

## **CARF Luzern 2021**

Controlling.Accounting.Risiko.Financen.

**Konferenzband**

Konferenz Homepage: [www.hslu.ch/carf](http://www.hslu.ch/carf)



# Bewertung von Investitionen unter Risiko – ein simulationsbasierter Ansatz

## **Research Paper**

**Prof. Dr. Heinrich Wickum**

Hochschule Kaiserslautern, Fachbereich Betriebswirtschaft, 66482 Zweibrücken,  
E-Mail: [heinrich.wickum@hs-kl.de](mailto:heinrich.wickum@hs-kl.de)

## **Abstract**

In diesem Beitrag wird dargestellt, wie eine Bewertung von Investitionen auf der Basis des Kapitalwerts um eine Simulation von Cashflows erweitert werden kann und darüber hinaus auch reale Optionen berücksichtigt werden können. Die Cashflows der Investition seien dabei unsicher. Diese Unsicherheit wird aber nicht – wie üblich - in eine Kennzahl (Beta) aggregiert, sondern als Verteilung des Kapitalwerts dargestellt.

Das Risiko einer Investition wird in der Praxis nicht nur von exogenen Unsicherheitsfaktoren beeinflusst, sondern auch von den realen Optionen, die sich dem Management bieten, wie z. B. einem vorzeitigen Abbruch der Investition, oder einer Skalierung oder Verlängerung der Investition. Die hier dargestellte Analyse des Kapitalwerts berücksichtigt diese Optionen.

## 1 Bewertung von Investitionen auf Basis des Kapitalwerts

Der Kapitalwert (engl.: Net Present Value, NPV) ist die Summe der auf einen Zeitpunkt abgezinste Zahlungen (Cashflows) einer Zahlungsreihe. Der Wert einer Investition<sup>1</sup> entspricht bei einer Bewertung auf der Basis des Kapitalwerts der Summe der während der Laufzeit der Investition generierten und auf den Bewertungszeitpunkt abgezinste Cashflows. Jede Bewertung, die sich an dem Kapitalwert orientiert, beginnt deshalb mit einer Modellierung der Cashflows, also der Auszahlungen und Einzahlungen die die Investition generiert.

Ausgangspunkt der Bewertung ist ein Modell der Investition. In diesem Modell wird die Investition auf Einzahlungen und Auszahlungen (Cashflows) reduziert. Die Höhe der Einzahlungen und Auszahlungen ergeben sich typischerweise als Produkte aus Menge und Preis. So ergeben sich Auszahlungen für Inputs, wie z. B. für Rohstoffe, als Produkt aus Einkaufsmenge und Einkaufspreis pro Mengeneinheit. Einzahlungen aus dem Verkauf ergeben sich als Produkt aus Absatzmenge und Verkaufspreis. Die Beispiele zeigen bereits, dass die Höhen der Cashflows unsicher sind, da sie ein Produkt aus unsicheren Variablen darstellen.

Der Kapitalwert ergibt sich als Summe der auf den Entscheidungszeitpunkt mit dem Zins  $i$  abgezinste Cashflows. Der Zins  $i$  orientiert sich dabei an den Eigenkapitalkosten des Unternehmens. Ein positiver Kapitalwert entspricht damit der Vermögensmehrung zum Entscheidungszeitpunkt im Vergleich zu einer Anlage zum Zins  $i$ . Der Kapitalwert wird daher auch als „kapitaltheoretischer“ Gewinn bezeichnet, in Abgrenzung zum handelsrechtlichen Gewinn einer Periode (Schneider, 1994).

Als Werkzeug für die Modellierung bietet sich eine Tabellenkalkulationssoftware (z. B. MS-Excel) an. Den Variablen, die die Cashflows einer Investition bestimmen, werden Werte zugewiesen, die Software berechnet dann automatisch die Cashflows sowie den Kapitalwert.

In der Abbildung 1 wird ein solches Arbeitsblatt für eine Investition dargestellt. In diesem Beispiel könnte die Investition eine Musiktheaterproduktion sein. Die Produktion hat eine Laufzeit von  $n = 5$  Jahren und beginnt mit einer Anfangsinvestition von 9 Mio. Euro, auf die dann die Cashflows der Jahre eins bis fünf folgen. Diese Cashflows ergeben sich mengenmäßig aus der prognostizierten Nachfrage nach Tickets, der geplanten Kapazität und dem Absatz und wertmäßig unter Berücksichtigung des Preises pro Ticket und der variablen und fixen Kosten. Der Einfachheit halber sei angenommen, dass die Cashflows am Jahresende fließen. Die Nachfragen für die Jahre eins bis fünf wurden vom Marketing geschätzt. Nach der Prognose bricht die Nachfrage nach vier Jahren ein, deshalb geht die Planung von einem Ende der Produktion nach dem vierten Jahr aus und die Rechte an dem Stück werden im fünften Jahr für einen Liquidationserlös von 2,5 Mio. Euro verkauft.

Bei der Festlegung der Kapazität wird von 40 Wochen mit zwei Aufführungen pro Woche und einer Spielstätte mit 500 Plätzen ausgegangen. Der Preis pro Karte beträgt im Mittel 80 Euro, im vierten Jahr werden Sonderkonditionen eingeführt. Im Verkauf fallen variable Kosten pro Ticket (z. B. für Ticketing) 5 Euro an. Die variablen Kosten ergeben sich als Produkt aus variablen Kosten pro Ticket und dem Absatz. Die Investition (oder präziser: die Zahlungsreihe der Cashflows) hat einen Kapitalwert von rund 389.150 Euro.

Der Nachteil des Grundmodells der Kapitalwertmethode ist, dass von sicheren Annahmen über die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Cashflows ausgegangen wird, also die Unsicherheit von Mengen, Preisen und Kosten nicht abgebildet wird. Dieser Nachteil kann über What-if-Analysen und Szenario-Techniken behoben werden.

