Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 76 (1985)

Heft: 2

Artikel: Bewirtschaftung von Stauseen mit Hilfe eines Personal-Computers

Autor: Cantaluppi, L. / Hug, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904547

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Bewirtschaftung von Stauseen mit Hilfe eines Personal-Computers

L. Cantaluppi, R. Hug

In diesem Artikel wird die optimale jährliche Bewirtschaftung von Stauseen mit Hilfe eines Personal-Computers diskutiert. Das Ziel ist es, unter Einhaltung der Versorgungssicherheit den erwarteten Erlös zu maximieren. Der Einsatz einer computergestützten Planungsmethode ist nur dann sinnvoll, wenn der Planer in den Lösungsprozess integriert wird. Die neuesten Methoden des Operations Research erlauben, diesen Prozess in Form eines Mensch-Maschinen-Dialoges mit Hilfe eines Personal-Computers durchzuführen.

Dans cet article, l'optimisation annuelle d'un réservoir hydroélectrique à l'aide d'un ordinateur personnel est étudiée. Le but est de maximiser le gain tout en assurant la sécurité d'approvisionnement. La mise en œuvre d'un tel système ne prend tout son sens que si l'homme peut être intégré dans le processus de résolution. Les méthodes les plus récentes de la recherche opérationnelle permettent la réalisation d'un tel processus sous la forme d'un dialogue homme-machine à l'aide d'un ordinateur personnel.

Adresse der Autoren

Dr. *Laurent Cantaluppi* und Dr. *Rudolf Hug*, Cantaluppi & Hug, EDV und Unternehmensberatung, Haldenbachstrasse 33, 8006 Zürich

1. Einleitung

Für Unternehmen der Elektrizitätswirtschaft steht neben den wirtschaftlichen Kriterien vor allem die Gewährleistung einer dauernd ausreichenden Strombedarfsdeckung im Vordergrund.

Um diese Aufgabe mit Erfolg zu lösen, sind wegen der zum Teil unvorhersehbaren Änderungen wie z.B. bezüglich der Wasserzuflüsse oder der Energiepreise laufend neue Produktionsentscheidungen notwendig. Dabei kommt der optimalen Bewirtschaftung von Stauseen (Fig. 1) besondere Bedeutung zu, da hier – im Gegensatz zu anderen Energieerzeugungsarten – die meisten Produktionsentscheidungen langfristige Konsequenzen haben.

In den folgenden Abschnitten dieses Artikels wird gezeigt, wie der Einsatz eines Personal-Computers die Bewirtschaftung eines Stausees erleichtern oder verbessern kann, und zwar hinsichtlich der folgenden Problembereiche:

- Höchster Erlös und Sicherheit der Versorgung

Damit gleichzeitig eine hohe Sicherheit und ein maximaler Erlös angestrebt werden können, müssen die stochastische Natur der Zuflüsse und die Unsicherheit bezüglich der zukünftigen Energiepreise berücksichtigt werden.

- Bessere Vertragsplanung

Ein Energiemanko oder Energieüberschuss muss frühzeitig erkannt werden, so dass Massnahmen (z.B. Vertragsabschluss) rechtzeitig ergriffen werden können. In kurzer Zeit sollten alternative Vertragsvarianten bezüglich ihrer voraussichtlichen Ergebniswirkung miteinander verglichen werden können.

- Vereinfachte Ausbauplanung

Stellt sich die Frage, ob sich der Einsatz einer neuen Pumpe oder Turbine lohnt, sollten die Konsequenzen auf die Flexibilität und Ertragsmöglichkeiten realitätsnah überprüft werden können.

- Optimale Turbinier- und Pumpenpolitik

Die Komplexität der Tarifstruktur und die Unsicherheit bezüglich der Zuflüsse, besonders für die Übergangsmonate (April, Mai, September, Oktober), erschweren die Bestimmung der optimalen Pumpen- und Turbinierpolitik.

