

Diss. ETH No. 14727

Hedging Strategy and Electricity Contract Engineering

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by

GUSTAF UNGER

M. Sc. Mechanical Engineering, Royal Institute of Technology
M. Sc. Business Administration and Economics, Stockholm School of Business

born 27th April 1973
citizen of Sweden

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Hans-Jakob Lüthi, examiner
Prof. Dr. Massimo Filippini, co-examiner
Prof. Dr. Rajna Gibson, co-examiner
Prof. Dr. Hans-Jörg Schötzau, co-examiner

2002

Abstract

This thesis studies risk management in the electricity market in general and the interaction between physical production and electricity contracts in particular. From a risk management point of view, a power portfolio differs substantially from a traditional financial portfolio. Electricity is non-storable, which together with the marginal production cost characteristics creates jumps in the spot price. The return of a power portfolio is hence typically heavy-tailed, and a risk measure, such as CVaR, that captures this heavy-tailedness is needed. To be able to compare production and contracts on a unified basis, we identify the set of contracts that corresponds to each power plant. These contracts build up a replicating portfolio of the power plant. This engineering of contracts allows us to risk manage these often complex contracts, through production. Further, a producing electricity company can through a simple absence of arbitrage argument assess these contracts by studying the costs associated with the corresponding power plant. Flexible production units, such as a gas turbine, relate to options whereas inflexible units, such as a nuclear plant, relate to futures.

The electricity market is heavily incomplete, why perfect hedges are not achievable for a number of contracts. Hence we introduce the concept of best hedge. The best hedge is found through an optimization, where risk, measured as CVaR, is minimized subject to a constraint on the expected profit. It turns out that this problem can be solved with linear programming, allowing us to handle problems of substantial size.

When a whole portfolio is considered we try to utilize our risk mandate at the best possible way. This leads us to the well-known problem in finance

of portfolio optimization. However, this problem needs to be tailored for the electricity market because of the special characteristics of power portfolios. An optimal portfolio implies also an optimal dispatch of the production assets. We focus on the challenging hydro storage plant, which because of its flexible nature corresponds to a series of options. These options are however interdependent through the stored water in the reservoir. An exercise of an option, i. e. production, decreases the amount of stored water and may prohibit production at a later point in time. We develop a dynamic dispatch strategy, which takes this interdependence into account. The optimization of a portfolio consisting of a hydro storage plant and electricity contracts hence needs to derive the optimal portfolio of contracts and the optimal dispatch strategy, or with financial terms the optimal exercise conditions for the corresponding options. We solve the problem with linear programming by maximizing the expected profit over a specified time horizon under the constraint that CVaR of the portfolio may not exceed some threshold, typically determined by the risk preferences of the firm.

It turns out that a simultaneous optimization of the dispatch and the contracts is needed, since the dispatch depends on the volume risk in the entered contracts. A main result is the high value related to the operational flexibility of the hydro storage plant. By studying the dual of our linear portfolio optimization problem, we can actually quantify this value. In a performed case study it is shown that this value of flexibility can be substantial. Any valuation that does not take this operational flexibility into account may hence underestimate flexible power plants.

Zusammenfassung

Die vorliegende Schrift hat zum Gegenstand, das Risikomanagement im Allgemeinen und das Zusammenspiel von Elektrizitätsproduktion und Elektrizitätsverträgen im Besonderen, zu studieren. Aus der Sicht des Risiko Managements unterscheiden sich Elektrizitätsportfolios substantiell von traditionellen Finanzportfolios. Preissprünge, die auf die nicht vorhandene Lagerfähigkeit von Elektrizität und die besonderen Grenzkosteneigenschaften bei der Produktion zurückgeführt werden können, implizieren eine langschwänzige Verteilung für den Return. Es scheint sinnvoll, mit einem Risikomass zu arbeiten, dass dieser Langschwänzigkeit Rechnung trägt. Um Produktion und Verträge überhaupt auf einer einheitlichen Basis miteinander vergleichen zu können, werden zunächst für jedes Kraftwerk, die dazugehörigen Verträge bestimmt. Diese Verträge entsprechen einem Replikatsportfolio des Kraftwerks. Dadurch kann das Risiko der oft komplexen Verträge über die Produktion gesteuert werden. Unter Ausschluss von Arbitrage-Möglichkeiten kann eine Elektrizitätsgesellschaft diese Verträge durch das Untersuchen, der für das entsprechende Elektrizitätswerk anfallen Kosten, bewerten. Flexible Produktionseinheiten, wie zum Beispiel Gasturbinen, lassen sich als Optionen interpretieren, unflexible Einheiten, wie Kernkraftwerk, entsprechen Futures.

Da der Elektrizitätsmarkt in grossem Masse unvollkommen ist und somit für die meisten Verträge kein perfekter Hedge existiert, wird der Begriff des bestmöglichen Hedges eingeführt. Der bestmögliche Hedge wird durch Optimieren bestimmt, wobei es das Risiko, gemessen in CVaR, unter Begrenzung des erwarteten Profits, zu minimieren gilt. Dieses Problem kann mittels

Linearer Programmierung gelöst werden, womit auch umfangreiche Probleme betrachtet werden können.

Wenn wir ein Portfolio betrachten, versuchen wir den vorgegebenen Risikospiegelraum bestmöglich auszunutzen, welches auf das bekannte Problem der Optimierung von Finanzportfolios zurückgeführt werden kann. Ungeachtet dessen, muss aufgrund der speziellen Charakteristika der Elektrizitätsportfolios das Problem den besonderen Eigenschaften des Elektrizitätsmarktes angepasst werden. Ein optimales Portfolio impliziert dabei eine optimale Einplanung der verfügbaren Anlagen. In dieser Arbeit liegt der Schwerpunkt auf der Betrachtung von Speicherkraftwerken, die aufgrund ihrer Flexibilität als eine Folge von Optionen interpretiert werden können. Da die Ausübung einer Option, d.h. die Produktion von Energie, die Menge des gestauten Wassers verringert und unter Umständen eine Produktion zu einem späteren Zeitpunkt unmöglich gemacht wird, gelten die Optionen als voneinander abhängig. Es wird eine dynamische Produktionsstrategie entwickelt, welche dieser Abhängigkeit Rechnung trägt. Das Optimieren eines Portfolios bestehend aus Wasserkraftwerken und Elektrizitätsverträgen führt zu einem optimalen Vertragsportfolio und einer optimalen Produktionsstrategie, oder vom Finanzstandpunkt aus gesehen, zur Bestimmung der optimalen Ausübungskonditionen für die Optionen. Das Problem wird mit Hilfe der Linearen Programmierung gelöst, indem über eine bestimmte Zeitspanne der Profit maximiert wird. Als Nebenbedingung wird dabei gefordert, dass der CVaR des Portfolios eine gewisse Schranke, welche die Risikopräferenzen des Unternehmens widerspiegelt, nicht überschritten werden darf.

Aufgrund der Abhängigkeit zwischen Produktion und Volumenrisiko der abgeschlossenen Verträge, kann gezeigt werden, dass Produktion und Verträge simultan optimiert werden müssen. Die Grundaussage dieser Arbeit ist die, dass das Vorhandensein von operationeller Flexibilität als sehr wertvoll einzustufen ist. Durch das Betrachten des dualen Problems der Portfolio Optimierung kann dieser Wert quantifiziert werden. In einem durchgeführten Fallbeispiel zeigt sich, dass der Wert der Flexibilität bedeutend sein kann. Jede Bewertung welche einer operationellen Flexibilität bei der Stromerzeugung nicht Rechnung trägt, unterschätzt somit den Wert flexibler Kraftwerke.