Institut für Operations Research
und Computational Finance

Universität St.Gallen

Stochastische Optimierung im Energiehandel

Entscheidungsunterstützung und Bewertung für das Portfoliomanagement

Karl Frauendorfer, Jens Güssow, Gido Haarbrücker, Daniel Kuhn

Institut für Operations Research
und Computational Finance (ior/cf-HSG)
Bodanstrasse 6
CH-9000 St. Gallen

www.iorcf.unisg.ch

EQUIS accredited

ACCREDITED AACSB INTERNATIONAL

Stochastische Optimierung im Energiehandel

Entscheidungsunterstützung und Bewertung für das Portfoliomanagement

Karl Frauendorfer, Jens Güssow, Gido Haarbrücker, Daniel Kuhn
Institut für Operations Research und Computational Finance (ior/cf-HSG)
Universität St. Gallen

Unsicherheiten im Strommarkt erfordern flexible Reaktionen von Stromversorgungsunternehmen auf sich kontinuierlich wandelnde Strukturen. Marktteilnehmer ohne marktbeherrschende Stellung müssen zunehmend die kurzfristig hochvolatilen und langfristig nicht prognostizierbaren Preisentwicklungen berücksichtigen. Federführend durch die Stadtwerke Gießen AG und motiviert durch ihre konzeptionellen Herausforderungen im Tagesgeschäft hat das ior/cf-HSG gemeinsam mit der österreichischen Energieberatungsgesellschaft Verbundplan GmbH ein leistungsfähiges Portfoliomanagementsystem auf Basis stochastischer Optimierung entwickelt. Es bietet eine anpassungsfähige Ergänzung zu herkömmlichen Ansätzen und integriert ein innovatives Risikomanagement. Neue Bewertungsansätze für komplexe Derivate reduzieren darüber hinaus das Modellrisiko gegenüber traditionellen Methoden.

1. Einleitung

Für die Energiepolitik stehen in Strommärkten die Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit im Mittelpunkt des Interesses. Die Erfahrung der letzten Jahre zeigt jedoch, dass sich diese Oberziele im europäischen Markt unter den derzeitigen Wettbewerbsbedingungen nur schwer miteinander vereinbaren lassen. Nach der Energierechtsnovelle von 1998 sind selbst die reinen Strompreise (exkl. Netzentgelte und Abgaben) in den letzten 5 Jahren wieder deutlich gestiegen. Die EU-Richtlinie 2003/54/EG für eine beschleunigte Marktöffnung und die damit verbundenen jüngsten Anstrengungen zur erneuten Novellierung des EnWG sollen wieder für mehr Wettbewerb sorgen. Die Gründe für die aktuellen Einschränkungen sind vielschichtig und haben nationale sowie internationale Ursachen. Als Beispiel sei nur die schleppende Umsetzung bisheriger

EU-Richtlinien in einigen Ländern erwähnt, die echten Wettbewerb im grenzüberschreitenden Verkehr bisher verhindert hat. Aber auch innerhalb Deutschlands erscheint Preiseinflussnahme durch die marktbeherrschende Stellung weniger Unternehmen in Stromerzeugung und -übertragung auf direktem oder indirektem Weg möglich.

Aufgrund der physikalischen Netzgebundenheit und eingeschränkten Speicherbarkeit der Handelsware Strom sind insbesondere die kurzfristigen Spotmarktpreise grundsätzlich durch hohe Volatilität charakterisiert. Die nächsten Jahre werden zudem weiterhin von erheblichen strukturellen Unsicherheiten geprägt sein, die sowohl von wirtschaftlichen als auch politischen Entwicklungen abhängen. Eine Strompreisprognose mit statistischen Methoden auf Basis historischer Entwicklungen oder eines kostenorientierten bottom-up Ansatzes erscheint daher aktuell und abhängig vom Zeithorizont auch in Zukunft weder möglich noch sinnvoll. Unsicherheiten im eigentlichen Sinne sollten daher unbedingt als eigenständige Komponente mit eigener Dynamik in ein Managementsystem integriert werden.

In einer Kooperation von Stadtwerke Gießen AG, Verbundplan GmbH und ior/cf-HSG der Universität St. Gallen ist ein leistungsfähiges System entwickelt worden, das mehrstufige stochastische Optimierung als flexible und effiziente Methode für dynamisches Portfoliomanagement zum Einsatz bringt. Das System integriert zusätzlich ein innovatives Risikomanagement, das über Vorgaben in der Optimierung kombiniert mit Verteilungsanalysen realisiert wird. Die Entwicklung wurde massgeblich von konzeptionellen Herausforderungen im Tagesgeschäft und dem damit verbundenen Know-how der Stadtwerke Gießen AG sowie langjähriger internationaler Erfahrung der Verbundplan GmbH in der Entwicklung und Betreuung von IT-Systemen im energiewirtschaftlichen Umfeld geprägt. Das Ergebnis dieser Kooperation ist ein modular aufgebautes Portfolio- und Risikomanagementsystem Bit@Energy.DSS, mit dem eine rasche und gesamtheitliche Bewertung der aktuellen Positionen bzw. die Optimierung des Portfolios möglich ist.

Die Methodologie der stochastischen Optimierung dient weiterhin als Basis für einen innovativen Ansatz zur Bewertung von komplexen Derivaten, die sich mit analytischen Ansätzen nicht bewältigen lässt. Swing-Optionen mit ihren vielfältigen

Ausgestaltungsmöglichkeiten können so unter Berücksichtigung von Preisunsicherheiten im Zeitablauf marktkonform bewertet werden. Darüber hinaus wird die zeitnah optimale Ausübungsstrategie berechnet.

2. Dynamisches Portfoliomanagement

2.1 Energiebeschaffung

Die Beschaffung von Energie ist eine klassische Grundaufgabe für jedes Stromversorgungsunternehmen. Während in der Vergangenheit aufgrund von regionalen und kommunalen Monopolen die marktwirtschaftliche Betrachtung im Bestfall auf Kostenminimierung und effizienten Einsatz von eigenen Ressourcen fokussiert war, gewinnt durch intensivierten Wettbewerb zumindest mittel- bis langfristig auch der Vertrieb und damit das Zusammenspiel von Beschaffung und Absatz zunehmend an Bedeutung.

Aufgrund von technischen und marktwirtschaftlichen Schwierigkeiten, die sich aus der Übertragung und Verteilung von Strom ergeben, einschliesslich deren Erfassung und leistungsgerechten Vergütung im liberalisierten Markt, hat sich unabhängig von kontinuierlich angepassten Richtlinien und Regeln inzwischen die Einsicht durchgesetzt, dass effizientes Management und Abrechnung nur über eigenständige Bilanzkreise mit klar fixierter Abgrenzung möglich sind.

Für das Beschaffungsmanagement eines Stadtwerkes ergibt sich damit im einfachsten Falle die Aufgabe, einen viertelstündlich prognostizierten Fahrplan über unterschiedliche Zeithorizonte schrittweise einzudecken. Diese Fahrpläne unterliegen je nach Kunden- und Vertragsstrukturen Unsicherheiten, die bei der Eindeckung zu berücksichtigen sind. Im einfachsten Falle kann das Lastprofil über einen offenen Liefervertrag eingedeckt werden, wobei solche in der Vergangenheit weit verbreiteten und meistens langfristig angelegten Vollversorgungsverträge in einem wettbewerbsorientierten Markt mit Risikoprämien belegt sind. Sie ähneln im Charakter den in Abschnitt 3 betrachteten Swing-Optionen.