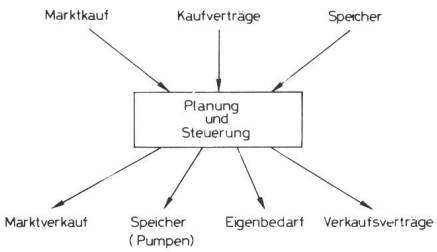


Fig. 1 Energiefluss

2. Computergestützter Lösungsprozess

Die rasante Entwicklung der Computertechnologie ermöglicht auf vielen Gebieten die Anwendung von Methoden zur Problemlösung, die bisher aus technischen oder Aufwandsgründen nicht realisierbar waren. Eine besondere Schwierigkeit dabei ist, dass oft ein grundsätzliches Überdenken der im Einsatz stehenden betriebswirtschaftlichen Methoden, Abläufe oder Organisation notwendig ist.

Im folgenden wird ein computergestützter Lösungsprozess für Aufgaben aus den erwähnten Problembereichen kurz vorgestellt.

2.1 Planungsmethode und Einsatz des Computers

Der Planer in der Praxis löst die ihm gestellte Aufgabe, indem er mögliche

Lösungen sucht und die ihm am geeignetsten erscheinende auswählt. Mit der vorgeschlagenen Lösungsmethode soll dieses *«Variantendenken»* unterstützt werden. Der Planer soll in der Lage sein, möglichst rasch alternative Lösungen nach verschiedenen Gesichtspunkten zu generieren, zu modifizieren und zu beurteilen.

Zu diesem Zweck muss der Planer seitens des Computers durch *Generierungs- und Beurteilungshilfen* unterstützt werden. Die Konzeption dieser Planungshilfen und deren Einbettung in einen auf die zu lösende Planungsaufgabe zugeschnittenen Mensch-Maschinen-Dialog ist Hauptgegenstand der Entwicklung computergestützter Problemlösungsverfahren.

2.2 Grosscomputer versus Personal-Computer

Vom Anwender aus gesehen kann ein moderner Personal-Computer alles, was ein Grosscomputer auch kann. Der wesentliche Unterschied für den Anwender liegt in der viel kleineren Rechengeschwindigkeit des Personal-Computers. Ob nun zur Lösung einer bestimmten Aufgabe ein Grosscomputer oder ein Personal-Computer eingesetzt werden soll, hängt letztlich von der gewünschten Arbeitsweise bzw. der Art der angestrebten Planungsmethode ab. Will man die genannte Planungsmethode einsetzen, ist es wichtig, dass Antwortzeiten nicht im Minuten-, sondern im Sekundenbereich liegen.

Um Problemstellungen der Speicherbewirtschaftung computergestützt zu lösen, muss man sich im klaren sein, dass aufwendige Generierungs- und Beurteilungshilfen aufgebaut werden müssen. Diesen Planungshilfen liegen komplexe mathematische Modelle (der wirklichen Aufgabenstellung) und dazugehörige, äusserst rechenintensive Lösungsverfahren zugrunde.

Will man demzufolge die erwähnte Planungsmethode mit Hilfe eines Personal-Computers realisieren, müssen speziell raffinierte Lösungsverfahren entwickelt werden. Im folgenden wird der Aufbau einer derartigen Planungsmethode mit dazugehörigem Modell und Lösungsverfahren gezeigt.

3. Modellbildung

Bei der Modellbildung muss ein Kompromiss zwischen guter Abbildung der Realität und vertretbarer Komplexität gefunden werden.

Das Ziel des Modells ist es, einen möglichst hohen Erlös unter Einhaltung der Versorgungssicherheit zu erzielen. Das zu bewirtschaftende Energieerzeugungssystem besteht aus einem Speicherbecken mit Turbinen und Pumpen. Der Planungshorizont beträgt ein oder mehrere Jahre. Eine Bewirtschaftung von Stauseen über drei Jahre hat gezeigt, dass der Seestand am Anfang des ersten Jahres keinen Einfluss auf die Bewirtschaftung des zweiten Jahres hat [1]. Damit lässt sich ein relativ kurzer Planungshorizont rechtfertigen. Die Planungszeiteinheit beträgt einen Monat, könnte aber kürzer gewählt werden, besonders für die Übergangsmonate.

