

Beschaffungsoptimierung eines Erdölraffineriebetriebs
unter Berücksichtigung von Risiken

Zusammenfassung

vorgelegt von
Dipl.-Kaufmann Gerwin Dreesmann
aus Hamburg

Hamburg, den 10.09.2000

Raffination

In dieser Arbeit werden die Problematik der Beschaffungsoptimierung einer Erdölraffinerie unter besonderer Berücksichtigung von Risiko vorgestellt und Lösungsansätze zur Integration des Risikos in die Planung entwickelt. Die Ergebnisse verschiedener Lösungsmodellansätze und Lösungsverfahren werden anschließend für die Periode von 1994 bis 1996 empirisch ausgewertet.

Die klassische Zielsetzung der Raffination liegt in der Maximierung des Deckungsbeitrags aus Produktenerlösen und variablen Verarbeitungskosten. Die Rohöle verursachen dabei mehr als 95% der variablen Verarbeitungskosten und beeinflussen damit den Deckungsbeitrag aus der Raffination erheblich.

Der Deckungsbeitrag wird durch die Transformation von Rohölen in Produkte anhand der Produktionsfunktion, einer kontinuierlichen Koppelproduktion mit einer Fertigungstiefe von bis zu sechs hintereinandergeschalteten Produktionsanlagen, erwirtschaftet. Die Flexibilität der Produktionsfunktion und die Vielzahl alternativer Rohöleinsatzkombinationen erfordern ein simultan optimierendes Lösungsverfahren, um aus den potentiellen Verarbeitungsrouten die Lösung mit dem höchsten Deckungsbeitrag zu ermitteln. In der Praxis haben sich dazu Lösungsverfahren auf Basis Linearer Programmierung durchgesetzt, da die Abbildungsgenauigkeit eines Linearen Planungsmodells unter der Bedingung einer deterministischen Datensituation in der Regel bei über 95% liegt. Aufgrund der Zeit zwischen Beschaffungsentscheidung und Konkretisierung der Produktion besteht jedoch keine deterministische Umweltsituation. Das Grundproblem der Beschaffungsoptimierung ist damit die Berücksichtigung der Unsicherheiten der Umweltbedingungen in das Planungsverfahren zur Beschaffungsentscheidung.

Risiko

Die Unsicherheit des geplanten Deckungsbeitrags einer Beschaffungsalternative ist das Risiko dieser Beschaffungsentscheidung. Zur Operationalisierung wird das Risiko durch die Wahrscheinlichkeitsverteilung der unsicheren Planungsparameter als Zufallsvariablen abgebildet.

Ein Modell zur Operationalisierung des Risikos ist das Erwartungswert-Varianz-Modell für Selektionsentscheidungen auf dem Kapitalmarkt. Das E-V-Modell wurde 1952 von H. M. Markowitz veröffentlicht. Dieses Modell stellt bis heute die Grundlage der Portfoliotheorie dar. Der Erwartungswert der Ergebnisverteilung und das Risiko, gemessen durch die Standardabweichung der

Ergebnisverteilung, sind die Parameter des E-V-Modells. Unter der Voraussetzung der Risikoaversion des Entscheidungsträgers, der Normalfall in der Betriebswirtschaft, kann dann ein Effizientes Set von allen möglichen effizienten Portfolios ermittelt werden. Das Kriterium der Effizienz besagt, daß es kein Portfolio gibt, welches ein geringeres Risiko bei gleichem Erwartungswert hat. Alle Portfolios des Effizienten Sets sind damit optimal diversifiziert.

In Abhängigkeit von der konkreten Risikoeinstellung des Entscheidungsträgers kann die Ertrags-Risiko-Präferenz als Präferenzfunktion abgebildet werden. Mittels dieser Präferenzfunktion kann aus dem Effizienten Set die präferenzmaximierende Handlungsalternative bestimmt werden.

Sind die Planungsparameter gemeinsam normalverteilt, läßt sich die Ergebnisverteilung vollständig durch die Verteilungsparameter "Erwartungswert" und "Standardabweichung" abbilden. Es kann gezeigt werden, daß bei Vorliegen einer gemeinsamen Normalverteilung der Ergebnisse und Risikoaversion des Entscheidungsträgers das nach dem E-V-Modell ermittelte Effiziente Set alle rationalen Handlungsalternativen im Sinne des Bernoulli-Prinzips des Entscheidungsträgers beinhaltet. Die Ergebnisse des E-V-Modells stehen dann in Einklang mit der Erwartungsnutzenmaximierung nach dem Bernoulli-Prinzip.

