Portfoliomanagement mit illiquiden Assets, insbesondere Investitionen in Informationstechnologie

Dissertation

der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät

der Universität Augsburg

zur Erlangung des Grades eines Doktors

der Wirtschaftswissenschaften

(Dr. rer. pol.)

vorgelegt

von

Dennis Diepold
(Diplom-Wirtschaftsmathematiker Univ.)

Augsburg, Mai 2011

Erstgutachter:	Prof. Dr. Hans Ulrich Buhl
Zweitgutachter:	Prof. em. Dr. Dr. h.c. Günter Bamberg
Vorsitzender der mündlichen Prüfung:	Prof. Dr. Marco Wilkens
Datum der mündlichen Prüfung:	20. Juli 2011

„Für den gläubigen Menschen steht Gott am Anfang,

für den Wissenschaftler am Ende aller seiner Überlegungen."

Max Planck (1858-1947)

Für Luisa, Noah, Eliah und Dorothea

Inhaltsverzeichnis

Anmerkung: Eine fortlaufende Seitennummerierung wird pro Kapitel bzw. pro Unterkapitel des jeweiligen Beitrags vorgenommen. Ein Literaturverzeichnis sowie die Anhänge werden jeweils am Ende eines jeden Beitrags aufgeführt.

Verzeichnis der Beiträge

In dieser Dissertation werden die folgenden veröffentlichten und zur Veröffentlichung angenommenen Beiträge vorgestellt:

B.1 Diepold D, Dzienziol J (2009) Illiquide Assets in der Portfoliooptimierung. Zeitschrift für Betriebswirtschaft 79(10):1143-1173
(VHB JOURQUAL2: 7,01 Punkte, Kategorie B)

B.2 Diepold D (2011) Zur Berücksichtigung illiquider Anlagen bei der privaten Finanzplanung. Wirtschaftswissenschaftliches Studium 40 (in Druck)
(VHB JOURQUAL2: 3,37 Punkte, Kategorie E)

B.3 Diepold D, Ullrich C, Wehrmann A, Zimmermann S (2009) A Real Options Approach for Valuating Intertemporal Interdependencies within a Value-Based IT Portfolio Management – A Risk-Return Perspective. In: Newell S, Whitley E, Puloudi N, Wareham J, Mathiassen L (Hrsg) Proceedings of the 17th European Conference on Information Systems. Verona, S 1600-1612
(VHB JOURQUAL2: 7,37 Punkte, Kategorie B;
WI-Orientierungslisten: Kategorie A)

B.4 Diepold D, Ullrich C, Wehrmann A, Zimmermann S (2011) Bewertung intertemporaler Abhängigkeiten zwischen IT-Projekten – Anwendung eines realoptionsbasierten Ansatzes unter Berücksichtigung projektspezifischer Risiken. Zeitschrift für Betriebswirtschaft 81 (in Druck)
(VHB JOURQUAL2: 7,01 Punkte, Kategorie B)

I Einleitung

Portfoliomanagement bezeichnet „die Gesamtheit aller Aufgaben, welche im Zusammenhang mit Kapitalanlageentscheidungen zu lösen und durchzuführen sind“ (Poddig et al. 2009, S. 15). Der Portfoliomanagementprozess beinhaltet dabei (bei selbstverwalteten Portfolios) die in Abb. I-1 dargestellten Teilprozesse Anlegeranalyse, Finanzanalyse, Portfoliorealisierung und Performanceanalyse (vgl. Rehkugler 2002, S. 6f).

Abb. I-1 Teilprozesse des Portfoliomanagements

Diese Teilprozesse beinhalten folgende Aufgaben:

Hauptaufgabe der *Anlegeranalyse* ist die konkrete Bestimmung der Präferenzen und Ziele des Anlegers. Letztere können neben dem klassischen „magischen Dreieck“, bestehend aus Rentabilität, Sicherheit und Liquidierbarkeit (Ruda 1988, S. 20f), insbesondere bei Privatanlegern auch Themen wie Verwaltbarkeit, Variabilität oder Nachvollziehbarkeit beinhalten (vgl. bspw. Buhl et al. 2004). Es gilt demnach in diesem Schritt bspw. die Renditeerwartungen, die konkrete Risikodefinition und -tragfähigkeit sowie die generell in Frage kommenden Finanzanlagen zu bestimmen. Zur entscheidungstheoretisch fundierten Abbildung von Anlagerpräferenzen vgl. bspw. Bamberg et al. (2008, S. 67ff).

Die *Finanzanalyse* beschäftigt sich mit der Bereitstellung der für die Anlageentscheidung relevanten Informationen über die in Frage kommenden Anlagen unter Berücksichtigung der entscheidungsrelevanten Umwelteinflüsse (Poddig et al. 2009, S. 17ff). Markowitz (1952) bezeichnet die Finanzanalyse als ersten Schritt der „Portfolio Selection“ und charakterisiert diesen wie folgt: „The first stage starts with observation and experience and ends with beliefs about the future performances of available securities“ (Markowitz 1952, S. 77). Ziel ist demnach die Bestimmung konkreter Rendite-/Risikopositionen einzelner Finanzanlagen. Hierzu sind bereits fundierte Modelle und Methoden, wie bspw. das Capital Asset Pricing Model (vgl.

bspw. Steiner und Bruns 2007, S. 21ff) oder Optionspreismodelle (vgl. bspw. Steiner und Bruns 2007, S. 317ff), verfügbar.

Aufbauend auf den Ergebnissen der beiden Analyseprozesse wird in der *Portfoliorealisierung* versucht, diese zusammenzuführen und ein Portfolio zu bilden, welches den Präferenzen des Anlegers unter den gegebenen Voraussetzungen am nächsten kommt. „The second stage [of portfolio selection] starts with the relevant beliefs about future performances and ends with the choice of portfolio" (Markowitz 1952, S. 77). Markowitz (1952) entwickelte für diesen Schritt die sog. moderne Portfoliotheorie, nach welcher auch heute zumeist vorgegangen wird (vgl. auch Perridon et al. 2009, S. 252ff).

Im Nachgang an die erfolgte Portfoliorealisierung überprüft die *Performanceanalyse* den Anlageerfolg des Portfolios (vgl. bspw. Steiner und Bruns 2007, S. 584ff).

Die vorliegende Arbeit möchte einen Beitrag zu den beiden Teilprozessen Finanzanalyse und Portfoliorealisierung liefern.

Betrachtet man zunächst ausschließlich klassische Finanzanlagen, so sind zur Finanzanalyse – wie bereits erwähnt – fundierte Methoden verfügbar. Die konkreten Rendite-/Risikopositionen der einzelnen Anlagen können daher als gegeben angenommen werden, so dass der Fokus der Arbeit in diesem Fall auf der Portfoliorealisierung liegt. Der Frage nach der bestmöglichen Aufteilung von Vermögen auf verschiedene Finanzanlagen widmet sich die Forschung bereits seit Begründung der modernen Portfoliotheorie durch Markowitz (1952) sowie der Entwicklung des ersten sog. Safety-First-Ansatzes durch Roy (1952). Dabei stand jeweils im Zentrum der Überlegungen, dass der Trade-off zwischen der Höhe des durch ein Asset zu erwartenden Ertrags (μ) und des damit einhergehenden Risikos bei der Zusammenstellung eines Portfolios aus unterschiedlichen Assets besondere Berücksichtigung finden muss. Zentrale Annahmen des Modells von Markowitz (1952) waren, dass alle Anlagen beliebig teilbar und vollständig liquide sind, keine Transaktionskosten entstehen und der Anleger risikoavers ist. Markowitz verwendete für sein etabliertes Modell die Standardabweichung σ (d.h. Abweichungen vom erwarteten Ertrag nach oben und unten) als Maß für das Risiko eines Assets (sowie des Gesamtportfolios) und verfolgte das Ziel eines effizienten Portfolios. Wählt der Anleger ein solches effizientes Portfolio, so gibt es kein anderes Portfolio, welches bei gleicher oder höherer erwarteter Rendite weniger Risiko beinhaltet oder bei gleichem oder niedrigerem Risiko eine höhere erwartete Rendite erzielt. Im Gegensatz dazu definierte Roy (1952) Risiko ausschließlich über negative Abweichungen von einem bestimmten Zielwert, repräsentiert durch die Ausfallwahrscheinlichkeit (d.h. die Wahrscheinlichkeit, diesen Zielwert nicht zu erreichen). Ziel seiner Vorgehensweise war es, Assets so zu wählen, dass die Ausfallwahrscheinlichkeit minimiert wird. Darauf aufbauend gab es zahlreiche Arbeiten bspw. zur Berücksichtigung von Transaktionskosten (bspw. Morton und Pliska 1995) oder zur Verwendung weiterer Risikomaße (bspw. Artzner et al. 1999 oder Rockafellar und Uryasev 2002).

Den bisherigen Modellen, insbesondere der am weitesten verbreiteten modernen Portfoliotheorie, liegt dabei in der Regel die Annahme vollständiger Liquidität zu Grunde, d.h. dass die Möglichkeit besteht, Assets jederzeit ohne Preisabschlag zu handeln. Entsprechend einer Untersuchung von Heaton und Lucas (2000, S. 1174) über die Zusammensetzung der Portfolios von amerikanischen Privathaushalten bestehen diese allerdings bspw. lediglich zu 13,6 % aus Aktien, hingegen zu 33,3 % aus Immobilien und 11,1 % aus langlebigen Konsumgütern (hinzu kommen 13,8 % Private Equity und 28,2 % anderes finanzielles Vermögen). Damit wird sehr schnell klar, dass die Annahme vollständiger Liquidität insbesondere bei Privatanlegern meist nicht erfüllt ist. Bei auftretenden Liquiditätsanforderungen kann dies dazu führen, dass illiquide Anlagen mit hohen Wertverlusten kurzfristig verkauft werden müssen. Sowohl die bisherigen Forschungsarbeiten als auch die heutige private Finanzplanung berücksichtigt diesen Sachverhalt jedoch nicht oder zumindest nicht hinreichend. Statt einer expliziten Berücksichtigung im Rahmen der Portfoliorealisierung werden dem Anleger in der Regel pauschale Liquiditätsreserven empfohlen und nur das restliche Kapital bei der Portfoliorealisierung berücksichtigt.

Im Bereich klassischer Finanzanlagen bedarf es demnach zum Ersten einer Erweiterung der bestehenden Modelle zur Portfoliooptimierung um die Berücksichtigung künftiger Liquiditätsanforderungen und der besonderen Eigenschaften illiquider Assets. Zum Zweiten ist es notwendig, deren praktische Umsetzbarkeit, d.h. Möglichkeiten zur Berücksichtigung der resultierenden Ergebnisse in der privaten Finanzplanung zu diskutieren.

Allerdings ist „Portfoliomanagement […] nicht nur die Basis für die Kapitalanlage privater und institutioneller Investoren. Es ist stets dann von Bedeutung, wenn Risiken bewältigt werden müssen […]. So ist das Portfoliomanagement ebenso grundlegend für die Gestaltung und Führung einer Unternehmung“ (Spremann 2003, S. 3). In diesem Sinne widmet sich die vorliegende Arbeit einem stark an Bedeutung gewinnenden Bereich der Unternehmensführung: der Ausgestaltung der Informationstechnologie (IT)-Landschaft. So hat bspw. die große Mehrheit der Finanzdienstleister Pläne zur Erneuerung ihrer IT-Systeme, mit Budgets von meist mehr als 100 Mio. Euro (Hoppermann 2010). Mit der Entscheidung über IT-Investitionen beschäftigt sich das IT-Portfoliomanagement (ITPM). Dieses bezeichnet „die Koordination der Gesamtheit zur Verfügung stehender IT-Investitionen (IT-Projekte) wie z. B. Investitionen in IT-Infrastruktur, Anwendungssysteme und IT-Services und bereits im Unternehmen eingesetzter IT-Vermögensgegenstände (IT-Assets) zur bestmöglichen Erreichung der Unternehmensziele unter der Nebenbedingung einer gegebenen Ressourcenverfügbarkeit“ (Zimmermann 2008, S. 358).

Im Sinne einer wertorientierten Unternehmensführung, welche alle Geschäftsaktivitäten auf die Maximierung des langfristigen, nachhaltigen Unternehmenswerts ausrichtet, können IT-Systeme ebenfalls als Finanzanlagen betrachtet werden, welche gemäß ihrer Definition illiquide sind. Eine Besonderheit von IT-Systemen ist dabei, dass für diese in der Regel kein Marktpreis existiert und neben den üblichen Marktrisiken auch projektspezifische Risiken während ihrer Umsetzung (wie bspw. Änderungen/Unklarheiten bzgl. der Anforderungsbasis oder Fehler in der Implementierung) berücksichtigt werden müssen. Zudem spielen neben den aus der Portfoliotheorie bekannten intratemporalen Abhängigkeiten (zwischen mehreren gleichzeitig durchgeführten IT-Projekten) auch intertemporale Abhängigkeiten (zwischen aufeinanderfolgenden IT-Projekten) eine bedeutende Rolle. So ist bspw. denkbar, dass eine Investition in eine IT-Infrastruktur erst durch Berücksichtigung darauf aufbauender, Einzahlungen generierender IT-Systeme ökonomisch sinnvoll wird. Diese intertemporalen Abhängigkeiten können als Realoption modelliert werden. Zu deren konkreter Bewertung werden in der Literatur das Binomialmodell (BM) und das Black-Scholes-Modell (BSM) verwendet. Da diese der Finanztheorie entstammen, berücksichtigen sie allerdings ausschließlich Marktrisiken. Das BM wurde zwar um die Berücksichtigung projektspezifischer Risiken erweitert, erscheint aber für die Anwendung in der Praxis ungeeignet. Die praxisorientierten Ansätze unter Verwendung des BSM vernachlässigen hingegen projektspezifische Risiken und können daher zu Fehlbewertungen führen.

Im Bereich des ITPM gilt es demnach, das BSM als realoptionsbasierte Methode der Finanzanalyse um die Berücksichtigung projektspezifischer Risiken zu erweitern und die Anwendbarkeit des erweiterten Modells aufzuzeigen.

Das verbleibende Kapitel gliedert sich wie folgt: In Abschnitt 1 werden die Zielsetzung und der Aufbau der Arbeit vorgestellt. In Abschnitt 2 werden die einzelnen Beiträge fachlich eingeordnet und die zentralen Forschungsfragen motiviert.

1 Zielsetzung und Aufbau dieser Dissertationsschrift

Ziel dieser Dissertationsschrift ist es, einen Beitrag zum Portfoliomanagement mit illiquiden Assets zu leisten. Dabei stehen zwei zentrale Fragestellungen im Fokus. Zum einen widmet sie sich der allgemeinen Berücksichtigung illiquider Finanzanlagen bei der Portfoliorealisierung privater Anleger unter Beachtung von Liquiditätsanforderungen, zum anderen der korrekten Bewertung von IT-Investitionen, als spezielle illiquide Finanzanlagen im Sinne einer wertorientierten Unternehmensführung, als Basis für ein umfassendes IT-Portfoliomanagement.

Abb. I-2 gibt einen Überblick über den Aufbau der Arbeit und detailliert ihre Zielsetzung im Hinblick auf diese beiden Themenschwerpunkte.

I Einleitung	
Ziel I.1:	Darstellung der Zielsetzung und des Aufbaus der Arbeit
Ziel I.2:	Fachliche Einordnung und Motivation der zentralen Forschungsfragen
II Zum Portfoliomanagement mit klassischen illiquiden Finanzanlagen (B.1, B.2)	
Ziel II.1:	Entwicklung eines Modells zur Berücksichtigung der besonderen Eigenschaften illiquider Assets bei der Portfoliooptimierung unter Beachtung von Liquiditätsanforderungen
Ziel II.2:	Darstellung der Auswirkungen dieser Eigenschaften auf die optimale Portfoliostruktur privater Anleger
Ziel II.3:	Darstellung von Möglichkeiten, die so gewonnenen Erkenntnisse bei der privaten Finanzplanung zu berücksichtigen
III Zum IT-Portfoliomanagement (B.3, B.4)	
Ziel III.1:	Erweiterung des Black-Scholes-Modells (BSM) um die Berücksichtigung projektspezifischer Risiken bei der Bewertung von Ertrag und Risiko von IT-Projekten unter Beachtung intertemporaler Abhängigkeiten
Ziel III.2:	Darstellung der Auswirkungen projektspezifischer Risiken auf Ertrag und Risiko im Vergleich zur herkömmlichen Anwendung des BSM
Ziel III.3:	Entscheidungstheoretisch fundierte Integration von Ertrag und Risiko zu einem konkreten Wertbeitrag
Ziel III.4:	Darstellung der konkreten Bestimmung des Wertbeitrags in der Praxis
IV Fazit und Ausblick	
Ziel IV.1:	Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse
Ziel IV.2:	Aufzeigen künftigen Forschungsbedarfs

Abb. I-2 Aufbau und Ziele der Dissertationsschrift

2 Fachliche Einordnung und fokussierte Forschungsfragen

Gemäß den genannten Zielen lassen sich die in dieser Arbeit enthaltenen Beiträge wie in Abb. I-3 dargestellt in den Portfoliomanagementprozess einordnen:

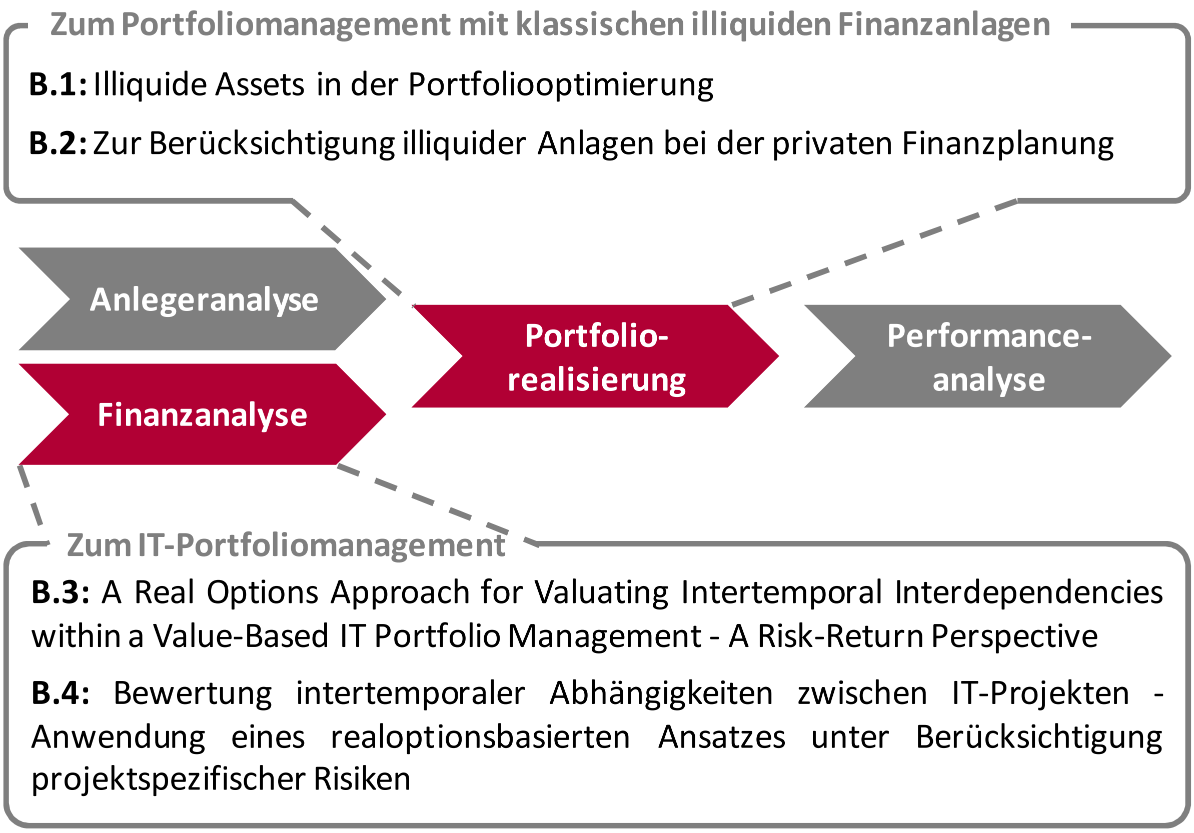

Abb. I-3 Einordnung der Beiträge

2.1 Zum Portfoliomanagement mit klassischen illiquiden Finanzanlagen (B.1, B.2)

Spätestens seit der Finanz- und Wirtschaftskrise hat die Problemstellung, die sich aus der Illiquidität von Assets ergibt, wieder an Aktualität und Aufmerksamkeit in Forschung und Praxis gewonnen. Obwohl bekannt ist, dass Illiquidität erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse einer Portfoliooptimierung hat (bspw. Faig und Shum 2002; Huang 2003; Longstaff 2009), wurde dieser Einfluss sowohl bei Kreditinstituten als auch Privatanlegern nicht hinreichend berücksichtigt.

Bei der Überlegung, als Privatanleger in ein illiquides Asset wie bspw. eine Immobilie zu investieren, spielt ein (möglicher) künftiger Liquiditätsbedarf eine gewichtige Rolle. Geht man davon aus, dass illiquide Assets nur vollständig und mit Wertabschlag kurzfristig verkauft werden können, so kann ein Liquiditätsbedarf dazu führen, dass das illiquide

Asset kurzfristig liquidiert oder ein Kredit aufgenommen werden muss, wodurch jeweils Kosten entstehen. Werden die besonderen Eigenschaften illiquider Assets sowie mögliche Liquiditätsanforderungen bei der Portfoliooptimierung nicht berücksichtigt, so kann dies zu Fehlentscheidungen führen.

Leider fand diese Aufgabenstellung in der Vergangenheit nur wenig Berücksichtigung in der wissenschaftlichen Literatur. Die ohnehin wenigen Beiträge zur Portfoliooptimierung mit illiquiden Assets berücksichtigen teilweise keine Liquiditätsanforderungen (Grossman und Laroque 1990) oder konzentrieren sich auf die Bestimmung der Liquiditätsprämie (Huang 2003). Erst 2009 wurden neben dem Beitrag B.1 zwei weitere Beiträge veröffentlicht (Longstaff 2009; Gârleanu 2009), welche allerdings Illiquidität derart definieren, dass illiquide Assets nur zu bestimmten Zeitpunkten gehandelt werden können und das Anlageverhalten zweier Teilnehmer einer Tauschwirtschaft analysieren.

Aber nicht nur die Wissenschaft, sondern auch die heutige private Finanzplanung geht auf die aus Illiquidität entstehende Problematik in der Regel nur sehr oberflächlich ein: Meist wird dem Anleger dazu geraten, zunächst einen gewissen Anteil des Vermögens als Liquiditätsreserve vorzuhalten. Mit dem verbleibenden Kapital wird ein Portfolio angestrebt, welches die Präferenzen des Kunden möglichst gut abbildet und dabei möglichst nah an einer Rendite-/Risiko-effizienten Lösung liegt. Illiquides Vermögen wird meist unabhängig davon betrachtet oder ganz vernachlässigt (Rudolf 2008). Elton und Gruber (2000) zeigen bspw. von großen Investmentbanken vorgeschlagene Asset-Allokationen, welche zumeist pauschal einen Bargeldanteil von 5 %, einige Male sogar 50 % vorgeben und den Rest auf andere Assets (Anleihen und Aktien) verteilen. Offensichtlich wird die Illiquidität der Assets damit nicht hinreichend berücksichtigt und Optimierungspotenzial verschenkt.

Vor diesem Hintergrund widmet sich Kapitel II der Entwicklung eines Modells zur Portfoliooptimierung mit illiquiden Assets und vergleicht die Ergebnisse mit einem klassischen Ansatz. Es wird u.a. festgestellt, dass die fehlende Berücksichtigung der besonderen Eigenschaften illiquider Assets zu gravierenden Fehlentscheidungen führen kann und dass zentrale Erkenntnisse der Portfoliotheorie wie bspw. der Diversifikationseffekt nicht mehr uneingeschränkt gelten. Zudem wird aufgezeigt, wie diese Ergebnisse in die private Finanzplanung mit einbezogen werden können.

Folgende Forschungsfragen stehen somit im Mittelpunkt von Kapitel II:

1. Wie können die besonderen Eigenschaften illiquider Assets unter Beachtung von Liquiditätsanforderungen bei der Portfoliooptimierung berücksichtigt werden?
2. Welche Auswirkungen haben diese Eigenschaften auf die optimale Portfoliostruktur privater Anleger?
3. Wie können diese Erkenntnisse bei der privaten Finanzplanung berücksichtigt werden?

2.2 Zum IT-Portfoliomanagement (B.3, B.4)

Obwohl die meisten Unternehmen die Maximierung ihres langfristigen, nachhaltigen Unternehmenswerts anstreben, wird der Wertbeitrag der IT dabei in der Regel nur unzureichend oder gar nicht berücksichtigt. So können laut IT Governance Institute (2008, S. 46) nur etwa die Hälfte der Unternehmen Ertrag und Risiko ihrer IT-Projekte bestimmen.

Bei der Bewertung der IT-Projekte sind sowohl projektspezifische Risiken als auch Abhängigkeiten zwischen IT-Projekten zu berücksichtigen. Im Vergleich mit klassischen Investitionen spielen projektspezifische Risiken bei IT-Investitionen eine besondere Rolle, da sie einen starken Einfluss auf die Umsetzungsqualität des entstehenden IT-Systems haben. Damit beeinflussen sie sowohl die Einzahlungen des IT-Systems selbst als auch darauf aufbauender IT-Systeme. Da der Wertbeitrag von IT-Projekten durch Abhängigkeiten entscheidend beeinflusst werden kann (vgl. Santhanam und Kyparisis 1996, S. 381) und deren Vernachlässigung ggf. zu einer falschen Selektion/ Portfoliobildung führt (Lee und Kim 2001), sind für ein wertorientiertes ITPM verschiedene Formen von Abhängigkeiten zu berücksichtigen. Gemäß Wehrmann et al. (2006, S. 235) lassen sich diese wie folgt kategorisieren:

- *Intratemporale Abhängigkeiten*: Diese zeitpunktbezogenen Abhängigkeiten treten auf, wenn mehrere Projekte, die parallel durchgeführt werden, dieselben Ressourcen benötigen bzw. auf denselben Prozessen oder IT-Funktionalitäten basieren.
- *Intertemporale Abhängigkeiten*: Diese zeitraumbezogenen Abhängigkeiten treten auf, wenn die Durchführung eines IT-Projekts die konzeptionelle oder technische Voraussetzung für mögliche Folgeprojekte schafft, oder aber wenn die Durchführung eines IT-Projekts den Abschluss anderer IT-Projekte voraussetzt.

Im Unterschied zur klassischen Investitionsrechnung müssen damit sowohl Investitionsspezifische Risiken als auch intertemporale Abhängigkeiten zwischen aufeinanderfolgenden Investitionen berücksichtigt werden.

In der wissenschaftlichen Literatur wurde ITPM erstmalig von McFarlan (1981) erwähnt, der einen qualitativen Ansatz zur Bildung eines IT-Portfolios beschreibt. IT-Projekte werden dabei nach unterschiedlichen Kriterien gewissen Projekttypen zugeordnet, für welche im Anschluss Handlungsanweisungen für das Projektmanagement abgeleitet werden. Auch in anderen qualitativen Ansätzen zum ITPM werden IT-Projekte anhand qualitativer Kriterien (zum Beispiel Ausrichtung der IT an der Geschäftsstrategie) kategorisiert und ausgewählt (Kargl 2000, Fischer 2004, Jeffery und Leliveld 2004). Diese Ansätze haben jedoch gemein, dass keine monetäre Bewertung von Ertrag und Risiko durchgeführt wird und sich somit letztlich kein Wertbeitrag der IT ermitteln lässt.

Darüber hinaus existiert in der Literatur aber auch eine Reihe wertorientierter ITPM-Ansätze, in denen grundsätzlich eine Quantifizierung von Ertrag und Risiko erfolgt. So wendet Verhoef (2005) die Kapitalwertmethode zur ertrags-/risikointegrierten Bewertung von IT-Projekten an, wobei das Risiko durch die „weighted average cost of IT" als Diskontierungsfaktor berücksichtigt wird. Die Auswirkungen von intra- als auch von intertemporalen Abhängigkeiten auf den Wertbeitrag von IT-Projekten werden dabei jedoch vernachlässigt.

Andere Autoren berücksichtigen in ihren quantitativen Ansätzen intratemporale Abhängigkeiten bei der Aggregation einzelner IT-Projekte zu einem IT-Portfolio (Asundi und Kazman 2001, Santhanam und Kyparisis 1996, Wehrmann et al. 2006). Dazu übertragen sie die moderne Portfoliotheorie auf die Bewertung von IT-Portfolios, wobei die intratemporalen Abhängigkeiten durch Korrelationen zwischen den IT-Projekten repräsentiert werden. Diese Ansätze vernachlässigen jedoch intertemporale Abhängigkeiten, wodurch Basisprojekte, die keine oder nur geringe direkte Einzahlungen generieren, tendenziell unterbewertet werden.

Bezüglich der Berücksichtigung intertemporaler Abhängigkeiten lassen sich theoretische und anwendungsorientierte Ansätze unterscheiden. In diesen Ansätzen wird meist davon ausgegangen, dass ein Unternehmen nach Abschluss eines Basisprojekts das Recht, aber nicht die Pflicht besitzt, darauf aufbauende Folgeprojekte durchzuführen. Dieses

Wahlrecht modellieren die Autoren als Realoption und nutzen finanzwirtschaftliche Verfahren zu deren Bewertung.

Die theoretischen Ansätze von Smith und Nau (1995) und Copeland und Antikarov (2003, S. 270ff) nutzen zur Abbildung der Abhängigkeiten (der Option) das Binomialmodell (BM). Vorteil dieser theoretischen Ansätze ist die Möglichkeit, sowohl Marktrisiken als auch projektspezifische Risiken bei der Bewertung von IT-Projekten zu berücksichtigen. Allerdings wird die Realwelt durch die mit der Verwendung des BM verbundene Einschränkung der möglichen Umweltzustände relativ stark eingeschränkt, so dass diese Ansätze bisher keine Berücksichtigung bei der praktischen Bewertung von IT-Investitionen fanden.

Anwendungsorientierte Ansätze wie bspw. von Bardhan et al. (2004), Taudes et al. (2000) sowie Benaroch und Kauffman (1999) verwenden daher zur Abbildung der Option das zeitstetige Black-Scholes-Modell (BSM). Im Rahmen von Fallstudien zeigen diese Beiträge, wie das BSM zur Bewertung von IT-Investitionen verwendet werden kann. Leider können mit den bisher vorgestellten Modellen projektspezifische Risiken nicht berücksichtigt werden. Eine entsprechende Erweiterung der Modelle wird von Taudes et al. (2000) als interessante Forschungslücke bezeichnet.

In Kapitel III werden daher zunächst die Erweiterungen des BM um die Berücksichtigung projektspezifischer Risiken auf das BSM übertragen. Es wird festgestellt, dass sowohl der Ertrag als auch das Risiko von IT-Projekten bei herkömmlicher Verwendung des BSM systematisch unterbewertet werden. Darüber hinaus wird das erweiterte Modell um ein nutzentheoretisch fundiertes Entscheidungskalkül zur Integration von Ertrag und Risiko zum Wertbeitrag eines IT-Projekts ergänzt und dessen Anwendbarkeit an einem Realweltbeispiel aufgezeigt.

Folgende Forschungsfragen stehen demnach im Mittelpunkt von Kapitel III:

1. Wie kann das BSM um die Berücksichtigung projektspezifischer Risiken bei der Bewertung von Ertrag und Risiko von IT-Projekten unter Beachtung intertemporaler Abhängigkeiten erweitert werden?
2. Welche Auswirkungen hat deren Berücksichtigung auf Ertrag und Risiko im Vergleich zur herkömmlichen Anwendung des BSM?

3. Wie können Ertrag und Risiko entscheidungstheoretisch fundiert zu einem konkreten Wertbeitrag integriert werden?
4. Wie kann dieser Wertbeitrag in der Praxis bestimmt werden?

Im Anschluss an die Motivation und Darstellung der Zielsetzung dieser Arbeit sowie der fachlichen Einordnung der einzelnen Beiträge folgen nun in den Kapiteln II und III die einzelnen Beiträge. In Kapitel IV werden die zentralen Ergebnisse zusammengefasst und Ansatzpunkte für künftige Forschungsaktivitäten aufgezeigt.

Literatur (Kapitel I)

Artzner P, Delbaen F, Eber JM, Heath D (1999) Coherent Measures of Risk. Mathematical Finance 9(3):203-228

Asundi J, Kazman R (2001) A Foundation for the Economic Analysis of Software Architectures. In: Proc Third Workshop on Economics-Driven Software Engineering Research, Toronto, S 297-306

Bamberg G, Coenenberg AG, Krapp M (2008) Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. München

Bardhan I, Bagchi S, Sougstad R (2004) Prioritizing a Portfolio of Information Technology Investment Projects. Journal of Management Information Systems 21(2):33-60

Benaroch M, Kauffman RJ (1999) A Case for Using Real Options Pricing Analysis to Evaluate Information Technology Project Investments. Information Systems Research 10(1):70-86

Buhl HU, Heinrich B, Steck W, Winkler V (2004) Individualisierte Finanzdienstleistungsberatung für Privatkunden – Konzept und prototypische Umsetzung. WIRTSCHAFTSINFORMATIK 46(6):427-438

Copeland TE, Antikarov V (2003) Real Options – A Practitioner's Guide. New York

Elton EJ, Gruber MJ (2000) The Rationality of Asset Allocation Recommendations. Journal of Financial and Quantitative Analysis 35(1):27-41

Faig M, Shum P (2002) Portfolio Choice in the Presence of Personal Illiquid Projects. Journal of Finance 57(1):303-328

Fischer F (2004) Korrelationen von Risiken im Programm- und Projektportfoliomanagement, Ein hybrides Entscheidungsmodell zur Selektion alternativer Programme und Projektportfolien. Frankfurt a. M.

Gârleanu N (2009) Portfolio Choice and Pricing in Illiquid Markets. Journal of Economic Theory 144(2):532-564

Grossmann SJ, Laroque G (1990) Asset Pricing and Optimal Portfolio Choice in the Presence of Illiquid Durable Consumption Goods. Econometrica 58(1):25-51

Heaton J, Lucas D (2000) Portfolio Choice and Asset Prices: The Importance of Entrepreneurial Risk. Journal of Finance 55(3):1163-1198

Hoppermann J (2010) Financial Services Firms Again Seek To Renew Their Application Landscape. http://www.forrester.com/rb/Research/financial_services_firms_again_seek_to_renew/q/id/57039/t/2. Abruf am 2011-05-01

Huang M (2003) Liquidity Shocks and Equilibrium Liquidity Premia. Journal of Economic Theory 109(1):104-129

IT Governance Institute (2008) IT Governance Global Status Report 2008. USA

Jeffery M, Leliveld I (2004) Best Practices in IT Portfolio Management. MIT Sloan Management Review 45(3):41-49

Kargl H (2000) Management und Controlling von IV-Projekten. München

Lee JW, Kim SH (2001) An integrated approach for interdependent information systems project selection. International Journal of Project Management 19(2):111-118

Longstaff FA (2009) Portfolio Claustrophobia: Asset Pricing in Markets with Illiquid Assets. American Economic Review 99(4):1119-1144

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

McFarlan WF (1981) Portfolio Approach to Information Systems. Harvard Business Review 59(5):142-150

Morton AJ, Pliska SR (1995) Optimal Portfolio Management with Fixed Transaction Costs. Mathematical Finance 5(4):337-356

Perridon L, Steiner M, Rathgeber A (2009) Finanzwirtschaft der Unternehmung. München

Poddig T, Brinkmann U, Seiler K (2009) Portfoliomanagement: Konzepte und Strategien. Bad Soden/Ts.

Rehkugler H (2002) Grundlagen des Portfoliomanagements. In: Kleeberg JM, Rehkugler H (Hrsg) Handbuch Portfoliomanagement, Strukturierte Ansätze für ein modernes Wertpapiermanagement. Bad Soden/Ts., S 3-44

Rockafellar RT, Uryasev S (2002) Conditional Value-at-Risk for General Loss Distributions. Journal of Banking and Finance 26(7):1443-1471

Roy AD (1952) Safety First and the Holding of Assets. Econometrica 20(3):431-449

Ruda W (1988) Ziele privater Kapitalanleger. Wiesbaden

Rudolf M (2008) Mehr als Markowitz. Die Bank 2008(4):40-42

Santhanam R, Kyparisis GJ (1996) A Decision Model for Interdependent Information System Project Selection. European Journal of Operational Research 89(2):380-399

Smith JE, Nau RF (1995) Valuing Risky Projects: Option Pricing Theory and Decision Analysis. Management Science 41(5):795-816

Spremann K (2003) Portfoliomanagement. München

Steiner M, Bruns C (2007) Wertpapiermanagement. Stuttgart

Taudes A, Feurstein M, Mild A (2000) Options Analysis of Software Platform Decisions: A Case Study. MIS Quarterly 24(2):227-243

Verhoef C (2005) Quantifying the value of IT-investments. Science of Computer Programming 56(3):315-342

Wehrmann A, Heinrich B, Seifert F (2006) Quantitatives IT-Portfoliomanagement: Risiken von IT-Investitionen wertorientiert steuern. WIRTSCHAFTSINFORMATIK 48(4):234-245

Zimmermann S (2008) Governance im IT-Portfoliomanagement – Ein Ansatz zur Berücksichtigung von Strategic Alignment bei der Bewertung von IT. WIRTSCHAFTSINFORMATIK 50(5):357-365

II Zum Portfoliomanagement mit klassischen illiquiden Finanzanlagen

In diesem Kapitel steht die Portfoliorealisierung als Teilprozess des Portfoliomanagements im Fokus. In der privaten Finanzplanung wird hierbei in der Regel auf die moderne Portfoliotheorie zurückgegriffen, welche u.a. vollständige Liquidität bzgl. der Assets annimmt. Diese Annahme trifft allerdings – wie in Kapitel I begründet – für die meisten Privatanleger nicht zu. Zudem ergeben sich im Zeitablauf oft Liquiditätsanforderungen, welche dazu führen können, dass illiquide Assets kurzfristig und daher mit Preisabschlag verkauft werden müssen. Eine Vernachlässigung der besonderen Eigenschaften illiquider Assets in Verbindung mit künftigen Liquiditätsanforderungen kann also zu Fehlentscheidungen bei der Portfoliorealisierung führen.

Vor diesem Hintergrund erweitert der Beitrag B.1 „Illiquide Assets in der Portfoliooptimierung“ den Safety-First-Ansatz von Telser (1955) um die Berücksichtigung einer möglichen Liquiditätsanforderung sowie eine illiquide Assetklasse und zeigt die Auswirkungen von Illiquidität auf die Portfoliooptimierung auf.

Der Beitrag B.2 „Zur Berücksichtigung illiquider Anlagen bei der privaten Finanzplanung“ bettet die wissenschaftlichen Ergebnisse des Beitrags B.1 in den Kontext der privaten Finanzplanung ein und diskutiert Möglichkeiten, diese Ergebnisse in der privaten Finanzplanung zu berücksichtigen.

1 Beitrag: „Illiquide Assets in der Portfoliooptimierung“

Autoren:	Dennis Diepold Kernkompetenzzentrum Finanz- & Informationsmanagement, Lehrstuhl für BWL, Wirtschaftsinformatik, Informations- & Finanzmanagement (Prof. Dr. Hans Ulrich Buhl) Universität Augsburg, D-86135 Augsburg dennis.diepold@wiwi.uni-augsburg.de Jochen Dzienziol Finalix AG Baarerstraße 110, CH-6302 Zug jochen.dzienziol@finalix.ch
Erschienen 2009 in:	Zeitschrift für Betriebswirtschaft 79(10):1143-1173

Zusammenfassung:

Eine Liquiditätsanforderung verlangt bei einer Portfoliooptimierung mit illiquiden Assets die Berücksichtigung deren besonderer Eigenschaften. In der vorliegenden Arbeit werden diese Eigenschaften dadurch definiert, dass illiquide Assets nur vollständig verkauft werden können und ein kurzfristiger Verkauf zu Verlusten führt. Anhand eines einfachen Modells werden signifikante Unterschiede zu einer Optimierung mit lediglich liquiden Assets nachgewiesen. So hat beispielsweise die zufällige Liquiditätsanforderung zur Folge, dass der Portfoliowert auch bei sicheren Renditen der Assets bereits unsicher ist, und damit trotz der sicheren Renditen eine Aufteilung sowohl auf liquide als auch illiquide Assets optimal sein kann. Des Weiteren kann der erwartete Portfoliowert abhängig von der Varianz der Assets sein und sich eine negative Korrelation zwischen Assetklassen nachteilig auf diesen auswirken.