<sup>1</sup> Die Ausführungen können auch sinngemäß auf die Bewertung eines Investmentportfolios oder eines Unternehmens als Ganzes übertragen werden.

| Berechnung des Kapitalwerts |                  |                |                |                | Zins:          | 10%            |
|-----------------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Jahr                        | 0                | 1              | 2              | 3              | 4              | 5              |
| Nachfrage                   |                  | 40.000         | 44.000         | 52.800         | 42.240         | 12.672         |
| Kapazität                   |                  | 45.000         | 45.000         | 45.000         | 45.000         | 0              |
| Absatz                      |                  | 40.000         | 44.000         | 45.000         | 42.240         | 0              |
| Preis                       |                  | 80,00 €        | 80,00 €        | 80,00 €        | 60,00 €        | 50,00 €        |
| variable Kosten/Ticket      |                  | 5,00 €         | 5,00 €         | 5,00 €         | 5,00 €         | 5,00 €         |
| Umsatz                      |                  | 3.200.000,00 € | 3.520.000,00 € | 3.600.000,00 € | 2.534.400,00 € | - €            |
| Kosten, variabel            |                  | - 200.000,00 € | - 220.000,00 € | - 225.000,00 € | - 211.200,00 € | - €            |
| Kosten, fix                 |                  | - 500.000,00 € | - 500.000,00 € | - 500.000,00 € | - 500.000,00 € | - 250.000,00 € |
| Anfangsinvestition          | - 9.000.000,00 € |                |                |                |                |                |
| Liquidationserlös           |                  |                |                |                |                | 2.500.000,00 € |
| Cashflow                    | - 9.000.000,00 € | 2.500.000,00 € | 2.800.000,00 € | 2.875.000,00 € | 1.823.200,00 € | 2.250.000,00 € |
| Barwerte der CF             | - 9.000.000,00 € | 2.272.727,27 € | 2.314.049,59 € | 2.160.030,05 € | 1.245.270,13 € | 1.397.072,98 € |
| Kapitalwert                 | 389.150,02 €     |                |                |                |                |                |

Abb. 1: Einfache Kapitalwertberechnung einer Investition

## 2 Vom Kapitalwert zur What-if-Analyse und zur Szenario-Technik

Bei einer What-if-Analyse wird der Wert einer unsicheren Input-Variablen variiert, während die anderen Variablen fix bleiben, und die daraus folgenden Änderungen der Output Größe erfasst. Der Zusammenhang wird dann graphisch dargestellt. Im Folgenden wird eine What-if-Analyse für die Beispielinvestition (siehe Abb. 1) dargestellt. Der Liquidationserlös soll hierbei zwischen Werten von 1,5 Mio. und 3,0 Mio. variieren und der jeweilige Kapitalwert berechnet werden. In der Abbildung 2 wird der Zusammenhang graphisch dargestellt.

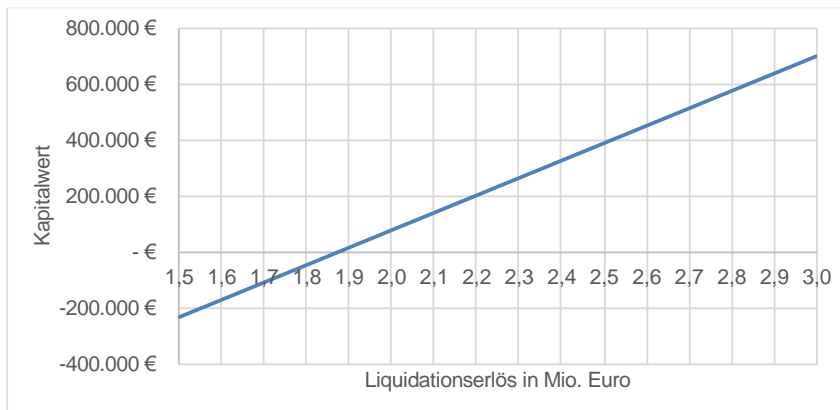


Abb. 2: Kapitalwert in Abhängigkeit des Liquidationserlös (Sensitivitätsanalyse)

Eine weitere Input-Variable, die sich für eine What-if-Analyse anbietet, ist der Zins mit dem die Cashflows diskontiert werden. Diese Form der Darstellung wird auch als „Sensitivitätsdiagramm“ bezeichnet. Derartige Diagramme sind Teil jeder professionellen Kapitalwert-Analyse. Allerdings ist die obige Darstellung der Abhängigkeit des Kapitalwerts von einer Variablen noch nicht ausreichend, denn es wird vorausgesetzt, dass die anderen unsicheren Variablen, wie die Nachfrage in zukünftigen Jahren, Preise, Kosten usw., konstant bleiben. Deshalb wäre eine What-if-Analyse der Nachfrage problematisch, da üblicherweise Nachfrage und Preis nicht unabhängig von einander sind. Ein Risikoprofil entsteht aber erst durch eine graphische Darstellung aller gleichzeitigen Änderungen von Inputvariablen.

Die Auswirkungen gleichzeitiger Änderungen mehrerer Inputvariablen kann in der Szenario Technik analysiert werden. In der Praxis werden oft drei unterschiedliche Szenarien untersucht: der wahrscheinlichste Fall (most likely), der optimistische Fall (best case) und ein pessimistischer Fall (worst case). Für das Beispiel wurde der wahrscheinlichste Fall bereits in Abbildung 1 dargestellt. In der Abbildung 3 werden die Berechnungen für den optimistischen und den pessimistischen Fall dargestellt. Die Unterschiede zum wahrscheinlichen Szenario betreffen die Nachfrageänderungen, die Preise, die Fixkosten und den Liquidationserlös. Diese Unterschiede werden in kursiver Schrift und eine fette Umrandung der Zellen dargestellt. Der Zins beträgt auch hier 10 %.

| Best Case                |                  |                |                |                |                |                |
|--------------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Jahr                     |                  | 1              | 2              | 3              | 4              | 5              |
| Nachfrageänderung        |                  |                | 20%            | 25%            | -10%           | -60%           |
| Nachfrage                |                  | 50.000         | 60.000         | 75.000         | 67.500         | 27.000         |
| Kapazität                |                  | 45.000         | 45.000         | 45.000         | 45.000         | 0              |
| Absatz                   |                  | 45.000         | 45.000         | 45.000         | 45.000         | 0              |
| Preis                    |                  | 85,00 €        | 85,00 €        | 85,00 €        | 65,00 €        | 55,00 €        |
| variable Kosten / Ticket |                  | 5,00 €         | 5,00 €         | 5,00 €         | 5,00 €         | 5,00 €         |
| Umsatz                   |                  | 3.825.000,00 € | 3.825.000,00 € | 3.825.000,00 € | 2.925.000,00 € | - €            |
| Kosten, variabel         |                  | - 225.000,00 € | - 225.000,00 € | - 225.000,00 € | - 225.000,00 € | - €            |
| Kosten, fix              |                  | - 450.000,00 € | - 450.000,00 € | - 450.000,00 € | - 450.000,00 € | - 240.000,00 € |
| Anfangsinvestition       | - 9.000.000,00 € |                |                |                |                |                |
| Liquidationserlös        |                  |                |                |                |                | 2.600.000,00 € |
| Cashflow                 | - 9.000.000,00 € | 3.150.000,00 € | 3.150.000,00 € | 3.150.000,00 € | 2.250.000,00 € | 2.360.000,00 € |
| Barwerte der CF          | - 9.000.000,00 € | 2.863.636,36 € | 2.603.305,79 € | 2.366.641,62 € | 1.536.780,27 € | 1.465.374,32 € |
| Kapitalwert              |                  | 1.835.738,37 € |                |                |                |                |

