Bewirtschaftung der Kraftwerke Oberhasli im Modell und in der Realität

Autor(en): **Walther, Hans Jakob**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **86 (1994)**

Heft 11-12

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-940816

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Bewirtschaftung der Kraftwerke Oberhasli im Modell und in der Realität

Hans Jakob Walther

Zusammenfassung

Die Kraftwerke Oberhasli AG mit Sitz in Innertkirchen betreiben im Quellgebiet der Aare und deren Nebenflüsse neun Hochdruck-Speicherkraftwerke. Die vier KWO-Aktionäre – die Bernische Kraftwerke Beteiligungsgesellschaft AG, der Kanton Basel Stadt sowie die Städte Bern und Zürich – sind mit ihren Elektrizitätswerken gleichzeitig auch die einzigen Kunden der KWO und übernehmen deren gesamte Produktion.

Im Umfang ihres jeweiligen Anteils am KWO-Aktienkapital betreiben diese vier Elektrizitätswerke, von uns Partnerwerke genannt, die KWO so, als wäre sie ihre eigene Anlage. Möglich ist das, weil der zwischen 1925 und 1982 in sieben Etappen erstellte Komplex, der heute aus acht Stauanlagen, 25 Turbinen, sieben Pumpen und einer Pumpenturbine besteht, in einem idealisierten Modell bewirtschaftet wird. Aufgezeigt werden dabei die Datenflüsse zwischen der KWO und den Partnern sowie die interne Umsetzung und Bewirtschaftung der Anlagen.

Résumé: La question des eaux de l'aménagement Oberhasli – modélisation et réalité

Les Forces Motrices de l'Oberhasli SA (FMO), sises à Innertkirchen, exploitent neuf centrales à accumulation à haute pression dans la région des sources de l'Aar et de ses affluents. Les quatre actionnaires – les Forces Motrices Bernoises Société de participation SA, le canton de Bâle-Ville ainsi que les villes de Berne et de Zürich – sont en même temps les seuls clients des FMO, puisque leurs sociétés d'électricité en reprennent la totalité de la production.

Chacune des quatre sociétés d'électricité, que nous appelons aussi nos «partenaires», exploite la part des FMO correspondant à sa participation au capital-actions comme si c'était son propre aménagement. Ceci est possible grâce à un modèle de gestion qui englobe l'ensemble des installations construites en sept étapes entre 1925 et 1982, soit au total huit barrages, 25 turbines, sept pompes et une pompe-turbine. Les échanges de données entre les FMO et leurs partenaires, la réalisation interne et l'exploitation réelle des installations sont présentés.

1. Kraftwerke Oberhasli AG, KWO

1.1 Aktionäre und Partner

Die Kraftwerke Oberhasli AG wurden 1925 mit Sitz in Innertkirchen gegründet. Aktionäre sind die Bernische Kraftwerke Beteiligungsgesellschaft AG mit einem Anteil von $^3/_6$, der Kanton Basel Stadt und die Städte Bern und Zürich mit einem Anteil von je $^1/_6$ des Aktienkapitals. Da alle vier KWO-Aktionäre selber Energieverteiler sind, sind sie gleichzeitig auch unsere einzigen Kunden. Diese «Kunden», im Kraftwerkbetrieb als Partner oder Partnerwerke bezeichnet, sind dementsprechend die Bernischen Kraftwerke (BKW), die Industriellen Werke Basel (IWB) sowie die Elektrizitätswerke der Stadt Bern (EWB) und der Stadt Zürich (EWZ).

1.2 Anlagen

Das Einzugsgebiet der KWO im obersten Aaretal ist abgegrenzt durch die markanten Punkte Finsteraarhorn (4274 m ü. M.) im Westen, Grimselpass im Süden, Sustenpass im Osten und dem Titlis im Norden. Der tiefste Punkt mit der Wasserrückgabe an die Aare befindet sich in Innertkirchen (630 m ü. M.). In diesem Gebiet betreibt die KWO neun Hochdruck-Speicherkraftwerke, gespeist von acht Stauanlagen und sechs Ausgleichbecken (siehe Bild 1, Situationsplan und Bild 2, hydraulisches Schema).

Die produzierte Energie wird in Innertkirchen transformiert und ins schweizerische Hochspannungsnetz eingespeist, mit dem wir über eine 150 kV- und sieben 220 kV-Leitungen Richtung Tessin, Zentralschweiz, Mittelland und Berner Oberland verbunden sind.