1.1 Einleitung

Die Frage nach der bestmöglichen Anlage des Vermögens beschäftigt nicht nur viele Anleger, sondern ist seit gut einem halben Jahrhundert Forschungsgegenstand. Spätestens seit der Begründung der modernen Portfoliotheorie durch Harry Markowitz (1952) erfreut sich dieses Gebiet zunehmenden Interesses in Wissenschaft und Praxis. Während Markowitz für eine Optimierung zunächst lediglich Erwartungswert und Varianz der Renditen untersuchte, wurde dieses Modell im Laufe der Zeit sukzessive weiterentwickelt und versucht, die Realwelt immer genauer abzubilden. So wurde auch die Bedeutung von Transaktionskosten im Kontext optimaler Anlageentscheidungen umfangreich untersucht, zum Beispiel von Constantinides (1976; 1986), Morton und Pliska (1995) oder Schroder (1995). Insbesondere mit Hilfe der raschen technologischen Entwicklung wurde es möglich, weitere realitätsnahe Nebenbedingungen in den Heuristiken und Algorithmen für die Optimierungsfragestellung zu berücksichtigen und damit die praktische Anwendbarkeit der Ergebnisse zu fördern. So entwickelten beispielsweise Mansini und Speranza (1999) oder Jobst et al. (2001) heuristische Verfahren zur Optimierung unter Ganzzahligkeitsbedingungen, welche unter anderem zur Abbildung einer Anzahl unteilbarer Assets nötig sind. Neuere Untersuchungen behandeln des Weiteren Themen wie Hedge-Fonds (Cottier 1997) oder Humankapital (Spremann und Winhart 1997), welches nicht handelbar ist. Bereits in den 50er- und 60er-Jahren wurden darüber hinaus so genannte Safety-First-Ansätze entwickelt (Roy 1952; Telser 1955; Kataoka 1963), die durch die Nutzung von Ausfallrisikomaßen dem intuitiven Risikoverständnis – nämlich dass lediglich negative Abweichungen von einem bestimmten Zielwert als Risiko gesehen werden – Rechnung trugen. Während diese zunächst aufgrund der nicht ausreichend vorhandenen IT-Unterstützung nicht weiterverfolgt werden konnten, erlangten Ausfallrisikomaße in jüngster Zeit wieder stark zunehmendes Interesse (bspw. Albrecht et al. 1998; Artzner et al. 1999; Rockafellar und Uryasev 2002; Yamai und Yoshiba 2005). Mit der bisherigen Forschung wurde damit besonders auf die Kapitalanlageziele Rentabilität und Sicherheit eingegangen.

Die vorliegende Arbeit will einen Beitrag zur Berücksichtigung des dritten Anlegerziels des so genannten magischen Dreiecks (Ruda 1988) – der Liquidierbarkeit – leisten. Dieser Umwandlung einer Anlage in liquide Mittel kommt insbesondere im Hinblick auf illiquide Assetklassen wie Immobilien, Kunstgegenstände, Gesellschaftsanteile oder auch

Lebens- und Rentenversicherungen eine Bedeutung zu. Da diese zumeist nur mit hohen Kosten (z. B. Vertragsstrafen vor Ablauf einer Vertragsbindung, Steuernachteile, geringer Verkaufspreis aufgrund einer schlechten Verhandlungsposition bei kurzfristigem Verkauf etc.) kurzfristig liquidiert werden können, müssen diese potenziellen Verluste im Anlagekonzept berücksichtigt werden, sofern ein Liquiditätsbedarf des Anlegers absehbar ist (Liquiditätsanforderung). Als Alternative zu einer kurzfristigen Liquidierung könnte man einen eintretenden Bedarf so lange mit einem Kredit (und damit der Inkaufnahme von Schuldzinsen) zwischenfinanzieren, bis eine verlustfreie Liquidierung möglich ist. In der Realität ist die Liquidierbarkeit somit ein wichtiger Einflussfaktor, der bisher jedoch in den Modellen zur Portfoliooptimierung wenig Berücksichtigung fand.

Liquidität wird dabei durch zwei wesentliche Eigenschaften gemessen: Die Handelbarkeit und den Preiseinfluss (Kempf 1998). Ein perfekt liquides Asset wird somit dadurch charakterisiert, dass es jederzeit ohne Beeinflussung des Preises handelbar ist. Kempf (1998) analysiert verschiedene Konzepte zur Liquiditätsmessung, welche sich vornehmlich mit dem Preis von Liquidität – im Sinne einer kurzfristigen Handelbarkeit – beschäftigen, auf deren theoretische Eignung als Liquiditätsmaß hin. Der Einfluss von Illiquidität auf eine Portfolioselektion wird dabei nicht untersucht. Speziell mit dem Thema illiquider Assets in der Portfoliooptimierung beschäftigen sich beispielsweise Schwartz und Tebaldi (2004), welche Illiquidität eines Assets in einem kontinuierlichen Modell damit gleichsetzen, dass dieses Asset nicht gehandelt werden kann. Der Fokus liegt dabei auf der Optimierung der Aufteilung liquider Assets um ein *vorgegebenes* illiquides Asset mit fixem Anteil, ohne dass der optimale Anteil des illiquiden Assets untersucht wird. Faig und Shum (2002) untersuchen in einem 3-Perioden-Modell ebenfalls die optimale Aufteilung liquider Assets um ein illiquides Projekt, wobei dieses ausgehend von einem in der ersten Periode gewählten Startwert in der zweiten Periode entweder zu einem proportional festgelegten Wert fortgesetzt oder vollständig abgebrochen werden kann. Huang (2003) untersucht in einem kontinuierlichen Modell mit jeweils einem sicheren liquiden und illiquiden Asset den Einfluss von Liquiditätsanforderungen, die in zufälligen Zeitpunkten auftreten, auf die Liquiditätsprämie. Er kommt zu dem Ergebnis, dass Illiquidität – repräsentiert durch Transaktionskosten bei Verkauf – starke Effekte auf die Renditen von Assets haben kann. Trotz dieser wissenschaftlichen Bemühungen haben insbesondere die quantitativen

Besonderheiten illiquider Assets und ihre Auswirkungen auf die Portfoliooptimierung noch nicht theoretisch fundiert Eingang in die Anlageberatung gefunden.

Aufbauend auf der von Kempf (1998) dargestellten Definition von Liquidität werden in dieser Arbeit illiquide Assets zum Ersten dadurch charakterisiert, dass ein kurzfristiger Verkauf nur mit Transaktionskosten möglich ist. Zum Zweiten werden ausschließlich illiquide Assets untersucht, die nicht teilbar sind. Dies trifft insbesondere auf Wohnimmobilien und Rentenversicherungsverträge privater Anleger zu.

Ziel des Papers ist es, mit Hilfe eines quantitativen Modells den Einfluss dieser Besonderheiten illiquider Assets unter einer gegebenen Liquiditätsanforderung auf die Portfoliooptimierung im Vergleich zu einer Optimierung mit lediglich liquiden Assets zu untersuchen. Wie bereits erläutert, ist die Liquidierbarkeit ein wichtiger Einflussfaktor, der sich – wie in diesem Beitrag gezeigt wird – stark auf Portfoliorendite und -risiko auswirkt, die Anlageempfehlung verändern kann und zu grundlegenden, strukturellen Unterschieden im Vergleich zum Optimierungsergebnis bei liquiden Assets führt. Ohne die Berücksichtigung dieser besonderen Eigenschaften in den vielfältigen, verwendeten Optimierungsmodellen in Wissenschaft und Praxis können sich Fehlentscheidungen ergeben.

Zur Aufstellung des Modells mit zwei Assetklassen werden in Kapitel 1.2 die grundlegenden Modellannahmen vorgestellt, auf Basis derer in Kapitel 1.3 die Auswirkungen der Besonderheiten illiquider Assets auf die optimale Anlageentscheidung aufgezeigt werden. Im abschließenden Kapitel werden die Ergebnisse zusammengefasst.

1.2 Modellannahmen

Im Folgenden wird ein privater Anleger betrachtet, der unter Beachtung seiner Risikoeinstellung einen vorgegebenen Anlagebetrag optimal auf ein liquides und ein illiquides Asset aufteilen möchte. Dabei stellt sich dem Anleger primär die Frage, ob – und wenn ja, in welcher Höhe – er angesichts einer eventuell eintretenden Liquiditätsanforderung ein illiquides Asset in sein Portfolio aufnehmen soll. Hierzu werden die folgenden Annahmen getroffen.

(A1) *Zielfunktion:* Ein Anleger will einen derzeit liquide verfügbaren Betrag I für eine Periode anlegen. Dabei stehen ihm eine liquide und eine illiquide Assetklasse zur Verfügung. Durch die Festlegung des prozentualen Anteils

$x_1 \in [0,1]$ der liquiden Assetklasse am Portfolio $x = (x_1, 1 - x_1)^T$ mit Portfoliowert $V(x_1)$, soll der erwartete Portfoliowert am Ende der Periode $E(V(x_1))$ maximiert werden.

(A2) *Risikoaversion:* Die (zeitkonstante) Risikoaversion des Anlegers wird durch folgende Restriktion abgebildet: Es existiert eine Grenze ωI ($\omega > 0$) und eine Wahrscheinlichkeit $\alpha \in (0,1]$ für ein Shortfall-Risikomaß, bezogen auf den Portfoliowert am Ende der Periode.

Durch die Annahmen (A1) und (A2) werden Rendite und Risiko somit nicht in einer Präferenzfunktion aggregiert. Stattdessen erfolgt die Risikorestriktion als Nebenbedingung. Dies ermöglicht zum Einen die differenzierte Analyse, wie sich die Besonderheiten illiquider Assets auf die Rendite und das Risiko eines Portfolios auswirken, worauf der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt. Zum Anderen will der Anleger sicherstellen, dass er eine – in (A3) beschriebene – Liquiditätsanforderung erfüllen kann. Damit kommt der expliziten Begrenzung des Shortfall-Risikos, d. h. der möglichen negativen Abweichungen von einem vorgegebenen Zielwert, eine entscheidende Rolle zu. Zudem ist dieses intuitive Vorgehen für einen Anleger unmittelbar nachvollziehbar.[1]

Im vorigen Kapitel wurde beschrieben, dass den Besonderheiten illiquider Assets insbesondere dann eine Bedeutung in der Portfoliooptimierung zukommt, wenn die Notwendigkeit zur Entnahme liquider Mittel aus dem Portfolio bestehen könnte.

(A3) *Liquiditätsanforderung:* Mit Wahrscheinlichkeit $p_l > 0$ benötigt der Anleger am Ende der Periode einen Betrag $l \cdot I$ ($l > 0$) liquide zur Entnahme. Daher

[1] Die durch (A1) und (A2) festgelegte Vorgehensweise entspricht dem Safety-First-Ansatz von Telser (1955). Dieser erscheint auch bspw. für Unternehmen sinnvoll, die ihre Insolvenzwahrscheinlichkeit begrenzen bzw. verringern wollen, um anschließend eine hohe Bonitätsbeurteilung zu erhalten (Breuer 2000, S. 121). Der Ansatz von Telser wird bzgl. seiner entscheidungstheoretischen Fundierung dahingehend kritisiert, dass er nur dann mit dem Bernoulli-Prinzip vereinbar ist, wenn eine bestimmte stückweise lineare Nutzenfunktion und damit u. a. kein abnehmender Grenznutzen unterstellt wird. Dennoch erscheint der gewählte Ansatz in der vorliegenden Entscheidungssituation aus weiteren Gründen besser geeignet, als bspw. ein klassischer μ-σ-Ansatz: So wird das Risiko der nicht-symmetrisch-verteilten Renditen illiquider Assets (siehe (A4)) durch die Standardabweichung nicht adäquat bewertet (Albrecht und Maurer 2005, S. 115). *Verteilungsunabhängig* erzwingt die Vereinbarkeit mit dem Bernoulliprinzip auch beim klassischen μ-σ-Prinzip eine nur bedingt plausible quadratische Nutzenfunktion (für weitergehende Diskussionen vgl. bspw. Schneeweiß 1967, S. 95-100 oder Breuer et al. 2006, S. 140-152). Darüber hinaus sei an dieser Stelle angemerkt, dass eine nach Telser generierte Optimallösung gleichzeitig μ-σ-effizient ist (Breuer et al. 2006, S. 142).

muss das Portfolio am Ende der Periode eventuell derart umgeschichtet werden, dass mindestens der Betrag $l \cdot I$ in der liquiden Assetklasse angelegt ist.

Ist bei einem Anleger eine Liquiditätsanforderung vorhanden, so sind die oben beschriebenen Besonderheiten illiquider Assets im Vergleich zu liquiden Assets – insbesondere bei einem Verkauf illiquider Assets – zu beachten. Diese werden wie folgt charakterisiert.

(A4) *Assets:* Die Zufallsgrößen y_1 und y_2 bezeichnen den Faktor, um welchen sich der Wert des liquiden (y_1) beziehungsweise illiquiden Assets (y_2) in der betrachteten Periode verändert (Wertentwicklung, entspricht 1 + Periodenrendite). Der Erwartungswert von y_i sei μ_i. Sowohl das liquide als auch das illiquide Asset sind kurzfristig liquidierbar, wobei aber die kurzfristige Liquidierung des illiquiden Assets mit prozentualen Kosten $c \in (0,1]$ verbunden ist. Die Variable $b \in \{0,1\}$ beschreibt, ob das illiquide Asset am Ende der Periode vollständig liquidiert werden muss ($b = 1$) oder nicht ($b = 0$). Da die Notwendigkeit zur Liquidierung des illiquiden Assets von dem zufällig eintretenden Liquiditätsbedarf abhängt, ist b ebenfalls eine Zufallsgröße.

Im Modell wird somit davon ausgegangen, dass die Länge der Periode kürzer als die Dauer für einen verlustfreien Verkauf des illiquiden Assets ist (z. B. Vertragsdauer einer Kapitallebensversicherung oder benötigte Zeit, bis eine Immobilie zum gewünschten Preis verkauft werden kann). Ein aus der illiquiden Assetklasse in beliebiger Höhe wählbares Asset (bspw. Abschluss einer Lebensversicherung oder Auswahl einer Immobilie mit entsprechendem Wert) kann dabei nur vollständig (vgl. bspw. Faig und Shum 2002) und – da ein Verkauf kurzfristig erfolgt – mit Wertverlust verkauft werden.[2] Da lediglich durch den vollständigen Verkauf des illiquiden Assets Liquidität gewonnen werden kann, wird implizit angenommen, dass eine Beleihung des illiquiden Assets nicht

[2] Insbesondere bei einem großen Vermögen wäre es wohl grundsätzlich denkbar, mehrere „kleine“ illiquide Assets anstatt eines „Großen“ in das Portfolio aufzunehmen. Da eine beliebige Teilbarkeit aufgrund der insbesondere bei illiquiden Assets existierenden fixen Grundkosten jedoch ausgeschlossen wird, erscheint hier die Annahme *eines* nicht teilbaren illiquiden Assets in einem ersten Schritt sinnvoll. Darauf aufbauend kann der Trade-off zwischen mehreren „kleinen“ und wenigen „großen“ illiquiden Assets separat untersucht werden.

möglich ist (z. B. aufgrund einer Abneigung des Anlegers gegen eine Verschuldung oder unzureichender Bonität).[3]

Das „dritte Anlageziel“ Liquidität wird also nicht als separates Kriterium in der Zielfunktion abgebildet, sondern die Auswirkungen des Liquiditätsaspektes werden monetarisiert (vgl. bspw. Huang 2003). Der prozentuale Verlust bei kurzfristigem Verkauf des illiquiden Assets entspricht beispielsweise einer prozentualen Maklergebühr beim kurzfristigen Immobilienverkauf oder der Nachbesteuerung der Zinserträge bei Auflösung einer Kapitallebens- oder Rentenversicherung vor Ablauf von 12 Jahren (AltEinkG Artikel 1). Andere Kauf- oder Verkaufstransaktionskosten von Assets werden nicht betrachtet.

1.3 Analyse des Modells

Um erste Unterschiede bei der Portfoliooptimierung durch die Berücksichtigung der Besonderheiten illiquider Assets herauszustellen, wird zunächst von sicheren Wertentwicklungen ausgegangen und anschließend sukzessive das Risiko bezüglich der Wertentwicklung des liquiden und illiquiden Assets berücksichtigt.

1.3.1 Ein liquides und ein illiquides Asset mit jeweils sicherer Wertentwicklung

Betrachtet wird folgende Ausgangssituation, in welcher die Annahmen (A1)-(A4) gelten und wie folgt erweitert werden:

(AW) *Assetauswahl:* Die Wertentwicklung beider Assets ist sicher (μ_1, μ_2).

(AR) *Risikomaß:* Zur Messung des Risikos wird der Value-at-Risk (VaR) verwendet. Der Anleger fordert, dass mit einer vorgegebenen Mindestwahrscheinlichkeit

---

3 Eine unzureichende Bonität könnte bspw. gegeben sein, wenn bei Liquiditätsengpässen des Anlegers der Liquiditäts- und damit Kreditbedarf sehr hoch ist, bei gleichzeitig (ggf. ungerechtfertigt) niedriger Beleihungswerteinschätzung des Kreditgebers. Grundsätzlich hätte die Berücksichtigung einer Zwischenfinanzierungsmöglichkeit eine Minderung der Nachteile des illiquiden Assets zur Folge, da statt der vollständigen Liquidierungskosten nur noch Finanzierungskosten für den Differenzbetrag zwischen Liquiditätsbedarf und dem Wert im liquiden Asset entstehen. Die Hauptergebnisse des Artikels blieben dabei dennoch unverändert: Die Ursache für die Ergebnisse ist die (sprunghafte) Minderung der Rendite des illiquiden Assets bei Eintritt der Liquiditätsanforderung. Diese Renditereduktion tritt – wenn auch in abgeschwächter Form – ebenfalls bei Berücksichtigung einer Zwischenfinanzierungsmöglichkeit ein.

$\alpha > (1-p_l)$ ein Portfoliowert von mindestens ωI am Ende der Periode erreicht wird.[4]

Wie im Folgenden gezeigt wird, ist der Portfoliowert trotz sicherer Renditen risikobehaftet und die Risikoaversion des Anlegers somit zu berücksichtigen. Üblicherweise wird der VaR zum Konfidenzniveau α definiert als der (niedrigste) Verlust, der (mindestens) mit Wahrscheinlichkeit α nicht überschritten wird. Die in diesem Arbeitspapier durch Annahme (AR) gewählte Darstellung ist hierzu inhaltlich äquivalent, erleichtert jedoch die Nachvollziehbarkeit der folgenden Analysen, da somit lediglich anhand *einer* Verteilung – der Verteilung des Portfoliowerts am Ende der Periode – argumentiert werden kann. Der VaR ist ein etabliertes Ausfallrisikomaß, welches sich im Risikomanagement als Standardkonzept zur Risikomessung durchgesetzt hat (Buhl 2004). Er lässt sich dem Anleger sehr gut vermitteln und besitzt auch besonders wegen der einfachen Kommunizierbarkeit eine hohe Beliebtheit (Baule 2004).[5]

1.3.1.1. Analyse der Zielfunktion

Da die Wertentwicklung beider Assets sicher ist, ergibt sich auf Basis der bisherigen Annahmen für den zu maximierenden erwarteten Portfoliowert:

$$E(V(x_1)) = E(I[x_1\mu_1 + (1-x_1)\mu_2(1-bc)]) = I[x_1\mu_1 + (1-x_1)\mu_2(1-E(b)c)]\,. \tag{1}$$

Der erwartete Portfoliowert setzt sich aus der sicheren Wertentwicklung des liquiden Assets μ_1 und der erwarteten Wertentwicklung des illiquiden Assets $\mu_2(1-E(b)c)$ – jeweils gewichtet mit dem Anteil am Portfolio – zusammen. Da $b=1$ für die Liquidierung des illiquiden Assets steht, ist $E(b)$ interpretierbar als die Wahrscheinlichkeit, mit der das illiquide Asset verkauft werden muss, mit der Folge eines prozentualen Wertverlusts *c*. Liegt diese Verkaufswahrscheinlichkeit echt zwischen 0 und

[4] Es wird vorausgesetzt, dass das Konfidenzniveau höher ist als die Wahrscheinlichkeit, dass die Liquiditätsanforderung nicht eintritt. Wäre die Eintrittswahrscheinlichkeit der Liquiditätsanforderung kleiner als die vom Anleger vorgegebene zulässige Höchstwahrscheinlichkeit für eine Unterschreitung der Mindestrendite, so wäre die Liquiditätsanforderung zu vernachlässigen.

[5] Aufgrund der fehlenden Eigenschaft der Subadditivität für nicht-normalverteilte Zufallsgrößen geriet der Value-at-Risk in letzter Zeit zwar immer mehr in Kritik. Konzepte, die diese Lücke schließen - wie zum Beispiel der Conditional Value-at-Risk (CVaR) - kamen bisher allerdings noch wenig zum Einsatz. Dies liegt wahrscheinlich nicht zuletzt an der schlechteren Kommunizierbarkeit. Da der VaR in den im Folgenden betrachteten Situationen zu den gleichen Ergebnissen wie der CVaR führt und aufgrund der sehr guten Nachvollziehbarkeit eine anschauliche Analyse der Nebenbedingung ermöglicht, stellt er für das weitere Vorgehen ein geeignetes Risikomaß dar.

1, so ist der Wert des illiquiden Assets aus Sicht des Anlegers (mit seiner individuellen Liquiditätsanforderung) *risikobehaftet*, obwohl die Wertentwicklung des Vermögensgegenstandes an sich sicher ist. Interessant ist zudem, dass die Höhe dieser Verkaufswahrscheinlichkeit $E(b)$ – und damit die erwartete Wertentwicklung des illiquiden Assets – abhängig von dem Anlagebetrag im liquiden Asset ist. Reicht der sichere Wert $Ix_1\mu_1$ des liquiden Assets am Ende der Periode aus, um die mit Wahrscheinlichkeit p_l eintretende Liquiditätsentnahme in Höhe von lI zu ermöglichen (vgl. (A4)), so ist sicher keine Liquidierung des illiquiden Assets notwendig ($Ix_1\mu_1 \geq lI \Leftrightarrow x_1 \geq l/\mu_1$). Reicht die Wertentwicklung des liquiden Assets nicht aus, so ist das illiquide Asset zu liquidieren, wenn der Liquiditätsbetrag benötigt wird, das heißt mit Wahrscheinlichkeit p_l. Für die Liquidierungswahrscheinlichkeit ergibt sich somit in Abhängigkeit des Anteils des liquiden Assets

$$E(b) = (E(b))(x_1) = \begin{cases} p_l & , x_1 < l/\mu_1 \\ 0 & , x_1 \geq l/\mu_1 \end{cases}. \tag{2}$$

Daraus folgt: Wird der Anlagebetrag im liquiden Asset so gewählt, dass bei Eintritt der Liquiditätsanforderung das illiquide Asset liquidiert werden muss ($x_1 < l/\mu_1$), so ist dessen erwartete Wertentwicklung $\mu_2(1-p_l c)$, sonst μ_2.

Es stellt sich nun die Frage, welche Aufteilung des Anlagebetrags auf die Assetklassen für den Anleger optimal ist. Würden zwei liquide Assets mit jeweils sicherer Wertentwicklung zur Auswahl stehen, so wäre die Anteilsoptimierung einfach: Der Betrag wird vollständig in das Asset mit der höheren Wertentwicklung investiert. Bei einer illiquiden Assetklasse kann jedoch deren erwartete Wertentwicklung – wie gerade gezeigt – durch die Anteilsfestlegung des liquiden Assets beeinflusst werden. Die optimale Anteilsaufteilung ist somit neben den Wertentwicklungen der zwei Assetklassen auch von der Liquiditätsanforderung abhängig und es sind folgende Situationen zu unterscheiden.

1. Situation $\mu_2 \leq \mu_1$: In dieser Situation ist die vollständige Investition des Anlagebetrags in das liquide Asset optimal ($x_1 = 1$, vgl. Abb. II.1-1). Der Portfoliowert am Ende der Periode ist sicher. Das Optimierungsergebnis entspricht dem Ergebnis, wenn man die Besonderheiten des illiquiden Assets vernachlässigen würde.

2. Situation $\mu_2(1-p_l c) \leq \mu_1 < \mu_2$: Der erwartete Portfoliowert steigt in dieser Situation mit dem Anteil des liquiden Assets solange, bis dessen Wert zur Deckung des benötigten Betrags ausreicht (vgl. Abb. II.1-1). Ist dieser Anteil erreicht ($x_1 = l/\mu_1$), so wird die Rendite des illiquiden Assets *sprunghaft* höher als die des liquiden Assets. Da eine weitere Erhöhung von x_1 den Portfoliowert senkt, ist $x_1 = l/\mu_1$ optimal. Damit wird der eventuell benötigte Betrag diskontiert im liquiden Asset angelegt. Ein Risiko bezüglich des Portfoliowerts am Ende der Periode besteht nicht. Werden die Besonderheiten des illiquiden Assets vernachlässigt, würde fälschlicherweise nur in das illiquide Asset investiert werden. Diese Lösung besäße einerseits einen niedrigeren erwarteten Portfoliowert und wäre zudem risikobehaftet, da mit Wahrscheinlichkeit p_l ein Verkauf des illiquiden Assets mit zugehöriger Verlustrealisierung notwendig wäre.

3. Situation $\mu_1 < \mu_2(1-p_l c)$: Obwohl die Rendite des liquiden Assets selbst dann geringer als die erwartete Rendite des illiquiden Assets, falls dieses bei Eintritt der Liquiditätsanforderung liquidiert werden muss, ist es in dieser Situation nicht zwingend optimal, vollständig in das illiquide Asset zu investieren. Es stellt sich folgende Frage: Ist es besser, (a) vollständig in das illiquide Asset zu investieren und eine eventuell notwendige Liquidierung in Kauf zu nehmen (erwartete Wertentwicklung $\mu_2(1-p_l c)$), oder (b) den Anteil l/μ_1 trotz geringerer Wertentwicklung y_1 in das liquide Asset einzubringen, um eine Liquidierung des illiquiden Assets zu vermeiden und somit dessen Wertentwicklung für den restlichen Anlagebetrag $I(1-l/\mu_1)$ auf μ_2 zu erhöhen? Im Vergleich der zwei erwarteten Portfoliowerte ist eine Aufteilung (b) somit dann vorzuziehen, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$\underbrace{E(V(0))}_{(a)} < \underbrace{E(V(\frac{l}{\mu_1}))}_{(b)} \Leftrightarrow \mu_2(1-p_l c) < (\frac{l}{\mu_1})\mu_1 + (1-\frac{l}{\mu_1})\mu_2 \tag{3}$$

Erfüllen die exogenen Parameter μ_1, μ_2, l, p_l, c die Ungleichung (3), so ist $x_1 = l/\mu_1$ optimal, sonst $x_1 = 0$. Im letzteren Fall ist aufgrund der Unsicherheit bezüglich des realisierten Werts die Risikopräferenz des Anlegers zu berücksichtigen (vgl. 1.3.1.2), welche zu einer Reduzierung des Anteils des illiquiden Assets führen kann. Das heißt, in dieser Situation wird die vollständige Investition in das illiquide Asset immer sinnvoller, je höher der Liquiditätsbedarf beziehungsweise je niedriger dessen Eintrittswahrscheinlichkeit oder der Liquidierungsverlust ist (siehe Anhang A-1). Werden die Besonderheiten illiquider Assets vernachlässigt, ergibt sich nur dann die gleiche Aufteilung, wenn es nicht sinnvoll ist, die Liquidität vorzuhalten (a). Anderenfalls würde wiederum eine falsche Empfehlung gegeben werden.

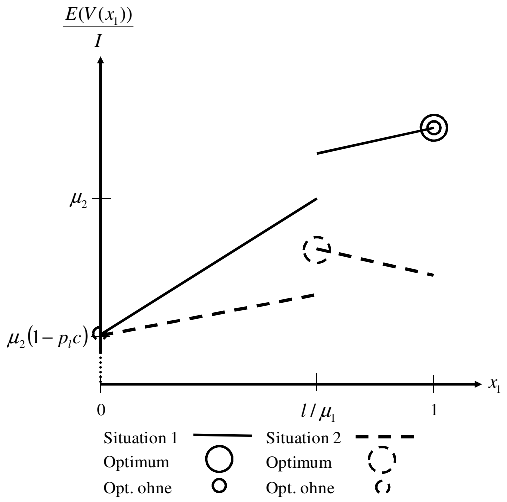

Abb. II.1-1 Zielfunktion in Situation 1 bzw. 2

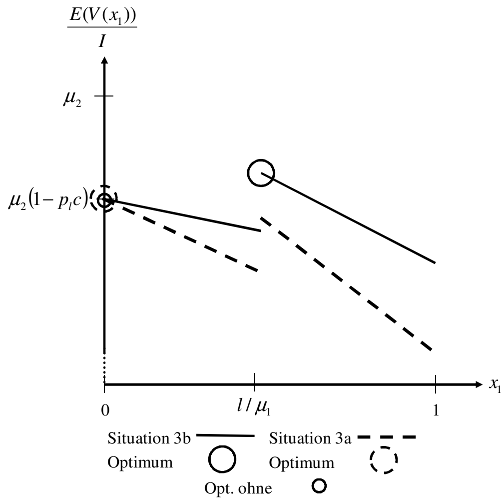

Abb. II.1-2 Zielfunktion in Situation 3

Die Abb. II.1-1 und II.1-2 zeigen die erwartete Wertwicklung des Portfolios ($E(V(x_1))/I$) in Abhängigkeit des Anlagebetrags im liquiden Asset für die drei unterschiedlichen Situationen. Dabei werden die jeweiligen Optima mit den Ergebnissen einer Optimierung ohne Berücksichtigung der Besonderheiten illiquider Assets (Opt. ohne) verglichen. Die Abbildungen zeigen, dass sich in den Situationen, in denen bei Vernachlässigung der Besonderheiten illiquider Assets vollständig in das illiquide Asset investiert wird, ein signifikant niedrigerer erwarteter Portfoliowert ergeben kann. Dies ist eine Folge der Vernachlässigung der Liquiditätsanforderung.

Auf Basis der bisherigen Analyse lässt sich folgendes Ergebnis festhalten:

Ergebnis 1:

Bei einer Portfoliooptimierung mit lediglich sicheren, liquiden Assets wird die höchste Portfoliorendite erreicht, wenn der Gesamtanlagebetrag ausschließlich in das Asset mit der höchsten Rendite investiert wird. Im Unterschied dazu führen die Besonderheiten illiquider Assets (nur vollständiger Verkauf möglich, Wertverlust bei kurzfristigem Verkauf) beim Vorliegen einer Liquiditätsanforderung des Anlegers dazu, dass die *erwartete Rendite des illiquiden Assets vom Anlagebetrag im liquiden Asset abhängig ist. Hierdurch kann sich die Situation ergeben, dass die höchste Portfoliorendite nur durch Aufteilung des Anlagebetrags sowohl auf das liquide als auch das illiquide Asset erreicht wird. Werden die Besonderheiten illiquider Assetklassen trotz vorhandener Liquiditätsanforderung nicht bei der Optimierung berücksichtigt, können sich signifikante Fehlentscheidungen ergeben.*

Beispiel 1:

In unserem ersten Beispiel stehen ein Tagesgeldkonto mit 3-prozentiger Verzinsung ($\mu_1 = 1.03$), sowie als zweites Asset eine Lebensversicherung mit Rendite 6 % ($\mu_2 = 1.06$) und einem Verlust bei kurzfristiger Liquidierung von 4 % ($c = 0.04$) zur Verfügung. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 60 % ($p_l = 0.6$) werden am Ende der Periode 40 % des Gesamtanlagebetrags liquide benötigt ($l = 0.4$). Mit den Angaben folgt $\mu_1 = 1.03 < 1.0346 \approx \mu_2(1 - p_l c)$ und damit Situation 3. Es gilt zu bestimmen, ob $x_1 = 0$ oder $x_1 = l / \mu_1$ optimal ist. Dazu wird überprüft, ob Ungleichung (3) erfüllt ist. Es gilt: $1.0346 \approx \mu_2(1 - p_l c) < (\frac{l}{\mu_1})\mu_1 + (1 - \frac{l}{\mu_1})\mu_2 \approx 1.0483$. Damit ist das Portfolio $x = (l / \mu_1, 1 - l / \mu_1) = (0.39, 0.61)$ mit einer erwarteten Rendite von 4,83 % optimal (vgl. Abb. II.1-2, Situation 3b). Es wird also genau so viel in das renditeschwächere, liquide Asset investiert, dass der mit Wahrscheinlichkeit 60 % benötigte Betrag am Ende der Periode bereits liquide zur Verfügung steht und somit der verbleibende Betrag mit Sicherheit die volle Rendite des illiquiden Assets erwirtschaftet. Lässt man die Besonderheiten illiquider Assets in diesem Beispiel unberücksichtigt, so wählt man die vollständige Investition in die illiquide Anlage. Diese Lösung hat bei den angegebenen Liquiditätsanforderungen jedoch lediglich eine erwartete Portfoliorendite von 3,46 % und ist damit im Erwartungswert um 1,37 % schlechter als das Optimum in unserem Modell.

Das Beispiel und die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass es in Bezug auf die Zielfunktion des erwarteten Portfoliowerts am Ende der Periode in mehreren Situationen sinnvoll ist, eine Aufteilung des Anlagebetrags auf das liquide und illiquide Asset vorzunehmen. Die folgende Analyse zeigt, dass darüber hinaus die Risikorestriktion des Anlegers eine relevante Einschränkung für die Anteile des liquiden und illiquiden Assets ergeben kann.

1.3.1.2. Analyse der Nebenbedingung

Im Folgenden wird die Risikorestriktion des Anlegers aus Annahme (AR) betrachtet, die dadurch berücksichtigt wird, dass ein Mindestportfoliowert mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit erreicht werden muss ($VaR(x_1,\alpha) \geq \omega I$). Bei Vorliegen eines liquiden und eines illiquiden Assets lässt sich diese Bedingung aus Abb. II.1-3 ablesen:

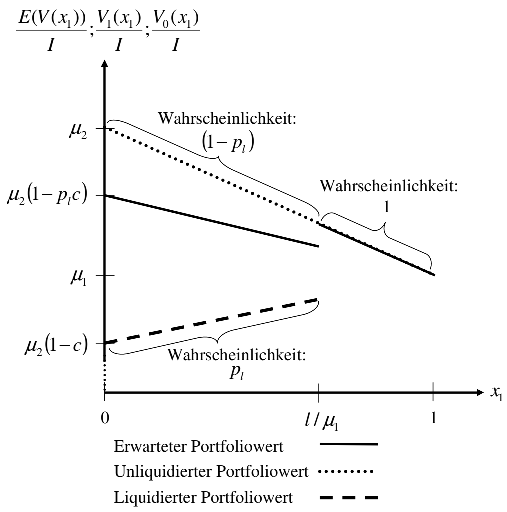

Abb. II.1-3 Die unterschiedlichen Portfoliowerte

Für ein konkretes $x_1 \geq l/\mu_1$ ist der Portfoliowert sicher und entspricht somit auch dem VaR. Im Bereich $x_1 < l/\mu_1$ wird dann, wenn die Liquiditätsanforderung nicht eintritt, das heißt mit Wahrscheinlichkeit $1-p_l$, der hohe nichtliquidierte Portfoliowert ($V_0(x_1)$) erzielt. Mit einer größeren Wahrscheinlichkeit kann jedoch nur der niedrige liquidierte Portfoliowert ($V_1(x_1)$) erreicht werden und entspricht somit für $\alpha > (1-p_l)$ dem Value-at-Risk in diesem Bereich, das heißt der Anleger geht davon aus, dass er das illiquide Asset liquidieren muss.

In den Situationen 1, 2 und 3b ist der maximale Portfoliowert sicher und damit gleich dem VaR, da im Optimum auch bei Eintritt des Liquiditätsbedarfs keine Liquidierung des illiquiden Assets notwendig ist. Da der VaR für $\alpha > (1-p_l)$ nie größer als der erwartete Portfoliowert ist, wird sowohl der maximale erwartete Portfoliowert als auch der höchste VaR bei der gleichen Aufteilung erreicht. Somit ist die Anforderung im Maximum entweder erfüllt oder von keinem Portfolio erfüllbar.

Im Folgenden wird somit ausschließlich Situation 3a analysiert, in welcher vollständig in das illiquide Asset investiert wird (vgl. Abb. II.1-2). Inwiefern die Risikorestriktion einen Einfluss auf das Optimierungsergebnis hat, hängt von dem genauen Verlauf des Portfoliowerts bei Liquidierung ($V_1 = VaR$) ab und wird anhand der folgenden Situationsbeschreibungen analysiert.

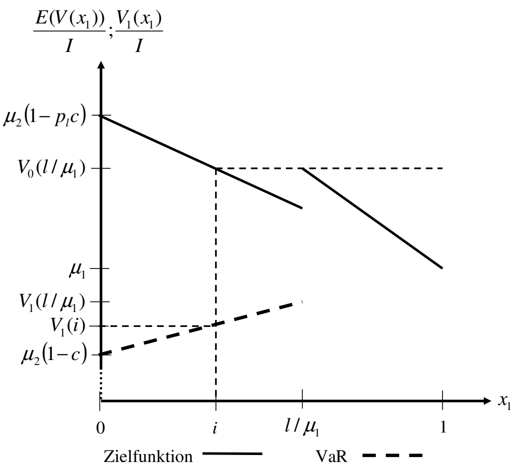

Abb. II.1-4 Zielfunktion und VaR (1)

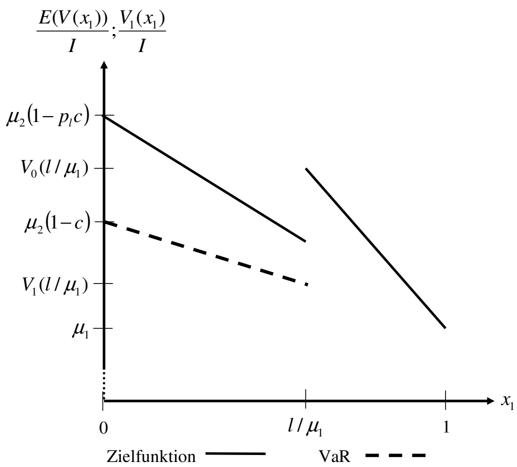

Abb. II.1-5 Zielfunktion und VaR (2)

1. Situation $\mu_2(1-c) < \mu_1$: In dieser Situation steigt der Value-at-Risk im Bereich $x_1 < l/\mu_1$ mit zunehmendem Anteil des liquiden Assets am Portfolio (vgl. Abb. II.1-4). Je nach Höhe der vom Anleger festgelegten Risikountergrenze ω sind hier folgende Möglichkeiten zu unterscheiden: Ist die Untergrenze kleiner gleich dem niedrigsten erreichbaren Portfoliowert ($\omega \leq \mu_2(1-c)$), so wird die Nebenbedingung von allen Aufteilungen erfüllt. Liegt die Untergrenze über diesem Wert, so ist die Nebenbedingung bindend für die Optimierung und das Optimum verschiebt sich kontinuierlich mit Erhöhung von ω nach rechts: Um die Risikonebenbedingung zu erfüllen, muss mehr in das liquide Asset investiert werden als zur Maximierung des erwarteten Portfoliowerts ohne Nebenbedingung gewünscht wäre. Diese kontinuierliche Verschiebung erfolgt allerdings nur bis zum Anteil i, bei welchem der zugehörige erwartete Portfoliowert dem Wert in $x_1 = l/\mu_1$ entspricht (also für $\omega \leq V_1(i)$ mit $i = \frac{l + \mu_2(1 - l/\mu_1) - \mu_2(1-p_l c)}{\mu_1 - \mu_2(1-p_l c)}$, vgl. Abb. II.1-4). Ab hier ($\omega > V_1(i)$) ist nun stets das Vorhalten des Liquiditätsbedarfs im

liquiden Asset optimal, da für diese Aufteilung sowohl der erwartete Portfoliowert als auch der VaR unter den noch zulässigen Aufteilungen maximal werden.

2. Situation $\mu_1 < \mu_2(1-c)$: In dieser Situation verläuft der VaR für $x_1 < l/\mu_1$ fallend im Anteil des liquiden Assets (vgl. Abb. II.1-5). Die vollständige Investition in das illiquide Asset bleibt nun solange optimal, bis die Untergrenze der Risikonebenbedingung größer als der vollständig liquidierte Wert dieses Portfolios ($\mu_2(1-c)$) ist. Ist das der Fall, so springt das Optimum – falls die Nebenbedingung noch erfüllbar ist – wieder auf $x_1 = l/\mu_1$.

Ergebnis 2:

Im Gegensatz zur Portfoliooptimierung mit lediglich liquiden Assets konnte feststellt werden, dass unter Berücksichtigung der Besonderheiten illiquider Assetklassen aufgrund der Liquiditätsanforderung trotz sicherer Renditen ein Optimierungsproblem unter Unsicherheit vorliegt und dass die Risikoaversion des Anlegers – ausgedrückt durch eine Risikorestriktion – die optimale Lösung verändern kann. Verwendet man als Risikomaß den Value-at-Risk, so kann die Nebenbedingung dazu führen, dass ein gemischtes Portfolio optimal ist, obwohl das Maximum des erwarteten Portfoliowerts bei vollständiger Investition in das illiquide Asset angenommen wird.

1.3.2 Risiko in der liquiden Assetklasse

In der weiteren Analyse wird davon ausgegangen, dass zunächst nur die Rendite des liquiden Assets risikobehaftet ist.[6] Die Annahmen aus Abschnitt 1.3.1 gelten weiterhin, wobei (AW) durch (AW’) ersetzt wird.

(AW’) *Assetauswahl:* Die Rendite der liquiden Assetklasse und somit auch ihre Wertentwicklung ist normalverteilt[7] mit $y_1 \sim N(\mu_1, \sigma_1^2)$, $\sigma_1 > 0$. Die Wertentwicklung der illiquiden Assetklasse (μ_2) ist sicher. Die Zufallsgröße y_1 und der Eintritt des Liquiditätsbedarfs sind stochastisch unabhängig.

[6] Im Fall, dass lediglich die Rendite des illiquiden Assets risikobehaftet ist bleiben die wesentlichen Ergebnisse des vorherigen Abschnitts unverändert. Der erwartete Portfoliowert bleibt dabei exakt gleich.

[7] Die hier vorgestellten, wesentlichen Ergebnisse ändern sich nicht, wenn – wie häufig in der Literatur aufzufinden – statt von einer Normalverteilung von einer Lognormalverteilung der Rendite ausgegangen wird. Zum besseren Verständnis und um eine anschauliche Darstellung zu gewährleisten wird daher eine Normalverteilung angenommen.