| Worst Case               |                  |                  |                |                |                |                |
|--------------------------|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Jahr                     |                  | 1                | 2              | 3              | 4              | 5              |
| Nachfrageänderung        |                  |                  | 5%             | 10%            | -25%           | -70%           |
| Nachfrage                |                  | 30.000           | 31.500         | 34.650         | 25.988         | 7.796          |
| Kapazität                |                  | 45.000           | 45.000         | 45.000         | 45.000         | 0              |
| Absatz                   |                  | 30.000           | 31.500         | 34.650         | 25.988         | 0              |
| Preis                    |                  | 75,00 €          | 75,00 €        | 75,00 €        | 55,00 €        | 45,00 €        |
| variable Kosten / Ticket |                  | 5,00 €           | 5,00 €         | 5,00 €         | 5,00 €         | 5,00 €         |
| Umsatz                   |                  | 2.250.000,00 €   | 2.362.500,00 € | 2.598.750,00 € | 1.429.312,50 € | - €            |
| Kosten, variabel         |                  | - 150.000,00 €   | - 157.500,00 € | - 173.250,00 € | - 129.937,50 € | - €            |
| Kosten, fix              |                  | - 550.000,00 €   | - 550.000,00 € | - 550.000,00 € | - 550.000,00 € | - 260.000,00 € |
| Anfangsinvestition       | - 9.000.000 €    |                  |                |                |                |                |
| Liquidationserlös        |                  |                  |                |                |                | 2.000.000,00 € |
| Cashflow                 | - 9.000.000,00 € | 1.550.000,00 €   | 1.655.000,00 € | 1.875.500,00 € | 749.375,00 €   | 1.740.000,00 € |
| Barwerte der CF          | - 9.000.000,00 € | 1.409.090,91 €   | 1.367.768,60 € | 1.409.090,91 € | 511.833,21 €   | 1.080.403,10 € |
| Kapitalwert              |                  | - 3.221.813,28 € |                |                |                |                |

Abb. 3: Szenario-Analyse

### 3 Von der Szenario-Technik zur Monte-Carlo-Simulation und dem Value-at-Risk

Der Kapitalwert ist erst sicher, wenn alle unsicheren Ereignisse eingetreten sind. Im Folgenden gehen wir davon aus, dass die Ausprägungen der unsicheren Ereignisse bekannt sind und darüber hinaus auch der Investor für die verschiedenen Ausprägungen die Eintrittswahrscheinlichkeiten kennt. Diese Situation wird in der Entscheidungstheorie auch als „Entscheidung unter Risiko“ bezeichnet. Ist eine Kombination an Ausprägungen der unsicheren Ereignisse bekannt, dann kann der Kapitalwert berechnet werden. Spielt man eine Vielzahl von Kombinationen durch, dann ist der Wert einer Investition eine Verteilung im Sinne einer Reihe von Zahlen (Kapitalwerten) und zugehörigen Wahrscheinlichkeiten.

Ein professioneller Investor wird aber nicht an dem Mittelwert des Kapitalwerts interessiert sein, sondern seine Entscheidungen werden auf detaillierten Informationen über die möglichen Auszahlungen und deren Wahrscheinlichkeiten aufbauen. Sein Verhalten ähnelt dem eines professionellen Spielers, der seine Entscheidungen ja auch nicht an dem Mittelwert der Auszahlungen orientiert.

Sowohl bei der Sensitivitätsanalyse und der What-if-Analyse wurden die Kapitalwerte auf der Basis von Schätzungen der unsicheren Variablen berechnet. Bei einer Monte-Carlo-Simulation fließen nicht einzelne Schätzwerte der Variablen in die Berechnung ein, sondern die Verteilungen der unsicheren Variablen bilden den Input für die Berechnungen. An die Stelle eines einzelnen Schätzwerts für die Nachfrage tritt bei der Monte-Carlo-Simulation

■ Bereich (Controlling, Accounting&Audit, Risk&Compliance, Finanzen oder Lehre)

eine Verteilung der Nachfrage. Der Output ist nicht ein einzelner (Kapital-)Wert, sondern eine Verteilung des Kapitalwerts. Hertz (1964) erkennt bereits diesen Vorteil der Monte-Carlo-Simulation bei einer Beurteilung von Investitionen.

Bei einer Monte-Carlo-Simulation wird für jede einzelne unsichere Variable eine Zufallszahl eingesetzt. Die einzelnen Zufallszahlen bilden dann ein Szenario, für das dann ein Kapitalwert berechnet wird. Dieser Vorgang wird viele Male (in unserem Beispiel 1.000mal) mit immer neu generierten Zufallszahlen wiederholt und der jeweilige Kapitalwert erfasst. Die Zufallszahlen werden so generiert, dass sie der angenommenen Verteilung der Variablen entsprechen. Auf der Basis der erfassten (1.000) Kapitalwerte kann dann eine Verteilung des Kapitalwerts dargestellt werden.

In unserem Modell ist eine Prämisse, dass die Variablen statistisch unabhängig sind. Es soll aber hier darauf hingewiesen werden, dass diese Prämisse oft nicht erfüllt wird. So können z. B. die Nachfragen im ersten und im zweiten Jahr voneinander abhängen. Solche Abhängigkeiten müssen gegebenenfalls in der Modellierung berücksichtigt werden.

In unserem Beispiel wurden die Zufallszahlen durch das Tabellenkalkulationsprogramm MS-Excel erzeugt. Genau genommen generiert MS-Excel keine „echten“ Zufallszahlen, sondern berechnet eine Zahlenfolge auf der Grundlage eines deterministischen Algorithmus, die zwar zufällig aussieht, es aber nicht ist. Die Zahlen werden deshalb auch als „Pseudozufallszahlen“ bezeichnet. Für eine Monte-Carlo-Simulation sind Pseudozufallszahlen zweckmäßig. In unserem Modell sollen alle unsicheren Variablen dreiecksverteilt sein. Da MS-Excel gleichverteilte Zufallszahlen generiert, wird deshalb in dem Modell die gleichverteilte Zufallszahl in eine Zufallszahl umgerechnet, die einer Dreiecksverteilung mit den Parametern a, b und c folgt. Die Daten in Abb. 4 sind zufällige Ausprägungen der Verteilungen.

