

# Das Projekt des Passamaquoddy-Gezeitenkraftwerks

Autor(en): **Kroms, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **82 (1964)**

Heft 19

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-67491>

## **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.

6. Preis (5000 Fr.) Entwurf Nr. 4, «Asp». Verfasser **Hans und Gret Reinhard**, Bern, Mitarbeiter: **Heinz Argast, Paul Dill**

Beurteilung des Preisgerichtes:

Durch eine Konzentration von fünf Hochhäusern im Gebiet C als Gegensatz zu der durch ausgeglichene Bauhöhen gekennzeichneten Ueberbauung der übrigen Gebiete versucht der Verfasser eine gewisse Spannung zu erzielen. Dieser deutliche Akzent im Westen wird durch je ein Hochhauspaar im Süden und Norden sinnvoll wieder aufgenommen. Der Verfasser ist bestrebt, das Projekt in die Landschaft einzufügen; im Gebiet «Lätten» entstehen jedoch erhebliche Nachteile für die Nachbarschaft.

Die Mehrzahl der öffentlichen Bauten findet sich in einem günstig gelegenen Zentrum zusammengefasst. Der Standort der Kirche ist der Bedeutung zu wenig angemessen. Die Sekundarschule liegt zu peripher. Die Wohnbauten gruppieren sich zweckmässig um das Zentrum. Die Freiflächen wirken in ihrer Anordnung — neben der Zürichstrasse, im Baugebiet B und am schönen nach Süden gerichteten Abhang — eher zufällig.

Die verkehrsmässige Erschliessung ist sorgfältig durchdacht. Die öffentlichen Verkehrsmittel werden bis zum Zentrum geführt. Der private Automobilverkehr gelangt von der Zürichstrasse kreuzungsfrei ins Siedlungsgebiet. Zwei Sammelschienen führen direkt zu den Wohnbauten. Dies ergibt kurze Erschliessungswege; die quer durch die Siedlung führenden Strassen zerschneiden allerdings die Wohngebiete.

Die drei an der Peripherie gelegenen Hochhausgruppen fassen die gesamte Bebauung in positiver Art zusammen. Durch die spiegelbildliche Anordnung ähnlicher Bauformen kommt die Absicht zur formalen Gliederung deutlich zum Ausdruck. Für den Bewohner resultieren daraus aber nur geringe Vorteile. Die Uebertragung von Bauformen der Ebene an die Hanglage überzeugt nicht. Im ganzen bleibt die baukörperliche Gestaltung

im zufälligen haften. Unverständlich ist die Situierung der Einfamilienhäuser in der Ebene, während die schönen Wohnlagen am Südwesthang ungenützt bleiben. Das Zentrum der Anlage tritt architektonisch kaum in Erscheinung.

Die Organisation des Zentrums ist durchdacht, auch verkehrsmässig günstig. Vom Parkierungsgeschoss bestehen direkte Aufgänge zu den Läden. Der Einbezug von Eisbahn und Kinderspielplatz usw. lassen ein echtes Zentrum erwarten. Das Hotel wirkt lagenmässig wenig attraktiv.

Die Wohnbauten sind in ihrer Gesamtkonzeption wenig ausdrucksvoll. Die langen Baukörper bieten in Bezug auf die Lösung des Wohnungsproblems nur geringe Anregung. Die Grundrisse dürfen als bewährt bezeichnet werden. Die geknickten sechsgeschossigen Trakte führen zu gegenseitigen Einblicken in die Wohnungen. Die eingestreuten Maisonettewohnungen haben komplizierte Organisationsformen zur Folge. Der an sich lobenswerte Versuch, für grössere Wohnungen das Hochhaus zu meiden, hat den Verfasser zur Entwicklung von Baukörpern verleitet, die sehr lang sind.

Die Wirtschaftlichkeit des Vorschlages darf als gut bewertet werden. Dies gilt sowohl für Erschliessung wie für die Wohnbauten. Eine etappenweise Erstellung der Siedlungen ist möglich. Die Verwendung von Elementbauweise ist denkbar, stösst aber nicht auf besonders günstige Voraussetzungen.

Die Publikation der nicht prämierten Projekte Nr. 5 «terra» von *Suter & Suter*, Basel, Nr. 7 «Chuz» von *Werner Stücheli*, Mitarbeiter *Theo Huggenberger*, Zürich, sowie des nicht beurteilten Vorschlages Nr. 3 «Prinzip» von Dr. *R. Steiger*, P. und *M. Steiger*, Th. *Kühne* folgt auszugsweise in der nächsten Ausgabe der SBZ. *Red.*

## Das Projekt des Passamaquoddy-Gezeitenkraftwerks

DK 621.287

Von Dipl.-Ing. **A. Kroms**, Boston, Mass., USA

Das Projekt des Gezeitenkraftwerks in der Passamaquoddy-Bucht, an der Grenze zwischen den USA und Kanada, gehört zu den grössten bisher geplanten Vorhaben in der Ausnutzung der Gezeitenenergie. Man rechnet mit Bauvorhaben in der Höhe von rund einer Milliarde Dollar. Da dessen

Verwirklichung nach mehrfachen Aufschüben jetzt wiederum ernsthaft erwogen wird, sollen nachstehend seine wichtigsten Merkmale erörtert werden. Dabei werden auch einige allgemeine Gesichtspunkte bezüglich der Verwertung von Gezeitenenergie und ihrer Eingliederung in die Energiesysteme besprochen.

### 1. Die energiewirtschaftlichen Grundlagen

Das Projekt wird gegenwärtig erneut vom amerikanischen Kongress geprüft. Da der voraussichtliche Standort zwischen dem Maine-Staat der USA und der New-Brunswick-Provinz Kanadas liegt (Bild 1), stellt es ein zwischenstaatliches Unternehmen dar. Der Bauausführung wird aber das grösste Interesse von Seiten der USA entgegengebracht.

Die Passamaquoddy-Bucht hat seit langem die Aufmerksamkeit der Energiewirtschaftler auf sich gelenkt, weil dieses Küstengebiet grosse Schwankungen des Meeresspiegels aufweist und die stark geklüftete Küstenlinie den Bau der nötigen Staumauern wesentlich erleichtert. Es sind verschiedene Möglichkeiten zur Anordnung von Sperrstellen vorhanden. Deshalb betrachtet man diese Küste als einen der geeignetsten Orte für den Bau von solchen Werken. Die Höhe der Gezeiten erreicht hier infolge der Stauwirkung der Küstenlinie 10 bis 15 m, an einigen Stellen sogar 17 m. Eine Flutwelle dieser Grössenordnung ist nur in wenigen anderen Küstengebieten der Welt zu finden, wie, z. B., in der Biskaya-Bucht, der Severn-Bucht in England, an der Küste Argentiniens. Die Küstenlinie der Passamaquoddy-Bucht, mit dem Meeresboden aus hartem Gestein, ist zur Errichtung der schweren Wasserbauten gut geeignet.

