

1. Einleitung

In den Jahren 1975/76 wurde eine generelle Studie über die Möglichkeiten der Wasserkraftentwicklung (Masterplan) für das gesamte Territorium von Guatemala durchgeführt. Träger der Studie war die Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) und die guatemalteckischen Regierung, ausgeführt wurde sie durch die staatliche Elektrizitätsgesellschaft (INDE), unterstützt durch ein Konsortium deutscher Ingenieurunternehmen (LSF). Der Autor hatte Gelegenheit, zusammen mit einem deutschen und einem guatemalteckischen Kollegen die geologischen Grundlagen für diese Studie zu erarbeiten.

2. Aufgabenstellung

Die von Wasserkraftingnieuren aufgrund hydrologischer Untersuchungen und rein theoretischer Überlegungen provisorisch aufgezeigten Projektideen sollten durch die Geologen in einer ersten Phase im Feld überprüft und vom geologischen Standpunkt aus evaluiert werden. Unmögliche oder eindeutig unwirtschaftliche Projekte mußten so früh als möglich als solche erkannt und ausgeschlossen oder durch hoffnungsvollere Lösungen ersetzt werden. Durch wiederholte Selektion sollten sich im Verlauf der Studie diejenigen Projekte herauskristallisieren, für die eine nähere Untersuchung angezeigt erschien, und es sollte die ideale, der Bedarfskurve des Landes angepaßte, Reihenfolge dieser zukünftigen Studien ermittelt werden. Die anfänglich rund 500 Projekte mit ca. 700 Sperrstellen und ca. 400 Tunneltrassen lagen im ganzen Land verstreut, in sämtlichen Flußsystemen. Entsprechend breit mußte die geologische Studie angelegt werden, um überhaupt Vergleiche anstellen zu können. Die Kenntnis der größeren geologischen Zusammenhänge war Voraussetzung. Als Grundlage diente die glücklicherweise vorhandene geologische Übersichtskarte sowie die einschlägige, nicht allzu reichlich vorliegende geologische Literatur.

3. Geologische Übersicht

Das zwischen Pazifik und Karibischem Meer liegende Land wird orographisch in vier etwa West-Ost laufende Gürtel unterteilt, wobei man von Süd nach Nord unterscheidet:

- die junge pazifische Küstenebene, eine zur Hauptsache aus Detritus der anschließenden Vulkankette aufgebaute Schwemmebene;

⁺) Anschrift des Verfassers: Dr. Walter Ryf, c/o Büro Dr. Jäckli, Limmattalstr. 289, CH-8049 Zürich-Höngg

- den Vulkangürtel tertiären bis rezenten Alters, eine steil aus der Küstenebene aufsteigende Bergkette mit höchsten Erhebungen von über 4000 m;
- die zentralamerikanische Kordillere, ein Faltengebirge aus metamorphen und plutonischen Gesteinen mit einer zum Teil mächtigen Sedimentbedeckung;
- das Tiefland von Petén, ein Becken mit nur leicht deformierter, mächtiger kretazischer und tertiärer Sedimentfüllung.

Über dem metamorphen paläozoischen Grundgebirge wird in der zentralamerikanischen Kordillere und im Tiefland von Petén die folgende Sedimentabfolge angetroffen:

- bis 3000 m Schiefer und Kalke (Pennsylvanian bis Perm),
- bis 1000 m Redbeds (Jura bis evtl. Unterkreide),
- bis über 3000 m Kalke, Dolomite und Evaporite,
- bis 1000 m klastische Sedimente und Redbeds (Oberkreide bis Alttertiär),
- bis 1000 m klastische und karbonatische Sedimente (Jungtertiär).

Die Sedimente werden stellenweise intrudiert von ultrabasischen und sauren Plutoniten, die zum Teil große Massive bilden, und andererseits werden sie breitflächig bedeckt von jungen vulkanischen Ablagerungen (Laven und vor allem Tuffe). Diese Tuffe bilden teilweise ausgedehnte, oft durch die Erosion sekundär wieder stark gegliederte und zertalte Hochflächen.