| Jahr                        |   | 0             | 1            | 2            | 3            | 4           | 5            |              |           |           |           |
|-----------------------------|---|---------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| Nachfrage/Nachfrageänderung | a | 30.000        | 37.258       | 5%           | 10%          | -25%        | -70%         |              |           |           |           |
|                             | c | 50.000        |              | 20%          | 11%          | 25%         | 17%          | -10%         | -24%      | -60%      | -66%      |
|                             | b | 40.000        |              | 10%          | 20%          | -20%        | -65%         |              |           |           |           |
| Nachfrage                   |   |               | 37.258       | 41.416       | 48.646       | 37.207      | 12.755       |              |           |           |           |
| Kapazität                   |   |               | 45.000       | 45.000       | 45.000       | 45.000      | 0            |              |           |           |           |
| Absatz                      |   |               | 37.258       | 41.416       | 45.000       | 37.207      | 0            |              |           |           |           |
| Preis                       | a | 75,00 €       | 75,00 €      | 75 €         | 55 €         | 45 €        |              |              |           |           |           |
|                             | c | 85,00 €       | 78,17 €      | 85,00 €      | 80,82 €      | 85 €        | 80,61 €      | 65 €         | 61,03 €   | 55 €      | 48,92 €   |
|                             | b | 80,00 €       | 80,00 €      | 80 €         | 80 €         | 60 €        | 50 €         |              |           |           |           |
| variable Kosten / Ticket    |   |               | 5 €          | 5 €          | 5 €          | 5 €         | 5 €          |              |           |           |           |
| Umsatz                      |   |               | 2.912.291 €  | 3.347.090 €  | 3.627.254 €  | 2.270.742 € | - €          |              |           |           |           |
| Kosten, fix                 | a | 450.000 €     | 450.000,00 € | 450.000 €    | 450.000 €    | 450.000 €   | 240.000 €    |              |           |           |           |
|                             | c | 550.000 €     | 484.080,20 € | 550.000,00 € | 489.846,96 € | 550.000 €   | 504.958,62 € | 486.163,25 € | 260.000 € | 250.000 € | 250.000 € |
|                             | b | 500.000 €     | 500.000 €    | 500.000 €    | 500.000 €    | 500.000 €   | 500.000 €    | 250.000 €    |           |           |           |
| Kosten, variabel            |   | - €           | 186.289 €    | 207.080 €    | 225.000 €    | 186.037 €   | - €          |              |           |           |           |
| Anfangsinvestition          |   | 9.000.000 €   |              |              |              |             |              |              |           |           |           |
| Liquidationserlös           | a |               |              |              |              |             | 2.000.000 €  |              |           |           |           |
|                             | c |               |              |              |              |             | 2.600.000 €  | 2.367.388 €  |           |           |           |
|                             | b |               |              |              |              |             | 2.500.000 €  |              |           |           |           |
| Cashflow                    |   | - 9.000.000 € | 2.241.922 €  | 2.650.163 €  | 2.897.295 €  | 1.598.543 € | 2.117.388 €  |              |           |           |           |
| Barwerte der CF             |   | - 9.000.000 € | 2.038.111 €  | 2.190.218 €  | 2.176.781 €  | 1.091.826 € | 1.314.732 €  |              |           |           |           |
| Kapitalwert                 |   | - 188.333 €   |              |              |              |             |              |              |           |           |           |

Abb. 4: Modell der Monte-Carlo-Simulation

Ein Klick auf die Schaltfläche „Neu berechnen“ löst eine neue Erzeugung von Zufallszahlen in Excel aus. Jedes Mal, wenn die Schaltfläche angeklickt wird, erzeugt Excel neue Ausprägungen der unsicheren Größen und berechnet den entsprechenden neuen Kapitalwert. Der Computer erstellt also ein Szenario auf der Basis von Zufallszahlen, die den vorgegebenen Verteilungen folgen und berechnet den entsprechenden Kapitalwert. Im Folgenden wird eine Monte-Carlo-Simulation vorgestellt, deren Modell 1.000-mal neu berechnet und die entsprechenden Kapitalwerte werden in Zellen einer Spalte geschrieben wurden. Eine Monte-Carlo-Simulation über 1.000 Läufe und deren Auswertung gibt bereits eine erste Vorstellung von der Verteilung des Kapitalwerts. Die Ergebnisse können graphisch als Histogramm oder als Value-at-Risk-Diagramm aufbereitet werden.

Ein Histogramm (vgl. Abb. 5) stellt die Wahrscheinlichkeit dar, dass der Wert eines Merkmals (hier der Kapitalwert) in einen bestimmten Bereich fällt.

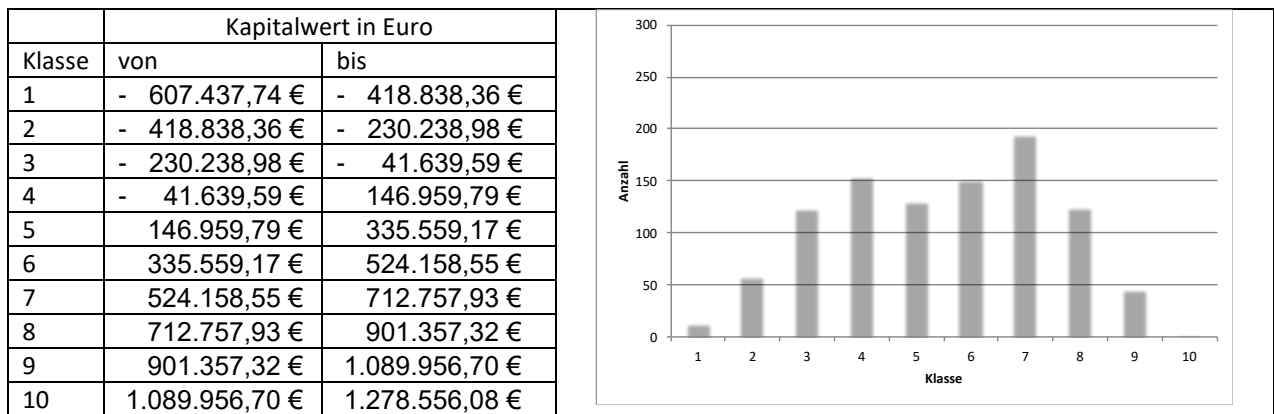


Abb: 5: Histogramm der Monte-Carlo-Simulation

Das Value-at-Risk Diagramm (vgl. Abb. 6) stellt die Wahrscheinlichkeit dar, dass der Wert eines Merkmals unter dem auf der horizontalen Achse angegebenen Wert liegt. In unserem Beispiel wird die Wahrscheinlichkeit dargestellt, dass der Kapitalwert unter der auf der x-Achse angegebenen Schranke liegt. So liegt die Wahrscheinlichkeit eines Kapitalwerts unter Null für unsere Beispielinvestition bei rund 28 %, die Wahrscheinlichkeit eines Kapitalwerts unter 500.000 Euro bei rund 60 % und die eines Kapitalwerts über 500.000 Euro bei 40 %. Value-at-Risk-Diagramme eignen sich insbesondere zur Darstellung der Chancen und Risiken einer Investition.