1.3.2.1. Analyse der Zielfunktion

Durch die Einführung des Risikos in der liquiden Assetklasse verändert sich an der Zielfunktion lediglich die Wahrscheinlichkeit, dass das illiquide Asset liquidiert werden muss ($(E(b))(x_1)$). Bisher konnte die Liquidierung des illiquiden Assets sicher verhindert werden, indem mindestens der diskontierte Liquiditätsbedarf in das liquide Asset mit sicherer Wertentwicklung investiert wurde ($x_1 = l/\mu_1$). Dies ändert sich durch das Risiko beim liquiden Asset. So kann es sein, dass selbst für ein $x_1 \geq l/\mu_1$ der Wert des liquiden Assets nach einer Periode nicht ausreicht, um einen eintretenden Liquiditätsbedarf zu decken

($Ix_1 y_1 < Il$) und umgekehrt. Die Wahrscheinlichkeit, dass der Wert im liquiden Asset kleiner ist als der gegebenenfalls eintretende Liquiditätsbedarf, ist nun nicht mehr diskret, sondern eine im Anteil des liquiden Assets stetige Funktion, die neben der Höhe des Liquiditätsbedarfs auch vom Anlagebetrag im liquiden Asset und der Verteilung der Wertentwicklung $y_1 \sim N(\mu_1, \sigma_1^2)$ abhängig ist. Diese Wahrscheinlichkeit lässt sich durch Standardisierung von y_1 über die Standardnormalverteilung Φ bestimmen:

$$P(Iy_1x_1 < Il) = P(y_1 < \frac{l}{x_1}) = P(\frac{y_1 - \mu_1}{\sigma_1} < \frac{l/x_1 - \mu_1}{\sigma_1}) = \Phi(\frac{l/x_1 - \mu_1}{\sigma_1}).$$

Wird ein Teilbetrag in das liquide Asset investiert, ist die Liquidierung nur notwendig, wenn die Liquiditätsanforderung eintritt (Wahrscheinlichkeit p_l) *und gleichzeitig* der Wert des liquiden Assets nicht für den Liquiditätsbedarf ausreicht. Erfolgt die Anlage nur im illiquiden Asset, so ist immer eine Liquidierung notwendig, wenn der Liquiditätsbedarf eintritt. Für die Liquidierungswahrscheinlichkeit ergibt sich somit in Abhängigkeit vom Anlagebetrag im liquiden Asset

$$(E(b))(x_1) = P(b=1) = \begin{cases} p_l & , x_1 = 0 \\ \Phi(\frac{l/x_1 - \mu_1}{\sigma_1}) p_l & , x_1 > 0 \end{cases} \quad \text{(beachte } \lim_{x_1 \to 0} \Phi(\frac{l/x_1 - \mu_1}{\sigma_1}) p_l = p_l\text{)} \quad (4)$$

Da die Standardnormalverteilung streng monoton steigend mit $\lim_{z \to \infty} \Phi(z) = 1$ ist, steigt die erwartete Wertentwicklung des illiquiden Assets kontinuierlich mit dem Anteil des liquiden Assets. Das illiquide Asset hat somit seine minimale erwartete Wertentwicklung

$\mu_{2,\min} = \mu_2(1 - p_l c)$ bei $x_1 = 0$ und die maximale erwartete Wertentwicklung $\mu_{2,\max} = \mu_2(1 - \Phi(\frac{l - \mu_1}{\sigma_1}) p_l c)$ bei $x_1 \approx 1$. Wie auch im Fall zweier sicherer Wertentwicklungen (vgl. Abschnitt 1.3.1.1) soll nun untersucht werden, inwiefern die Besonderheiten illiquider Assets das Optimierungsergebnis im Vergleich zu liquiden Assets beeinflussen. Zunächst wird wiederum allein die Zielfunktion ohne Beachtung der Risikorestriktion betrachtet. Bei lediglich liquiden Assets wird vollständig in das Asset mit der höheren erwarteten Wertentwicklung investiert. Durch die Besonderheiten illiquider Assets sind folgende 3 Situationen zu unterscheiden:

1. Situation $\mu_{2,\max} \leq \mu_1$: Hier wird durch vollständige Investition in das liquide Asset der maximale erwartete Portfoliowert erzielt (vgl. Abb. II.1-6).

2. Situation $\mu_{2,\min} \leq \mu_1 < \mu_{2,\max}$: In dieser Situation sind bei der Bestimmung, welche Aufteilung des Anlagebetrags den erwarteten Portfoliowert maximiert, unterschiedliche Effekte zu beachten (vgl. Abb. II.1-6). Wird, ausgehend von $x_1 = 0$, mehr in das liquide Asset (und weniger in das illiquide Asset) investiert, so steigt der erwartete Portfoliowert, da einerseits mehr in das Asset mit der (zunächst) höheren Wertentwicklung investiert wird und gleichzeitig die Rendite auf den Restbetrag im illiquiden Asset – wie oben gezeigt – steigt. Dieser doppelt positive Effekt auf die erwartete Portfoliowertentwicklung bei Erhöhung von x_1 hält an, bis die erwartete Wertentwicklung des illiquiden Assets größer gleich der des liquiden Assets ist. Bei einer weiteren Steigerung von x_1 wird eine höhere Geldanlage in das liquide Asset mit dann niedrigerer erwarteter Rendite in Kauf genommen, um die erwartete Wertentwicklung des illiquiden Assets weiter zu steigern – allerdings bezogen auf einen sinkenden Anlagebetrag im illiquiden Asset. Bei welchem x_1 sich diese gegenläufigen Effekte ausgleichen und damit das Maximum des erwarteten Portfoliowerts erreicht wird, lässt sich über die Nullstelle der Ableitung des erwarteten Portfoliowerts nach x_1 numerisch bestimmen:

$$\frac{\partial E(V(x_1))}{\partial x_1} = I\left[\mu_1 - \mu_2 + \mu_2 p_l c\left(\Phi(\frac{l/x_1 - \mu_1}{\sigma_1}) + (1-x_1)\varphi(\frac{l/x_1 - \mu_1}{\sigma_1})\frac{l}{\sigma_1 x_1^2}\right)\right]^8$$

Da die Ableitung für geringe Anteile des liquiden Assets positiv und für hohe Anteile negativ ist, hat diese genau eine Nullstelle für $x_1 \in (0,1)$ und es existiert ein inneres Maximum des erwarteten Portfoliowerts (Beweis siehe Anhang A-2). Damit wird der maximale erwartete Portfoliowert stets durch eine Aufteilung des Anlagebetrags auf *beide* Assets erzielt. Die Empfehlung, nur in das illiquide Asset zu investieren, welche sich ohne Berücksichtigung der Besonderheiten illiquider Assets ergibt, würde – wie auch in 1.3.1.1 gezeigt – zu einem deutlich niedrigeren erwarteten Portfoliowert führen.

3. Situation $\mu_1 < \mu_{2,\min}$: Bleibt die erwartete Wertentwicklung des liquiden Assets stets kleiner als die des illiquiden Assets (vgl. Abb. II.1-7), so muss wie in Abschnitt 1.3.1.1 untersucht werden, ob es besser ist, vollständig in das illiquide Asset zu investieren (Situation 3a) oder dessen erwartete Rendite durch Investition in das liquide Asset zu erhöhen (Situation 3b). Ausgehend von $x_1 = 0$ fällt in dieser Situation der erwartete Portfoliowert mit Erhöhung des Anteils des liquiden Assets, da dessen erwartete Rendite kleiner ist als die des illiquiden Assets in diesem Punkt. Nähert sich der Anteil des liquiden Assets dem diskontierten Liquiditätsbedarf, so wird es sehr viel wahrscheinlicher, dass dieser Anteil zur Deckung des Bedarfs ausreicht. Der erwartete Portfoliowert kann einen steigenden Verlauf haben. Wird die Wahrscheinlichkeit für das Ausreichen des liquiden Anteils sehr groß, so nimmt dieser Effekt wieder ab und es kommt eventuell zu einem inneren lokalen Maximum. Dies ist allerdings wiederum abhängig von den Parametern. Um zu bestimmen, ob die vollständige Investition in das illiquide Asset oder eine gemischte Lösung optimal ist, wird das lokale innere Maximum der Zielfunktion ermittelt (falls vorhanden, vgl. Anhang A-2) und der Zielfunktionswert an dieser Stelle mit dem erwarteten Portfoliowert für $x_1 = 0$ verglichen.

[8] $\varphi(z)$ bezeichnet die Dichte der Standardnormalverteilung und damit $\frac{1}{\sigma}\varphi(\frac{z-\mu}{\sigma})$ die Dichte einer $N(\mu,\sigma^2)$-verteilten Zufallsgröße.

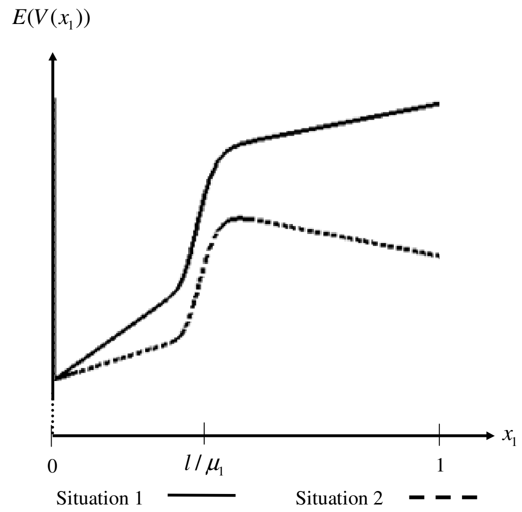

Abb. II.1-6 Zielfunktion in Situation 1 und 2

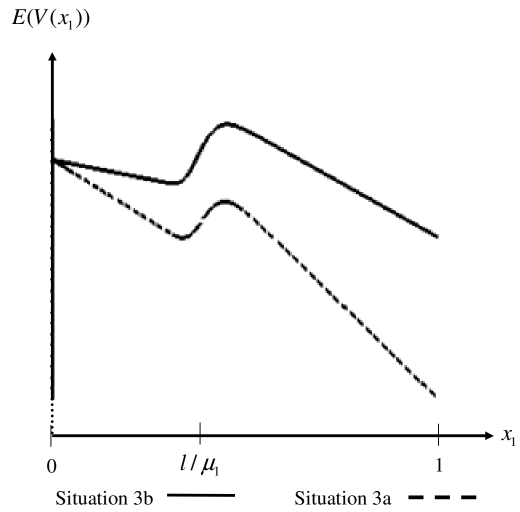

Abb. II.1-7 Zielfunktion in Situation 3

Mit der durchgeführten Analyse lassen sich somit für die Maximierung des erwarteten Portfoliowerts mit einer unsicheren liquiden und einer sicheren illiquiden Assetklasse folgende Ergebnisse festhalten:

Ergebnis 3:

Wie im Fall mit sicheren Renditen kann sich auch bei einer risikobehafteten Rendite des liquiden Assets im Maximum des erwarteten Portfoliowerts eine Aufteilung des Anlagebetrags auf beide Assetklassen ergeben. Zudem ändert sich – im Gegensatz zu einer Optimierung mit lediglich liquiden Assets – der Verlauf der Zielfunktion (erwarteter Portfoliowert) bei einer Veränderung der Varianz des liquiden Assets, wodurch sich im Maximum eine andere Aufteilung ergeben kann.

Beispiel 2:

Gegeben sei die Situation aus Beispiel 1 mit einem Aktienportfolio mit $y_1 \sim N(1.03, 0.1^2)$ anstelle des Tagesgeldkontos. In dieser Situation ist die höchste erwartete Wertentwicklung des illiquiden Assets $\mu_{2,\max} = \mu_2(1 - \Phi(\frac{l-\mu_1}{\sigma_1})p_l c) \approx 1.06$ und die niedrigste – wie in Beispiel 1 – $\mu_{2,\min} = \mu_2(1 - p_l c) \approx 1.0346$. Somit befindet sich der Anleger auch hier in Situation 3. Wie man in Abb. II.1-8 sehen kann, besitzt die Zielfunktion ein Maximum bei $x_1 \approx 0.46$ mit einem erwarteten Portfoliowert von $\approx 1.045I$.

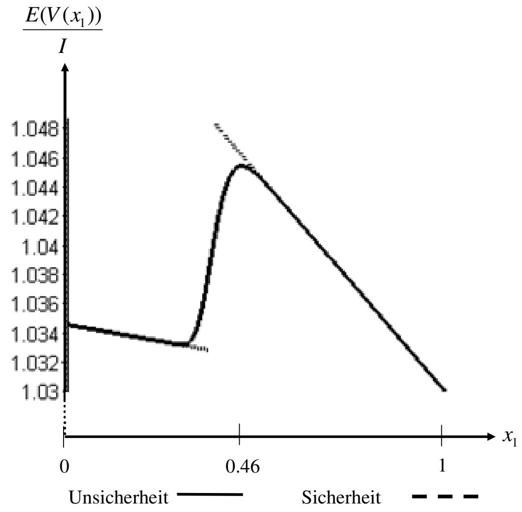

Abb. II.1-8 ZF im Vergleich zum sicheren Fall

Da die Daten aus dem Beispiel im sicheren Fall mit dem Maximum bei $x_1 = 0.39$ bis auf das Risiko unverändert blieben, wird hier also mit (ceteris paribus) *zunehmendem Risiko mehr in das unsichere, liquide Asset investiert* und nicht – wie vielleicht intuitiv erwartet – weniger. Dies liegt daran, dass in diesem Beispiel die Wahrscheinlichkeit, dass das illiquide Asset verkauft werden muss, durch die Erhöhung der Varianz erst für einen größeren Anteil des liquiden Assets so gering ist, dass der Renditevorteil zum liquiden Asset wieder überwiegt und sich das Maximum damit nach rechts verschiebt. Das Risiko im liquiden Asset hat weiterhin die Auswirkung, dass nur noch ein geringerer erwarteter Portfoliowert realisiert werden kann (1.045*I* im Vergleich zu 1.048*I* in Beispiel 1). Abb. II.1-9 zeigt den optimalen Anteil des liquiden Assets ceteris paribus in Abhängigkeit der Varianz für zwei unterschiedliche Liquiditätsanforderungen (l = 0.8 und l = 0.4) und veranschaulicht, dass unter Unsicherheit x_1 im Maximum jedoch nicht immer größer ist als unter Sicherheit. Eine Erhöhung der Varianz des liquiden Assets kann also sowohl zu einer Erhöhung als auch einer Verringerung seines Anteils am Portfolio führen. Abb. II.1-10 zeigt den Zielfunktionsverlauf im sicheren und unsicheren Fall für $l = 0.8$ und verdeutlicht, wieso es in Abb. II.1-9 auch Bereiche der Varianz gibt, in welchen die vollständige Investition in das illiquide Asset den erwarteten Portfoliowert maximiert. Grund dafür ist, dass das innere Maximum abhängig von der Varianz höher oder niedriger als der Randwert sein kann. Damit kann es bei einem risikobehafteten liquiden Asset besser sein, vollständig in das illiquide Asset zu investieren, während es bei sicheren

Renditen noch sinnvoll ist, den eventuell benötigten Betrag im liquiden Asset vorzuhalten.

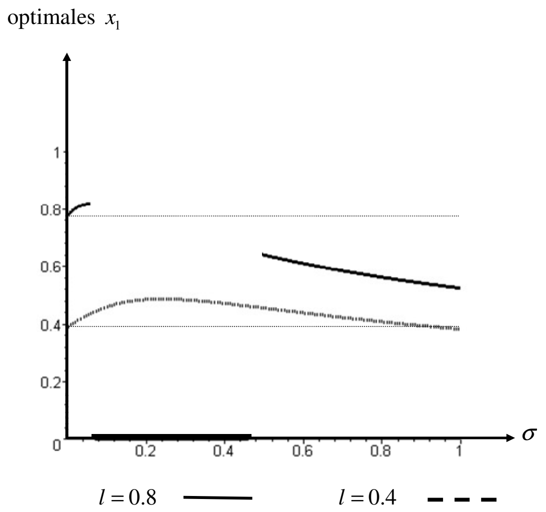

Abb. II.1-9 Optimum und Varianz

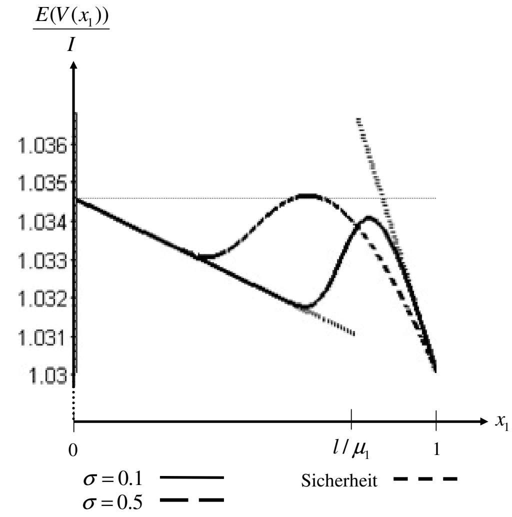

Abb. II.1-10 ZF für l = 0.8

1.3.2.2. Analyse der Nebenbedingung

Da die Rendite des liquiden Assets risikobehaftet ist, liegt die Vermutung nahe, dass im Vergleich zum Fall mit zwei sicheren Assetklassen die Risikorestriktion des Kunden einen stärkeren Einfluss auf das Optimierungsergebnis hat. Bevor die Besonderheiten bei illiquiden Assetklassen analysiert werden, wird zunächst die Wirkung der VaR-Nebenbedingung für zwei liquide Assets – eines mit sicherer und eines mit normalverteilter Rendite – betrachtet. Der Value-at-Risk ist hier gleich dem $(1-\alpha)$-Quantil der ebenfalls normalverteilten Portfoliowertverteilung und damit entspricht die Risikorestriktion einer linearen Nebenbedingung an den Anteil des unsicheren Assets.[9] Es ergibt sich somit nur dann eine relevante Einschränkung durch die Nebenbedingung, wenn die erwartete Rendite des unsicheren Assets höher ist als die Rendite des sicheren Assets.

Ist nun das „sichere“ Asset illiquide, so ist dessen tatsächliche Wertentwicklung – wie in 1.3.1.2 gezeigt – ebenso risikobehaftet. Es kann sich durch die Risikoaversion

---

[9] Das $(1-\alpha)$-Quantil einer normalverteilten Zufallsgröße mit Erwartungswert μ und Standardabweichung σ ist gleich $\mu + N_{1-\alpha}\sigma$ ($N_{1-\alpha}$ bezeichnet das $(1-\alpha)$-Quantil der Standardnormalverteilung). Da Erwartungswert und Standardabweichung des Portfoliowerts linear im Anteil des unsicheren Assets sind, gilt dies auch für den VaR.

beispielsweise ergeben, dass sowohl der Anteil des unsicheren liquiden als auch des illiquiden Assets nach oben beschränkt wird. Dies soll im Folgenden genauer aufgezeigt werden.

Für $x_1 = 0$ ist der VaR – wie in 1.3.1.2 – gleich dem liquidierten Portfoliowert bei vollständiger Investition in das illiquide Asset. Aufgrund der Normalverteilungsannahme kann es nun für alle Anteile (größer 0) des unsicheren liquiden Assets – wenn auch für manche sehr unwahrscheinlich – beim Eintritt des Liquiditätsbedarfs notwendig sein, das sichere illiquide Asset zu liquidieren. Damit setzt sich die Verteilung des Portfoliowerts für alle $x_1 \in (0,1]$ aus der Summe des, mit der jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeit gewichteten, vollständig liquidierten beziehungsweise unliquidierten Portfoliowerts zusammen:

$$\begin{aligned}
&F_{V(x_1)}(z) = P(V(x_1) \le z) = P(V_1(x_1) \le z)P(b=1) + P(V_0(x_1) \le z)P(b=0) \\
&= \Phi\left(\frac{z - I(1 - x_1\mu_1 - (1-x_1)\mu_2(1-c))}{Ix_1\sigma_1}\right)(E(b))(x_1) \qquad (5) \\
&+ \Phi\left(\frac{z - I(1 - x_1\mu_1 - (1-x_1)\mu_2)}{Ix_1\sigma_1}\right)(1-(E(b))(x_1))
\end{aligned}$$

Da die Portfoliowertverteilung stetig und streng monoton steigend ist, ist der Value-at-Risk gleich dem $(1-\alpha)$-Quantil, das heißt genau dem Wert, der mit Wahrscheinlichkeit $1-\alpha$ erreicht wird (vgl. Anhang A-3). Je nach Höhe der Varianz des liquiden Assets, wird die im Fall zweier sicherer Assetklassen festgestellte (vgl. 1.3.1.2), sprunghafte Erhöhung des Portfoliowerts bei $x_1 = l/\mu_1$ durch die Normalverteilung stärker oder schwächer ausgeglättet. Bei hinreichend geringer Varianz kann also mit zunehmendem Anteil des unsicheren, liquiden Assets das Risiko trotzdem sinken (d. h. der VaR steigen), weil es sehr viel wahrscheinlicher wird, dass das illiquide Asset nicht veräußert werden muss und der Portfoliowert damit trotzdem steigt. Zur Verdeutlichung der Effekte zeigt Abb. II.1-11 beispielhaft den erwarteten Portfoliowert zusammen mit dem Value-at-Risk bei zunächst niedrigem Konfidenzniveau von 0.55 in Situation 3a aus Abschnitt 1.3.2.1.

Ausgehend von $x_1 = 0$ steigt hier der VaR, weil aufgrund des niedrigen Signifikanzniveaus das Risiko (in Form der Varianz) in der Nebenbedingung schwach gewichtet wird und somit durch Hinzunahme des unsicheren Assets, welches eine höhere Rendite als das vollständig liquidierte illiquide Asset hat, zunächst ein höherer

Portfoliowert mit der vorgegebenen Wahrscheinlichkeit erreicht werden kann. Ab einem gewissen Anteil überwiegt allerdings das hinzugewonnene Risiko die Chance auf einen höheren Portfoliowert, weil die Differenz zwischen bereits (mit Wahrscheinlichkeit α) erreichbarer Portfoliorendite und der erwarteten Rendite des unsicheren Assets immer geringer wird, die Zunahme des Risikos mit dessen Anteil jedoch konstant bleibt. Damit sinkt der VaR nun wiederum solange, bis sich die Wahrscheinlichkeit, dass das illiquide Asset liquidiert werden muss, signifikant verringert und die erwartete Rendite des illiquiden Assets somit so stark steigt, dass dies auch für den VaR gilt. Erreicht diese Liquidierungswahrscheinlichkeit einen Wert nahe 0, so wird annähernd der nichtliquidierte Portfoliowert erzielt. Dieser ist normalverteilt und damit hat der VaR einen mit weiterer Erhöhung von x_1 nahezu linear fallenden Verlauf.

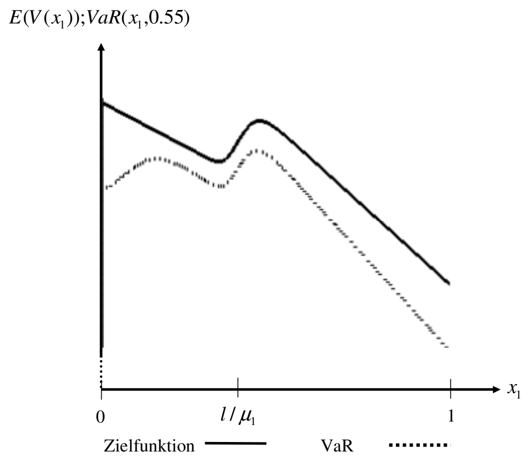

Abb. II.1-11 Zielfunktion und VaR (3a)

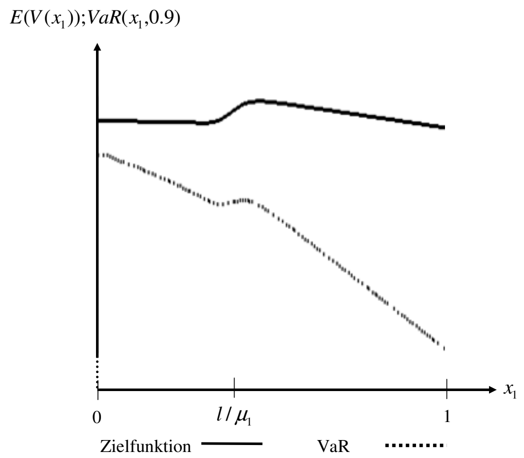

Abb. II.1-12 Zielfunktion und VaR (3b)

Wie Abb. II.1-11 zeigt, können diese Effekte dazu führen, dass der Anteil des liquiden unsicheren Assets sowohl nach oben als auch nach unten beschränkt wird (hier sogar in zwei getrennten Bereichen) und die Risikorestriktion somit einen Einfluss auf die optimale Portfoliozusammensetzung hat.

Ist das Signifikanzniveau – wie meistens der Fall – hoch (vgl. Abb. II.1-12), so ist der VaR bereits ab $x_1 \approx 0$ fallend im Anteil des liquiden Assets, da die Zunahme des Risikos sehr stark gewichtet wird. Je nach Renditeunterschied der beiden Assets und der Varianz des liquiden Assets kann das lokale Maximum des VaR, welches durch die Reduzierung der Liquidierungswahrscheinlichkeit entsteht, dennoch erhalten bleiben. Da dieses allerdings auf die gleichen Effekte wie das innere Maximum der Zielfunktion zurückgeht, liegt es im selben Bereich und hat damit meist einen geringen Einfluss auf das Optimum. Wie Abb. II.1-12 zeigt, erhält man somit für die Nebenbedingung ähnliche Ergebnisse wie bei Vernachlässigung der Besonderheiten illiquider Assets. Durch den stark fallenden Verlauf des VaR bei hohem Signifikanzniveau kann sich durch die Risikorestriktion eine so starke Beschränkung des Anteils des liquiden Assets ergeben, dass sowohl ein Maximum der Zielfunktion bei vollständiger Investition in das liquide Asset als auch bei einer Mischlösung nicht angenommen werden kann, da diese die Nebenbedingung nicht erfüllen.

Die Betrachtung der Nebenbedingung führt somit zu folgendem Ergebnis:

Ergebnis 4:

Vernachlässigt man die Besonderheiten illiquider Assets, so ist der Portfoliowert normalverteilt und damit der VaR linear im Anteil des unsicheren Assets. Dies ist bei Berücksichtigung dieser besonderen Eigenschaften nicht zwingend der Fall. So kann es auch sein, dass das Risiko mit steigendem Anteil des unsicheren, liquiden Assets sogar sinkt, obwohl dieses auch die niedrigere erwartete Rendite aufweist. Hat die Risikorestriktion bei einer Optimierung mit lediglich liquiden Assets nur einen Einfluss auf das Optimum, wenn das unsichere Asset die höhere erwartete Rendite aufweist, so kann es im Fall eines illiquiden Assets auch sein, dass aufgrund der Nebenbedingung eine gemischte Lösung optimal ist, obwohl das sichere illiquide Asset die höhere Rendite besitzt.

Beispiel 2, Fortsetzung:

Zur Vervollständigung von Beispiel 2 soll dem Anleger mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 Prozent mindestens der angelegte Betrag erhalten bleiben ($\alpha = 0.95, \omega = 1$). Wie Abb. II.1-13 zeigt, erlaubt die Anforderung des Anlegers höchstens einen Anteil des liquiden unsicheren Assets von ca. 14 %. Da der erwartete Portfoliowert in diesem Bereich mit steigendem Anteil des liquiden Assets fällt, ist somit die vollständige Investition in das illiquide Asset optimal.

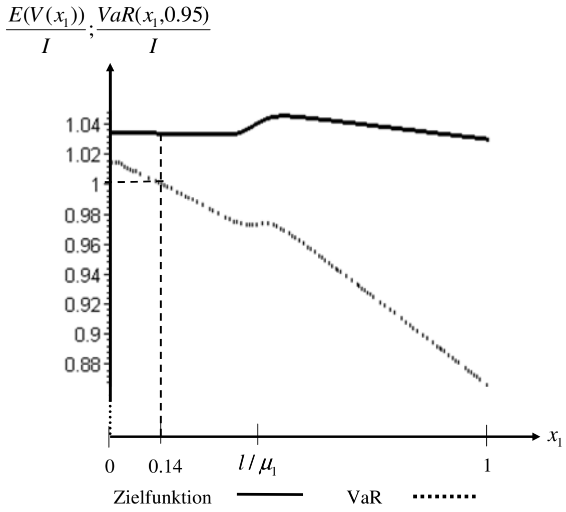

Abb. II.1-13 Zielfunktion und Nebenbedingung in Beispiel 2

In diesem Beispiel bewirkt also die Nebenbedingung, dass das Maximum des erwarteten Portfoliowerts nicht realisiert werden kann, obwohl die Rendite des sicheren illiquiden Assets höher als die des unsicheren liquiden Assets ist. Bei einer Optimierung ohne illiquide Assets wäre die Nebenbedingung hier irrelevant.

1.3.3 Risiko in beiden Assetklassen

Die Annahmen aus Abschnitt 1.3.2 werden nun abschließend um die Unsicherheit der Wertentwicklung des illiquiden Assets sowie einer Korrelation zwischen den Wertentwicklungen der beiden Assets erweitert. Annahme (AW'') ersetzt dabei (AW'):

(AW'') *Assetauswahl:* Die Renditen beider Assetklassen sind risikobehaftet. Ihre Wertentwicklungen sind normalverteilt und korreliert, also $y_1 \sim N(\mu_1,\sigma_1^2)$; $y_2 \sim N(\mu_2,\sigma_2^2)$; $\sigma_1,\sigma_2 > 0$; $cor(y_1,y_2) := \rho$.

Im Rahmen dieser Erweiterung ist insbesondere die Abhängigkeit des erwarteten Portfoliowerts von der Varianz des illiquiden Assets und der Korrelation der beiden Renditen von Interesse. Die Einflüsse der Nebenbedingung sollen hier nicht weiter untersucht werden, da die Analyse der Nebenbedingung zu keinen zusätzlichen interessanten Ergebnissen im Vergleich zu Abschnitt 1.3.2.2 führt. Wie bereits in Abschnitt 1.3.2.1 dargestellt, ist der erwartete Portfoliowert bei einer Optimierung mit ausschließlich liquiden Assets völlig unabhängig von deren Varianz. Bei einer Optimierung mit illiquiden Assets unter Berücksichtigung einer Liquiditätsanforderung gibt es hingegen Abhängigkeiten sowohl von den Varianzen als auch von der Korrelation der beiden Renditen.

Aufgrund der Korrelation sind nun auch y_2 und b abhängig und es folgt für den erwarteten Portfoliowert (für eine ausführliche Berechnung siehe Anhang A-4):

$$E(V(x_1)) = I[x_1\mu_1 + (1-x_1)\mu_2 - (1-x_1)E(y_2 1_{(-\infty,l/x_1)}(y_1))p_l c],$$

wobei $1_{(-\infty,l/x_1)}(.)$ die Indikatorfunktion bezeichnet, d. h. $1_{(-\infty,l/x_1)}(y_1) = \begin{cases} 1 & , y_1 < l/x_1 \\ 0 & , sonst \end{cases}$.

Sind die beiden Renditen unabhängig, so ergibt sich:

$$E(y_2 1_{(-\infty,l/x_1)}(y_1)) = E(y_2)E(1_{(-\infty,l/x_1)}(y_1)) = \mu_2 P(y_1 < l/x_1) = \mu_2 \Phi(\frac{l/x_1 - \mu_1}{\sigma_1})$$

Der erwartete Portfoliowert ist dann also der gleiche wie in Abschnitt 1.3.2.1 und damit unabhängig von der Varianz des illiquiden Assets.

Im Folgenden soll nun aufgezeigt werden, welchen Einfluss die Varianz des illiquiden Assets und die Korrelation zwischen den beiden Assets auf den erwarteten Portfoliowert haben können. Dazu wird zunächst folgendes Beispiel verwendet:

Beispiel 3:

Der Anleger möchte ein Kapital in Höhe von *I* = 100.000 Euro für die nächsten 5 Jahre (eine Periode) anlegen. Dabei stehen ihm ein Aktienportfolio mit erwarteter jährlicher Rendite von 4 % ($\mu_1 = 1.04^5$) und eine Kapitallebensversicherung mit erwarteter jährlicher Rendite von 6 % ($\mu_2 = 1.06^5$) zur Verfügung. Beide Assetklassen haben auf die 5 Jahre eine Varianz von 25 % ($\sigma_1 = \sigma_2 = 0.5$). Am Ende dieser 5 Jahre wird mit Wahrscheinlichkeit 80 % ($p_l = 0.8$) eine Liquidität von 60.000 Euro benötigt ($l = 0.6$). Muss die Lebensversicherung zu diesem Zeitpunkt liquidiert werden, so entsteht aufgrund des Verlusts der teilweisen Steuerfreiheit der Kapitalerträge ein angenommener prozentualer Verlust von 10 % ($c = 0.1$).

Abb. II.1-14 zeigt den in dieser Situation zu erwartenden Portfoliowert in Abhängigkeit von der Korrelation der Wertentwicklungen der beiden Assetklassen. Wie man sieht, fällt hier der erwartete Portfoliowert mit sinkender Korrelation. Ist bei einer Korrelation von

0.95 der maximale erwartete Portfoliowert – angenommen für $x_1 = 0.516$ – noch circa $1.259 I$, so wird mit unkorrelierten Renditen lediglich ein Maximum von $1.252 I$ – bei $x_1 = 0.543$ – erreicht. Herrscht eine negative Korrelation von -0.95, so hat das Optimum – welches für $x_1 = 0.577$ angenommen wird – nur noch einen Wert von rund $1.246 I$.

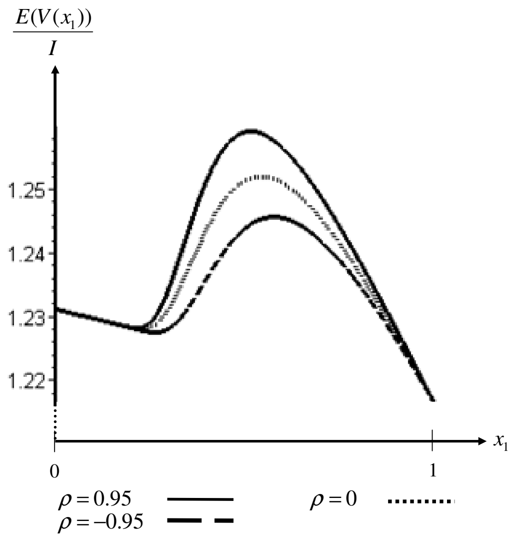

Abb. II.1-14 Erwarteter Portfoliowert in Abhängigkeit der Korrelation

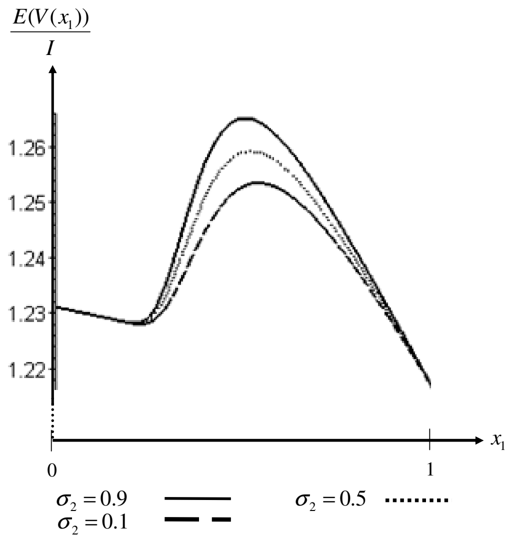

Abb. II.1-15 Erwarteter Portfoliowert in Abhängigkeit der Varianz des illiquiden Assets

Dieses Ergebnis lässt sich wie folgt erklären: Sind die Renditen der beiden Assets perfekt korreliert, so ist der Wert des illiquiden Assets immer dann hoch, wenn auch der Wert des liquiden Assets hoch ist und umgekehrt. Ist nun der Wert des liquiden Assets so niedrig, dass das illiquide Asset liquidiert werden muss, so hat dieses ebenfalls einen niedrigen Wert und erfährt somit einen geringen absoluten Verlust. Hat das liquide Asset hingegen einen hohen Wert, so muss das illiquide Asset nicht verkauft werden und dessen nun ebenfalls hoher Wert bleibt verlustfrei erhalten. Mit sinkender Korrelation wird dieser Effekt immer schwächer und kehrt sich bei perfekt negativer Korrelation schließlich um: Muss das illiquide Asset liquidiert werden, weil der Wert des liquiden Assets zu niedrig ist, um den Bedarf zu decken, so hat es zwar einen hohen Wert aber somit auch einen hohen absoluten Verlust. Der erwartete Portfoliowert ist also niedriger. Hält man nun die Korrelation bei 0.95 fest und variiert die Standardabweichung des illiquiden Assets (vgl. Abb. II.1-15), so steigt der erwartete Portfoliowert bei positiver Korrelation mit steigender Varianz des illiquiden Assets. Bei negativer Korrelation ist es umgekehrt. Grund für dieses Ergebnis sind ähnliche Effekte wie für die Abhängigkeit von der

Korrelation: Sind beide Assets positiv korreliert, so bleiben hohe Gewinne verlustfrei erhalten und niedrige Renditen erwirtschaften nur einen geringen Liquidierungsverlust. Erhöht man die Varianz des illiquiden Assets, so werden sowohl noch höhere als auch niedrigere Renditen noch wahrscheinlicher. Aufgrund des genannten Effekts steigt der erwartete Portfoliowert. Sind die beiden Assets negativ korreliert, so müssen diese höheren Werte liquidiert werden. Die Folge sind höhere Verluste beim Verkauf des illiquiden Assets und ein insgesamt niedrigerer erwarteter Portfoliowert.

Die genannten Effekte sind natürlich stark abhängig von der jeweiligen Parameterkonstellation. So hat zum Beispiel die Varianz der Rendite des illiquiden Assets – wie bereits erläutert – keinen Einfluss auf den erwarteten Portfoliowert, wenn die beiden Renditen unabhängig sind.

Die dargestellten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Ergebnis 5:

Ist die Rendite des illiquiden Assets risikobehaftet, jedoch unabhängig von der Rendite des liquiden Assets, so bleibt der erwartete Portfoliowert zu dem in Kapitel 1.3.2.1 unverändert und somit völlig unabhängig von der Varianz des illiquiden Assets. Weisen die beiden Wertentwicklungen eine Korrelation ungleich 0 auf (damit sind sie abhängig), so verändert sich der erwartete Portfoliowert mit der Varianz des illiquiden Assets. Bei positiver Korrelation steigt, bei negativer Korrelation sinkt dieser mit steigender Varianz. Lässt man die Varianzen unverändert und variiert lediglich die Korrelation, so kann eine steigende Korrelation zu einem steigenden maximalen Portfoliowert führen und umgekehrt. Dies steht im Gegensatz zur positiven Beurteilung negativer Korrelationen im Hinblick auf Risikodiversifikationseffekte bei der Portfoliooptimierung mit lediglich liquiden Assets.

1.4 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde anhand eines einperiodigen Modells mit einer liquiden und einer illiquiden Assetklasse der Einfluss der Besonderheiten illiquider Assets auf die Portfoliooptimierung untersucht. Diese Besonderheiten wurden dadurch definiert, dass eine illiquide Anlage stets nur vollständig verkauft werden kann und dieser Verkauf, wenn er kurzfristig erfolgt, Kosten verursacht. Unter der weiteren Annahme, dass mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ein Liquiditätsbedarf des Anlegers eintritt, konnten durch Analyse der Zielfunktion – dem erwarteten Portfoliowert – signifikante Unterschiede zur Optimierung mit lediglich liquiden Assets festgestellt werden. So kann anstatt der vollständigen Investition in das renditestärkere Asset nun eine gemischte Lösung zu einer Maximierung des erwarteten Portfoliowerts führen. Ebenso wurde gezeigt, das sowohl das Risiko in den beiden Assets als auch deren Korrelation Einfluss auf den erwarteten Portfoliowert haben können, welcher ohne Berücksichtigung der Besonderheiten illiquider Assets völlig unabhängig vom Risiko ist. Die Untersuchung der Nebenbedingung – Vorgabe einer Grenze für den Value-at-Risk – zeigte, dass der Portfoliowert bereits bei sicheren Renditen aufgrund der Liquiditätsanforderung risikobehaftet ist und die Nebenbedingung bereits in diesem Fall Auswirkungen auf die optimale Aufteilung der Assets haben kann. Mit risikobehaftetem liquiden Asset wurde des Weiteren festgestellt, dass die Risikorestriktion nicht nur dann relevant werden kann, wenn das unsichere Asset die höhere Rendite aufweist, sondern auch dann, wenn die Rendite des sicheren (illiquiden) Assets höher ist.

Mit diesem Beitrag konnte somit bereits in einfachen Situationen gezeigt werden, dass die Besonderheiten illiquider Assets einen großen Einfluss auf die optimale Portfoliostruktur haben können.

