33
7,40	74	39.966,70	35.925,24	4.049,00	4.041,51	57.929,32	22.004,08
7,30	73	39.965,20	35.926,76	4.049,00	4.038,49	57.928,58	22.001,82
7,20	72	39.963,70	35.928,25	4.049,00	4.035,00	57.927,83	21.999,58
7,10	71	39.962,30	35.929,74	4.049,00	4.032,51	57.927,17	21.997,43
7,00	70	39.598,30	35.970,77	4.031,02	3.951,34	57.583,69	21.612,92
6,90	69	38.871,90	36.038,00	4.031,06	3.796,65	56.890,90	20.852,90
6,80	68	38.145,60	36.087,55	4.031,11	3.647,86	56.189,38	20.101,83
6,70	67	37.419,20	36.119,52	4.031,15	3.504,63	55.478,96	19.359,44
6,60	66	36.692,80	36.152,58	4.031,20	3.360,45	54.769,09	18.616,51
6,50	65	35.966,40	36.112,57	4.031,25	3.226,35	54.022,69	17.910,12
6,40	64	35.240,10	36.091,02	4.031,30	3.098,18	53.285,61	17.194,59
6,30	63	34.513,70	36.051,89	4.031,36	2.974,48	52.539,65	16.487,76
6,20	62	33.787,30	36.010,91	4.031,41	2.850,25	51.792,76	15.781,85
6,10	61	33.060,90	35.935,76	4.031,47	2.735,06	51.028,78	15.093,02
6,00	60	32.334,60	35.842,80	4.031,54	2.623,67	50.256,00	14.413,20

**Tabelle 5.72 P4: Ertrag im Zuge der Budgetsenkung**

Abbildung 5.60 zeigt den Verlauf des Erwartungswertes und der Standardabweichung im Rahmen der Ressourcenverringering. Dieser Abbildung ist der starke Rückgang der Standardabweichung bei einem Budget von 85 Geldeinheiten (und 8,5 Personaleinheiten) zu entnehmen. Der Erwartungswert reagiert erst bei einem Budget von 70 Geldeinheiten (und 7 Personaleinheiten) stärker auf die Ressourcenrestriktion.

Entwicklung des Erwartungswertes und der Standardabweichung

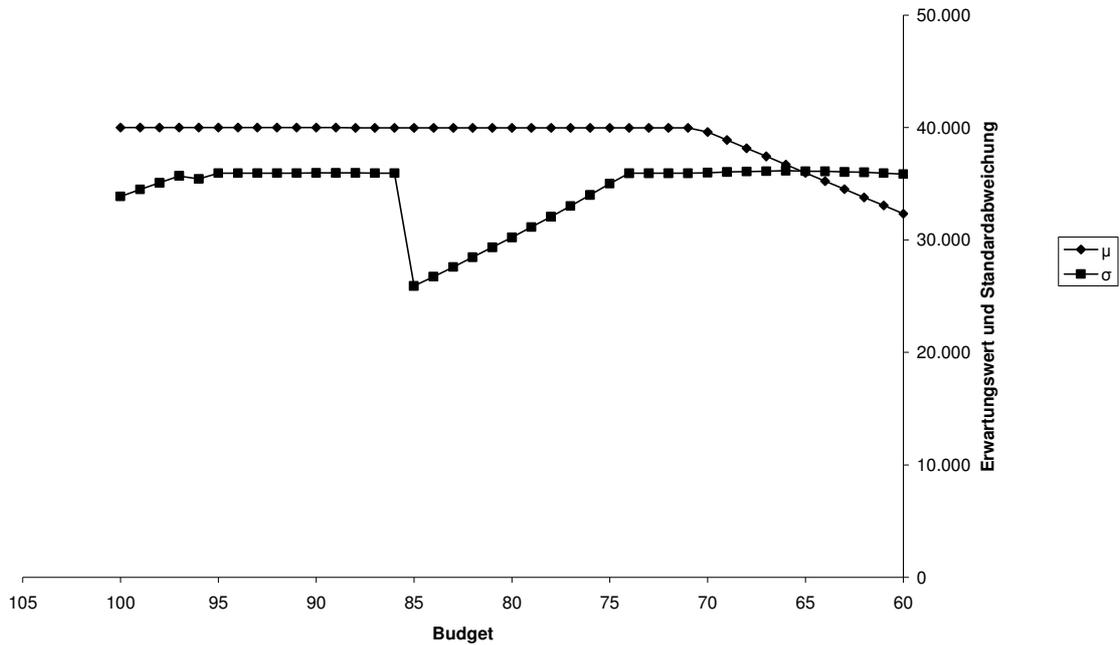


Abbildung 5.60 P4; Ertrag:  $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgetsenkung

In Tabelle 5.73 ist die Detailanalyse zu den Veränderungen des Erwartungswertes und der Standardabweichung ersichtlich.

Budget (in Geldeinheiten)	$\mu$	absolute Veränderung	relative Veränderung	$\sigma$	absolute Veränderung	Relative Veränderung
100	39.994,60	0,00	0,0000%	33.867,20	0,00	0,00%
99	39.993,80	-0,80	-0,0020%	34.484,40	617,20	1,82%
98	39.993,00	-0,80	-0,0020%	35.079,01	594,61	1,72%
97	39.992,20	-0,80	-0,0020%	35.698,71	619,70	1,77%
96	39.991,40	-0,80	-0,0020%	35.434,80	-263,91	-0,74%
95	39.990,50	-0,90	-0,0023%	35.930,70	495,90	1,40%
94	39.989,10	-1,40	-0,0035%	35.947,37	16,67	0,05%
93	39.987,80	-1,30	-0,0033%	35.946,00	-1,37	0,00%
92	39.986,25	-1,55	-0,0039%	35.947,76	1,76	0,00%
91	39.984,80	-1,45	-0,0036%	35.943,00	-4,76	-0,01%
90	39.983,30	-1,50	-0,0038%	35.950,75	7,75	0,02%
89	39.981,70	-1,60	-0,0040%	35.950,76	0,01	0,00%
88	39.980,20	-1,50	-0,0038%	35.949,24	-1,52	0,00%
87	39.978,70	-1,50	-0,0038%	35.947,76	-1,48	0,00%
86	39.977,20	-1,50	-0,0038%	35.946,24	-1,52	0,00%
85	39.973,40	-3,80	-0,0095%	25.902,11	-10.044,13	-27,94%

84	39.972,80	-0,60	-0,0015%	26.749,93	847,82	3,27%
83	39.972,20	-0,60	-0,0015%	27.592,31	842,38	3,15%
82	39.971,60	-0,60	-0,0015%	28.462,78	870,47	3,15%
81	39.971,00	-0,60	-0,0015%	29.333,86	871,08	3,06%
80	39.970,40	-0,60	-0,0015%	30.222,49	888,63	3,03%
79	39.969,80	-0,60	-0,0015%	31.139,46	916,97	3,03%
78	39.969,20	-0,60	-0,0015%	32.066,89	927,43	2,98%
77	39.968,60	-0,60	-0,0015%	33.023,01	956,12	2,98%
76	39.968,00	-0,60	-0,0015%	33.996,94	973,93	2,95%
75	39.967,40	-0,60	-0,0015%	35.000,15	1.003,21	2,95%
74	39.966,70	-0,70	-0,0018%	35.925,24	925,09	2,64%
73	39.965,20	-1,50	-0,0038%	35.926,76	1,52	0,00%
72	39.963,70	-1,50	-0,0038%	35.928,25	1,49	0,00%
71	39.962,30	-1,40	-0,0035%	35.929,74	1,49	0,00%
70	39.598,30	-364,00	-0,9109%	35.970,77	41,03	0,11%
69	38.871,90	-726,40	-1,8344%	36.038,00	67,23	0,19%
68	38.145,60	-726,30	-1,8684%	36.087,55	49,55	0,14%
67	37.419,20	-726,40	-1,9043%	36.119,52	31,97	0,09%
66	36.692,80	-726,40	-1,9412%	36.152,58	33,06	0,09%
65	35.966,40	-726,40	-1,9797%	36.112,57	-40,01	-0,11%
64	35.240,10	-726,30	-2,0194%	36.091,02	-21,55	-0,06%
63	34.513,70	-726,40	-2,0613%	36.051,89	-39,13	-0,11%
62	33.787,30	-726,40	-2,1047%	36.010,91	-40,98	-0,11%
61	33.060,90	-726,40	-2,1499%	35.935,76	-75,15	-0,21%
60	32.334,60	-726,30	-2,1969%	35.842,80	-92,96	-0,26%

**Tabelle 5.73 P4: Detailanalyse zu den  $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung**

Abbildung 5.61 zeigt die Entwicklung des CV und des CCV im Zuge der Ressourcensenkung. Während der Verlauf des CCV bis zu einem Budget von 85 Geldeinheiten (und 8,5 Personaleinheiten) sprunghaft ist, reagiert der CV einzig an dieser Stelle am stärksten (durch einen starken Rückgang).

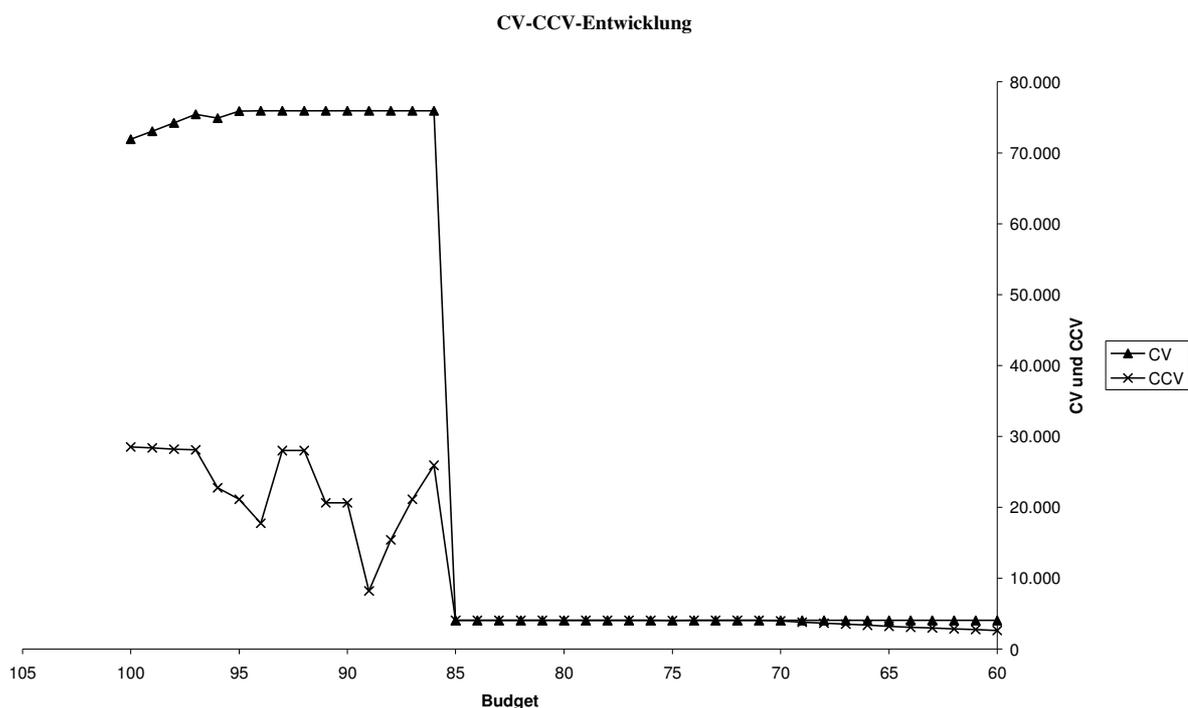


Abbildung 5.61 P4; Ertrag: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung

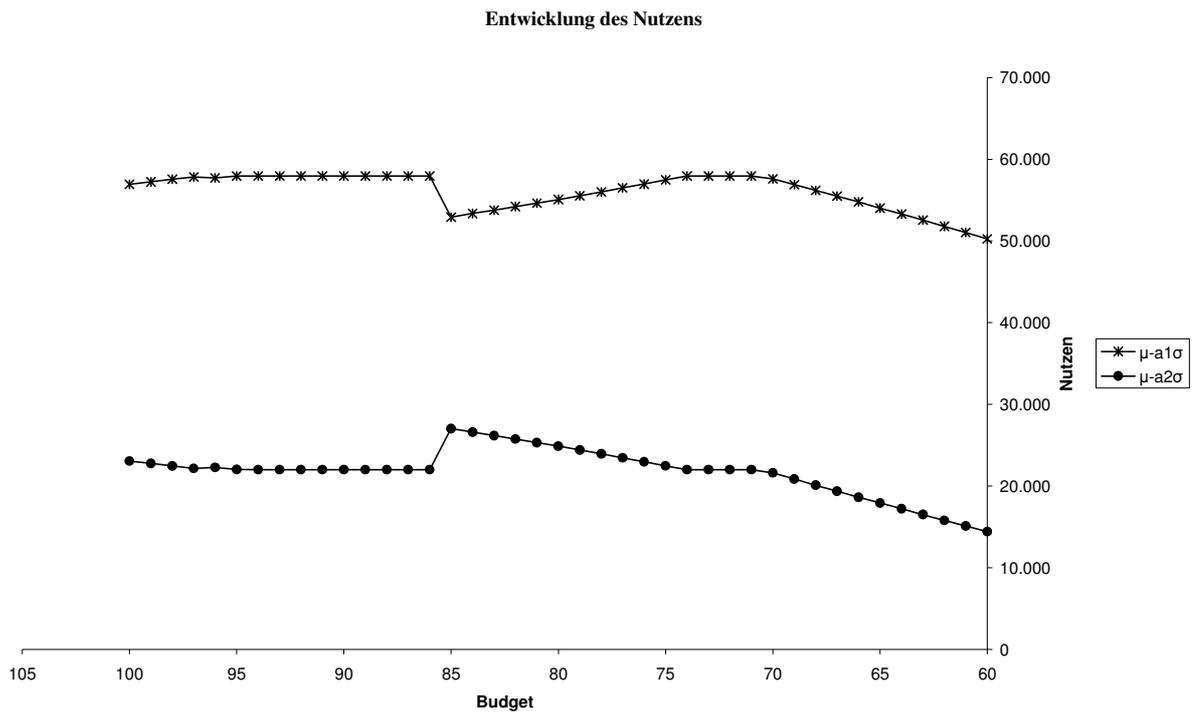
In Tabelle 5.74 welche die Detailanalyse zu den Veränderungen des CV und des CCV beinhaltet, ist vor allem der 94,67%-ige Rückgang des CV bei einem Budget von 85 Geldeinheiten (und 8,5 Personaleinheiten) ersichtlich.

Budget (in Geldeinheiten)	CV	absolute Veränderung	relative Veränderung	CCV	absolute Veränderung	Relative Veränderung
100	71.893,15	0,00	0,00%	28.505,70	0,00	0,00%
99	73.034,18	1.141,03	1,59%	28.375,90	-129,80	-0,46%
98	74.214,29	1.180,11	1,62%	28.187,30	-188,60	-0,66%
97	75.435,52	1.221,23	1,65%	28.094,29	-93,01	-0,33%
96	74.901,11	-534,41	-0,71%	22.761,46	-5.332,83	-18,98%
95	75.888,00	986,89	1,32%	21.127,18	-1.634,28	-7,18%
94	75.932,00	44,00	0,06%	17.763,10	-3.364,08	-15,92%
93	75.932,00	0,00	0,00%	28.005,01	10.241,91	57,66%
92	75.932,00	0,00	0,00%	28.002,99	-2,02	-0,01%
91	75.932,00	0,00	0,00%	20.627,01	-7.375,98	-26,34%
90	75.932,00	0,00	0,00%	20.624,70	-2,31	-0,01%
89	75.908,00	-24,00	-0,03%	8.227,21	-12.397,49	-60,11%
88	75.908,00	0,00	0,00%	15.405,47	7.178,26	87,25%
87	75.908,00	0,00	0,00%	21.123,70	5.718,23	37,12%
86	75.908,00	0,00	0,00%	25.923,99	4.800,29	22,72%
85	75.908,00	0,00	0,00%	4.800,29	-21.123,70	-94,67%

85	4.049,00	-71.859,00	-94,67%	4.046,79	-21.877,20	-84,39%
84	4.049,00	0,00	0,00%	4.046,13	-0,66	-0,02%
83	4.049,00	0,00	0,00%	4.045,56	-0,57	-0,01%
82	4.049,00	0,00	0,00%	4.044,99	-0,57	-0,01%
81	4.049,00	0,00	0,00%	4.044,50	-0,49	-0,01%
80	4.049,00	0,00	0,00%	4.044,04	-0,46	-0,01%
79	4.049,00	0,00	0,00%	4.043,59	-0,45	-0,01%
78	4.049,00	0,00	0,00%	4.043,19	-0,40	-0,01%
77	4.049,00	0,00	0,00%	4.042,79	-0,40	-0,01%
76	4.049,00	0,00	0,00%	4.042,44	-0,35	-0,01%
75	4.049,00	0,00	0,00%	4.008,98	-33,46	-0,83%
74	4.049,00	0,00	0,00%	4.041,51	32,53	0,81%
73	4.049,00	0,00	0,00%	4.038,49	-3,02	-0,07%
72	4.049,00	0,00	0,00%	4.035,00	-3,49	-0,09%
71	4.049,00	0,00	0,00%	4.032,51	-2,49	-0,06%
70	4.031,02	-17,98	-0,44%	3.951,34	-81,17	-2,01%
69	4.031,06	0,04	0,00%	3.796,65	-154,69	-3,91%
68	4.031,11	0,05	0,00%	3.647,86	-148,79	-3,92%
67	4.031,15	0,04	0,00%	3.504,63	-143,23	-3,93%
66	4.031,20	0,05	0,00%	3.360,45	-144,18	-4,11%
65	4.031,25	0,05	0,00%	3.226,35	-134,10	-3,99%
64	4.031,30	0,05	0,00%	3.098,18	-128,17	-3,97%
63	4.031,36	0,06	0,00%	2.974,48	-123,70	-3,99%
62	4.031,41	0,05	0,00%	2.850,25	-124,23	-4,18%
61	4.031,47	0,06	0,00%	2.735,06	-115,19	-4,04%
60	4.031,54	0,07	0,00%	2.623,67	-111,39	-4,07%

**Tabelle 5.74 P4 Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgetsenkung**

Abbildung 5.62 zeigt den Verlauf des Nutzens im Rahmen der Ressourcenverringerung.