2. Bewirtschaftung im Modell durch die Partner

2.1. Separatbewirtschaftung

Der in den Jahren 1970 bis 1982 erfolgte Bau der Überleitung Handeck-Trift und des Umwälzwerks Oberaar-Grimsel erlaubte es, die KWO-Anlagen vielfältiger einzusetzen. Um die neugeschaffenen Einsatzmöglichkeiten wirtschaftlich optimal nutzen zu können, musste aber ein Instrument geschaffen werden, das es jedem Partner erlaubt, den ihm zustehenden KWO-Anteil seinen Bedürfnissen entsprechend und unabhängig von den andern Partnern zu bewirtschaften. Mit einem gemeinsam ausgearbeiteten Betriebsreglement und einem Reglement für die rechnergestützte Energieabrechnung wurden dafür die Voraussetzungen geschaffen. Diese Reglemente legen die folgenden wesentlichen Punkte fest:

- Die BKW wurden als «Betriebsführender Partner» bestimmt. Sie koordinieren die Wünsche aller Partner und schaffen so der KWO die Voraussetzungen für einen physikalisch möglichen Betrieb.
- Aus dem komplexen, in sieben Etappen gewachsenen Anlagensystem der KWO wird ein idealisiertes Modell erstellt. Die Partner bewirtschaften dieses Modell.
- Die Städtepartner können alle verfügbaren Maschinen, auch die grossen Speicherpumpen, stufenlos einsetzen. Der betriebsführende Partner bestimmt den Einsatz der Anlagen und dadurch den effektiven oder fiktiven Betrieb.
- Die Bewirtschaftung der vier Hauptseen obliegt den Partnern. Dazu werden die Energieinhalte für jeden der vier Partner täglich separat berechnet. Das bedeutet auch, dass bei Überlauf eines Sees der- bzw. diejenigen Partner die Verluste zu tragen haben, die ihren See «überfüllt» haben. Um bei hohen Seeständen die anderen Partner

Tabelle 1
Übersicht über die wichtigsten Daten der KWO-Anlagen

Genutztes Einzugsgebiet	353 km²
Produzierte Energie 1993	1890 GWh, davon im Winter 710 GWh
Aufgewendete Pumpenergie 1993	198 GWh, davon im Winter 66 GWh
Kraftwerke	9
– Installierte Leistung Generatoren	1061 MW
– Installierte Leistung Pumpen	442 MW
Stauanlagen	8
– Nutzinhalt Total	196,5 Mio m³
– Energieinhalt Total	589 Gwh
Aktienkapital	120 Mio Fr.
Erstellungskosten	1,15 Mrd. Fr.