Es sei hier betont, dass, obgleich die Gezeiten riesige Energiemengen abgeben können, die Voraussetzungen zur Errichtung wirtschaftlicher Kraftwerke nur an wenigen Stellen gegeben sind. Die Grundbedingung hierfür ist ein Gezeitenhub von mindestens 3 m, sowie das Vorhandensein einer Meeresbucht oder Flussmündung, die sich zur Errichtung von Speicherbecken eignet. Dabei soll die Absperrstelle nicht zu weit und nicht zu tief sein, weil sich sonst die Baukosten der Stauanlagen zu hoch stellen. Ausserdem muss der Meeresboden aus harten Schichten bestehen, um die Fundierung der Staudämme zu begünstigen. Baustellen, welche

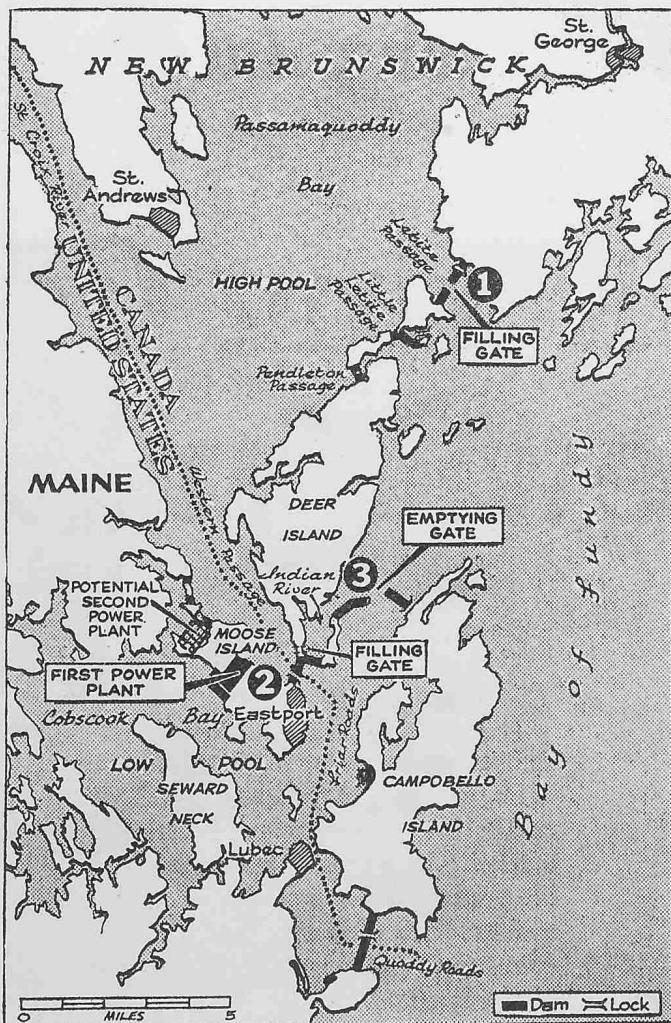


Bild 1. Die geplante Anordnung des Gezeitenkraftwerks. 1 Wassereinfluss ins Oberbecken, 2 Kraftwerk, zwischen Ober- und Unterbecken, 3 Wasserauslass aus dem Unterbecken

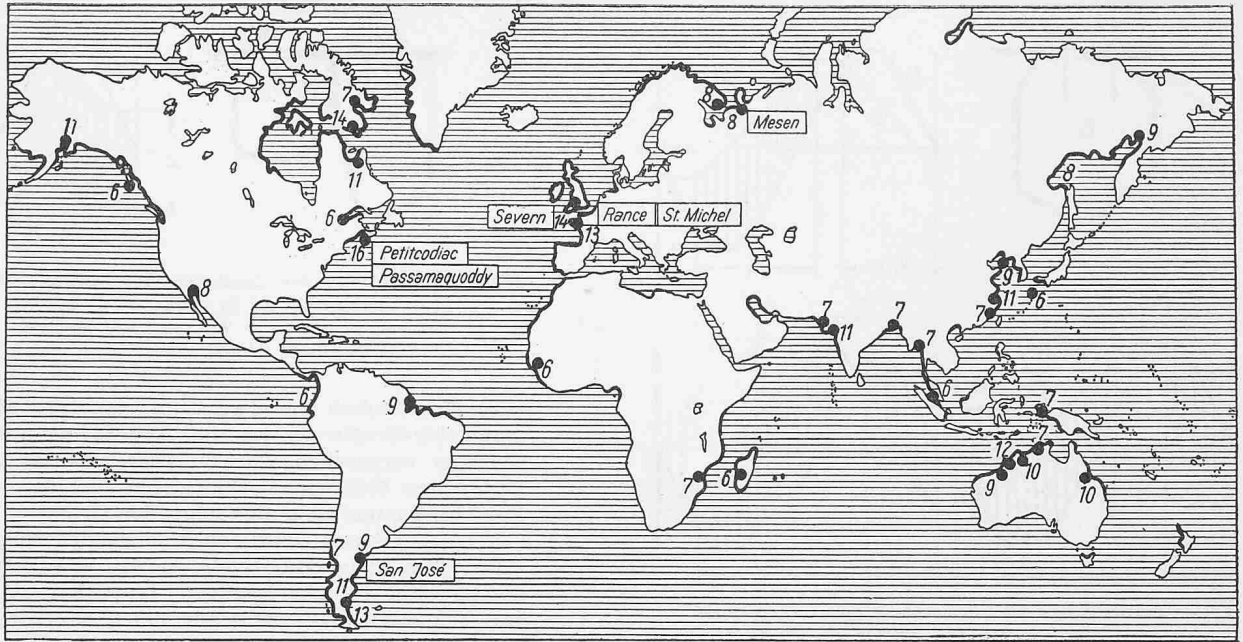


Bild 2. Küstengebiete mit einem Gezeitenhub von mindestens 3 m [2]. Die Zahlen geben die Schwankungen des Meeresspiegels in Metern an.

die erwähnten Bedingungen mehr oder weniger erfüllen, sind nicht allzu zahlreich (Bild 2) [1]; [2]; sie befinden sich z. B. in Frankreich (Bretagne), in Grossbritannien (Severn-mündung), an der Fundy-Bay in Kanada und in Patagonien. Die Baukosten zur Errichtung der Gezeitenkraftwerke sind sehr hoch; sie haben den Ausbau von Kraftanlagen dieser Art bis heute verhindert. Das Rance-Kraftwerk in der Normandie ist zurzeit das einzige Projekt, dessen Fertigstellung bald zu erwarten ist.