Die auszuhandelnde Risikoprämie für die Vollversorgung wird unabhängig von sonstigen Spezifikationen, wie z.B. dem Leistungspreis, mit zunehmender Prognosegüte und Offenlegung der Absatzstrukturen des Abnehmers niedriger ausfallen. Im liberalisierten Markt spielt aber ergänzend zum Mengenänderungsrisiko auch das Preisänderungsrisiko eine immer wichtigere Rolle.

Zukunftsgerichtet erscheint daher zumindest ergänzend eine Eindeckung bzw. Handel im freien Markt nicht nur sinnvoll, sondern unausweichlich. Die EEX in Leipzig kann inzwischen ein beachtliches Umsatzvolumen vorweisen, und die Preise von Spot- und Futuresverträgen dürften heutzutage von den meisten Stromhändlern als ergänzende Referenz für die immer noch stark dominierenden OTC-Geschäfte herangezogen werden. Die im Vergleich zu Finanzmärkten derzeit noch rudimentäre Standardisierung von Derivaten wie Futures an der EEX hinsichtlich Lieferzeitraum (Monat, Quartal, Jahr) und Lastblock (Base, Peak) erlaubt eingeschränkt auch eine marktgerechte Bewertung von Verträgen höherer Komplexität. Die Einführung von Optionen auf Base-Futures stellt die jüngste Erweiterung in diesem Bereich dar.

2.2 Stochastische Optimierung eines Portfoliomodells

Das hier vorgestellte Konzept basiert auf mehrstufiger stochastischer Optimierung. Der Benutzer wird in die Lage versetzt, ohne Vorgabe einer speziellen Hedging-Strategie optimierte Entscheide zu berechnen. Dabei werden auch Änderungen in der Dynamik der stochastischen Prozesse selbst berücksichtigt. Ergänzend steht eine Simulation zur Verfügung, die zur Berechnung verfeinerter Verteilungen und für Plausibilitätsprüfungen genutzt werden kann.

Vielfach besteht unter Anwendern die Meinung, dass die Methode der stochastischen Optimierung jener der Simulation gleichzusetzen ist, oder zumindest einfach als Verallgemeinerung der Simulation verstanden werden kann. Um darzulegen, dass diese beiden Methoden grundlegend unterschiedliche Fragen beantworten, betrachten wir das Problem der Bewertung von Optionen Amerikanischen Typs, wie diese implizit auch in Energiederivaten (wie z.B. Swing-Optionen) vorliegen. Optionen amerikanischen Typs zeichnen sich dadurch aus, dass sie - im Gegensatz zu den Optionen Europäischen Typs - auch während der

Vertragslaufzeit ausgeübt werden dürfen. Dies erfordert, dass für jeden Zeitpunkt innerhalb der Vertragslaufzeit Optimierungsprobleme gelöst werden müssen, um die Frage der optimalen Ausübung vollständig zu beantworten. Da die zukünftige Entwicklung der stochastischen Preise in der Regel durch eine hinreichend feine Diskretisierung der entsprechenden Preis-Verteilungen mittels Knoten eines Szenariobaumes modelliert wird, ist die Bestimmung der optimalen Ausübung zeit- und knotenabhängig durch jeweils eigenständige Optimierungsprobleme vorzunehmen. Damit erhält man ein Regelwerk zur Bestimmung von Strategien, die sich nicht nur über die Zeit sondern auch noch über die einzelnen Knoten eines jeden Zeitpunktes maßgeblich unterscheiden. Das Ergebnis wird deshalb auch als optimale stochastische Ausübungs- oder Bewirtschaftungs-Strategie bezeichnet. Die stochastische Optimierung ist nun jene Methodologie, die diese zeit- und knotenabhängig, iterativ verknüpften Optimierungsprobleme miteinander vereint und so für jeden Zeitpunkt und jeden Knoten die optimale Ausübungsstrategie bestimmt. Es liegt in der Natur der stochastischen Optimierung, dass die so resultierende Profit & Loss-Verteilung sich auf die optimale stochastische Ausübungs- bzw. Bewirtschaftungs-Strategie bezieht. Im Gegensatz zur Stochastischen Optimierung dient die Simulation dazu, vorgegebene Strategien, die sich bestenfalls über die Zeit hinweg unterscheiden, aber in den einzelnen Zeitpunkten über die Knoten hinweg gleich, also knotenunabhängig sind, auf die jeweils resultierende Profit & Loss-Verteilung hin zu untersuchen. Jene vorgegebenen Strategien werden aufgrund der Knotenunabhängigkeit in den einzelnen Zeitpunkten auch als deterministische Strategien bezeichnet und bilden damit einen trivialen Spezialfall der stochastischen Strategien. Keine dieser vorgegebenen deterministischen Strategien kann somit aufgrund des fehlenden stochastischen Optimalitätsprinzips als annähernd optimal betrachtet werden. Mit der Methode der Simulation werden also "nur" suboptimale Strategien überprüft, die verglichen mit den tatsächlich optimalen Ausübungs- und Bewirtschaftungsstrategien in der Regel eine Ertragseinbusse von zweistelligen Prozentzahlen nach sich ziehen. Beachtet man weiters, dass bei den Energiederivaten, insbesondere bei den Swing-Optionen, der Optionshalter auch "Verpflichtungen" für eine Ausübung ausgesetzt ist und nicht nur "Rechte" zu einer Ausübung besitzt, so unterstreicht dies die Notwendigkeit einer direkten Anwendung der "stochastischen Optimierung". Eine Anwendung der reinen Simulation impliziert ein zu großes Modellrisiko, das der Anwender erst dann zu spüren bekommt, wenn

es schon zu spät ist. Der Vollständigkeit halber sei zusätzlich angeführt, dass die stochastische Optimierung implizit die "billigsten" Absicherungsmaßnahmen mitliefert, womit nicht nur eine nachhaltige optimale Ertragssteigerung, sondern zugleich auch ein risikominimales Bewirtschaften von Portfolios ermöglicht wird.

Die Konzepte von Simulation und stochastischer Optimierung werden in *Abbildung 1* einander gegenübergestellt. Allgemein wird angenommen, dass in jeder Zeitstufe basierend auf einer historischen Entwicklung korrigierende Maßnahmen (Rebalancierungen) durchgeführt werden können.

Mittels Simulation wird dabei die Auswirkung von vorgegebenen Strategien basierend auf der unsicheren Entwicklung von stochastischen Faktoren im Zeitablauf (z.B. Preis und Last) für verschiedene Szenarien untersucht. Die Entwicklung der Unsicherheit und die zugrunde liegenden Entscheidungsstufen ergeben dabei in der Simulation einen Szenario*kamm*. In jedem Einzelpfad wird eine von den anderen Pfaden unabhängige Entwicklung über den Planungshorizont angenommen, d.h. *antizipiert*.

Stochastische Optimierung hingegen fasst identische historische Entwicklungen jeder Zeitstufe in jeweils einem einzigen Knoten zusammen, für den sich somit jeweils auch nur eine einzige *nicht-antizipative* Entscheidung für die gemeinsame Historie und zugehörige unsichere Zukunft ergibt. Das Prinzip kann in einem Szenario*baum* veranschaulicht werden. Aus der Vergangenheit führt zu jedem Knoten genau ein Pfad (Historie). Die verbleibende Unsicherheit (Zukunft) wird durch ausschließlich diesem Knoten folgende Verzweigungen repräsentiert, ohne dabei eine konkrete Entwicklung zu antizipieren. Diese Struktur ermöglicht es, optimierte flexible Entscheidungsregeln zu berechnen, die im Gegensatz zur Simulation nicht nur auf dem Einfluss stochastischer Prozesse basieren, sondern zusätzlich die vorhandene Flexibilität im Entscheidungsprozess durch Rebalancierungen in vollem Umfang nutzen. Die aus der Optimierung resultierenden Verteilungen sind somit auf ein breiteres Fundament gestützt und erhöhen im Vergleich zur Simulation auch die Güte von Wahrscheinlichkeitsaussagen. Es wird eine deutlich bessere Risikoabsicherung erzielt.