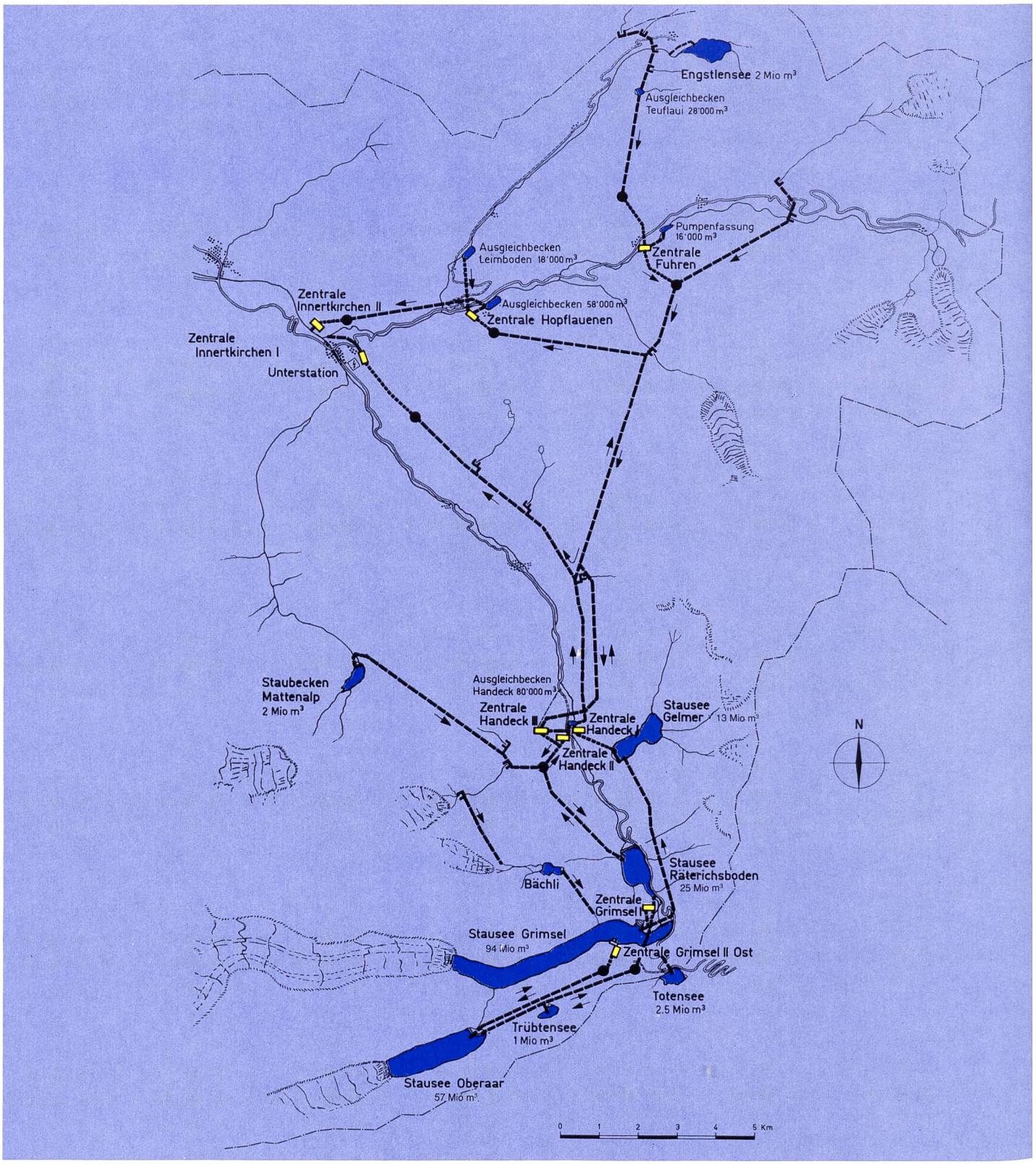

Bild 1. Situationsplan der Kraftwerke Oberhasli.

durch Überstau nicht zu beeinträchtigen, findet in gewissen Fällen sogar ein fiktiver Überlauf statt.

- Die Bewirtschaftung der Nebenseen, der Ausgleichbecken und der Laufanlagen obliegt der KWO. Ebenso ist die KWO für die Sicherheit der Anlagen verantwortlich. Sie kann zu diesem Zweck Zwangsmassnahmen wie Mehr- oder Minderproduktion zu verfügen.

2.2 KWO-Anlagen im Modell

Um die Separatbewirtschaftung zu ermöglichen, wurde aus dem komplexen hydraulischen Gebilde ein ideales Modell konstruiert, das aus den folgenden Teilen besteht (siehe Bild 3, Betriebsabbild):