Die Zuflüsse in den Speicherbecken zeigen deutliche saisonale Schwankungen und weisen in der Regel grosse Unterschiede in der gleichen Periode von einem Jahr zu einem anderen auf. Deswegen müssen die Zuflüsse als stochastische Grössen modelliert werden. Zusätzlich wird damit die Versorgungssicherheit erhöht, da auch der Fall von unterdurchschnittlichen Zuflüssen berücksichtigt wird. Mehrere Studien haben gezeigt (siehe z.B. [2]), dass eine lognormale Verteilung ein gutes Modell für natürliche Zuflüsse bietet. Die Korrelation der Zuflüsse ist umstritten. In einer Dissertation wurde an einem Beispiel eine gewisse Korrelation der Zuflüsse in den Wintermonaten nachgewiesen [3]. Diese Resultate sind aber nicht eindeutig genug, so dass die Berücksichtigung dieser Eigenschaft nicht notwendig ist.

Um eine vernünftige Abbildung der komplexen Tarifstruktur zu realisieren, werden für jede Periode drei Tarifstufen gewählt: Spitzen-, Hoch- und Niedertarif (Fig. 2). Die vom System erzeugte Energie kann auf dem Markt verkauft werden, dies aber nicht ohne Bedingung. Die Einhaltung der abgeschlossenen Verkaufsverträge muss gewährleistet werden. Die Modellierung dieser Lieferverpflichtungen erfolgt durch die Einführung von Kaufpreisen, die höher als die entsprechenden Verkaufspreise sind. Falls eine Lieferverpflichtung nicht erfüllt werden kann, muss die fehlende Energie zu diesem hohen Preis gekauft werden. Durch «künstlich» hohe Kaufpreise kann die Bedarfsdeckung mit eigener Produktion erzwungen werden.

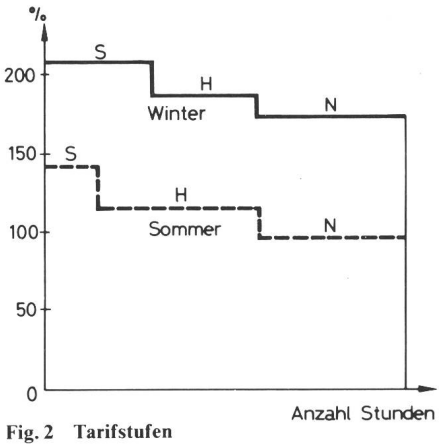


Fig. 2 Tarifstufen
S Spitzentarif
H Hochtarif
N Niedertarif

4. Lösungsverfahren

Da es sich hier um ein sequentielles Entscheidungsproblem handelt, eignet sich die Methode der dynamischen Programmierung besonders gut. Mit dieser Methode wird für jede Periode die optimale Entscheidung errechnet, unter der Voraussetzung, dass alle zukünftigen Entscheidungen auch optimal sind. Ausgehend von der letzten Periode wird damit die Lösung schrittweise von Periode zu Periode berechnet (siehe z.B. [4]). Die konventionelle dynamische Programmierung ist aber ein rechenintensiver Algorithmus. Will man diese Berechnungen auf einem Personal-Computer durchführen, müssen die konventionellen Methoden modifiziert werden.

Im folgenden wird eine speziell auf das beschriebene Modell zugeschnittene dynamische Programmierungsmethode vorgestellt [5], welche die Rechenzeit entscheidend (um mehr als einen Faktor 300 am Beispiel eines mittelgrossen Speichers) verkürzt.

