

Energiegewinnung aus niedrigen Naturpotentialen

Autor(en): **Martin, O.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **70 (1952)**

Heft 29

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-59646>

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.

Energiegewinnung aus niedrigen Naturpotentialen

Von Dr.-Ing. O. MARTIN, Zürich-Oerlikon

DK 620.92

A. Gegenwärtige Grundlagen der Energieversorgung

Der ständig zunehmende Verbrauch von elektrischer Energie in allen Ländern der Welt zwingt zu einer ebenso ständig zunehmenden Verbreiterung der Versorgungsgrundlagen. Die bisher in öffentliche Netze gespeisten und ebenso die in Eigenkraftanlagen der Industrie erzeugten Mengen an elektrischer Energie werden überwiegend aus solchen Naturkräften gewonnen, die für den Umwandlungsprozess der «Rohenergie» in nutzbare Energie eine im Verhältnis zu den Aufwendungen hohe Ausbeute, also ein günstiges Potential darbieten. Die Naturkräfte mit besonders hohem Potential sind erst vor wenigen Jahren mit der Entdeckung der Kettenreaktion bei der Urankernspaltung willkürlich «auslösbar» geworden. An ihrer Bändigung und Dosierung für Zwecke der Krafterzeugung wird zäh gearbeitet; wirtschaftliche Bedeutung hat jedoch die Atomkraft für die Energieversorgung bis jetzt noch nicht erlangen können [1] [2] [3]. Unser derzeitiger Energieverbrauch stützt sich bis auf unbedeutende Reste auf Wasserkraft und Wärmekraft aus fossilen Brennstoffen.

Infolge der Dichte des Mediums, der guten Speicherfähigkeit und der grossen, ziemlich gleichmässigen Verbreitung über die Erde kann die Kraft des fallenden Wassers mit bestem Erfolge dienstbar gemacht werden. Zunächst wurden natürliche Flussschwellen mit Gefällen in der Grössenordnung von 10 bis etwa 100 m ausgenützt. Später schuf man unter entsprechend höheren Aufwendungen künstliche Stauschwellen in Flüssen und Strömen und Talsperren im Mittel- und Hochgebirge; man erweiterte so die Dienstbarmachung in Richtung der niedrigeren und höheren Potentiale. Die Kosten für den Ausbau von Kraftwerken an natürlichen Geländeschwellen, Wasserfällen und Stromschnellen sind vergleichsweise niedrig; je weiter dieser Ausbau der Wasserkräfte eines Landes einerseits zu den Quellen, andererseits zum Unterlauf der Flüsse voranschreitet, desto höhere Aufwendungen müssen für die Anlage von Flusswehren, Sperrmauern, Stollen und Rohrleitungen gemacht, desto mehr Kapital muss für eine jährliche zusätzlich gewinnbare Arbeitseinheit eingesetzt werden.

Die Wärmekraft stützt sich hauptsächlich auf bergmännisch gewinnbare feste Brennstoffe mit nicht zu hohem Gehalt an Ballaststoffen. Ueberwiegend wird in den Dampfkraftwerken der Erde Steinkohle verbrannt; in Europa, vor allem in Deutschland und in der Tschechoslowakei, werden auch die Braunkohlenvorkommen weitgehend zur Energiegewinnung herangezogen. Torfkraftwerke gibt es in Nordwestdeutschland und Irland. Die Steinkohle muss im Untertage-Bergwerk unter starkem Einsatz von Handarbeit gewonnen werden. Die in immer grössere Tiefe vordringenden Schächte mit wachsendem Aufwand für Grubenausbau, mit ihren Sicherungsmassnahmen gegen Gebirgsdruck und Ausgasung, mit ihren hochwertigen Einrichtungen zur Bewetterung, zum Wasserheben und zur Förderung der gebrochenen Kohle haben zusammen mit dem ständig steigenden Lohnanteil pro Tonne geförderter Kohle den Preis der Rohenergie der Dampfkraft seit Beginn des Steinkohlenbergbaues ständig ansteigen lassen. Im Verkaufspreis des elektrischen Stromes hat sich aber diese Bewegung seines wichtigsten Selbstkostenanteils nicht — oder noch nicht — zu erkennen gegeben, weil durch ständige Verbesserungen der Wärmetechnik im Dampfkraftwerk der Anteil der Rohenergie pro erzeugte Energieeinheit erheblich zurückgegangen ist. Seit Beginn des Jahrhunderts ist der Wärmearaufwand von etwa 20 000 kcal/kWh auf rund 3200 kcal/kWh im Mittel gesenkt worden, in jedem Jahrzehnt etwa um 30 %. Gleichzeitig sind die Einheitsleistungen der Kessel und Turbinen immer mehr angewachsen; seit einigen Jahren werden Turbosätze von 50 000 bis 100 000 kW und mehr in steigender Anzahl auch in Europa aufgestellt.