Literatur (Kapitel II.1)

Albrecht P, Maurer R, Möller M (1998) Shortfall-Risiko/Excess-Chance-Entscheidungskalküle – Grundlagen und Beziehungen zum Bernoulli-Prinzip. Zeitschrift für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften 118:249-274

Albrecht P, Maurer R (2005) Investment- und Risikomanagement – Modelle, Methoden, Anwendungen. Stuttgart

Artzner P, Delbaen F, Eber J-M, Heath D (1999) Coherent Measures of Risk. Mathematical Finance 9(3):203-228

Baule R (2004) Wertorientiertes Kreditportfoliomanagement. Dissertation, Universität Göttingen

Buhl C (2004) Liquidität im Risikomanagement. Dissertation, Universität St. Gallen

Breuer W (2000) Hedging und Reputationsaufbau auf Terminmärkten. Kredit und Kapital 33:99-136

Breuer W, Gürtler M, Schuhmacher F (2006) Portfoliomanagement II – Weiterführende Anlagestrategien. Wiesbaden

Constantinides GM (1976) Stochastic Cash Management with Fixed and Proportional Transaction Costs. Management Science 22(12):1320-1331

Constantinides GM (1986) Capital Market Equilibrium with Transaction Costs. Journal of Political Economy 94(4):842-862

Cottier P (1997) Hedge Funds and Managed Futures: Performance, Risks, Strategies and Use in Investment Portfolios. Bern

Faig M, Shum P (2002) Portfolio Choice in the Presence of Personal Illiquid Projects. Journal of Finance 57(1):303-328

Huang M (2003) Liquidity Shocks and Equilibrium Liquidity Premia. Journal of Economic Theory 109(1):104-129

Jobst NJ, Horniman MD, Lucas CA, Mitra G (2001) Computational Aspects of Alternative Portfolio Selection Models in the Presence of Discrete Asset Choice Constraints. Quantitative Finance 1(5):489-501

Kataoka S (1963) A Stochastic Programming Model. Econometrica 31(1-2):181-196

Kempf A (1998) Was messen Liquiditätsmaße? Die Betriebswirtschaft 58(3):299-311

Mansini R, Speranza MG (1999) Heuristic Algorithms for the Portfolio Selection Problem with Minimum Transaction Lots. European Journal of Operational Research 114(2):219-233

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

Morton AJ, Pliska SR (1995) Optimal Portfolio Management with Fixed Transaction Costs. Mathematical Finance 5(4):337-356

Rockafellar RT, Uryasev S (2002) Conditional Value-at-Risk for General Loss Distributions. Journal of Banking and Finance 26(7):1443-1471

Roy AD (1952) Safety First and the Holding of Assets. Econometrica 20(3):431-449

Ruda W (1988) Ziele privater Kapitalanleger. Wiesbaden

Schneeweiß H (1967) Entscheidungskriterien bei Risiko. Berlin

Schroder M (1995) Optimal Portfolio Selection with Fixed Transaction Costs: Numerical Solutions. Working Paper, Michigan State University

Schwartz ES, Tebaldi C (2004) Illiquid Assets and Optimal Portfolio Choice. Working Paper, University of California

Spremann K, Winhart S (1997) Humankapital im Portefeuille privater Investoren. Zeitschrift für Betriebswirtschaft 67(Ergänzungsheft 3):145-167

Telser LG (1955) Safety First and Hedging. Review of Economic Studies 23(1):1-16

Yamai Y, Yoshiba T (2005) Value-at-Risk versus Expected Shortfall: A Practical Perspective. Journal of Banking and Finance 29(4):997-1015

Anhang (Kapitel II.1)

A-1 Sensitivitätsanalyse und vollständige Angabe der Parametergrenzen der optimalen Aufteilung bei sicheren Renditen (1.3.1.1)

Für eine kurze Sensitivitätsanalyse der optimalen Aufteilung wird davon ausgegangen, dass die Ungleichung (3) ($\mu_2(1-p_l c) < (\frac{l}{\mu_1})\mu_1 + (1-\frac{l}{\mu_1})\mu_2$) erfüllt ist und somit die gegebenenfalls benötigte Liquidität im liquiden Asset vorgehalten wird ($x_1 = l/\mu_1$). Steigt ceteris paribus der benötigte Liquiditätsbedarf (l), so müsste mehr Liquidität vorgehalten, das heißt im liquiden Asset mit der niedrigeren Rendite mehr angelegt werden, um eine Liquidierung des illiquiden Assets zu verhindern. Die erwartete Rendite von Aufteilung (b) sinkt dadurch, wohingegen die erwartete Rendite, wenn vollständig in das illiquide Asset investiert wird (Aufteilung (a)), unverändert bleibt. Dadurch kann sich eine Veränderung der optimalen Lösung ergeben, hin zur vollständigen Investition in das illiquide Asset. Dies ist auch dann der Fall, wenn bei sonst gleich bleibenden Parametern die Rendite des liquiden Assets sinkt beziehungsweise die des illiquiden Assets steigt, das heißt, wenn sich die Differenz zwischen den beiden Renditen vergrößert ($\mu_2 - \mu_1$). Auch diese Veränderung würde den erwarteten Portfoliowert bei vollständiger Investition in das illiquide Asset gegenüber dem erwarteten Wert des gemischten Portfolios verbessern. Im

Gegensatz dazu wird es mit steigender Wahrscheinlichkeit für den Liquiditätsbedarf (p_l) sowie für steigenden prozentualen Verlust bei dessen Eintritt (c) immer sinnvoller, den benötigten Betrag liquide vorzuhalten (hier sind die partiellen Ableitungen der Zielfunktion in Fall a negativ, in Fall b gleich 0).

Die beschriebenen Auswirkungen lassen sich durch Gegenüberstellung der partiellen Ableitungen beider Fälle auch formal darstellen:

Fall a: $E(V(x_1)) = I[\mu_2(1-p_l c)]$	Fall b: $E(V(x_1)) = I\left[\frac{l}{\mu_1}\mu_1 + (1-\frac{l}{\mu_1})\mu_2\right]$
$\frac{\partial E(V(x_1))}{\partial l} = 0$	$\frac{\partial E(V(x_1))}{\partial l} = I\left[1-\frac{\mu_2}{\mu_1}\right] < 0$
$\frac{\partial E(V(x_1))}{\partial \mu_1} = 0$	$\frac{\partial E(V(x_1))}{\partial \mu_1} = I\left[l\frac{\mu_2}{\mu_1^2}\right] > 0$
$\frac{\partial E(V(x_1))}{\partial \mu_2} = I[1-p_l c] > 0$	$\frac{\partial E(V(x_1))}{\partial \mu_2} = I\left[1-\frac{l}{\mu_1}\right] > 0$

Das heißt, solange $(1-p_l c) > (1-l/\mu_1) \Leftrightarrow l > \mu_1 p_l c$ gilt (der Liquiditätsbedarf also nicht minimal ist), wird der Portfoliowert in Fall a durch die Erhöhung von μ_2 stärker verbessert als in Fall b. Wie bereits erläutert wird bei höherem Liquiditätsbedarf die vollständige Investition in das illiquide Asset durch Erhöhung seiner Rendite gestärkt, bei sehr niedrigem Bedarf ist dies nicht mehr der Fall.

$\frac{\partial E(V(x_1))}{\partial p_l} = I[-\mu_2 c] < 0$	$\frac{\partial E(V(x_1))}{\partial p_l} = 0$
$\frac{\partial E(V(x_1))}{\partial c} = I[-\mu_2 p_l] < 0$	$\frac{\partial E(V(x_1))}{\partial c} = 0$

Das Vorhalten des eventuell benötigten Betrags ist in Situation 3 genau dann optimal, wenn die Parameter folgende Ungleichungen erfüllen:

$$E(V(0)) < E(V(\frac{l}{\mu_1})) \Leftrightarrow \mu_2(1-p_l c) < (\frac{l}{\mu_1})\mu_1 + (1-\frac{l}{\mu_1})\mu_2 \Leftrightarrow \mu_2(1-p_l c) < l + \mu_2 - \frac{l}{\mu_1}\mu_2$$

$$\Leftrightarrow \mu_1 > \frac{l\mu_2}{\mu_2 p_l c + l} \Leftrightarrow \mu_2 < \frac{l\mu_1}{l - \mu_1 p_l c} \Leftrightarrow l < \frac{\mu_1 \mu_2 p_l c}{\mu_2 - \mu_1} \Leftrightarrow p_l > \frac{l(\mu_2 - \mu_1)}{\mu_1 \mu_2 c} \Leftrightarrow c > \frac{l(\mu_2 - \mu_1)}{\mu_1 \mu_2 p_l}$$

A-2 Steigung des erwarteten Portfoliowerts bei einem unsicheren liquiden Asset (1.3.2.1)

Um die Existenz eines inneren Maximums nachzuweisen, wird die Steigung der Zielfunktion an den Rändern überprüft. In der 2. Situation aus 1.3.2.1 gilt $\mu_2(1-p_l c) \le \mu_1 < \mu_2(1-\Phi\left(\frac{l-\mu_1}{\sigma_1}\right)p_l c)$.

Damit folgt für die Steigung in $x_1 = 0$:

$$\frac{\partial E(V(0))}{\partial x_1} = I \lim_{x_1 \to 0}\left[\mu_1 - \mu_2 + \mu_2 p_l \Phi\left(\frac{l/x_1 - \mu_1}{\sigma_1}\right)c - (1-x_1)\mu_2 p_l \varphi\left(\frac{l/x_1 - \mu_1}{\sigma_1}\right)\left(-\frac{l}{\sigma_1 x_1^2}\right)c\right]$$

$$= I\left[\mu_1 - \mu_2 + \mu_2 p_l c\left(1 + (1-0)\lim_{x_1 \to 0}\varphi\left(\frac{l/x_1 - \mu_1}{\sigma_1}\right)\frac{l}{\sigma_1 x_1^2}\right)\right]$$

$$\ge I\left[\mu_2(1-p_l c) - \mu_2 + \mu_2 p_l c\left(1 + (1-0)\lim_{x_1 \to 0}\varphi\left(\frac{l/x_1 - \mu_1}{\sigma_1}\right)\frac{l}{\sigma_1 x_1^2}\right)\right]$$

$$= I\mu_2 p_l c \lim_{x_1 \to 0}\varphi\left(\frac{l/x_1 - \mu_1}{\sigma_1}\right)\frac{l}{\sigma_1 x_1^2} = 0$$

Für die Steigung in $x_1 = 1$ ergibt sich:

$$\frac{\partial E(V(1))}{\partial x_1} = I\left[\mu_1 - \mu_2 + \mu_2 p_l \Phi\left(\frac{l-\mu_1}{\sigma_1}\right)c - (1-1)\mu_2 p_l \varphi\left(\frac{l-\mu_1}{\sigma_1}\right)(-\frac{l}{\sigma_1})c\right]$$

$$< I[\left[\mu_2\left(1 - p_l \Phi\left(\frac{l-\mu_1}{\sigma_1}\right)c\right) - \mu_2 + \mu_2 p_l \Phi\left(\frac{l-\mu_1}{\sigma_1}\right)c\right] = 0$$

Da somit die Steigung des erwarteten Portfoliowerts für $x_1 = 0$ positiv (bei Gleichheit wird sie unmittelbar nach einer Erhöhung von x_1 positiv) und für $x_1 = 1$ negativ ist, muss aufgrund der Stetigkeit ein inneres Maximum existieren. Aufgrund der Ausführungen in 1.3.2.1 über den Verlauf des erwarteten Portfoliowerts ist dieses auch das einzige lokale Maximum.

Da in der 3. Situation aus 1.3.2.1 $\mu_1 < \mu_2(1-p_l c)$ gilt, folgt unmittelbar:

$$\frac{\partial E(V(0))}{\partial x_1} = I\left[\mu_1 - \mu_2(1-p_l c)\left(1+\lim_{x_1\to 0}\varphi\left(\frac{l/x_1 - \mu_1}{\sigma_1}\right)\frac{l}{\sigma_1 x_1^2}\right)\right] = I[\mu_1 - \mu_2(1-p_l c)] < 0$$

Das heißt zunächst, dass der erwartete Portfoliowert in $x_1 = 0$ mit steigendem Anteil im liquiden Asset fällt, es muss also nicht zwingend eine Nullstelle geben. Existiert jedoch eine Nullstelle, so gibt es gleich 2 innerhalb (0,1), da zuerst ein Minimum und ein anschließendes Maximum notwenig sind, damit an den Rändern jeweils negative Steigungen vorherrschen können. Das innere Maximum liegt somit eindeutig bei der größeren der beiden Nullstellen.

A-3 Portfoliowertverteilung bei einem unsicheren liquiden Asset (1.3.2.2)

Um die Verteilung des Portfoliowerts zu berechnen, kann man sie auf die Situationen aufteilen, in denen eine Liquidierung notwendig ($V_1(x_1)$) beziehungsweise nicht notwendig ($V_0(x_1)$) ist:

$$F_{V(x_1)}(z) = P(V(x_1) \le z) = P(V_1(x_1) \le z)P(b=1) + P(V_0(x) \le z)P(b=0).$$

Da y_1 normalverteilt ist, folgt für $V_0(x_1)$ und $V_1(x_1)$:

$$P(V_0(x_1) \le z) = P(I(y_1 x_1 + \mu_2(1-x_1)) \le z) = \Phi\left(\frac{(z - I\mu_2(1-x_1))/(Ix_1) - \mu_1}{\sigma_1}\right)$$

$$P(V_1(x_1) \le z) = P(I(y_1 x_1 + \mu_2(1-x_1)(1-c)) \le z) = P\left(y_1 \le \frac{z - I\mu_2(1-x_1)(1-c)}{Ix_1}\right)$$

$$= P\left(\frac{y_1 - \mu_1}{\sigma_1} \le \frac{(z - I\mu_2(1-x_1)(1-c))/(Ix_1) - \mu_1}{\sigma_1}\right) = \Phi\left(\frac{(z - I\mu_2(1-x_1)(1-c))/(Ix_1) - \mu_1}{\sigma_1}\right)$$

Damit erhält man insgesamt:

$$F_{V(x_1)}(z) = P(V(x_1) \le z) =$$

$$\Phi\left(\frac{z - I(1-\mu_1 x_1 - \mu_2(1-x_1)(1-c))}{I x_1 \sigma_1}\right)(E(b))(x_1) \tag{6}$$

$$+\Phi\left(\frac{z - I(1-\mu_1 x_1 - \mu_2(1-x_1))}{I x_1 \sigma_1}\right)(1-(E(b))(x_1))$$

An der Darstellung ist erkennbar, dass es sich hierbei um eine Mischung zweier normalverteilter Zufallsgrößen mit unterschiedlichem Erwartungswert und gleicher Varianz handelt. Zuerst lässt sich feststellen, dass dies keine lineare Kombination in x_1 ist, da $(E(b))(x_1)$ nicht linear in x_1 ist. Der VaR wird somit auch nicht linear abhängig von dem Anteil des liquiden Assets sein, wohl aber stetig: Der Sprung, der sich bei sicheren Renditen (vgl. 1.3.1.2) ergibt, wird durch die Normalverteilung der Rendite des illiquiden Assets ausgeglättet.

Ist $x_1 = 0$, so besteht das Portfolio nur aus dem sicheren illiquiden Asset. Für ein $\alpha \in (1-p_l, 1]$ ergibt sich somit für den Value-at-Risk dessen liquidierter Wert: $VaR(0,\alpha) = I\mu_2(1-c)$

Für $x_1 > 0$ ist das Portfolio die Summe einer binomial- und einer normalverteilten Zufallsgröße. Damit ist $F_{V(x_1)}(z)$ stetig und streng monoton steigend in z und es folgt $P(V(x_1) \ge z) = 1 - P(V(x_1) \le z) = 1 - F_{V(x_1)}(z)$ und somit $VaR(x_1,\alpha) = \arg_z\{P(V(x_1) \ge z) = \alpha\} = \arg_z\{F_{V(x_1)}(z) = 1-\alpha\}$. Der VaR ist also das $(1-\alpha)$-Quantil der Portfoliowertverteilung. Für die Risikonebenbedingung ergibt sich daraus: $VaR(x_1,\alpha) = \arg_z \max\{F_{V(x_1)}(z) = 1-\alpha\} \ge \omega I$

A-4 Erwarteter Portfoliowert bei zwei unsicheren Assets (1.3.3)

Zur Berechnung des erwarteten Portfoliowerts wird dieser wieder auf die Bedingungen, dass der Liquiditätsbedarf wirklich eintritt (Wahrscheinlichkeit p_l) beziehungsweise nicht eintritt (Wahrscheinlichkeit $1-p_l$) aufgeteilt. Bei eintretendem Liquiditätsbedarf muss das illiquide Asset immer dann liquidiert werden, wenn der Wert des liquiden

Assets nicht ausreicht diesen zu bedienen, also $y_1 < l / x_1$ ist (formal mit einer Indikatorfunktion beschrieben ist $b = 1_{(-\infty, l/x_1)}(y_1)$). Ansonsten ist eine Liquidierung nicht nötig ($b = 0$), weil ohnehin kein Bedarf besteht. Da ausschließlich b vom Liquiditätsbedarf abhängt, folgt damit:

$$
\begin{aligned}
E(V(x_1)) &= I(E[x_1 y_1 + (1-x_1) y_2 (1 - 1_{(-\infty, l/x_1)}(y_1)c)] p_l + (x_1\mu_1 + (1-x_1)\mu_2)(1-p_l)) \\
&= I([x_1 E(y_1) + (1-x_1)E(y_2) - (1-x_1)E(y_2 1_{(-\infty, l/x_1)}(y_1))c] p_l + (x_1\mu_1 + (1-x_1)\mu_2)(1-p_l)) \\
&= I(x_1\mu_1 + (1-x_1)\mu_2 - (1-x_1)E(y_2 1_{(-\infty, l/x_1)}(y_1)) p_l c)
\end{aligned}
$$

Dabei gilt für eine Korrelation ρ mit $|\rho| < 1$:

$$
E(y_2 1_{(-\infty, l/x_1)}(y_1)) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{l/x_1} z_2 f_{(y_1,y_2)}(z_1, z_2) dz_1 dz_2 \text{, mit}
$$

$$
f_{(y_1,y_2)}(z_1, z_2) =
$$

$$
\frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left(-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left((\frac{z_1-\mu_1}{\sigma_1})^2 - (\frac{2\rho(z_1-\mu_1)(z_2-\mu_2)}{\sigma_1\sigma_2}) + (\frac{z_2-\mu_2}{\sigma_2})^2 \right) \right),
$$

wobei $f_{(y_1,y_2)}(z_1, z_2)$ die gemeinsame zweidimensionale Dichte der Wertentwicklungen der beiden Assetklassen ist.

Sind die Wertentwicklungen der beiden Assets perfekt positiv oder negativ korreliert, so kann man von einem linearen Zusammenhang zwischen ihnen ausgehen. Für $\rho = \pm 1$ gibt es also zwei reelle Zahlen $\alpha \neq 0, \beta$ – welche im konkreten Fall anstelle der Korrelation anzugeben sind – mit $P(y_2 = \alpha y_1 + \beta) = 1$ und damit folgt:

$$
\begin{aligned}
E(y_2 1_{(-\infty, l/x_1)}(y_1)) &= E((\alpha y_1 + \beta) 1_{(-\infty, l/x_1)}(y_1)) = \alpha E(y_1 1_{(-\infty, l/x_1)}(y_1)) + \beta E(1_{(-\infty, l/x_1)}(y_1)) \\
&= \alpha \int_{-\infty}^{l/x_1} z f_{y_1}(z) dz + \beta \int_{-\infty}^{l/x_1} f_{y_1}(z) dz = \alpha \int_{-\infty}^{l/x_1} \frac{z}{\sigma_1} \varphi(\frac{z-\mu_1}{\sigma_1}) dz + \beta \int_{-\infty}^{l/x_1} \frac{1}{\sigma_1} \varphi(\frac{z-\mu_1}{\sigma_1}) dz \text{ .}
\end{aligned}
$$

2 Beitrag: „Zur Berücksichtigung illiquider Anlagen bei der privaten Finanzplanung“

Autor:	Dennis Diepold Kernkompetenzzentrum Finanz- & Informationsmanagement, Lehrstuhl für BWL, Wirtschaftsinformatik, Informations- & Finanzmanagement (Prof. Dr. Hans Ulrich Buhl) Universität Augsburg, D-86135 Augsburg dennis.diepold@wiwi.uni-augsburg.de
Erscheint 2011 in:	Wirtschaftswissenschaftliches Studium 40(11)

Zusammenfassung:

Private Finanzplanung berücksichtigt die besonderen Eigenschaften illiquider Anlagen nur unzureichend. Der vorliegende Beitrag stellt zunächst ein wissenschaftliches Modell zu deren Berücksichtigung bei der Portfoliooptimierung vor. Er zeigt, dass Illiquidität starke Auswirkungen haben kann und dadurch zum Teil Optimierungspotenzial verschenkt wird. Anschließend wird die Umsetzbarkeit solcher Modelle im Rahmen der privaten Finanzplanung kritisch beleuchtet und es werden mögliche Lösungsansätze diskutiert.

2.1 Motivation und Forschungsfragen

„Die Blamage geht weiter“. So betitelte die Stiftung Warentest (2010) die Fortsetzung ihres Bankentests im Juli 2010. In dieser Untersuchung von 21 Kreditinstituten wird nur drei Banken das Besturteil „befriedigend“ gegeben.

Die Gründe für schlechte private Finanzplanung sind vielfältig: Unrealistische Zielvorgaben und provisionsgetriebene Vergütung führen im Zweifel dazu, dass die Ziele des Beraters über die Ziele des Kunden gestellt werden (müssen). Neben diesen – aufgrund der Personalunion von Berater und Verkäufer als systemimmanent zu bezeichnenden – Gründen macht es mangelhafte Produkttransparenz sowohl Anlegern als auch Beratern oft schwer, Risiken zu erkennen, geschweige denn zu bewerten. Die Verbesserung der Produkttransparenz ist dabei eines der Primärziele regulatorischer Maßnahmen (z.B. der sog. EU-Vermittlerrichtlinie oder dem Gesetz zur Stärkung des Anlegerschutzes).

Darüber hinaus gibt es große Defizite bei der Berücksichtigung von Liquiditätsrisiken. Private Finanzplanung umfasst zwar in der Regel Themen wie Liquiditätsmanagement, Risikomanagement oder Immobilienplanung (vgl. Kruschev 1999, S. 99-103), allerdings werden diese unzureichend behandelt. So erfolgt die Risikoanalyse eher als Szenarioanalyse (ex post), im Sinne von: Wie sieht die Liquiditätssituation aus, wenn ein unvorhergesehenes Ereignis eintritt? Bei Identifikation von Engpässen werden Empfehlungen zu deren Beseitigung gegeben. Zur Entwicklung konkreter Handlungsempfehlungen werden bestenfalls die künftigen Möglichkeiten zur Liquiditätsbeschaffung (z.B. durch Verkauf einer Immobilie) berücksichtigt. Besser wäre hier eine Ex ante-Berücksichtigung bei der Allokation der Anlagen.

Da die private Risikoanalyse auf Basis der Bilanz sowie der klassischen Liquiditätsrechnung erfolgt (vgl. Schlütz und Beike 2008, S. 105), wird zudem die im Fall eines Liquiditätsengpasses meist notwendige Kurzfristigkeit bezüglich der Liquiditätsbeschaffung in der Regel vernachlässigt. Hierbei ist grundsätzlich zu beachten, dass die Berücksichtigung anlagespezifischer Risiken auf der Standardabweichung basiert. Deren Anwendung erscheint allerdings nur dann sinnvoll, wenn sowohl negative als auch positive Abweichungen vom Erwartungswert relevant sind (vgl. Steiner und Bruns 2002, S. 58). Sie ist daher zur Bewertung von Liquiditätsrisiken ungeeignet.

Die vorliegende Arbeit zeigt die Auswirkungen von Illiquidität auf die optimale Portfoliostruktur privater Anleger anhand eines theoretischen Modells zur Berücksichtigung der besonderen Eigenschaften illiquider Anlagen und diskutiert Möglichkeiten, diese Auswirkungen in der privaten Finanzplanung zu berücksichtigen. Private Finanzplanung wird dabei im Sinne von Tilmes (2002) verstanden als „eine ganzheitliche Beratungsdienstleistung, die als ein systematisch koordinierter Planungsprozess – bestehend aus Kontaktaufnahme/Akquisition, Auftragsvergabe, Datenaufnahme, Analyse und Planung, Dokumentation, Betreuung mit Realisierung und periodische Kontrolle – organisiert ist. [Sie] soll Privatpersonen […] in die Lage versetzen, ihre durch den Eintritt oder die Erwartung bestimmter Lebensereignisse ausgelösten finanziellen Ziele zu konkretisieren und unter Berücksichtigung der spezifischen finanziellen, rechtlichen, persönlichen und familiären Ausgangslage sowie externer Rahmenbedingungen optimal zu erreichen.“ (Tilmes 2002, S. 31.)

Zur Adressierung der genannten Problematik stehen folgende Fragen im Mittelpunkt:

- Wie kann Illiquidität (und Liquiditätsrisiko) theoretisch bei der Portfoliooptimierung berücksichtigt werden?
- Welche Auswirkungen hat Illiquidität auf die optimale Portfoliostruktur?
- Wie können die Ergebnisse zu einer Verbesserung der privaten Finanzplanung genutzt werden?

Im Folgenden werden zunächst die wichtigsten Konzepte zur Portfoliooptimierung im Rahmen der privaten Finanzplanung dargestellt und die Notwendigkeit der Berücksichtigung von Illiquidität abgeleitet. In Abschnitt 2.3 wird ein entsprechendes Modell vorgestellt und dessen Ergebnisse im Vergleich zur klassischen Portfoliooptimierung aufgezeigt. Die Umsetzbarkeit eines derartigen Modells im Rahmen der privaten Finanzplanung wird in Abschnitt 2.4 diskutiert. Der Beitrag schließt mit einem Fazit und konkreten Handlungsempfehlungen für Finanzdienstleister.

2.2 Methoden der Portfoliooptimierung und des Risikomanagements in der privaten Finanzplanung

Betrachtet man speziell den Teilprozess „Analyse und Planung“, so beruht dieser in der privaten Finanzplanung in der Regel auf dem Prinzip der Strategischen Asset Allokation (SAA). Diese bezeichnet „die planmäßige Verteilung des zur Verfügung stehenden

Kapitals auf verschiedene Vermögensgegenstände" (Sommese 2007, S. 228). Das im Rahmen der SAA erzeugte Portfolio des Kunden soll dabei idealerweise effizient im Sinne der Portfoliotheorie nach Markowitz (1952) sein (vgl. Schmidt 2006, S. 170). Diese setzt u.a. voraus, dass alle Anlagen beliebig teilbar und vollständig liquide sind, keine Transaktionskosten entstehen und der Anleger risikoavers ist. Zudem entscheidet der Anleger ausschließlich auf Basis von Erwartungswert und Standardabweichung der Portfoliorendite oder diese folgt einer Normalverteilung.

Für ein effizientes Portfolio gilt, dass es kein anderes Portfolio gibt, welches bei gleicher oder höherer erwarteter Rendite (μ) weniger Risiko (gemessen an der Volatilität σ) enthält oder bei gleichem oder niedrigerem Risiko eine höhere erwartete Rendite erzielt. Die Menge der effizienten Portfolios in einem μ-σ-Diagramm heißt Effizienzlinie (vgl. Abb. II.2-1).

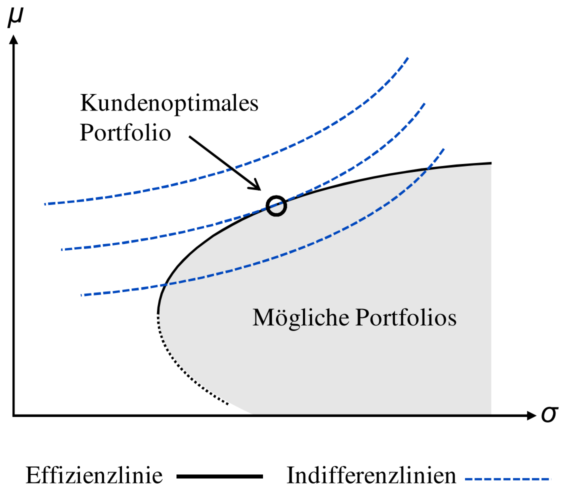

Abb. II.2-1 Kundenoptimales Portfolio

Durch die Berücksichtigung der Risikoeinstellung des Kunden ergibt sich jeweils eine Menge an Portfolios zwischen welchen der Anleger indifferent ist. Diese bilden im μ-σ-Diagramm die sog. Indifferenzlinien (vgl. Abb. II.2-1). Das kundenoptimale Portfolio liegt genau im Berührpunkt von Effizienzlinie und einer Indifferenzlinie (bei einem Schnittpunkt wäre der Anleger zu einem nicht effizienten Portfolio indifferent). Da die exakte Risikoeinstellung in der Regel nicht exakt bestimmt werden kann, wird auch das kundenoptimale Portfolio meist nicht erreicht. Es wird vielmehr versucht, diesem möglichst nahe zu kommen.

Bei der Anwendung der Portfoliotheorie nach Markowitz werden in der privaten Finanzplanung jedoch in der Regel zentrale Annahmen verletzt: So z.B. die Annahme der beliebigen Teilbarkeit von Anlagen oder deren vollständiger Liquidität, d.h. der Möglichkeit, Anlagen jederzeit ohne Preisabschlag verkaufen zu können. Entsprechende Verletzungen können dazu führen, dass zentrale Ergebnisse des Modells nicht mehr zutreffen. Dies betrifft z.B. den Diversifikationseffekt, welcher durch geschickte Aufteilung des Kapitals auf nicht perfekt positiv korrelierte Anlagen zu einer Verringerung des Gesamtrisikos führen soll.

Neben der fehlenden Berücksichtigung der besonderen Eigenschaften illiquider Anlagen wird die private Finanzplanung mit dem dargestellten Vorgehen den entstehenden Liquiditätsrisiken nicht gerecht. Unter Liquiditätsrisiko wird in diesem Beitrag ausschließlich das sog. Zahlungsunfähigkeitsrisiko verstanden. Es „bezeichnet das Risiko, den gegenwärtigen oder den zukünftigen Zahlungsverpflichtungen nicht, nicht vollständig oder nicht zeitgerecht bzw. nicht in ökonomisch sinnvoller Weise nachkommen zu können“ (Bartezky 2008, S. 12). Dies ist bei privaten Anlegern z.B. dann der Fall, wenn mehr Liquidität benötigt wird, als durch die liquiden Anlagen im Portfolio bereitgestellt werden kann. Falls vorhanden, müssen dann illiquide Anlagen kurzfristig verkauft oder Kredite aufgenommen werden, was in der Regel zu unverhältnismäßig hohen Wertverlusten bzw. Kosten führt.

Um der Natur von Liquiditätsrisiken, nämlich der Unterschreitung eines gewissen Werts der vorhandenen Liquidität, gerecht zu werden, bedarf es demnach eines entsprechenden Risikomaßes. Bekannte Beispiele für Risikomaße, die ausschließlich negative Abweichungen berücksichtigen (sog. Ausfallrisikomaße), sind die Lower Partial Moments (LPMs) und der Value-at-Risk (VaR). LPMs berücksichtigen ausschließlich negative Abweichungen von einem – vom Entscheider festgelegten – Zielwert und berechnen dann z.B. deren Wahrscheinlichkeit (sog. Ausfallwahrscheinlichkeit, LPM_0) oder Erwartungswert (sog. Ausfallerwartung, LPM_1) (vgl. z.B. Albrecht und Maurer 2005, S. 115). Der VaR zu einem gewissen Konfidenzniveau α kann als der (höchste) Wert einer Anlage oder eines Portfolios definiert werden, der (mindestens) mit Wahrscheinlichkeit α nicht unterschritten wird, d.h. der $VaR(\alpha,R)$ entspricht dem $(1 - \alpha)$-Quantil der Verteilungsfunktion von R. Er ist ein etabliertes Ausfallrisikomaß, welches sich dem Anleger sehr gut vermitteln lässt (vgl. Baule 2004, S. 17).

Erste Modelle zur Portfoliooptimierung unter Berücksichtigung von Ausfallrisikomaßen waren die sog. Safety-First-Ansätze von Roy (1952), Telser (1955) und Kataoka (1963). Nach Roy wird das Portfolio mit der geringsten Ausfallwahrscheinlichkeit gewählt, nach Telser wird die erwartete Portfoliorendite bei beschränkter Ausfallwahrscheinlichkeit (oder analog dem VaR) maximiert und nach Kataoka erfolgt eine Maximierung der Rendite bei gegebener Ausfallwahrscheinlichkeit (vgl. z.B. Breuer et al. 2006, S. 115ff). Diese würden sich demnach zur Berücksichtigung von Liquiditätsrisiken eignen, bedürfen dazu allerdings der Erweiterung um die spezifischen Eigenschaften illiquider Anlagen.

2.3 Ein Modell zur Berücksichtigung der spezifischen Eigenschaften illiquider Anlageklassen

Eine derartige Modellerweiterung wurde von Diepold und Dzienziol (2009) vorgeschlagen. Im Folgenden wird dieses Modell mit seinen zentralen Annahmen und Ergebnissen erörtert.

2.3.1 Zugrunde liegende Rahmenbedingungen und Optimierungsmodell

Diepold und Dzienziol (2009) verwenden als Basis für ihr Modell den Ansatz von Telser (1955) und integrieren neben einer illiquiden Anlagemöglichkeit auch einen eventuell eintretenden Liquiditätsbedarf. Sie betrachten den vereinfachten Fall eines privaten Anlegers, der unter Beachtung seiner Risikoeinstellung einen vorgegebenen Anlagebetrag optimal auf eine liquide und eine illiquide Anlageklasse aufteilen möchte. Die zugrunde gelegten Rahmenbedingungen lassen sich wie folgt beschreiben:

Zielfunktion: Der private Anleger will einen bestimmten Betrag für eine Periode anlegen. Dazu stehen ihm eine liquide (z.B. Bargeld, Aktien) und eine illiquide Anlageklasse (z.B. Immobilien, Beteiligungen) zur Verfügung. Der Anleger will den zur Verfügung stehenden Betrag so auf die beiden Anlagemöglichkeiten aufteilen, dass der erwartete Portfoliowert am Ende der Periode maximiert wird.

Risikoaversion: Der Anleger will mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit einen definierten Mindestbetrag am Ende der Periode erreichen. D.h. er gibt eine Grenze für den VaR des Portfolios zu einem gewissen Konfidenzniveau vor.

Liquiditätsanforderung: Mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit benötigt der Anleger am Ende der Periode einen bestimmten Anteil des Anlagebetrags zum Konsum. Reicht der Wert der liquiden Anlage nicht aus, um den Liquiditätsbedarf zu decken, so muss die illiquide Anlage verkauft werden. In diesem Fall sind aufgrund der notwendigen Kurzfristigkeit die Besonderheiten illiquider Anlagen zu beachten.

Assets: Die Renditen der beiden Anlagealternativen können sowohl sicher (z.B. Tagesgeld, kapitalbildende Lebensversicherung) als auch unsicher (z.B. Aktien, Immobilien an volatilen Standorten) sein. Beide sind kurzfristig liquidierbar, wobei die kurzfristige Liquidierung der illiquiden Anlage mit Kosten verbunden ist.

Man geht also davon aus, dass eine illiquide Anlage, wie z.B. eine Lebensversicherung, zwar in beliebiger Höhe gekauft/abgeschlossen werden kann, ein Verkauf jedoch nur vollständig möglich ist und bei Kurzfristigkeit mit einem Wertverlust verbunden ist. Dieser Wertverlust entspricht z.B. einer prozentualen Maklergebühr bei kurzfristigem Immobilienverkauf oder der Nachbesteuerung der Zinserträge bei Auflösung einer Kapitallebensversicherung vor Ablauf von 12 Jahren (AltEinkG, Artikel 1).

Eine damit implizit getroffene Annahme des Modells – der man sich bewusst sein sollte – ist, dass nur durch den Verkauf der illiquiden Anlage zusätzliche Liquidität gewonnen werden kann. Eine Beleihung der illiquiden Anlage wird damit ausgeschlossen. Benötigt der Anleger z.B. für einen arbeitsbedingten Umzug 5.000 Euro mehr als er liquide zur Verfügung hat, müsste er seine kapitalbildende Lebensversicherung vorzeitig rückkaufen. Während dies in vielen Fällen zutreffend sein mag (z.B. wenn der Anleger eine Verschuldung unbedingt ablehnt oder eine Kreditaufnahme wegen fehlender Bonität nicht möglich ist), so wird es dennoch Fälle geben, in welchen ein zusätzlich benötigter Bedarf fremdfinanziert werden kann. In diesen Fällen wären allerdings ebenfalls zusätzliche Kosten in Form von Kreditzinsen zu berücksichtigen.

Um nun die genannten Rahmenbedingungen in einem Modell abzubilden, werden die in Tab. II.2-1 enthaltenen Parameter verwendet.

Tab. II.2-1 Parameter des Modells

I	Anlagebetrag	p_l	Eintrittswahrscheinlichkeit des Liquiditätsbedarfs
x_1	Anteil der liquiden Anlage		
$x_2 = 1 - x_1$	Anteil der illiquiden Anlage	c	Anteilige Kosten für die kurzfristige Liquidierung der illiquiden Anlage
$V(x_1)$	Portfoliowert		
$E(V(x_1))$	Erwarteter Portfoliowert	Y_1, Y_2	Wertentwicklung der beiden Anlagen (Zufallsgröße)
M	Mindestwert des VaR		
α	Konfidenzniveau des VaR	μ_1, μ_2	Erwartete Wertentwicklung der beiden Anlagen
l	Relative Höhe des Liquiditätsbedarfs	σ_1, σ_2	Standardabweichung der Wertentwicklung der beiden Anlagen

Unter Verwendung dieser Parameter leiten Diepold und Dzienziol (2009) folgendes Optimierungsproblem her:

$$\text{Max } E(V(x_1)) = I\left[x_1\mu_1 + (1-x_1)\left(\mu_2 - E\left(Y_2 1_{(-\infty,l/x_1)}(Y_1)\right)p_l c\right)\right] \tag{1}$$

$$\text{unter } VaR(\alpha, V(x_1)) \geq M \tag{2}$$

Dabei bezeichnet $1_{(-\infty,l/x_1)}(.)$ die Indikatorfunktion, d.h. $1_{(-\infty,l/x_1)}(Y_1) = \begin{cases} 1 & , Y_1 < l/x_1 \\ 0 & , sonst \end{cases}$.

Die Zielfunktion entspricht damit dem Erwartungswert des „Markowitz-Portfolios“ ($x_1\mu_1$ + (1 - x_1)μ_2) abzüglich der zu erwartenden Liquidierungskosten, welche nur dann entstehen können, wenn der Wert der liquiden Anlage (x_1Y_1) nicht zur Deckung des Liquiditätsbedarfs (l) ausreicht.

Damit folgt bei ausschließlich sicheren Renditen:

$$E(V(x_1)) = \begin{cases} I[x_1\mu_1 + (1-x_1)\mu_2] & , x_1 \geq l/\mu_1 \\ I[x_1\mu_1 + (1-x_1)\mu_2(1-p_l c)], & x_1 < l/\mu_1 \end{cases} \tag{3}$$

In diesem Fall kann der Verkauf der illiquiden Anlage durch Vorhalten des Liquiditätsbedarfs in der liquiden Anlage ($x_1\mu_1 \geq l$) mit Sicherheit vermieden werden. Wird weniger als der diskontierte Bedarf liquide angelegt ($x_1\mu_1 < l$), so muss die illiquide Anlage mit Wahrscheinlichkeit p_l kurzfristig verkauft werden. Es folgt daraus eine stückweise lineare Zielfunktion, welche bei $x_1 = l/\mu_1$ einen Sprung aufweist (vgl. Abb. II.2-2).

Ist nur die Rendite der liquiden Anlage unsicher oder sind beide Renditen unsicher und unabhängig, so ergibt sich bei angenommener Normalverteilung unsicherer Renditen:

$$E(V(x_1)) = I\left[x_1\mu_1 + (1-x_1)\mu_2\left(1-\Phi\left(\frac{l/x_1-\mu_1}{\sigma_1}\right)p_l c\right)\right] \tag{4}$$

Dabei bezeichnet $\Phi(x)$ die Standardnormalverteilung.

In diesem Fall kann die Notwendigkeit eines Verkaufs der illiquiden Anlage nicht mehr mit Sicherheit ausgeschlossen werden, da durch die Normalverteilung des Werts der liquiden Anlage immer ein gewisses Restrisiko bestehen bleibt, dass dieser nicht zur Abdeckung des Liquiditätsbedarfs ausreicht. Der erwartete Portfoliowert hat damit keinen Sprung mehr, sondern wird durch die Normalverteilung „geglättet“ (vgl. Abb. II.2-3).

2.3.2 Auswirkungen der Illiquidität auf die Anlageentscheidung

Nach der Darstellung der Rahmenbedingungen und des mathematischen Optimierungsproblems werden nun die zentralen Auswirkungen der Illiquidität auf die Anlageentscheidung vorgestellt und jeweils an einem Beispiel verdeutlicht.

Zentrale Ergebnisse bei Anlagen mit sicheren Renditen

Unter der Annahme, dass die Renditen beider Anlagen sicher sind, ergeben sich folgende Auswirkungen:

1. Aufgrund der Unsicherheit bezüglich des Eintritts der Liquiditätsanforderung ist der Portfoliowert bei korrekter Berücksichtigung illiquider Anlagemöglichkeiten trotz sicherer Renditen bereits unsicher.
2. Bei Vernachlässigung der Eigenschaften illiquider Anlagen würde der Anleger stets vollständig in die Anlage mit der höchsten Rendite investieren. Durch die Illiquidität entsteht jedoch eine Unsicherheit, welche dazu führen kann, dass eine echte Aufteilung auf die Anlagemöglichkeiten optimal ist.
3. Die Beschränkung des Ausfallrisikos kann – ebenfalls im Gegensatz zur klassischen SAA – zu einer relevanten Veränderung der Optimallösung führen.