Das Kraftwerkprojekt an der Passamaquoddy-Bucht hat eine lange Vorgeschichte. Die Planung wurde nicht bloss durch die günstigen natürlichen Voraussetzungen, sondern auch durch die Tatsache gefördert, dass es im Nordosten der USA an anderen Energiequellen fehlt. Die ersten Studien gehen auf das Jahr 1920 zurück; die Pläne scheiterten aber nicht bloss infolge der kurz danach eingetretenen Wirtschaftskrise. Auch die technischen Grundlagen zur Errichtung einer so grossen, neuartigen Anlage waren damals noch nicht vorhanden. Die Projektierung wurde im Jahre 1935 wieder aufgenommen — man arbeitete damals an der Abklärung des Baugrundes —, kam aber zu Beginn des Krieges wieder zum Stillstand. Nach Kriegsende sind wiederum Gelder für weitere Baugrunduntersuchungen zur Verfügung gestellt worden. Verzögerungen in der Ausführung entstanden wegen Schwierigkeiten bei der Beschaffung der gewaltigen Kapitalien sowie infolge eines völligen Mangels an Erfahrungen im Bau von Kraftwerken dieser Art. Hinzu kam der verhältnismässig geringe Energiebedarf im dortigen Gebiet. Die Baustelle befindet sich nämlich in einer nur dünn besiedelten Gegend, wo es an grossen Energiekonsumenten fehlt. Schliesslich haben auch politische Faktoren und der Widerstand anderer vorhandener Energielieferanten zum Hinausschieben des Projekts beigetragen.

Die Wiederaufnahme des Projekts wird gegenwärtig durch einige neue Faktoren, die erst in neuester Zeit hinzugekommen sind, begünstigt. Davon sind zu nennen:

a) Der Energiebedarf nimmt überall rasch zu, wobei in den anliegenden Gebieten keine andern örtlichen Energiequellen vorhanden sind.

b) Die Entwicklung der Hochspannungsnetze und der Zusammenschluss der Energiesysteme ermöglicht es, die Energie des Gezeitenkraftwerks auch den entfernten Gegenden (bis Boston oder auf noch grössere Entfernungen) wirtschaftlich günstig zu liefern.

c) Die Verbundnetze benötigen eine immer grössere Spitzenleistung, die von einem Gezeitenkraftwerk günstig geliefert werden kann; man schätzt, dass die Lastspitze der benachbarten Gebiete (New-England) im Jahre 1975 rund 4000 MW betragen wird und teilweise vom Gezeitenkraftwerk gedeckt werden kann.

d) Während des letzten Jahrzehnts sind waagrechte Wasserkraftaggregate mit Kaplan-turbinen und eingekapselten Generatoren entwickelt worden, die in beiden Richtungen vom Wasser durchströmt werden können. Diese Rohrturbinen sind für Kraftwerke mit niedrigen Fallhöhen besonders geeignet (Bild 3) [3]; durch sie wird der Einsatz kleinerer Wasserkraftkräfte in die Energiewirtschaft begünstigt. Die Rohrturbinen-Aggregate erlauben es auch, den Bau von Gezeitenkraftwerken zu verbilligen und das verhältnismässig geringe, stark veränderliche Gefälle besser als mit anderen Turbinenarten auszunutzen. Sie ermöglichen ausserdem den Zweirichtungs-Betrieb, wodurch sich die Energieabgabe des Gezeitenkraftwerks viel besser ausgleicht, als es beim Einrichtungs-betrieb möglich ist. Dieser Typ der Turbosätze ist für das zurzeit im Bau befindliche Gezeitenkraftwerk an der Rance-Mündung in Frankreich ausgewählt worden [4]. Alle erwähnten Umstände haben die wirtschaftlichen Aussichten des Passamaquoddy-Kraftwerks in der letzten Zeit wesentlich verbessert.

## 2. Wahl der Betriebsweise

Ein wichtiges Problem bei der Planung von Gezeitenkraftwerken ist die Wahl der Betriebsweise und der installierten Leistung. Die Ausnutzung der Gezeitenenergie kann auf verschiedene Weise erfolgen. Davon ist die günstigste

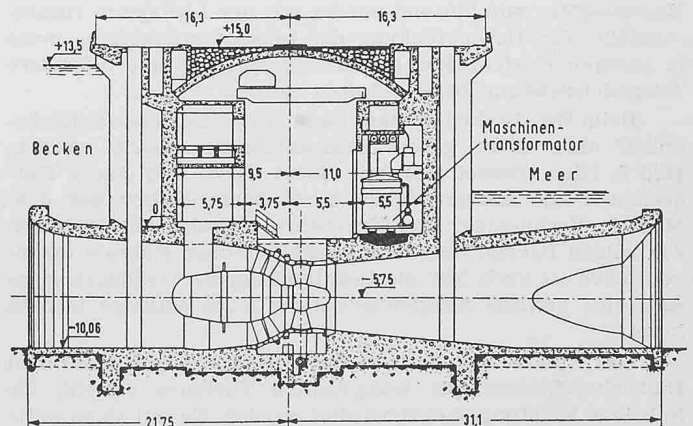


Bild 3. Anordnung der waagrecht Rohrturbinen im «Rance»-Kraftwerk [4]. Masstab 1:650.



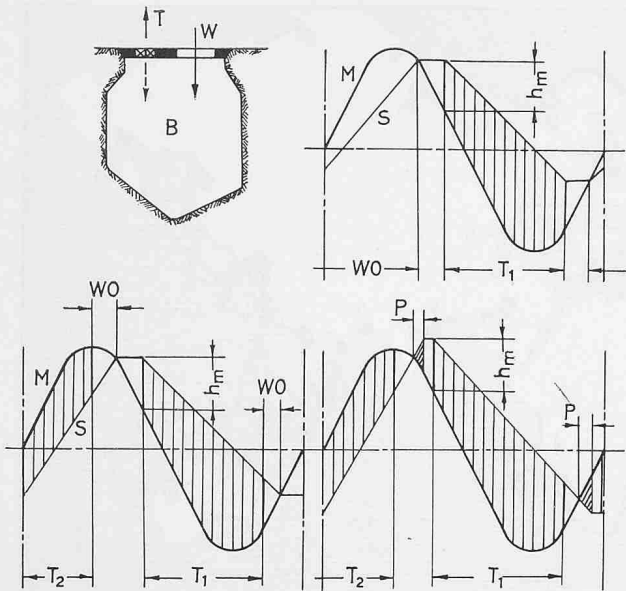


Bild 4. Betriebsweise des Einbecken-Gezeitenkraftwerks. W = Wehr, T = Turbinen, B = Becken. Betriebsdiagramme: oben rechts einfache Wirkung, unten links doppelte Wirkung, unten rechts doppelte Wirkung mit Pumpbetrieb.  $T_1$  und  $T_2$  = Turbinenbetrieb, WO = Wehr offen, P = Pumpenbetrieb.  $h_m$  = minimales Gefälle für den Turbinenbetrieb

