



Doctoral Thesis

Einsatzplanung hydraulischer Kraftwerke unter stochastischen Bedingungen

Author(s):

Leuzinger, Markus

Publication Date:

1998

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-002005596> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 12919

Einsatzplanung hydraulischer Kraftwerke unter stochastischen Bedingungen

Abhandlung
zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von
MARKUS LEUZINGER
Dipl. El.-Ing. ETH
geboren am 18. April 1968
Bürger von Glarus (GL)

Angenommen auf Antrag von:
Prof. Dr. H. Glavitsch, Referent
Prof. Dr. K. Frauendorfer, Korreferent

1998

Kurzfassung

Die Kraftwerkseinsatzplanung hat die Aufgabe, den Betrieb von Kraftwerken hinsichtlich verschiedener Zielsetzungen zu optimieren. Um diese komplexe Aufgabe lösen zu können, wird sie üblicherweise hierarchisch in verschiedene Zeitbereiche unterteilt. Der mittelfristigen Einsatzplanung kommt dabei eine Schlüsselrolle zu. Wegen ihrer langen Planungsdauer und wegen stochastischen Einflüssen entstehen grosse Problemdimensionen, die durch Modellvereinfachungen reduziert werden müssen. Trotzdem müssen aber die getroffenen Entscheide von den nächsten Planungsstufen umsetzbar sein. Die mittelfristige Einsatzplanung soll Entscheide treffen über den Energieumsatz in den Turbinen und Pumpen, so dass der erwartete finanzielle Ertrag der gesamten Planungsdauer maximal wird. In den bisherigen Arbeiten zu diesem Thema wird häufig die Stochastik vernachlässigt und die Möglichkeit des kurzfristigen Energieein- oder -verkaufs auf einem Spotmarkt nicht einbezogen.

Den Kraftwerksmodellen kommt eine zentrale Bedeutung zu. Sie müssen im Hinblick auf eine akzeptable Effizienz der Lösungsverfahren so einfach wie möglich sein und trotzdem die wesentlichen Eigenschaften nachbilden. In dieser Arbeit wird ein lineares Modell der mittelfristigen Einsatzplanung hergeleitet, das auch den Spotmarkt berücksichtigt. Es wird gezeigt, wie dieses Modell in ein mehrstufiges stochastisches Programm integriert werden kann, so dass die Einflüsse der Zufallsvariablen — natürliche Zuflüsse, Marktpreise und eine zu deckende Last — einbezogen werden.

Weiter wird dargelegt, wie dieses stochastische Optimierungsproblem nach dem Konzept der dynamischen Programmierung gelöst werden kann. Durch Einbezug von Ansätzen der dualen Dekomposition kann die Anzahl der zu berechnenden Zustände reduziert sowie das Problem mit der gewünschten Genauigkeit approximiert werden.

Mit dem entwickelten Modell wird eine Einsatzplanung für ein für schweizerische Verhältnisse typisches, zweistufiges Pumpspeicherkraftwerk für das Winterhalbjahr vorgenommen. Die Untersuchung der Einflüsse der verschiedenen Parameter zeigt, dass die Preise das Resultat dominant beeinflussen. Wegen ihrer geringen Wasserführung im Winterhalbjahr besitzen die Zuflüsse hingegen nur wenig Einfluss. Eine zu deckende Last wirkt sich zwar auf den finanziellen Ertrag aus. Sie beeinflusst aber die Speicherbewirtschaftung nicht. Beim Energiehandel muss entschieden werden, ob ein Energiebezugs- oder -liefervertrag zu einem bestimmten Preis abgeschlossen werden soll. Es stellt sich heraus, dass auch in diesem Bereich die Spotmarktpreise das ausschlaggebende Kriterium sind. Es wird weiter gezeigt, wie die rechnergestützte mittelfristige Einsatzplanung benützt werden kann, um geplante Anlagenerweiterungen oder Wirkungsgradverbesserungen zu analysieren. Mit diesen Resultaten können dann geplante Investitionen und deren Amortisation überprüft werden.

Abstract

The purpose of power system scheduling is to optimize operation with regard to various objects. Since there are many complicated aspects to be considered, the problem is usually subdivided into several time domains. The medium-term scheduling occupies a key position. Because of the long planning interval and the uncertain parameters, stochastic large scale non-linear optimization problems are characteristic. Decisions of the medium-term scheduling appear as constraints in the following short-term scheduling. Therefore, model simplifications must be introduced with care. The object of the medium-term scheduling is to determine a feasible scheduling for energy in hydro units that maximizes the expected financial return, considering the entire planning interval. Most approaches ignore the uncertainties or the access to a spot market.

In order to increase the efficiency of the solution approach models have to be as simple as possible. However, the essential properties of a hydroelectric power station must be taken into account. In this thesis a linear model for the medium-term scheduling including the spot market is developed. This model is integrated into a multistage stochastic program in order to take the random variables — natural inflows, prices and the load — into account. It is explained how to solve this large scale optimization problem by stochastic dynamic programming. By applying the principles of dual decomposition, the number of states that must be calculated is reduced, and the problem can be approximated as precisely as needed.

The developed model is applied to the medium-term scheduling of a typical Swiss pumped storage power station. An investigation of the influences of the various random variables on results shows that energy prices are of crucial importance. The opposite can be observed for the natural inflows because of low water levels from October to March. The load also has an effect on the financial return. But the optimal decisions for the level

curves of the reservoirs are made on the basis of the price distributions. Moreover, the medium-term scheduling also has to assess the influence of an energy contract with a fixed price on the return of the whole planning interval. In this work it is shown that also by determining an optimal policy for energy trading the prices of the spot market are the crucial factors. Finally, it is shown how the computer-based medium-term scheduling can be used to investigate the influence of planned investments — as power increases or efficiency improvements of pumps — on the expected financial return.