Beispiel 1 veranschaulicht nochmals die Entscheidungssituation sowie die Auswirkungen der beiden Ergebnisse 1 und 2:

Im Rahmen der privaten Finanzplanung für einen Kunden, welcher 50.000 Euro „bestmöglich“ anlegen möchte, identifizierte der Berater bereits eine Lebensversicherung (illiquide Anlage) mit einer jährlichen Rendite von 6 % als die optimal zu den Kundenwünschen passende Anlage. Als alternative liquide Anlagemöglichkeit steht ein Tagesgeldkonto mit 3-%iger Verzinsung zur Verfügung. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 60 % benötigt der Kunde 20.000 Euro für einen Umzug inklusive neuer Einrichtung. Sollte dieser Betrag benötigt werden, aber am Ende der Periode nicht liquide verfügbar sein, müsste er die Lebensversicherung frühzeitig kündigen, was Kosten in Höhe von 4 % des aktuellen Werts zur Folge hätte. Der Kunde stellt sich nun also die Frage, welchen Anteil er auf dem Tagesgeldkonto zurückhalten sollte um einen möglichst hohen erwarteten Portfoliowert zu generieren. Abb. II.2-2 zeigt den erwarteten Portfoliowert in Abhängigkeit vom Anteil des Tagesgeldkontos.

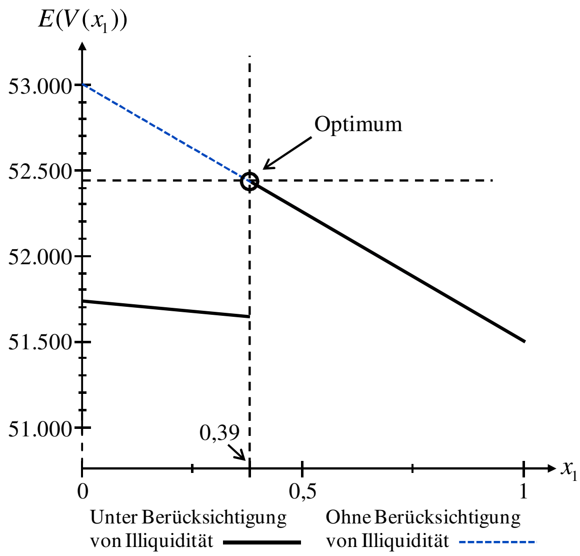

Abb. II.2-2 Erwarteter Portfoliowert bei sicheren Anlagen

Unter Verwendung von (3) erhält man als maximalen erwarteten Portfoliowert 52.417 Euro (mit einer erwarteten Rendite von 4,83 %), welcher bei Anlage von 19.417 Euro (ca. 39 % des Anlagebetrags) auf das Tagesgeldkonto erreicht wird. Dies entspricht exakt dem Betrag, der bei 3-%iger Verzinsung angelegt werden muss, um am Ende der Periode 20.000 Euro liquide zur Verfügung zu haben. Somit kann der verbleibende Betrag mit Sicherheit die volle Rendite der Lebensversicherung erwirtschaften, da diese nicht vorzeitig verkauft werden muss. Lässt man die Besonderheiten illiquider Assets in diesem Beispiel unberücksichtigt, so würden die vollen 50.000 Euro wie beschrieben in die Lebensversicherung investiert werden, da diese die höhere Rendite aufweist. Diese Lösung hätte jedoch lediglich einen erwarteten Portfoliowert von 51.728 Euro (mit einer erwarteten Rendite von 3,46 %) und ist damit im Erwartungswert um 689 Euro (oder 1,37 % Rendite) niedriger.

Zentrale Ergebnisse bei Anlagen mit unsicheren Renditen

Bei unsicheren Renditen lässt sich zusätzlich zu den bisherigen Ergebnissen Folgendes festhalten:

4. Der erwartete Portfoliowert ist – im Gegensatz zur klassischen SAA – abhängig von den Varianzen und der Korrelation der Anlagen, durch deren Veränderung sich eine andere optimale Aufteilung ergeben kann.
5. Ist nur das liquide Asset unsicher, so kann es unter Berücksichtigung der Besonderheiten illiquider Anlagen dennoch sein, dass das Risiko mit steigendem Anteil der unsicheren, liquiden Anlage sogar sinkt, obwohl dieses auch die niedrigere erwartete Rendite aufweist. Grund dafür ist die Reduzierung der Wahrscheinlichkeit dafür, dass die illiquide Anlage kurzfristig verkauft werden muss. Dadurch kann aufgrund der Nebenbedingung eine gemischte Lösung optimal sein, auch wenn die sichere illiquide Anlage die höhere Rendite besitzt.
6. Sind beide Renditen risikobehaftet, so kann eine steigende Korrelation der Anlagen zu einem steigenden maximalen Portfoliowert führen und umgekehrt. Dies steht im Gegensatz zur positiven Beurteilung negativer Korrelationen im Hinblick auf Risikodiversifikationseffekte bei der Portfoliooptimierung.

Beispiel 2 zeigt die Auswirkungen der Unsicherheit:

Um die Veränderungen zum Fall sicherer Renditen herausstellen zu können, wird angenommen, dass dem Anleger aus Beispiel 1 anstelle des Tagesgeldkontos ein Aktienportfolio mit derselben erwarteten Rendite, jedoch mit einer Varianz von 1 %, zur Verfügung steht. Der erwartete Portfoliowert (vgl. (4)) verläuft dann wie in Abb. II.2-3 dargestellt und erreicht sein Maximum in Höhe von 52.272 Euro (erwartete Rendite 4,54 %) bei einem Anteil des Aktienportfolios in Höhe von 46 % des Anlagebetrags.

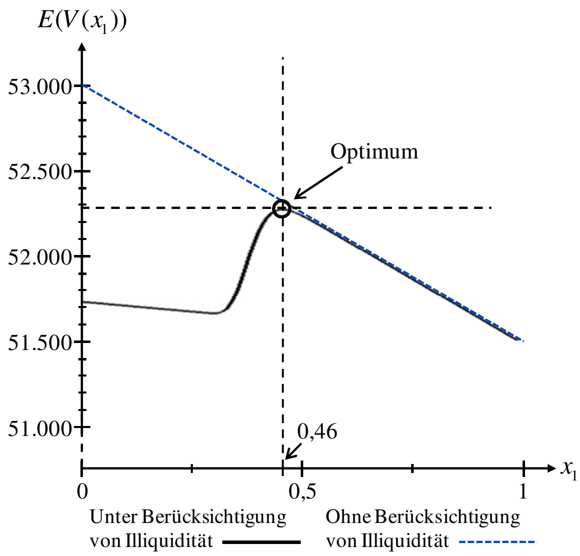

Abb. II.2-3 Erwarteter Portfoliowert bei Unsicherheit in der liquiden Anlage

Die Auswirkungen der Illiquidität werden hier noch deutlicher. Bei einer klassischen SAA wäre eine vollständige Investition in die Lebensversicherung vorteilhaft, da diese ohne Risiko eine höhere erwartete Rendite besitzt. Obwohl die liquide Anlage im Vergleich zu Beispiel 1 ein höheres Risiko aufweist, wird dessen Anteil hier jedoch sogar erhöht, d.h. es wird mehr in die unsichere Anlage mit der niedrigeren erwarteten Rendite investiert. Grund dafür ist, dass die Notwendigkeit eines Verkaufs der Lebensversicherung nicht mehr mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann. Um deren Wahrscheinlichkeit hinreichend weit zu reduzieren, muss demnach mehr in ein unsicheres liquides Aktienportfolio investiert werden als in ein sicheres Tagesgeld.

2.4 Umsetzbarkeit in der privaten Finanzplanung

Nachdem nun aufgezeigt wurde, wie ein Modell zur Portfoliooptimierung eines Privatanlegers unter Berücksichtigung von Illiquidität aussehen könnte, werden im Folgenden aktuelle Probleme bei der konkreten Umsetzung diskutiert. Zentrale Aspekte sind dabei zum einen die Anwendbarkeit und Lösbarkeit der Modelle an sich, zum anderen aber auch die Umsetzung im Beratungsprozess.

Modellannahmen noch sehr spezifisch

Wie am Modell von Diepold und Dzienziol (2009) aufgezeigt werden konnte, erhöht die Berücksichtigung der spezifischen Eigenschaften illiquider Anlagen die Komplexität des Optimierungsproblems enorm. Um diese analytisch greifbar zu machen, werden sehr spezifische Rahmenbedingungen mit nur zwei Anlagealternativen zu Grunde gelegt. Dies widerspricht jedoch der Zielsetzung privater Finanzplanung als ganzheitliche Beratungsdienstleistung. So werden z.B. die Einschränkung auf zwei Anlagen oder das Ausschließen von Fremdfinanzierungen oft nicht gegeben sein. Eine unmittelbare Anwendung erscheint daher nur in Spezialfällen möglich.

Lösungsmethoden noch nicht hinreichend vorhanden

Während für die Lösung einer klassischen Portfoliooptimierung nach Markowitz effiziente Lösungsalgorithmen zur Verfügung stehen, ist dies bei Erweiterung um illiquide Anlagen nicht mehr der Fall. Aufgrund der bereits erwähnten hohen Komplexität des Optimierungsproblems, wäre dieses bei Erweiterung der Modellannahmen (z.B. um mehrere Anlagen, mehrere Liquiditätsanforderungen mit unterschiedlichen Zeitpunkten, Höhen und Wahrscheinlichkeiten etc.) in der Regel nicht mehr effizient exakt lösbar. Hier bedarf es der Unterstützung durch praxisnahe Forschung und Entwicklung entsprechender Heuristiken.

Umsetzung im Beratungsprozess schwierig

Setzt man Anwendbarkeit und Lösbarkeit voraus, so wäre zur Umsetzung des Modells im Beratungsprozess einerseits eine hinreichende IT-Unterstützung notwendig, welche zunächst entwickelt werden müsste und damit bereits hohe Rüstkosten verursachen würde.

Andererseits müssten die Berater in die Lage versetzt werden, die Planungsannahmen, deren Spezifika und Auswirkungen sowohl zu verstehen als auch den Kunden – gemäß der Grundsätze ordnungsgemäßer Finanzplanung (vgl. Tilmes 2002, S. 40) – transparent machen zu können. Dies gestaltet sich zumindest schwieriger als bisher.

Ebenfalls kritisch zu betrachten bleibt die Frage, ob der Berater überhaupt die Zeit und die Möglichkeiten hat, ein derartiges Modell in seiner erhöhten Komplexität zu erläutern und anzuwenden. Solange eine Umsetzung nur in Einzelfällen stattfindet, d.h. noch keine Standardisierung stattfinden kann, wird sie nur bei Kunden mit hohem Vermögen und damit hohem Optimierungspotenzial möglich sein, da der erhöhte Aufwand natürlich im Verhältnis zum entsprechenden Ertragspotenzial stehen sollte.

2.5 Fazit

Im vorliegenden Beitrag wurden zunächst aktuelle Schwächen der privaten Finanzplanung identifiziert. Es konnte festgestellt werden, dass die im Planungsprozess verwendeten Konzepte der SAA für eine ausreichende Berücksichtigung von Illiquidität nicht zufriedenstellend geeignet sind. Anschließend wurde ein konkretes wissenschaftliches Modell zu deren Berücksichtigung erörtert und an zwei Anwendungsbeispielen gezeigt, dass Illiquidität starke Auswirkungen auf die Portfoliooptimierung haben kann, wodurch zum Teil Optimierungspotenzial verschenkt wird. Die heutige Umsetzbarkeit eines derartigen Modells im Rahmen der privaten Finanzplanung wurde kritisch beleuchtet und künftiger praxisorientierter Forschungsbedarf identifiziert.

Auch wenn die Umsetzung eines ganzheitlichen Modells zur Berücksichtigung von Illiquidität in der privaten Finanzplanung derzeit noch schwer möglich erscheint, ergeben sich dennoch einige Handlungsempfehlungen zur pragmatischen Berücksichtigung der Besonderheiten illiquider Anlagen:

1. Die direkte Anwendbarkeit eines derart spezifischen Modells könnte durch eine gezielte Zerlegung des ganzheitlichen Optimierungsproblems des Anlegers in passende Subprobleme erreicht werden. Man sollte demnach versuchen, eine (in der Regel ohnehin durchgeführte) Zerlegung so durchzuführen, dass ein bestehendes spezifisches Modell (als sog. Kombinationswissen) auf ein Subproblem angewendet werden kann.
2. Finanzdienstleister müssen ihren Beratern „das Wissen und das Verständnis für den Nutzen einer solchen Vorgehensweise“ (Ronzal 2006, S. 216) vermitteln. Sie sollten ihre Berater derart schulen, dass diesen klar ist, dass die idealtypischen Annahmen einer klassischen SAA in der Regel nicht erfüllt sind, und was die aufgezeigten Auswirkungen des Liquiditätsproblems tatsächlich sind. Somit können diese bei der Beratung zumindest qualitativ darauf eingehen und die tatsächlichen Liquiditätsrisiken besser bewerten. Berücksichtigt der Berater bei der Liquiditätsplanung z.B., dass eine Immobilie bei Eintreten eines kritischen Liquiditätsengpasses in der Regel nicht unmittelbar zum Marktwert verkauft werden kann, sondern nur zu einem geringeren Preis oder erst zu einem späteren

Zeitpunkt, so ergeben sich direkte Konsequenzen für die Empfehlungen zur Liquiditätsabsicherung.

3. Eine entsprechende Aufklärung der Kunden über die zu berücksichtigenden Eigenschaften illiquider Anlagen sollte im Beratungsprozess verankert werden.

Literatur (Kapitel II.2)

Albrecht P, Maurer R (2005) Investment- und Risikomanagement – Modelle, Methoden, Anwendungen. Stuttgart

Bartezky P (2008) Liquiditätsrisikomanagement – Status quo. In: Bartezky P, Gruber W, Wehn CS (Hrsg) Handbuch Liquiditätsrisiko. Stuttgart, S 1-28

Baule R (2009) Wertorientiertes Kreditportfoliomanagement. Dissertation, Universität Göttingen

Breuer W, Gürtler M, Schuhmacher F (2006) Portfoliomanagement II – Weiterführende Anlagestrategien. Wiesbaden

Diepold D, Dzienziol J (2009) Illiquide Assets in der Portfoliooptimierung. Zeitschrift für Betriebswirtschaft 79(10):1143-1173

Kataoka S (1963) A Stochastic Programming Model. Econometrica 31(1-2):181-196

Kruschev W (1999) Private Finanzplanung: die neue Dienstleistung für anspruchsvolle Anleger. Wiesbaden

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

Ronzal W (2006) Woran scheitern Beratungskonzepte? In: Effert D, Hanreich W (Hrsg) Ganzheitliche Beratung bei Banken. Wiesbaden, S 215-229

Roy AD (1952) Safety First and the Holding of Assets. Econometrica 20(3):431-449

Schlütz J, Beike R (2008) Financial Planning 1. Stuttgart

Schmidt G (2006) Persönliche Finanzplanung. Heidelberg

Sommese A (2007) Die richtige Finanzplanung. München

Steiner M, Bruns C (2008) Wertpapiermanagement. Stuttgart

Stiftung Warentest (2010) Banken im Test vom 20.07.2010: Die Blamage geht weiter. http://www.test.de/themen/geldanlage-banken/test/Banken-im-Test-Die-Blamage-geht-weiter-4113924-4114313/. Abruf am 2011-05-06

Telser LG (1955) Safety First and Hedging. Review of Economic Studies 23(1):1-16

Tilmes R (2002) Financial Planning im Private Banking. Bad Soden/Ts.

III Zum IT-Portfoliomanagement

In diesem Kapitel steht die korrekte Bewertung von IT-Projekten im Rahmen eines wertorientierten ITPM im Mittelpunkt. Insbesondere bei der Bewertung von Infrastrukturprojekten, welche oft keine Einzahlungen generieren, ist es sehr wichtig, intertemporale Abhängigkeiten zu darauf aufbauenden Projektopportunitäten zu berücksichtigen. Diese können als Realoptionen modelliert und anhand des Binomialmodells (BM) oder des Black-Scholes-Modells (BSM) bewertet werden. Im Gegensatz zu klassischen Finanzanlagen spielen allerdings neben Marktrisiken auch projektspezifische Risiken eine zentrale Rolle bei der Bewertung von IT-Projekten. Während das BM bereits um deren Berücksichtigung erweitert wurde, für eine Anwendung in der Praxis jedoch ungeeignet erscheint, finden projektspezifische Risiken in den bisherigen praxisorientierten Modellen unter Verwendung des BSM keine Berücksichtigung. Dies führt dazu, dass sowohl der Ertrag als auch das Risiko von IT-Projekten systematisch unterbewertet werden.

Vor diesem Hintergrund überträgt der Beitrag B.3 „A Real Options Approach for Valuating Intertemporal Interdependencies within a Value-Based IT Portfolio Management – A Risk-Return Perspective" die Erweiterungen des BM um die Berücksichtigung projektspezifischer Risiken auf das BSM und stellt den resultierenden Ertrag und das entsprechende Risiko den Ergebnissen der herkömmlichen Verwendung des BSM gegenüber.

Der Beitrag B.4 „Bewertung intertemporaler Abhängigkeiten zwischen IT-Projekten – Anwendung eines realoptionsbasierten Ansatzes unter Berücksichtigung projektspezifischer Risiken" ergänzt das erweiterte Modell aus B.3 um ein nutzentheoretisch fundiertes Entscheidungskalkül zur Integration von Ertrag und Risiko zum Wertbeitrag eines IT-Projekts. Darüber hinaus wird die Anwendbarkeit dieses Kalküls an einem detaillierten Realweltbeispiel aufgezeigt.

1 Beitrag „A Real Options Approach for Valuating Intertemporal Interdependencies within a Value-Based IT Portfolio Management – A Risk-Return Perspective“

Autoren:	Dennis Diepold, Christian Ullrich Kernkompetenzzentrum Finanz- & Informationsmanagement, Lehrstuhl für BWL, Wirtschaftsinformatik, Informations- & Finanzmanagement (Prof. Dr. Hans Ulrich Buhl) Universität Augsburg, D-86135 Augsburg dennis.diepold@wiwi.uni-augsburg.de christian.ullrich@wiwi.uni-augsburg.de
	Alexander Wehrmann Senacor Technologies AG Vordere Cramergasse 11, D-90478 Nürnberg alexander.wehrmann@senacor.com
	Steffen Zimmermann Universität Innsbruck Universitätsstraße 15, A-6020 Innsbruck steffen.zimmermann@uibk.ac.at

Erschienen 2009 in:	Newell S, Whitley E, Puloudi N, Wareham J, Mathiassen L (Hrsg) Proceedings of the 17th European Conference on Information Systems. Verona, S 1600-1612

Zusammenfassung:

Value-based IT portfolio management requires the consideration of intertemporal interdependencies that may exist among IT projects. Therefore, several papers suggest adopting the real options approach in order to include intertemporal interdependencies within the valuation of IT projects. However, this paper shows that the standard Black-Scholes model, which is often used for valuating real options, is not appropriate to *correctly account for project-specific private risks due to its restrictive assumptions. Since this can have major impacts on the value of IT projects, we develop an approach – based on the Black-Scholes model – to consider private risks properly within project valuation. A comparison of the results of the standard Black-Scholes model used today and our approach finally reveals that the neglect of private risks results in a systematic underestimation of both risk and return of IT projects, which may lead to wrong investment decisions.*

1.1 Introduction

Since firms with superior IT governance have at least 20 percent higher profits than firms with poor governance (Weill and Ross 2004), it is not surprising that in practice much effort is put towards implementing IT governance structures (IT Governance Institute 2008). Amongst others, companies seek to implement methods to plan and manage IT investments aligned with their business objectives. Since a lot of firms primarily seek to maximize shareholder value, they need to determine the value proposition of each IT investment considering its risk and return (IT Governance Institute 2008). But it is not sufficient to valuate each IT investment separately, because firms usually conduct several IT investments simultaneously or consecutively, which may cause the existence of interdependencies among these investments. Due to the fact that those interdependencies affect the value of a single investment, firms should rather implement methods to valuate the overall IT portfolio and make sure that interdependencies are considered correctly.

But as of today, only about half the firms are capable of measuring risk and return of their IT investments (IT Governance Institute 2008) and much less they are capable of accounting for interdependencies among multiple investments within a value-based IT portfolio management (ITPM). But interdependencies and conflicts among IT projects in particular are one of the primary reasons for budget over-spending, which affects about one third of all IT investments according to a study of CA Inc. (2007). Interdependencies also play a decisive role when investments in IT infrastructure (e. g. operating systems or core banking systems) are considered, which account for 31% of all IT investments (CIO Insight 2004). IT infrastructure investments are typically characterized by high cash out-flows and – if at all – only low direct cash in-flows. If firms valuate these investments without considering interdependencies, it is likely that they will be rejected from an economic perspective. Given that business objectives may require IT infrastructure investments (base projects) that provide an option to launch future value added projects (follow-up projects), the profits of the follow-up projects can be attributed to the base projects to some extent. Such intertemporal interdependencies are often modelled as real options. Research literature suggests adapting approaches from financial theory to the valuation of real options, but does not thoroughly verify the applicability of these approaches.

Therefore, this paper contributes to valuating IT base projects that contain intertemporal interdependencies with an advanced real options approach. After a discussion about the applicability of the Black-Scholes model (BSM) to the valuation of real options, we conclude that strict assumptions of the BSM prevent its application to a correct valuation of base projects, since project-specific risks (e. g. quality risks) that influence the value of possible follow-up projects cannot be considered. Hence, we extend the BSM in a way that it will be capable of valuating base projects correctly. Furthermore, we will show that the BSM – as it is used today for valuating base projects – underestimates the return of any base project as well as the associated risk due to the disregard of project-specific risks.

This paper is organized as follows: In chapter 1.2 we provide an overview of existing ITPM approaches. Thereby, we analyze how intertemporal interdependencies are considered today and question the applicability of the BSM to the valuation of IT projects that contain intertemporal interdependencies. In chapter 1.3, a model extending the BSM by a correct consideration of project-specific risks is proposed. The article concludes in chapter 1.4 with a recapitulation of the achieved results. Thereby, the limitations of the model as well as perspectives for further research are discussed. A real-world example will serve as running-example throughout the paper and underpin the relevance of our findings.

1.2 Literature survey and research question

IT governance, which is defined as „*structure of relationships and processes to direct and control the enterprise in order to achieve the enterprise's goals by adding value while balancing risk versus return over IT and its processes*" (IT Governance Institute 2008), postulates value-based approaches to manage IT investments. This is in accordance with the definition of ITPM by Kaplan (2005), who refers to ITPM as a „*method for governing IT investments across the organization, and managing them for value*“. According to these definitions firms have to valuate their IT investments as well as their overall IT portfolio under a risk-return perspective. Since existing interdependencies among IT investments can affect the value proposition of the investments (Santhanam and Kyparisis 1996), firms also have to consider them. These interdependencies can be categorized as follows:

- Intratemporal interdependencies:

These interdependencies occur due to resource conflicts or structural bottlenecks (e. g. use of same processes or IT functionalities) in case that multiple IT projects are conducted at the same time.

- Intertemporal interdependencies:

These interdependencies occur if IT projects serve as basis for potential follow-up projects.

As a result, value-based ITPM approaches require firms to focus on a risk-return perspective of their IT investments on the one hand, but also to consider inter- and intratemporal interdependencies among IT investments on the other hand.

1.2.1 Value-based ITPM: Status quo

Since value-based ITPM requires the quantification of both risk and return of IT investments, those approaches are also referred to as quantitative ITPM approaches. Verhoef (2005) for example uses the Net Present Value to valuate IT projects. He includes risk by introducing the "*weighted average cost of IT*" as discount factor, but he does not consider any interdependencies among IT investments, which makes this approach insufficient for a value-based ITPM due to the requirements mentioned above.

Santhanam and Kyparisis (1996), Butler et al. (1999), and Asundi and Kazman (2001) include intratemporal interdependencies among IT projects in their approaches. They use modern portfolio theory by Markowitz to aggregate IT projects to IT portfolios and intratemporal interdependencies are represented by correlations among IT projects. But these approaches still neglect intertemporal interdependencies, which leads to poor or incorrect valuations especially for infrastructure projects that are characterized by low or even none direct cash in-flows.

Bardhan et al. (2004) in contrast focus on intertemporal interdependencies among IT projects. They assume that a firm has the right – but not the obligation – to conduct possible follow-up projects after the completion of a base project. This right is modelled as a real option.

1.2.2 Real Option Approaches for IT portfolio management

There exist many other approaches for IT portfolio management using real options theory. E. g. Benaroch (2002) suggests a real options approach called option based risk management (OBRiM) to mitigate risks of IT projects, which is empirically validated by Benaroch et al. (2006) and Hilhorst et al. (2008). But this approach is “not concerned with determining the monetary value that embedded options add to an investment” (Benaroch et al. 2006). Thus it is insufficient according to the requirements and concerns of this paper.

On the contrary, Taudes et al. (2000), Benaroch and Kauffman (1999) and Fichman et al. (2005) suggest the application of real options analysis (ROA) to the valuation of IT projects analogical to the approach of Bardhan et al. (2004) and fulfil consequently the requirements of a value-based ITPM. All these approaches use the standard BSM or binomial trees to valuate existing real options.

But the application of valuation models like the BSM, which is adapted from financial options to real options theory, is heavily criticized due to its restrictive assumptions (Emery et al. 1978, Schwartz and Zozaya-Gorostiza 2003). Thus, the differences between financial and real options must be regarded properly, otherwise the application of the BSM to the valuation of intertemporal interdependencies can lead to skewed results. We therefore discuss the applicability of the BSM to the valuation of intertemporal interdependencies in the next chapter.

1.2.3 Applicability of the Black-Scholes model to the valuation of intertemporal interdependencies

The BSM is based on a riskless valuation of the option, whereby systematic risks are eliminated through a replicating portfolio consisting of the underlying and the option (Hull 2003). In order to be able to build this replicating portfolio and to continually hedge it during the runtime of the option, liquidity of the involved assets is a key requirement. But since real options usually cannot be traded and thus are illiquid (especially in the case of IT projects), the replicating portfolio cannot be built, which raises critics about the applicability of the BSM to the valuation of real options.[1]

Sick (2001) picks up this criticism and argues that the replicating portfolio does not necessarily have to consist of the option and its underlying per se. In fact, any liquid assets can be used for constructing the replicating portfolio, as long as they possess the same systematic risk. Therefore, trading real options is not necessary for a correct application of the BSM. Hence, the BSM can be used for the valuation of real options in case that the systematic risks can be replicated by tradable assets, which accordingly requires a complete market.

Therefore, the application of the BSM implies that the underlying investments contain only systematic risks (market risks). This issue is also raised by Copeland and Antikarov (2003), who argue that with both financial and real options, risk – the uncertainty of the underlying – is assumed to be exogenous. This represents one major weakness of today’s application of the BSM to the valuation of real options, since there are also unsystematic risks inherent in every IT investment, which are referred to as “private risks” by Smith and Nau (1995). Those private risks or project-specific risks, like for instance deficient software quality, incorrect interpreted specifications, or problems with new technologies or frameworks, account for the major source of all risks concerning IT investments.

These risks cannot be considered within the replicating portfolio, since there are no liquid assets that perfectly replicate the private risks of the base project due to their uniqueness. As a result, the BSM cannot account for private risks and therefore neglects a major source of risks in the valuation of IT investments (Smith and Nau 1995).

In order to address this weakness, Smith and Nau (1995) suggest changing the assumption of a complete market into a partially complete market, which still provides liquid assets to account for market risks. Thus, the BSM can still be applied to the valuation of real options and does consider market risks, but private risks must be incorporated otherwise.

Irrespective of these facts, several articles apply the BSM to the valuation of real options without paying attention to its applicability and thus disregard the differences between financial and real options. Mason and Merton (1985) argue that although the underlying is

[1] For a thorough explanation of the BSM see Hull (2003).

not traded, firms rather seek to determine what the project cash flows would be worth if they were traded. A similar qualitative discussion, which eventually equates real options theory with financial options theory, can also be found in Benaroch and Kauffman (1999) and Taudes et al. (2000).

In these articles the expected value of the cash in-flows (of the follow-up project in our case) usually serves as underlying of the option, since there is no observable market value (Schwartz and Zozaya-Gorostiza 2003). This expected underlying value contains the potential impacts of market and private risks. It can be determined by specifying scenarios and valuating them through a decision tree analysis. Possible deviations from the expected underlying value, which are caused by market risks as well as private risks, are oftentimes considered solely within the volatility of the BSM (cp. Bardhan et al. 2004). But – as we have discussed above – this is not valid since only market risks can be hedged in a replicating portfolio of liquid assets. Taudes et al. (2000) and Benaroch and Kauffman (1999) do not pick up the different risk types as a central theme in their articles. If we assume benevolently that the authors consider only market risks within the volatility of the BSM, their application would be consistent to the assumptions of the standard BSM. However, in this case they would completely disregard private risks in their valuation, which leads to skewed results because a significant part of IT project risks are neglected.

1.2.4 Research Question

Because of the major weakness of the standard BSM regarding the consideration of private risks, we will answer the question, how intertemporal interdependencies can be correctly valuated using the BSM within the scope of a value-based ITPM. Therefore, it is necessary to extend the BSM by a correct consideration of the impacts of private risks of the underlying (follow-up project) on the risk-return position of a base project.

But before answering this research question using our approach, we introduce a real world example to illustrate the relevance of this question. This example is taken from an IT Portfolio of a German retail bank, which invests a high binary million amount per year into IT projects. For reasons of confidence we changed the data proportional to the original values. The example will be continued throughout the paper.

A multi-channel retail bank wants to enhance its market position (relative market share) in distributing consumer credits. To reach this strategic objective, they want to increase the level of automation of their credit processes and enable a risk-adjusted pricing of consumer credits. Therefore, existing credit processes have to be redesigned, which requires the adaption of the IT landscape. First of all, their core banking backend-systems has to be changed. The costs for this infrastructure project are estimated at 2 million Euros. Furthermore, the investment into the backend-system does not generate any direct cash in-flows, which leads to the fact that it should be rejected from an economic perspective if the project is considered independently. But the bank decided to base their investment decision not solely on the NPV of this infrastructure project. The company rather considers this project to serve as a base project that provides the launch of future value adding project opportunities, which can be realized once the backend-systems are implemented successfully. Thereby, the company identifies a follow-up project that integrates the new credit-pricing into the existing retail frontends (i.e. in-store, online, and call-center) as a lucrative opportunity and decides to include this possible follow-up project within their investment decision. In contrast to the base project, the bank anticipates high cash in-flows from the follow-up project due to the involved launch of new credit products as well as savings on human resources due to the automation of credit processes. In order to integrate this possible follow-up project into the investment decision, the company wants to use the real options approach to evaluate the base project with the follow-up project being an option to expand.

1.3 Consideration of private risks within the valuation of intertemporal interdependencies

To illustrate our model and the impact of private risks on the risk-return position of a base project, we firstly have to introduce some notations and assumptions.

1.3.1 Notations and Assumptions

A firm has to decide whether it invests in an IT project (base project) at time $t = 0$ with a runtime of T periods. This base project creates the technical requirements for a possible follow-up project. In case of conducting the base project, the firm can decide in $t = T$ whether it invests in the follow-up project or not. This can be interpreted as an intertemporal interdependency and thus be modelled as a real option (option to expand) on the follow-up project. Because the focus of this paper is the correct valuation of the real option using the BSM, we state the following simplistic assumption:

(A1) The direct cash flows and thus the isolated Net Present Value (*NPV*) of the base project (without considering the impacts of the follow-up project) are known and fixed.

In order to valuate the real option under a risk-return perspective we have to consider the risks concerning the follow-up project. During the runtime of the base project two major types of risk exist which cause uncertainty regarding the cash in-flows of the follow-up project. The first type of risk can be described as market risks, which – as we mentioned earlier – can be considered by the volatility of the standard BSM. Examples for market risks are uncertainties regarding economic conditions like the prime rate or the demand since they are subject to fluctuations. The second type of risk – private risks – cannot be considered in the standard BSM as discussed above. It results from uncertainties regarding the implementation quality of the base project. Some examples of those uncertainties are:

- Uncertainty regarding the requirements of the base project: At the beginning of the base project it is not conceivable whether the functional or technical specifications describe the requirements unambiguously. Missing functionalities due to missing or incomplete functional specifications will limit the amount of possible subsequent applications.
- Uncertainty regarding the replacement of legacy systems: If (poor documented) legacy systems have to be replaced, unpredictable side effects can occur and reduce the scope of available functionalities.
- Uncertainty regarding the product quality: Irrespective of the uncertainties mentioned before, the implementation itself can be inaccurate. If too many critical mistakes are made during the implementation, it is likely that the scope of available functionalities is reduced.

These uncertainties can be responsible for providing an insufficient amount of functionalities at time $t = T$. The fact that the cash in-flows of the follow-up project (underlying of the real option) depend on the implementation quality of the base project leads to our second assumption:

(A2) At time $t = 0$, there is a known functional connection between the achieved implementation quality of the base project at time $t = T$ and the cash in-flows of the follow-up project. The present value of the cash in-flows of the follow-up project at time $t = 0$ is represented by the non-negative random variable $\tilde{S}_0$ with its known corresponding density function $f(s)$.[2]

Function $f(s)$ represents the potential impacts of the private risks on the present value of the cash in-flows of the follow-up project.

Since the follow-up project will be conducted by an IT services provider and is already contractually fixed in $t = 0$, the cash out-flows of the follow-up project can be considered as independent of market and private risks, which leads to the following assumption:

(A3) The present value of the cash out-flows X_0 of the follow-up project is known and fixed at time $t = 0$.

This paper focuses on the correct consideration of private risks during the runtime of the base project, which affect the cash in-flows of a follow-up project. Therefore we abstract away from the existence of risks during the runtime of the follow-up project with the following assumption.

(A4) The present value of the cash in-flows of the follow-up project is known and fixed at time $t = T$ (depending on the implementation quality of the base project).

On the basis of these assumptions we will discuss the impacts of private risks on the risk-return position of the real option and consequently on the base project in the next chapter. Therefore, we compare the results of the standard ROA with our approach.[3]

1.3.2 Impacts of private risks on the risk-return position of the base project

According to standard ROA, the extended net present value (*ENPV*) denotes the return of the base project. It consists of the isolated net present value of the base project (*NPV*) and

---

[2] $\tilde{S}_0$ can also be a discrete random variable with probability mass function $f(s)$.

[3] The notation used in this paper is summarized in appendix A-1.

the value of the option (C_0) to extend the base project with a follow-up project (Trigeorgis 1996). In order to calculate C_0 the value of the underlying is required. But since the underlying is not traded on a market, the expected value of the underlying ($E(\tilde{S}_0)$[4]) is often being used instead (Schwartz and Zozaya-Gorostiza 2003). Bardhan et al. (2004) therefore approximate $E(\tilde{S}_0)$ by conducting a scenario analysis. According to the BSM function *c(s)*, which is described in appendix A-2, the value of the option (C_0) then equals $c[E(\tilde{S}_0)]$ according to our notation. As a result, the return of the base project calculated with the standard BSM can be obtained through the following equation:

$$(1) \qquad ENPV = NPV + C_0 = NPV + c[E(\tilde{S}_0)]$$

According to this approach the value of the option depends on the risk, but it still can be calculated deterministically, because all risks are hedged by the replicating portfolio. But note that equation (1) is only valid in case of a complete market, where only market risks exist, which can be replicated by traded securities, and private risks do not. But in a partially complete market private risks have to be considered separately.

Bardhan et al. (2004), for instance, consider private risks within their scenario analysis for the calculation of $E(\tilde{S}_0)$. They include the deviation of the underlying value within the volatility of the BSM. But unfortunately, this approach cannot account for private risks since only market risks can be considered within the BSM (cp. chapter 1.2). Other approaches neglect the impacts of private risks completely (e. g. Benaroch and Kauffman 1999), which leads to wrong investment decisions if a value-based valuation takes place.

In order to correctly account for private risks, we first consider the present value of the cash in-flows of the follow-up project being a non-negative random variable $\tilde{S}_0$ due to its uncertainty according to (A2). Since the corresponding and known density function *f(s)* denotes the different realizations of $\tilde{S}_0$ (s^*), we can picture all possible impacts of the private risks on the cash in-flows of the follow-up project.

[4] Even though the standard ROA does not explicitly account for $\tilde{S}_0$, we denote the expected value of the underlying as $E(\tilde{S}_0)$ according to our notation, as it provides an intuitive description as well as a better comparison of the two approaches.

In a next step we need to find out how this uncertainty of the underlying affects the option value. Therefore, we need to focus on the functional connection (in our case the BSM function *c(s)*) between the underlying and the option value. As the BSM function cannot handle private risks, an option value has to be generated for every possible realization s^*. Since every option value $c(s^*)$ has the same cumulated probability as its corresponding underlying value s^*, we obtain $\int_0^{c(s^*)} g(c)dc = \int_0^{s^*} f(s)ds$ for all $s^* > 0$, and thus we can sufficiently approximate the density function *g(c)* of the option value $\tilde{C}_0$, which is also a random variable. According to this transformation we now know the different impacts of the private risks on the option value. Finally, we have to add the option value $\tilde{C}_0$ to the net present value of the base project (*NPV*) to get the extended net present value of the base project ($E\tilde{N}PV$), which is consequently represented by a random variable:

(2) $$E\tilde{N}PV = NPV + \tilde{C}_0 = NPV + c(\tilde{S}_0)$$

At the time when the decision about the base project is made ($t = 0$) we only know the approximated density function *g(c)* of the option value and thus the probability for every possible option value, but we do not know the actual realization in $t = T$. In order to account for this uncertainty caused by private risks, we will use the expected option value ($E(\tilde{C}_0)$) to calculate the expected extended net present value of the base project ($E(E\tilde{N}PV)$), since it includes all possible realizations of the option value that are caused by private risks. By doing so, $E(E\tilde{N}PV)$ represents the return of the investment decision and can be obtained by the following equation:

(3) $$E(E\tilde{N}PV) = NPV + E(\tilde{C}_0) = NPV + E[c(\tilde{S}_0)]$$

In order to compare the return of the base project obtained by our approach (equation (3)) with the standard BSM (equation (1)), we need to go into a more detailed analysis of the BSM function. In case of call options the first and second derivative (i. e. the greeks “delta” and “gamma”) of the BSM function are positive (Hull 2003), thus we know that the BSM function is strictly monotonically increasing and strictly convex. Therefore, Jensen’s inequality, as is denoted in equation (4), becomes valid:

(4) $E(c(\tilde{S}_0)) \geq c[E(\tilde{S}_0)]$

Since the BSM function is strictly convex, Jensen's inequality can be rewritten in our case as $E(c(\tilde{S}_0)) > c[E(\tilde{S}_0)]$, which implies:

(5) $E(E\tilde{N}PV) = NPV + E[c(\tilde{S}_0)] > NPV + c[E(\tilde{S}_0)] = ENPV$.

This leads to our first result:

(R1): The expected value of the real option and therefore the return of the base project are underestimated if the standard BSM (equation (1)) is used to valuate intertemporal interdependencies.

The return of the option derived by both, the standard BSM (equation (1)) and our approach (equation (3)), are pictured in Fig. III.1-1. It further shows the density function of the underlying *f(s)* and the density function of the real option *g(c)*, as well as their functional connection through the BSM function *c(s)*.

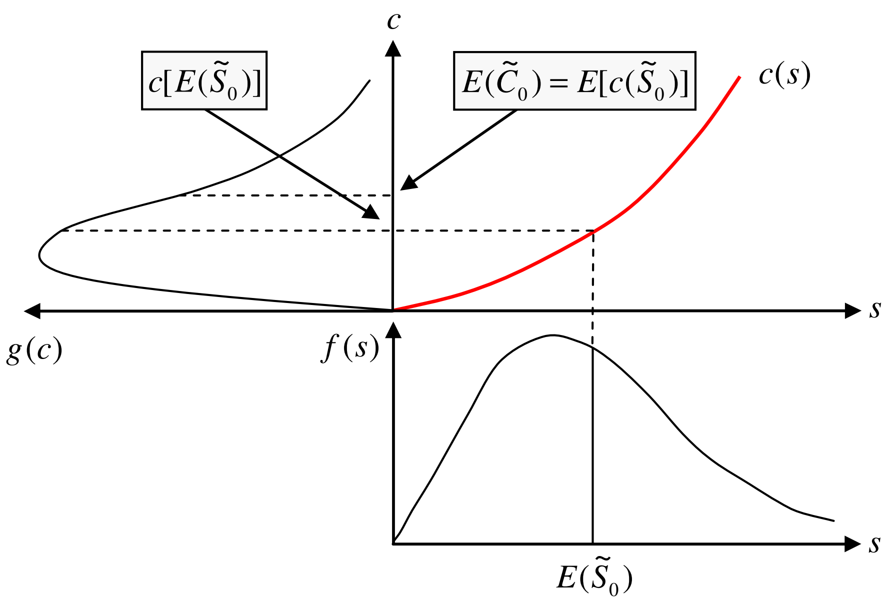

Fig. III.1-1 Impacts of the private risks on the option value

Fig. III.1-1 also visualizes the consequence of Jensen's inequality: The density function *g(c)* results from a compression of *f(s)*, which is stronger for small values than it is for larger ones due the convexity of the BSM function *c(s)* (The skewness of *g(c)* is greater than the skewness of *f(s)*). This leads to the fact that the cumulated probability for $E(\tilde{C}_0)$

is greater than the cumulated probability for $E(\tilde{S}_0)$. But since the cumulated probability for $s^* = E(\tilde{S}_0)$ equals the cumulated probability for $c(s^*) = c[E(\tilde{S}_0)]$, $E(\tilde{C}_0)$ must be greater than $c[E(\tilde{S}_0)]$.

The bank decides to evaluate the possible follow-up project (option to expand) with the BSM, which created some challenges due to the collection of the data. Although the costs of the follow-up project, the risk-free rate, and the runtime of the base project could be estimated easily, the estimation of the discounted cash in-flows of the follow-up project (underlying of the option) seemed to be a major challenge, because they are based on the sale of new credit products. In order to address the uncertain success of the project, a scenario analysis (consisting of a worst-case, most-likely, and best-case scenario) was conducted (cp. Tab. III.1-2) that should cover possible outcomes. By doing so, the bank derived an expected value of the discounted cash in-flows in the amount of 5.7 million Euros. Furthermore, the estimation of the volatility of the discounted cash in-flows were another major challenge: Since the volatility can only account for market risks, the bank used the volatility of a credit derivative index, because it was believed that this volatility represents all relevant risks of the credit markets.