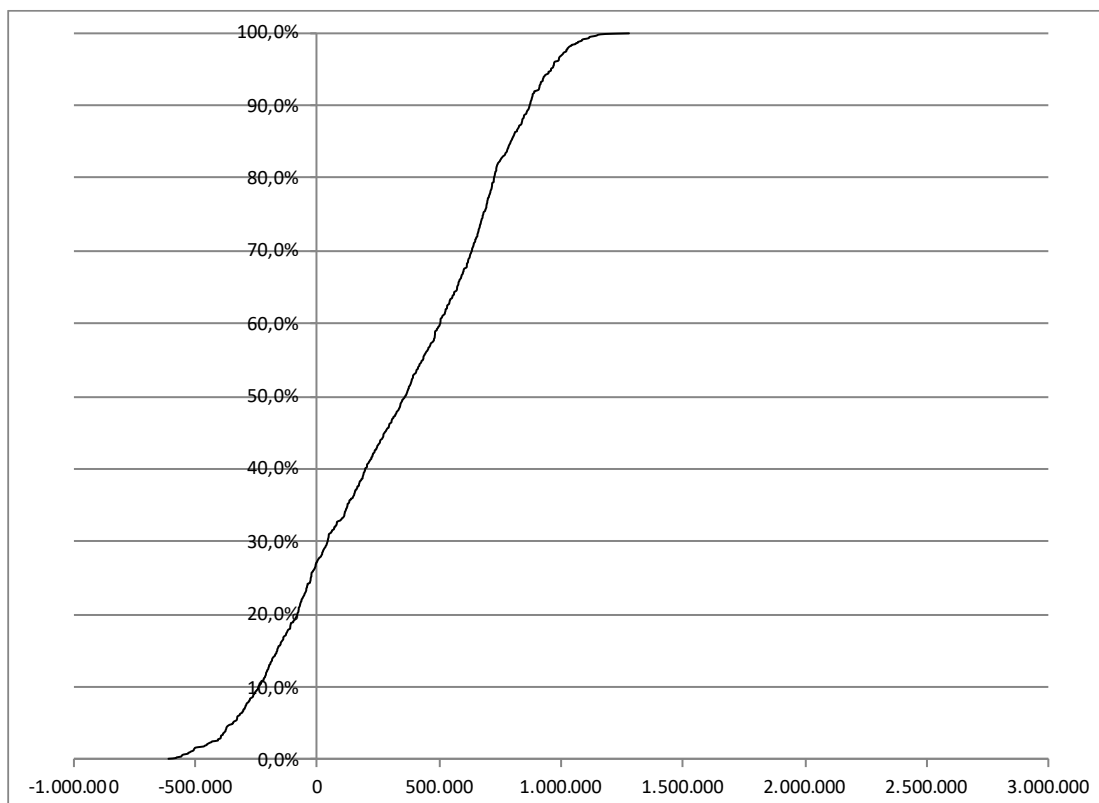


Abb: 6: VaR-Diagramm der Monte-Carlo-Simulation

Histogramm und Value-at-Risk Diagramm stellen die Ergebnisse mit ihren Wahrscheinlichkeiten dar und vermeiden den Fehler, unsichere Ereignisse durch eine einzige Zahl (z. B. den Mittelwert) zu repräsentieren. Werte, die auf der Grundlage von Durchschnittswerten berechnet werden, sind nicht zwingend ebenfalls Durchschnittswerte (Savage, 2002 u. 2012).

## ■ Bereich (Controlling, Accounting&Audit, Risk&Compliance, Finanzen oder Lehre)

So führt die Rechnung mit Durchschnittswerten für die unsicheren Preise und Mengen usw. nicht zwingend auch zum durchschnittlichen Kapitalwert der Investition. Ursächlich dafür sind typischerweise Nichtlinearitäten oder statistische Abhängigkeiten im Modell. Ein Beispiel soll diesen Sachverhalt verdeutlichen. Der Einfachheit halber sei die Nachfrage die einzige unsichere Variable in dem Modell. Die Nachfrage sei symmetrisch um einen Mittelwert verteilt. In der Produktion ist jedoch in der Regel die Kapazität begrenzt. Wenn die tatsächliche Nachfrage unter die mittlere Nachfrage fällt, sinkt der Kapitalwert, steigt die Nachfrage über den Durchschnittswert dann steigt auch der Kapitalwert, jedoch nur solange die Nachfrage unter der maximalen Kapazität liegt. Liegt die Nachfrage über der Kapazitätsgrenze, dann kann der Anteil der Nachfrage, der die Kapazitätsgrenze übersteigt, nicht bedient werden. Die Berechnung des Kapitalwerts auf der Basis der durchschnittlichen Nachfrage ist deshalb falsch. Monte-Carlo Simulationen vermeiden diesen Fehler.

Ausgeblendet werden bei der Kapitalwertmethode und der darauf basierenden Szenario-Analyse und Monte-Carlo-Simulation die Optionen des Managements, die sich im Verlauf der Investitions ergeben, z. B. die Nutzung von Chancen oder eine mögliche Reaktion auf Ereignisse, die zu negativen Änderungen der prognostizierten Cashflows führen. Diese Optionen können die Bewertung einer Investition wesentlich erhöhen. Unberücksichtigt bleiben typischerweise auch politische Risiken, wie Verbote u. Regulierungen, Zahlungsausfälle, technische Probleme etc. So bildet das typische Modell nur eine, von unendlich vielen, mehr oder weniger wahrscheinlichen, Konstellationen von Zahlungsströmen ab.

Trotz dieser Defizite ist die Bewertung von Investitionen auf der Basis des Kapitalwerts der Standard in der Investitionsrechnung (Brealey et. al., 2019; Ross et. al. 2018)

## 4 Bewertung von Investitionen unter Berücksichtigung von realen Optionen

Die Bewertung einer einzelnen Investition (oder Unternehmens) muss die unternehmensspezifischen „systematischen“ Risiken berücksichtigen, wenn sie nicht wie in einem Portfolio durch Risikodiversifikation beseitigt werden können. Die Strategie einer Risikodiversifikation basiert auf dem Gesetz der großen Zahlen, nach dem das Risiko (als Standardabweichung der Rendite) eines Portfolios unabhängiger Investitionen viel geringer ist, als das Risiko einer Einzelinvestition, da ein geringerer Gewinn einer Investition durch einen größeren Gewinn einer anderen Investition ausgeglichen werden kann. In einem Portfolio unabhängiger Investitionen kann das individuelle Risiko einer einzelnen Investition vernachlässigt werden. Dies ist die Grundüberlegung in der neoklassischen Finanzierungstheorie die auf Harry M. Markowitz (1952) zurückgeht.