Aufgrund des starken Wachstums eines Szenariobaums werden in der stochastischen Optimierung numerisch hocheffiziente Algorithmen benötigt. Die aktuelle Forschung konzentriert sich neben der realitätsnahen Abbildung von Problemstellungen in geeigneten Modellen besonders auf die Ausnutzung der zugrunde liegenden mathematischen Strukturen. Hierfür sind am ior/cf-HSG bewährte Methoden entwickelt worden, die seit vielen Jahren erfolgreich in energie- und finanzwirtschaftlichen Anwendungsgebieten eingesetzt werden.

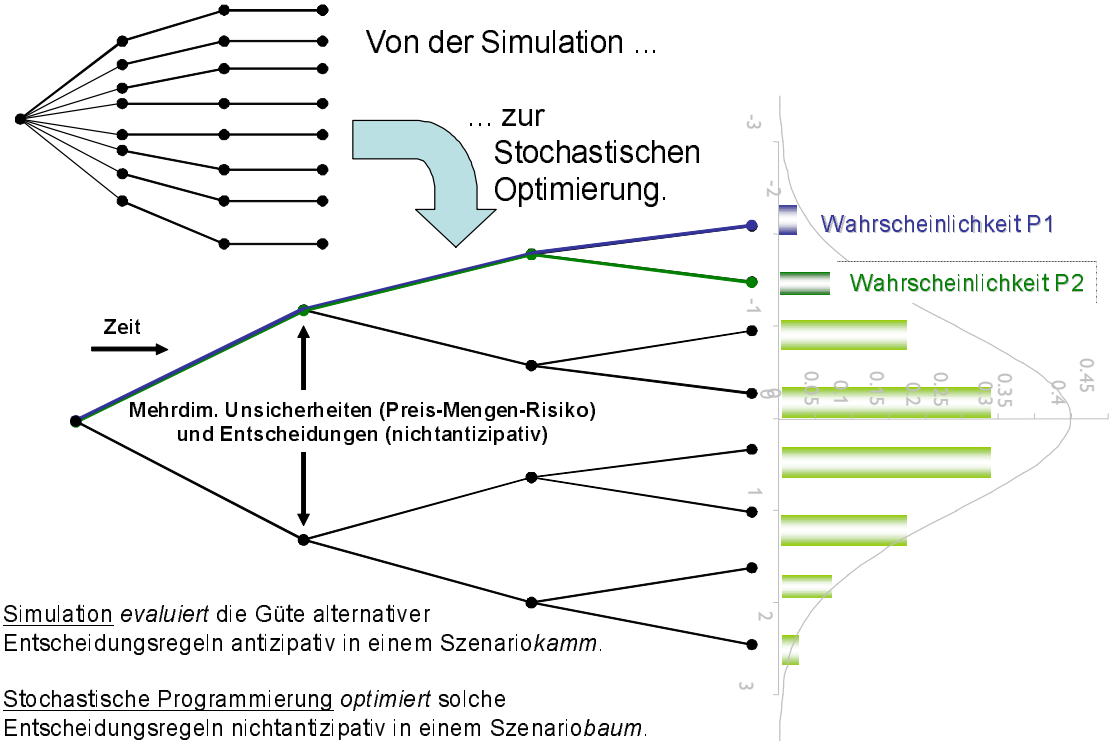


Abbildung 1: Gegenüberstellung der Konzepte Simulation vs. stochastische Optimierung

Im vorliegenden Modell wird das Beschaffungsportfolio eines Stromversorgungsunternehmens optimiert. Die resultierende Aufgabenstellung wird in *Abbildung 2* für ein stündliches Wochenlastprofil und Abdeckung über EEX-Standardverträge illustriert. Das Beschaffungsportfolio unterliegt einem deterministisch oder auch stochastisch definierten Nettolastprofil (Restfahrplan), das im Rahmen des Optimierungsprozesses eingedeckt wird. Zu den allgemeinen Eingangsdaten gehören neben der Last insbesondere die Spezifikationen der handelbaren Futures (Lieferperioden, Bezugs- bzw. Absatzmengen, Gültigkeit, Preise), eine Zusammenstellung bereits geschlossener Verträge (Mengen, Preise)

sowie Kalibrierungsdaten mit beliebiger Periodizität (z.B. Viertelstunden-Intervalle), die das zyklische Verhalten des stochastischen Preisprozesses für die Simulation bzw. Generierung eines Szenariobaums einstellen. Als Datenbasis kann unter anderem eine Forwardkurve dienen, mit welcher der stochastische Prozess marktgerecht initialisiert wird. Spreads werden als absoluter Wert oder relativ auf Basis der derzeit übergebenen Gleichgewichtspreise berücksichtigt. Auch eine unmittelbare Berücksichtigung aus Angebots- und Nachfragepreisen (Bid und Ask) ist möglich. Aufgrund der aktuell eingeschränkten Liquidität des börsennotierten Terminhandels steht diese Marktinformation aber oft nicht zur Verfügung.