An overview of the estimated values of the parameters needed for the BSM is provided below:

Tab. III.1-1 BSM Parameters[5]

Expected Present Value of Cash in-flows ($E(\tilde{S}_0)$)	Costs (X_0)	Risk-free rate (r)	Runtime (T)	Volatility (σ)
5.7 mio. Euros	4 mio. Euros	5%	1 year	40%

According to the standard BSM the option value obtained by the bank was 2.05 million Euros ($c[E(\tilde{S}_0)]$). Since the option value outweighs the negative NPV, the consideration of the intertemporal interdependency resulted in a positive value for the investment decision.

(a) $ENPV = -2\ mio.\ Euros + 2.05\ mio.\ Euros = 0.05\ mio.\ Euros$

5 The number for the volatility was adapted from Wigan (2006).

In the following, this result will be compared to the result the bank would have achieved if they had considered private risks correctly. According to our approach, the different scenarios represent the private risks, and thus an option value has to be determined for each scenario. Based on the resulting realizations of the option values the expected value of the real option has to be derived by summerizing the realizations weighted with their adherent probabilities.

Tab. III.1-2 Scenario Analysis and Option Valuation

Scenario:	Present Value of Cash in-flows	Expected Present Value of the cash in-flows	Option value	Expected value of the option
best-case	8 mio. Euros	5.70 mio. Euros	4.22 mio. Euros	2.26 mio. Euros
most-likely	6 mio. Euros		2.31 mio. Euros	
worst-case	3 mio. Euros		0.23 mio. Euros	

As we can see from Tab. III.1-2, the expected option value calculated with our approach equals 2.26 million Euros. This leads to the following equation:

(a’) $E(E\tilde{N}PV) = -2\ mio.\ Euros + 2.26\ mio.\ Euros = 0.26\ mio.\ Euros$

Illustrated by this real world example we can state, that considering private risks correctly can lead to a fundamental increase of the return of the base project (in this case by approx. 420 %).

The standard ROA approach also suggests that the value of the option ($C_0 = c[E(\tilde{S}_0)]$) is riskless, which means the resulting value of the base project (*ENPV*) is a fix return on the investment. Thus, no consideration of further risks concerning the investment decision is required. Our approach enables the consideration of private risks, which are the major source for uncertainty regarding IT projects. Hence, we modeled the value of the option as a random variable ($\tilde{C}_0 = c(\tilde{S}_0)$), which means the value of the base project is also a random variable ($E\tilde{N}PV$) with its expected value $E(E\tilde{N}PV)$. This expected value represents the return on the base project. But the possible deviations of $E\tilde{N}PV$ and so the private risk must be included in the investment decision about the base project. This leads to our second result:

(R2): Private risks are neglected if the standard BSM (equation (1)) is used to valuate intertemporal interdependencies within an IT project. According to our approach, the consideration of private risks leads to an uncertain value of the option and consequently of the base project, which must be taken care of in the investment decision.

1.3.3 Consequences for the investment decision

Because of the uncertainty of the value of the base project resulting from private risks, the return or expected extended net present value is not sufficient for a risk-return integrated valuation within the scope of a value-based ITPM. Hence, it is necessary to balance risk versus return of the investment decision in order to get a thorough result. Therefore, the deviation of the project value resulting from our approach has to be opposed to the higher return in comparison to the standard BSM to get a risk adjusted value of the base project. The impact of this uncertainty on the risk adjusted value (value proposition), which results from private risks, heavily depends on the risk attitude of the decision maker.

If the decision maker is risk neutral or risk seeking, our approach leads to a higher value proposition for the base project compared to the standard ROA. This results from the increase of the return on the investment, which is shown in equation (4). However, if companies put efforts towards identifying and considering risks, they are aware of risk. Through this risk awareness and the consequent risk management such companies can be assumed to be risk averse. In this case, the consideration of the private risks within a risk-return integrated base project valuation will lower the return on the investment. In this case, the value of the base project can be lower than using the standard ROA, depending on the degree of risk aversion – which symbolizes the perception of the weight of private risks – and the specific utility function that the decision maker chooses in order to integrate risk and return.

Using the standard BSM, the bank based its investment decision on one deterministic value for the ENPV (cf. equation (a)) and thus neglected the existence of private risks. Based on this positive ENPV the bank decided to conduct the project.

But, according to our approach, the bank should have considered private risks separately and carefully balanced their decision dependent on their risk attitude. As the bank also suffers from the subprime crisis, the company is currently risk averse. Therefore, a monetary valuation of the private risks regarding the degree of risk aversion would have been required. Based on such a risk valuation, the bank could have also rejected the base project, if the private risks had been assigned according to the degree of risk aversion with a monetary value greater than 0.26 million Euros. This would have led to the fact that the risk adjusted value of the base project is negative – although a higher return was realized compared to the result of the standard BSM.

Finally, we can state that the valuation of the intertemporal interdependencies with the BSM, as it is done today, can lead to false estimations and therefore to wrong investment decisions due to the neglect of the impacts of private risks on the risk-return position of the investment.

1.4 Conclusion

In this paper we propose an approach to consider intertemporal interdependencies within a value-based IT portfolio management. Therefore we analyzed current approaches of valuating intertemporal interdependencies among IT projects. Since intertemporal interdependencies are usually modelled as real options and valuated with the BSM, which is adapted from financial options theory, we examined the applicability of the BSM to real options. Through this examination we revealed that the BSM is only able to consider market risks, but not to consider existing private risks of IT projects. Since private risks mostly preponderate in case of IT projects, we developed an approach based on the BSM that allows the consideration of private risks and thus provides a correct valuation of intertemporal interdependencies. The main findings in this paper are that today’s real option approaches based on the BSM underestimate the risk as well as the return of IT projects systematically. Hence, the application of the standard BSM can lead to false investment decisions.

1.4.1 Limitations

But there are still limitations that come along with the introduced model.

E. g. the assumption of fixed cash in-flows of the follow-up project at time $t = T$ (A4) leads to a neglect of any risks that can occur during the follow-up project. As software is usually developed in sequent releases which contain intertemporal dependent projects and in order to provide a thorough assessment of all risks involved in the IT portfolio, the consideration of follow-up project risks would further increase the results of this approach.

Another limitation comes along with assumption (A2), where we assume, that the cash inflows of the follow-up project depend only on the implementation quality of the base project at time $t = T$. But there may exit different other aspects which influence the cash inflows of a follow-up project. These aspects cannot be considered within our approach.

Furthermore, we are not able to calculate a concrete risk adjusted value of the base project, since we do not model the risk attitude and the risk itself by a specific risk measure.

1.4.2 Further Research

In order to overcome these limitations further research is required. To cope with the last mentioned limitation, we want to extend this paper by developing and introducing a decision model. Therefore, private risks need to be quantified by an adequate risk measure in a first step. Since firms usually focus on downside risks, the lower partial moment (LPM) can serve as an adequate risk measure. Otherwise, if firms also want to take the upside chances of a base project into account, a symmetric risk measure like the standard deviation can be chosen. Once a risk measure is selected, a preference function will be introduced that accounts for the investor’s risk preference. Founded preference functions for different risk measures can be found in decision theory literature.

Since firms not only conduct projects consecutively but also parallel at the same time, further research is needed to additionally consider intratemporal interdependencies among projects. The approach suggested by Santhanam and Kyparisis (1996) can serve as a fundament for this extension.

Further research is also needed regarding the consideration of multiple real options within an IT project and their impact on its risk and return. Smit and Trigeorgis (2006) already propose an approach to manage a portfolio of real options, on which our further analysis can be based. On the one hand, compound options, i. e. options on options, which occur if a follow-up project again serves as basis for another follow-up project, can be considered.

On the other hand, the impacts of either deferral options or abandonment options on the risk-return position of IT projects deserve a more detailed analysis.

Literatur (Kapitel III.1)

Asundi J, Kazman R (2001) A Foundation for the Economic Analysis of Software Architectures. In: Proceedings of the 3rd Workshop on Economics-Driven Software Engineering Research (EDSER-3)

Bardhan I, Bagchi S, Sougstad R (2004) Prioritizing a Portfolio of Information Technology Investment Projects. Journal of Management Information Systems 21(2):33-60

Benaroch M, Kauffman R (1999) A Case for Using Real Options Pricing Analysis to Evaluate Information Technology Project Investments. Information Systems Research 10(1):70-86

Benaroch M, Lichtenstein Y, Robinson K (2006) Real Options in Information Technology Risk Management: an Empirical Validation of Risk-Option Relationships. MIS Quarterly 30(4):827-864

Black F, Scholes M (1973) The Pricing of Options and Corporate Liabilities. Journal of Political Economy 81(3):637-654

Butler S, Chalasani P, Jha S, Raz O, Shaw M (1999) The Potential of Portfolio Analysis in Guiding Software Decisions. In: Proceedings of the 1st Workshop on Economics-Driven Software Engineering Research (EDSER-1)

CA Inc. (2007) Over Budget IT Projects Costing UK Plc £256m* per Year. http://www.ca.com/gb/press/Release.aspx?CID=155480. Abruf am 2008-11-28

CIO Insight. (2004) The CIO Insight Research Study: Project Management. http://www.cioinsight.com/c/a/Research/Research-Project-Management-2004. Abruf am 2008-08-23

Copeland T, Antikarov V (2003) Real Options – A Practitioner's Guide. New York

Emery DR, Parr PC, Mokkelbost PB, Gandhi D, Saunders A (1978) An Investigation of Real Investment Decision Making with the Options Pricing Model. Journal of Business Finance & Accounting 5(4):363-369

Hilhorst C, Ribbers PM, van Heck E, Smits M (2008) Risk Management and Valuation of Real Options in IT Project: An Exploratory Experiment. In: Proceedings of the 16th European Conference on Information Systems, S 1776-1787

Hull J (2003) Options, Futures, & other Derivatives. Upper Saddle River

IT Governance Institute Board Briefing on IT-Governance. http://www.itgi.org/AMTemplate.cfm?Section=Board_Briefing_on_IT_Governance&Template=/ContentManagement/ContentDisplay.cfm&ContentID=39649. Abruf am 2008-09-11

IT Governance Institute (2008). IT Governance Global Status Report. http://www.itgi.org/AMTemplate.cfm?Section=ITGI_Research_Publications&Template=/ContentManagement/ContentDisplay.cfm&ContentID=39735. Abruf am 2008-11-25

Kaplan J (2005) Strategic IT Portfolio Management Governing Enterprise Transformation. New York

Mason S, Merton R (1985) The Role of Contingent Claims Analysis in Corporate Finance. In: Altman E, Subrahmanyam M (Hrsg) Recent Advances in Corporate Finance. Homewood, S 7-54

Santhanam R, Kyparisis GJ (1996) A Decision Model for Interdependent Information System Project Selection. European Journal of Operational Research 89(2):380-399

Schwartz ES, Zozaya-Gorostiza C (2003) Investment under Uncertainty in Information Technology: Acquisition and Development Projects. Management Science 49(1):57-70

Sick G (2001) Real Options. In: Jarrow RA, Maksimovic V, Ziemba WT (Hrsg) Handbooks in Operations Research and Management Science – Finance. Amsterdam, S 631-689

Smith JE, Nau RF (1995) Valuing Risky Projects: Option Pricing Theory and Decision Analysis. Management Science 41(5):795-816

Taudes A, Feurstein M, Mild A (2000) Options Analysis of Software Platform Decisions: A Case Study. MIS Quarterly 24(2):227-243

Trigeorgis L (1996) Real Options. Boston

Verhoef C (2005) Quantifying the Value of IT-Investments. Science of Computer Programming 56(3):315-342

Weill P, Ross JW (2004) IT Governance: How Top Performers Manage IT Decision Rights for Superior Results. Boston

Wigan D (2006). ITraxx Volatility Rises Amid Concern over U.S. http://sg.biz.yahoo.com/060922/3/43lkm.html. Abruf am 2008-11-13

Anhang (Kapitel III.1)

A-1 Notation

Tab. III.1-3 Notation

Symbol	**Definition**
t	Point of time: $t = 0$: Investment decision about the base project $t = T$: Completion of the base project
NPV	Net Present Value of the base project without considering the intertemporal interdependency
$c(s)$	BSM function to valuate call options
X_0	Present value of the cash out-flows of the follow-up project at time $t = 0$
$\tilde{S}_0$	Present value of the cash in-flows of the follow-up project at time $t = 0$ (random variable)
s^*	Realization of $\tilde{S}_0$ at time $t = T$
C_0	Option value of the mean of $\tilde{S}_0$ ($c(E(\tilde{S}_0))$)

$\tilde{C}_0$	Uncertain value of the option to extend the base project by the follow-up project at time $t = 0$ (random variable)
$ENPV$	Value of the base project including the intertemporal interdependency
$E\tilde{N}PV$	Uncertain value of the base project including the intertemporal interdependency (random variable)
$f(s)$	Density function of $\tilde{S}_0$
$g(c)$	Density function of $\tilde{C}_0$

A-2 BSM function

Black & Scholes (1973) define the BSM function $c(s)$ as follows:

$$c(s) = sN(d_1) - Xe^{-rT}N(d_2)$$

with $$d_1 = \frac{\ln\frac{s}{X} + (r + 0{,}5\sigma^2)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

and $$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

where s = value of the underlying

r = risk-free rate

$N(\cdot)$ = value of the standard normal distribution function at $(\cdot)$

2 Beitrag „Bewertung intertemporaler Abhängigkeiten zwischen IT-Projekten – Anwendung eines realoptionsbasierten Ansatzes unter Berücksichtigung projektspezifischer Risiken“

Autoren:	Dennis Diepold, Christian Ullrich Kernkompetenzzentrum Finanz- & Informationsmanagement, Lehrstuhl für BWL, Wirtschaftsinformatik, Informations- & Finanzmanagement (Prof. Dr. Hans Ulrich Buhl) Universität Augsburg, D-86135 Augsburg dennis.diepold@wiwi.uni-augsburg.de christian.ullrich@wiwi.uni-augsburg.de
	Alexander Wehrmann Senacor Technologies AG Vordere Cramergasse 11, D-90478 Nürnberg alexander.wehrmann@senacor.com
	Steffen Zimmermann Universität Innsbruck Universitätsstraße 15, A-6020 Innsbruck steffen.zimmermann@uibk.ac.at

Erscheint 2011 in:	Zeitschrift für Betriebswirtschaft 81(7-8)

Zusammenfassung:

Viele Investitionen in IT-Projekte – insbesondere IT-Infrastrukturinvestitionen – lassen sich in Unternehmen nur dadurch ökonomisch rechtfertigen, dass sie notwendige Voraussetzung für die Durchführung ertragsversprechender Folgeprojekte sind. Solche intertemporalen Abhängigkeiten zwischen IT-Projekten sind bei der Beurteilung von IT-Investitionen im Rahmen eines wertorientierten IT-Portfoliomanagements zu berücksichtigen. In der Literatur wird hierzu häufig auf die Realoptionstheorie und

Optionsbewertungsmodelle aus der Finanztheorie wie bspw. das Binomialmodell oder das Black-Scholes-Modell verwiesen. Diese Modelle setzen die Existenz eines vollständigen Kapitalmarkts voraus. Da IT-Projekte jedoch in der Realität häufig durch nicht am Kapitalmarkt duplizierbare, projektspezifische Risiken gekennzeichnet sind, ist die direkte Anwendbarkeit der Modelle problematisch. Vor diesem Hintergrund wurden in der Literatur bereits entscheidungstheoretische Erweiterungen des diskreten Binomialmodells entwickelt, die eine korrekte Berücksichtigung projektspezifischer Risiken ermöglichen. In diesem Beitrag werden diese entscheidungstheoretischen Erweiterungen auf das stetige Black-Scholes-Modell übertragen und erstmalig im Rahmen eines realen Fallbeispiels angewendet. Dabei werden mögliche Auswirkungen der Berücksichtigung projektspezifischer Risiken auf IT-Investitionsentscheidungen veranschaulicht.

2.1 Einleitung

Da sich die Erkenntnis durchgesetzt hat, dass Unternehmen mit einer effizienten IT-Governance deutlich höhere Gewinne erzielen als vergleichbare Unternehmen (Weill und Ross 2004, S. 2), sind aktuell in der Praxis verstärkt Bestrebungen zur Umsetzung von IT-Governance-Strukturen beobachtbar (IT Governance Institute 2008, S. 23). Dazu zählt insbesondere auch die Einführung von Ansätzen zur – im Sinne der Unternehmensziele – zielgerichteten Planung und Steuerung der IT (Strategic Alignment). Da in den meisten Unternehmen die Maximierung des Unternehmenswerts das oberste Unternehmensziel darstellt, sind dazu Ansätze erforderlich, mit deren Hilfe der Wertbeitrag der IT nach Ertrags- und RisikoGesichtspunkten ermittelt werden kann (Zimmermann 2008, S. 358). Dabei genügt es aber nicht, nur den Wertbeitrag einzelner IT-Projekte zu bestimmen. Es sind vielmehr Ansätze erforderlich, welche die Betrachtung mehrerer IT-Projekte im Portfolioverbund erlauben. Grund hierfür ist die in der Regel hohe Anzahl an IT-Projekten, die in größeren Unternehmen gleichzeitig oder aufeinander aufbauend durchgeführt werden und sich aufgrund von bestehenden Abhängigkeiten gegenseitig wertmäßig beeinflussen können.

Allerdings sind Stand heute nur etwa die Hälfte aller Unternehmen in der Lage, Ertrag und Risiko einzelner IT-Projekte zu bestimmen (IT Governance Institute 2008, S. 46), geschweige denn Abhängigkeiten im Rahmen eines wertorientierten IT-Portfoliomanagements (ITPM) zu berücksichtigen. Die Vernachlässigung solcher Abhängigkeiten bei der Bewertung von IT-Projekten kann jedoch zur falschen Selektion von IT-Projekten führen (Lee und Kim 2001) und ist nach einer Studie des amerikanischen IT-Management-Software-Herstellers CA eine der Hauptursachen für das Scheitern von IT-Projekten (CA Inc. 2007).

Abhängigkeiten spielen insbesondere bei der Bewertung und Selektion von IT-Infrastrukturinvestitionen, welche mit 31% den größten Anteil aller durchgeführten IT-Projekte darstellen (CIO Insight 2004), eine große Rolle. Solche Projekte sind in der Regel durch hohe Auszahlungen gekennzeichnet und generieren häufig keine oder nur geringe direkte Einzahlungen. Die isolierte Betrachtung und Bewertung eines IT-Infrastrukturprojekts führt deshalb fast zwangsläufig dazu, dass das Projekt als ökonomisch nicht sinnvoll eingestuft werden muss. Bedenkt man jedoch, dass vielfach

IT-Infrastrukturinvestitionen (Basisprojekte) die Voraussetzung sind, um im Nachgang weitere ertragsversprechende IT-Investitionen (Folgeprojekte) durchzuführen, sind die Erträge der Folgeprojekte zumindest teilweise indirekt dem Basisprojekt zuzurechnen. Solche intertemporalen Abhängigkeiten[1] werden vielfach als Realoptionen modelliert. Zur Bewertung derartiger Realoptionen werden in der Literatur häufig aus der Finanzoptionstheorie bekannte Optionsbewertungsmodelle wie das Binomialmodell (BM) oder das Black-Scholes-Modell (BSM) vorgeschlagen. Diese Modelle sind aber nur bei Existenz eines vollständigen Kapitalmarkts anwendbar. Da IT-Projekte meist wesentliche projektspezifische Risiken beinhalten, welche am Kapitalmarkt nicht duplizierbar sind und damit lediglich ein teilweise vollständiger Markt vorliegt, ist deren Anwendung zur Bewertung intertemporaler Abhängigkeiten zwischen IT-Projekten problematisch. Diese Problematik wird in der Literatur bereits adressiert, und es werden entscheidungstheoretische Erweiterungen des BM zur Berücksichtigung projektspezifischer Risiken vorgeschlagen.

Um auch eine korrekte Anwendung des BSM bei Existenz eines teilweise vollständigen Markts zu ermöglichen, werden in diesem Beitrag die entscheidungstheoretischen Erweiterungen des diskreten BM auf das stetige BSM übertragen. Dabei wird gezeigt, dass die Anwendung des klassischen BSM (ohne die in diesem Beitrag erläuterte Erweiterung) eine systematische Unterbewertung sowohl des Ertrags als auch des Risikos von Basisprojekten – resultierend aus der unzureichenden Berücksichtigung des projektspezifischen Risikos des Folgeprojekts – zur Folge hat. Da aufgrund der Unvollständigkeit des Kapitalmarkts keine risikoneutrale (präferenzfreie) Bewertung der Realoption mehr möglich ist, wird ferner ein allgemeines Vorgehen zur ertrags-/risikointegrierten und damit präferenzabhängigen Ermittlung des Realoptionswerts vorgeschlagen. Abschließend wird erstmalig im Rahmen eines realen Fallbeispiels illustriert, wie das BSM bei der Existenz eines teilweise vollständigen Markts zur Bestimmung eines eindeutigen, präferenzabhängigen Realoptionswerts angewendet werden kann. Dabei werden die Ergebnisse mit den Ergebnissen der Anwendung des

[1] Intertemporale Abhängigkeiten sind Abhängigkeiten zwischen IT-Projekten, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt werden. Diese treten auf, wenn die Durchführung eines IT-Projekts die konzeptionelle oder technische Voraussetzung für mögliche Folgeprojekte schafft, oder aber wenn die Durchführung eines IT-Projekts den Abschluss anderer IT-Projekte voraussetzt.

klassischen BSM verglichen und es wird verdeutlicht, dass die korrekte Berücksichtigung projektspezifischer Risiken zu veränderten Investitionsentscheidungen führen kann.

Der Beitrag ist folgendermaßen aufgebaut: In Abschnitt 2.2 wird die relevante Literatur diskutiert, die Forschungslücke identifiziert und der Erkenntnisgewinn des Beitrags formuliert. Am Ende des Abschnitts wird zudem ein reales Fallbeispiel eines großen deutschen Finanzdienstleisters eingeführt. In Abschnitt 2.3 werden die entscheidungstheoretischen Erweiterungen des diskreten BM auf das BSM übertragen. In Abschnitt 2.4 wird die Anwendbarkeit des so erweiterten BSM sowie dessen praktischer Nutzen illustriert, indem der Ansatz basierend auf dem eingeführten Fallbeispiel angewendet wird. Abschließend werden die Ergebnisse in Abschnitt 2.5 zusammengefasst sowie weiterer Forschungsbedarf abgeleitet.

2.2 Literaturüberblick und Erkenntnisgewinn

Intertemporale Abhängigkeiten weisen zumeist den Charakter von Realoptionen auf, da ein Unternehmen nach Abschluss eines Basisprojekts das Recht, aber nicht die Pflicht hat, darauf aufbauende Folgeprojekte durchzuführen[2]. Da in der Finanztheorie etablierte Modelle zur Bewertung von Finanzoptionen existieren – wie z. B. das BSM oder das BM – liegt es nahe, diese auch zur Bewertung von Realoptionen zu nutzen.

Das BSM und das BM beruhen jedoch auf einer risikoneutralen (präferenzfreien) Bewertung der Option, wobei sämtliche Risiken durch die Bildung eines Duplikationsportfolios – bestehend aus dem Underlying und der Option – dupliziert und damit gehedgt werden. Dies setzt jedoch die Handelbarkeit des Underlyings voraus. Da Realinvestitionen (wie z. B. IT-Projekte) im Gegensatz zu Finanzinvestitionen (wie z. B. Aktien) in der Regel nicht gehandelt werden, kann zur Bewertung von Realoptionen häufig kein Duplikationsportfolio gebildet werden. Deshalb vertreten Kritiker des Realoptionsansatzes die Meinung, dass die genannten Modelle aus der Finanztheorie zur Bewertung von Realoptionen nicht geeignet seien (Emery et al. 1978, S. 368; Kruschwitz 2007, S. 462).

Sick (2001, S. 652) greift diese Argumentation auf und zeigt, dass das Duplikationsportfolio nicht zwingend aus Underlying und Option bestehen muss.

[2] Zur Definition einer Realoption vgl. Trigeorgis (1996, S. 1) oder Copeland und Antikarov (2003, S. 5).

Vielmehr kann ein Duplikationsportfolio auch aus einem mit dem Underlying perfekt korrelierten liquiden Asset („twin security“ (Taudes et al. 2000)) und einer Option auf dieses Asset gebildet werden, was den Handel des Underlyings zur Duplikation des Risikos nicht mehr voraussetzt. Somit lassen sich gemäß Sick (2001) Realoptionen auch für den Fall bewerten, dass sämtliche Risiken eines Underlyings durch liquide Assets am Kapitalmarkt dupliziert werden können. Die Implikation daraus ist jedoch die Existenz eines vollständigen Kapitalmarkts (Dangl und Kopel 2003, S. 55). In der Realoptionsliteratur findet man deshalb häufig Anwendungsbeispiele, für die eine vollständige Duplizierbarkeit der Risiken des Underlyings begründbar ist. So werden oft Optionen auf Investitionen in bspw. Rohstoffförderungsanlagen gewählt, deren Risiken über die Rohstoffmärkte leicht dupliziert werden können (vgl. Brennan und Schwartz 1985 oder Cortazar und Casassus 1998). Dies stellt aber einen Sonderfall dar und ist für die meisten Realinvestitionen nicht begründbar.

Viele Realinvestitionen wie z. B. IT-Projekte sind zwar zum Teil durch duplizierbare Risiken (Marktrisiken) gekennzeichnet, einen bedeutenden Teil des Gesamtrisikos machen aber häufig nicht duplizierbare Risiken (projektspezifische Risiken[3]) aus. Somit liegt ein unvollständiger Kapitalmarkt vor. In diesem Fall liegt es nahe ein „twin security“ zur Duplikation aller Risiken zu wählen, welches zwar nicht perfekt, aber möglichst stark mit dem Underlying der Realoption korreliert. Damit soll der sogenannte Hedgingfehler minimiert und zumindest näherungsweise der Realoptionswert bestimmt werden. Hubalek und Schachermayer (2001, S. 362) zeigen jedoch, dass dieses „naive Vorgehen“ nicht zwingend zu einer Minimierung des Hedgingfehlers – und somit einer bestmöglichen Lösung – führt. Smith und Nau (1995) sowie Dangl und Kopel (2003) zeigen vielmehr, dass sich bei der Existenz unvollständiger Kapitalmärkte die etablierten Optionsbewertungsmodelle bestenfalls zur Bestimmung einer Ober- und einer Untergrenze des Optionswerts eignen.

Somit lässt sich festhalten, dass bei IT-Projekten oder anderen Realinvestitionen weder mit dem klassischen BM noch mit dem klassischen BSM eine eindeutige Bestimmung des

[3] Zwar kann das projektspezifische Risiko im Rahmen eines geeigneten Risikomanagements vor und während der Durchführung des Projektes reduziert werden, jedoch ist eine vollständige Elimination i.d.R. nicht möglich (vgl. Henrich 2002, S. 379). In der Realoptionsliteratur wird dieses nicht duplizierbare Risiko auch als „private risks“ (Smith und Nau 1995), „technological uncertainty“ (Copeland und Antikarov 2003) oder „ideosyncratic risks“ (Taudes et al. 2000) bezeichnet.

Realoptionswerts möglich ist (vgl. auch Smith und Nau 1995, S. 807; Copeland und Antikarov 2003, S. 270; Diepold et al. 2009, S. 1604). Es stellt sich daher die Frage, wie die klassischen Optionsbewertungsmodelle erweitert werden können, um eine fundierte Berücksichtigung projektspezifischer Risiken und dadurch die Ermittlung eines eindeutigen Realoptionswerts zu ermöglichen.

2.2.1 Theoretische Ansätze zur Berücksichtigung projektspezifischer Risiken in der Realoptionstheorie

Smith und Nau (1995, S. 806) adressieren diese Fragestellung, indem sie ein beliebiges risikobehaftetes Projekt betrachten, dessen Gesamtrisiko sich in Marktrisiken („market risks“) und projektspezifische Risiken („private risks“) unterteilen lässt. Somit unterstellen sie einen teilweise vollständigen Markt[4]. Ziel ihres Beitrags ist die Ermittlung des Werts einer Verzögerungsoption auf das betrachtete risikobehaftete Projekt. Dazu erweitern Sie das BM um ein entscheidungstheoretisches Kalkül, wodurch die projektspezifischen Risiken korrekt berücksichtigt werden können. Konkret bewerten sie die Marktrisiken mit einem einstufigen Binomialbaum, indem sie mit Hilfe eines Duplikationsportfolios risikoneutrale Wahrscheinlichkeiten zur Bewertung der Marktrisiken bestimmen. Der Binomialbaum wird durch einen Entscheidungsbaum erweitert, in welchem die projektspezifischen Risiken durch subjektive Wahrscheinlichkeiten bewertet werden. Für alle Knoten (mögliche Zustände des Underlyings) dieses integrierten Baums werden anhand des risikolosen Zinssatzes zunächst die Kapitalwerte des Projekts, und für alle Endknoten (mögliche Endzustände des Underlyings) die Optionswerte berechnet. Im Rahmen einer Rückwärtsinduktion werden zunächst unter Verwendung der subjektiven Wahrscheinlichkeiten des Entscheidungsbaums und einer exponentiellen Nutzenfunktion Sicherheitsäquivalente für die Endknoten des Binomialbaums berechnet. Anschließend werden diese Sicherheitsäquivalente mit den risikoneutralen Wahrscheinlichkeiten des Binomialbaums gewichtet, woraus sich schließlich der Wert der Verzögerungsoption ergibt.

[4] Luenberger (2002, S. 1622) definiert einen teilweise vollständigen Markt wie folgt: „A market is partially complete if it is complete with respect to all (measurable) functions of market payoffs, although there are other assets whose payoffs are not functions of market payoffs.”

Copeland und Antikarov (2003, S. 270ff) beschreiben in Ihrem Buch nahezu dasselbe Vorgehen. Darüber hinaus stellen sie einen weiteren Ansatz zur Integration zweier beliebig voneinander abhängiger Risiken im BM vor („Quadranomial Approach“). Da jedoch für beide Risiken eine Duplizierbarkeit am Kapitalmarkt unterstellt wird, eignet sich dieser Ansatz aus den bereits genannten Gründen nicht zur korrekten Abbildung projektspezifischer Risiken.

Durch die in Smith und Nau (1995) und Copeland und Antikarov (2003) beschriebene Erweiterung des BM um ein entscheidungstheoretisches Kalkül existiert ein konkreter Ansatz, mit dem sowohl Marktrisiken als auch projektspezifische Risiken bei der Bewertung von Realoptionen korrekt berücksichtigt werden können. Allerdings kann im BM nur eine diskrete Anzahl von Umweltzuständen abgebildet werden. Smith und Nau (1995) betrachten bspw. lediglich vier mögliche Endzustände des betrachteten Projekts, die aus den Marktrisiken und projektspezifischen Risiken resultieren. Eine so stark vereinfachte Abbildung der Realität ist zwar zur Erläuterung des theoretischen Vorgehens sinnvoll, jedoch erscheint dieses Vorgehen zur Bewertung realer Investitionen eher ungeeignet. Wohl auch deswegen fand der Ansatz wenig Berücksichtigung in anwendungsorientierten Ansätzen zur Bewertung von IT-Projekten.

2.2.2 Anwendungsorientierte Ansätze zur Bewertung von IT-Projekten

Neben den theoretischen Ansätzen zur Bewertung von Realoptionen existiert eine Reihe von Arbeiten, die im Rahmen von Fallstudien erläutern, wie der Realoptionsansatz zur Bewertung von IT-Projekten angewendet werden kann. Da in der Realität eine Vielzahl von Umweltzuständen möglich ist, wird dabei im Gegensatz zu Smith und Nau (1995, S. 806) und Copeland und Antikarov (2003, S. 270) in der Regel auf das zeitstetige BSM zurückgegriffen (vgl. unter anderem Dos Santos 1991, Benaroch und Kauffman 1999, Taudes et al. 2000, Bardhan et al. 2004). Weitere Vorteile des BSM sind die analytische Lösbarkeit und die dadurch ermöglichte einfache Durchführung von Sensitivitätsanalysen (Benaroch und Kauffman 1999), aus denen häufig wichtige Implikationen für das Management im Hinblick auf die Parametrisierung der Modelle im Unternehmen abgeleitet werden können.

Dos Santos (1991) gilt als Pionier hinsichtlich der Anwendung von Optionsbewertungsmodellen auf IT-Investitionsentscheidungen. Er nutzt das ebenfalls aus der Finanzoptionstheorie bekannte Margrabe Model (Margrabe 1978), welches eine Erweiterung des BSM darstellt, zur Bewertung einer intertemporalen Abhängigkeit („software growth option“) zwischen einer Basisinvestition in SAP R/3 und einer darauf aufbauenden Investition in ein Folgeprojekt zum elektronischen Datenaustauch (EDI). Das Problem der nicht gegebenen Duplizierbarkeit projektspezifischer Risiken adressiert er aber nicht. Dasselbe gilt für Bardhan et al. (2004), die in ihrer Fallstudie ebenfalls das BSM zur Bewertung von intertemporalen Abhängigkeiten („project interdependencies“) zwischen 31 IT-Projekten aus dem IT-Portfolio eines US-amerikanischen Energieerzeugers verwenden.

In der Fallstudie von Benaroch und Kauffman (1999) wird keine intertemporale Abhängigkeit, sondern eine Verzögerungsoption auf ein elektronisches Zahlungssystem bewertet. Im Gegensatz zu den zuvor genannten Autoren thematisieren sie in ihrem Beitrag die Notwendigkeit eines gehandelten Underlyings. Obwohl sie in ihrem Beitrag eine Option auf ein IT-Projekt bewerten, welches nicht gehandelt wird, rechtfertigen sie die Anwendbarkeit des BSM damit, dass sie den Wert des Projekts bestimmen möchten, den es bei Handelbarkeit besitzen würde. Im Sinne eines wertorientierten IT-Portfoliomanagements erscheint dieses Argument sinnvoll. Dazu ist aber wie bereits zu Beginn dieses Abschnitts erläutert ein liquides Asset erforderlich, welches perfekt mit dem IT-Projekt korreliert.

Taudes et al. (2000), bewerten in Ihrer Fallstudie wiederum eine intertemporale Abhängigkeit („strategic growth option“) zwischen einer Basisinvestition in SAP/R3 und optionalen Folgeinvestitionen. Die Autoren gehen dabei auf den Aspekt ein, dass ein “twin security“ zur Bildung des Duplikationsportfolios aufgrund projektspezifischer Risiken („ideosyncratic risks“) bei IT-Projekten häufig nicht existiert. Sie abstrahieren daher von dieser – dem BSM zugrundeliegenden – Annahme mit dem Hinweis, dass die exakte Wertermittlung von IT-Projekten nur das sekundäre Ziel ihres Beitrags sei. Primäres Ziel sei vielmehr, das Denken in Optionen („option thinking“) bei der IT-Projektbewertung zu vermitteln. Gleichzeitig weisen die Autoren jedoch darauf hin, dass die Entwicklung eines Ansatzes, der die genannte Schwäche adressiert, eine interessante Forschungslücke darstellt.

2.2.3 Erkenntnisgewinn

Vor diesem Hintergrund ist dieser Beitrag den anwendungsorientierten Ansätzen zuzuordnen und adressiert die von Taudes et al. (2000) aufgezeigte Forschungslücke wie folgt:

Im ersten Schritt werden die entscheidungstheoretischen Erweiterungen des BM (vgl. Abschnitt 2.2.1) von Smith und Nau (1995) sowie von Copeland und Antikarov (2003) auf das stetige BSM übertragen. Damit werden die unter Abschnitt 2.2.2 beschriebenen, anwendungsorientierten Ansätze um ein entscheidungstheoretisches Kalkül zur Berücksichtigung des projektspezifischen Risikos erweitert. Dabei wird gezeigt, dass die Anwendung des klassischen BSM zu einer systematischen Unterbewertung von Ertrag und Risiko eines Basisprojekts führt.

Im zweiten Schritt wird erstmalig im Rahmen eines realen Fallbeispiels illustriert, wie das BSM bei der Existenz eines teilweise vollständigen Markts zur Bestimmung eines eindeutigen, präferenzabhängigen Realoptionswerts angewendet werden kann. Dabei werden die Ergebnisse mit den Ergebnissen der Anwendung des klassischen BSM verglichen, und es wird verdeutlicht, dass die korrekte Berücksichtigung des projektspezifischen Risikos zu veränderten Investitionsentscheidungen führen kann.

2.2.4 Fallbeispiel

Zur Veranschaulichung der Problemstellung wird zunächst ein Fallbeispiel eingeführt, welches die Relevanz der aufgezeigten Forschungslücke für Unternehmen verdeutlicht. Dieses Praxisbeispiel ist dem IT-Portfolio einer großen deutschen Retailbank entnommen, die jährlich einen hohen zweistelligen Millionenbetrag in IT-Projekte investiert. Aus Gründen der Vertraulichkeit wurden die Daten proportional zu den Originaldaten verändert.

Eine Multikanal-Vertriebsbank erwägt den Automatisierungsgrad beim Vertrieb von Konsumentenkrediten weiter zu erhöhen und zukünftig das risikoadjustierte Pricing von Krediten zu ermöglichen. Insbesondere soll die Anzahl der nicht automatisiert bearbeitbaren Anträge, die eine manuelle und daher vergleichsweise teure Nacharbeit erfordern, deutlich reduziert werden. Zudem sollen neue Konsumentenkreditprodukte, wie bspw. Sofortkredite mit kleinen Volumina und sogenannte „Ballonfinanzierungen“

eingeführt werden, die erst am Ende der Laufzeit getilgt werden. Dazu müssen die bestehenden Kreditprozesse neu gestaltet werden, was eine erhebliche Anpassung der dazugehörigen IT-Landschaft erfordert.

Die aktuelle IT-Landschaft (vgl. abstrahierte Abb. III.2-4 im Anhang) unterstützt alle Vertriebskanäle der Bank (insbesondere die absatzstarken Vertriebskanäle Filiale, Call-Center und Internet) über eine einheitliche Vertriebsmiddleware. Diese stellt zentral mehrere Hundert verschiedene Business Services zur Verfügung, auf welche die oben genannten Vertriebskanäle über Webfrontends zugreifen können (wie bspw. ein Service zur Bearbeitung von Geschäftspartnerdaten im bestandsführenden System (hier SAP Business Partner) oder zur Durchführung einer Haushaltsrechnung zur Bestimmung des frei verfügbaren Einkommens des Kreditnehmers). Die Vertriebsmiddleware bindet nicht nur die für den Vertrieb notwendigen Bestands- und Backendsysteme an. Auch externe Applikationen (bspw. Ratingagenturen wie Schufa und Infoscore) werden zentral angebunden und deren Funktionalität über Services für die Frontendsysteme exponiert. Dieses multikanalfähige Architekturkonzept soll auch zukünftig beibehalten und weiterentwickelt werden, da ein großes Wiederverwendungspotenzial in den mit anderen Geschäftsprozessen (unter anderem Giro-, Spar- und Kreditkartenprozesse) gemeinsam genutzten Business Services besteht.

Zur Umsetzung der aus den neu zu gestaltenden Kreditprozessen resultierenden IT-Anforderungen, sind dennoch Anpassungen und Erweiterungen in allen Ebenen der IT-Landschaft notwendig (Frontends, Middleware und Backend).

Da das aktuelle Kreditbestandssystem bei der Berechnung alternativer Kreditmodelle bisher kein risikoadjustiertes Pricing unterstützt, müssen wesentliche Komponenten der Kernbankapplikation ersetzt und auf die speziellen Bedürfnisse der Bank angepasst werden. So muss neben dem Zukauf eines Pricing-Moduls das Datenmodell erweitert werden, damit das zu Grunde liegende Preismodell persistiert werden kann (gemäß gesetzlicher Vorgaben). Zudem müssen weitere Systeme angebunden werden, um Pricing-relevante Informationen (wie bspw. die Anzahl deckungsloser Lastschriften bei Bestandkunden) zur Verfügung zu stellen. Die dafür notwendigen barwertigen Investitionsauszahlungen (Kauf eines Pricing-Moduls und Customizing) werden mit insgesamt 2 Mio. EUR veranschlagt.

Die Vertriebsmiddleware stellt bereits viele der notwendigen Business Services (wie die Anlage, Suche und Änderung von Geschäftspartnerdaten oder die externe Bewertung über Schufa und Infoscore) zur Verfügung, so dass im Wesentlichen nur die Kreditprozess-spezifischen Business Services (zum Beispiel Kreditmodellberechnung, interne Geschäftspartnerbewertung und Haushaltsrechnung) anzupassen beziehungsweise neu zu entwickeln sind. Gleiches gilt für die Frontends der Vertriebskanäle. Hier sind insbesondere die kanalspezifischen Masken neu zu erstellen, die den Vertriebsprozess für Konsumentenkredite unterstützen und die Services orchestrieren. Insgesamt werden für die notwendigen Anpassungen in der Vertriebsmiddleware und in den Frontends barwertige Auszahlungen in Höhe von 2,5 Mio. EUR veranschlagt.