Die Minimierung der unsystematischen Risiken war bis zur Jahrtausendwende ein Treiber für die Entwicklung von stark diversifizierten Mischkonzernen. Beispielhaft seien hier General Electric in den USA und in Deutschland die Unternehmen Stinnes und Siemens genannt. Sharpe (1964) zeigte aber bereits, dass Investoren das unsystematische Risiko günstiger durch Investitionen in verschiedene Asset-Klassen selber realisieren können. Heute finden wir in der Praxis das Konzept der „Diversifikation“ nur noch in Kombination mit dem Konzept der „Kernkompetenzen“, wenn Unternehmen ihre Kernkompetenzen in unterschiedlichen Branchen nutzen und so Wettbewerbsvorteile generieren wollen (z. B. Rocket Internet).

An die Stelle der Diversifizierung tritt heute ein unternehmensinternes „aktives“ Risikomanagement. Das Management schafft Möglichkeiten auf der Ebene der einzelnen Investition (oder Unternehmens), die einen Handlungsraum bei zukünftigen Chancen und Risiken eröffnen. Im Zusammenhang mit Investitionen sind diese Möglichkeiten dann gegeben, wenn das Vorhaben abgebrochen, zeitlich verschoben, erweitert, verkleinern oder verkauft werden kann. Diese Möglichkeiten werden als reale Optionen bezeichnet. Eine Bewertung, bei der diese Optionen in die Bewertung einer Investition einfließen, wird als „Real Options Valuation“ (ROV) bezeichnet (Myers 1977; Copeland u. Tufano 2004).

Reale Optionen haben einen Wert. Je mehr Optionen eine Investition bietet, desto flexibler kann das Management in der Zukunft auf negative und positive Entwicklungen reagieren. Dieser Wert wird jedoch in der klassischen

Kapitalwert-Analyse nicht abgebildet, kann aber in die Modellierung der Investition eingebaut werden. Bereits bei der Planung der Investition sollten Optionen vorbereitet werden - auch wenn sie zunächst nur Auszahlungen verursachen. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen: ein für Mitarbeiter attraktiver Standort verursacht zunächst höhere Kosten als ein weniger attraktiver Standort, er kann aber zu einem späteren Zeitpunkt eine Kapazitätserweiterung ermöglichen, wenn diese Kapazitätserweiterung weiteres qualifiziertes Personal erfordert. Die zusätzlichen Kosten „heute“ generieren eine Möglichkeit „morgen“. Eine Bewertung auf der Basis von realen Optionen berücksichtigt spätere mögliche Entscheidungen, die die Höhe der Cashflows beeinflussen.

Als eine „passive“ Investition wird eine Investition ohne Option(en) bezeichnet. Die ROV geht davon aus, dass der Wert dieser „passiven“ Investition bekannt ist. Der Wert dieser passiven Investition kann sich im Laufe der Zeit ändern, z. B. kann der Wert steigen, wenn sich die Möglichkeit bietet, eine erfolgreiche Investition zu erweitern. Ein Wertverlust bei einem erfolglosen Projekt kann u. U. begrenzt werden, wenn die Investition verkleinert oder abgebrochen wird. Die Bewertung einer Investition gleicht unter diesem Aspekt der Bewertung einer Aktiption: Die Wertentwicklung der passiven Investition entspricht der Kursentwicklung einer Aktie und die realen Optionen entsprechen einer Option auf den Aktienkurs. Generell gewähren finanzielle Optionen das Recht, aber nicht die Verpflichtung,

- ein bestimmtes Geschäft
- zu einem bestimmten Preis
- zu einem bestimmten Zeitpunkt oder
- innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls

auszuüben.

Aufgrund der Ähnlichkeiten zwischen realen und finanziellen Optionen liegt es nahe, die gut entwickelten Konzepte und Verfahren für die Analyse finanzieller Optionen auch im Kontext realer Optionen anzuwenden. Der Gesamtwert der „flexiblen“ Investition wird dann als der Wert der passiven Investition plus der erhaltenen Optionen angesehen. Die Bewertung auf der Basis realer Optionen hat sich jedoch in der Praxis nicht durchgesetzt, obwohl auch dort nicht bestritten wird, dass eine Bewertung auf der Basis des Kapitalwerts mögliche Optionen ausblendet und deshalb tendenziell zu Bewertungen führt, die zu niedrig sind.

Ursächlich für die geringe Verbreitung der ROV sind zwei Faktoren. Zum einen werden die Prämissen, von denen das Bewertungsverfahren für finanzielle Optionen ausgeht, in der Regel nicht von realen Optionen erfüllt, insbesondere ...

- ist der passive Wert einer Investition - im Gegensatz zum Wert einer Aktie - kein beobachtbarer Marktwert, sondern das Ergebnis einer Berechnung auf der Basis unsicherer Werte,
- werden die realen Optionen einer Investition als Ganzes (und in Bruchteilen oder Vielfachem) – im Gegensatz zu finanziellen Optionen - nicht fortlaufend auf einem Markt bewertet und gehandelt,
- können passive Investitionen und reale Optionen nicht unabhängig voneinander gehandelt werden.

Zum anderen werden die Praktiker von der mathematischen Komplexität der Optionspreistheorie und ihres Transfers auf reale Optionen abgeschreckt. Die mathematische Basis der ROV bleibt für die meisten Praktiker eine „Black Box“. An diesem letzten Punkt setzt die hier im Folgenden dargestellte Lösung einer schrittweisen nachvollziehbaren Verbesserung der Kapitalwert-Analyse an. Ausgehend von einer Bewertung auf der Basis des Kapitalwerts wird die Analyse schrittweise durch Einbeziehung von Unsicherheit und Flexibilität verbessert. Über diesen Weg wird ein tieferes Verständnis für die Chancen und Risiken einer Investition entwickelt. Wie später gezeigt wird, können reale Optionen Teil dieses Prozesses sein, sie müssen es aber nicht.



■ Bereich (Controlling, Accounting&Audit, Risk&Compliance, Finanzen oder Lehre)

Ausgangspunkt der weiteren Überlegungen ist das Risikoprofil der passiven Investition wie es in einem VAR-Diagramm dargestellt wird. Auf der Grundlage dieses Risikoprofils muss das Management kreativ werden und Optionen entwickeln, die das Risikoprofil der Investition optimieren können, d. h. die Value-at-Risk-Kurve nach rechts verschieben. Grundsätzlich geht es um die Beantwortung der folgenden beiden Fragen:

- Welche Szenarien führen zur Vernichtung von Werten und welche Möglichkeiten gibt es, diese Verluste zu minimieren, wenn das Szenario eintritt?
- Welche Szenarien sind positive Werttreiber und wie können diese Möglichkeiten verstärkt werden, wenn das Szenario eintritt?