T e k t o n i s c h liegt Guatemala im Kontaktbereich dreier großtektonischer Platten - der Nordamerikanischen Platte im Norden, der Cocosplatte im Südwesten und der Karibischen Platte im Osten. Der Bewegungssinn zwischen den drei Elementen ist der folgende: Die Karibische und die Nordamerikanische Platte driften relativ gegen Westen über die Cocosplatte, mit der gegen NE abtauchenden, vor der Pazifikküste Guatemalas liegenden Benioffzone als Kontaktfläche (Subduktion). Die Nordamerikanische Platte bewegt sich linkssinnig an der Karibischen Platte vorbei, d.h. sie driftet rascher als diese gegen Westen. Die Kontaktfläche erscheint in Form von einigen parallelen, praktisch ganz Guatemala durchschneidenden, Großbrüchen (Blattverschiebungen). Als Folge seiner Lage in dieser tektonischen Zone ist Guatemala ein ausgesprochenes Erdbebengebiet.

4. Angewandte Methoden

a) Erste Phase

Da eine sehr große Zahl von Projektideen in dem großen, verkehrsmäßig nur mittel bis schlecht erschlossenen Gebiet im Zeitraum von nur einigen wenigen Monaten beurteilt werden mußte, kam für die Feldarbeit nur der intensive Einsatz eines Helikopters in Frage. Mit anfänglichen Versuchen, die Projektzonen auf dem Landweg zu erreichen, wurde viel wertvolle Zeit verloren. Zudem war die anfallende Information infolge der schlechten Einsicht ins Gelände wegen oft starker tropischer

Vegetation im Vergleich zur eingesetzten Energie und Arbeitszeit oftmals unverhältnismäßig gering. Der Helikopter erlaubte nicht nur, die Arbeitsgebiete rasch und mühelos zu erreichen, er machte es auch möglich:

- größere, nur aus gewisser Distanz erkennbare Strukturen sofort aufzufinden und damit großräumige Zusammenhänge zu erkennen;
- versteckte, vom Boden aus kaum auffindbare Aufschlüsse einzusehen;
- sich durch Standflüge an Steiflanken sonst kaum erreichbaren Aufschlüssen zu nähern;
- eine Fotodokumentation mit Ansichten aus den verschiedensten Blickwinkeln für die weiteren Projektierungsarbeiten zu beschaffen.

Selbstverständlich aber wurde, wo immer möglich, gelandet, was in der Trockenzeit selten Probleme stellte, da die Flußbette entsprechende Möglichkeiten boten. Dann konnte die übliche Feldgeologie betrieben werden. Wenn immer aber in der Luft gearbeitet wurde, mußte die Arbeitstechnik umgestellt werden. Ein wichtiger Punkt ist der völlige Ersatz des Feldbuches durch ein Diktiergerät. Die Beobachtungszeit ist zu kostbar, um sie mit Aufschreiben zu vergeuden. Zudem ist der Helikopter im Normalfall ständig in Bewegung und man würde den Faden und die Orientierung verlieren, müßte man noch aufschreiben. Die Informationsdichte ist so groß, daß man ununterbrochen sprechen muß, um alles festzuhalten, was man sieht. All die Information über Geologie, Morphologie, Topographie, Wasserführung, gelegentlich aber auch Angaben über Besiedelung, Vegetation und Verkehrswege festzuhalten, sich gleichzeitig im Gelände zu orientieren und den Piloten zu leiten, ist eine Konzentrationsarbeit, die einige Übung erfordert.

Der Vergleich der vielen Projekte, deren mögliche Kombinationen und Variationen zu rund 8000 Varianten führten, konnte selbstverständlich nur noch mit einem Computer durchgeführt werden. Die aus verständlichen Gründen nicht überreiche geologische Information sollte damit noch weiter vereinfacht werden, um sie in das Programm einfügen zu können. Die von den Computerfachleuten geforderte Vereinfachung war aber so weitreichend, daß wir Geologen darauf bestanden, nebst der verlangten Codifizierung eine geologische Beschreibung der Sperrstellen, der Beckengebiete und der eventuellen Stollenstrecken zu verfassen, in der Überzeugung, daß sich die gewonnene Information nicht vernünftig in ihrer ganzen Tragweite verschlüsseln läßt und für zukünftige Studien damit verloren wäre.