Das gleichzeitige Ändern der IT-Architektur über alle Ebenen (Frontend, Middleware und Backend) ist bei kleinen Änderungen durchaus üblich (bspw. die Anpassung auf Basis gesetzlicher Vorgaben). Bei größeren Änderungen wie der hier beschriebenen, werden jedoch zunächst nur die Backendsysteme angepasst. Damit wird sichergestellt, dass die Nachbearbeitung von Kreditverträgen, die direkt auf den bestandsführenden Systemen erfolgt, zum Zeitpunkt der Produkteinführung etabliert und stabil ist. Zudem kann die Middleware auf stabilen Schnittstellen aufsetzen. Dies vereinfacht die Spezifikationsarbeit, die Abstimmung während der Entwicklungsphase und insbesondere auch die Testphase. Die Umsetzung des Gesamtvorhabens wird daher in zwei Stufen geplant:

In der ersten Stufe ($t = 0$) wird das neue Kreditbestandssystem in die Systemlandschaft integriert und an die speziellen Bedürfnisse der Bank angepasst, und die bestehenden Kreditverträge werden migriert (Basisprojekt). Hierfür wird von Beginn der Entwicklungstätigkeit bis zur Bereitstellung (Ende Migration) ein Zeitraum von einem Jahr veranschlagt. Da der Markt für Konsumentenkredite bereits weitgehend aufgeteilt ist und bekannt ist, dass andere Banken vergleichbare Angebote planen ist eine möglichst kurze „time-to-market“ erforderlich. Die Jahresfrist stellt somit für die Bank einen zwingend einzuhaltenden Meilenstein dar.

Nach einem Jahr ($t = 1$) soll – basierend auf der bis dahin realisierten Umsetzungsqualität des Basisprojekts – mit der zweiten Stufe begonnen werden, wobei die Vertriebssysteme (Frontends und Middleware) an die Umsysteme und an die bis dahin fertig gestellten

Bestandssysteme angebunden werden (Folgeprojekt). Die barwertigen Einzahlungen des Folgeprojekts hängen dabei wesentlich von der realisierten Umsetzungsqualität des Basisprojekts in $t = 1$ ab: Sollte es der Bank binnen einen Jahres nicht gelingen, alle Backendfunktionalitäten, die von den Vertriebsfrontends benötigt werden, durch das Bestandssystem bereitzustellen, so kann das Folgeprojekt nicht wie geplant durchgeführt werden. Dies führt in $t = 1$ zu erheblich geringeren barwertigen Einzahlungen im Vergleich zu den in $t = 0$ erwarteten barwertigen Einzahlungen des Folgeprojekts.

Für das optionale Folgeprojekt wird ein Entwicklungszeitraum von 6 Monaten veranschlagt. Im Falle der Durchführung des Folgeprojekts sollen mit dessen Entwicklungsbeginn ($t = 1$) gleichzeitig die Marketingaktivitäten für die neuen Produkte gestartet werden. Neben einer Mailingaktion an selektierte Bestandskunden (Potenzialkunden) soll insbesondere auch eine breit angelegte Marketingkampagne in Rundfunk- und Printmedien gestartet werden. Insgesamt werden für die Marketingaktivitäten weitere 1,5 Mio. EUR veranschlagt. Weitere Auszahlungen sind nicht entscheidungsrelevant. Abb. III.2-1 illustriert die anfallenden barwertigen Auszahlungen von Basis- und Folgeprojekt im zeitlichen Zusammenhang:

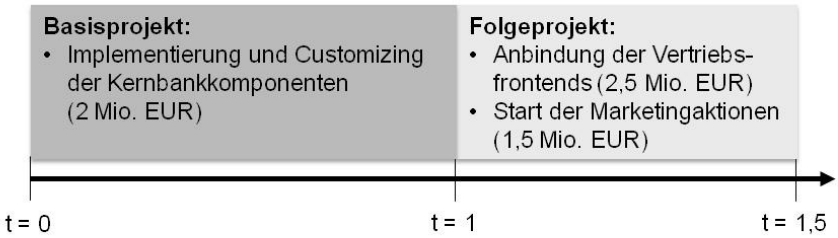

Abb. III.2-1 Zeitlicher Zusammenhang zwischen Basis- und Folgeprojekt

Die Bank steht nun im Zeitpunkt $t = 0$ vor der Entscheidung, ob sie das Basisprojekt durchführen soll oder nicht. Da ohne Anbindung der Vertriebssysteme kein Verkauf der neuen Kreditprodukte möglich ist, generiert das Basisprojekt isoliert betrachtet im Wesentlichen keine Einzahlungen (abgesehen von marginalen Prozessverbesserungen bei der Bestandsführung) und hat deshalb zunächst einen negativen Kapitalwert in Höhe von -2 Mio. EUR. Erst durch die Realoption auf die Durchführung des Folgeprojekts (intertemporale Abhängigkeit) zum Zeitpunkt $t = 1$ **kann** ein positiver Wertbeitrag für das Basisprojekt entstehen. Zur konkreten Bestimmung dieses Wertbeitrags, auf dessen Basis eine Entscheidung über die Durchführung des Basisprojekts getroffen werden kann, soll daher ein realoptionsbasierter Ansatz angewendet werden.

2.3 Bewertung intertemporaler Abhängigkeiten zwischen IT-Projekten unter Berücksichtigung des projektspezifischen Risikos

Ein Unternehmen steht vor der Entscheidung, ob es im Zeitpunkt $t = 0$ ein Basisprojekt mit einer Laufzeit von T Perioden durchführen soll, welches die technische Voraussetzung zur Durchführung eines Folgeprojekts schafft. Das Unternehmen hat im Falle einer Durchführung des Basisprojekts zum Zeitpunkt $t = T$ das Recht, aber nicht die Pflicht, dieses Folgeprojekt durchzuführen. Dieses Wahlrecht kann im Sinne eines wertorientierten ITPM als intertemporale Abhängigkeit bezeichnet und als Realoption (Wachstumsoption) auf das Folgeprojekt modelliert werden.

In diesem Beitrag steht die korrekte ex-ante Bewertung dieser Wachstumsoption zum Zeitpunkt $t = 0$ im Fokus der Betrachtung. Dabei gilt es nicht nur das den Optionswert beeinflussende Marktrisiko (vgl. klassisches BSM) sondern auch das projektspezifische Risiko des Folgeprojekts korrekt zu berücksichtigen. Von weiteren Risiken, die keinen direkten Einfluss auf den Optionswert haben und nur zu einer unnötigen Komplexität führen würden, wird im Folgenden – wie in der Realoptionstheorie üblich (vgl. bspw. Copeland und Antikarov 2003) – abstrahiert.

2.3.1 Annahmen

Sowohl die Zahlungsströme des Basisprojekts als auch die Zahlungsströme des Folgeprojekts sind in der Realität häufig risikobehaftet. Um die Auswirkungen des genannten projektspezifischen Risikos des Folgeprojekts auf den Wert der Wachstumsoption unabhängig vom Risiko des Basisprojekts betrachten zu können, wird von letzterem – wie in der Realoptionstheorie üblich – durch folgende vereinfachende Annahme abstrahiert:

A1: Die barwertigen Ein- und Auszahlungen des Basisprojekts – und damit dessen isolierter Kapitalwert (*NPV*) (ohne Berücksichtigung der Wachstumsoption) – sind zum Zeitpunkt $t = 0$ bekannt und sicher.

Zur korrekten ex-ante Bewertung der Wachstumsoption ist sowohl das Marktrisiko als auch das projektspezifische Risiko hinsichtlich der barwertigen Einzahlungen des Folgeprojekts (Underlying der Wachstumsoption), die aus Zufallsereignissen während der Laufzeit des Basisprojekts (Optionslaufzeit) resultieren, korrekt und vollständig zu berücksichtigen. Da sowohl das Marktrisiko als auch das projektspezifische Risiko in der Regel aus voneinander unabhängigen Zufallsereignissen resultieren, können beide Risiken unabhängig voneinander betrachtet werden.

Marktrisiko des Folgeprojekts während der Laufzeit des Basisprojekts: Dieses Risiko resultiert aus Zufallsereignissen wie bspw. Nachfrageänderungen oder Leitzinsänderungen während der Laufzeit des Basisprojekts und lässt sich – wie bereits erwähnt – am Kapitalmarkt duplizieren[5]. Das aus solchen Zufallsereignissen resultierende Marktrisiko des Folgeprojekts kann durch einen stochastischen Prozess (geometrische brown'sche Bewegung) über die Optionslaufzeit abgebildet werden[6] und wird im BSM durch die Volatilität σ repräsentiert.

Projektspezifisches Risiko des Folgeprojekts während der Laufzeit des Basisprojekts: Dieses Risiko resultiert unter anderem aus projektspezifischen Zufallsereignissen während der Laufzeit des Basisprojekts, welche zu einer unsicheren Umsetzungsqualität des Basisprojekts führen können. Da die barwertigen Einzahlungen des Folgeprojekts direkt von der Umsetzungsqualität des Basisprojekts abhängen, führen diese Zufallsereignisse indirekt zu dem projektspezifischen Risiko des Folgeprojekts. Typische Beispiele für solche Zufallsereignisse sind:

- **Unklarheiten oder Änderungen der Anforderungsbasis**: Zu Beginn des Basisprojekts ist nicht absehbar, ob die fachlichen Spezifikationen des Basisprojekts die Anforderungen hinreichend genau, vollständig und widerspruchsfrei beschreiben. Gleichzeitig können zusätzliche Anforderungen während der Laufzeit des

[5] Zur Duplikation des Marktrisikos des Folgeprojekts ist ein „twin security“ (Portfolio an liquiden Assets) am Kapitalmarkt zu identifizieren, für das gilt, dass identische Marktrisiko-erzeugende Zufallsereignisse zu den gleichen Abweichungen von dessen Erwartungswert wie von den erwarteten Einzahlungen des Folgeprojekts führen.

[6] Eine Reihe an Veröffentlichungen und empirischen Studien (e.g. Bethuyne 2002, Mahajan et al. 1993, Pfeiffer 1992) zeigt, dass eine geometrische brown'sche Bewegung die Wertentwicklung zukünftiger Projekte, welche typischerweise auf neuen Software Technologien basierende Applikationen beinhalten, gut beschreibt (Taudes et al. 2000).

Basisprojekts entstehen. Unzureichend spezifizierte und letztlich unzureichend umgesetzte Funktionalitäten können die darauf aufbauenden Folgeprojekte limitieren oder verhindern.

- **Probleme beim Austausch zentraler Legacysysteme**: Werden im Rahmen des Basisprojekts (schlecht oder nicht dokumentierte) Legacysysteme oder -funktionen ersetzt, können nicht vorhersehbare Seiteneffekte auftreten, die den Funktionsumfang des Basisprojekts einschränken und damit auch Folgeprojekte beeinflussen.
- **Fehler bei der Implementierung**: Unabhängig von den ersten beiden Punkten können Umsetzungsfehler während der Implementierung des Basisprojekts entstehen. Ist die Menge an kritischen Fehlern zu groß, kann auch dadurch gegebenenfalls der Funktionsumfang des Basisprojekts nur eingeschränkt genutzt werden und damit ein Folgeprojekt negativ beeinträchtigt werden.

Das daraus resultierende, projektspezifische Risiko des Folgeprojekts ist wie bereits erwähnt häufig am Kapitalmarkt nicht duplizierbar[7]. Dies hat zur Folge, dass zum Zeitpunkt $t = 0$ kein eindeutiger Wert für die barwertigen Einzahlungen des Folgeprojekts am Kapitalmarkt bestimmt werden kann. Um das projektspezifische Risiko abzubilden wird folgende Annahme getroffen:

A2: Die barwertigen Einzahlungen des Folgeprojekts zum Zeitpunkt $t = 0$ werden durch die nichtnegative Zufallsvariable $\tilde{S}_0$ repräsentiert, deren Dichtefunktion $f(s)$ bekannt ist.

Die Dichtefunktion $f(s)$ repräsentiert somit das projektspezifische Risiko des Folgeprojekts, das aus Zufallsereignissen *während der Laufzeit des Basisprojekts* resultiert.

Darüber hinaus existieren in der Realität natürlich auch Risiken (Marktrisiko und projektspezifisches Risiko) des Folgeprojekts, die aus Zufallsereignissen *während der Laufzeit des Folgeprojekts* resultieren. Da diese Risiken jedoch erst nach der Ausübung der Option realisiert werden, wird davon wie folgt abstrahiert:

[7] Für den Fall, dass Teile des genannten projektspezifischen Risikos am Kapitalmarkt dupliziert werden können, sind diese wie das Marktrisiko zu behandeln. Unter dem projektspezifischen Risiko werden solche Risiken verstanden, die **nicht** am Kapitalmarkt dupliziert werden können.

A3: Die barwertigen Einzahlungen des Folgeprojekts sind zum Zeitpunkt $t = T$ bekannt und sicher.

Diese Annahme wird auch in der klassischen Realoptionstheorie getroffen, um die zur Anwendung des BSM notwendige Einhaltung der sog. „boundary conditions“ (Hull 2006, S. 292) sicherzustellen[8].

Mit den bis hierher getroffenen Annahmen hinsichtlich der Risiken des Folgeprojekts wird sichergestellt, dass sowohl das Marktrisiko als auch das projektspezifische Risiko des Folgeprojekts zum Zeitpunkt $t = T$ aufgelöst sind. Die bis dato diskutierten Risiken des Folgeprojekts, deren zeitliche Entstehung sowie deren Berücksichtigung in diesem Beitrag sind in Abb. III.2-2 nochmals zusammengefasst.

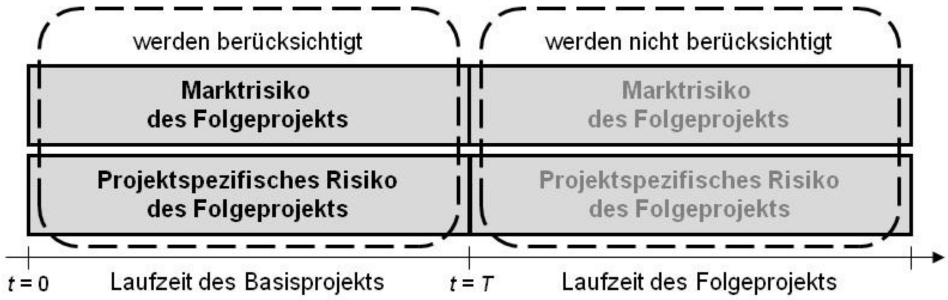

Abb. III.2-2 Risiken des Folgeprojekts und deren zeitliche Entstehung

Bisher wurden lediglich die barwertigen Einzahlungen des Folgeprojekts und die damit einhergehenden Risiken betrachtet. Für die barwertigen Auszahlungen des Folgeprojektes wird – konform zu den Annahmen der klassischen Realoptionstheorie – folgende Annahme getroffen[9]:

[8] Da in der Realität nach Abschluss des Basisprojekts allerdings die Zahlungsströme des Folgeprojekts häufig weder bekannt noch sicher sind, können auch die Sicherheitsäquivalente der unsicheren barwertigen Einzahlungen in $t = T$ bestimmt und zur Bewertung der Wachstumsoption mittels der „boundary conditions“ verwendet werden. Zur Bestimmung von Sicherheitsäquivalenten für unsichere Zahlungsströme von IT-Projekten im Rahmen eines wertorientierten ITPM sei bspw. auf Wehrmann und Zimmermann (2005) verwiesen.

[9] In einem ersten Modellierungsversuch wurden zur Repräsentation des projektspezifischen Risikos nicht nur die barwertigen Einzahlungen in $t = 0$ sondern die barwertigen Einzahlungsüberschüsse (Kapitalwert) des Folgeprojekts in $t = 0$ als Zufallsvariable angenommen und somit als Underlying modelliert. Da der Kapitalwert als Zufallsvariable aber auch negative Realisationen annehmen kann und das BSM nur für positive Werte des Underlyings definiert ist, wurde Annahme A2 in Kombination mit A4 gewählt.

A4: Die barwertigen Auszahlungen des Folgeprojekts X_0 sind zum Zeitpunkt $t = 0$ bekannt und sicher[10].

Das vorgestellte Annahmengerüst ist somit konsistent zu den Annahmen der klassischen Realoptionstheorie (vgl. bspw. Copeland und Antikarov 2003) und wurde um die Berücksichtigung des projektspezifischen Risikos des Folgeprojekts, das aus Zufallsereignissen während der Laufzeit des Basisprojekts resultiert, erweitert (vgl. Annahme A2). Im Folgenden werden deren Auswirkungen auf Ertrag und Risiko der Wachstumsoption – und damit des Basisprojekts – dargestellt sowie die Ergebnisse mit den Ergebnissen bei Anwendung des klassischen BSM verglichen[11]. Anschließend wird ein allgemeines Vorgehen zur Integration von Ertrag und Risiko und damit zur präferenzabhängigen Ermittlung des Wertbeitrags der Wachstumsoption und somit des Wertbeitrags des Basisprojekts erläutert.

2.3.2 Auswirkungen des projektspezifischen Risikos auf Ertrag und Risiko der Wachstumsoption und des Basisprojekts

Der Wert des Basisprojekts entspricht bei Anwendung des klassischen Realoptionsansatzes dem „Erweiterten Kapitalwert“ (*ENPV*), welcher sich aus dem isolierten Kapitalwert (*NPV)* und dem Optionswert (C_0) zusammensetzt (vgl. Trigeorgis 1996, S. 152). Da die barwertigen Einzahlungen des Folgeprojekts nicht am Markt beobachtbar sind, wird bei der Ermittlung des Optionswerts mit dem klassischen BSM der Erwartungswert der barwertigen Einzahlungen des Folgeprojekts ($E(\tilde{S}_0)$) als Wert des Underlyings herangezogen und zum Zeitpunkt $t = 0$ als bekannt und sicher angenommen. Gemäß der Black-Scholes-Funktion[12] $c(s)$ entspricht der Optionswert (C_0) nach der in

[10] Zur Berücksichtigung von Unsicherheiten der barwertigen Auszahlungen bei der Bewertung intertemporaler Abhängigkeiten zwischen IT-Projekten überträgt Dos Santos (1991) das Margrabe-Modell (Margrabe 1978) aus der Finanzoptionstheorie auf die Bewertung von Realoptionen.

[11] Für eine Zusammenfassung der verwendeten Notation, siehe Tab. III.2-4 im Anhang.

[12] Die Black-Scholes-Funktion zur Bewertung von Call-Optionen *c(S)* ist wie folgt definiert (Black und Scholes 1973):

$$c(S) = SN(d_1) - Xe^{rT}N(d_2), \text{ mit } d_1 = \frac{\ln\frac{S}{X} + (r + 0{,}5\sigma^2)T}{\sigma\sqrt{T}} \text{ und } d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

wobei r = risikoloser Zins; $N(\cdot)$ = Wert der Standardnormalverteilung an der Stelle $(\cdot)$.

diesem Beitrag verwendeten Notation $c[E(\tilde{S}_0)]$. Der Wert des Basisprojekts bei Anwendung des klassischen Realoptionsansatzes ist damit definiert als

(1) $ENPV = NPV + C_0 = NPV + c[E(\tilde{S}_0)]$.

Da das BSM auf einer risikoneutralen (präferenzfreien) Bewertung beruht, kann gemäß dieser Vorgehensweise ein sicherer Optionswert und somit ein sicherer Wert des Basisprojekts bestimmt werden.

Da in die Black-Scholes-Funktion $c(s)$ jedoch nur das Marktrisiko durch die Standardabweichung einfließt, ist zur Ermittlung des Optionswerts unter Berücksichtigung des projektspezifischen Risikos für jede mögliche Ausprägung s_i von $\tilde{S}_0$ mittels $c(s)$ der zugehörige Optionswert $c(s_i)$ zu bestimmen. Somit ergibt sich der Optionswert ebenfalls als Zufallsvariable ($\tilde{C}_0 = c(\tilde{S}_0)$), deren Dichtefunktion $g(c)$ die Auswirkung des projektspezifischen Risikos des Underlyings (barwertige Einzahlungen des Folgeprojekts) auf den Optionswert abbildet. Da jede mögliche Ausprägung $c(s_i)$ des Optionswerts die gleiche kumulierte Wahrscheinlichkeit wie der zugehörige Wert s_i des Underlyings (vgl. Gleichung (2)) besitzt, kann die zugehörige Dichtefunktion $g(c)$ approximiert werden.

(2) $\int_0^{c(s_i)} g(c)dc = \int_0^{s_i} f(s)ds$ für alle $s_i > 0$

Addiert man nun die Zufallsvariable $\tilde{C}_0$ zum isolierten Kapitalwert des Basisprojekts (*NPV)*, so erhält man gemäß Gleichung (3) für den Wert des Basisprojekts ebenfalls eine Zufallsvariable ($E\tilde{N}PV$):

(3) $E\tilde{N}PV = NPV + \tilde{C}_0 = NPV + c(\tilde{S}_0)$

Aus dieser Vorgehensweise resultieren im Gegensatz zur Anwendung des klassischen Realoptionsansatzes ein unsicherer Optionswert und damit auch ein unsicherer Wert des Basisprojekts. Wie sich dies auf den Ertrag (Erwartungswert der Zufallsvariable) und das Risiko (Abweichungen der Zufallsvariable von einem Zielwert) auswirkt wird im Folgenden erläutert.

Der Ertrag des Basisprojekts $E(E\tilde{N}PV)$ ergibt sich gemäß Gleichung (4) aus dem isolierten Kapitalwert des Basisprojekts (*NPV)* und dem Ertrag der Option ($E(\tilde{C}_0)$).

(4) $$E(E\tilde{N}PV) = NPV + E(\tilde{C}_0) = NPV + E[c(\tilde{S}_0)]$$

Um auf dieser Basis eine Aussage hinsichtlich der Veränderung des Ertrags im Vergleich zur Anwendung des klassischen Realoptionsansatzes treffen zu können, ist eine genauere Betrachtung der Black-Scholes-Funktion notwendig. Die Black-Scholes-Funktion ist bei Vorliegen von Wachstumsoptionen, welche den Charakter von Call-Optionen besitzen, eine streng monoton steigende ($c'(s) > 0$) und streng konvexe ($c''(s) > 0$) Funktion. Damit gilt die Jensen'sche Ungleichung, welche wie in Gleichung (5) dargestellt definiert ist.

(5) $E(c(\tilde{S}_0)) \geq c[E(\tilde{S}_0)]$, falls $c(s)$ konvex (vgl. Bamberg et al. 2007, S. 121)

Da die Black-Scholes-Funktion streng konvex ist, gilt für den hier betrachteten Fall: $E(\tilde{C}_0) > c[E(\tilde{S}_0)]$. Daraus folgt unmittelbar:

(6) $$E(E\tilde{N}PV) = NPV + E[c(\tilde{S}_0)] > NPV + c[E(\tilde{S}_0)] = ENPV$$

Somit kann folgendes erstes Ergebnis festgehalten werden:

(E1) Bei Anwendung des klassischen BSM zur Bewertung von intertemporalen Abhängigkeiten (vgl. Gleichung (1)) wird der Ertrag der Wachstumsoption und somit des Basisprojekts systematisch unterbewertet.

Die Unterschiede hinsichtlich des Optionswerts werden in Abb. III.2-3 veranschaulicht. Dort ist die Dichtefunktion des Underlyings $f(s)$, welche das projektspezifische Risiko des Folgeprojekts repräsentiert, die Dichtefunktion der Wachstumsoption $g(c)$, sowie deren Zusammenhang durch die streng monoton steigende und streng konvexe Black-Scholes-Funktion $c(s)$ grafisch dargestellt.

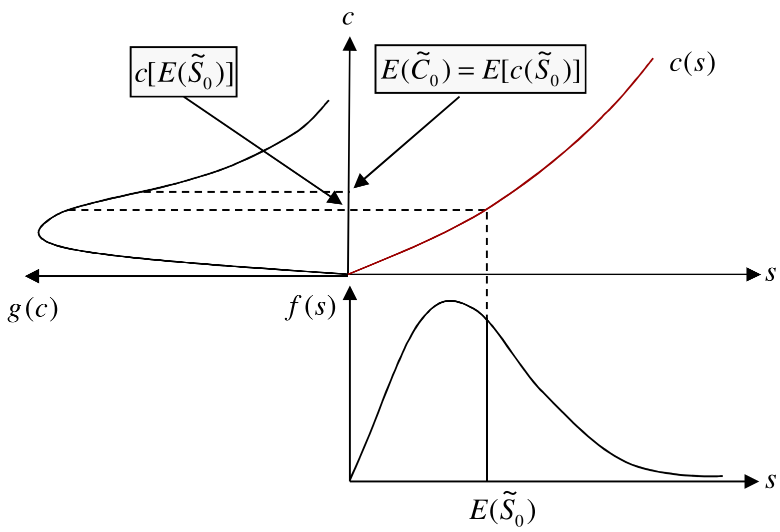

Abb. III.2-3 Auswirkungen des projektspezifischen Risikos auf den Optionswert

Abb. III.2-3 veranschaulicht außerdem die Auswirkungen der Jensen‘schen Ungleichung: Aufgrund der Konvexität von $c(s)$ wird die Dichtefunktion des Underlyings $f(s)$ für kleine s_i stärker gestaucht als für große s_i, womit $g(c)$ eine größere Schiefe[13] aufweist als $f(s)$. Da die kumulierte Wahrscheinlichkeit für $s_i = E(\tilde{S}_0)$ gemäß Gleichung (2) gleich hoch ist wie für $c(s_i) = c[E(\tilde{S}_0)]$, muss für $E(\tilde{C}_0)$ gelten: $E(\tilde{C}_0) > c[E(\tilde{S}_0)]$.

Da die Anwendung des klassischen Realoptionsansatzes zu einem sicheren Optionswert und damit zu einem sicheren Wert des Basisprojekts (*ENPV*) führt, ist folglich keine separate Risikobetrachtung erforderlich. Der hier vorgestellte Ansatz dagegen ermöglicht die Berücksichtigung des projektspezifischen Risikos, das nicht durch das Duplikationsportfolio am Kapitalmarkt gehedgt werden kann. Dieses Risiko muss zusätzlich zum Ertrag zur Ermittlung des Wertbeitrags der Option und damit des Wertbeitrags des Basisprojekts berücksichtigt werden. Dies führt zu einem zweiten Ergebnis:

[13] Die Schiefe *v(X)* einer Zufallsvariablen X ist folgendermaßen definiert (vgl. Vogel 1997, S. 122):

$$v(X) = \frac{E((X - E(X))^3)}{VAR(X)^{\frac{3}{2}}}$$

(E2) Bei Anwendung des klassischen BSM zur Bewertung von intertemporalen Abhängigkeiten (vgl. Gleichung (1)) wird das projektspezifische Risiko vernachlässigt und somit das Risiko der Wachstumsoption und des Basisprojekts systematisch unterbewertet.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sowohl der Ertrag als auch das Risiko durch die Anwendung des klassischen BSM systematisch unterbewertet werden.

2.3.3 Präferenzabhängige Ermittlung des Wertbeitrags der Option und des Basisprojekts

Wie bereits erwähnt, ist ohne Existenz eines vollständigen Kapitalmarkts keine risikoneutrale Bewertung einer Realoption möglich. Vielmehr gilt es neben dem Ertrag auch das mit der Realoption verbundene, nicht duplizierbare, projektspezifische Risiko – gemäß der Risikopräferenz des Entscheiders – zu berücksichtigen (Hubalek und Schachermayer 2000, S. 362). Dazu ist eine Präferenzfunktion[14] notwendig. Da ein Entscheider in der Regel versucht, seinen erwarteten Nutzen zu maximieren, ist eine Präferenzfunktion zu wählen, die mit dem Bernoulli-Prinzip[15] kompatibel ist. „Aufgrund seiner theoretischen Fundierung wird das Bernoulli-Prinzip in der Literatur als das rationale Entscheidungsprinzip für Risikosituationen angesehen und insbesondere wegen seiner Flexibilität und seiner im Prinzip universellen Anwendbarkeit […] bevorzugt“ (Bamberg und Coenenberg 2006, S. 117). Wird eine Präferenzfunktion gewählt, die nicht mit dem Bernoulli-Prinzip kompatibel ist, so kann nicht sichergestellt werden, dass die getroffenen Entscheidungen entscheidungstheoretisch fundiert und im Sinne einer Nutzenmaximierung rational sind, d. h. es kann zur Auswahl nicht rationaler Entscheidungen kommen (vgl. zur ausführlichen Diskussion des Bernoulli-Prinzips auch anhand der bisherigen Literatur bspw. Bamberg und Coenenberg 2006, S. 81ff). Da im Rahmen eines wertorientierten ITPM der konkrete Wertbeitrag der intertemporalen Abhängigkeit ermittelt werden soll, ist es darüber hinaus erforderlich, dass das Ergebnis

---

[14] Unterschiedliche Präferenzfunktionen werden bspw. in Elton et al. (2007) diskutiert.

[15] Gemäß dem Bernoulli-Prinzip gilt für die Präferenzfunktion $\varphi(s) = E(u(s))$, mit einer Nutzenfunktion $u(s)$, die jeder möglichen Realisierung der Zufallsvariable S einen eindeutigen Nutzenwert zuweist (Neumann und Morgenstern 1944; Bernoulli 1954). Ist der Entscheider risikoavers (risikoaffin), so ist die Nutzenfunktion konkav (konvex).

der gewählten Präferenzfunktion eine direkt interpretierbare monetäre Größe darstellt, die den Nutzen eines Sicherheitsäquivalents für den unsicheren Optionswert $\tilde{C}_0$ repräsentiert. Die Wahl einer solchen Präferenzfunktion[16] hängt aber insbesondere vom gewählten Risikomaß, von der Risikoeinstellung des Entscheiders und von den Verteilungseigenschaften des Optionswerts ab. Deshalb wird im Folgenden zunächst kurz erläutert, wie diese Aspekte bei der Wahl einer geeigneten Präferenzfunktion zu berücksichtigen sind:

- **Risikomaß**

  Da das Ergebnis der Präferenzfunktion (Wertbeitrag) eine monetäre Größe darstellen soll, ist neben dem Ertrag $E(\tilde{C}_0)$ auch das Risiko als monetäre Größe zu quantifizieren und ein entsprechendes Risikomaß zu wählen. Dabei spielt das Risikoverständnis des Entscheiders eine entscheidende Rolle. Versteht der Entscheider Risiko sowohl als Gefahr als auch als Chance, so sollte ein Volatilitäts-Risikomaß wie bspw. die Varianz gewählt werden, welches sowohl die negativen als auch die positiven Abweichungen vom erwarteten Optionswert repräsentiert. Versteht der Entscheider hingegen Risiko nur als Gefahr und somit ausschließlich als negative Abweichung vom Erwartungswert, so empfehlen sich Shortfall-Risikomaße wie bspw. Lower Partial Moments (*LPM*) zur Risikoquantifizierung. Abhängig von dem entsprechend des Risikoverständnisses gewählten Risikomaß ist eine geeignete Präferenzfunktion zu wählen.

- **Risikoeinstellung des Entscheiders**

  Neben dem Risikoverständnis und der damit einhergehenden Quantifizierung des Risikos muss sich der Entscheider auch seiner generellen Einstellung gegenüber Risiko bewusst werden. Konkret ist zunächst zu bestimmen, ob der Entscheider risikoavers, risikoneutral oder risikoaffin ist. Dazu genügt es, dem Entscheider zwei hypothetische Projektalternativen vorzulegen, wobei Projekt 1 einen sicheren und Projekt 2 einen unsicheren Wert hat. Gleichzeitig entspricht der sichere Wert von Projekt 1 dem erwarteten Wert von Projekt 2. Ist der Entscheider risikoavers, so wählt er Projekt 1. Ist er risikoaffin, so wählt er dagegen Projekt 2. Sonst ist er risikoneutral

[16] Details zur Wahl einer Präferenzfunktion und deren Kompatibilität mit dem Bernoulli-Prinzip können bspw. in Schneeweiß (1967), Eisenführ und Weber (1999) oder Bamberg und Coenenberg (2006) nachgelesen werden.

und indifferent zwischen den Projektalternativen. Abhängig von der so definierten Risikoeinstellung des Entscheiders ist eine geeignete Präferenzfunktion zu wählen.

- **Verteilungseigenschaften des Optionswerts**
  Darüber hinaus ist zu beachten, dass einige Präferenzfunktionen nur für Zufallsvariablen (hier: Optionswert) mit bestimmten Verteilungseigenschaften zulässig sind. Da in der Regel und im hier betrachteten Fall über die Verteilungseigenschaft des Optionswerts keine eindeutige Aussage getroffen werden kann, kommen zur präferenzabhängigen Bewertung der Option lediglich verteilungsunabhängige Präferenzfunktionen in Frage.

Weit verbreitete und viel diskutierte Präferenzfunktionen zur Integration von Ertrag und Risiko sind die (μ,σ)-Regeln. Diese sind jedoch nicht alle mit dem Bernoulli-Prinzip kompatibel. Da die Standardabweichung σ als Risikomaß sowohl die negativen als auch die positiven Abweichungen vom Erwartungswert μ repräsentiert, eignen sich (μ,σ)-Regeln darüber hinaus lediglich für Entscheider mit einem entsprechenden Risikoverständnis. Eine häufig verwendete (μ,σ)-Regel ist bspw. $\Phi = \mu - \frac{\alpha}{2}\sigma^2$. Diese Präferenzfunktion ist aber lediglich für risikoaverse Entscheider (α repräsentiert den Grad der Risikoaversion) und normalverteilte Zufallsvariablen mit dem Bernoulli-Prinzip kompatibel und daher für die präferenzabhängige Ermittlung des Wertbeitrags der Option grundsätzlich nicht geeignet.

Eine Präferenzfunktion, die für ein Shortfall-Risikomaß (hier Ausfallerwartung (AE)) definiert ist, lautet $\Phi = \mu - \lambda AE$. Diese ist ebenfalls für risikoaverse Entscheider (λ repräsentiert den Grad der Risikoaversion), jedoch im Vergleich zu der zuvor diskutierten (μ,σ)-Regel verteilungsunabhängig, mit dem Bernoulli-Prinzip kompatibel.

Wie die beiden beispielhaften Präferenzfunktionen verdeutlichen, hängt die Wahl einer geeigneten Präferenzfunktion sehr stark von den genannten Aspekten ab.

Basierend auf einer nunmehr entsprechend gewählten Präferenzfunktion kann der Entscheider den Wertbeitrag der Option ermitteln. Wenn keine weiteren Investitionsalternativen vorliegen, tätigt der Entscheider letztendlich die Investition in das Basisprojekt für den Fall, dass dessen isolierter Kapitalwert zusammen mit dem

Wertbeitrag der Option positiv ist ($NPV + \Phi > 0$). Zur Bestimmung des Wertbeitrags des Basisprojekts, kann alternativ auch zunächst der Ertrag des Basisprojekts $E(E\tilde{N}PV)$ gemäß Gleichung (4) bestimmt werden und die Präferenzfunktion auf den Ertrag und das Risiko des Basisprojekts angewendet werden (vgl. Abschnitt 4). In diesem Fall repräsentiert das Ergebnis der Präferenzfunktion Φ den Wertbeitrag des Basisprojekts und die Investition in das Basisprojekt wird getätigt, wenn $\Phi > 0$ gilt.

Vergleicht man diesen Ansatz mit der Anwendung des klassischen BSM (vgl. Gleichung (1)), so beeinflussen bei einem risikoaversen Entscheider der Ertrag ($E(\tilde{C}_0)$) und das projektspezifische Risiko der Wachstumsoption den Wertbeitrag des Basisprojekts gegenläufig. Der höhere Ertrag im Vergleich zur Anwendung des klassischen BSM wirkt positiv auf den Wertbeitrag; das höhere Risiko wirkt dagegen negativ. Ein risikoneutraler Entscheider entscheidet lediglich auf Basis des Ertrags, welcher im Vergleich zur Anwendung des klassischen BSM höher ist. Dies entspricht dem Verständnis der klassischen Optionstheorie, die besagt, dass ein höheres Risiko (hier das zusätzliche projektspezifische Risiko) den Optionswert erhöht (Hull 2006, S. 207). Ein risikoaffiner Entscheider bewertet das Risiko positiv was zu einer weiteren Erhöhung des Wertbeitrags führt. Ob sich der Wertbeitrag der Wachstumsoption und somit der Wertbeitrag des Basisprojekts letztendlich durch den in diesem Beitrag vorgestellten Ansatz im Vergleich zur Anwendung des klassischen BSM erhöht oder verringert, hängt somit stark von der Risikoeinstellung des Entscheiders ab.

2.4 Anwendung des Ansatzes

Zur Veranschaulichung des vorgestellten Ansatzes wird dieser im Folgenden auf das bereits eingeführte Fallbeispiel der Multikanal-Vertriebsbank angewendet und dessen Nutzen illustriert. Der *NPV* des Basisprojekts (Erneuerung des Kreditbestandssystems) beträgt wie oben bereits genannt -2 Mio. EUR. Diese Zahlungen können als sicher angenommen werden, da es sich weitgehend um ein Festpreisprojekt handelt, bei dem ein extern beschafftes Pricing-Modul anzupassen ist. Die barwertigen Auszahlungen für das Folgeprojekt (Anpassungen und Erweiterungen der Middleware und Vertriebsfrontends) wurden durch attributbasierte Expertenschätzungen (Anzahl neuer beziehungsweise zu modifizierender Services und deren Komplexität, Anzahl neuer beziehungsweise zu modifizierender Oberflächen (Graphical User Interfaces) etc.) durch den IT-Dienstleister der Bank auf 2,5 Mio. EUR geschätzt und im Falle einer gewünschten Durchführung des Folgeprojekts von einem externen IT-Dienstleister zu einem Fixpreis angeboten. Die Marketingaktivitäten schlagen mit 1,5 Mio. EUR zu Buche. Somit liegen die barwertigen Auszahlungen des Folgeprojekts X_0 bei insgesamt 4 Mio. EUR. Als risikolosen Kalkulationszins nimmt die Bank für alle IT-Investitionen grundsätzlich einen Zinssatz von 5% an. Die Laufzeit des Basisprojekts und somit die Optionslaufzeit beträgt ein Jahr ($T = 1$). Die barwertigen Einzahlungen des Folgeprojekts gelten zum Entscheidungszeitpunkt $t = 0$ als unsicher, da sich verschiedene Zufallsereignisse auf deren Höhe auswirken können. So identifiziert die Bank potenzielle Zinsniveauschwankungen, volatile Marktnachfrage und Aktivitäten anderer Banken als potenzielle Zufallsereignisse während der Laufzeit des Basisprojekts, welche Einfluss auf den Absatz der neuen Kreditprodukte und damit auf die Einzahlungen des Folgeprojekts haben können (Marktrisiko). Als weiterer Unsicherheitsfaktor bei derartigen Großprojekten, die alle Ebenen der IT-Landschaft betreffen, gilt erfahrungsgemäß die nach Abschluss des Basisprojekts erreichte Umsetzungsqualität (im Hinblick auf den nutzbaren Funktionsumfang) der benötigten Basisfunktionalitäten (projektspezifisches Risiko). Nur wenn alle erforderlichen Backendfunktionalitäten fristgerecht vollständig und in hinreichender Qualität vorliegen, lassen sich diese an die Middleware (und indirekt an die Frontends) anbinden und Integrationstest, Regressionstest und End-to-End-Tests durchführen. Sollten nach dem Rollout der Backendfunktionalitäten jedoch Mängel hinsichtlich der Qualität der Backendsysteme beziehungsweise der zur Verfügung gestellten Funktionalitäten bestehen, können Kreditprodukte nicht oder nur mit einem erhöhten manuellen Nachbereitungsaufwand (bspw. im Backoffice) vertrieben werden. Insofern wirkt sich die Qualität der Backendsysteme auf die barwertigen Einzahlungen des Folgeprojekts aus, was typisch für derartige Basisprojekte ist. Da der Bank keine Informationen über die Dichtefunktion $f(s)$ der barwertigen Einzahlungen vorliegen, wird eine Expertenbefragung durchgeführt, um das projektspezifische Risiko bei der Bewertung zu berücksichtigen. Konkret werden drei alternative Szenarien (Worst-Case, Most-Likely und Best-Case) definiert und die zugehörigen barwertigen Einzahlungen s_i mit deren Eintrittswahrscheinlichkeiten p_i für $i \in \{1, 2, 3\}$ geschätzt. Diese Vorgehensweise entspricht einer Diskretisierung der im Modell stetig angenommenen barwertigen Einzahlungen $\tilde{S}_0$.

Bei vollständiger Umsetzung des Basisprojekts (alle Funktionalitäten in hinreichender Qualität) können durch den optimierten Automatisierungsgrad und damit geringen manuellen Bearbeitungsaufwand für nicht automatisiert bearbeitbare Anträge im Backoffice die Personalkosten erheblich reduziert werden, was zu barwertigen Einzahlungen (welche bereits mögliche Einsparungen von Personalkosten beinhalten) in Höhe von s_1 = 8 Mio. EUR führt. Diesem Szenario wird eine Eintrittswahrscheinlichkeit von p_1 = 0,3 zugeordnet. Dies setzt jedoch voraus, dass unter anderem eine Lösung zum Umgang mit sogenannten Identitätsvorbehalten gefunden wird, welche derzeit einen hohen manuellen Nachbearbeitungsaufwand verursachen. Identitätsvorbehalte bestehen immer dann, wenn der Geschäftspartner (Kunde) systemseitig nicht eindeutig identifiziert werden kann. Ursächlich hierfür ist vielfach eine mangelnde Datenqualität und meist treten diese im Zusammenhang mit Bonitätsanfragen bei externen Anbietern auf (z. B. Schufa). Kann für dieses fachliche Problem nicht fristgerecht eine automatisierte Lösung gefunden werden, tritt das Most-Likely-Szenario ein. Hierbei gehen die Experten davon aus, dass mit dem Basisprojekt alle notwendigen Funktionalitäten bereitgestellt werden, die einen Verkauf aller geplanten Kreditprodukte in allen Vertriebskanälen ermöglichen. Dieses Szenario, mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von $p_2 = 0{,}4$, führt zu barwertigen Einzahlungen des Folgeprojekts in Höhe von $s_2 = 6$ Mio. EUR. Als drittes Szenario wird ein Worst-Case-Szenario definiert, welches den Fall abdeckt, dass das Basisprojekt zwar abgeschlossen, jedoch nicht alle benötigten Kreditmodelle berechnet und in der Bestandsverwaltung automatisiert bearbeitet werden können. Damit ließen sich im ersten Schritt nicht alle geplanten neuen Kreditprodukte in den Vertriebskanälen verkaufen, was zu verminderten barwertigen Einzahlungen führen würde. Der Barwert der Einzahlungen wird für dieses Szenario auf $s_3 = 3$ Mio. EUR prognostiziert. Die Eintrittswahrscheinlichkeit des Worst-Case-Szenarios wird mit p_3 = 0,3 veranschlagt. Anhand der mit den Eintrittswahrscheinlichkeiten gewichteten barwertigen Einzahlungen des Folgeprojekts lässt sich der Erwartungswert der barwertigen Einzahlungen $E(\tilde{S}_0)$ in Höhe von 5,70 Mio. EUR berechnen (vgl. Tab. III.2-1).