je nach den örtlichen Gegebenheiten, den energiewirtschaftlichen Forderungen, dem verfügbaren Kapital und verschiedenen anderen Faktoren zu wählen. Da die Anordnung dieser Kraftwerke in der technischen Literatur erörtert worden ist [5], [6], [7], werden hier nur die Grundarten in Kürze betrachtet.

Bezüglich der baulichen Anordnung sind Ein- und Zweibeckensysteme zu unterscheiden, wobei man nach einfacher oder doppelter Wirkung arbeiten kann. Die Wirkungsweise des Einbecken-Systems ist in Bild 4 gezeigt. Beim Einrichtungsbetrieb wird das im Becken aufgespeicherte Wasser bei ungefähr konstantem Gefälle gegen das sinkende Meeresspiegel verarbeitet. Beim Zweirichtungsbetrieb erzeugt man elektrische Energie aber auch während des Füllens des Speicherbeckens und zwar mit umgekehrter Strömungsrichtung in den Turbinen. Der Niveauunterschied kann durch Pumpen während der Uebergangszeiten erhöht werden. Dann müssen die Rohrturbinen so gebaut werden, dass sowohl ein Turbinen- als auch ein Pumpenbetrieb in beiden Strömungsrichtungen möglich ist. Da der Zweirichtungs-Betrieb Energie gleichmässiger abgibt und die potentielle Gezeitenenergie besser ausnutzt, wird diese Betriebsart voraussichtlich in den Einbecken-Kraftwerken in der Regel gewählt werden.

Aus Bild 4 ist zu erkennen, dass ein Gezeitenkraftwerk, das nur ein Becken aufweist, Energie ungleichmässig abgibt, wobei die Energieerzeugung regelmässig während mehrerer Stunden unterbrochen wird. Die tägliche Verspätung der Flutwelle (um etwa 50 Minuten) verursacht eine zeitliche Unbeständigkeit dieser Unterbrechungen, weshalb die Energiespitze nur hin und wieder mit der Lastspitze zusammenfällt. Zur Ueberbrückung der Leistungsrückgänge muss in anderen Kraftwerken des Energiesystems eine besondere Ausgleichsleistung bereitgehalten werden.

Beim Zweibecken-System kann ein pausenloser Betriebsablauf ohne allzu grosse Schwankungen erzielt werden, Bild 5. Hier arbeitet man mit einem Hoch- und einem Tiefbecken. Beide Becken stehen durch Wehranlagen mit dem Meer in Verbindung. Das Kraftwerk befindet sich zwischen den beiden Becken und kann ununterbrochen Energie erzeugen; doch ist auch hier die Leistungsabgabe veränderlich, so dass eine gewisse Ausgleichsleistung nicht entbehrt werden kann.

Das Rance-Kraftwerk in der Normandie wird nach dem Einbecken-System mit waagrechten Turbinen erstellt, die in beiden Richtungen durchströmt werden. Es soll einen mitt-

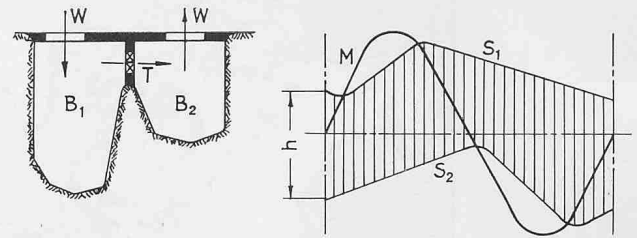


Bild 5. Betriebsweise des Zweibecken-Gezeitenkraftwerks. W = Wehr, T = Turbinen, B<sub>1</sub> und B<sub>2</sub> = Ober- und Unterbecken, M = Meeresspiegel, S<sub>1</sub> und S<sub>2</sub> = Wasserspiegel im Ober- und Unterbecken, h = ausnutzbares Gefälle

leren Gezeitenhub von etwa 12 m ausnutzen. Für das Passamaquoddy-Kraftwerk ist die Anordnung des Zweibecken-Systems vorgesehen worden. Diese Bauart entspricht am besten den örtlichen Verhältnissen und den Aufgaben des Kraftwerks, und zwar aus folgenden Gründen:

1. Die grossen Oberflächen der beiden möglichen Becken in der Passamaquoddy-Bucht werden es erlauben, die Energieaggregate für eine genügend lange Zeit zu betreiben, bevor sich das Gefälle zwischen ihnen wesentlich vermindert hat.

2. Das Gezeitenkraftwerk wird zur Deckung der Tageslastspitzen vorgesehen. Da im Zweibecken-System beide Becken vom Meer abgetrennt werden können, ist der Zeitpunkt der möglichen Energielieferung vom augenblicklichen Stand des Meeresspiegels unabhängig, so dass die benötigte Spitzenleistung gerade dann abgegeben werden kann, wenn sie vom elektrischen Netz verlangt wird. Bei dieser Anordnung ist also die Energielieferung vom Verlauf der Gezeitenzyklen weitgehend unabhängig. Da das Passamaquoddy-Werk zur Bereitstellung von Spitzenleistung errichtet werden soll, ist das Zweibecken-System bei den vorliegenden Verhältnissen am besten geeignet.

Die Anordnung der Staudämme ist aus Bild 1 zu erkennen [8]. Eine Reihe von Dämmen 1 soll das obere Becken mit einer Oberfläche von rd. 260 km<sup>2</sup> schaffen; als unteres Becken wird die Cobscook-Bucht mit einer Oberfläche von 100 km<sup>2</sup> dienen. Zwischen den beiden Becken ist das Kraftwerkshaus geplant. Während der Flutperiode wird das Wasser durch die geöffneten Schleusen im oberen Becken aufgespeichert; das untere Becken entleert sich bei Niedrigwasser durch die Auslass-Schleusen 3.