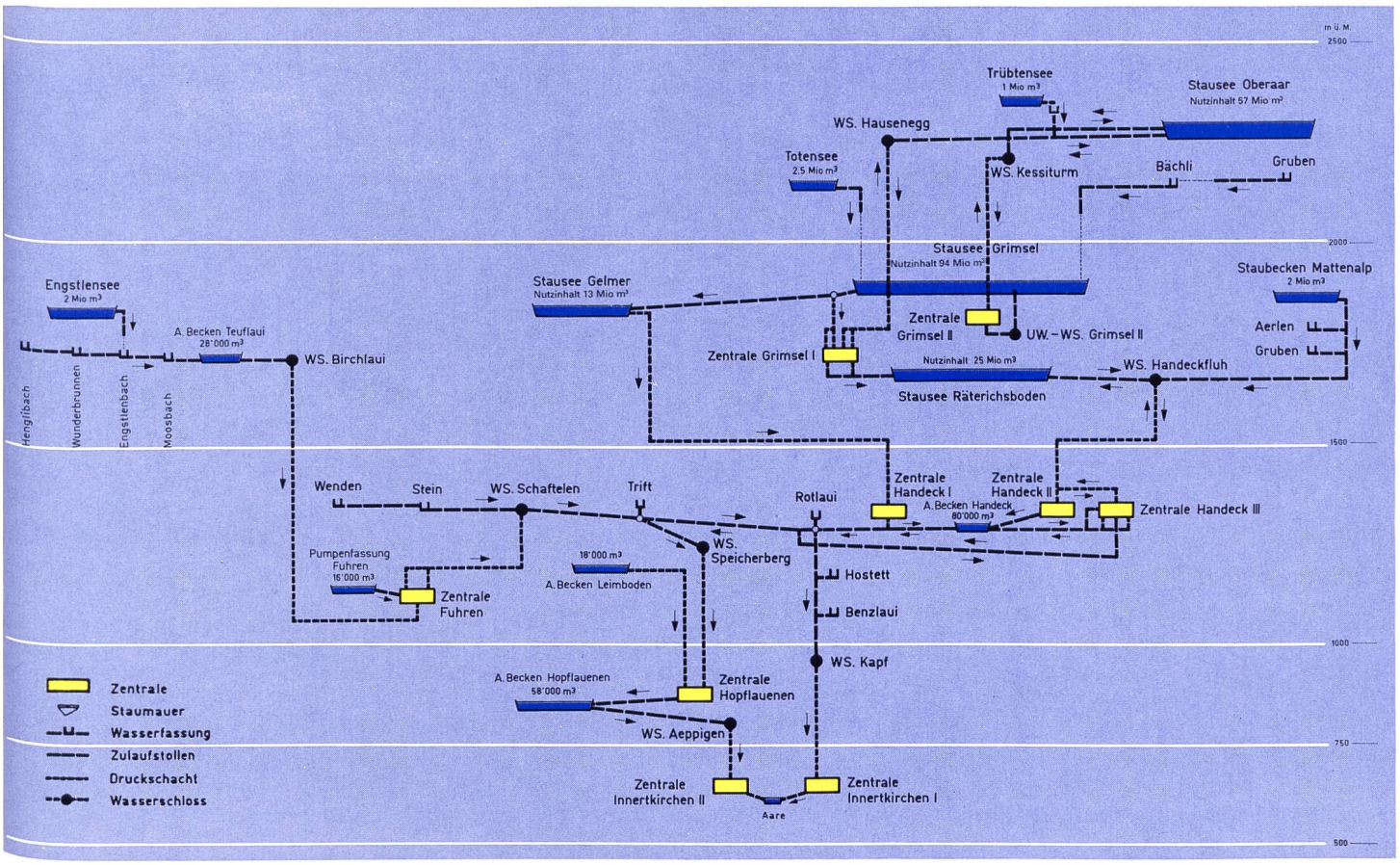

Bild 2. Hydraulisches Schema der Kraftwerke Oberhasli.

Oberes Werk

Das Kraftwerk Oberaar mit der Zentrale Grimsel I und das Umwälzwerk Oberaar-Grimsel mit der Zentrale Grimsel II verbinden die grossen Speicherseen Oberaar, Grimsel und Räterichsboden. Die Maschinen dieser Kraftwerke können weitgehend unabhängig von andern Anlagen eingesetzt werden, und das verarbeitete Wasser wird immer in einen grossen Speichersee zurückgegeben.

Die Maschinen werden von den Partnern nach Programm eingesetzt, wobei dieser Einsatz stündlich ändern kann.

Laufwerk

Die Laufwasserzuflüsse der verschiedenen Fassungen werden im voraus geschätzt und im Angebot angegeben, bei grösseren Abweichungen kann das Angebot korrigiert werden. Die Partner haben die so angebotene Laufenergie zu beziehen. Die Differenz zwischen der angebotenen und der effektiv produzierten Laufenergie übernehmen die BKW, sie wird längerfristig ausgeglichen.

Unteres Werk

Die Kraftwerke Handeck I, II und III sowie Innertkirchen I im Aaretal und die drei Kraftwerke Gental / Fuhren, Hopflauenen und Innertkirchen II im Gadmental bilden das Untere Werk. Sie beziehen das Wasser aus dem Gelmer- und Räterichsbodensee oder aus den Laufwasserfassungen im Aare-, Gadmen- oder Gental. Das hier abgearbeitete Wasser muss jeweils durch die nachfolgende Stufe weiterverarbeitet werden, bevor es in Innertkirchen an die Aare zurückgegeben wird.

Das untere Werk dient einerseits als Regelwerk; die 13 Maschinen in den Kraftwerken Innertkirchen I, Handeck I und II können dazu mit dem Stellwert des Netzreglers der BKW automatisch verstellt werden. Andererseits dienen die Kraftwerke des Gadmentals, vor allem im Sommer, vorwiegend der Verarbeitung des Laufwassers.

Nachschub Oberes–Unteres Werk

Für den Wassernachschub vom Oberen ins Untere Werk bestehen drei Möglichkeiten

- Oberaarsee–Räterichsbodensee mit der Peltonturbine in der Zentrale Grimsel I
- Grimselsee–Räterichsbodensee mit der Francisturbine in der Zentrale Grimsel I
- Grimselsee–Gelmersee durch den Nachschubstollen ohne Ausnutzung der Energie

  Die Partner geben uns den Nachschub als Tageswert an.

2.3 Angebot

Um die Partner über die aktuellen Einsatzmöglichkeiten der Anlagen zu informieren, stellen wir ihnen täglich ein Leistungsangebot zu, das folgende Angaben enthält:

- verfügbare Turbinen- und Pumpenleistungen im Oberen Werk
- maximale Nachschubmöglichkeiten vom Oberen ins Untere Werk
- zu erwartende Laufleistung
- von den Partnern zu beziehende Minimallast
- Dauer- und Spitzenleistungen im Unteren Werk, berechnet aus den Leistungen der verfügbaren Maschinen und den Einflüssen der Laufzuflüsse.

Die Berechnungsvorschriften berücksichtigen im Unteren Werk die verschiedenen Wasserwege und den Umstand, dass bei Laufwasserzuflüsssen die Speicherbezüge zu reduzieren sind.

2.4 Einsatzprognose

Nach Erhalt des Angebots übermitteln die Städtepartner ihren Energiebedarf dem betriebsführenden Partner BKW.