Im Gegensatz zur Steinkohलगewinnung, bei welcher neben dem Kapitalaufwand für das Bergwerk stets auch ein erheblicher Anteil handwerklicher Arbeit — sowohl für den Ausbau der Strecken als auch bei den Gewinnungsvorgängen — eingesetzt werden muss, überwiegt im Braunkohlenbergbau der Kapitaleinsatz. Die Lager von 6 bis 20 m Mächtigkeit liegen unter 20 bis 50 m dicken Sand- und Kiesschichten; riesige Bagger räumen erst diese Schichten weg, tragen dann

die Flöze ab, werfen den Abraum einige 100 m entfernt wieder in die ausgekohlten Hohlräume und füllen die abgebagerte Kohle in grosse Transportwagen. Die menschliche Hand bedient in der Braunkohlengrube nur noch Steuergeräte und Schalter in den Kommandoständen der Förderbrücken und in den Fahrständen der elektrischen Lokomotiven. Es ist in diesem Zusammenhang interessant zu sehen, wie man heute z. B. in Australien, wo die Handarbeit im Steinkohlenbergbau sehr teuer geworden ist, mit grossem Kapitalaufwand die Braunkohlenvorkommen zu erschliessen beginnt, obgleich Steinkohlenvorräte in reichlicher Menge anstehen und im Vergleich zu Wales oder zum Ruhrgebiet sehr bequem abzubauen sind.

Flüssiger Brennstoff wird für die Gewinnung elektrischer Energie zur Verteilung über öffentliche Netze nur in geringem Umfang verbrannt, hauptsächlich nur in Ländern mit Oelvorkommen. Die flüssigen Brennstoffe bilden die Rohenergie des Verkehrswesens; vermöge ihres leichteren Transportes, einfacheren Umfüllens aus festen in ortsbewegliche Behälter, ihrer rückstandsfreien Verbrennung haben die Mineralöle den festen Brennstoff aus der Schifffahrt grossenteils verdrängt, und im Eisenbahnwesen konnten sie der Kohle erhebliche Anteile wegnehmen. Auf der Strasse haben feste Brennstoffe stets nur als Notbehelfe gegolten und in der Luft ist der flüssige Kraftstoff technisch und wirtschaftlich durch keinen anderen zu ersetzen. Die Gewinnung der Erdöle ist ebenfalls kapitalintensiv, die anteiligen Kosten der Handarbeit beim Abteufen eines Bohrloches sind niedrig. Als Nachteil ist anzuführen, dass die Oelvorkommen viel kleiner sind als die Kohlenvorkommen, und dass sie stärker im politischen Spannungsfeld stehen, weil Produktion und Verbrauch in verschiedenen Ländern stattfinden, deren aussen- und innenpolitische Lage stets Rückwirkungen auf den Gütertausch und damit auf die Oellieferungen und den Preis haben.

Während die Wasserkräfte sich ständig erneuern und, abgesehen von klimatischen Schwankungen, dem wirtschaftenden Menschen nach ihrer erstmaligen Erfassung in beständig fliessendem Strome zur Verfügung stehen, ist die Ausbeute der thermischen Energiequellen ein einmaliger, sich erschöpfender Vorgang, wenigstens soweit es sich um die Lager an festen und flüssigen fossilen Brennstoffen handelt. Zwar stellt diese allmähliche Erschöpfung noch keine unmittelbare Bedrohung der heute und morgen lebenden Generation der Menschheit dar. Vorkommen sind noch reichlich vorhanden; bei entsprechendem Ausbau reichen auch die europäischen Vorräte an Steinkohle noch für Jahrhunderte. Dennoch wird der Abbau sowohl der Stein- als auch der Braunkohle durch die bereits erwähnten wachsenden Erschwernisse — die daher rühren, dass der Mensch fast stets die am bequemsten erreichbaren Naturschätze zuerst ausbeutet und die weniger bequem gewinnbaren den Nachkommen überlässt — beständig teurer [4].

B. Erweiterungsmöglichkeiten der Energieversorgungsgrundlagen

Bei der geschilderten Erschwerung der Energiegewinnung aus Wasserkraften und Brennstoffen wird der Anreiz immer grösser, die Versorgungsgrundlagen für unseren Energiebedarf zu erweitern und neue Kraftquellen zu erschliessen. Einerseits sucht man die Energien hohen Potentials in Gestalt der Atomkraft dienstbar zu machen, andererseits aber auch die in der Natur reichlich vorhandenen Energien niedrigen Potentials zu nutzen. Von diesen soll hier die Rede sein. Von den zu betrachtenden Rohenergien niedrigen Potentials stammen zwei ihrem Ursprung nach aus der Sonneneinstrahlung, eine aus dem Erdinneren und eine verdankt hauptsächlich der Anziehungskraft des um die Erde kreisenden Mondes ihre Entstehung. Die einzige dieser Naturkräfte, die schon seit Menschengedenken zu mechanischer Arbeitsleistung genutzt wird, ist der Wind. Dass in der Gezeitenwelle gewaltige Energien stecken, weiss man seit langem. Brauchbare Vorschläge zu ihrer Nutzung sind allerdings erst in neuerer Zeit gemacht worden. Die Gewinnung der thermischen Energie, die in den Temperaturunterschieden der erwärmten Wassermassen der Meeresoberfläche gegen die kühlen der Tiefe enthalten ist, ebenso derjenigen, die sich in der Sonnenbestrahlung von Festlandflächen darbietet, setzt eine hochentwickelte