Zur Übertragung des E-V-Modells auf die Problematik der Beschaffungsentscheidung der Raffination sind im ersten Schritt die Unsicherheiten der Planung zu identifizieren, klassifizieren und quantifizieren. Das Risiko der Beschaffungsentscheidung ist durch eine im Planungszeitpunkt unsichere Produktenerlössituation, einer unsicheren qualitativen Rohstoffbeschaffenheit und dem unsicheren Zustand der Verarbeitungsanlagen im Zeitpunkt der Verarbeitung begründet. Das relevante, zu quantifizierende, Risiko der Beschaffungsentscheidung ist der Teil der gesamten Unsicherheit, die von der Beschaffungsentscheidung beeinflußt werden kann.

Für die Beschaffungsentscheidung ist das Preisrisiko von herausragender Bedeutung. Das Preisrisiko ist die Unsicherheit des Deckungsbeitrags, der Rohölmarge, verursacht durch die Unsicherheit der relativen Veränderung von Cracks, der Differenzen von Produkten- und Rohölpreisen, vom Entscheidungszeitpunkt der Beschaffung bis zur Konkretisierung der Produktenverkäufe. Das Preisrisiko der Beschaffungsentscheidung wird als relatives Margenrisiko bezeichnet.

Das relative Margenrisiko wird gemessen durch die mit den riskanten Mengen gewichtete Standardabweichung des Produktenportfolios, ermittelt durch historische Varianzen und Kovarianzen sowie der riskanten Produktenmengen. Die riskanten Mengen sind die über die Mindestausbeute hinausgehende Produktion, da die Mindestausbeute einer rohölqualitätsunabhängigen Produktion nicht durch die Beschaffungsentscheidung, welche Qualität beschafft wird, beeinflußt wird.

Das relative Margenrisiko kann durch Hedging mit Warenterminkontrakten reduziert werden. Die risikominimalen Mengen der Warenterminkontrakte werden durch die Minimierung der mit den

Wareterminkontrakten erweiterten Portfoliovarianz bestimmt. Das durch Hedging nicht mehr weiter reduzierbare Preisrisiko wird als Margen-Basisrisiko bezeichnet.

Lösungsmodelle

Grundsätzlich kann die Modellierung des Planungsproblems nach unterschiedlichen Modellen erfolgen. Das klassische Raffinerieplanungsmodell ist ein lineares Modell, welches mit Hilfe der Linearen Programmierung und geschätzten Planungsparametern optimiert wird.

Dieses Modell berücksichtigt nicht die Flexibilität der Raffinerieproduktionsfunktion. Die Beschaffungsalternativen sind die Rohöle, potentielle Produktenportfolios, definiert durch die Produktionsfunktion. Aufgrund der Komplexität der Produktionsfunktion und der qualitativen Anforderungen an die Endprodukte unterliegt die Produktausbeute der Raffinerieproduktion interdependenten Beziehungen. Die Produktausbeuten der Raffinerieproduktion sind jedoch niemals a priori fixiert, es gibt keine eindeutige Zuordnung von Produkten auf Rohöle. Dies bedeutet, daß ein Re-Optimierungspotential des Produktionsablaufs auch nach erfolgter Beschaffungsentscheidung vorhanden ist. Dadurch ist eine Erwartungswertbildung des Deckungsbeitrags aus der Raffination nicht einfach durch mit ihren Wahrscheinlichkeiten gewichteten Szenarien-Deckungsbeiträgen möglich.

Die Flexibilität der Produktionsfunktion kann jedoch durch eine a priori Bewertung von Entscheidungsalternativen in den Rohölkosten berücksichtigt werden. Diese Vorgehensweise ist das Lösungsmodell der Faktorpreisanpassung. Die Faktorpreisanpassung ist eine hierarchische Vorgehensweise, die damit den Interdependenzen der Produktionsfunktion nicht gerecht wird.