**Abbildung 5.62 P4; Ertrag: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgetsenkung**

Tabelle 5.75 zeigt die Detailanalyse zu den Nutzenänderungen für den Risikoaversionsgrad  $a_1$  und  $a_2$ .

Budget (in Geldeinheiten)	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	absolute Veränderung	relative Veränderung	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )	absolute Veränderung	relative Veränderung
100	56.928,20	0,00	0,00%	23.061,00	0,00	0,00%
99	57.236,00	307,80	0,54%	22.751,60	-309,40	-1,34%
98	57.532,51	296,51	0,52%	22.453,50	-298,11	-1,31%
97	57.841,56	309,05	0,54%	22.142,85	-310,65	-1,38%
96	57.708,80	-132,75	-0,23%	22.274,00	131,16	0,59%
95	57.955,85	247,05	0,43%	22.025,15	-248,85	-1,12%
94	57.962,79	6,94	0,01%	22.015,42	-9,74	-0,04%
93	57.960,80	-1,99	0,00%	22.014,80	-0,61	0,00%
92	57.960,13	-0,67	0,00%	22.012,37	-2,43	-0,01%
91	57.956,30	-3,83	-0,01%	22.013,30	0,93	0,00%
90	57.958,68	2,38	0,00%	22.007,93	-5,37	-0,02%
89	57.957,08	-1,60	0,00%	22.006,32	-1,61	-0,01%
88	57.954,82	-2,26	0,00%	22.005,58	-0,74	0,00%
87	57.952,58	-2,24	0,00%	22.004,82	-0,76	0,00%
86	57.950,32	-2,26	0,00%	22.004,08	-0,74	0,00%
85	52.924,46	-5.025,87	-8,67%	27.022,35	5.018,27	22,81%

84	53.347,77	423,31	0,80%	26.597,84	-424,51	-1,57%
83	53.768,36	420,59	0,79%	26.176,05	-421,79	-1,59%
82	54.202,99	434,64	0,81%	25.740,21	-435,83	-1,67%
81	54.637,93	434,94	0,80%	25.304,07	-436,14	-1,69%
80	55.081,65	443,72	0,81%	24.859,16	-444,92	-1,76%
79	55.539,53	457,88	0,83%	24.400,07	-459,08	-1,85%
78	56.002,65	463,11	0,83%	23.935,76	-464,32	-1,90%
77	56.480,11	477,46	0,85%	23.457,10	-478,66	-2,00%
76	56.966,47	486,37	0,86%	22.969,53	-487,56	-2,08%
75	57.467,48	501,01	0,88%	22.467,33	-502,20	-2,19%
74	57.929,32	461,84	0,80%	22.004,08	-463,24	-2,06%
73	57.928,58	-0,74	0,00%	22.001,82	-2,26	-0,01%
72	57.927,83	-0,76	0,00%	21.999,58	-2,25	-0,01%
71	57.927,17	-0,65	0,00%	21.997,43	-2,14	-0,01%
70	57.583,69	-343,49	-0,59%	21.612,92	-384,51	-1,75%
69	56.890,90	-692,78	-1,20%	20.852,90	-760,02	-3,52%
68	56.189,38	-701,53	-1,23%	20.101,83	-751,08	-3,60%
67	55.478,96	-710,42	-1,26%	19.359,44	-742,38	-3,69%
66	54.769,09	-709,87	-1,28%	18.616,51	-742,93	-3,84%
65	54.022,69	-746,40	-1,36%	17.910,12	-706,39	-3,79%
64	53.285,61	-737,07	-1,36%	17.194,59	-715,53	-4,00%
63	52.539,65	-745,97	-1,40%	16.487,76	-706,84	-4,11%
62	51.792,76	-746,89	-1,42%	15.781,85	-705,91	-4,28%
61	51.028,78	-763,98	-1,48%	15.093,02	-688,83	-4,36%
60	50.256,00	-772,78	-1,51%	14.413,20	-679,82	-4,50%

**Tabelle 5.75 P4: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgetsenkung**

#### **5.4.4 Abschließende Feststellungen**

Projekt 4 ist das einzige unter den hier vorgestellten Projektkandidaten, bei dem alle Risikokennzahlen bzw. -maßzahlen auf jede Budgetverringerung reagieren. Der prozentuelle Gesamtrücklauf des Erwartungswertes des Geldaufwandes ist (mit rd. -37,86%), im Vergleich zu dem des Personalaufwands (mit rd. -30,85%) und dem des Ertrags (mit -19,15%) am stärksten. Der Vergleich der Gesamtveränderungen der einzelnen Standardabweichungen zeigt auch hier, dass die Budgetsenkung einzig beim Ertrag zu einer (5,83%-igen) Erhöhung führt. Im Vergleich hierzu sinkt die Standardabweichung des Personalaufwands insgesamt um rd. -41,22% und die des Geldaufwands um rd. -31,24%.

Die Analyse der Gesamtentwicklungen der Einzelnen CVs zeigt, dass der Rücklauf des CV beim Ertrag (mit rd. -94,39%) im Vergleich zu dem des Geldaufwands (mit rd. -73,92%) und

dem des Personalaufwands (mit rd. -49,76%) am stärksten ist. Auch im Bereich des CCV weist der Ertrag (mit rd. -90,80%) die stärkste Senkung des CCV auf.

Die Gesamtsenkung des CCV liegt beim Geldaufwand bei rd. -59,56% und beim Personalaufwand bei rd. -47,89%.

Die Analyse der Gesamtveränderung des Nutzens in den einzelnen Kategorien zeigt, dass der des Geldaufwands bei Anwendung des Risikoaversionsgrad  $a_1$  (mit-37,27%) und  $a_2$  (mit rd. -41,39%) am stärksten ist. Die Gesamtveränderungen des Nutzens liegen im Bereich des Personalaufwand und des Ertrags (bei Anwendung beider Risikoaversionsgrade) zwischen rd. -11,72% und -35,50%.

#### **5.4.5 Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse einer inkrementellen Budgeterhöhung**

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit den Folgen einer inkrementellen Ressourcenerhöhung für den Erwartungswert, die Standardabweichung die Risikokennzahlen und den Nutzen des Projektes 4. Auch hier erfolgte eine schrittweise Erhöhung des Budgets um 1 % bis zu einem Budget von 140 Geldeinheiten und 14 Personaleinheiten. Ausgangspunkt für die Berechnungen ist auch hier das Anfangsbudget von 100 Geldeinheiten und 10 Personaleinheiten. Auch hier ist deutlich erkennbar, dass alle Bereiche auf bereits minimale Budgeterhöhungen reagieren. Im Folgenden werden die Ergebnisse des Geldaufwandes, des Personalaufwandes und des Ertrages präsentiert.

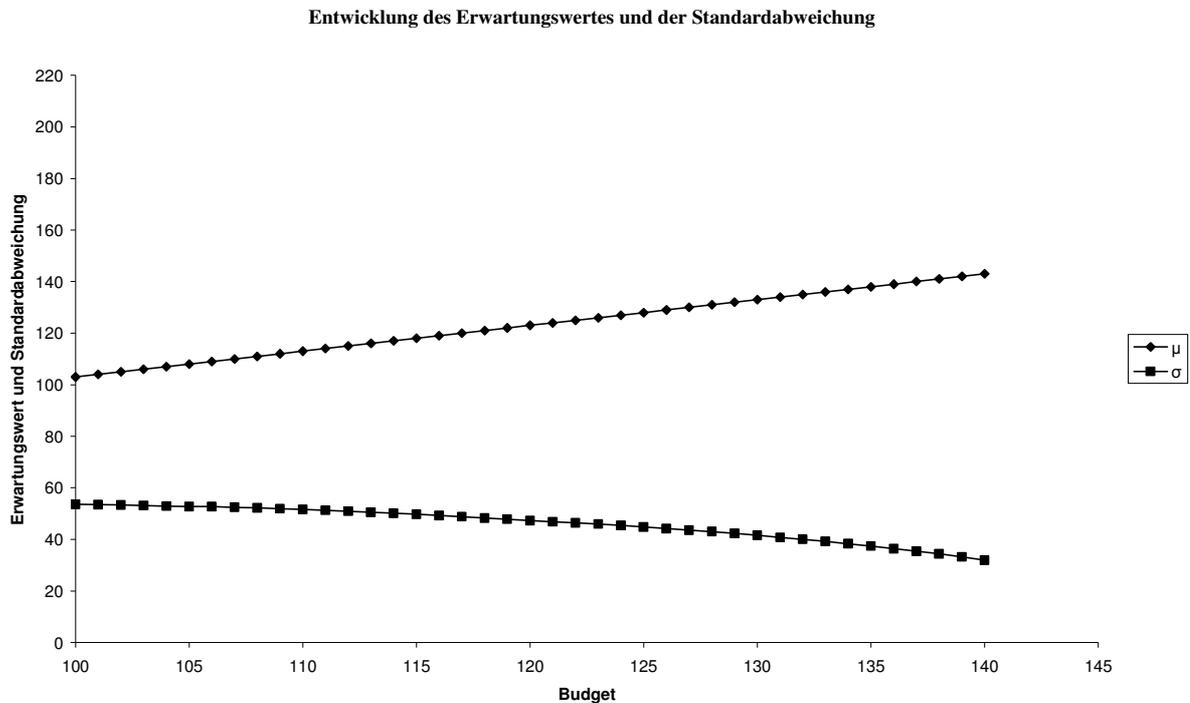
##### **Geldaufwand**

Die folgende Tabelle 5.76 zeigt die ermittelten Ergebnisse im Zuge der schrittweisen Budgeterhöhung.

Budget \ KZ		$\mu$	$\sigma$	CV	CCV	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )
10,00	100	103	53,62	144,00	81,76	129,81	76,19
10,10	101	104	53,46	144,00	82,62	130,73	77,27
10,20	102	105	53,37	144,00	83,53	131,69	78,32
10,30	103	106	53,17	144,00	83,83	132,59	79,42
10,40	104	107	52,95	144,00	85,32	133,48	80,53
10,50	105	108	52,76	144,00	86,31	134,38	81,62
10,60	106	109	52,73	148,00	87,18	135,37	82,64
10,70	107	110	52,48	148,00	88,11	136,24	83,76
10,80	108	111	52,20	148,00	89,14	137,10	84,90
10,90	109	112	51,89	148,00	90,19	137,95	86,06
11,00	110	113	51,58	148,00	91,16	138,79	87,21
11,10	111	114	51,29	148,00	92,15	139,65	88,36
11,20	112	115	50,93	148,00	93,15	140,47	89,54
11,30	113	116	50,54	148,00	94,19	141,27	90,73
11,40	114	117	50,12	148,00	95,22	142,06	91,94
11,50	115	118	49,76	148,00	96,25	142,88	93,12
11,60	116	119	49,29	148,00	97,31	143,65	94,36
11,70	117	120	48,80	148,00	98,46	144,40	95,60
11,80	118	121	48,30	148,00	99,54	145,15	96,85
11,90	119	122	47,83	148,00	100,63	145,92	98,09
12,00	120	123	47,32	148,00	101,73	146,66	99,34
12,10	121	124	46,86	148,00	102,85	147,43	100,57
12,20	122	125	46,44	148,00	103,90	148,22	101,78
12,30	123	126	45,94	148,00	105,05	148,97	103,03
12,40	124	127	45,40	148,00	106,23	149,70	104,30
12,50	125	128	44,82	148,00	107,38	150,41	105,59
12,60	126	129	44,23	148,00	108,59	151,12	106,89
12,70	127	130	43,60	148,00	109,82	151,80	108,20
12,80	128	131	43,02	148,00	110,97	152,51	109,49
12,90	129	132	42,33	148,00	112,24	153,17	110,84
13,00	130	133	41,60	148,00	113,53	153,80	112,20
13,10	131	134	40,83	148,00	114,79	154,42	113,59
13,20	132	135	40,02	148,00	116,12	155,01	114,99
13,30	133	136	39,26	148,00	117,37	155,63	116,37
13,40	134	137	38,37	148,00	118,75	156,19	117,82
13,50	135	138	37,42	148,00	120,15	156,71	119,29
13,60	136	139	36,43	148,00	121,58	157,22	120,79
13,70	137	140	35,38	148,00	123,03	157,69	122,31
13,80	138	141	34,39	148,00	124,38	158,20	123,81
13,90	139	142	33,21	148,00	125,20	158,61	125,40
14,00	140	143	31,96	148,00	127,41	158,98	127,02

Tabelle 5.76 P4: Geldaufwand im Zuge der Budgeterhöhung

Abbildung 5.63 zeigt den Verlauf des Erwartungswertes und der Standardabweichung im Rahmen der Ressourcenerhöhung. Wie auch bei der Ressourcenverringering ist der lineare Verlauf des Erwartungswertes ersichtlich.



**Abbildung 5.63 P4; Geldaufwand:  $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgeterhöhung**

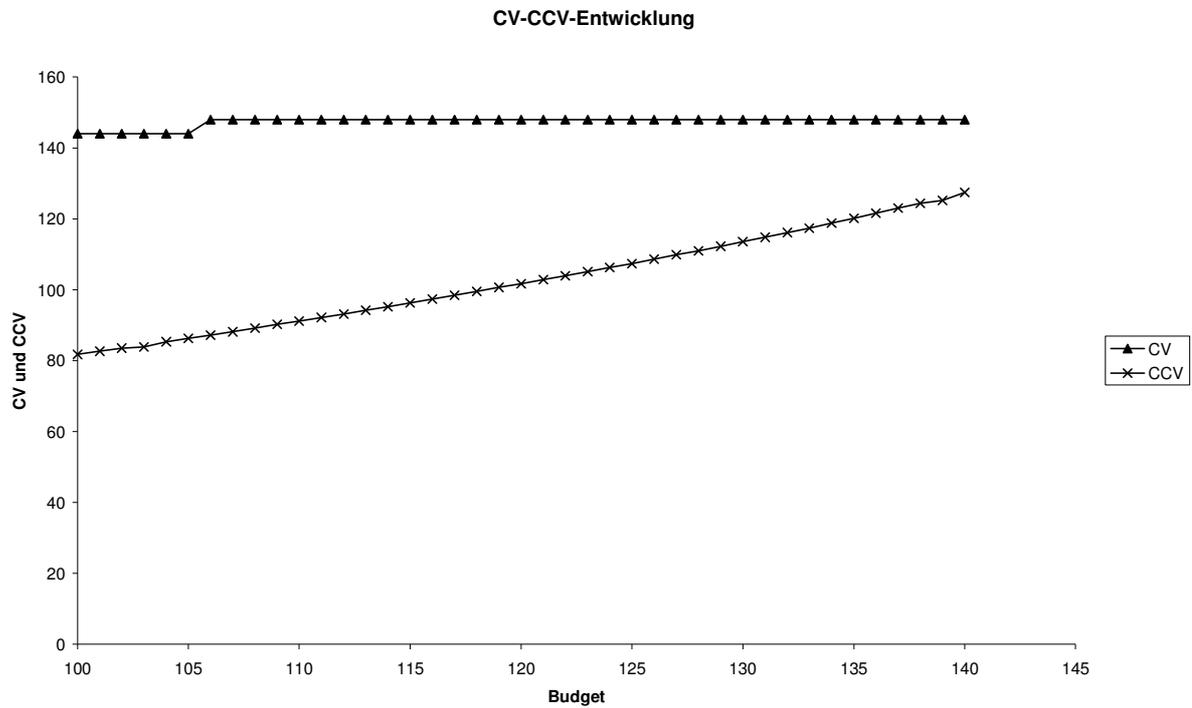
Tabelle 5.77 zeigt die Veränderungen des Erwartungswertes und der Standardabweichung im Rahmen der Budgeterhöhung.