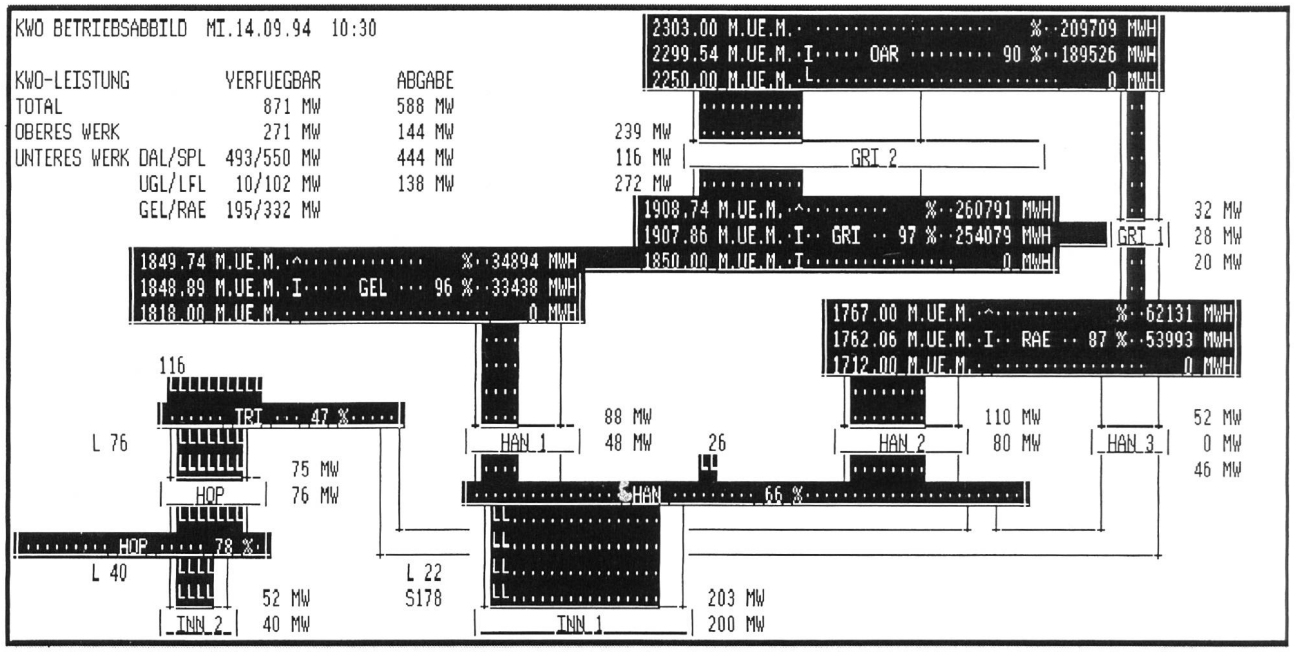

Bild 3. Dieses Betriebsabbild wird alle 15 Minuten aktualisiert und kann von den Partnern abgefragt werden. Die KWO-Anlagen im Modell; weggelassen sind die Teile, die nur der Laufwasserverarbeitung dienen.

Die BKW addiert dazu ihren eigenen Bedarf und erstellt aus allen Angaben einen für uns möglichen Einsatz. Diese Prognose beinhaltet folgende Angaben (siehe Bild 5, Einsatzprognose):

- voraussichtlich abzugebende Gesamtleistung der KWO mit einer Auflösung von 15 Minuten
- Einsatz der Maschinen im Oberen Werk in einer stündlichen Auflösung
- gewünschte Nachschübe vom Oberen ins Untere Werk als Tageswert
- gewünschte Aufteilung der Energiebezüge auf die Seen Gelmer und Räterichsboden im Unteren Werk als Tageswert.

2.5 Laststatistik

Da die KWO die Netze der BKW, der Industriellen Werke der Stadt Basel und des EWs der Stadt Bern ausreguliert, können deren Bezüge nicht im voraus bestimmt werden. Mit der Laststatistik haben wir das Instrument, mit dem sich die Bezüge aller Partner mit einer Auflösung von 15 Minuten berechnen und sie auf die Einhaltung der von uns vorgegebenen Grenzleistungen kontrollieren lassen. Werden die Grenzen über- oder unterschritten, hat der «fehlbare» Partner allenfalls auftretende Verluste zu tragen. Die Summe dieser viertelstündlichen Bezüge dient als Ausgangswert für die nachfolgende Berechnung der Tagesbezüge (siehe Bild 4, Laststatistik).

2.6 Tages- und Monatsstatistik

Täglich werden die Daten des Vortags bereinigt und daraus die *Tagesstatistik,* die eigentliche Energieabrechnung, erstellt. Sie beinhaltet die folgenden Schritte und Daten:

1. Aus den Seeständen um Mitternacht, den aufgetretenen Verlusten und den durch Kraftwerkbetrieb bedingten Wasserentnahmen oder -einleitungen werden die natürlichen Zuflüsse in m^3 und MWh berechnet. Die zugeflossene Energie wird entsprechend den Aktienanteilen den einzelnen Partnern gutgeschrieben.
2. Mit den Bezügen der Städte aus und deren Pumpenergie-Anlieferungen an das Obere Werk, mit dem von ihnen gewünschten Nachschub vom Oberen an das Untere Werk, mit dem Ergebnis der Laststatistik als Bezug des Unteren Werks sowie mit den Speicher- und Laufzuflüssen werden die totalen Bezüge und die neuen Guthaben der Städte in den einzelnen Seen errechnet.
3. Die Differenz zwischen dem effektiven Betrieb der KWO sowie den oben berechneten Bezügen und Guthaben der Städtepartner ergibt die durch die BKW realisierten Bezüge, Anlieferungen und Guthaben.