Tab. III.2-1 Bestimmung des Erwartungswerts der barwertigen Einzahlungen

Szenario	Barwert der Einzahlungen des Folgeprojekts (s_i)	Eintrittswahr-scheinlichkeit (p_i)	Erwartungswert der barw. Einz. ($E(\tilde{S}_0)$)
Best-Case	8 Mio. EUR	30%	5,70 Mio. EUR
Most-Likely	6 Mio. EUR	40%	
Worst-Case	3 Mio. EUR	30%	

Bei Anwendung des klassischen Realoptionsansatzes verwendet die Bank den so berechneten Erwartungswert der barwertigen Einzahlungen $E(\tilde{S}_0)$ als Wert des Underlyings für die Wachstumsoption. Zur Bestimmung des Marktrisikos orientiert sich die Bank an einem Kreditderivate-Index (iTraxx Europe), welcher eine Volatilität von 40% p.a. aufweisen (vgl. Byström 2005). Der Kreditderivate-Index eignet sich in diesem Fall sehr gut als „twin security“, da durch dessen Volatilität identische Zufallsereignisse repräsentiert werden wie durch das Marktrisiko des Folgeprojekts. Ericsson et al. (2005) bestätigen bspw., dass Leitzinsschwankungen einen signifikanten Einfluss auf den Wert von Kreditderivaten haben. Gleichzeitig wirken sich Leitzinsschwankungen gleichermaßen auf den Erfolg des Folgeprojekts (d.h. auf die aus dem Verkauf neuer Kreditprodukte generierten Einzahlungen) aus.

Mit Hilfe dieser Werte resultiert nach Anwendung des klassischen BSM ein Optionswert in Höhe von 2,05 Mio. EUR. Da dieser den negativen passiven Kapitalwert des Basisprojekts (NPV = -2 Mio. EUR) um 0,05 Mio. EUR übersteigt, ist der Wertbeitrag des Basisprojekts unter Berücksichtigung der intertemporalen Abhängigkeit zum Folgeprojekt positiv (vgl. Gleichung (1)):

$$ENPV = -2\ Mio.\ EUR + 2{,}05\ Mio.\ EUR = 0{,}05\ Mio.\ EUR$$

Auf Basis der Anwendung des klassischen BSM kommt die Bank somit zu dem Schluss, dass die Investition in das Basisprojekt aufgrund des positiven Wertbeitrags durchgeführt werden sollte.

Da durch diese Vorgehensweise das projektspezifische Risiko des Folgeprojekts nicht berücksichtigt wird, wird nun durch die vorgestellte entscheidungstheoretische Erweiterung des klassischen BSM veranschaulicht, inwiefern sich diese auf die

Investitionsentscheidung auswirken können. Dazu wird zunächst für jedes Szenario der zugehörige Optionswert $c(s_i)$ ermittelt (vgl. Tab. III.2-2).

Tab. III.2-2 Bestimmung des erwarteten Optionswerts[17]

Szenario	Barwert der Einzahlungen des Folgeprojekts (s_i)	Optionswert ($c(s_i)$)	Erwarteter Optionswert ($E(c(\tilde{S}_0))$)
Best-Case	8 Mio. EUR	4,22 Mio. EUR	2,26 Mio. EUR
Most-Likely	6 Mio. EUR	2,31 Mio. EUR	
Worst-Case	3 Mio. EUR	0,23 Mio. EUR	

Um über die Investition in das Basisprojekt zu entscheiden, muss die Bewertung im Zeitpunkt $t = 0$ erfolgen. Dazu werden die verschiedenen Optionswerte $c(s_i)$ mit ihren Eintrittswahrscheinlichkeiten p_i gewichtet, woraus sich ein erwarteter Optionswert $E(c(\tilde{S}_0))$ in Höhe von circa 2,26 Mio. EUR ergibt. Damit erhöht die Berücksichtigung der Verteilungseigenschaft der Option den erwarteten Wert (Ertrag) des Basisprojekts um 210 Tsd. EUR auf 0,26 Mio. EUR, was in diesem Beispiel einer Erhöhung des Ertrags um mehr als 400% entspricht:

$$E(E\tilde{N}PV) = -2\ Mio.\ EUR + 2{,}26\ Mio.\ EUR = 0{,}26\ Mio.\ EUR$$

Zur Berücksichtigung des projektspezifischen Risikos gilt es, dieses im nächsten Schritt zu quantifizieren. Gemäß der in Abschnitt 2.3.3 beschriebenen Vorgehensweise wird dazu zunächst ein geeignetes Risikomaß durch eine Analyse des Risikoverständnisses der Bank ermittelt. Diese versteht unter dem Risikobegriff meist – und insbesondere bei erfolgskritischen Projekten – die mögliche negative Abweichung von einem Zielwert. Dies geht mit dem allgemeinen Risikoverständnis im IT-Risikomanagement einher, wo insbesondere Shortfall-Risiken betrachtet werden (vgl. Bonham 2005, S. 13). Unter den

[17] Betrachtet man im Speziellen das Worst-Case-Szenario so lässt sich festhalten, dass der zugehörige Optionswert leicht positiv ist, obwohl die barwertigen Einzahlungen in Höhe von 3 Mio. EUR geringer sind als die anfallenden Auszahlungen in Höhe von 4 Mio. EUR. Dies ist auf den Zeitwert der Option zurückzuführen, welcher besagt, dass sich im Zeitraum zwischen $t = 0$ und $t = 1$ aufgrund des existierenden Marktrisikos (welches im BSM als Volatilität einfließt) die Einzahlungen (s_3) noch positiv entwickeln können und damit die Auszahlungen (X) zum Zeitpunkt $t = 1$ überschreiten können. Erst zum Zeitpunkt $t = 1$ wird schließlich über die Durchführung des Folgeprojekts (d.h. Ausübung der Option) entschieden, da zu diesem Zeitpunkt aufgrund der oben erwähnten „boundary condition“ gilt: $c(s_3)= \max(0; s_3 - X)$.

entsprechenden Shortfall-Risikomaßen erscheint insbesondere die Klasse der Lower Partial Moments (*LPM*) passend, welche ausschließlich negative Abweichungen von einem – vom Entscheider festgelegten – Zielwert berücksichtigen. Sie besitzen damit den „Vorzug einer Risikodefinition (…), die konsistent zu einem intuitiven Risikoverständnis ist“ (Albrecht und Maurer 2005, S. 115). Die herkömmlichen *LPM* können in drei Fälle unterschieden werden: die Ausfallwahrscheinlichkeit (LPM_0), die Ausfallerwartung (LPM_1) und die Ausfallvarianz (LPM_2). Da das Risiko im Sinne eines wertorientierten ITPM lediglich durch die Ausfallerwartung mit einem direkt interpretierbaren monetären Wert quantifiziert wird, soll diese im Folgenden Anwendung finden. Sie ist wie folgt definiert (vgl. Albrecht und Maurer 2005, S. 118):

(7) $$LPM_1(z;R) = \sum_{r_i<z}(z-r_i)p_i$$

Der Parameter *R* entspricht dabei einer diskreten Zufallsvariable mit den Ausprägungen r_i ($i=1,\ldots,m$). z ist ein von der Bank definierter Wert, den die Ausprägungen der Zufallsvariable mindestens erreichen sollen. Im hier betrachteten Fall gilt $R = E\tilde{N}PV$ und damit $r_i = enpv_i$. Um mit der Ausfallerwartung den erwarteten Verlust im Sinne eines negativen Werts der Investition in das Basisprojekt zu bestimmen, wählt die Bank $z = 0$. Somit kann sie das Shortfall-Risiko des Basisprojekts wie folgt quantifizieren:

(8) $$LPM_1(0;E\tilde{N}PV) = \sum_{enpv_i<0}(0-enpv_i)p_i \text{, mit } enpv_i = NPV + c(s_i)$$

In Tab. III.2-3 sind die möglichen Ausprägungen $enpv_i$ des Werts des Basisprojekts $E\tilde{N}PV$ dargestellt:

Tab. III.2-3 Bestimmung des Werts des Basisprojekts

Szenario	Isolierter Kapitalwert (*NPV*)	Optionswert ($c(s_i)$)	Wert des Basisprojekts ($enpv_i$)
Best-Case	- 2 Mio. EUR	4,22 Mio. EUR	2,22 Mio. EUR
Most-Likely	- 2 Mio. EUR	2,31 Mio. EUR	0,31 Mio. EUR
Worst-Case	- 2 Mio. EUR	0,23 Mio. EUR	-1,77 Mio. EUR

Wie in Tab. III.2-3 verdeutlicht, ist der Wert des Basisprojekts genau bei Eintreten des Worst-Case-Szenarios negativ. Für einen geforderten Zielwert von 0 EUR ergibt sich gemäß Gleichung (8) eine Ausfallerwartung in Höhe von

$$LPM_1(0;E\tilde{N}PV) = 1{,}77\ Mio.\ EUR \cdot 0{,}3 = 0{,}53\ Mio.\ EUR$$

Nachdem einem Ertrag in Höhe von 0,26 Mio. EUR ein Risiko von 0,53 Mio. EUR gegenübersteht, ist zur Ermittlung des Wertbeitrags eine Präferenzfunktion zu bestimmen, mit der ein Wertbeitrag aus Ertrag und Risiko im Sinne der Ausfallerwartung ermittelt wird.

Da eine geeignete Präferenzfunktion darüber hinaus aber auch von der Risikoeinstellung des Entscheiders abhängt, wird zunächst die Risikoeinstellung der Bank analysiert. Dazu werden gemäß der Vorgehensweise aus Abschnitt 2.3.3 der Bank zwei hypothetische Projektalternativen mit gleichem erwarteten Wert (Ertrag) vorgelegt, wobei ein Projekt einen sicheren und ein Projekt einen unsicheren Wert hat. Da sich die Bank für das sichere Projekt entscheidet wird sie als risikoavers eingeschätzt.

Erfolgt die Projektentscheidung eines risikoaversen Entscheiders wie in diesem Fall nach Erwartungswert und Ausfallerwartung, muss bei Gültigkeit des Bernoulli-Prinzips für die Präferenzfunktion der folgende Zusammenhang gelten (Bamberg und Coenenberg 2006, S. 107):

(9) $\Phi(E\tilde{N}PV) = E(E\tilde{N}PV) - \lambda LPM_1(0;E\tilde{N}PV)$ [18]

[18] Die zugehörige Bernoulli-Nutzenfunktion lautet:

$$u(x) = \begin{cases} x, \text{ falls } x \geq 0 \\ (1+\lambda)x, \text{ sonst} \end{cases}$$

Diese erscheint für einen Entscheider sinnvoll, der insbesondere verlustavers ist, d.h. Ereignisse vermeiden will, für die $x < 0$ gilt. Dass der Grad der Risikoaversion für $x < 0$ konstant ist, d.h. unabhängig davon, ob ein geringer oder ein hoher Projektverlust erzielt wird, lässt sich bspw. für IT-Infrastrukturprojekte, welche für den gesamten Unternehmenserfolg kritisch sind, leicht begründen, da ein Verlust ($x < 0$) hier einem unternehmenskritischen Scheitern des Projekts entsprechen kann. Auch wenn diese Nutzenfunktion die Mängel aufweist, dass sie unbeschränkt ist und im positiven sowie negativen Bereich linear verläuft, ist sie „in vielen Fällen eine hinreichend gute (…) Approximation“ (Schneeweiß 1967, S. 101) an eine konkav gebogene Nutzenfunktion. Dies liegt v. a. daran, dass $u(x)$ „über den Ursprung hinweg konkav ist“ (Schneeweiß 1967, S. 101) und somit ein risikoaverser Entscheider für den Fall angenommen werden kann, dass die zugehörige Zufallsvariable $(E\tilde{N}PV)$ sowohl positive als auch negative Werte annehmen kann. Diese Voraussetzung ist in dem betrachteten Fall erfüllt.

Der Parameter λ ist dabei ein positiver Skalar, welcher den Grad der Risikoaversion der Bank zum Ausdruck bringt (Fishburn 1977, S. 120). Als Ausgangspunkt für dessen Bestimmung kann auf Ansätze zur empirischen Ermittlung des Bernoulli-Nutzens zurückgegriffen werden (vgl. bspw. Farquhar 1984; Eisenführ und Weber 1999, S. 247; Bamberg und Coenenberg 2006, S. 90). Dabei werden dem Entscheider wiederum zwei hypothetische Projektalternativen vorgelegt, wobei die eine einen sicheren Wert und die andere einen unsicheren Wert hat. Anschließend wird das Risiko des unsicheren Projekts so lange variiert, bis der Entscheider indifferent zwischen den beiden Projektalternativen ist. Aus dem registrierten Verhalten des Entscheiders kann dann die Ausprägung der Risikoeinstellung und somit die Ausprägung des Risikoaversionsparameters bestimmt werden. Dementsprechend werden der Bank ein hypothetisches sicheres Projekt mit einem Wertbeitrag von 0 EUR und das hier zu bewertende Basisprojekt mit einem Ertrag von 0,26 Mio. EUR und einem Risiko 0,53 Mio. EUR vorgelegt. Die Bank würde für den Fall, dass keine weiteren Alternativinvestitionen zur Verfügung stehen und eines der beiden Projekte durchgeführt werden muss, das sichere Projekt vorziehen. Anschließend wird das Risiko des Basisprojekts hypothetisch so lange variiert, bis die Bank indifferent zwischen den beiden Projekten ist. Eine solche Indifferenz wird für ein Risiko von 0,43 Mio. EUR festgestellt. Da die Präferenzfunktion bei diesem Risiko und einem λ von 0,6 zu einem Wertbeitrag von 0 EUR (vgl. Wertbeitrag des sicheren Projekts) führt, wird der Risikoaversionsparameter dementsprechend festgelegt. Somit kann mit dieser Präferenzfunktion der Wertbeitrag des Basisprojekts wie folgt bestimmt werden:

$$\Phi(E\tilde{N}PV) = 0{,}26\,Mio.\,EUR - 0{,}6 \cdot 0{,}53\,Mio.\,EUR = -0{,}06\,Mio.\,EUR < 0\,EUR$$

Damit wird deutlich, dass der Wertbeitrag aufgrund der Berücksichtigung des projektspezifischen Risikos trotz eines höheren Ertrags im Vergleich zur herkömmlichen Anwendung des Realoptionsansatzes bei einem risikoaversen Entscheider geringer sein kann. In diesem realen Fallbeispiel hätte die Berücksichtigung des projektspezifischen Risikos sogar dazu geführt, dass die Bank aufgrund eines negativen Wertbeitrags das Basisprojekt nicht durchgeführt hätte. Dies verdeutlicht, dass die Anwendung des klassischen BSM zu falschen Investitionsentscheidungen führen kann.

2.5 Zusammenfassung und Ausblick

Eine Hauptherausforderung der Wirtschaftsinformatik liegt darin, Modelle und Theorien anderer akademischer Disziplinen auf wissenschaftliche Fragestellungen und praktische Herausforderungen der Wirtschaftsinformatik zu übertragen (Benaroch und Kauffman 1999). Vor diesem Hintergrund wurden in diesem Beitrag im ersten Schritt existierende entscheidungstheoretische Erweiterungen des diskreten BM (vgl. Abschnitt 2.2.1) auf das stetige BSM übertragen. Damit wurden die unter Abschnitt 2.2.2 beschriebenen, anwendungsorientierten Ansätze um ein entscheidungstheoretisches Kalkül zur Berücksichtigung des projektspezifischen Risikos erweitert. Dabei wurde gezeigt, dass die Anwendung des klassischen BSM zu einer systematischen Unterbewertung von Ertrag und Risiko eines Basisprojekts führt. Im zweiten Schritt wurde erstmalig im Rahmen eines realen Fallbeispiels illustriert, wie das BSM bei der Existenz eines teilweise vollständigen Markts zur Bestimmung eines eindeutigen, präferenzabhängigen Realoptionswerts angewendet werden kann. Dabei wurden die Ergebnisse mit den Ergebnissen der Anwendung des klassischen BSM verglichen, und es wurde verdeutlicht, dass die korrekte Berücksichtigung des projektspezifischen Risikos zu veränderten Investitionsentscheidungen führen kann.

Trotz der veranschaulichten Stärken des vorgestellten Ansatzes sind auch einige Limitationen zu diskutieren, die Implikationen für Wissenschaft und Praxis haben können:

- **Parametrisierung:**
  Trotz der ausführlichen Darstellung, wie der vorgestellte Ansatz parametrisiert werden kann, beruhen die Inputdaten häufig auf Einschätzungen und Erfahrungswerten der Entscheider. Insofern können trotz des theoretisch fundierten Ansatzes Fehlbewertungen zustande kommen. Entscheider in der Praxis sollten deshalb Sensitivitätsanalysen durchführen um Parameter, die für Investitionsentscheidungen ausschlaggebend sein können – wie z. B. den Risikoaversionsparameter – zu identifizieren. Gleichzeitig ist es zukünftig Aufgabe der Wissenschaft die Schätzverfahren zur Bestimmung der Inputdaten zu verbessern.

- **Modellierung:**
  Im vorliegenden Beitrag werden restriktive Annahmen getroffen, die es zu hinterfragen gilt. So werden die Zahlungsströme des Basisprojekts in Annahme A1 beispielweise als sicher angenommen. Um eine ganzheitliche Risikobetrachtung im Sinne eines wertorientierten IT-Portfoliomanagements zu ermöglichen, ist in weiteren Forschungsarbeiten der vorgestellte Ansatz um die Berücksichtigung von Basisprojektrisiken (d.h. unsicheren Zahlungsströmen des Basisprojekts) zu erweitern. Dabei kann auf bestehende Arbeiten, wie zum Beispiel den Beitrag von Wehrmann und Zimmermann (2005), zurückgegriffen werden. Dies führt voraussichtlich zu einer weiteren Erhöhung des Risikos und somit bei einem risikoaversen Entscheider zu einer weiteren Verschlechterung des im Praxisbeispiel bewerteten Projekts. Dies ist bei der Anwendung des entwickelten Ansatzes in der Praxis zu berücksichtigen.
- **Anzahl der betrachteten intertemporalen Abhängigkeiten**
  Im vorliegenden Beitrag wird darüber hinaus nur eine einzelne Wachstumsoption betrachtet. In der Realität existiert aber häufig eine Vielzahl an Wachstumsoptionen in einem Basisprojekt, die alle dessen Ertrags- und Risikoposition beeinflussen können. Darüber hinaus können auch so genannte *compound options*, d.h. Optionen auf Optionen existieren. Diese treten auf, wenn bspw. ein Folgeprojekt existiert, welches wiederum als Basisprojekt für eine darauf folgende IT-Investition dient (Investitionsketten). Wie solche *compound options* unter Berücksichtigung der Erkenntnisse dieses Beitrags den Wertbeitrag eines Basisprojekts beeinflussen, gilt es in weiteren Forschungsarbeiten zu untersuchen. Als Grundlage dafür kann bspw. der Beitrag von Taudes et al. (1998) dienen.
- **Arten von Abhängigkeiten**
  Der Fokus dieses Beitrags liegt auf der Berücksichtigung intertemporaler Abhängigkeiten. Da Abhängigkeiten zwischen IT-Projekten aber nicht nur zwischen aufeinander aufbauenden sondern auch zwischen parallel durchgeführten IT-Projekten (intratemporale Abhängigkeiten) existieren, sind diese im Rahmen eines wertorientierten IT-Portfoliomanagement ebenfalls zu berücksichtigen. In weiteren Forschungsarbeiten ist zu untersuchen, ob und wie diese in den bestehenden Ansatz integriert werden können. Ausgangspunkt dafür können bspw. die Beiträge von Santhanam und Kyparisis (1996) und Wehrmann et al. (2005) sein, die beide die IT-

Portfoliooptimierung unter Berücksichtigung von intratemporalen Abhängigkeiten adressieren.

Nach diesen wichtigen Limitationen soll letztendlich noch die Verallgemeinerbarkeit des Ansatzes beleuchtet werden. Der hier vorgestellte Ansatz bezieht sich auf die Bewertung von intertemporalen Abhängigkeiten zwischen IT-Investitionen (Wachstumsoptionen). Da bei der Bewertung eines IT-Projekts auch noch weitere Optionen wie z. B. Verzögerungs- oder Abbruchsoptionen zu berücksichtigen sind, stellt sich die Frage, ob solche Realoptionen ebenfalls mit dem hier entwickelten Ansatz bewertet werden können. Da es sich dabei ebenfalls um Optionen auf IT-Projekte handelt und sich damit dieselbe Problematik hinsichtlich der Duplizierbarkeit der Risiken ergibt, liegt die Vermutung nahe, dass der Ansatz auch für andere Realoptionstypen geeignet ist. Ebenfalls ist zu vermuten, dass der Ansatz nicht nur spezifisch zur Bewertung von Realoptionen auf IT-Projekte angewendet werden kann. Vielmehr scheint er auf beliebige unsichere Projekte (Underlyings) übertragbar zu sein, die ebenfalls durch Marktrisiken und projektspezifische Risiken gekennzeichnet sind. Werden diese naheliegenden Vermutungen in weiteren Forschungsarbeiten bestätigt, kann dieser Ansatz zur Bewertung beliebiger Realoptionen auf beliebige unsichere Projekte genutzt werden.

Literatur (Kapitel III.2)

Albrecht P, Maurer R (2005) Investment- und Risikomanagement – Modelle, Methoden, Anwendungen. Stuttgart

Bamberg G, Baur F, Krapp M (2007) Statistik. München

Bamberg G, Coenenberg AG (2006) Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. München

Bardhan I, Bagchi S, Sougstad R (2004) Prioritizing a Portfolio of Information Technology Investment Projects. Journal of Management Information Systems 21(2):33-60

Benaroch M, Kauffman RJ (1999) A Case for Using Real Options Pricing Analysis to Evaluate Information Technology Project Investments. Information Systems Research 10(1):70-86

Bernoulli D (1954) Exposition of a New Theory on the Measurement of Risk. Econometrica 22(1):23-36 (Original: Bernoulli D (1738) Specimen Theoriae Novae de Mensura Sortis. Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae, Tomus V:175-192)

Bethuyne G (2002) The Timing of Technology Adoption by a Cost-Minimizing Firm. Journal of Economics 76(2):123-154

Black F, Scholes M (1973) The Pricing of Options and Corporate Liabilities. Journal of Political Economy 81(3):637-654

Bonham SS (2005) IT Project Portfolio Management. Norwood

Brennan MJ, Schwartz ES (1985) Evaluating Natural Resource Investments. Journal of Business 58(2):135-157

Byström H (2005) Credit Default Swaps and Equity Prices: The iTraxx CDS Index Market, Working Paper. http://www.nek.lu.se/publications/workpap/Papers/WP05_24.pdf. Abruf am 2011-04-03

CA Inc. (2007) Over Budget IT Projects Costing UK Plc £256m* per Year. http://www.ca.com/gb/press/Release.aspx?CID=155480. Abruf am 2010-07-16

CIO Insight (2004) The CIO Insight Research Study: Project Management. USA

Copeland TE, Antikarov V (2003) Real Options – A Practitioner's Guide. New York

Cortazar G, Casassus J (1998) Optimal Timing of a Mine Expansion: Implementing a Real Options Model. The Quarterly Review of Economics and Finance 38(4):755-769

Dangl T, Kopel MO (2003) Die Bedeutung vollständiger Märkte für die Anwendung des Realoptionsansatzes. In: Hommel U, Scholich M, Baecker P (Hrsg) Reale Optionen – Konzepte, Praxis und Perspektiven strategischer Unternehmensführung. Berlin, S 37-62

Diepold D, Ullrich C, Wehrmann A, Zimmermann S (2009) A Real Options Approach for Valuating Intertemporal Interdependencies within a Value-Based IT Portfolio Management – A Risk-Return Perspective. In: Newell S, Whitley E, Pouloudi N, Wareham J, Mathiassen L (Hrsg) Proceedings of the 17th European Conference on Information Systems (ECIS). Verona, S 1654-1665

Dos Santos BL (1991) Justifying Investments in new Information Technologies. Journal of Management Information Systems 7(4):71-90

Eisenführ F, Weber M (1999) Rationales Entscheiden. Heidelberg

Elton EJ, Gruber MJ, Brown SJ, Goetzmann WN (2007) Modern Portfolio Theory and Investment Analysis. Hoboken

Emery DR, Parr PC, Mokkelbost PB, Gandhi D, Saunders A (1978) An Investigation of Real Investment Decision Making with the Options Pricing Model. Journal of Business Finance & Accounting 5(4):363-369

Ericsson J, Jacobs K, Oviedo R (2005) The Determinants of Credit Default Swap Premia. http://w4.stern.nyu.edu/salomon/docs/Credit2006/EricsssonJacobs Oviedo.pdf. Abruf am 2011-03-04

Farquhar PH (1984) Utility Assessment Methods. Management Science 30(11):1283-1300

Fishburn PC (1977) Mean Risk Analysis with Risk Associated with Below Target Returns. American Economic Review 67(2):116-126

Henrich A (2002) Management von Softwareprojekten. München

Hubalek F, Schachermayer W (2001) The Limitations of No-Arbitrage Arguments for Real Options. International Journal of Theoretical and Applied Finance 4(2):361-373

Hull JC (2006) Options, Futures, and Other Derivatives. New Jersey

IT Governance Institute (2008) IT Governance Global Status Report 2008. USA

Kruschwitz L (2007) Investitionsrechnung. München

Lee JW, Kim SH (2001) An integrated approach for interdependent information systems project selection. International Journal of Project Management 19(2):111-118

Luenberger DG (2002) Arbitrage and Universal Pricing. Journal of Economic Dynamics & Control 26(9/10):1613-1628

Mahajan V, Muller E, Bass F (1993) New-Product Diffusion Models. In: Eliashberg J, Lilien GL (Hrsg) Handbook of Operations Research and Management Science – Marketing. Amsterdam, S 349-408

Margrabe W (1978) The Value of an Option to Exchange one Asset for another. Journal of Finance 33(1):177-186

Morgenstern O, Neumann J (1944) Theory of Games and Economic Behavior. New Jersey

Pfeiffer HKC (1992) The Diffusion of Electronic Data Interchange. Heidelberg

Santhanam R, Kyparisis GJ (1996) A Decision Model for Interdependent Information System Project Selection. European Journal of Operational Research 89(2):380-399

Schneeweiß H (1967) Entscheidungskriterien bei Risiko. Berlin

Sick G (2001) Real Options. In: Jarrow RA, Maksimovic V, Ziemba WT (Hrsg) Handbooks of Operations Research and Management Science – Finance. Amsterdam, S 631-691

Smith JE, Nau RF (1995) Valuing Risky Projects: Option Pricing Theory and Decision Analysis. Management Science 41(5):795-816

Taudes A (1998) Software Growth Options. Journal of Management Information Systems 15:(1)165-185

Taudes A, Feurstein M, Mild A (2000) Options Analysis of Software Platform Decisions: A Case Study. MIS Quarterly 24(2):227-243

Trigeorgis L (1996) Real Options. Cambridge

Vogel F (1997) Beschreibende und schließende Statistik. München

Wehrmann A, Zimmermann S (2005) Integrierte Ex-ante-Rendite-/ Risikobewertung von IT-Investitionen. WIRTSCHAFTSINFORMATIK 47(4):247-257

Weill P, Ross JW (2004) IT Governance: How Top Performers Manage IT Decision Rights for Superior Results. Boston

Zimmermann S (2008) Governance im IT-Portfoliomanagement – Ein Ansatz zur Berücksichtigung von Strategic Alignment bei der Bewertung von IT. WIRTSCHAFTSINFORMATIK 50(5):357-365

Anhang (Kapitel III.2)

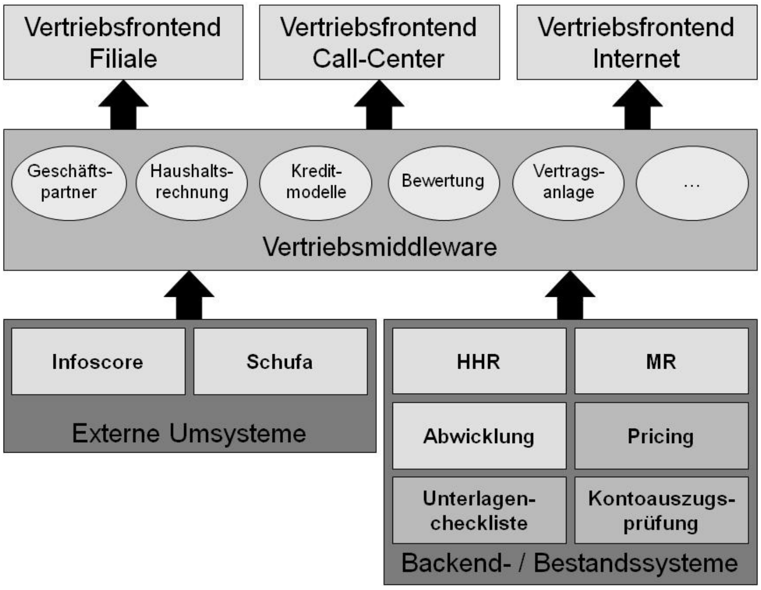

Abb. III.2-4 IT-Landschaft der Bank

Tab. III.2-4 Notation

Parameter	**Bedeutung bei einer Wachstumsoption**
t	Zeitpunkt: • $t = 0$: Zeitpunkt der Investitionsentscheidung in das Basisprojekt • $t = T$: Abschluss des Basisprojekts
X_0	Barwert der Auszahlungen des Folgeprojekts
$\tilde{S}_0$	Barwert der Einzahlungen des Folgeprojekts (Zufallsvariable)
s_i	Konkrete Ausprägungen von $\tilde{S}_0$
$\tilde{C}_0$	Wert der Wachstumsoption (Zufallsvariable)
$c(s_i)$	Konkrete Ausprägung von $\tilde{C}_0$
$E\tilde{N}PV$	Wert des Basisprojekts (Zufallsvariable)
$enpv_i$	Konkrete Ausprägungen von $E\tilde{N}PV$
$f(s)$	Dichtefunktion von $\tilde{S}_0$
$g(c)$	Dichtefunktion von $\tilde{C}_0$
p_i	Eintrittswahrscheinlichkeit für die Ausprägungen s_i, $c(s_i)$ und $enpv_i$
λ	Risikoaversionsparameter

IV Fazit und Ausblick

In diesem Kapitel werden die zentralen Ergebnisse der vorgestellten Beiträge zusammengefasst und Ansatzpunkte für künftigen Forschungsbedarf aufgezeigt.

1 Fazit

Ziel dieser Dissertationsschrift war es, einen Beitrag zum Portfoliomanagement mit illiquiden Assets zu leisten. Dieses wurde zum einen allgemein im Rahmen der Portfoliorealisierung privater Anleger betrachtet (Kapitel II). Zum anderen stand die korrekte Bewertung von IT-Investitionen als spezielle illiquide Assets im Fokus (Kapitel III). Abb. IV-1 zeigt nochmals die Einbettung der beiden zentralen Themen in den Portfoliomanagementprozess:

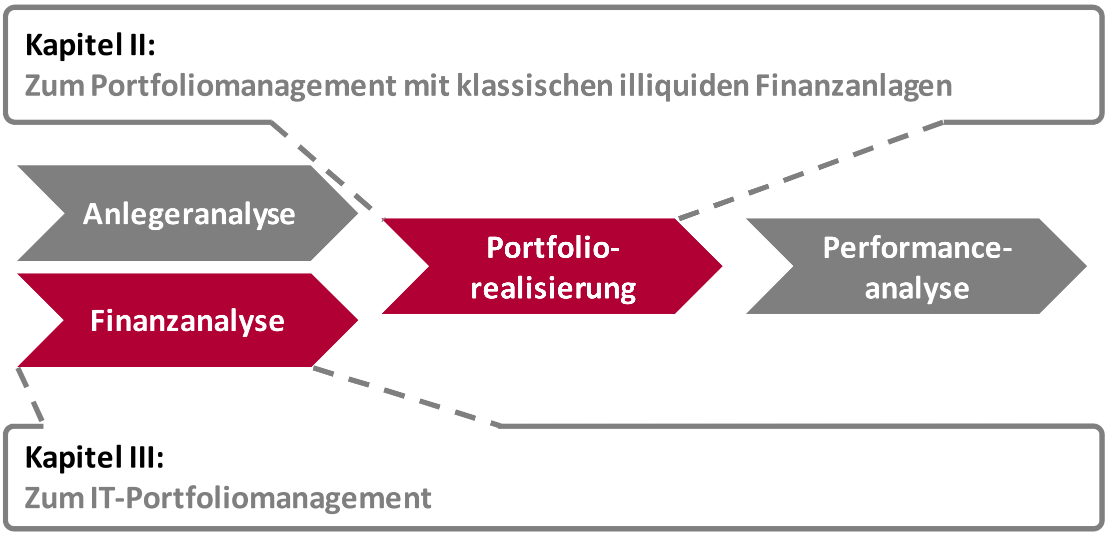

Abb. IV-1 Einordnung der zentralen Themen in den Portfoliomanagementprozess

- Kapitel II untersuchte zunächst den Einfluss der Besonderheiten klassischer illiquider Finanzanlagen auf die Portfoliooptimierung. Diese Besonderheiten wurden dadurch definiert, dass ein illiquides Asset nur vollständig verkauft werden kann und dieser Verkauf, wenn er aufgrund einer Liquiditätsanforderung kurzfristig erfolgen muss, Kosten verursacht. Als Grundlage für das vorgestellte Modell diente dabei der Safety-First-Ansatz von Telser (1955). Ein Vergleich des erweiterten Modells mit der klassischen Vorgehensweise zeigte, dass Illiquidität signifikanten Einfluss auf die optimale Portfoliostruktur hat. Bspw. ist dann der erwartete Portfoliowert abhängig vom Risiko der Assets und sein Maximum kann auch durch eine gemischte Lösung

erreicht werden.
Anschließend wurden aktuelle Schwächen der privaten Finanzplanung herausgearbeitet und die dortige Umsetzbarkeit des vorgestellten Modells diskutiert. Darüber hinaus wurden konkrete Handlungsempfehlungen zur pragmatischen Berücksichtigung der Besonderheiten illiquider Assets in der privaten Finanzplanung gegeben.

- Kapitel III widmete sich der korrekten Bewertung von IT-Investitionen im Rahmen eines wertorientierten ITPM. Dazu wurden die bereits vorhandenen entscheidungstheoretischen Erweiterungen des BM auf das praxisorientierte BSM übertragen. Es konnte gezeigt werden, dass die Vernachlässigung projektspezifischer Risiken zu einer systematischen Unterbewertung von Ertrag und Risiko von IT-Investitionen führt.
  Darüber hinaus wurde das vorgestellte Modell um ein nutzentheoretisch fundiertes Entscheidungskalkül zur Integration von Ertrag und Risiko zum Wertbeitrag einer IT-Investition ergänzt und dessen Anwendbarkeit an einem detaillierten Realweltbeispiel aufgezeigt.

Abschließend lässt sich daher festhalten, dass die vorgestellten Arbeiten einen Beitrag zum Portfoliomanagement mit illiquiden Assets, insbesondere IT-Investitionen, liefern.

2 Ausblick

Darüber hinaus stellen sich jedoch weitere Herausforderungen für künftige Forschungsarbeiten:

- In Bezug auf die in Kapitel II vorgestellten Arbeiten zum Portfoliomanagement mit illiquiden Assets stellen u. a. folgende Punkte interessanten Forschungsbedarf dar:
  1. Während das vorgestellte Modell lediglich *ein* illiquides Asset berücksichtigt, stellt sich generell auch die Frage nach einem optimalen Splitting des illiquiden Assets auf mehrere kleine illiquide Anlagen. Dazu müsste eine Erweiterung des Modells um weitere Assets erfolgen.
  2. Darüber hinaus vernachlässigt der vorgestellte Ansatz die Tatsache, dass sich der Anleger in der Regel auch über einen Kredit kurzfristig Liquidität beschaffen kann. Besitzt er bspw. eine Liquiditätsanforderung, die nur geringfügig größer als seine

Liquiditätsreserve ist, so wird er – wenn möglich – seine Immobilie nicht verkaufen, sondern den Fehlbetrag finanzieren. Durch Erweiterung des vorgestellten Modells um die Möglichkeit einer Kreditfinanzierung würde demnach die Realität noch besser abgebildet und die Anwendbarkeit im Rahmen der privaten Finanzplanung erhöht.

3. Unsicherheit im Zusammenhang mit dem Liquiditätsbedarf besteht im vorgestellten Modell ausschließlich bzgl. dessen Eintrittswahrscheinlichkeit. Von den drei möglichen Dimensionen der Ereignisunsicherheit, ob, wann und in welcher Höhe ein Liquiditätsbedarf entsteht, wird damit nur die erste Dimension berücksichtigt. Der zeitliche Anfall sowie das Ausmaß des Liquiditätsereignisses sind hingegen fixiert. Eine Erweiterung um diese beiden Dimensionen wäre wünschenswert.
4. Wie das vorgestellte Modell aufzeigt, erhöht die Berücksichtigung von Illiquidität bei der Portfoliooptimierung die Komplexität des Optimierungsproblems enorm. Im Gegensatz zur klassischen Portfoliooptimierung stehen daher keine effizienten Lösungsalgorithmen zur Verfügung. Bei Durchführung der angesprochenen Erweiterungen (beliebige Anzahl Assets, Kreditfinanzierungsmöglichkeit, Liquiditätsanforderungen mit unsicheren Zeitpunkten und Höhe) wird eine exakte Lösung voraussichtlich nicht mehr effizient bestimmbar sein. Hier bedarf es praxisnaher Forschung und der Entwicklung entsprechender Heuristiken, ggf. durch Integration von Lösungsansätzen aus der gemischt-ganzzahligen Optimierung, der Optimierung unter Transaktionskosten sowie unter Verwendung von Ausfallrisikomaßen.

- Im Bereich des wertorientierten ITPM gibt es über die in Kapitel III vorgestellten Arbeiten hinaus ebenfalls noch weitere relevante Themen mit weit reichendem Forschungsbedarf:

  1. Im vorgestellten Modell werden die Zahlungsströme des Basisprojekts als sicher angenommen. Im Sinne einer ganzheitlichen Risikobetrachtung im Rahmen eines wertorientierten ITPM sollte der vorgestellte Ansatz daher um die Berücksichtigung von unsicheren Zahlungsströmen des Basisprojekts erweitert werden.

2. Darüber hinaus wird bisher nur eine einzelne Wachstumsoption betrachtet. In der Realität können jedoch auch mehrere Möglichkeiten für auf dem Basisprojekt aufbauende IT-Investitionen existieren. Zudem ist es auch vorstellbar, dass ein Folgeprojekt existiert, welches wiederum als Basisprojekt für eine darauffolgende IT-Investition dient. Das vorgestellte Modell liefert zusammen mit bspw. dem Beitrag von Taudes et al. (1998), der sog. Compound Options betrachtet, eine gute Basis für derartige Betrachtungen.
3. Die vorgestellten Beiträge konzentrieren sich auf die Berücksichtigung intertemporaler Abhängigkeiten bei der Bewertung einzelner IT-Investitionen. Im Rahmen eines ganzheitlichen ITPM müssten bei der im nächsten Schritt durchzuführenden Portfoliorealisierung zudem intratemporale Abhängigkeiten zwischen parallel durchgeführten IT-Projekten berücksichtigt werden. Entsprechende Forschungsarbeiten könnten dabei bspw. auf dem Beitrag von Wehrmann und Zimmermann (2005) zur Berücksichtigung intratemporaler Abhängigkeiten aufbauen.
4. Darüber hinaus bietet das vorgestellte Modell eine gute Ausgangsbasis für die allgemeine Investitionsbewertung unter Berücksichtigung von sowohl intertemporalen Abhängigkeiten als auch Investitions-spezifischen Risiken. Inwieweit das dargestellte Vorgehen in einem entsprechend allgemeineren Setting verwendet werden kann, bleibt Gegenstand weiterer Forschung.

Die vorliegende Dissertationsschrift liefert demnach einen fokussierten Beitrag zum Portfoliomanagement mit illiquiden Assets und der Bewertung von IT-Investitionen. Die darin vorgestellten Arbeiten liefern dabei einen Ausgangspunkt für weitere Forschung in diesen Bereichen.

Literatur (Kapitel IV)

Taudes A (1998) Software Growth Options. Journal of Management Information Systems 15:(1)165-185

Telser LG (1955) Safety First and Hedging. Review of Economic Studies 23(1):1-16

Wehrmann A, Zimmermann S (2005) Integrierte Ex-ante-Rendite-/Risikobewertung von IT-Investitionen. WIRTSCHAFTSINFORMATIK 47(4):247-257