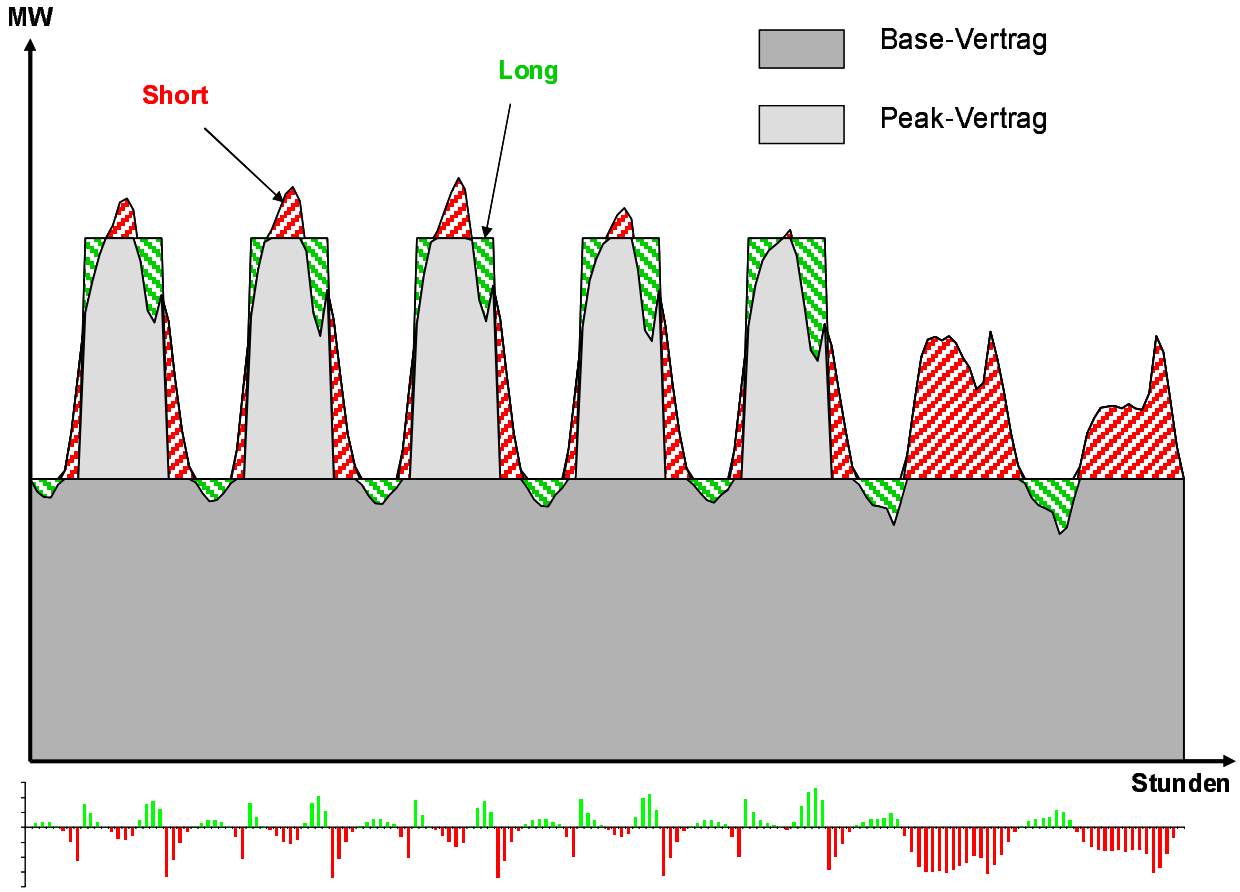


Abbildung 2: Eindeckung über Standard-Verträge und offene Positionen

Eigenhandel innerhalb des Beschaffungsmanagements erfordert zusätzliche Restriktionen, da insbesondere Liquiditätsgrenzen die zulässige Zusammensetzung eines Handelsportfolios beschränken. Die individuelle Risikoeinstellung und -fähigkeit ist für die Ausgestaltungsmöglichkeiten des Eigenhandels von zentraler Bedeutung.

Die Optimierungsrechnung wird in diesem Fall durch ein erweitertes strategisches Limitensystem beschränkt, das den umsetzbaren bzw. gewünschten Entscheidungsrahmen vordefiniert. Hierzu gehören zeitpunktbezogene Leistungslimiten und integrale Restriktionen, die allgemein die Umsatzmengen im Einkauf und Verkauf sowie Netto über vorgegebene Zeitperioden beschränken. Eine verteilungsbasierte Begrenzung des Risikos wird durch Vorgabe maximaler Durchschnittspreise für die Eindeckung offener Positionen in Subperioden erzielt. Extrementwicklungen werden so vermieden, und es ergibt sich ein Entscheidungsprozess, der die eigenen Vorstellungen und Markteinschätzungen exakt berücksichtigt. In Folge wird damit eine optimale Diversifizierung der Einkaufszeitpunkte erzielt. Im Eigenhandel muss zudem grundsätzlich mit Arbitragemöglichkeiten gerechnet werden, denen ergänzend zum Limitensystem durch Einbindung von Spreads direkt entgegengewirkt wird.

Der Anwender kann die strukturierten Vorgaben für den Optimierungsprozess über vereinfachte Parameter operativ und strategisch steuern und sich dabei an der individuellen Risiko- und Markteinschätzung orientieren. So kann der Handlungsspielraum sowohl kombiniert als auch individuell für jeden einzelnen Vertrag über normierte Grössen eingestellt werden, wobei die Short- und Long-Positionen des Restfahrplans als Berechnungsbasis dienen. Wird z.B. der Einkaufsparameter eines Peak-Vertrags auf Eins gesetzt, so darf über diesen Vertrag maximal der durchschnittliche Lastbedarf im zugehörigen Peakintervall eingedeckt werden. Durch Wahl eines positiven Wertes ungleich Eins lässt sich der zulässige Handel entsprechend ausdehnen oder beschränken. Äquivalent können energetische Grenzen über frei definierbare Perioden mit kombinierter Gültigkeit für alle im Lieferzeitraum betroffenen Verträge definiert werden. Im Modell erfolgt die algebraische Umsetzung durch Einschränkung der Freiheitsgrade und Anpassung von Zielfunktionskriterien.

2.3 Ergebnisse und integriertes Risikomanagement

Die Ergebnisse der Portfoliooptimierung setzen sich im Wesentlichen aus Realisationen und Verteilungen aller im Modell enthaltenen Zustands- und Entscheidungsvariablen in zeitdiskreten Schritten zusammen, die insbesondere den Szenariobäumen der Optimierung, aber auch ergänzenden Simulationen entnommen werden können.

Zu den Resultaten gehören eine aktuelle Portfoliostrategie sowie umfangreiche Erkenntnisse zur Risikosituation aufgrund von Verteilungsanalysen und vorab definierten Risikogrenzen. Dabei ist zu beachten, dass sich Risikovorgaben und Entscheidungsprofil wechselseitig in sehr komplexer Weise beeinflussen. Wird z.B. als Risikogrenze ein sehr niedriger Durchschnittspreis für den Einkauf innerhalb einer kurzen Subperiode gefordert, so könnte bereits durch eine geringe Anzahl ungünstiger Szenarios mit hohen Einkaufspreisen der Entscheidungsspielraum für einen längerfristigen Vertrag deutlich eingeschränkt sein, womit eine längerfristig verbesserte Risikosituation keine Berücksichtigung findet. Umgekehrt kann bereits durch triviale Einschränkungen des Handlungsspielraums ohne szenarioabhängige Risikolimiten eine Steuerung der Verteilung und somit der Risikosituation erfolgen. Von den grossen Datenmengen aus der Optimierung wird nur ein praktisch relevanter Teil benötigt bzw. in Form von Kennzahlen aufbereitet.

Während in der Optimierungsrechnung die Entscheidungen in jeder vorgegebenen Zeitstufe berechnet werden, konzentriert sich eine Simulation auf die eigentliche Zielgrösse, die sich aus Realisationen der stochastischen Einflüsse und vordefinierter Entscheidungsstrategie ergibt. Ein Optimierungsprozess fehlt in diesem Fall. Aufgrund kurzer Rechenzeiten dient die Simulation vorwiegend zur Prüfung und Transparenzsteigerung der Entscheidungsprozesse im stochastischen Optimierungsmodell. Zur Konsistenzerhaltung wird dabei - mit gewissen modelltheoretischen Einschränkungen - derselbe Ansatz wie in der Optimierung benutzt.

In *Abbildung 3* sind die zentralen Input- und Outputstrukturen der dynamischen Portfoliooptimierung zusammengefasst. Neben der notwendigen Inputstruktur, die sich aus Preis- und Mengendaten zusammensetzt, dienen weitere Kriterien zur strategischen und operativen Steuerung, wie z.B. die oben beschriebenen leistungs- und energiebezogenen Liquiditätsgrenzen sowie Konzepte von wert- oder mengenneutraler Eindeckung. Für die wertneutrale Eindeckung im optimierten Handelsportfolio wird ein Ausgleich der Short- und Long-Positionen gefordert - bewertet mit Forwardpreisen. Bei mengenneutraler Eindeckung muss die Summe der Energiemengen im Optimierungsergebnis gleich Null betragen.

Das Ergebnis der ersten Stufe aus dem mehrstufigen stochastischen Optimierungsproblem ergibt eine aus heutiger Sicht eindeutige optimale Zusammensetzung des Handelsportfolios. Die nachfolgenden Stufen ergeben Wahrscheinlichkeitsverteilungen von Zustands- und Entscheidungsvariablen, die durch die Verzweigungen in jeder Stufe des Szenariobaums repräsentiert werden. Anders als beim Konzept der Simulation gibt es hier keine vorbestimmten Entscheidungsregeln, sondern vielmehr wird auch die Entscheidungsstrategie selbst durch die unsicheren Entwicklungen nichtantizipativ und dynamisch im Zeitablauf optimiert. Die letzte Stufe im Szenariobaum repräsentiert das Gesamtergebnis von dynamisch optimierten Strategien über den Planungshorizont. Die entsprechende Kosten-Verteilung kann unmittelbar für Risikoanalysen und die Berechnung von verteilungsbasierten Risikokennziffern - wie z.B. Value-at-Risk oder Conditional-Value-at-Risk - genutzt werden.