Die Flexibilität der Produktionsfunktion kann mathematisch korrekt mit Hilfe der Stochastischen Optimierung in die Maximierung des Deckungsbeitrags einbezogen werden. Bei der Stochastischen Optimierung wird die Summe der mit ihren Wahrscheinlichkeiten gewichteten Szenarien simultan maximiert.¹ Die einzelnen Sub-Modelle sind durch identische Rohöleinsätze verbunden, weisen aber unterschiedliche Produktpreisparameter auf. Die Faktoreinsatzkombination, die das Stochastische Modell maximiert, hat den maximalen Erwartungswert des Deckungsbeitrags unter Berücksichtigung der Produktpreisalternativen, deren Wahrscheinlichkeiten und der Flexibilität der Produktionsfunktion. Aufgrund des Re-Optimierungspotentials der Raffinerieproduktionsfunktion nach erfolgter Beschaffungsentscheidung läßt sich nur mit Hilfe der Stochastischen Optimierung der Erwartungswert des Deckungsbeitrags ermitteln.

¹ Ein Szenario oder Sub-Modell ist ein vollständiges LP-Modell der Produktionsfunktion mit den Planungsparametern eines Szenarios.

Lösungsverfahren

Die Freiheitsgrade der Beschaffungsentscheidung für die Raffinerie sind der Entscheidungszeitpunkt, die zu beschaffende Rohölqualität und die Auswahl von Hedginginstrumenten zur Absicherung des riskanten Teils der Rohölmarge.

Das Zwei-Stufen-Verfahren reduziert das Risiko nach erfolgter Optimierung der Produktionsfunktion durch Einsatz von Hedginginstrumenten. In der ersten Stufe wird die Maximierung des Basis-, Faktorpreisbereinigten- oder Stochastischen Lösungsmodells ohne Berücksichtigung von Risiken vorgenommen. Das Zwei-Stufen-Verfahren entspricht somit der Anwendung des μ -Kriteriums.

Das aus der ersten Stufe resultierende Risiko, geschätzt durch die mit ihren riskanten Mengen gewichteten Varianzen und Kovarianzen der Cracks, wird durch Hedging mit Warenterminkontrakten in der zweiten Stufe reduziert. Die Beziehung zur physischen Produktionsoptimierung ist wie beim Modell der Faktorpreisanpassung hierarchisch, da die potentielle Risikoreduktion des Hedgings nicht in die Bestimmung der riskanten Produktenmengen einbezogen wird. Damit ist eine Ermittlung des Effizienten Sets nicht möglich. Das Ergebnis des Zwei-Stufen-Verfahrens ist jedoch im Effizienten Set enthalten. Es ist das Ergebnis mit der höchsten Ertrags Erwartung und dem höchsten Risiko.

Das Simultanverfahren bezieht das Risiko in die Deckungsbeitragsmaximierung ein, indem ein Effizientes Set aller effizienten Entscheidungsmöglichkeiten ermittelt wird. Dies erfolgt durch die Nutzung von Freiheitsgraden der Produktionsfunktion bei fixiertem Deckungsbeitrag zur Risikominimierung. In einem iterativen Prozeß werden die effizienten Lösungen approximiert, indem zu bestimmten Deckungsbeitragsniveaus die Lösung mit dem minimalen Risiko ermittelt wird. Die Möglichkeit des Hedgings wird bei diesem Verfahren simultan in die Optimierung der physischen Produktion einbezogen.

Mit dem Stochastischen Lösungsmodell läßt sich der Erwartungswert des Deckungsbeitrags unter Berücksichtigung der Flexibilität der Produktionsfunktion ermitteln. Im Simultanverfahren wird dann das Effiziente Set von Entscheidungsmöglichkeiten ermittelt, aus denen eine konkrete Präferenzfunktion, oder μ - σ -Regel, die optimale Lösung bestimmt.

Die Portfolioselektionsmodelle des Kapitalmarktes berücksichtigen im Gegensatz zur Produktionsfunktion des Raffineriebetriebs keine interdependenten Beziehungen von Erträgen. Diese Beziehungen können in das E-V-Modell in Form von linearen Nebenbedingungen einbezogen werden. Das Problem der Simultanoptimierung kann dann mit Hilfe der quadratischen Optimierung gelöst werden. Im Ergebnis ist damit eine Übertragung von Erkenntnissen der Portfoliotheorie des Kapitalmarktes auf den Produktionssektor möglich.

Empirische Ergebnisse

Die in dieser Arbeit vorgestellte Methodik zur Beschaffungsoptimierung unter Berücksichtigung von Risiken hat im empirischen Überprüfungszeitraum der Jahre 1994 bis 1996 zu einer Verbesserung der Ergebnisse von 2%, d. h. 0.3 Millionen US-Dollar pro Monat, ohne Erhöhung der Standardabweichung der Ergebnisse und unabhängig von Preisprognosen zur Rohölauswahl, geführt.