Die beschriebene Arbeitsweise unterscheidet sich also vom Betriebsverlauf des Rance-Kraftwerks, was durch die unterschiedlichen Bau- und Betriebsverhältnisse zu erklären ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Küstenlinie an der Mündung des Rance-Flusses nur zur Errichtung eines einzigen Stauwehrs geeignet ist, Bild 6, und dass dieses Werk nicht als ein Spitzenwerk erbaut wird; es soll nämlich mög-

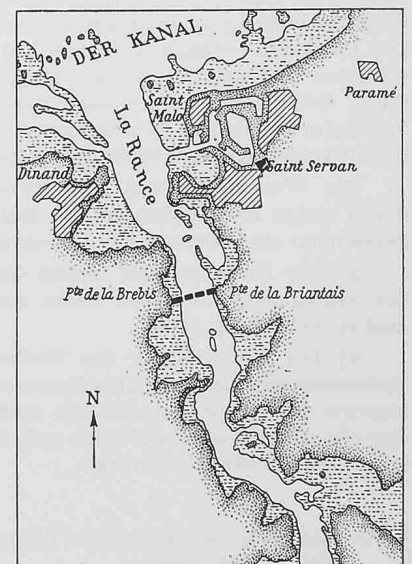


Bild 6. Lageplan des Rance-Kraftwerks [2]

lichst viel Energie ins französische Verbundnetz liefern, wobei der Leistungsausgleich von anderen Werken übernommen wird. Die Maschinensätze des Rance-Kraftwerks werden mit Rohrturbinen ausgerüstet, welche die Spiegelunterschiede in *beiden* Richtungen ausnutzen und in Uebergangszeiten auch als Pumpen dienen können (s. Bild 3). Diese Bauweise ist einfacher als das Zweibecken-System, doch sind die Energielieferungsperioden durch den Ablauf der Gezeitenzyklen gegeben, weshalb das Kraftwerk die Aufgaben der Spitzendeckung nicht erfüllen kann und eine erhebliche Ausgleichsleistung im Energiesystem erfordert. Die erwähnten Umstände zeigen deutlich, wie die Wahl der Bauweise von Gezeitenkraftwerken sowohl von den natürlichen Gegebenheiten an der Baustelle als auch vom Belastungsdiagramm des Werks und der Energiewirtschaft des Netzes beeinflusst wird.

Hier muss betont werden, dass Frankreich der erste Staat der Welt ist, der wirkliche Schritte zur Verwertung der Gezeitenenergie in grossem Masstab unternommen hat. Die Bauarbeiten des Rance-Kraftwerks wurden im Jahre 1961 begonnen, und das Kraftwerk soll bis 1966 fertiggestellt werden. In ihm sollen 24 Rohrturbinen-Aggregate mit einer Leistung von je 10 MW untergebracht werden. Die Brutto-Jahresarbeit soll 610 Mio kWh betragen, wovon zum Pumpbetrieb etwa 65 Mio kWh verbraucht werden wird. Das 720 m lange Stauwehr ist schon fast vollendet. Das Rance-Kraftwerk wird nicht bloss Energie liefern, sondern auch als eine Versuchsanlage dienen, um die Bau- und Betriebserfahrungen für später zu erstellende erheblich grössere Gezeitenkraftwerke zu sammeln. Die hierbei in Betracht gezogenen Kraftwerke an der Biskaya-Küste würden jährlich 25 Mld kWh Energie liefern. Die mittels des Rance-Kraftwerks gesammelten Erfahrungen werden sicherlich die Gestaltung und den Betrieb aller späteren Gezeitenkraftwerke massgeblich beeinflussen.

### 3. Die Ausbauleistung

Die Leistung eines Gezeitenkraftwerks wird durch die Stärke der Gezeiten, d. h. die Höhe des ausnutzbaren Gefälles, weiter durch die Oberfläche der Wasserbecken und schliesslich auch durch die vorgesehene Aufgabe des Kraftwerks im Energiesystem beeinflusst. Die installierte Leistung des Passamaquoddy-Kraftwerks ist nach den letzten Plänen auf etwa 1000 MW festgelegt worden. Diese Zahl übertrifft ungefähr zweimal den in den früheren Planungen vorgesehenen Leistungsbetrag. Die grosse Leistungserhöhung hat sich durch die Veränderungen in der geplanten Betriebsweise des Kraftwerks ergeben. Das Kraftwerk soll als eine ausgesprochene Spitzenanlage arbeiten. Es hat die Spitzenleistung bereitzustellen, die für das nordöstliche Verbundsystem der USA und auch für das kanadische Verbundnetz benötigt wird. Da die Spitzenlast täglich nur etwa zwei Stunden dauert, kann das Kraftwerk mit dem aufgespeicherten Wasser während dieser kurzen Betriebszeit eine sehr hohe Leistung entwickeln und andere Kraftwerke entsprechend entlasten. Um kurzzeitig eine möglichst grosse Leistung abgeben zu können, soll der Wasserspiegel kurz vor den Spitzenstunden im oberen Becken auf dem höchsten, im unteren Becken dagegen auf dem niedrigsten Stand gehalten werden. Da die Arbeitsperioden bei dieser Betriebsweise mit dem natürlichen Ablauf der Gezeitenzyklen nicht zusammenfallen, ist die erzeugbare Energiemenge etwas kleiner als jene, die bei be-

ster Ausnützung der Gezeiten erzielbar wäre. Das Kraftwerk trägt dagegen zur Leistungsbilanz des Energiesystems in hohem Masse bei.

Die wirtschaftlichen Ergebnisse der hydraulischen Kraftanlagen werden in der Regel von der Wahl ihrer installierten Leistung erheblich beeinflusst. Dies ist durch die Struktur der Kapitalaufwendungen und den Verlauf der Kostenkurve  $K = f(P)$  zu erklären, Bild 7 [9], [10]. Bei Wasserkraftwerken ergeben sich hohe Ausgaben für die umfangreichen Wasserbauten, während die Kosten für die Maschinenanlage mässig sind. Wegen den beträchtlichen festen Baukosten liegt die Kostenlinie  $K_1 = f(P)$  verhältnismässig hoch, verläuft aber ziemlich flach, d. h. mit einem geringen Kostenzuwachs je zusätzliche Leistungseinheit. Bei der Erhöhung der Maschinenleistung nehmen die spezifischen Baukosten rasch ab, weil sich die hohen Kosten für die Bauarbeiten auf mehrere Leistungseinheiten verteilen. Aus diesem Grunde ist es wirtschaftlich vorteilhaft, in den Wasserkraftanlagen eine hohe Maschinen-Leistung zu installieren, vorausgesetzt, dass die Wasservorräte es erlauben, diese Leistung zur Deckung der Lastspitzen zweckmässig einzusetzen und eine entsprechende Leistung in anderen Kraftwerken des Energiesystems einzusparen.