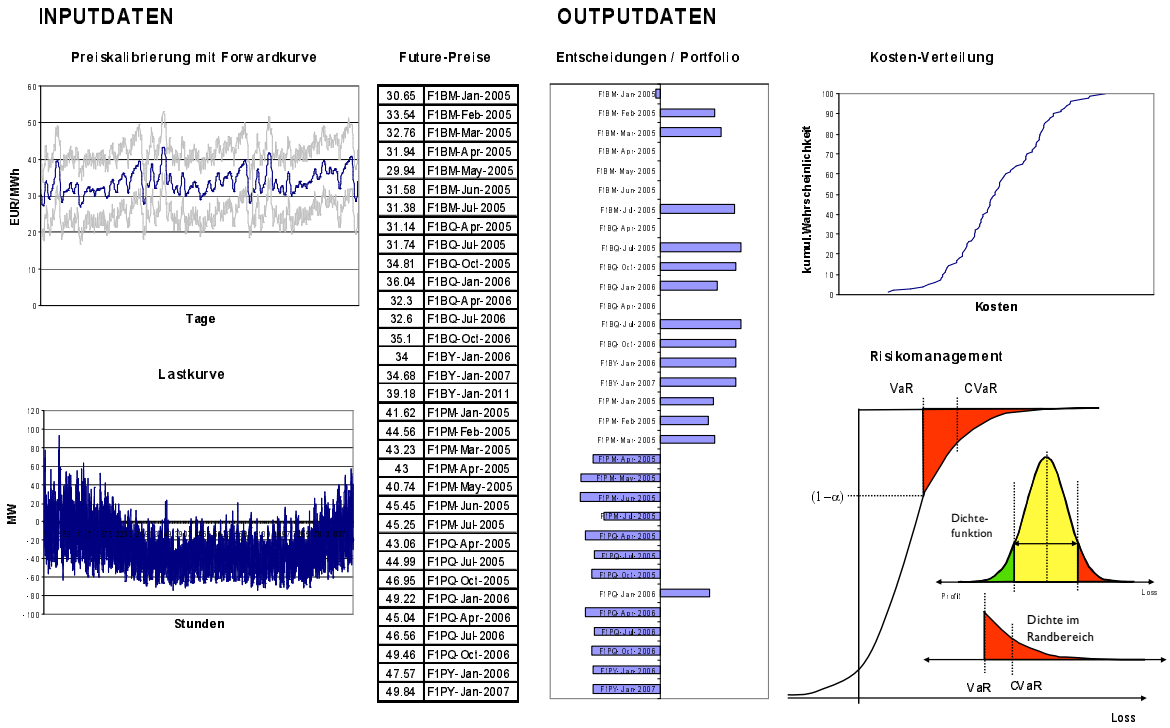


Abbildung 3: Übersicht zu Portfolio- und Risikomanagement mit stochastischer Optimierung

3. Derivatbewertung am Beispiel von Swing-Optionen

Die im Elektrizitätsmarkt unter dem Begriff Swing-Optionen bekannten Derivate stellen das natürliche Analogon zu den aus der Finanzwelt bekannten Call- und Put-Optionen dar. Da sie gegenüber den letzteren aber durch zusätzliche Verpflichtungen gekennzeichnet sind und ausserdem pfadabhängige Derivate mit amerikanischer Ausübung darstellen, existieren keine einfachen Optionspreis-Formeln. Dieser Umstand ist vermutlich mitverantwortlich dafür, dass Swing-Optionen noch nicht in standardisierter Form gehandelt werden, sondern dass es sich vielmehr um sehr spezifisch ausgestaltete Verträge handelt, welche auf OTC-Basis zwischen den Parteien ausgehandelt werden. Da somit – noch! – keine grosse Marktliquidität mit transparenten Pricing-Informationen gegeben ist, bedarf es für die bereits aktiven sowie potentiellen Options-Schreiber und –Halter umso mehr eines ausgefeilten Instrumentes zur Bewertung und zur Ermittlung optimaler Ausübungsstrategien von Swing-Optionen.

3.1 Spezifikation von Swing-Optionen

Swing-Optionen geben dem Optionshalter das Recht, während der vereinbarten Ausübungsperiode Energie zu einem vorher vertraglich fixierten Preis und innerhalb vorgegebener Leistungslimiten zu kaufen bzw. zu verkaufen. Analog zu den klassischen Finanzoptionen eignen sich daher Swing-Optionen einerseits als Absicherungsinstrumente, andererseits können damit aber durchaus auch spekulative Interessen verfolgt werden. Die Bewertung von Swing-Optionen erweist sich jedoch gegenüber den klassischen Finanzderivaten als sehr komplex, da deren konkrete Ausgestaltung oftmals durch zusätzliche Verpflichtungen gekennzeichnet ist, wie etwa durch einen gewissen Mindest- oder Höchstbezug innerhalb der gesamten Ausübungsperiode oder durch die Festlegung von sog. *Ratchets*, welche die maximal zulässige Veränderung der ausgeübten Leistung von einer Stunde zur nächsten eingrenzen. Die Spezifikation von Ratchets, welche signifikant kleiner als die zulässige Maximalleistung sind, führt zu einer trägen Anfahrcharakteristik, d.h. abrupte Leistungsschwankungen sind verboten. Des weiteren wird einer Swing-Option häufig ein Qualitätsprofil zugeordnet. Das bedeutet, dass die Ausübung der Option auf bestimmte Stunden oder Tage der Vertragsperiode beschränkt ist. Typischerweise wird mit Base-, Peak- oder Off-Peak-Qualität gearbeitet.

3.2 Bewertungsansatz mit stochastischer Optimierung

Aufgrund ihrer besonderen Merkmale ist eine analytisch geschlossene Bewertung von Swing-Optionen – ähnlich der aus der Finanzwelt bekannten Black-Scholes Optionspreisformel – nicht möglich. Stattdessen kann der faire Wert einer Swing-Option ermittelt werden, indem man den durchschnittlichen Ertrag berechnet, den ein Optionshalter durch eine optimale Ausübungsstrategie am Spotmarkt erwirtschaftet. Da die zukünftigen Spotpreise unsicher sind, stellt die Methode der stochastischen Optimierung einen natürlichen Ansatz zur Maximierung dieses durchschnittlichen Gewinns dar: Durch das stochastische Optimierungsproblem wird also die Perspektive eines fiktiven Optionshalters eingenommen, welcher sich angesichts der unsicheren Spotpreisdynamik über die gesamte Ausübungsperiode hinweg effizient verhält. Dabei unterstellt man, dass Energiemengen, welche über die Swing-Option zum Strikepreis bezogen wurden, unmittelbar danach auf dem Spotmarkt zum

aktuellen Spotpreis wieder verkauft werden. Umgekehrt geht man davon aus, dass Energiemengen, welche über die Swing-Option zum Strikepreis verkauft werden, unmittelbar davor auf dem Spotmarkt zum aktuellen Spotpreis eingekauft wurden.