Die Risikoreduktion durch Hedging der riskanten Mengen nach dem Verfahren der Varianzminimierung hat unabhängig vom Lösungsmodell und Lösungsverfahren eine Steigerung des Deckungsbeitrags bei gleichbleibender Standardabweichung zur Folge. Das Hedging ist demzufolge unabhängig von der Risikoeinstellung vorteilhaft für den Raffineur.

Das Zwei-Stufen-Verfahren hat für die betrachtete Periode den höchsten Deckungsbeitrag erwirtschaftet. Dies ist im Einklang mit der Präferenzfunktion des μ -Kriteriums, da im ersten Schritt der Deckungsbeitrag maximiert wird und erst im zweiten Schritt das Hedging zur Risikoreduktion durchgeführt wird.

Das Simultanverfahren, am Beispiel einer konkreten μ - σ -Regel, erwirtschaftet einen geringeren Deckungsbeitrag bei einer geringeren Standardabweichung der monatlichen Deckungsbeiträge als das Zwei-Stufen-Verfahren. Dieses Ergebnis steht ebenfalls im Einklang mit der Erwartung, da die Präferenzfunktion nicht einfach den Deckungsbeitrag maximiert, sondern das Risiko einbezieht.

In Abhängigkeit von der konkreten Risikoeinstellung des Raffineurs ist entweder das Zwei-Stufen-Verfahren oder das Simultanverfahren präferenzmaximierend.

Das Simultanverfahren auf Basis des Lösungsmodells der Stochastischen Optimierung ermittelt den Erwartungswert des Deckungsbeitrags unter Berücksichtigung der Flexibilität der Produktionsfunktion.

Durch Berücksichtigung der Interdependenzen und der Flexibilität der Faktoreinsätze geht der in dieser Arbeit entwickelte Ansatz zur optimalen Rohstoffauswahl über die Transformation der Portfolioselektionstheorie auf dem Kapitalmarkt hinaus.

Der systematische Einsatz von Warentermingeschäften als Sicherungsinstrument der Beschaffungsentscheidung für die Raffinerieproduktion und die fehlende Korrelation von Risiko- und Ertragsersparnis sind weitere Unterschiede zum Portfolioselektionsproblem des Kapitalmarktes. Auf dem Kapitalmarkt werden Leerverkäufe mit negativen Erträgen assoziiert. Dieser Zusammenhang ist auf dem Warenterminmarkt nicht gegeben. Der Erwartungswert der Preisänderung eines Warenterminproduktes ist Null. Demzufolge können Warenterminkontrakte ohne Einfluß auf die Ertragsersparnis risikoreduzierend in das Gesamtportfolio von physischen Produkten und Warenterminkontrakten einbezogen werden. Der praktische Einsatz des Zwei-Stufen-Verfahrens und der Simultanoptimierung ist ohne Restriktion möglich. Gegenüber den Kapitalmarktmodellen besteht bei der Problematik der Raffinerieoptimierung der Vorteil einer kleinen Kovarianz-Matrix von

maximal 30 relevanten Produkt- und Futurepreisen. Dies hat einen relativ geringen Lösungsaufwand für das Lösungsverfahren zur Folge. Es ist davon auszugehen, daß bei systematischer Einbeziehung von Saisonalitätszyklen, Autokorrelation und Heteroskedastizität die Ergebnisse weiter verbessert werden können. Die Planungsergebnisse bilden den grundlegenden Baustein für die menschliche Entscheidung, die auch im Lösungsmodell nicht modellierte Parameter einzubeziehen hat. Da das Lösungsmodell der Beschaffungsplanung von interdependenten Beziehungen geprägt wird, ist die Visualisierung der Ergebnisse besonders wichtig für die Akzeptanz der in dieser Arbeit vorgestellten risikosensitiven Beschaffungsplanung.

Insgesamt zeigt diese Untersuchung, daß das grundlegende risikosensitive Entscheidungsmodell des Kapitalmarktes auf die Ausgangssituation der Rohölraffination erfolgreich übertragen werden kann. Die in der empirischen Untersuchung erreichten Ergebnisse bedeuten sowohl eine Ertragserhöhung, als auch eine Reduktion der Volatilität der Erträge im Vergleich zur traditionellen Produktionsplanung. Damit ist die risikosensitive Beschaffungsplanung sowohl theoretisch als auch in der Praxis für die Beschaffungsoptimierung der Raffinerie relevant.