Budget (in Geldeinheiten)	$\mu$	relative Veränderung	absolute Veränderung	$\sigma$	relative Veränderung	absolute Veränderung
100	103	0,00	0,00%	53,62	0,00	0,00%
101	104	1,00	0,97%	53,46	-0,16	-0,30%
102	105	1,00	0,96%	53,37	-0,09	-0,17%
103	106	1,00	0,95%	53,17	-0,20	-0,37%
104	107	1,00	0,94%	52,95	-0,22	-0,41%
105	108	1,00	0,93%	52,76	-0,19	-0,36%
106	109	1,00	0,93%	52,73	-0,03	-0,06%
107	110	1,00	0,92%	52,48	-0,25	-0,47%
108	111	1,00	0,91%	52,20	-0,28	-0,53%

109	112	1,00	0,90%	51,89	-0,31	-0,59%
110	113	1,00	0,89%	51,58	-0,31	-0,60%
111	114	1,00	0,88%	51,29	-0,29	-0,56%
112	115	1,00	0,88%	50,93	-0,36	-0,70%
113	116	1,00	0,87%	50,54	-0,39	-0,77%
114	117	1,00	0,86%	50,12	-0,42	-0,83%
115	118	1,00	0,85%	49,76	-0,36	-0,72%
116	119	1,00	0,85%	49,29	-0,47	-0,94%
117	120	1,00	0,84%	48,80	-0,49	-0,99%
118	121	1,00	0,83%	48,30	-0,50	-1,02%
119	122	1,00	0,83%	47,83	-0,47	-0,97%
120	123	1,00	0,82%	47,32	-0,51	-1,07%
121	124	1,00	0,81%	46,86	-0,46	-0,97%
122	125	1,00	0,81%	46,44	-0,42	-0,90%
123	126	1,00	0,80%	45,94	-0,50	-1,08%
124	127	1,00	0,79%	45,40	-0,54	-1,18%
125	128	1,00	0,79%	44,82	-0,58	-1,28%
126	129	1,00	0,78%	44,23	-0,59	-1,32%
127	130	1,00	0,78%	43,60	-0,63	-1,42%
128	131	1,00	0,77%	43,02	-0,58	-1,33%
129	132	1,00	0,76%	42,33	-0,69	-1,60%
130	133	1,00	0,76%	41,60	-0,73	-1,72%
131	134	1,00	0,75%	40,83	-0,77	-1,85%
132	135	1,00	0,75%	40,02	-0,81	-1,98%
133	136	1,00	0,74%	39,26	-0,76	-1,90%
134	137	1,00	0,74%	38,37	-0,89	-2,27%
135	138	1,00	0,73%	37,42	-0,95	-2,48%
136	139	1,00	0,72%	36,43	-0,99	-2,65%
137	140	1,00	0,72%	35,38	-1,05	-2,88%
138	141	1,00	0,71%	34,39	-0,99	-2,80%
139	142	1,00	0,71%	33,21	-1,18	-3,43%
140	143	1,00	0,70%	31,96	-1,25	-3,76%

**Tabelle 5.77 P4: Detailanalyse zu den  $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung**

Abbildung 5.64 zeigt die Entwicklung des CV und des CCV im Zuge der Budgetsenkung.



**Abbildung 5.64 P4; Geldaufwand: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung**

In Tabelle 5.78 welche die Detailanalyse zu den Veränderungen beider Risikokennzahlen (CV und CCV) zeigt, ist der inkrementelle Anstieg des CV erkennbar.

Budget (in Geldeinheiten)	CV	relative Veränderung	absolute Veränderung	CCV	relative Veränderung	absolute Veränderung
100	144,00	0,00	0,00	81,76	0,00	0,00%
101	144,00	0,00	0,00%	82,62	0,86	1,05%
102	144,00	0,00	0,00%	83,53	0,91	1,10%
103	144,00	0,00	0,00%	83,83	0,30	0,36%
104	144,00	0,00	0,00%	85,32	1,49	1,78%
105	144,00	0,00	0,00%	86,31	0,99	1,16%
106	148,00	4,00	2,78%	87,18	0,87	1,01%
107	148,00	0,00	0,00%	88,11	0,93	1,07%
108	148,00	0,00	0,00%	89,14	1,03	1,17%
109	148,00	0,00	0,00%	90,19	1,05	1,18%
110	148,00	0,00	0,00%	91,16	0,97	1,08%
111	148,00	0,00	0,00%	92,15	0,99	1,09%
112	148,00	0,00	0,00%	93,15	1,00	1,09%

113	148,00	0,00	0,00%	94,19	1,04	1,12%
114	148,00	0,00	0,00%	95,22	1,03	1,09%
115	148,00	0,00	0,00%	96,25	1,03	1,08%
116	148,00	0,00	0,00%	97,31	1,06	1,10%
117	148,00	0,00	0,00%	98,46	1,15	1,18%
118	148,00	0,00	0,00%	99,54	1,08	1,10%
119	148,00	0,00	0,00%	100,63	1,09	1,10%
120	148,00	0,00	0,00%	101,73	1,10	1,09%
121	148,00	0,00	0,00%	102,85	1,12	1,10%
122	148,00	0,00	0,00%	103,90	1,05	1,02%
123	148,00	0,00	0,00%	105,05	1,15	1,11%
124	148,00	0,00	0,00%	106,23	1,18	1,12%
125	148,00	0,00	0,00%	107,38	1,15	1,08%
126	148,00	0,00	0,00%	108,59	1,21	1,13%
127	148,00	0,00	0,00%	109,82	1,23	1,13%
128	148,00	0,00	0,00%	110,97	1,15	1,05%
129	148,00	0,00	0,00%	112,24	1,27	1,14%
130	148,00	0,00	0,00%	113,53	1,29	1,15%
131	148,00	0,00	0,00%	114,79	1,26	1,11%
132	148,00	0,00	0,00%	116,12	1,33	1,16%
133	148,00	0,00	0,00%	117,37	1,25	1,08%
134	148,00	0,00	0,00%	118,75	1,38	1,18%
135	148,00	0,00	0,00%	120,15	1,40	1,18%
136	148,00	0,00	0,00%	121,58	1,43	1,19%
137	148,00	0,00	0,00%	123,03	1,45	1,19%
138	148,00	0,00	0,00%	124,38	1,35	1,10%
139	148,00	0,00	0,00%	125,20	0,82	0,66%
140	148,00	0,00	0,00%	127,41	2,21	1,77%

**Tabelle 5.78 P4 Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung**

Abbildung 5.65 zeigt die Entwicklung des Nutzens für die Risikoaversionsgrade  $a_1$  und  $a_2$  im Rahmen der Ressourcenerhöhung.

Entwicklung des Nutzens

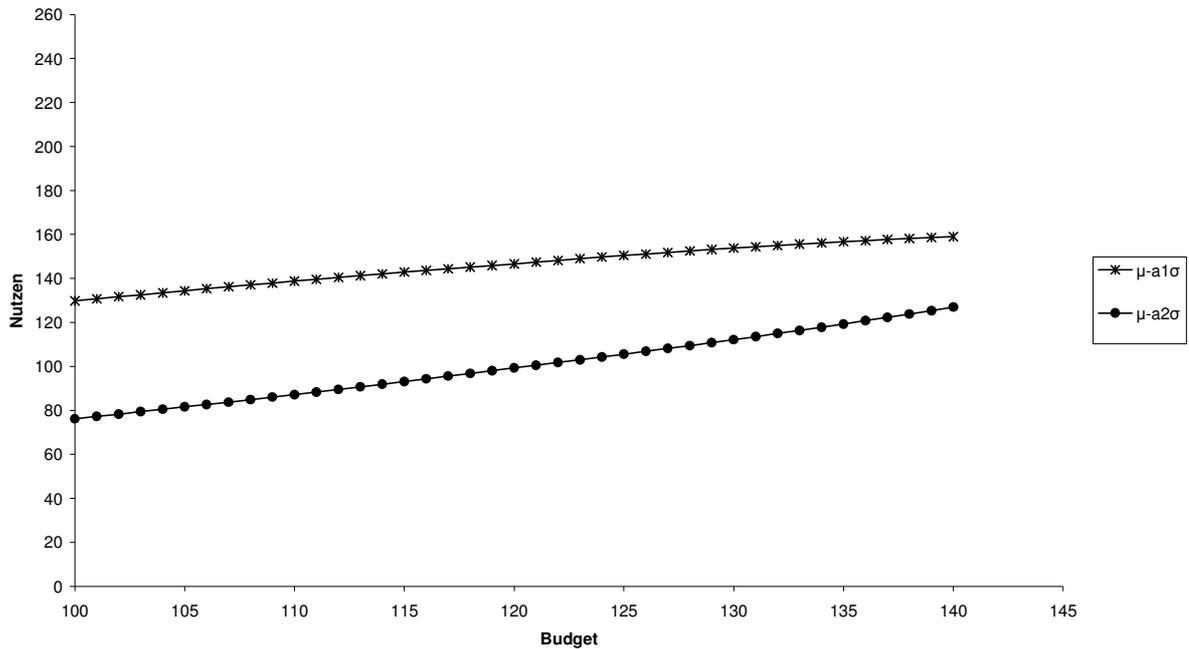


Abbildung 5.65 P4; Geldaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgeterhöhung

Tabelle 5.79 zeigt die Detailanalyse zu den Nutzenänderungen für die Risikoaversionsgrade  $a_1$  und  $a_2$ .

Budget (in Geldeinheiten)	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	absolute Veränderung	relative Veränderung	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )	absolute Veränderung	relative Veränderung
100	129,81	0	0,00%	76,19	0,00	0,00%
101	130,73	0,92	0,71%	77,27	1,08	1,42%
102	131,685	0,955	0,73%	78,315	1,05	1,35%
103	132,585	0,9	0,68%	79,415	1,10	1,40%
104	133,475	0,89	0,67%	80,525	1,11	1,40%
105	134,38	0,905	0,68%	81,62	1,10	1,36%
106	135,365	0,985	0,73%	82,635	1,02	1,24%
107	136,24	0,875	0,65%	83,76	1,13	1,36%
108	137,1	0,86	0,63%	84,9	1,14	1,36%
109	137,945	0,845	0,62%	86,055	1,16	1,36%
110	138,79	0,845	0,61%	87,21	1,15	1,34%
111	139,645	0,855	0,62%	88,355	1,15	1,31%
112	140,465	0,82	0,59%	89,535	1,18	1,34%
113	141,27	0,805	0,57%	90,73	1,20	1,33%
114	142,06	0,79	0,56%	91,94	1,21	1,33%

115	142,88	0,82	0,58%	93,12	1,18	1,28%
116	143,645	0,765	0,54%	94,355	1,24	1,33%
117	144,4	0,755	0,53%	95,6	1,24	1,32%
118	145,15	0,75	0,52%	96,85	1,25	1,31%
119	145,915	0,765	0,53%	98,085	1,24	1,28%
120	146,66	0,745	0,51%	99,34	1,26	1,28%
121	147,43	0,77	0,53%	100,57	1,23	1,24%
122	148,22	0,79	0,54%	101,78	1,21	1,20%
123	148,97	0,75	0,51%	103,03	1,25	1,23%
124	149,7	0,73	0,49%	104,3	1,27	1,23%
125	150,41	0,71	0,47%	105,59	1,29	1,24%
126	151,115	0,705	0,47%	106,885	1,30	1,23%
127	151,8	0,685	0,45%	108,2	1,32	1,23%
128	152,51	0,71	0,47%	109,49	1,29	1,19%
129	153,165	0,655	0,43%	110,835	1,35	1,23%
130	153,8	0,635	0,41%	112,2	1,37	1,23%
131	154,415	0,615	0,40%	113,585	1,38	1,23%
132	155,01	0,595	0,39%	114,99	1,41	1,24%
133	155,63	0,62	0,40%	116,37	1,38	1,20%
134	156,185	0,555	0,36%	117,815	1,44	1,24%
135	156,71	0,525	0,34%	119,29	1,48	1,25%
136	157,215	0,505	0,32%	120,785	1,49	1,25%
137	157,69	0,475	0,30%	122,31	1,53	1,26%
138	158,195	0,505	0,32%	123,805	1,50	1,22%
139	158,605	0,41	0,26%	125,395	1,59	1,28%
140	158,98	0,375	0,24%	127,02	1,63	1,30%

**Tabelle 5.79 P4: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgeterhöhung**

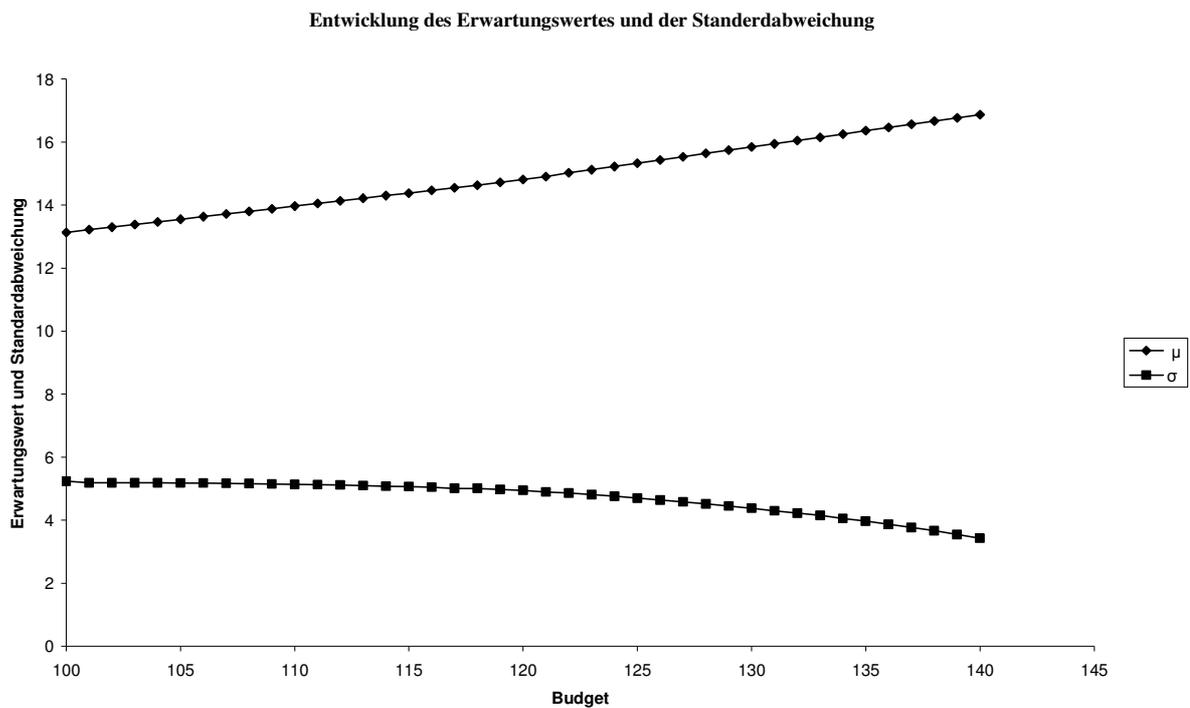
## **Personalaufwand**

Die folgende Tabelle 5.80 zeigt die ermittelten Ergebnisse bei einer schrittweisen Budgeterhöhung.