Gegeben sei ein bestimmter Seestand in einer bestimmten Periode. Zu diesen Gegebenheiten kann derjenige Erlös (als Erwartungswert) berechnet werden, der bei optimaler Bewirtschaftung bis zum Ende des Planungshorizontes erzielt werden kann. Dieser Erlös wird als Wert von diesem Seestand in dieser Periode bezeichnet. Dieser Wert erlaubt es, für jede Periode und jede Tarifstufe einen sogenannten Zielseestand zu definieren. Ein Zielseestand hat die folgende Eigenschaft: Nur falls sich der aktuelle Seestand oberhalb des Zielseestandes befindet, sollte turbiniert werden, da der dafür zu erreichende Erlös grösser ist als der Wert dieses Wassers (Fig. 3). Für das Pumpen können analoge Zielseestände mit folgender Eigenschaft bestimmt werden: Nur unterhalb die-

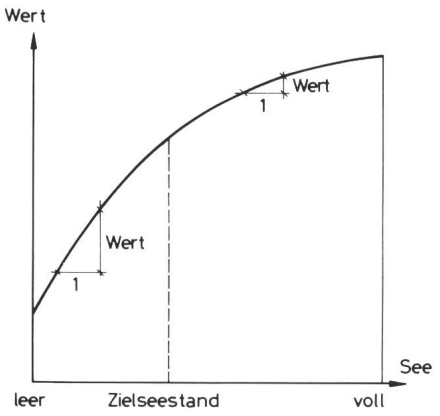
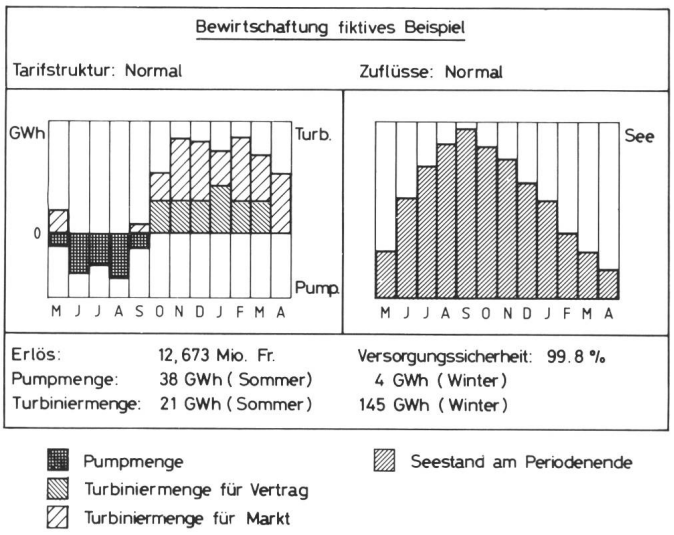


Fig. 3 Zielseestand

Fig. 4 Darstellung einer Lösung



ses Zielseestandes lohnt es sich zu pumpen.

Diese Methode hat gegenüber der konventionellen dynamischen Programmierung neben dem viel geringeren Rechenaufwand noch zwei weitere Vorteile. Erstens werden die Zuflüsse der laufenden Periode mitberücksichtigt: Je höher die Zuflüsse, desto mehr wird turbiniert oder weniger gepumpt. Zweitens wird das normalerweise auftretende Diskretisierungsproblem fast behoben. Zum Beispiel wird die folgende Bilanzgleichung

$$S_i = S_{i-1} + Z_i + \sum_j P_{ij} - \sum_j T_{ij}$$

wobei

S_i = Seestand am Ende der Periode i,
Z_i = Zuflussmenge in der Periode i,
P_{ij} = Pumpmenge in der Periode i und der Tarifstufe j,
T_{ij} = Turbiniermenge in der Periode i und der Tarifstufe j,

mit der internen Genauigkeit des Computers gewährleistet.

Um dem Planer die Beurteilung der Lösung zu erleichtern, werden ausgehend von den berechneten Zielseeständen noch die Erwartungswerte der wesentlichen Grössen (Turbinier- und Pumpenmengen, Seestand am Ende der Periode, Erlös, Versorgungssicherheit usw.) bestimmt und am Bildschirm dargestellt (Fig. 4). Die Figur gibt aber nur eine Skizze dieser Darstellung.