Monatlich werden die Tageswerte zusammengefasst und zusammen mit weiteren Tagesdaten als *Monatsstatistik* den Partnern zur Genehmigung vorgelegt.

2.7 Überwachungsmöglichkeiten der Partner

Um den Partnern ihrem Bedürfnis entsprechend Einblick in «ihre» KWO zu geben, wurde ein Informationskonzept ausgearbeitet, das ihnen erlaubt, sich über Terminal- oder Rechnerverbindung an unserem Rechner anzuschliessen. Zurzeit sind die drei Städte mit einem Terminal und die BKW mit einer Rechnerkopplung mit uns verbunden.

Über diese Verbindungen werden das Angebot und die Tagesabrechnung an die Partner ausgegeben. Den Städten Basel und Bern werden deren momentane Bezüge jede Viertelstunde in semigrafischer Darstellung spontan übermittelt (siehe Bild 4, Laststatistik). Als betriebsführender Partner erhält die BKW weitere Daten mit einer 3- bzw. 15minütigen Auflösung. Es besteht auch die Möglichkeit, Daten zum momentanen und zurückliegenden Betrieb abzufragen (siehe Bild 3, Betriebsabbild).

3. Reale Bewirtschaftung durch die KWO

3.1 Organisation des Betriebs

Die Betriebsabteilung der KWO gliedert sich in zwei Hauptbereiche, den Anlagenunterhalt und den Betrieb. Der Anlagenunterhalt ist zuständig für die Unterhalts-, Umbau- und Erweiterungsaufgaben sowie für das Beheben von Störungen während und ausserhalb der Arbeitszeit. Der Betrieb ist zuständig für die Wasserbewirtschaftung, den Einsatz der Maschinen sowie für den ganzen Partnerbereich wie Angebot, Energieabrechnung, Maschinenabstellungen.