Die erste Option hat den Charakter einer Versicherung, sie entspricht einer Put-Option, die den Inhaber einer Aktie gegen einen Kursrückgang absichert. Die zweite Option entspricht einer Call-Option, die das Recht einräumt, ein Gut in einer im Voraus vereinbarten Menge zu einem im Voraus vereinbarten Ausübungspreis zu kaufen. Die Option ist dann interessant, wenn der Preis des Gutes über dem Ausübungspreis liegt.

Bei der Abbildung von realen Optionen in einer Monte-Carlo-Simulation werden in einem ersten Schritt die Option(en) in das Grundmodell modelliert und in einem zweiten Schritt dann die Ergebnisse analysiert und bewertet.

Die Modellierung von realen Investitionen beginnt mit der Festlegung von Entscheidungspunkten. Zu diesen Zeitpunkten kann unter mehreren Maßnahmen gewählt werden. Die Wahl erfolgt dann später auf der Basis der dann aktuellen Daten – zunächst unsichere Variablen sind dann u. U. schon sicher. Bei der Modellierung wird aber bereits eine Entscheidungsregel formuliert, die festlegt, welche Entscheidung bei welcher Datenlage getroffen wird. Diese Regel könnte z. B. festlegen, dass die Investition zu einem Entscheidungspunkt abgebrochen wird, wenn die Nachfrage bis dahin unter einem bestimmten Wert liegt (Abbruchsoption), oder die Investition erweitert wird, wenn die Nachfrage einen bestimmten Wert überschreitet (Erweiterungsoption).

In der Abbildung 7 wird das Modell der Beispielinvestition um eine Erweiterungsoption ergänzt. Liegt die Nachfrage in einem Jahr über der Ausgangskapazität von 45.000, dann wird die Kapazität durch zusätzliche Vorstellungen in Schritten von 500 erhöht. Jede Erhöhung um 500 führe zu Kosten von 5.000 Euro.

| Zins: 10%                      |   | Entscheidungsregel         |               |              |             |                             |             |                                |        |             |        |
|--------------------------------|---|----------------------------|---------------|--------------|-------------|-----------------------------|-------------|--------------------------------|--------|-------------|--------|
| Mac: Neu Berechnen mit fn + F9 |   | Ausgangskapazität:         |               | 45000        |             | Kapazität Zusatzvorstellung |             | 500 falls Nachfrage größer als |        | 45000       |        |
| Windows: F9                    |   | Kosten / Zusatzvorstellung |               | 5.000 €      |             |                             |             |                                |        |             |        |
| Jahr                           |   | 0                          | 1             | 2            | 3           | 4                           | 5           |                                |        |             |        |
| Nachfrage/Nachfrageänderung    | a |                            | 30.000        | 5%           | 10%         | -25%                        | -70%        |                                |        |             |        |
|                                | c |                            | 50.000        | 20%          | 12%         | 25%                         | 22%         | -10%                           | -18%   | -60%        | -64%   |
|                                | b |                            | 40.000        | 10%          |             | 20%                         |             | -20%                           |        | -65%        |        |
| Nachfrage                      |   |                            | 38.010        |              | 42.436      |                             | 51.734      |                                | 42.381 |             | 15.434 |
| Kapazität                      |   |                            | 45.000        |              | 45.000      |                             | 51.500      |                                | 45.000 |             | 0      |
| Absatz                         |   |                            | 38.010        |              | 42.436      |                             | 51.500      |                                | 42.381 |             | 0      |
| Preis                          | a |                            | 75,00 €       | 75,00 €      | 75 €        | 55 €                        | 45 €        |                                |        |             |        |
|                                | c |                            | 85,00 €       | 85,00 €      | 85 €        | 65 €                        | 55 €        |                                |        |             |        |
|                                | b |                            | 80,00 €       | 80,00 €      | 80 €        | 60 €                        | 50 €        |                                |        |             |        |
| variable Kosten / Ticket       |   |                            | 5 €           | 5 €          | 5 €         | 5 €                         | 5 €         |                                |        |             |        |
| Umsatz                         |   |                            | 2.983.595 €   | 3.585.010 €  | 4.048.750 € | 2.590.140 €                 |             |                                |        |             |        |
| Kosten, fix                    | a |                            | 450.000 €     | 450.000,00 € | 450.000 €   | 450.000 €                   | 240.000 €   |                                |        |             |        |
|                                | c |                            | 500.000 €     | 550.000,00 € | 550.000 €   | 550.000 €                   | 260.000 €   |                                |        |             |        |
|                                | b |                            | 500.000 €     | 500.000,00 € | 500.000 €   | 500.000 €                   | 250.000 €   |                                |        |             |        |
| Kosten, variabel               |   |                            | 190.050 €     | 212.178 €    | 257.500 €   | 211.903 €                   |             |                                |        |             |        |
| Kosten Kapazitätserweiterung   |   |                            | - €           | - €          | 65.000 €    | - €                         |             |                                |        |             |        |
| Anfangsinvestition             |   |                            | 9.000.000 €   |              |             |                             |             |                                |        |             |        |
| Liquidationserlös              | a |                            |               |              |             |                             | 2.000.000 € |                                |        |             |        |
|                                | c |                            |               |              |             |                             | 2.600.000 € |                                |        |             |        |
|                                | b |                            |               |              |             |                             | 2.500.000 € |                                |        | 2.396.876 € |        |
| Cashflow                       |   |                            | - 9.000.000 € | 2.291.888 €  | 2.891.417 € | 3.238.249 €                 | 1.856.399 € |                                |        | 1.750.786 € |        |
| Barwerte der CF                |   |                            | - 9.000.000 € | 2.083.534 €  | 2.389.601 € | 2.432.945 €                 | 1.267.946 € |                                |        | 1.087.100 € |        |
| Kapitalwert                    |   |                            | 261.125 €     |              |             |                             |             |                                |        |             |        |

Abb. 7: Modell mit Erweiterungsoption

Das zugehörige VAR-Diagramm in Abbildung 8 zeigt die VAR-Kurve der passiven Investition und der Investition mit Option (gestrichelt).