Wegen den erwähnten Gründen konnte sich das Passamaquoddy-Kraftwerk nach den früheren Projekten, in denen die installierte Leistung nur auf 300 bis 500 MW festgesetzt worden war, wirtschaftlich nicht rechtfertigen. Das Werk war damals vorwiegend zur Energielieferung, nicht aber zur Bereitstellung der Spitzenenergie und zur Entlastung anderer Kraftwerke während den Höchstlaststunden vorgesehen. Bei einer so niedrig ausgewählten Maschinenleistung würde das Gezeitenkraftwerk keine thermische Leistung einsparen, die genügen würde, die Kosten der Wasserbauten auszugleichen. Daher hat man sich zuletzt für eine erheblich höhere installierte Leistung entschieden. Man beabsichtigt, die zusätzliche Leistung während der Spitzenstunden so einzusetzen, dass sie die Leistung anderer Kraftwerke ersetzt und dadurch gewisse Ersparnisse an Baukosten im Energiesystem mit sich bringt.

### 4. Die Kosten- und Betriebsverhältnisse

Bevor ein Bauvorhaben von so grossem Ausmasse wie das Passamaquoddy-Kraftwerk in Angriff genommen werden kann, müssen selbstverständlich mehrere Bauvarianten, welche die gleiche Aufgabe erfüllen können, aufgestellt und miteinander verglichen werden. So könnten hier zur Deckung der Lastspitzen verschiedene Arten von Kraftwerken — das Gezeitenkraftwerk, Pumpspeicherwerke oder besondere thermische Werke in Frage kommen. Der Entschluss soll dabei nicht bloss nach den unmittelbaren Kosten, sondern auf Grund einer allgemeinen volkswirtschaftlichen Bewertung verschiedener Varianten getroffen werden. Dabei können einige Faktoren nicht in konkreten Zahlen ausgedrückt werden.

Die Baukosten des geplanten Passamaquoddy-Kraftwerks sind laut der Vorkalkulationen auf 1025 Millionen \$ geschätzt worden; dies ergibt spezifische Baukosten von rd. 100 \$/kW. Dieser Kostenbetrag entspricht ungefähr den spezifischen Baukosten der Spitzenkraftwerke anderer Art, z. B. denen der Pumpspeicherwerke [11]. Der Bau des Kraftwerks soll in mehreren Stufen erfolgen und bis zum Endausbau 10 bis 15 Jahre in Anspruch nehmen; die Bauarbeiten sollen von der USA-Regierung finanziert und durchgeführt werden, wobei Kanada sich an der Rückzahlung der Bausummen später beteiligen wird.

Die unmittelbaren jährlichen Einnahmen aus dem Verkauf der Spitzenenergie werden auf 40 Millionen \$ geschätzt. Dazu können einige Millionen \$ als mittelbare Einnahmen vom Zustrom von Touristen in dieser schönen Gegend hinzukommen. Die mittelbaren Gewinne, die sich durch die Entwicklung des Wirtschaftslebens ergeben, lassen sich nicht in bestimmten Zahlen ausdrücken. Das Beispiel der Tennessee Valley Authority (TVA) zeigt aber, dass diese Gewinne, die durch niedrige Energiekosten verursacht werden, ein ganz beträchtliches Ausmass erreichen können. Wenn man nur

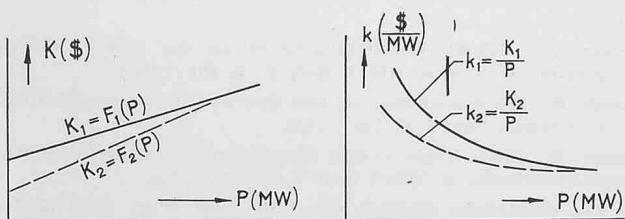


Bild 7. Kostenverlauf der hydraulischen und thermischen Kraftwerke. Links die gesamten Baukosten, rechts die spezifischen Baukosten.  $K_1$  bzw.  $k_1$  = Baukosten der hydraulischen Werke,  $K_2$  bzw.  $k_2$  = Baukosten der thermischen Werke

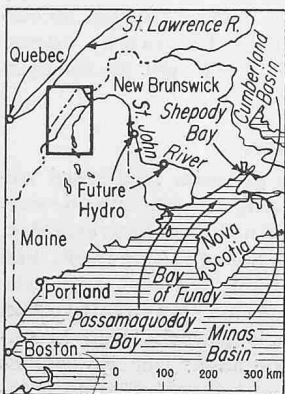
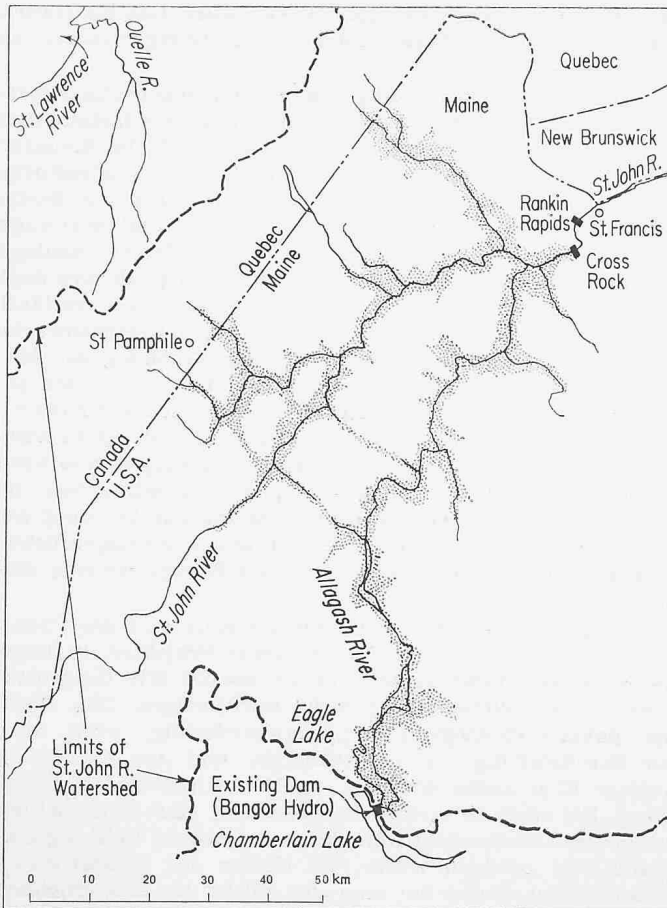


Bild 8. Die möglichen Baustellen der Wasserkraftwerke auf dem St. John-Fluss [12]. Bild 9 (links) zeigt die Buchten, in denen grosse Gezeitenkraftwerke erstellt werden können

die unmittelbaren Erträgnisse aus dem Energieverkauf berücksichtigt, so könnten die Bauaufwendungen des Gezeitenkraftwerks innerhalb 50 Jahre getilgt werden.