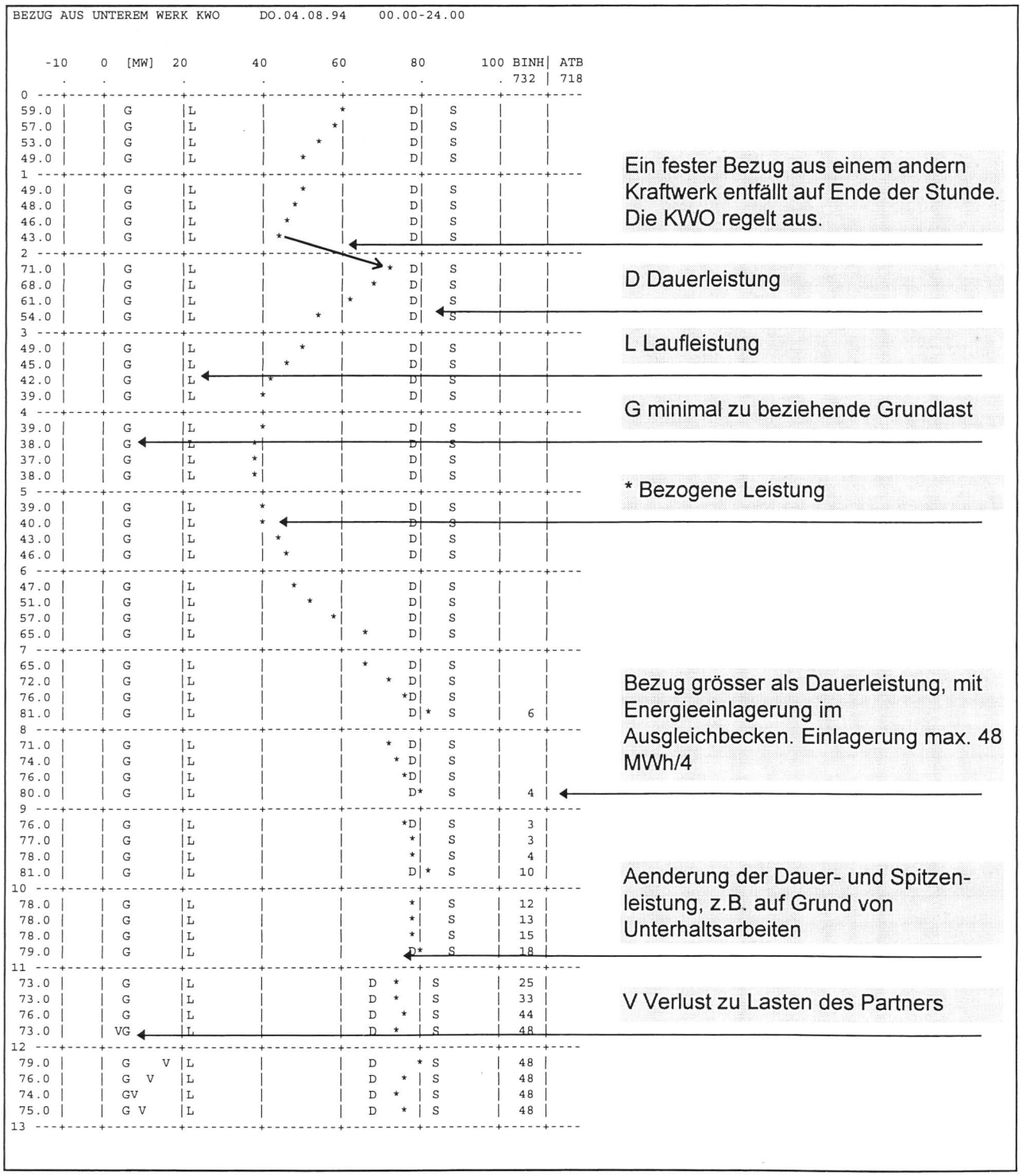

Bild 4. Laststatistik eines Städtepartners. Diese Darstellung kann von den Partnern abgerufen werden bzw. wird ihnen auf Wunsch viertelstündlich übermittelt. Es zeigt auch die Elemente des Angebots im Unteren Werk.

Die Betriebsführung erfolgt von der Leitstelle Innertkirchen aus im 24-Stunden-Betrieb. Die Schicht besteht aus zwei Mann, wobei der eine zusätzlich Aufgaben in der Unterstation Innertkirchen zu übernehmen hat.

3.2 Aufbau der Fernwirkanlagen

Für die Steuerung und Überwachung des Kraftwerk-Komplexes stehen dem Schichtpersonal Fernwirkanlagen zur Verfügung. Die heutige Generation wurde Ende der 70er Jahre erstellt und besteht aus einem Fernwirkkopf je Kraftwerk und je Spannungsebene in der Unterstation Innertkirchen. Von diesen Geräten gehen zwei unabhängige Verbindungen zu den beiden Befehlsgeräten in der Leitstelle. Diese wiederum sind mit den Rechnern für die Blindschemaausleuchtung, der Messwertausgabe und dem Statistikrechner verbunden. Die beiden parallelen Anlagen dienen nicht nur der Redundanz, sondern erlauben auch ein gleichzeitiges Arbeiten der beiden Schichtführer. In gleicher Art sind unabhängige Fernwirkanlagen für die Steuerung der Kraftwerke, der Unterstationen und der Verteilung des Netzreglerstellwerts vorhanden.

3.3 Die Aufgaben des Schichtenführers

Aufgrund der Einsatzprognose, des momentanen Stellwerts des Netzreglers, der gewünschten Bezugsorte der Partner sowie der momentanen Situation der Anlagen wie

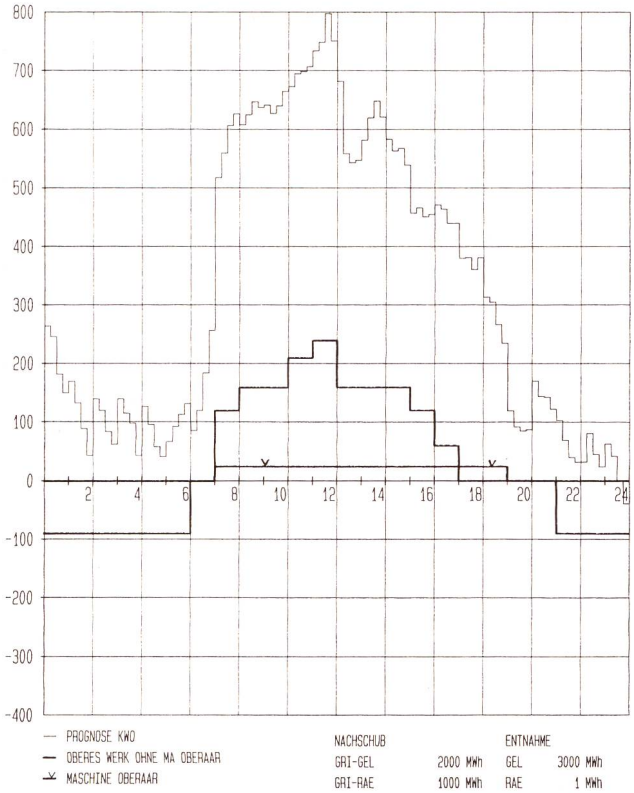

Bild 5. Einsatzprognose für Dienstag, 13. März 1994.

Laufzuflüsse, Becken- und Seestände trifft der Schichtführer seine Entscheide über den Einsatz der Maschinen und Wasserwege. Mit der Fernwirkanlage kann er alle Maschinen und hydraulischen Anlagen bedienen. Bei Störungen stehen ihm in allen Anlagen Bereitschaftsdienste zur Seite.