Budget \ KZ		$\mu$	$\sigma$	CV	CCV	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )
10,00	100	13,13	5,24	16,40	10,88	15,75	10,51
10,10	101	13,22	5,19	16,40	10,94	15,82	10,63
10,20	102	13,30	5,19	16,40	11,00	15,90	10,71
10,30	103	13,38	5,19	16,40	11,06	15,98	10,79
10,40	104	13,47	5,19	16,40	11,13	16,07	10,88
10,50	105	13,55	5,18	16,40	11,20	16,14	10,96
10,60	106	13,63	5,18	16,40	11,26	16,22	11,04
10,70	107	13,72	5,17	16,40	11,33	16,31	11,14
10,80	108	13,80	5,16	16,40	11,40	16,38	11,22
10,90	109	13,88	5,15	16,40	11,47	16,46	11,31
11,00	110	13,97	5,14	16,40	11,54	16,54	11,40
11,10	111	14,05	5,13	16,40	11,61	16,62	11,49
11,20	112	14,13	5,12	16,40	11,69	16,69	11,57
11,30	113	14,22	5,10	16,40	11,76	16,77	11,67
11,40	114	14,30	5,08	16,40	11,83	16,84	11,76
11,50	115	14,38	5,07	16,40	11,90	16,92	11,85
11,60	116	14,47	5,05	16,40	11,98	17,00	11,95
11,70	117	14,55	5,01	16,40	12,05	17,06	12,05
11,80	118	14,63	5,01	16,40	12,14	17,14	12,13
11,90	119	14,72	4,98	16,40	12,21	17,21	12,23
12,00	120	14,81	4,95	16,40	12,31	17,29	12,34
12,10	121	14,91	4,90	16,40	12,42	17,36	12,46
12,20	122	15,02	4,86	16,40	12,52	17,45	12,59
12,30	123	15,12	4,81	16,40	12,63	17,53	12,72
12,40	124	15,22	4,76	16,40	12,75	17,60	12,84
12,50	125	15,33	4,70	16,40	12,86	17,68	12,98
12,60	126	15,43	4,64	16,40	12,97	17,75	13,11
12,70	127	15,53	4,58	16,40	13,09	17,82	13,24
12,80	128	15,64	4,52	16,40	13,20	17,90	13,38
12,90	129	15,74	4,45	16,40	13,33	17,97	13,52
13,00	130	15,84	4,38	16,40	13,45	18,03	13,65
13,10	131	15,94	4,30	16,40	13,57	18,09	13,79
13,20	132	16,05	4,22	16,40	13,71	18,16	13,94
13,30	133	16,15	4,15	16,40	13,82	18,23	14,08
13,40	134	16,25	4,06	16,40	14,00	18,28	14,22
13,50	135	16,36	3,97	16,40	14,09	18,35	14,38
13,60	136	16,46	3,87	16,40	14,23	18,40	14,53
13,70	137	16,56	3,77	16,40	14,37	18,45	14,68
13,80	138	16,66	3,67	16,40	14,50	18,50	14,83
13,90	139	16,77	3,55	16,40	14,65	18,55	15,00
14,00	140	16,87	3,43	16,40	14,79	18,59	15,16

Tabelle 5.80 P4: Personalaufwand im Zuge der Budgeterhöhung

Der Abbildung 5.66 welche die Entwicklung des Erwartungswertes und der Standardabweichung zeigt, ist der beinahe lineare Anstieg des Erwartungswertes zu entnehmen.



**Abbildung 5.66 P4; Personalaufwand:  $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgeterhöhung**

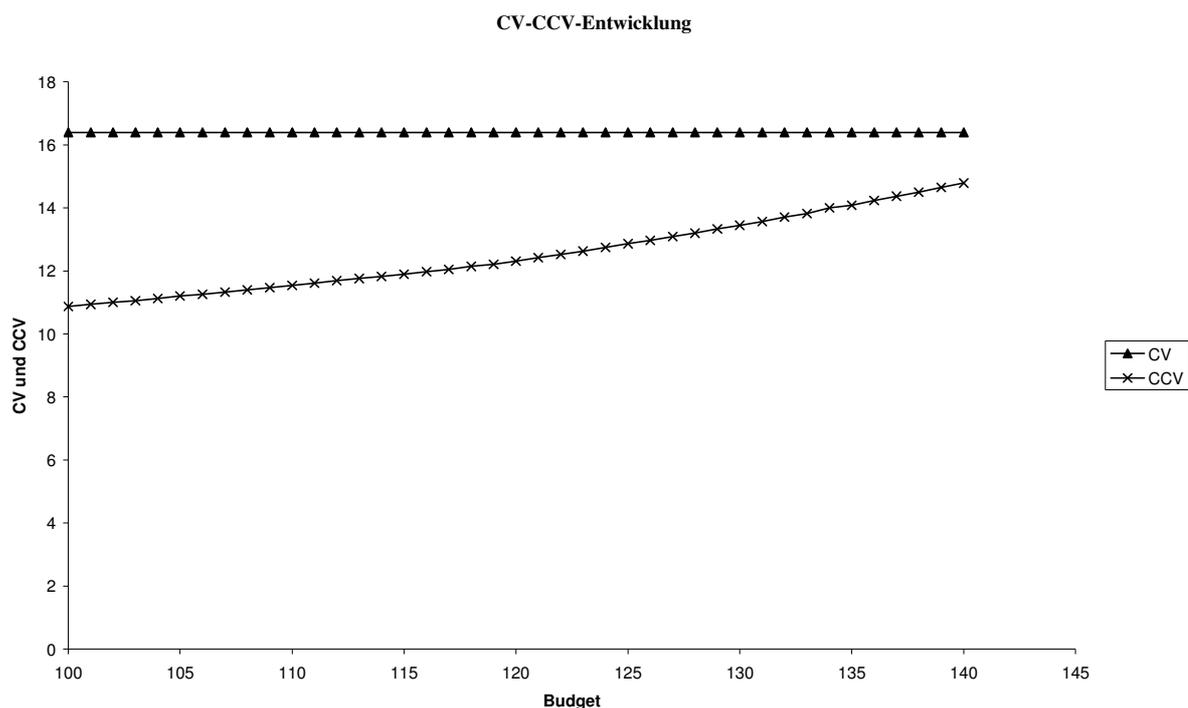
Tabelle 5.81 zeigt die Detailanalyse zu den Veränderungen des Erwartungswert und der Standardabweichung.

Budget	$\mu$	absolute Veränderung	relative Veränderung	$\sigma$	absolute Veränderung	relative Veränderung
100	13,13	0,00	0,00%	5,24	0,00	0,00%
101	13,22	0,09	0,69%	5,19	-0,05	-0,95%
102	13,30	0,08	0,61%	5,19	0,00	0,00%
103	13,38	0,08	0,60%	5,19	0,00	0,00%
104	13,47	0,09	0,67%	5,19	0,00	0,00%
105	13,55	0,08	0,59%	5,18	-0,01	-0,19%
106	13,63	0,08	0,59%	5,18	0,00	0,00%
107	13,72	0,09	0,66%	5,17	-0,01	-0,19%
108	13,80	0,08	0,58%	5,16	-0,01	-0,19%

109	13,88	0,08	0,58%	5,15	-0,01	-0,19%
110	13,97	0,09	0,65%	5,14	-0,01	-0,19%
111	14,05	0,08	0,57%	5,13	-0,01	-0,19%
112	14,13	0,08	0,57%	5,12	-0,01	-0,19%
113	14,22	0,09	0,64%	5,10	-0,02	-0,39%
114	14,30	0,08	0,56%	5,08	-0,02	-0,39%
115	14,38	0,08	0,56%	5,07	-0,01	-0,20%
116	14,47	0,09	0,63%	5,05	-0,02	-0,39%
117	14,55	0,08	0,55%	5,01	-0,04	-0,79%
118	14,63	0,08	0,55%	5,01	0,00	0,00%
119	14,72	0,09	0,62%	4,98	-0,03	-0,60%
120	14,81	0,09	0,61%	4,95	-0,03	-0,60%
121	14,91	0,10	0,68%	4,90	-0,05	-1,01%
122	15,02	0,11	0,74%	4,86	-0,04	-0,82%
123	15,12	0,10	0,67%	4,81	-0,05	-1,03%
124	15,22	0,10	0,66%	4,76	-0,05	-1,04%
125	15,33	0,11	0,72%	4,70	-0,06	-1,26%
126	15,43	0,10	0,65%	4,64	-0,06	-1,28%
127	15,53	0,10	0,65%	4,58	-0,06	-1,29%
128	15,64	0,11	0,71%	4,52	-0,06	-1,31%
129	15,74	0,10	0,64%	4,45	-0,07	-1,55%
130	15,84	0,10	0,64%	4,38	-0,07	-1,57%
131	15,94	0,10	0,63%	4,30	-0,08	-1,83%
132	16,05	0,11	0,69%	4,22	-0,08	-1,86%
133	16,15	0,10	0,62%	4,15	-0,07	-1,66%
134	16,25	0,10	0,62%	4,06	-0,09	-2,17%
135	16,36	0,11	0,68%	3,97	-0,09	-2,22%
136	16,46	0,10	0,61%	3,87	-0,10	-2,52%
137	16,56	0,10	0,61%	3,77	-0,10	-2,58%
138	16,66	0,10	0,60%	3,67	-0,10	-2,65%
139	16,77	0,11	0,66%	3,55	-0,12	-3,27%
140	16,87	0,10	0,60%	3,43	-0,12	-3,38%

**Tabelle 5.81 P4: Detailanalyse zu den  $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung**

Abbildung 5.67 stellt den Verlauf des CV und des CCV im Zuge der Budgeterhöhung dar. Während der CV unverändert bleibt, steigt der CCV schrittweise an.



**Abbildung 5.67 P4; Personalaufwand: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung**

Tabelle 5.82 zeigt die Veränderungen des CV und des CCV im Verlauf der Budgeterhöhung.

Budget (in Budgeteinheiten)	CV	absolute Veränderung	relative Veränderung	CCV	absolute Veränderung	Relative Veränderung
100	16,40	0,00	0,00%	10,88	0,00	0,00%
101	16,40	0,00	0,00%	10,94	0,06	0,59%
102	16,40	0,00	0,00%	11,00	0,06	0,55%
103	16,40	0,00	0,00%	11,06	0,06	0,55%
104	16,40	0,00	0,00%	11,13	0,07	0,63%
105	16,40	0,00	0,00%	11,20	0,07	0,63%
106	16,40	0,00	0,00%	11,26	0,06	0,54%
107	16,40	0,00	0,00%	11,33	0,07	0,62%
108	16,40	0,00	0,00%	11,40	0,07	0,62%
109	16,40	0,00	0,00%	11,47	0,07	0,61%
110	16,40	0,00	0,00%	11,54	0,07	0,61%
111	16,40	0,00	0,00%	11,61	0,07	0,61%
112	16,40	0,00	0,00%	11,69	0,08	0,69%
113	16,40	0,00	0,00%	11,76	0,07	0,60%
114	16,40	0,00	0,00%	11,83	0,07	0,60%
115	16,40	0,00	0,00%	11,90	0,07	0,59%

116	16,40	0,00	0,00%	11,98	0,08	0,67%
117	16,40	0,00	0,00%	12,05	0,07	0,58%
118	16,40	0,00	0,00%	12,14	0,09	0,75%
119	16,40	0,00	0,00%	12,21	0,07	0,58%
120	16,40	0,00	0,00%	12,31	0,10	0,82%
121	16,40	0,00	0,00%	12,42	0,11	0,89%
122	16,40	0,00	0,00%	12,52	0,10	0,81%
123	16,40	0,00	0,00%	12,63	0,11	0,88%
124	16,40	0,00	0,00%	12,75	0,12	0,95%
125	16,40	0,00	0,00%	12,86	0,11	0,86%
126	16,40	0,00	0,00%	12,97	0,11	0,86%
127	16,40	0,00	0,00%	13,09	0,12	0,93%
128	16,40	0,00	0,00%	13,20	0,11	0,84%
129	16,40	0,00	0,00%	13,33	0,13	0,98%
130	16,40	0,00	0,00%	13,45	0,12	0,90%
131	16,40	0,00	0,00%	13,57	0,12	0,89%
132	16,40	0,00	0,00%	13,71	0,14	1,03%
133	16,40	0,00	0,00%	13,82	0,11	0,80%
134	16,40	0,00	0,00%	14,00	0,18	1,30%
135	16,40	0,00	0,00%	14,09	0,09	0,64%
136	16,40	0,00	0,00%	14,23	0,14	0,99%
137	16,40	0,00	0,00%	14,37	0,14	0,98%
138	16,40	0,00	0,00%	14,50	0,13	0,90%
139	16,40	0,00	0,00%	14,65	0,15	1,03%
140	16,40	0,00	0,00%	14,79	0,14	0,96%

**Tabelle 5.82 P3 Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung**

Abbildung 5.68 zeigt den Verlauf des Nutzens im Rahmen der Ressourcenerhöhung.

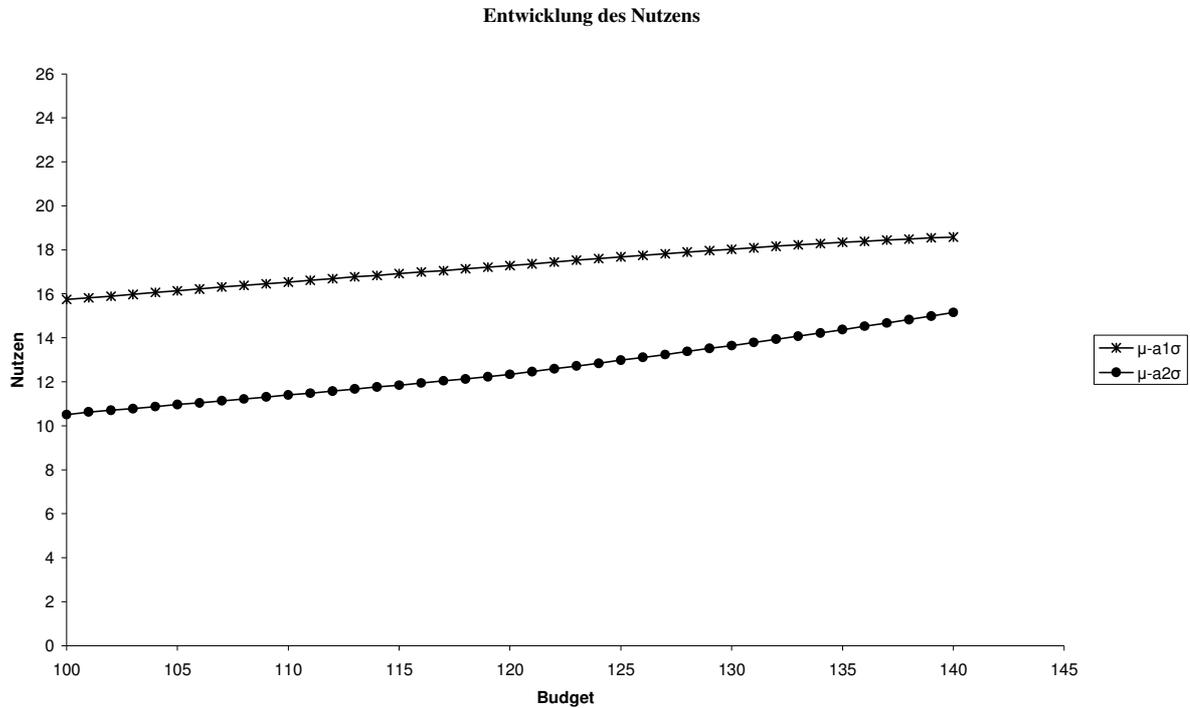


Abbildung 5.68 P4; Geldaufwand: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgeterhöhung

Tabelle 5.83 zeigt die Detailanalyse zu den Nutzenänderungen für die Risikoaversionsgrade  $a_1$  und  $a_2$ .

Budget (in Geldeinheiten)	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = 0,5$ )	absolute Veränderung	relative Veränderung	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )	absolute Veränderung	relative Veränderung
100	15,75	0,00	0,00%	10,51	0,00	0,00%
101	15,815	0,065	0,41%	10,625	0,12	1,09%
102	15,895	0,08	0,51%	10,705	0,08	0,75%
103	15,975	0,08	0,50%	10,785	0,08	0,75%
104	16,065	0,09	0,56%	10,875	0,09	0,83%
105	16,14	0,075	0,47%	10,96	0,09	0,78%
106	16,22	0,08	0,50%	11,04	0,08	0,73%
107	16,305	0,085	0,52%	11,135	0,10	0,86%
108	16,38	0,075	0,46%	11,22	0,09	0,76%
109	16,455	0,075	0,46%	11,305	0,08	0,76%
110	16,54	0,085	0,52%	11,4	0,10	0,84%
111	16,615	0,075	0,45%	11,485	0,08	0,75%
112	16,69	0,075	0,45%	11,57	0,09	0,74%

113	16,77	0,08	0,48%	11,67	0,10	0,86%
114	16,84	0,07	0,42%	11,76	0,09	0,77%
115	16,915	0,075	0,45%	11,845	0,09	0,72%
116	16,995	0,08	0,47%	11,945	0,10	0,84%
117	17,055	0,06	0,35%	12,045	0,10	0,84%
118	17,135	0,08	0,47%	12,125	0,08	0,66%
119	17,21	0,075	0,44%	12,23	0,11	0,87%
120	17,285	0,075	0,44%	12,335	0,11	0,86%
121	17,36	0,075	0,43%	12,46	0,13	1,01%
122	17,45	0,09	0,52%	12,59	0,13	1,04%
123	17,525	0,075	0,43%	12,715	0,13	0,99%
124	17,6	0,075	0,43%	12,84	0,13	0,98%
125	17,68	0,08	0,45%	12,98	0,14	1,09%
126	17,75	0,07	0,40%	13,11	0,13	1,00%
127	17,82	0,07	0,39%	13,24	0,13	0,99%
128	17,9	0,08	0,45%	13,38	0,14	1,06%
129	17,965	0,065	0,36%	13,515	0,14	1,01%
130	18,03	0,065	0,36%	13,65	0,14	1,00%
131	18,09	0,06	0,33%	13,79	0,14	1,03%
132	18,16	0,07	0,39%	13,94	0,15	1,09%
133	18,225	0,065	0,36%	14,075	0,14	0,97%
134	18,28	0,055	0,30%	14,22	0,15	1,03%
135	18,345	0,065	0,36%	14,375	0,15	1,09%
136	18,395	0,05	0,27%	14,525	0,15	1,04%
137	18,445	0,05	0,27%	14,675	0,15	1,03%
138	18,495	0,05	0,27%	14,825	0,15	1,02%
139	18,545	0,05	0,27%	14,995	0,17	1,15%
140	18,585	0,04	0,22%	15,155	0,16	1,07%

Tabelle 5.83 P4: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgeterhöhung

## Ertrag

Tabelle 5.84 zeigt anhand der ermittelten Ergebnisse die Folgen der Budgeterhöhung auf die Projektverteilung.