In die Computer-Evaluation floß nur Information über folgende vier Problemkreise ein:

- Eignung der Sperrstelle für die verschiedenen Sperrtypen,
- Dichtheit der Sperrstelle resp. Aufwand zur Abdichtung derselben,
- zu erwartender prozentualer Anteil der verschiedenen Felssicherungsklassen in den Stollen,

- Beurteilung des Beckens (Dichtheit, Stabilität der Hänge).

Den innerhalb dieser Gruppen vorgenommenen Klassierungen entsprachen im Computerprogramm gewisse Kostenfaktoren, welche die Wirtschaftlichkeit des Projekts beeinflussten. Gegen 100 Projekte mußten aus geologischen Gründen ganz verworfen werden.

b) Zweite Phase

Aus der Evaluation der ersten Phase gingen etwa 90 Projekte hervor, welche genauer zu untersuchen waren. Grundsätzlich wurden die gleichen Arbeitsmethoden angewandt, wobei der Helikopter nur noch als Transportmittel verwendet und die Untersuchungszeit für jedes Projekt ausgedehnt wurde. Auch die Auswertung geschah in analoger Weise, doch sollten nun auch Kostenfaktoren für die Beschaffung von Konstruktionsmaterial und die Erstellung von Nebenbauwerken, wie Hochwasserentlastungen, Umleitstollen, Wasserschlösser und Zentralen erarbeitet werden. Aus diesem Grund wurden die Geologen in dieser Phase im Feld von einem Wasserkraftingenieur begleitet. Detailprobleme konnten so an Ort und Stelle diskutiert und die Projekte angepaßt werden.

Aus der Evaluation dieser zweiten Phase resultierten vier Projekte, von denen zwei momentan im Detail studiert werden, eines wohl in der nächsten Zeit in Bau geht.

5. Regionale Probleme

In Guatemala fallen 90% der Niederschläge im Zeitraum von nur fünf Monaten. Eine vordringliche Anforderung für ein wirtschaftliches Wasserkraftwerk ist deshalb meist von vornherein die Errichtung eines möglichst großen Speichers, wenn immer möglich sogar eines Jahresspeichers.

Damit entfallen für Großprojekte praktisch die pazifische K ü s t e n e b e n e mit ihren sehr kleinen Gefällen und dem stark aufgesplitterten Flußnetz, wie auch das Tiefland von P e t é n, das nebst den geringen Gefällsverhältnissen noch eine hochgradige und tiefgründige Verkarstung des Untergrunds aufweist.

Der W e s t a b f a l l der V u l k a n k e t t e besitzt zwar außerordentlich große Gefälle und Fallhöhen, doch ist das Flußnetz wenig entwickelt und die Entwässerung vollzieht sich über hunderte von kleinen Flüsschen und Flüssen, die in der Trockenzeit praktisch trocken liegen. Die Möglichkeit der Errichtung von Speichern ist sehr beschränkt, da die Täler im allgemeinen sehr eng und steil sind.

Dazu kommen in dieser Zone die Gefahren und Erschwernisse des Vulkanismus (Lavaströme, große Sedimentfracht infolge der Tuffe, Erdbeben) und der postvulkanischen Erscheinungen (heiße Zonen für Stollenbauten)

Bleibt als Hauptinteressegebiet die zentralamerikanische K o r d i l l e r e, wo größere Talsysteme ausgebildet sind. Aber auch hier wird die Planung außergewöhnlich stark eingeschränkt, einerseits durch die Verkarstung der großen Gebiete aufbauenden Kalke und andererseits durch das Vorhandensein der

großen aktiven Bruchzonen, die den morphologisch am besten ausgebildeten Tälern entsprechen. Anlässlich des großen Erdbebens vom Februar 1976, welches durch eine spontane Bewegung des Motagua-Bruches verursacht wurde, konnten horizontale Verstellungen von über 2 m gemessen werden. Es versteht sich von selbst, daß Talsperren solche Zonen zu meiden haben, und daß vor Errichtung einer Sperre neben den geologischen auch intensive seismische und mikroseismische Studien nötig sind.

Betrachtet man die erwähnten Erschwernisse gesamthaft, so kommt man zum Schluß, daß Guatemala für die Erstellung von großen hydroelektrischen Kraftwerken aus geologischen Gründen eher ungeeignet ist, so günstig das Land mit seinen Strukturen und seinem gegenwärtigen Entwicklungsstand auf den ersten Blick erscheint.