4. Ausblick

Das Prinzip der Separatbewirtschaftung hat sich sehr gut bewährt. Im normalen Betrieb haben sowohl die Partner als auch die KWO die benötigten Freiheiten, in Ausnahmesituationen aber, beispielsweise bei Hochwasser, haben die KWO dennoch genügend Spielraum, um rechtzeitig und der Situation entsprechend handeln zu können.

Bei den Fernwirkanlagen wird die in Planung befindliche nächste Generation insofern einen Schritt weiter gehen, als die Maschinensteuerung gleichzeitig den Fernwirkkopf bilden wird. Dies bietet die Möglichkeit, auf Wunsch detailliertere Informationen in die Leitstelle zu bringen, zudem wird beim Ausfall eines Geräts nicht mehr das ganze Kraftwerk, sondern nur der betroffene Anlagenteil stillgelegt.

Adresse des Verfassers: *Hans Jakob Walther,* El.-Ing. HTL, Chef Betrieb, Kraftwerke Oberhasli AG, CH-3862 Innertkirchen.

Überarbeitete Fassung eines Vortrages, den der Verfasser am 27. Oktober 1994 in Cointrin/Genf gehalten hat. Die Fachtagung des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes war dem Thema «Überwachung und Steuerung von Niederdruck- und Hochdruckwasserkraftwerken sowie Flussketten» gewidmet.

Die Kölnbreinsperre nach der Sanierung

Die 200 m hohe Gewölbemauer Kölnbreinsperre wurde in den Jahren 1973 bis 1977 erbaut. Im Gründungsbereich dieser höchsten Talsperre Österreichs erreichten beim Aufstau im Jahre 1978 die Sickerwasserverluste und der Kluftwasserdruck unerwartet hohe Werte. Über das Verhalten der Sperre beim Aufstau und die danach durchgeführten ergänzenden Baumassnahmen sowie das Verhalten der Sperre in den Vollstaujahren 1979 und 1983 wurde bereits berichtet [1,2]. Hier wird auf das Verhalten der Sperre und des Stützgewölbes beim Vollstau 1993 näher eingegangen [3].

Zum besseren Verständnis werden aber einleitend das Rissbild und die Sanierungsmassnahmen der Kölnbreinsperre erläutert.

Rissbild und Ursachen

Bei der Erkundung der Risszonen im Aufstandsbereich der Sperre wurden im wesentlichen zwei grosse Rissbereiche festgestellt:

- annähernd horizontal verlaufende Risse an der Luftseite mit bis 3,5 mm Öffnungsweiten bei leerem Becken als Folge des Lastfalles Eigengewicht, die sich bereits bei der Errichtung der Sperre gebildet haben, und
- steil von der Aufstandsfläche zur Wasserseite ansteigende Risse, die beim Vollstau 1979 bis 30 mm Öffnungsweiten aufwiesen.

Ursache dieser Risse war die hohe Querkraft an der Aufstandsfläche, die mit der gleichzeitig wirkenden Normalkraft Hauptzugsspannungen bewirkt.

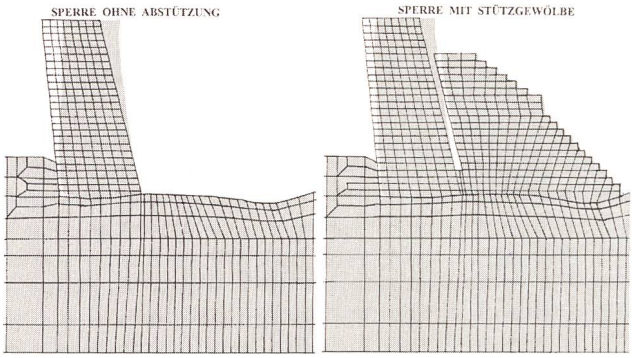

Bild 1. Felsmechanische Untersuchungen für die Sanierung der Kölnbreinsperre. Verformung der Gründungszone bei Vollstau. Sperre ohne Abstützung (links) und Sperre mit Stützgewölbe (rechts).

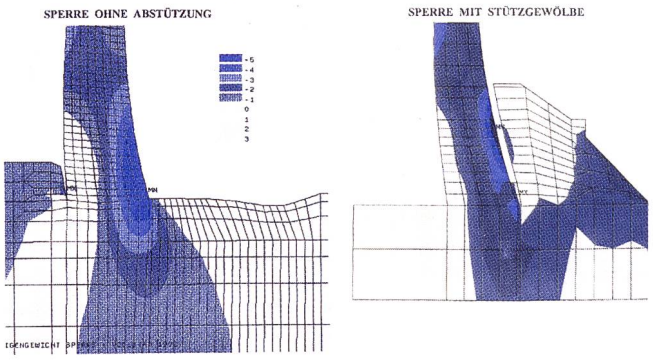

Bild 2. Felsmechanische Untersuchungen für die Sanierung der Kölnbreinsperre, Zonen gleicher Vertikalspannungen bei Vollstau (Schnitt Block 16). Sperre ohne Abstützung (links) und Sperre mit Stützgewölbe (rechts).