Budget \ KZ		$\mu$	$\sigma$	CV	CCV	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )
10,00	100	39.994,60	33.867,20	71.893,15	28.505,70	56.928,20	23.061,00
10,10	101	39.995,40	33.260,36	70.789,29	28.638,40	56.625,58	23.365,22
10,20	102	39.996,20	32.710,05	69.720,81	28.796,30	56.351,23	23.641,18
10,30	103	39.997,00	32.121,06	68.686,03	28.734,36	56.057,53	23.936,47
10,40	104	39.997,80	31.540,79	67.683,39	29.073,40	55.768,20	24.227,41

10,50	105	39.998,60	30.991,77	66.711,41	29.269,00	55.494,49	24.502,72
10,60	106	39.999,40	30.447,50	65.764,71	26.134,50	55.223,15	24.775,65
10,70	107	40.000,20	29.900,04	64.849,98	26.292,50	54.950,22	25.050,18
10,80	108	40.001,00	29.358,36	63.962,00	26.513,60	54.680,18	25.321,82
10,90	109	40.001,80	28.822,11	63.099,61	26.736,70	54.412,86	25.590,75
11,00	110	40.002,60	28.290,94	62.261,71	26.906,02	54.148,07	25.857,13
11,10	111	40.003,30	27.787,80	61.447,30	27.098,03	53.897,20	26.109,40
11,20	112	40.004,20	27.266,21	60.655,37	27.274,90	53.637,31	26.371,10
11,30	113	40.005,00	26.741,28	59.885,03	27.509,40	53.375,64	26.634,36
11,40	114	40.005,80	26.220,93	59.135,39	27.695,90	53.116,27	26.895,34
11,50	115	40.006,60	25.743,09	58.405,63	27.896,40	52.878,15	27.135,06
11,60	116	40.007,40	25.230,50	57.694,98	28.090,10	52.622,65	27.392,15
11,70	117	40.008,20	24.727,22	57.002,70	28.337,40	52.371,81	27.644,59
11,80	118	40.009,00	24.226,37	56.328,07	28.540,50	52.122,19	27.895,82
11,90	119	40.009,80	23.754,90	55.670,44	28.752,80	51.887,25	28.132,35
12,00	120	40.010,50	23.210,37	54.984,50	28.986,20	51.615,69	28.405,32
12,10	121	40.011,20	22.658,96	54.287,62	29.256,40	51.340,68	28.681,72
12,20	122	40.012,00	22.138,20	53.609,57	29.487,17	51.081,10	28.942,90
12,30	123	40.012,70	21.589,80	52.949,60	29.767,70	50.807,60	29.217,80
12,40	124	40.013,40	21.041,80	52.307,00	30.054,20	50.534,30	29.492,50
12,50	125	40.014,10	20.486,92	51.681,09	30.346,80	50.257,56	29.770,64
12,60	126	40.014,80	19.938,50	51.071,23	30.645,70	49.984,05	30.045,55
12,70	127	40.015,50	19.388,80	50.475,81	30.951,10	49.709,90	30.321,10
12,80	128	40.016,30	18.871,30	49.913,25	31.211,90	49.451,95	30.580,65
12,90	129	40.017,00	18.317,90	49.332,00	31.529,90	49.175,95	30.858,05
13,00	130	40.017,70	17.760,98	48.780,54	31.855,09	48.898,19	31.137,21
13,10	131	40.018,40	17.197,90	48.242,36	32.156,30	48.617,35	31.419,45
13,20	132	40.019,10	16.631,70	47.717,00	32.498,10	48.334,95	31.703,25
13,30	133	40.019,80	16.099,50	47.204,00	32.990,20	48.069,55	31.970,05
13,40	134	40.020,50	15.521,20	46.702,93	33.146,92	47.781,10	32.259,90
13,50	135	40.021,30	14.932,90	46.213,38	33.512,22	47.487,75	32.554,85
13,60	136	40.022,00	14.335,90	45.734,95	33.886,45	47.189,95	32.854,05
13,70	137	40.022,70	13.726,90	45.267,28	34.279,97	46.886,15	33.159,25
13,80	138	40.023,40	13.153,10	44.810,00	34.598,11	46.599,95	33.446,85
13,90	139	40.024,10	12.515,70	44.362,77	34.999,57	46.281,95	33.766,25
14,00	140	40.024,80	11.858,80	43.925,26	35.411,37	45.954,20	34.095,40

**Tabelle 5.84 P4: Personalaufwand im Zuge der Budgeterhöhung**

In Abbildung 5.69 welche den Verlauf des Erwartungswertes und der Standardabweichung im Rahmen der Ressourcenerhöhung zeigt ist ersichtlich, dass der Erwartungswert im Gegensatz zur Standardabweichung beinahe unverändert bleibt.

Entwicklung des Erwartungswertes und der Standardabweichung

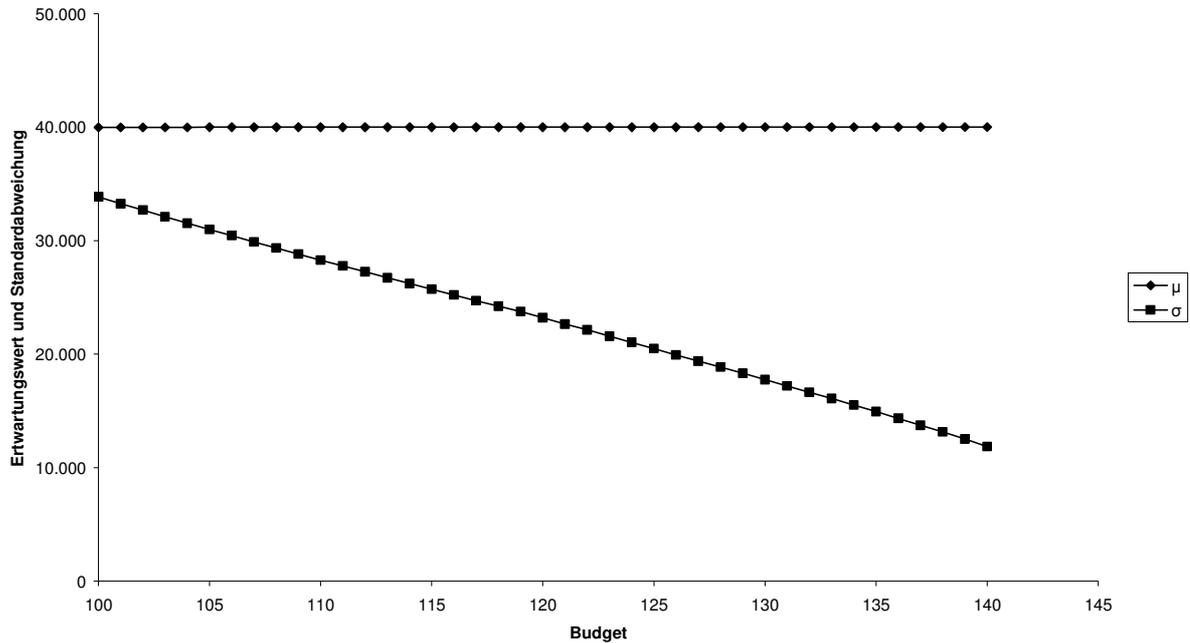


Abbildung 5.69 P4; Ertrag:  $\sigma$ - $\mu$ -Entwicklung im Zuge der Budgeterhöhung

Tabelle 5.85 beinhaltet die Detailanalyse zu den Veränderungen des Erwartungswertes und der Standardabweichung.

Budget (in Geldeinheiten)	$\mu$	Absolute Veränderung	relative Veränderung	$\sigma$	absolute Veränderung	relative Veränderung
100	39.994,60	0,00	0,0000%	33.867,20	0,00	0,00%
101	39.995,40	0,80	0,0020%	33.260,36	-606,84	-1,79%
102	39.996,20	0,80	0,0020%	32.710,05	-550,31	-1,65%
103	39.997,00	0,80	0,0020%	32.121,06	-588,99	-1,80%
104	39.997,80	0,80	0,0020%	31.540,79	-580,27	-1,81%
105	39.998,60	0,80	0,0020%	30.991,77	-549,02	-1,74%
106	39.999,40	0,80	0,0020%	30.447,50	-544,27	-1,76%
107	40.000,20	0,80	0,0020%	29.900,04	-547,46	-1,80%
108	40.001,00	0,80	0,0020%	29.358,36	-541,68	-1,81%
109	40.001,80	0,80	0,0020%	28.822,11	-536,25	-1,83%
110	40.002,60	0,80	0,0020%	28.290,94	-531,17	-1,84%
111	40.003,30	0,70	0,0017%	27.787,80	-503,14	-1,78%
112	40.004,20	0,90	0,0022%	27.266,21	-521,59	-1,88%
113	40.005,00	0,80	0,0020%	26.741,28	-524,93	-1,93%
114	40.005,80	0,80	0,0020%	26.220,93	-520,35	-1,95%
115	40.006,60	0,80	0,0020%	25.743,09	-477,84	-1,82%
116	40.007,40	0,80	0,0020%	25.230,50	-512,59	-1,99%
117	40.008,20	0,80	0,0020%	24.727,22	-503,28	-1,99%

118	40.009,00	0,80	0,0020%	24.226,37	-500,85	-2,03%
119	40.009,80	0,80	0,0020%	23.754,90	-471,47	-1,95%
120	40.010,50	0,70	0,0017%	23.210,37	-544,53	-2,29%
121	40.011,20	0,70	0,0017%	22.658,96	-551,41	-2,38%
122	40.012,00	0,80	0,0020%	22.138,20	-520,76	-2,30%
123	40.012,70	0,70	0,0017%	21.589,80	-548,40	-2,48%
124	40.013,40	0,70	0,0017%	21.041,80	-548,00	-2,54%
125	40.014,10	0,70	0,0017%	20.486,92	-554,88	-2,64%
126	40.014,80	0,70	0,0017%	19.938,50	-548,42	-2,68%
127	40.015,50	0,70	0,0017%	19.388,80	-549,70	-2,76%
128	40.016,30	0,80	0,0020%	18.871,30	-517,50	-2,67%
129	40.017,00	0,70	0,0017%	18.317,90	-553,40	-2,93%
130	40.017,70	0,70	0,0017%	17.760,98	-556,92	-3,04%
131	40.018,40	0,70	0,0017%	17.197,90	-563,08	-3,17%
132	40.019,10	0,70	0,0017%	16.631,70	-566,20	-3,29%
133	40.019,80	0,70	0,0017%	16.099,50	-532,20	-3,20%
134	40.020,50	0,70	0,0017%	15.521,20	-578,30	-3,59%
135	40.021,30	0,80	0,0020%	14.932,90	-588,30	-3,79%
136	40.022,00	0,70	0,0017%	14.335,90	-597,00	-4,00%
137	40.022,70	0,70	0,0017%	13.726,90	-609,00	-4,25%
138	40.023,40	0,70	0,0017%	13.153,10	-573,80	-4,18%
139	40.024,10	0,70	0,0017%	12.515,70	-637,40	-4,85%
140	40.024,80	0,70	0,0017%	11.858,80	-656,90	-5,25%

**Tabelle 5.85 P4: Detailanalyse zu den  $\mu$ - $\sigma$ -Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung**

Abbildung 5.70 zeigt die Entwicklung des CV und des CCV im Zuge der Ressourcensenkung. Dieser Abbildung sind die gegensätzlichen Verläufe der beiden Risikokennzahlen zu entnehmen.

CV-CCV-Entwicklung

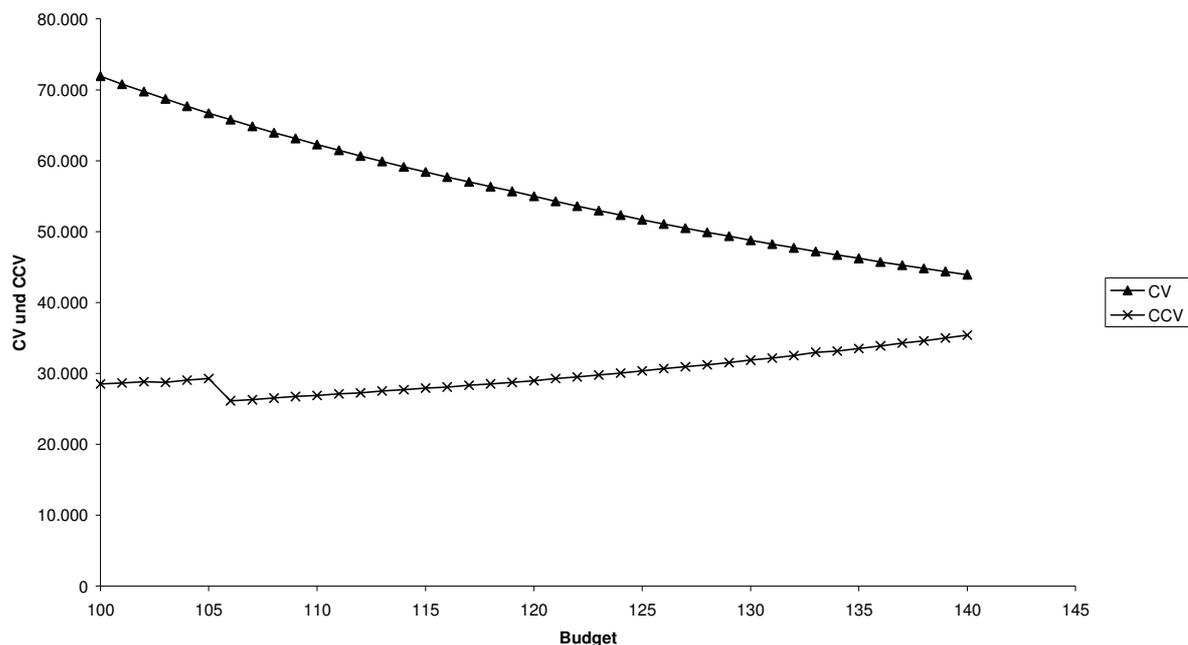


Abbildung 5.70 P4; Ertrag: CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung

Tabelle 5.86 zeigt die Detailanalyse zu den Veränderungen des CV und des CCV.