5. Praktischer Einsatz

Nun wird an einem einfachen Beispiel erläutert, wie mit der beschriebenen Planungsmethode (Abschnitt 2) unter Einsatz des vorgestellten Modells und Lösungsverfahrens (Abschnitte 3 und 4) mit einem Personal-Computer gearbeitet wird.

Nimmt man an, der Planer möchte aus irgendwelchen Gründen die Versorgungssicherheit erhöhen, dann stehen ihm folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- Künstliche Erhöhung der Energiekaufpreise - damit werden Modelllösungen erzwungen, in welchen ganz allgemein weniger Energie zugekauft wird.
- Künstliche Drosselung der maximalen Turbinierleistung in bestimmten Perioden.
- Künstliche Forderung, in einer bestimmten Periode einen minimalen Seestand nicht zu unterschreiten - damit werden Turbinierpolitiken erzwungen, die in den entsprechenden Perioden zu den gewünschten Sicherheitsreserven führen.

Im vorliegenden Fall versucht der Planer zuerst durch eine Erhöhung der Energiekaufpreise sein Ziel zu erreichen. Kaum hat er seinen Wunsch dem Personal-Computer eingegeben, werden die berechneten Auswirkungen bezüglich Versorgungssicherheit, Turbinier- und Pumpenpolitik am Bildschirm farbgrafisch und alphanumerisch dargestellt.

Nach einer kurzen Begutachtung findet der Planer, dass sein Bedürfnis bezüglich Versorgungssicherheit noch nicht abgedeckt ist. Zuerst beabsichtigt er, durch eine noch extremere Erhöhung der Kaufpreise das «Spiel» mit dem Markt vollständig zu unterbinden, doch dann entscheidet er sich, für Ende April einen minimalen Seestand zu fordern.

Wiederum erscheint in wenigen Sekunden das voraussichtliche Resultat dieser Massnahme am Bildschirm. Die gezeigte Turbinierpolitik mit ihren Konsequenzen scheint dem Planer das zu sein, was er aufgrund seiner Erfahrung und seiner Kenntnisse über die aktuelle betriebliche und marktwirtschaftliche Situation mit ruhigem Gewissen vertreten kann. Die Lösung ist also gefunden.

Ein ähnlicher Prozess erfolgt bei der Vertragsplanung, da der Computer kaum in der Lage ist, eine optimale Konfiguration von Verträgen zu finden, die effektiv abgeschlossen werden können. Die Stärke des gezeigten Verfahrens liegt, wie erfolgreiche Einsätze in der Praxis gezeigt haben, in dem raschen Vergleich der Auswirkungen verschiedener Vertragsvarianten.

6. Mehrspeicherbewirtschaftung

Das Modell wurde für einen einzigen Speicher präsentiert, kann aber für eine Mehrspeicherbewirtschaftung erweitert werden. Das Problem liegt im wesentlichen nur bei der Aufteilung der Lieferverträge unter die verschiedenen Speicher. Eine Studie hat gezeigt, dass in den meisten Fällen eine sehr einfache Aufteilungsregel eine optimale Lösung liefert [6].

Literatur

[1] *A. Chautens, P.-A. Chamorel* et *A. Germond:* Simulation de l'exploitation annuelle et multiannuelle d'un systeme de production d'énergie électrique. Bull. SEV/VSE 74(1983)3, p. 103...108.

[2] *J.R. Stedinger:* Fitting Lognormal Distributions to Hydrologic Data. Water Resources Res. 16(1980)3, p. 481...490.

[3] *J. Wiedemeier:* Betriebsführung und Versorgungssicherheit eines hydrothermischen Energieversorgungssystems in Verknappungssituationen. Diss. ETHZ (1984).

[4] *R.E. Larson:* State Increment Dynamic Programming. American Elsevier, New York (1968).

[5] *L. Cantaluppi:* Optimal Control of a Dam under Seasonal Electricity Prices. European J. Op. Res. 17(1984)7, p. 57...70.

[6] *S. Angehrn* und *A. Redard:* Mehrspeicherbewirtschaftung. Studienbericht IFOR-ETHZ(1983).