Die grössten baulichen Aufgaben bei der Errichtung von Gezeitenkraftwerken bilden die langen Staudämme. Die Bauarbeiten müssen in ziemlicher Tiefe und bei starker Strömung ausgeführt werden. Die Gesamtlänge der Dämme wird im Passamaquoddy-Kraftwerk rd. 12 km betragen. Während der Flutstunden wird das obere Becken fast 3 Mld m<sup>3</sup> aufnehmen; dieses Wasser soll vorwiegend in den Nachmittags-Starklaststunden ausgenützt werden, wenn das Energiesystem eine hohe Leistungsnachfrage befriedigen soll.

Die wirtschaftlichen Ergebnisse des Passamaquoddy-Kraftwerks werden ausserdem von zwei zusätzlichen Umständen beeinflusst, nämlich: a) Die Baustelle liegt abseits der grossen Verbrauchszentren, weshalb ziemlich lange Energieübertragungsleitungen nötig sind. b) Die naturbedingten Schwankungen der erzeugbaren Leistung erfordern eine gewisse Ausgleichsleistung, die in Kraftwerken anderer Art untergebracht werden soll.

Zum Leistungsausgleich können Pumpspeicherwerke dienen, die einen Teil der Gezeitenenergie für das Hochpumpen des Wassers verwerten; während der Betriebspausen oder der Leistungsrückgänge des Gezeitenkraftwerks über-

nimmt das Pumpspeicherwerk die Energielieferung. Eine Anordnung dieser Art ist selbstverständlich mit zusätzlichen Kapitalaufwendungen verknüpft. Noch besser geeignet sind dazu hydraulische Kraftwerke, welche über ausreichende Speicher verfügen, weil sie nicht nur die Leistung ausgleichen, sondern als primäre Energieerzeugungsanlagen auch die Energieausbeute des Energiesystems vergrössern. In dieser Hinsicht befindet sich das Passamaquoddy-Projekt in einer günstigen Lage, weil auf dem St.-John-Fluss, der nördlich von der Passamaquoddy-Bucht in den Atlantischen Ozean mündet, mehrere Stellen vorhanden sind, an denen Wasserkraftwerke grosser Leistung erstellt werden können. So könnte an den Stromschnellen bei Rankin oder Cross Rock ein Wasserkraftwerk mit einer installierten Leistung von 750 MW und einer Jahresarbeit 1,6 bis 1,7 Mld kWh erbaut werden, Bild 8 [12]. Wenn zu einem späteren Zeitpunkt das Wasser vom Oberlauf des St. John-Flusses in den St. Lawrence-Fluss abgeleitet würde, so könnte ein ausnutzbares Gefälle von 230 m erzielt werden; dies würde die Erstellung eines Spitzenkraftwerks von 1000 MW rechtfertigen. Am Unterlauf des Flusses ist auf kanadischem Boden der Bau einiger zusätzlicher Wasserkraftwerke mit einer Gesamtleistung von 900 MW möglich. Diese Kraftwerkskette mit grossen Wasserspeichern zur Durchflussregelung würde in Zusammenarbeit mit dem Passamaquoddy-Kraftwerk einen Komplex von Energieerzeugungsanlagen schaffen und die wirtschaftlichen Aussichten des geplanten Gezeitenkraftwerks wesentlich verbessern.

Man schätzt, dass die jährlichen Betriebsausgaben des ganzen Projekts, d. h. des Passamaquoddy-Kraftwerks samt den Ausgleichswerken am Oberlauf des St.-John-Flusses, 41,6 Millionen \$, die Einnahmen dagegen 46,8 Mio \$ betragen werden. Dies wird ein Verhältnis des Ertrags zu den Kosten von rd. 1,10 ergeben. Dieser Kennwert wird in den USA zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Flussprojekten und zur Bestimmung ihrer Prioritätsordnung benutzt. Es ist noch nicht bekannt, ob der amerikanische Kongress sich zugunsten eines baldigen Ausbaus des Gezeitenkraftwerks entscheiden wird. Man kann aber damit rechnen, dass zu einem nicht allzu weit entfernten Zeitpunkt die Bauarbeiten in der Passamaquoddy-Bucht beginnen werden.

Zum Schluss sei erwähnt, dass die Passamaquoddy-Bucht nicht die einzige Stelle dieses Küstengebietes ist, an der ein Gezeitenkraftwerk günstig errichtet werden kann. So sind z. B. die benachbarten Shepody- und Cumberland-Buchten zur Erstellung von derartigen Werken mit einer Leistung je 1800 MW geeignet, Bild 9; dasselbe gilt für die Min-Bucht. Durch den Ausbau dieser Möglichkeiten würde sich die Energieversorgung in weiten Gebieten wesentlich verbessern. Dies setzt allerdings eine enge Zusammenarbeit zwischen USA und Kanada voraus. Es ist zu hoffen, dass das Passamaquoddy-Kraftwerk der Bahnbrecher dieser Entwicklung sein wird.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Gibart, R.; Aurory, F.: Problèmes posés par l'utilisation de l'énergie des marées. Fünfte Weltkraftkonferenz, Wien, 1956. Bericht 111 H/22.
- [2] Sager, G.: Der Bau des Gezeitenkraftwerks «Rance» bei St. Malo. «Die Technik», 17 (1962), Heft 5, S. 371... 374.
- [3] «Elektrizitätswirtschaft». Fachheft Rohrturbinen. 62 (1963), Heft 4. S. 101... 135.
- [4] Prinz, H.: 240-MW-Gezeitenkraftwerk an der Rance. «Elektrizitätswirtschaft», 60 (1961), Heft 21, S. 891... 892.
- [5] Denk, E.: Die Gezeitenenergie und ihre Nutzungsmöglichkeiten. ÖZE, 7 (1954), Heft 4, S. 125... 129.
- [6] Sager, G.: Blaue Kohle — eine Energieform der nahen Zukunft. «Energietechnik», 9 (1959), Heft 7, S. 317... 320.
- [7] N. P.: Elektrische Energie aus Ebbe und Flut. «VDI-Nachrichten», 16 (1962), Nr. 26, S. 1.
- [8] Leslie, J. W.: Passamaquoddy Harnessing Tidal Power for Energy. World Power Conference, Madrid, 1960. Paper II B/1.
- [9] Kroms, A.: Ueber die Ausbauleistung der Wasserkraftwerke. ÖZE, 8 (1955), Heft 2, S. 48... 62.