Budget (in Geldeinheiten)	CV	absolute Veränderung	relative Veränderung	CCV	absolute Veränderung	Relative Veränderung
100	71.893,15	0,00	0,00%	28.505,70	0,00	0,00%
101	70.789,29	-1.103,86	-1,54%	28.638,40	132,7	0,47%
102	69.720,81	-1.068,48	-1,51%	28.796,30	157,9	0,55%
103	68.686,03	-1.034,78	-1,48%	28.734,36	-61,94	-0,22%
104	67.683,39	-1.002,64	-1,46%	29.073,40	339,04	1,18%
105	66.711,41	-971,98	-1,44%	29.269,00	195,6	0,67%
106	65.764,71	-946,70	-1,42%	26.134,50	-3134,5	-10,71%
107	64.849,98	-914,73	-1,39%	26.292,50	158	0,60%
108	63.962,00	-887,98	-1,37%	26.513,60	221,1	0,84%
109	63.099,61	-862,39	-1,35%	26.736,70	223,1	0,84%
110	62.261,71	-837,90	-1,33%	26.906,02	169,32	0,63%
111	61.447,30	-814,41	-1,31%	27.098,03	192,01	0,71%
112	60.655,37	-791,93	-1,29%	27.274,90	176,87	0,65%
113	59.885,03	-770,34	-1,27%	27.509,40	234,5	0,86%
114	59.135,39	-749,64	-1,25%	27.695,90	186,5	0,68%
115	58.405,63	-729,76	-1,23%	27.896,40	200,5	0,72%
116	57.694,98	-710,65	-1,22%	28.090,10	193,7	0,69%

117	57.002,70	-692,28	-1,20%	28.337,40	247,3	0,88%
118	56.328,07	-674,63	-1,18%	28.540,50	203,1	0,72%
119	55.670,44	-657,63	-1,17%	28.752,80	212,3	0,74%
120	54.984,50	-685,94	-1,23%	28.986,20	233,4	0,81%
121	54.287,62	-696,88	-1,27%	29.256,40	270,2	0,93%
122	53.609,57	-678,05	-1,25%	29.487,17	230,77	0,79%
123	52.949,60	-659,97	-1,23%	29.767,70	280,53	0,95%
124	52.307,00	-642,60	-1,21%	30.054,20	286,5	0,96%
125	51.681,09	-625,91	-1,20%	30.346,80	292,6	0,97%
126	51.071,23	-609,86	-1,18%	30.645,70	298,9	0,98%
127	50.475,81	-595,42	-1,17%	30.951,10	305,4	1,00%
128	49.913,25	-562,56	-1,11%	31.211,90	260,8	0,84%
129	49.332,00	-581,25	-1,16%	31.529,90	318	1,02%
130	48.780,54	-551,46	-1,12%	31.855,09	325,19	1,03%
131	48.242,36	-538,18	-1,10%	32.156,30	301,21	0,95%
132	47.717,00	-525,36	-1,09%	32.498,10	341,8	1,06%
133	47.204,00	-513,00	-1,08%	32.990,20	492,1	1,51%
134	46.702,93	-501,07	-1,06%	33.146,92	156,72	0,48%
135	46.213,38	-489,55	-1,05%	33.512,22	365,3	1,10%
136	45.734,95	-478,43	-1,04%	33.886,45	374,23	1,12%
137	45.267,28	-467,67	-1,02%	34.279,97	393,52	1,16%
138	44.810,00	-457,28	-1,01%	34.598,11	318,14	0,93%
139	44.362,77	-447,23	-1,00%	34.999,57	401,46	1,16%
140	43.925,26	-437,51	-0,99%	35.411,37	411,8	1,18%

**Tabelle 5.86 P4 Detailanalyse der CV-CCV-Veränderungen im Zuge der Budgeterhöhung**

Abbildung 5.71 zeigt den Verlauf des Nutzens im Rahmen der schrittweisen Budgeterhöhung.

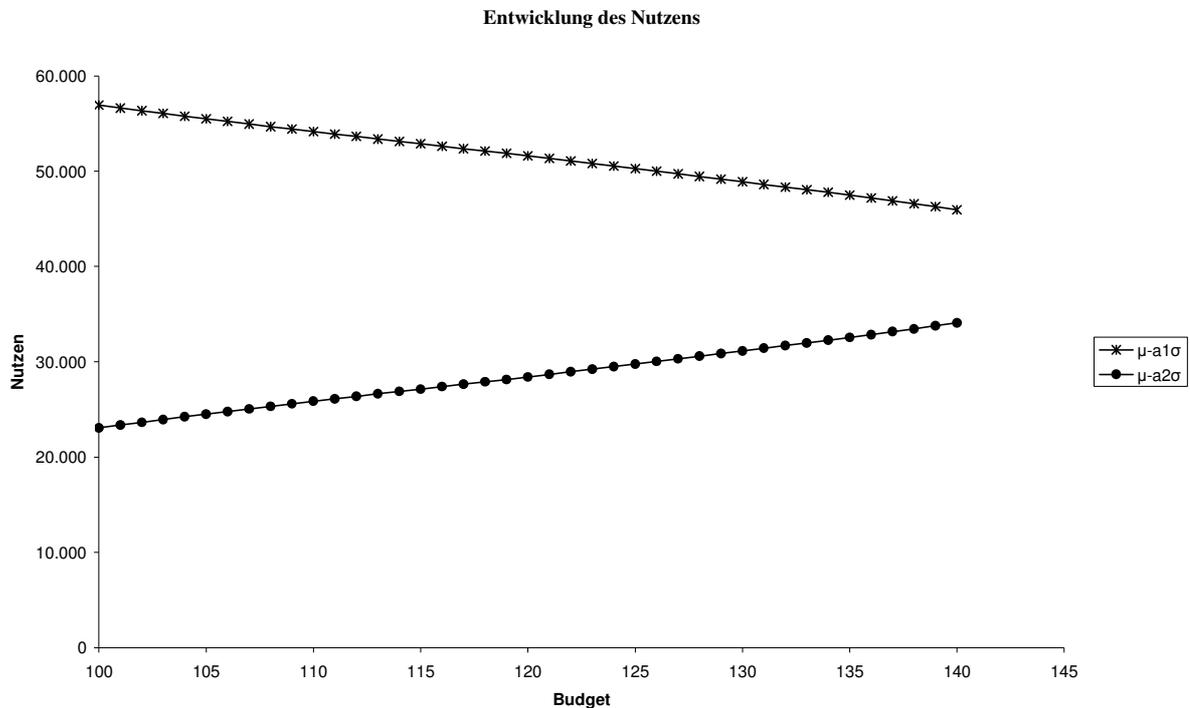


Abbildung 5.71 P4; Ertrag: Nutzenentwicklung im Zuge der Budgeterhöhung

Tabelle 5.87 zeigt die Detailanalyse zu den Nutzenänderungen der Risikoaversionsgrade  $a_1$  und  $a_2$ .

Budget (in Geldeinheiten)	$\mu - a_1\sigma$ ( $a_1 = -0,5$ )	absolute Veränderung	relative Veränderung	$\mu - a_2\sigma$ ( $a_2 = 0,5$ )	absolute Veränderung	relative Veränderung
100	56.928,20	0,00	0,00%	23.061,00	0,00	0,00%
101	56.625,58	-302,62	-0,53%	23.365,22	304,22	1,32%
102	56.351,23	-274,36	-0,48%	23.641,18	275,95	1,18%
103	56.057,53	-293,70	-0,52%	23.936,47	295,30	1,25%
104	55.768,20	-289,33	-0,52%	24.227,41	290,94	1,22%
105	55.494,49	-273,71	-0,49%	24.502,72	275,31	1,14%
106	55.223,15	-271,33	-0,49%	24.775,65	272,94	1,11%
107	54.950,22	-272,93	-0,49%	25.050,18	274,53	1,11%
108	54.680,18	-270,04	-0,49%	25.321,82	271,64	1,08%
109	54.412,86	-267,32	-0,49%	25.590,75	268,93	1,06%
110	54.148,07	-264,79	-0,49%	25.857,13	266,38	1,04%
111	53.897,20	-250,87	-0,46%	26.109,40	252,27	0,98%
112	53.637,31	-259,90	-0,48%	26.371,10	261,69	1,00%
113	53.375,64	-261,66	-0,49%	26.634,36	263,27	1,00%

114	53.116,27	-259,38	-0,49%	26.895,34	260,98	0,98%
115	52.878,15	-238,12	-0,45%	27.135,06	239,72	0,89%
116	52.622,65	-255,49	-0,48%	27.392,15	257,10	0,95%
117	52.371,81	-250,84	-0,48%	27.644,59	252,44	0,92%
118	52.122,19	-249,63	-0,48%	27.895,82	251,23	0,91%
119	51.887,25	-234,93	-0,45%	28.132,35	236,53	0,85%
120	51.615,69	-271,57	-0,52%	28.405,32	272,97	0,97%
121	51.340,68	-275,00	-0,53%	28.681,72	276,40	0,97%
122	51.081,10	-259,58	-0,51%	28.942,90	261,18	0,91%
123	50.807,60	-273,50	-0,54%	29.217,80	274,90	0,95%
124	50.534,30	-273,30	-0,54%	29.492,50	274,70	0,94%
125	50.257,56	-276,74	-0,55%	29.770,64	278,14	0,94%
126	49.984,05	-273,51	-0,54%	30.045,55	274,91	0,92%
127	49.709,90	-274,15	-0,55%	30.321,10	275,55	0,92%
128	49.451,95	-257,95	-0,52%	30.580,65	259,55	0,86%
129	49.175,95	-276,00	-0,56%	30.858,05	277,40	0,91%
130	48.898,19	-277,76	-0,56%	31.137,21	279,16	0,90%
131	48.617,35	-280,84	-0,57%	31.419,45	282,24	0,91%
132	48.334,95	-282,40	-0,58%	31.703,25	283,80	0,90%
133	48.069,55	-265,40	-0,55%	31.970,05	266,80	0,84%
134	47.781,10	-288,45	-0,60%	32.259,90	289,85	0,91%
135	47.487,75	-293,35	-0,61%	32.554,85	294,95	0,91%
136	47.189,95	-297,80	-0,63%	32.854,05	299,20	0,92%
137	46.886,15	-303,80	-0,64%	33.159,25	305,20	0,93%
138	46.599,95	-286,20	-0,61%	33.446,85	287,60	0,87%
139	46.281,95	-318,00	-0,68%	33.766,25	319,40	0,95%
140	45.954,20	-327,75	-0,71%	34.095,40	329,15	0,97%

**Tabelle 5.87 P4: Detailanalyse der Nutzenveränderungen im Zuge der Budgeterhöhung**

### 5.4.6 Abschließende Feststellungen

Projekt 4 ist das einzige Projekt (im Vergleich zu den Projekten 1, 2 und 3) bei dem jede inkrementelle Budgetveränderung Auswirkungen auf die Projektverteilung hat. Dies könnte unter anderem auf die unterschiedlich festgelegten Stützkurven zurückzuführen sein. In den Abbildungen 5.63 und 5.54 welche den erwarteten Geldaufwand (die einer Budgetsenkung bzw. –Erhöhung) zeigen ist der lineare Verlauf des Erwartungswertes ersichtlich.

Analysiert man die prozentuelle Gesamtveränderung der einzelnen Erwartungswerte so ist ersichtlich, dass der Erwartungswert des Ertrags (mit einem Anstieg von rd. 0,08%) im Vergleich zu dem des Geldaufwands (mit einem Anstieg von rd. 38,83%) und dem des Personalaufwands (mit einem Anstieg von rd. 38,48%) beinahe unverändert bleibt. Die Analyse der Gesamtentwicklung der Standardabweichung zeigt, dass der prozentuelle Rücklauf beim Ertrag (mit rd. -64,98%) am stärksten ist. Die Gesamtverringerung der

Standardabweichung des Geldaufwands beträgt rd. -40,40% und die des Personalaufwands rd. -34,54%.

Die Analyse der Gesamtentwicklungen des Nutzens zeigt beim Geldaufwand (mit rd. 66,71%) und beim Ertrag (mit rd. 47,85%) bei Anwendung von  $a_2$ , die stärksten Nutzenerhöhungen. Im Vergleich hierzu sinkt der Nutzen trotz Budgeterhöhung beim Ertrag (bei Anwendung von  $a_1$ ) um rd. -19,28%. Diese negative Entwicklung ist auf den lediglich schwachen Anstieg des Erwartungswertes zurückzuführen.

Die nähere Betrachtung der Entwicklung des CV zeigt, dass der des Personalaufwands unverändert bleibt und der des Geldaufwands nur leicht (um rd. 2,78%) ansteigt. Der CV des Ertrags sinkt hingegen insgesamt um rd. -38,90%. Im Vergleich zum CV führt die Budgeterhöhung, in allen Kategorien zu einer Erhöhung des CCV. Der prozentuelle Gesamtanstieg des CCV des Geldaufwands ist (mit rd. 55,83%), im Vergleich zu dem des Personalaufwands (mit rd. 35,94%) und dem des Ertrags (mit rd. 24,23%) am stärksten.

## **6 Exkurs: Vergleich von VaR- und CVaR-Schranken mit dem $\mu$ - $\sigma$ -Kriterium bei der Portfolioauswahl**

Der folgende Abschnitt befasst sich mit den Einflüssen von VaR- und CVaR-Schranken auf die Portfolioselektion, unter Annahme der  $\mu$ - $\sigma$ -Dominanz. Im Vordergrund steht der Vergleich des Entscheidungsverhaltens leicht und stark risikoaverser Entscheidungsträger bei Anwendung der besagten Schranken. Mit Hilfe dieses Vergleichs, soll festgestellt werden welche der beiden Risikokennzahlen effizientere Lösungen bietet. Des Weiteren soll auf die Auswirkung bei Vorhandensein eines risikolosen Finanzierungstitels eingegangen werden.<sup>40</sup>

---

<sup>40</sup> Vgl. Gordon/Baptista (2004), S. 1261 f.

## Grundannahmen des Modells

Unter der Annahme, dass  $n \geq 2$  die Anzahl der Wertpapiere (eines Portfolios) ist und  $w_j$  der prozentuelle Anteil des investierten Kapitals (aus dem zur Verfügung stehenden Budget) in das Wertpapier  $j$  ist, gilt:

$$W \equiv \left\{ w \in R^n : \sum_{j=1}^n w_j = 1 \right\} \quad (36)$$

Gleichung (36) zeigt die Anzahl der Portfolios mit der erwarteten Rendite  $E[r_w]$  und der Standardabweichungen  $\sigma[r_w]$ .  $F_w(\cdot)$  ist die kumulierte Verteilungsfunktion von  $r_w$  und  $\alpha$  das festgelegte Konfidenzniveau.

Der VaR ist der maximal zu erwartende Verlust des gewählten Portfolios, der bei einem gegebenen Konfidenzniveau über einen bestimmten Zeitraum, erlitten werden kann. Bei einem Konfidenzniveau von  $\alpha = 100\%$  ist der VaR wie folgt definiert.

$$VaR[\alpha, r_w] \equiv -F_w^{-1}(1 - \alpha) \quad (37)$$

Unter der Annahme, dass  $r_w$  einer multivariaten Verteilung unterliegt, sodass  $\Phi(\cdot)$  die Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung ist und  $\phi(\cdot)$  deren Dichtefunktion ist, errechnet sich der VaR wie folgt.

$$VaR[\alpha, r_w] = z_\alpha \sigma(r_w) - E(r_w) \quad (38)$$

Wobei für  $z_\alpha$  folgendes gilt

$$z_\alpha \equiv -\phi^{-1}(1 - \alpha) \quad (39)$$

und

$$\int_{-\infty}^{-z_\alpha} \phi(x) dx = 1 - \alpha \quad (40)$$

Im Vergleich zum VaR ist der CvaR der maximale zu erleidende Verlust (bei einem gegebenen Konfidenzniveau und über einen bestimmten Zeitraum) unter der Annahme, dass dieser größer oder gleich dem VaR ist.

$$CVaR[\alpha, r_w] = -E\{r_w \mid r_w \leq -VaR[\alpha, r_w]\} \quad (41)$$

Dieser errechnet sich wie folgt.

$$CVaR[\alpha, r_w] = k_\alpha \sigma(r_w) - E(r_w) \quad (42)$$

Wobei für  $k_\alpha$  folgendes gilt.

$$k_\alpha \equiv \frac{-\int_{-\infty}^{-z_\alpha} x \phi(x) dx}{1 - \alpha} \quad (43)$$

In den Gleichungen (39) und (43) ist ersichtlich, dass  $k_\alpha \succ z_\alpha$  ist. Folglich gilt  $CVaR[\alpha, r_w] \succ VaR[\alpha, r_w]$  bei einem identischem Konfidenzniveau.<sup>41</sup>

## 6.1 Die $\mu$ - $\sigma$ -VaR und $\mu$ - $\sigma$ -CvaR Schranken

In diesem Abschnitt erfolgt die Definition der Risikoschranken unter der Annahme, dass der VaR, der CVaR und die Varianz als Risikomaßzahlen dienen. Gleichung (44) definiert die Portfolios die innerhalb der vordefinierten Schranke liegen.

$$W(\bar{E}) \equiv \{w \in W : E[r_w] = \bar{E}\} \quad (44)$$

mit der Nebenbedingung  $\bar{E} \in R$

Ein Portfolio  $\bar{w}$  ist nur dann Teil:

- der VaR – Schranke wenn für  $\bar{w} \in W$ 

$$\min_{w \in W(\bar{E})} VaR[\alpha, r_w] \text{ gilt} \quad (45)$$

und  $z_\alpha \succ 0$  ist.
- der CVaR – Schranke wenn für  $\bar{w} \in W$

<sup>41</sup> Vgl. Gordon/Baptista (2004), S. 1262.

$$\min_{w \in W(\bar{E})} CVaR[\alpha, r_w] \text{ gilt} \quad (46)$$

und  $k_\alpha > 0$  ist.