Die Strategie über die gesamte Ausübungsperiode hinweg ist demnach nicht nur ein Nebenprodukt der Options-Bewertung, sondern ist sogar das eigentliche Mittel zum Zweck für die Bewertung selbst. Das Hauptaugenmerk muss daher auf einer adäquaten Modellierung des zukünftigen Spotpreises und dem Raum der zulässigen Ausübungsstrategien liegen. Diese beiden Aspekte werden in einem mehrstufigen stochastischen Optimierungsproblem integral abgebildet: Die Spotpreis-Entwicklung wird durch einen parametrierbaren stochastischen Prozess berücksichtigt, wobei alle Features der üblicherweise verwendeten Prozessklassen (Mean Reversion, Saisonalitäten, Jumps, stochastische Spreads zwischen Peak und Off-Peak Preisen, etc.) abgedeckt werden können. Die aktuelle Forwardkurve bestimmt dabei den erwarteten Spotpreis in der Zukunft, um den alle übrigen Preisszenarien fluktuieren. Die Ausübungen erfolgen auf stündlicher (bzw. täglicher oder wöchentlicher) Basis, wobei – gemäss der Charakteristik eines mehrstufigen Optimierungsproblems – die Strategien für die zukünftigen Zeitintervalle (Stufen) auch von der Entwicklung des Spotpreises und der Ausübungen bis zum entsprechenden Zeitpunkt abhängen dürfen.

Je nachdem ob die Rechte oder die Pflichten aus der Swing-Option überwiegen, wird der Preis des Vertrages schlussendlich positiv oder negativ ausfallen.

3.3 Ergebnisse (Bewertung, Ausübung und Hedging)

Als Output liefert das Modell unter anderem den Wert der Option, die optimale Ausübungsstrategie (pfadabhängig) und die durch diese Strategie implizierte Profit & Loss-Verteilung am Ende der Lieferperiode. Analysen haben ergeben, dass die Ausübungsstrategie von Szenario zu Szenario stark variiert, womit die Methodologie der stochastischen Optimierung als szenariobasiertes Konzept einen wesentlichen Beitrag zur effizienten Bewertung von Swing-Optionen liefert. Dies gilt umso mehr, als eine Swing-Option ein komplexes Energiederivat ist, welches nicht als Portfolio von einfacheren Verträgen (wie zum Beispiel Forwards und Europäischen Call-

Optionen) dargestellt werden kann. Aufgrund der Optimierungsergebnisse können ausserdem bequem die gängigen Risikokennziffern (Erwartungswert, Varianz, Value-at-Risk, Profit-at-Risk, etc.) der Profit & Loss-Verteilungen ermittelt werden.

Abbildung 4 visualisiert die Abhängigkeit des Optionspreises von verschiedenen Vertragsparametern. Es ist deutlich sichtbar, dass der Wert bei zunehmend kleineren Ratchets zunächst nur schwach abnimmt. Unterschreiten die Ratchets jedoch eine kritischen Grösse, so zerfällt der Wert der Option schlagartig. Ein Händler sollte unbedingt wissen, wo diese kritische Barriere liegt. Aus *Abbildung 4* ist ausserdem ersichtlich, wie sich der Optionswert verhält, wenn die Maximalbezugsmenge reduziert wird. Hier beobachtet man ein ähnliches Phänomen wie bei den Ratchets: Erst wenn die zulässige Maximalbezugsmenge unter 2/3 des Produktes aus Maximalleistung und Vertragsdauer fällt, findet ein signifikanter Preiszerfall statt. Es gilt zu beachten, dass der numerische Wert der Barriere von den Spezifikationen der Swing-Option abhängt.

Die optimalen Ausübungsstrategien (mit stündlicher Auflösung) von drei typischen Optionsverträgen sowie die zugrunde gelegte Forwardkurve sind in *Abbildung 5* visualisiert. Erwartungsgemäss ist das optimale Lastprofil positiv mit der zugrunde liegenden Forwardkurve korreliert. Bei welchem Preisniveau die Leistung jeweils erhöht oder reduziert wird, hängt in hohem Masse und in nicht offensichtlicher Weise von den Energielimiten über die gesamte Vertragsdauer sowie von der Grösse der Ratchets ab. In *Abbildung 5* wird nur die erste Woche nach dem Bewertungsdatum dargestellt, denn auf dem Rest der Vertragsperiode ist die Ausübungsstrategie szenarioabhängig, was zu einer intransparenten Darstellung führen würde.

Bei Bedarf kann die Optimierung durch eine Sensitivitätsanalyse ergänzt werden. Die Sensitivitäten des Optionspreises bezüglich kleiner Veränderungen der Forwardkurve in vorgegebenen Intervallen lassen sich mit Hilfe der optimalen Ausübungsstrategie berechnen. Diese Sensitivitäten werden als Deltas bezeichnet und dienen als Portfoliogewichte in einem Hedging-Portfolio. In *Abbildung 6* werden die Peak- und Off-Peak-Deltas zu sämtlichen Wochen (beginnend jeweils am Sonntag) und zu allen Kalendermonaten ermittelt, welche sich mit der Ausübungsperiode der betrachteten Swing-Option überschneiden. Aus der unteren Grafik der *Abbildung 6* lässt sich

ablesen, dass der Optionswert etwa um 2 €/MWh × 10'000 MWh = 20'000 € zunimmt, wenn beispielsweise die Forwardpreise der Juni-Peak-Stunden - ceteris paribus - um 2 €/MWh ansteigen. Wenn jedoch die Forwardpreise der Juni-Off-Peak-Stunden um 3 €/MWh ansteigen, dann sinkt der Optionswert aufgrund dieses Effektes um etwa 3 €/MWh × 11'000 MWh = 33'000 €. Gegen solche Preisunsicherheiten kann man sich absichern, indem man in monatlichen Peak- und Off-Peak-Futures handelt. In einem optimalen Hedge-Portfolio sollten sich die Preisänderungen der Swing-Option und der Futures-Verträge gerade gegenseitig aufheben. Aus dieser Bedingung lassen sich die Portfoliogewichte der Futures-Verträge ermitteln. Es stellt sich heraus, dass diese Portfoliogewichte gerade den normierten Delta-Sensitivitäten der Swing-Option entsprechen, wobei der Normierungsfaktor durch die Anzahl Stunden in dem zu einem spezifischen Delta gehörigen Zeitfenster gegeben ist. Es gilt dabei zu beachten, dass ein positives Delta einer Short-Position und ein negatives Delta einer Long-Position der zugrunde liegenden Futures-Verträge im Hedging-Portfolio entspricht.