- [10] *Kroms, A.*: Vergleich der Errichtungskosten von Kraftwerken. ÖZE, 16 (1963), Heft 4, S. 289... 301.
- [11] *Landes, I. H.*: Pumped-Hydro and Gas Turbine Units can Complement Each Other. «Power Engineering», 67 (1963), Nr. 10. Pg. 53... 55.
- [12] Maine Ponders State Power Authority. «Electrical World», 159 (1963), March 4, Pg. 13... 14.

Adresse des Verfassers: *A. Kroms*, 30 Rockland Ave., Malden 48, Mass., USA.

## Mitteilungen

**Eidg. Technische Hochschule.** In der Zeit vom 1. Juni bis 31. Dezember 1963 haben folgende Kandidaten der Abteilungen I, II, III A, III B und VIII B den Grad eines Dr. sc. techn. erworben:

*Abteilung für Architektur:* *Hawas*, Mohamed Zaki, B. Sc. Cairo University, ägyptischer Staatsangehöriger. *Michael*, Mofeed Riad, B. Sc. Arch. Alexandria University, ägyptischer Staatsangehöriger. *Krayenbühl*, Frank, dipl. Arch. ETH, von St-Saphorin-sur-Morges (VD), Linden (BE) und Zihlschlacht (TG).

*Abteilung für Bauingenieurwesen:* *Huder*, Jachen, dipl. Bauing. ETH, von Ardez und Santa Maria i. M. (GR). *Pedroli*, Rodolfo, dipl. Bauing. ETH, von Bodio (TI). *Gasser*, Hans Heinrich, dipl. Bauing. ETH, von Lungern (OW). *Biedermann*, Rudolf, dipl. Bauing. ETH, von Jens (BE).

*Abteilung für Maschineningenieurwesen:* *Soliman*, Hosny Ali, B. Sc. Mech. Eng. Alexandria University, ägyptischer Staatsangehöriger.

*Stingelin*, Valentin, dipl. Masch. Ing. ETH, von Pratteln (BL). *Lowen*, Walter, M. Sc. North Carolina State College, Raleigh, amerikanischer Staatsangehöriger. *Nussbaumer*, Ernst, dipl. Masch. Ing. ETH, von Riehen (BS).

*Abteilung für Elektrotechnik:* *Reinhart*, Franz-Karl, dipl. El.-Ing. ETH, von Oberdorf (SO). *Wettstein*, Jürg, dipl. El.-Ing. ETH, von Bern und Pfäffikon (ZH). *Kheireldin*, Abdel-Fattah, M. Sc. Alexandria University, ägyptischer Staatsangehöriger. *Liem*, Ham Biau, dipl. El.-Ing. T. H. Delft, indonesischer Staatsangehöriger. *Müller*, Ruedi, dipl. El.-Ing. ETH, von Wartau (SG). *Schellenberg*, Arnold, dipl. El.-Ing. ETH, von Zürich. *Burckhardt*, Christoph Benedikt, dipl. El.-Ing. ETH, von Basel. *Bleickardt*, Werner, dipl. El.-Ing. ETH, von Ermatingen (TG). *Baatard*, François, dipl. El.-Ing. EPUL, von Démoret (VD).

*Abteilung für Kulturtechnik und Vermessung:* *Zaki*, Mohamed, dipl. Ing. Universität Kairo, ägyptischer Staatsangehöriger.

**Die 48. Schweizer Mustermesse in Basel** vom 11. bis 21. April 1964, an der sich in 27 Fachgruppen 2641 Aussteller beteiligten, wurde von rund 865 000 (im Vorjahr 875 000) Personen besucht. Besonders gross war der Zustrom von Fachleuten und Interessenten aus dem Ausland. Im Empfangsdienst für ausländische Besucher meldeten sich Geschäftsleute aus 112 Ländern, in einer Zahl, die bisher bei keiner Mustermesse erreicht worden war. Die Gesamtzahl der ausländischen Interessenten betrug über 100 000. Die Messe verzeichnete auf dem Gebiet der industriellen Spitzenprodukte eine anhaltend starke Nachfrage von Seiten der

## Schwere Beschädigung der Brücke über die Meerenge bei Maracaibo

DK 624.21:624.012.47.004.6

Aus der Tagespresse ist bekannt geworden, dass am 6. April dieses Jahres infolge des Anpralles eines Schiffes an die Pfeiler ein Teil der Brücke einstürzte (siehe z. B. NZZ, Morgenblatt vom 9. April). Da die Leser der SBZ seinerzeit<sup>1)</sup> über dieses aussergewöhnliche Brückenbauwerk unterrichtet wurden, dürfte nachstehende Mitteilung, vorgängig des Ergebnisses der eingesetzten Untersuchungskommission, von Interesse sein. Bekanntlich sind im Zuge der mehr als 8 km langen Spannbetonbrücke fünf Oeffnungen mit einem Axabstand von je 235 m als Durchfahrten für die Schifffahrt angeordnet. Ihnen schliessen sich in Richtung der Maracaibo entgegengesetzten Seite nach einer Uebergangsöffnung von 160 m elf Oeffnungen von 85 m und anschliessend eine Grosszahl Oeffnungen von 46 m an. Um 23.55 h des 6. April

stiess der Tanker «Esso Maracaibo» von 50 000 Tonnen der Oelgesellschaft Creole gegen zwei Pfeiler der 85-m-Oeffnungen (n 31 und n 32), wodurch diese Pfeiler völlig zerstört wurden und den Einsturz der entsprechenden Teile der Brücke von 3 × 85 m abzüglich zwei Kragarmen, total rund 215 m, zur Folge hatten. Nach Aussage des Kapitäns hätte etwa 500 m vor Erreichen der Brücke der stromerzeugende Generator ausgesetzt, wodurch das Schiff steuerunfähig wurde, abtrieb und längs der Brücke zu liegen kam und dabei zwei Pfeiler rammte, an einer Stelle also, welche überhaupt nicht für die Schifffahrt vorgesehen war, d. h. rd. 980 m entfernt von der Hauptschiffahrtsrinne. Die den eingestürzten Oeffnungen benachbarten Brückenteile haben glücklicherweise keinen Schaden gelitten. Die Wiederinstandsetzungsarbeiten der Brücke sollen unverzüglich beginnen.

Prof. G. Schnitter, Prof. F. Stüssi

<sup>1)</sup> Siehe SBZ 1960, H. 42, S. 670 und 1933, H. 52, S. 914.