- der Varianz-Schranke wenn für  $\bar{w} \in W$

$$\min_{w \in W(\bar{E})} \alpha^2[\alpha, r_w] \text{ gilt.} \quad (47)$$

Die Bedingungen (45) bis (47) implizieren, dass der VaR, der CVaR und die Varianz immer unterhalb ihrer vordefinierten Schranke liegen müssen.<sup>42</sup>

### 6.1.1 Die Effizienzkurven der $\mu$ - $\sigma$ -VaR und $\mu$ - $\sigma$ -CvaR Schranken

Im Folgenden soll auf die mit den (vorgegebenen) Schranken verbundenen Effizienzkurve eingegangen werden. Das Portfolio  $w \in W$  liegt nur dann innerhalb der Effizienzgrenzen wenn kein anderes Portfolio  $v \in W$  existiert für welches:

$$- E[r_v] > E[r_w] \text{ und } VaR[\alpha, r_v] \leq VaR[\alpha, r_w] \quad (48)$$

gilt, wobei eine dieser Ungleichheiten streng vorgeschrieben ist.

$$- E[r_v] > E[r_w] \text{ und } CVaR[\alpha, r_v] \leq CVaR[\alpha, r_w] \quad (49)$$

gilt, wobei eine dieser Ungleichheiten streng vorgeschrieben ist.

$$- E[r_v] > E[r_w] \text{ und } \sigma[\alpha, r_v] \leq \sigma[\alpha, r_w] \quad (50)$$

gilt, wobei eine dieser Ungleichheiten streng vorgeschrieben ist.

### 6.1.2 Minimum-VaR- und Minimum-CVaR-Portfolios

Dieser Abschnitt widmet sich der Beschreibung der Eigenschaften eines Minimum-VaR- bzw. eines Minimum-CVaR-Portfolios.

1. Existiert ein Minimum-VaR- bzw. ein Minimum-CVaR-Portfolio (bei einem Konfidenzniveau von 100%) so ist dieses auch  $\mu$ - $\sigma$  – Effizient.

---

<sup>42</sup> Vgl. Gordon/Baptista (2004), S. 1262 f.

2.  $k_\alpha \succ z_\alpha$  impliziert, dass für ein Minimum-VaR-Portfolio bei  $\alpha = 100\%$  stets folgendes gilt.

$$E[r_{mVaR_\alpha}] \succ E[r_{mCVaR_\alpha}] \quad (51)$$

3. Existiert ein Minimum-CVaR-Portfolio bei einem Konfidenzniveau von  $\alpha = 100\%$  dann gilt.

$$E[r_{mCVaR_\alpha}] \succ E[r_{m\alpha}] \quad (52)$$

Die Gleichungen (51) und (52) verdeutlichen, dass das Minimum-CVaR-Portfolio auf der Effizienzkurve stets zwischen dem Minimum-Varianz- und dem Minimum-VaR-Portfolio liegt.<sup>43</sup>

### 6.1.3 Eigenschaften der VaR – und der CVaR – Schranken

Unter der Annahme, dass  $V$  die VaR-Schranke ist, gilt

$$VaR[\alpha, r_w] \leq V \quad (53)$$

sodass,

$$E[r_w] \geq z_\alpha \sigma[r_w] - V \text{ gilt.} \quad (54)$$

Die Gleichungen (53) und (54) implizieren, dass alle Portfolios (mit der Steigung  $z_\alpha$ ) auf oder über dem Schnittpunkt mit  $-V$  liegen müssen um innerhalb der VaR-Schranke im  $\mu$ - $\sigma$  - Raum zu sein.

Ist  $L$  die CVaR-Schranke so gilt analog

$$CVaR[\alpha, r_w] \leq L \quad (55)$$

sodass,

$$E[r_w] \geq k_\alpha \sigma[r_w] - L \text{ gilt.} \quad (56)$$

Die CVaR-Schranke aufgrund der größeren Steigung des CVaR ( $k_\alpha \succ z_\alpha$ ) restriktiver wenn sich die VaR- und die CVaR-Schranken entsprechen ( $L = V$ ). Um gleich restriktive Schranken

---

<sup>43</sup> Vgl. Gordon/Baptista (2004), S. 1263 f.

zu erlangen müssen folglich unterschiedliche Konfidenzniveaus (für den VaR und den CVaR) gewählt werden. In den nachfolgenden Abschnitten soll auf das Entscheidungsverhalten stark sowie schwach risikoaverser Entscheidungsträger eingegangen werden. Hierfür sind die folgenden Rahmenbedingungen festgelegt.

- Bei einem niedrigen Konfidenzniveau
- Bei einem mäßigen (moderaten) Konfidenzniveau
- Bei einem hohen Konfidenzniveau
- Wenn die CVaR-Schranke weiter (bzw. größer) ist als die des VaR

Vorerst soll jedoch auf die Eigenschaften einer weiten, einer moderaten und einer schmalen Schranke eingegangen werden. Eine Schranke ist weit wenn folgendes erfüllt ist.<sup>44</sup>

$$L \geq L[\alpha, r_{m\sigma}] \quad (57)$$

Gleichung (58) zeigt die Voraussetzung einer moderaten Schranke.<sup>45</sup>

$$V[\alpha, r_{m\sigma}] \leq L < L[\alpha, r_{m\sigma}] \quad (58)$$

Die Voraussetzung einer schmalen zeigt Gleichung (59).<sup>46</sup>

$$L < V[r_{m\sigma}] \quad (59)$$

## 6.2 Entscheidungsverhalten bei einem niedrigen Konfidenzniveau

Die folgende Abbildung 6.1 zeigt das Minimum-Varianz- das VaR- und das CVaR-Portfolio auf der Effizienzkurve, für ein niedriges Konfidenzniveau unter der Annahme, dass die Schranken weit (a), moderat (b) und schmal (c) sind.<sup>47</sup>

<sup>44</sup> Vgl. Gordon/Baptista (2004), S. 1264.

<sup>45</sup> Vgl. Gordon/Baptista (2004), S. 1264.

<sup>46</sup> Vgl. Gordon/Baptista (2004), S. 1264.

<sup>47</sup> Abbildung entnommen aus: Gordon/Baptista (2004:1265).

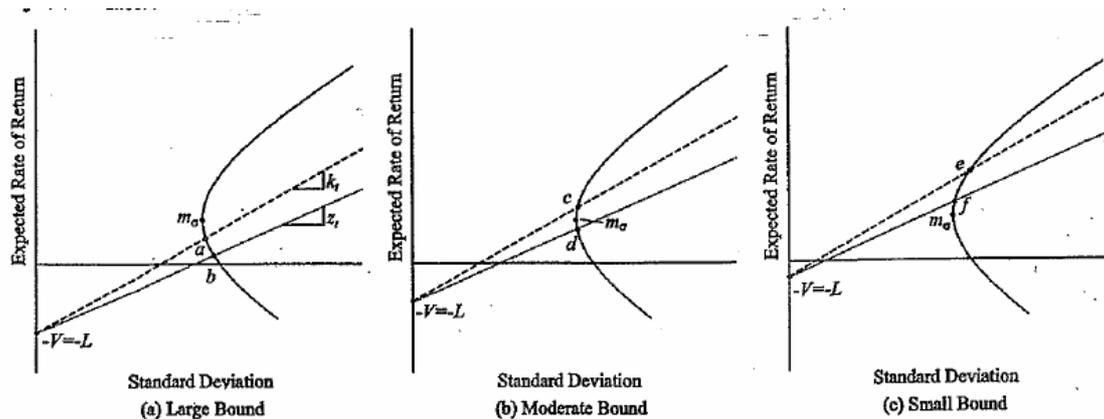


Abbildung 6.1: Entscheidungsverhalten bei einem niedrigen Konfidenzniveau

Im Folgenden soll auf das Entscheidungsverhalten eines stark und eines schwach risikoaversen Entscheidungsträgers unter den Annahmen (a), (b) und (c) (aus Abbildung 6.1), eingegangen werden.

### Verhalten bei hoher Risikoaversion

Das optimale Portfolio liegt in Abbildung 6.1 (a), (b) und (c) in  $m_\sigma$  (Minimum-Varianz-Portfolio) da hier das geringste Risiko eingegangen wird.

### Verhalten bei leichter Risikoaversion

Die Anwendung der VaR- und CVaR-Schranke würde auch hier in allen Fällen (in Abbildung 6.1) zur Wahl des Minimum-Varianz-Portfolios führen da das uneingeschränkte optimale Portfolio zu weit über  $m_\sigma$  liegt.<sup>48</sup>

## 6.3 Entscheidungsverhalten bei einem moderaten Konfidenzniveau

Die folgende Abbildung 6.2 zeigt das Minimum-Varianz- das VaR- und das CVaR-Portfolio auf der Effizienzkurve, bei einem moderaten Konfidenzniveau unter der Annahme, dass die Schranken weit (a) moderat (b) und schmal (c) sind.<sup>49</sup>

<sup>48</sup> Vgl. Gordon/Baptista (2004), S. 1265.

<sup>49</sup> Abbildung entnommen aus: Gordon/Baptista (2004:1266).

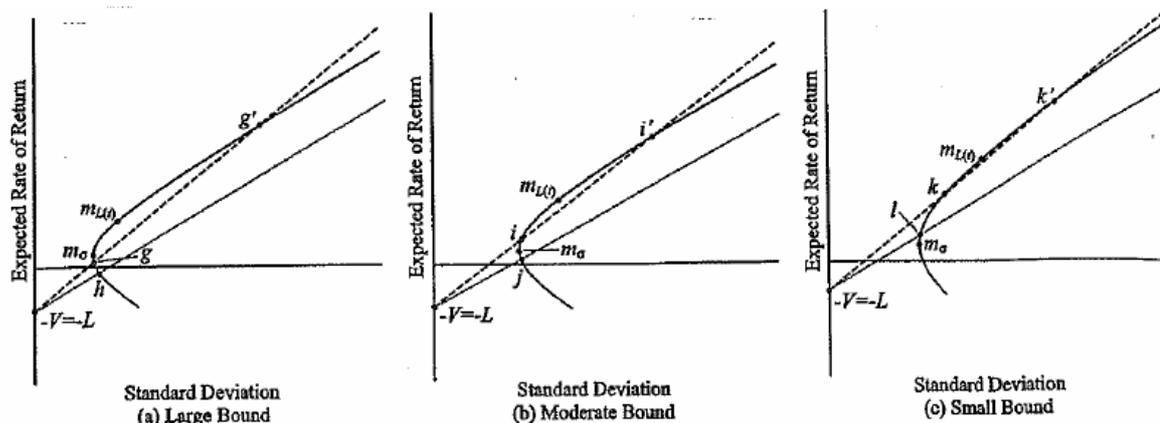


Abbildung 6.2: Entscheidungsverhalten bei einem moderaten Konfidenzniveau

Im Folgenden soll auf das Entscheidungsverhalten eines stark und eines schwach risikoaversen Entscheidungsträgers unter den Annahmen (a) (b) und (c) aus Abbildung 6.2 eingegangen werden.

### Verhalten bei hoher Risikoaversion

In Abbildung 6.2 ist ersichtlich, dass der Entscheidungsträger immer das Minimum-Varianz-Portfolio wählt aufgrund des geringeren Risikos.<sup>50</sup>

### Verhalten bei leichter Risikoaversion

Die Abbildungen 6.2 (a), (b) und (c) zeigen, dass beim Einsatz der VaR-Schranke immer das Minimum-Varianz-Portfolio gewählt wird. Bei Anwendung der CVaR-Schranke würde sich der Investor in Abbildung 6.2 (a) für das Portfolio in  $g'$ , in Abbildung 6.2 (b) für das in  $i'$  und in Abbildung 6.2 (c) für das in  $k'$  entscheiden, sofern sein uneingeschränktes optimale Portfolio über  $g'$ ,  $i'$ , und  $k'$  liegt. Auch hier ist ersichtlich, dass die CVaR-Schranke aufgrund der geringeren Standardabweichung restriktiver ist als die des VaR.<sup>51</sup>

<sup>50</sup> Vgl. Gordon/Baptista (2004), S. 1265.

<sup>51</sup> Vgl. Gordon/Baptista (2004), S. 1265.

## 6.4 Entscheidungsverhalten bei einem hohen Konfidenzniveau

Die folgende Abbildung 6.3 zeigt das Minimum-Varianz- das VaR- und das CVaR-Portfolio auf der Effizienzkurve bei einem hohen Konfidenzniveau, unter der Annahme, dass die Schranken weit (a) moderat (b) und schmal (c) sind.<sup>52</sup>

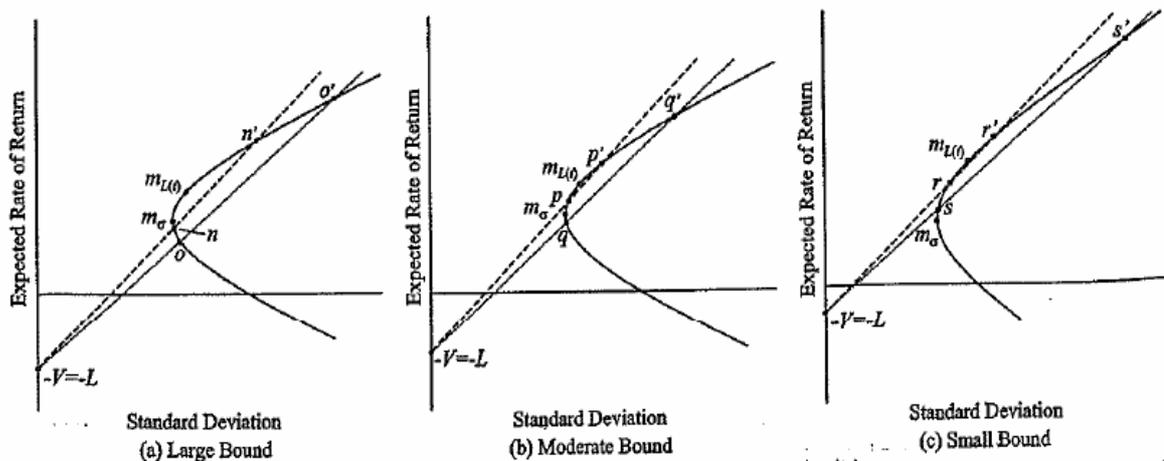


Abbildung 6.3: Entscheidungsverhalten bei einem hohen Konfidenzniveau

Im Folgenden soll auf das Entscheidungsverhalten eines stark und eines schwach risikoaversen Entscheidungsträgers unter den Annahmen (a), (b) und (c) aus Abbildung 6.3 eingegangen werden.

### Verhalten bei hoher Risikoaversion

Der Investor entscheidet sich auch hier für das Minimum-Varianz-Portfolio.<sup>53</sup>

### Verhalten bei leichter Risikoaversion

Läge in Abbildung 6.3 (a) die Wahl zwischen  $n'$  und  $o'$ , so würde die CVaR-Schranke aufgrund der geringeren Standardabweichung gewählt werden. Auch in den Abbildungen 6.3 (b) und (c) ist die VaR-Schranke volatiler als die CVaR-Schranke.<sup>54</sup>

<sup>52</sup> Abbildung entnommen aus: Gordon/Baptista (2004:1266).

<sup>53</sup> Vgl. Gordon/Baptista (2004), S. 1266.

<sup>54</sup> Vgl. Gordon/Baptista (2004), S. 1266 f.

## 6.5 Entscheidungsverhalten wenn die CVaR-Schranke größer ist als die VaR-Schranke

Die bisher angeführten Darstellungen zeigen, dass die CVaR-Schranken ( $L$ ) restriktiver sind als die des VaR ( $V$ ). Die nun getroffene Annahme,  $L > V$  führt zu einer Parallelverschiebung der CVaR-Schranke nach unten (im  $\sigma$ - $\mu$  - Raum). Dies hat zur Folge, dass die Restriktivität der CVaR-Schranke nachlässt. Die folgende Abbildung 6.4 zeigt das Minimum-Varianz-, das VaR- und das CVaR-Portfolio auf der Effizienzkurve, unter der Annahme eines niedrigen (a), eines moderaten (b) und eines hohen (c) Konfidenzniveaus.<sup>55</sup>

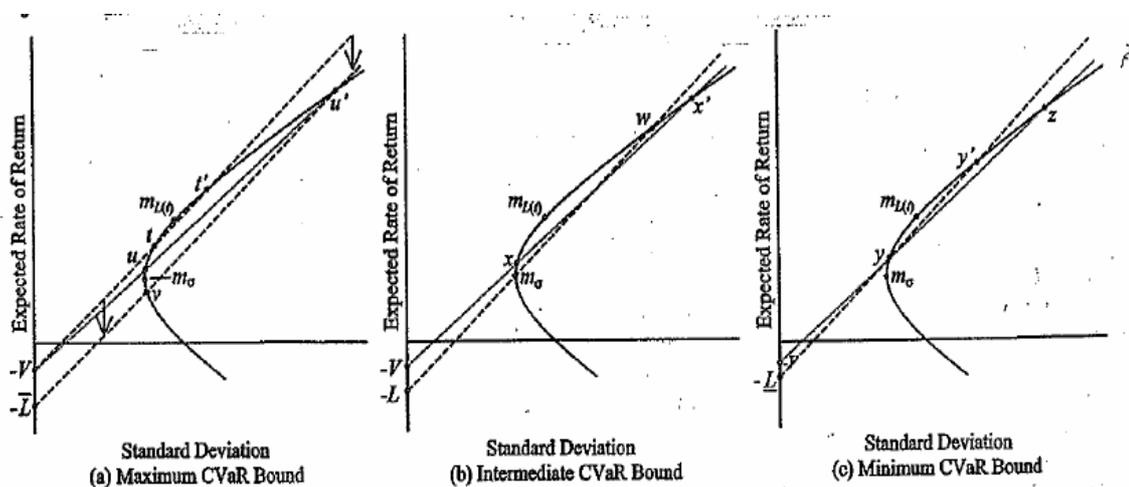


Abbildung 6.4: Entscheidungsverhalten bei  $L > V$

Im Folgenden soll auf das Entscheidungsverhalten eines stark und eines schwach risikoaversen Entscheidungsträger unter den Annahmen (a), (b) und (c) aus Abbildung 6.4 eingegangen werden.