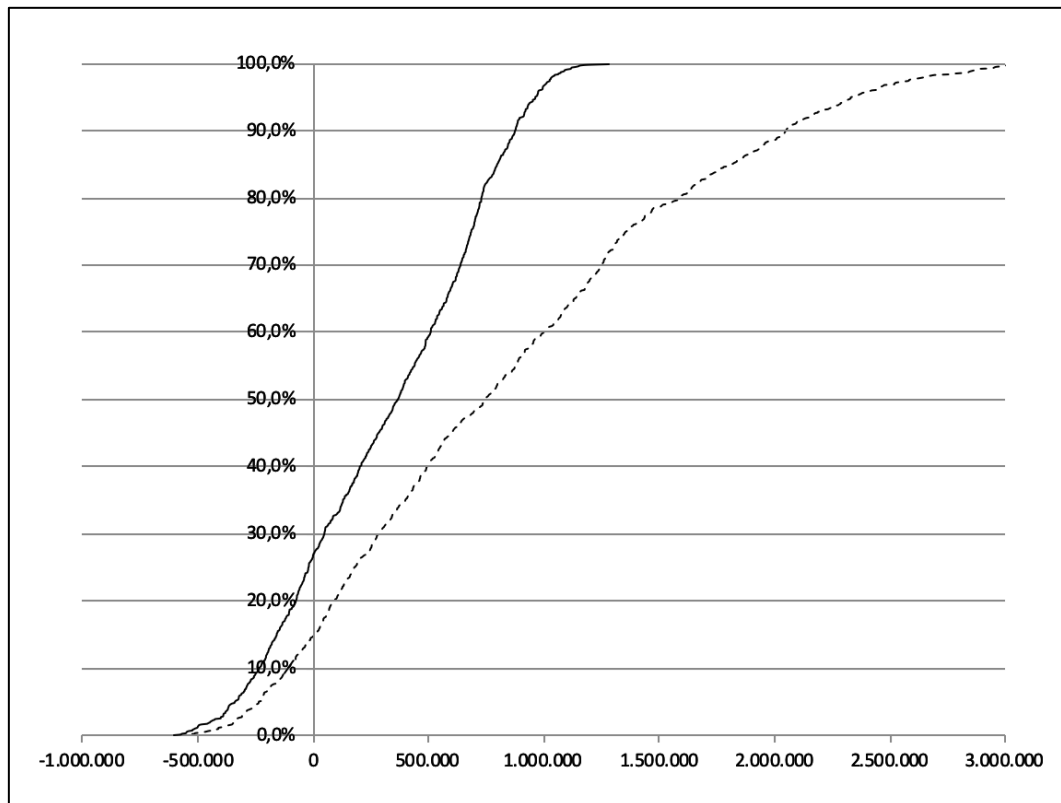


Abb. 8: VAR-Diagramm für passive Investition und Investition mit Erweiterungsoption

Führt die Ausübung der Option zu einer Verschiebung der VAR-Kurve nach rechts (so wie in dem Beispiel), so generiert sie einen Wert. Allerdings ist die Lage nicht immer so eindeutig. So können sich die neue VAR-Kurve und die alte VAR-Kurve der passiven Investition einmal oder gar mehrmals kreuzen. In einem Teilbereich der horizontalen Achse liegt dann z. B. die neue Kurve links von der VAR-Kurve der passiven Investition und in einem anderen Teilbereich rechts von der VAR-Kurve der passiven Investition. In diesem Fall entscheidet die Risikopräferenz des Investors über die Vorteilhaftigkeit der Option.

## 5 Schlussfolgerungen

Bei der Bewertung einer Investition müssen sowohl unsichere Cashflows als auch reale Optionen berücksichtigt werden. Unsichere Cashflows führen zu unsicheren Kapitalwerten und erst die Darstellung als Verteilung zeigt die Chancen und Risiken der Investition. Die Berücksichtigung realer Optionen bedeutet, dass diese Verteilung durch Handlungsoptionen optimiert werden kann.

Die hier vorgestellte Vorgehensweise berücksichtigt unsichere Cashflows und reale Optionen durch den Einsatz von modernen quantitativen Methoden, wie der Monte-Carlo-Simulation und Verfahren der Bewertung von realen Optionen. Ausgehend von der Berechnung eines einzelnen Kapitalwerts werden in der hier vorgestellten Vorgehensweise sukzessiv Unsicherheiten und reale Optionen berücksichtigt und in Risikoprofilen in Form von Value-at-Risk Diagrammen visualisiert. Dieser Prozess führt zu einem tieferen Verständnis der Chancen und Risiken einer Investition. Das hier vorgestellte Verfahren unterstützt ein aktives Management von Chancen und Risiken einer Investition. Der Ansatz ist insbesondere dann hilfreich, wenn eine Steuerung auf der Basis von zeitlich zurückliegenden Plandaten in Form eines klassischen Controllings nicht mehr zweckmäßig ist.

Besondere Bedeutung können diese Erweiterungen der klassischen Kapitalwertmethode bei der Bewertung von „Start-up“ – Unternehmen gewinnen. Als „Start-up“ wird eine Unternehmensgründung bezeichnet, die auf einer innovativen Geschäftsidee basiert und ein hohes Wachstumspotential aufweist. Die Investoren in ein Start-up können im Laufe ihrer Beteiligung über Höhe und Zeitpunkt von Kapazitätserweiterungen entscheiden, sie können

■ Bereich (Controlling, Accounting&Audit, Risk&Compliance, Finanzen oder Lehre)

über Markteintritte und Marktaustritte entscheiden, sie können das Unternehmen, oder Teile davon, verkaufen. Diese Optionen sind in einem Start-up leichter zu realisieren als in einem etablierten Unternehmen. Die Berücksichtigung von realen Optionen in der Bewertung von Start-ups führt zu wesentlich höheren Bewertungen im Vergleich zu einer statischen Bewertung auf der Basis eines Kapitalwerts.

In der Lehre gilt es, den Studierenden über das einfache kapitaltheoretische Konzept hinaus, die Methoden zu vermitteln, die dieses Konzept optimieren. Dazu zählt neben der Vermittlung von Methoden auch die Lehre im Umgang mit Werkzeugen wie der Tabellenkalkulation, mittels derer die Methoden auch praktisch umgesetzt werden können.

## Literaturverzeichnis

Brealey, R., Myers, S. u. Allen, F. (2019): Principles of Corporate Finance. MacGraw-Hill, New York.

Ross, S. A., Westerfield, R.W., Jaffe, J. u. Bradford, D. (2018): Corporate Finance. MacGraw-Hill, New York.

Markowitz, H. M. (1952): Portfolio Selection. Journal of Finance, 7(1):77-91.

Sharpe, W. F. (1964): Capital Asset Prices - A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk. Journal of Finance, 19(3):425-442.

Hertz, D. B. (1964): Risk Analysis in Capital Investments. Harvard Business Review, 46(1):95-106.

Savage, S. (2002): Decision making with insight. Thomson, Belmont.

Savage, S. (2012): The Flaw of Averages. Wiley, Hoboken.

Schneider, D. (1994): Rechnungswesen. Oldenbourg, München.

Copeland, T. u. Tufano, P. (2004): A Real-World Way to Manage Real Options. Harvard Business Review (82)3:90-99.

Myers, S. (1977): Determinants of Corporate Borrowing. Journal of Financial Economics, 5(2):147-175.