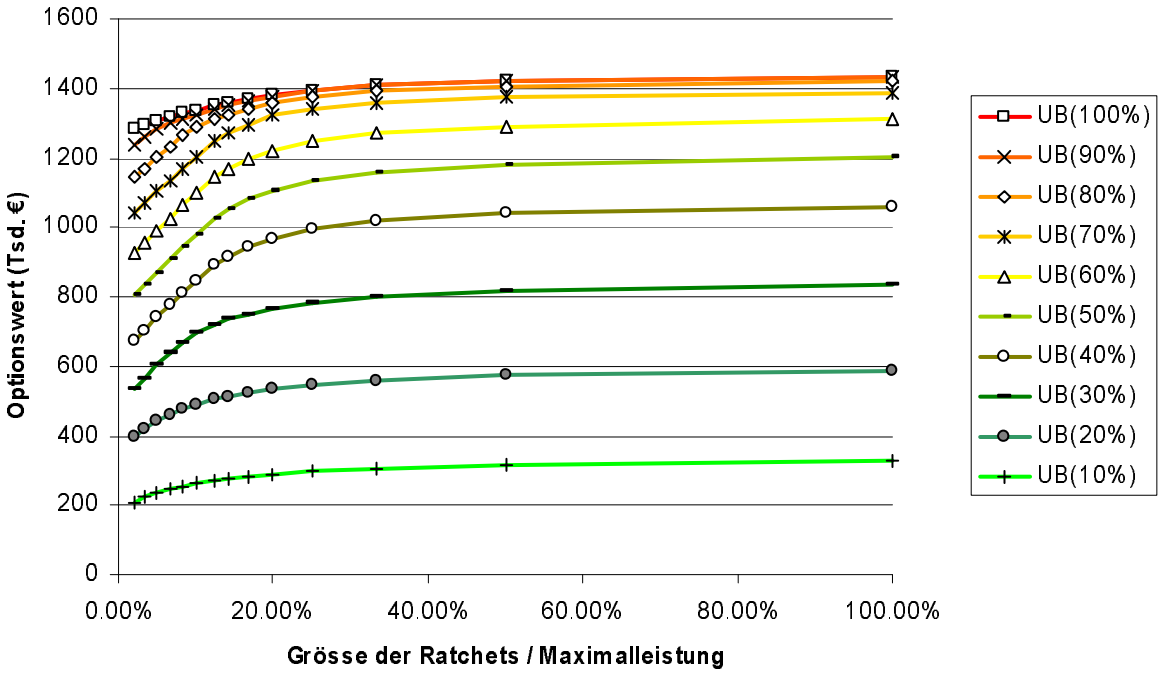


Abbildung 4: Optionswert in Abhängigkeit der Grösse der Ratchets (in Einheiten der möglichen Maximalleistung gemessen). Die Kurven entsprechen verschiedenen Maximalbezugsmengen in Schritten von 10% der Maximalleistung multipliziert mit der Vertragsdauer. Optionsparameter: Lieferperiode: 01.08.04 - 31.10.04, Qualität: Base, Strikepreis: 20 €/MWh, Maximalleistung: 60 MW, Minimalleistung: 0 MW, Minimalbezugsmenge: 0 MWh.

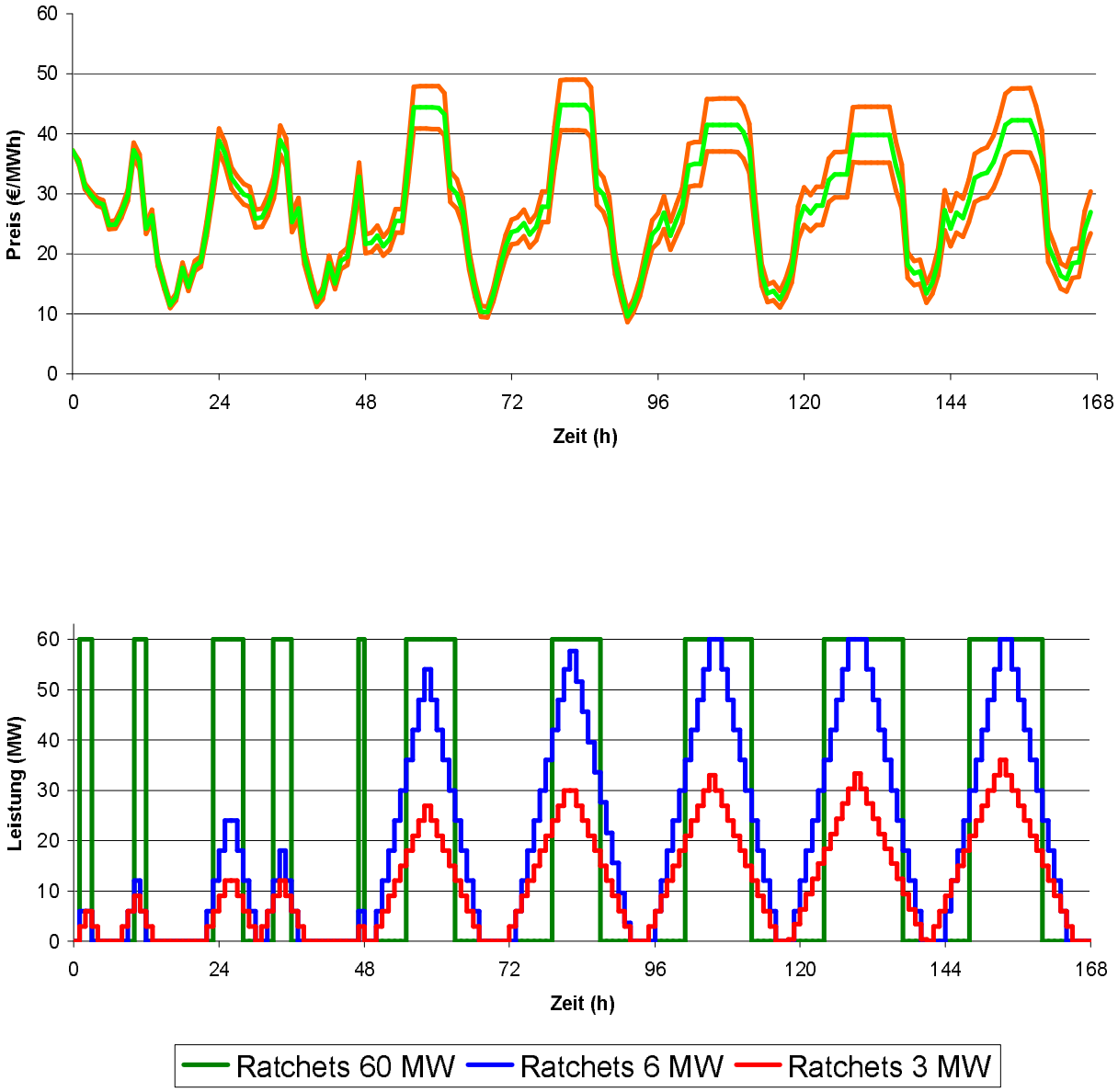
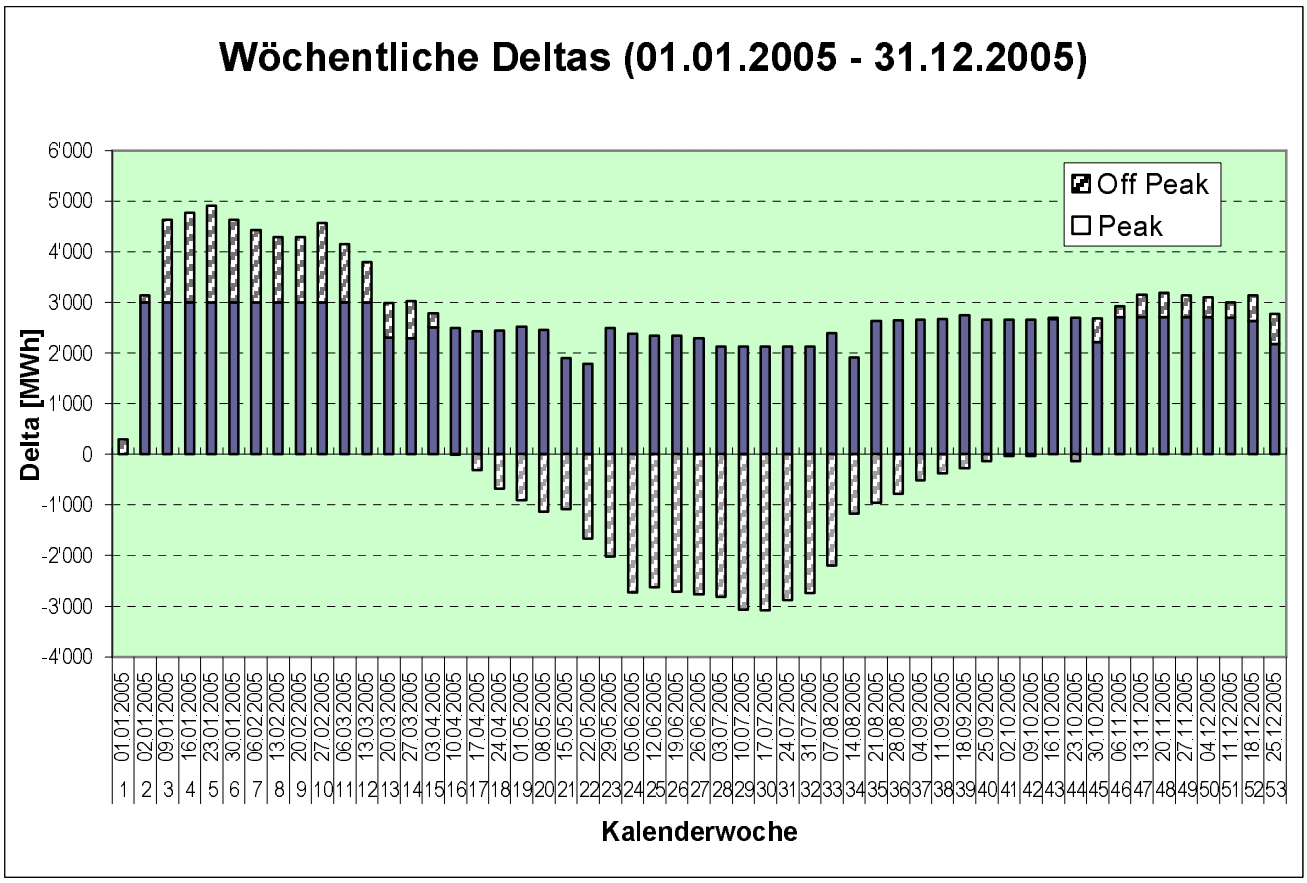