### 6.5.1 Verhalten bei hoher Risikoaversion

Dieser Abschnitt beschreibt das Verhalten eines stark risikoaversen Entscheidungsträgers unter der Annahme eines niedrigen, eines moderaten und eines hohen Konfidenzniveaus.<sup>56</sup>

<sup>55</sup> Abbildung entnommen aus: Gordon/Baptista (2004:1267).

<sup>56</sup> Vgl. Gordon/Baptista (2004), S. 1267.

### **Niedriges Konfidenzniveau**

Abbildung 6.4 (a) zeigt dass  $L > V$  keinen Einfluss auf die Entscheidung des Investors hat, sodass für ihn immer noch (wie auch in den Abbildungen 6.1 (a), 6.2 (a), und 6.3 (a)) das Minimum-Varianz-Portfolio am effizientesten ist.

### **Moderates Konfidenzniveau**

Abbildung 6.4 (b) zeigt, dass die VaR-Schranke aufgrund der höheren Standardabweichung, ineffizienter ist als die des CVaR (welch dem Minimum-Varianz-Portfolio entspricht).

### **Hohes Konfidenzniveau**

In Abbildung 6.4 (c) führen beide Risiko – Schranken (VaR und CVaR) zur Wahl desselben Portfolios. Auch hier würde sich ein (stark risikoaverser) Investor für das Minimum – Varianz – Portfolio entscheiden.

## **6.5.2 Verhalten bei leichter Risikoaversion**

Dieser Abschnitt beschreibt das Verhalten eines leicht risikoaversen Entscheidungsträgers unter der Annahme eines niedrigen, eines moderaten und eines hohen Konfidenzniveaus.<sup>57</sup>

### **Niedriges Konfidenzniveau**

Bei einer schwachen Risikoaversion zeigt Abbildung 6.4 (a), dass beide Risikoschranken zur Wahl desselben Portfolios (in  $u'$ ) mit einer sehr hohen Standardabweichung führen. Wäre die Risikoaversion etwas so stärker hat dies zur Folge, dass die VaR-Schranke eine effizientere Risikokennzahl ist als der CVaR in  $u$ .

---

<sup>57</sup> Vgl. Gordon/Baptista (2004), S. 1267 f.

### **Moderates Konfidenzniveau**

Läge das uneingeschränkte optimale Portfolio zwischen  $w'$  und  $x'$  in Abbildung 6.4 (b), so ist die CVaR-Schranke aufgrund der geringeren Standardabweichung effizienter.

### **Hohes Konfidenzniveau**

Läge das uneingeschränkte optimale Portfolio zwischen  $y'$  und  $z$  in Abbildung 6.4 (b), so ist die CVaR-Schranke auch hier aufgrund der geringeren Standardabweichung effizienter.

### **Schlussfolgerung**

Aus den bisherigen Ausführungen ist zu schließen, dass weder der VaR noch der CVaR ausnahmslos das effizienteste Portfolio (mit der geringsten Standardabweichung) ermitteln. Bei identischen Schranken ( $L = V$ ) ergibt sich jedoch der VaR als restriktiver als der CVaR bei starker Risikoaversion. Bei schwacher Risikoaversion dominieren die CVaR-Schranken die des VaR. Ist allerdings die CVaR-Schranke weiter als die des VaR, so führt der CVaR sowohl für stark als auch für schwach risikoaverse Entscheidungsträger zu effizienteren Lösungen als der VaR.<sup>58</sup>

## **6.6 Entscheidungsverhalten unter Berücksichtigung eines risikolosen Finanzierungstitels**

Unter der Annahme eines risikolosen Finanzierungstitels ( $r_f$ ) ist die Menge aller Portfolios wie folgt definiert

$$W_f \equiv \left\{ w \in R^{n+1} : \sum_{j=1}^{n+1} w_j = 1 \right\} \text{ bei } r_f > 0 \quad (60)$$

---

<sup>58</sup> Vgl. Gordon/Baptista (2004), S. 1268 f.

wobei  $w_{n+1}$  der risikolos veranlagte Anteil des Budgets ist. Im Folgenden soll auch hier auf das Entscheidungsverhalten eines stark und eines schwach risikoaversen Entscheidungsträgers unter der Annahme dieser zusätzliche Rahmenbedingungen eingegangen werden. Wie bereits in den vorherigen Abschnitten sollen ein hohes, ein moderates und ein niedriges Konfidenzniveau angenommen werden.<sup>59</sup>

Die folgende Abbildung 6.5 zeigt das Minimum-Varianz-, das VaR- und das CVaR-Portfolio auf der Effizienzkurve unter der Annahme, dass die Schranken weit (a) moderat (b) und schmal (c) sind.<sup>60</sup>

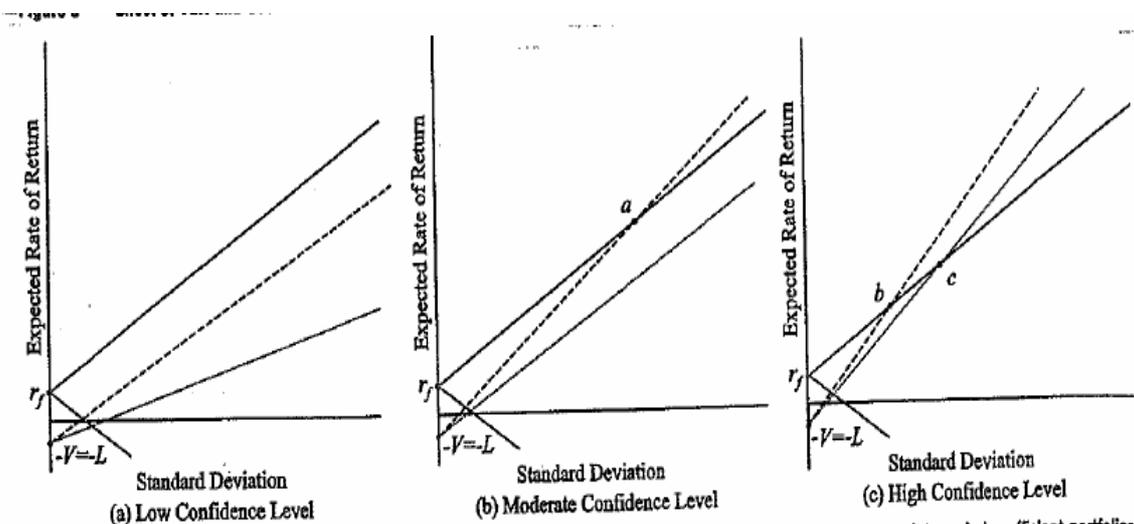


Abbildung 6.5: Entscheidungsverhalten bei Vorhandensein eines risikolosen Finanzierungstitels

Dieser Abschnitt geht auf das Entscheidungsverhalten eines stark und eines schwach risikoaversen Entscheidungsträgers unter den Annahmen (a), (b) und (c) aus Abbildung 6.5 ein.

### Niedriges Konfidenzniveau

Abbildung 6.5 zeigt, dass die VaR- und CVaR-Schranken in allen Szenarien (6.5 (a), (b) und (c)) nur Portfolios bieten, die eine sehr niedrige (und zum Teil negative) erwartete Rendite haben und sehr volatil sind. Dies hat zur Folge, dass unabhängig von der Stärke des

<sup>59</sup> Vgl. Gordon/Baptista (2004), S. 1270 f.

<sup>60</sup> Abbildung entnommen aus: Gordon/Baptista (2004:1272).

Risikoaversionsgrades immer die risikolose Veranlagungsmöglichkeit gewählt werden würde.<sup>61</sup>

### **Moderates Konfidenzniveau**

Abbildung 6.5 zeigt, dass ein Entscheidungsträger mit starker Risikoaversion immer risikolos veranlagen würde. Ein Investor mit einer schwachen Risikoaversion würde bei Anwendung der CVaR-Schranke das Portfolio in a wählen (sofern sein uneingeschränktes optimales Portfolio darüber liegt). Bei Anwendung VaR-Schranke würde dieser jedoch sein gesamtes Budget risikolos veranlagen. In Abbildung 6.5 ist ersichtlich, dass die CVaR-Schranke die des VaR dominiert (aufgrund der geringeren Standardabweichung).<sup>62</sup>

### **Hohes Konfidenzniveau**

In Abbildung 6.5 ist ersichtlich dass ein Entscheidungsträger mit starker Risikoaversion immer risikolos veranlagen würde.

Ein Investor mit schwacher Risikoaversion würde sich bei Anwendung der VaR-Schranke für das Portfolio in c entscheiden. Wendet dieser hingegen die CVaR-Schranke an, so würde das Portfolio in b gewählt werden (sofern sein uneingeschränktes optimales Portfolio über b bzw. c liegt). Abbildung 6.5 zeigt, dass auch unter diesen Bedingungen (bei einem hohen Konfidenzniveau), die CVaR-Schranke eine effizientere Lösung bietet als die VaR-Schranke.<sup>63</sup>

### **Schlussfolgerung**

Durch die Präsenz eines risikolosen Finanzierungstitels verschwindet der widersprüchliche Effekt, der einen Investor zur Wahl eines Portfolios mit einer höheren Standardabweichung führt bei Anwendung der CVaR-Schranke. Dies impliziert, dass die CVaR-Schranke für Investoren mit schwacher Risikoaversion stets restriktiver ist als die VaR-Schranke, wenn die Schranken ( $L = V$ ) identisch sind und eine risikolose Veranlagungsmöglichkeit vorhanden ist.<sup>64</sup>

---

<sup>61</sup> Vgl. Gordon/Baptista (2004), S. 1271.

<sup>62</sup> Vgl. Gordon/Baptista (2004), S. 1271.

<sup>63</sup> Vgl. Gordon/Baptista (2004), S. 1271.

<sup>64</sup> Vgl. Gordon/Baptista (2004), S. 1272.

## 7 Resümee

Die vorliegende Arbeit beschäftigte sich mit den Auswirkungen inkrementeller Ressourcenkürzungen und -erhöhungen auf die Verteilungsfunktionen stochastischer Entscheidungsbäume (bzw. risikobehafteter Investitionsprojekte). Zu Beginn wurden die wesentlichen Eigenschaften des Modells MILP-Heid 2.0 von O.Univ.-Prof. Dr. Kurt Heidenberger vorgestellt, wobei vor allem auf die Merkmale der einzelnen Knotentypen eingegangen wurde.

Im Kapitel 3 wurden der Value at Risk (VaR) und der Conditional Value at Risk (CVaR) als Risikokennzahlen vorgestellt. Zu Beginn wurde auf den Begriff des Risikos im Zusammenhang mit Entscheidungen eingegangen. Der folgende Abschnitt beschäftigte sich mit den Eigenschaften und der Berechnung des VaR unter der Annahme, dass die Zufallsvariablen einer diskreten Verteilung unterliegen. Da die Risikoquantifizierung mit Hilfe des VaR einige Schwächen (siehe Abschnitt 3.1.3) aufweist, wurde anschließend in Abschnitt 3.3 auf den CVaR eingegangen. Der CVaR ist eine Risikokennzahl welche die Schwächen des VaR zum Teil beseitigt. Kapitel 4 beschäftigt sich mit einer Risikomessungsmethode unter Berücksichtigung der subjektiven Risikoeinstellung des Entscheidungsträgers. Dies wird durch das Bilden von Präferenzfunktionen, unter Einbindung eines Risikoaversionskoeffizienten ermöglicht.

Kapitel 4 widmet sich einer Möglichkeit die subjektive Risikoeinstellung eines Entscheidungsträgers zu berücksichtigen. Der Nutzen einer Investitionsentscheidung wird hierbei mit Hilfe eines Risikoaversionsgrades ermittelt. Dieser wird mit der Standardabweichung multipliziert und vom Erwartungswert subtrahiert.

In Kapitel 5 wurden vier fiktive Projekte vorgestellt, anhand derer die Sensitivitätsanalyse erfolgte. Die Sensitivitätsanalyse erfolgte in Form einer inkrementellen Budgeterhöhung und -verringern. Bei der Konstruktion der stochastischen Entscheidungsbäume (Projekte) wurde besonders auf das Einbinden der Typ 3 und Typ +3 Knoten geachtet. Des Weiteren wurden unterschiedliche Aufwands- und Ertrags-Stützkurvenverläufe gewählt, um mögliche Einflüsse auf die Verteilungsfunktion der einzelnen Projekte zu analysieren. Da keines der Projekte

Verluste aufweist erfolgte eine Umdeutung der Risikokennzahlen (VaR und CVaR). Der VaR wurde durch den CV (Critical Value) ersetzt welcher den zu erwartenden Ertrag für ein vordefiniertes Konfidenzniveau darstellt. Der CVaR wurde durch den CCV (Conditional Critical Value) ersetzt.

Der CCV ist der zu erwartende Ertrag unter der Annahme, dass der Ertrag dem CV entspricht oder darunter liegt. Im Zuge der Sensitivitätsanalyse wurde für jedes Projekt der Erwartungswert, die Standardabweichung, der CV, CCV und der Nutzen berechnet. Die Sensitivitätsanalyse zeigte, dass Projekt 4 (in Abschnitt 5.4) am stärksten auf inkrementelle Budgetänderungen reagiert. Für dieses Projekt wurden die Stützkurvenverläufe (der Typ 3 und Typ +3 Knoten) willkürlich gewählt. Des Weiteren zeigt die Sensitivitätsanalyse, dass eine Budgeterhöhung keine Erhöhung des Erwartungswertes zur Folge haben muss. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse wurden sowohl in tabellarischer, als auch in graphischer Form dargestellt.

## Literaturverzeichnis

Bacher, M., *Die Eignung von Value – at – Risk Systemen zur Risikosteuerung in Nicht – Finanzdienstleistungsunternehmen*. Wirtschaftsuniversität Wien, 2004.

Bosch, K., *Statistik – Taschenbuch*, 3. Aufl., Oldenbourg, München/Wien 1998.

Brockhoff, K., *Forschung und Entwicklung: Planung und Kontrolle*, 4. Aufl., R. Oldenbourg , München 1994.

Elpelt, B. / Hartung, J., *Grundkurs Statistik: Lehr- und Übungsbuch der angewandten Statistik*, 3. Aufl., Oldenbourg, München/Wien 2004.

Gordon, J. A. / Baptista, A.M., *A Comparison of VaR and CVaR Constraints on Portfolio Selection with the Mean-Variance Model*, in: *Management Science*, Band 50, Jg. (2004), S. 1261-1273.

Hanisch, J., *Risikomessung mit dem Conditional Value – at – Risk / Implikation für das Entscheidungsverhalten*, Verlag Dr. Kovač, Hamburg 2006.

Heidenberger, K., *Dynamic Project Selection and Funding under Risk: A Decision Tree Based MILP Approach*, in: *European Journal of Operational Research*, Band 95, Jg.(1996), S. 284-298.

## ***ANHANG – Lebenslauf***

### **Persönliche Daten**

---

Name: Olympia Hannah Mwakyoma  
E-Mail: Olympia.Mwakyoma@gmx.at  
Geburtsdatum: 29.08.1982  
Staatsangehörigkeit: Österreich

### **Berufserfahrungen**

---

1.8.2003 – 30. 9. 2003      Auslandspraktikum bei Pringle of Scotland, London  
Marketing / PR-Abteilung (Fashion week),  
Verantwortung für die Organisation von Projekten

1.8. 2002 – 31.8.2002      Praktikum bei mobilkom austria (Customer Service)

Seit 16.10.2007              Revisionsassistentin in der Wirtschaftsprüfung in  
der KPMG Austria GmbH

### **Studium**

---

Seit 2000                      Studium der internationalen  
Betriebswirtschaftslehre am BWZ der Universität Wien

Spezialisierungen:

- Externes Rechnungswesen
- Innovations- & Technologiemanagement

### **Schulbildung**

---

1988 – 1992                  Volksschule Kolonitzgasse, Wien  
1992 – 2000                  Bundesrealgymnasium Franz Keimgasse, Mödling  
2000                              Abschluss mit Matura

### **Sprachkenntnisse**

---

Deutsch  
Englisch  
Rumänisch  
Französisch