Abbildung 5: Oben: Erwartungswert (grüne Kurve) und 67% Konfidenzintervall des Spotpreises (Korridor der roten Kurven) in der ersten Vertragswoche (Pilipovic Modell). Unten: Entsprechende Ausübungsstrategien (week-ahead) für drei Verträge mit zunehmend träger Anfahrcharakteristik. Die zugrunde liegenden Vertragsparameter sind dieselben wie im Beispiel der *Abbildung 4*. Die Maximalbezugsmenge wurde so gewählt, dass die Option in der Hälfte der Zeit ausgeübt werden kann.



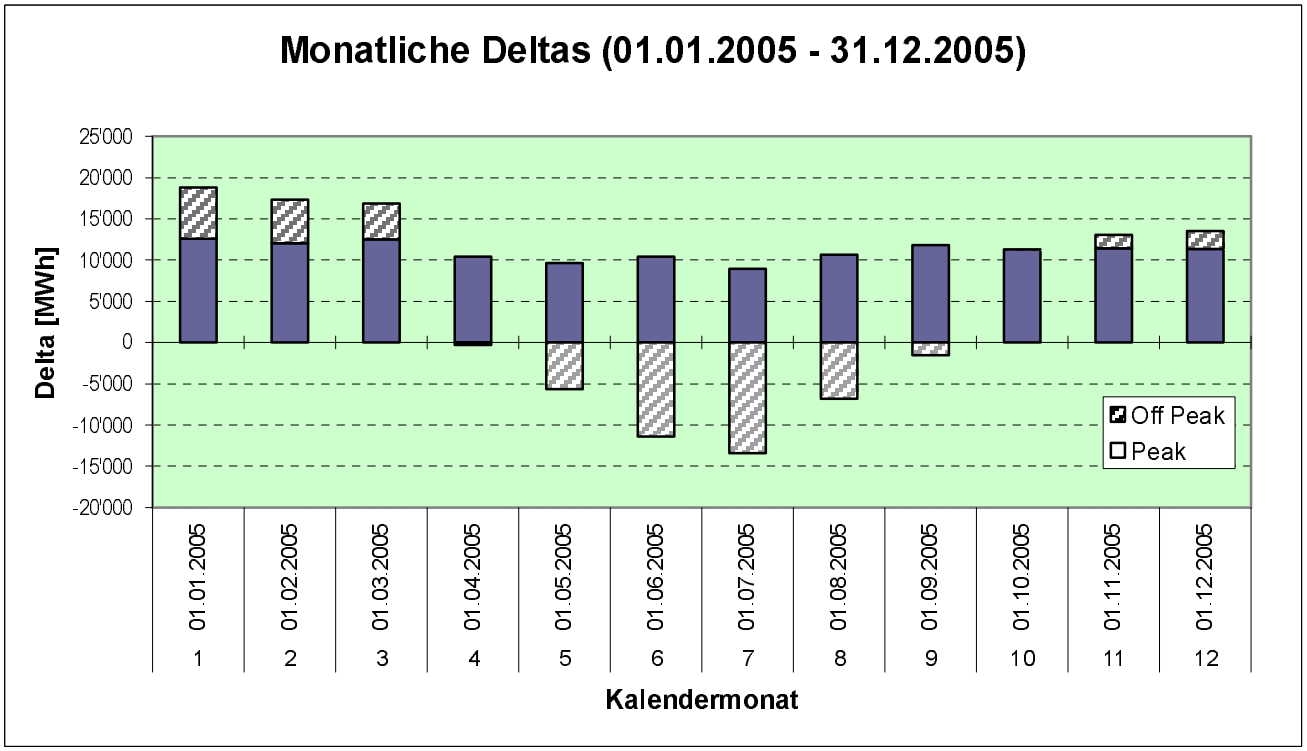


Abbildung 6: Sensitivität des Optionspreises bezüglich kleiner Veränderungen der Forwardpreise in den einzelnen Wochen bzw. Monaten der Vertragsperiode. Diese Sensitivitäten bestimmen die Struktur des optimalen Hedge-Portfolios.

4. Zusammenfassung

Mittels neuer und innovativer Ansätze können Herausforderungen im zunehmend durch operative und strukturelle Unsicherheiten geprägten Strommarkt in Zukunft besser bewältigt werden.

Die Entwicklung der stochastischen Portfoliooptimierung und Integration in ein Energiemanagementsystem wurde von wissenschaftlichen, energiewirtschaftlichen, operativen und informationstechnischen Herausforderungen bestimmt. Die Kombination von Praxisbedürfnissen, Erfahrung und Innovation wurde hierbei direkt durch die strategische Allianz von Stadtwerke Gießen AG, Verbundplan GmbH und ior/cf-HSG reflektiert. Durch diese Konstellation ergab sich eine ideale Ergänzung von Know-how-Schwerpunkten aller beteiligten Partner.

Das Ergebnis der Kooperation ist das modular aufgebaute Portfolio- und Risikomanagementsystem Bit@Energy.DSS, mit dem eine rasche und gesamtheitliche Bewertung von aktuellen Positionen und die Optimierung eines Portfolios möglich sind. Das System unterstützt sowohl die Energiebeschaffung als auch die Vertriebsseite von Stadtwerken, Händlern und Weiterverteilern. Die modulare Konzeption ermöglicht eine optimale Anpassung an spezifische Kundenbedürfnisse.

Darüber hinaus lassen sich Derivate mit komplexen Ausübungsstrategien, wie z.B. Swing-Optionen, mit einem neuen Ansatz auf Basis stochastischer Optimierung bei deutlich vermindertem Modellrisiko gegenüber herkömmlichen Methoden bewerten. Dies gilt insbesondere, da aktuell keine analytische Bewertungsmethode verfügbar ist. Zusätzlich wird eine zeitnah optimale Ausübung berechnet, die zukünftige stochastische Entwicklungen in nichtantizipativer Weise berücksichtigt.