Technik der Wärmekraftmaschinen voraus, konnte also erst im vorigen und in diesem Jahrhundert versucht werden. Die vulkanische Wärme des Erdinnern wird dort am leichtesten ausgebeutet, wo aus den Gluten der Tiefe durch Spalten und Klüfte in der Erdrinde heisse Massen nach oben steigen und heisses Wasser oder «Erddampf» liefern.

Nach Ursprung und Art dieser Naturkräfte sowie nach den zur Umwandlung der Rohenergie in elektrische Energie notwendigen maschinellen Anlagen kann man unterscheiden:

1. Mechanische Energiequellen:
 - a) Windkraft
 - b) Die Gezeitenwelle
2. Thermische Energiequellen aus dem Erdinnern:
 - c) Heisse Quellen
 - d) Erdwärme
3. Thermische Sonnenenergie:
 - e) Bestrahlte Landflächen
 - f) Meereswärme

Zur Gewinnung der unter 1. genannten Energien sind verhältnismässig einfache Maschinen notwendig, da es sich hierbei nur um die Umwandlung der geradlinig gerichteten Bewegung eines Luft- oder Wasserstromes in die drehende einer Generatorwelle handelt. Die unter 2. und 3. genannten thermischen Energien verlangen Umwandlung in zwei Stufen, nämlich: Umwandlung eines Temperaturgefälles in ein Druckgefälle, um mit dessen Hilfe in einer Turbine mechanische Energie zu erzeugen. Für eine Anlage dieser Art sind nicht nur Maschinen und Bauwerke notwendig, sondern auch Heizflächen und geschlossene Behälter.

C. Wirtschaftliche Eigenart und Masstabsbindung des Energiegewerbes

Bevor die einzelnen Möglichkeiten der Nutzung schwacher Energiepotentiale beschrieben und einer kritischen Durchsicht unterzogen werden, möge eine kurze Betrachtung über die Masstäbe eingeflochten werden, in denen heute die Energieerzeugung betrieben werden muss, damit ein wirtschaftlicher Anreiz zur Erstellung von hierfür geeigneten Anlagen besteht.

In früheren Jahrhunderten wurde mechanische Energie hauptsächlich zum Betrieb von Mühlen benützt. Wasser- und Windmühlen waren bereits im Altertum treue Gehilfen des Menschen. Dazu gesellten sich schon sehr früh windgetriebene oder durch Wasserräder bewegte Hebewerke zur Bewässerung höher liegender Kulturländer aus tiefer gelegenen Flussläufen. Die Leistungen waren klein, in der Grössenordnung von $\frac{1}{10}$ bis 10 PS. Im Mittelalter wurde die Anwendung der Wasserkraft auf die Eisenhütten erweitert: Wasserräder trieben die Blasbälge der Schmelzöfen und die ersten Kraftkammern in den Schmieden. Die Energie selbst war noch nicht Handelsware; nur die Nutzungsrechte bestimmter Flusslaufstrecken mit Gefälle wurden verbrieft und galten als verkäufliche und vererbare Eigentumsrechte.

Seitdem die Vergasung der Kohle gelungen war, und vor allem seit die Verwertung der Elektrizität der Menschheit zugänglich gemacht wurde, bestehen die Voraussetzungen zur Entwicklung eines eigenen Gewerbes, das sich mit der Erzeugung und Verteilung von Energie über feste Leitungen befasst und dessen Angehörige vom «Energiehandel» leben. Diese Voraussetzungen waren: 1. Fortleitung der Energie über längere Strecken ohne grosse Verluste und mittels einfacher Leitungen, die den Nutzungswert der überquerten Grundstücke nicht nennenswert beeinträchtigen; 2. leichte Messbarkeit der Energiemengen zwecks Rechnungslegung; 3. Verwertung in einfachen Apparaten und Maschinen. Der drittgenannte Umstand war es besonders, der dem elektrischen Strom zu seinem Siege verholfen hat: Elektrische Leuchten, Motoren und Heizkörper aller Art sind einfach, anspruchslos in Raumbedarf und Bedienung, anpassungsfähig, sauber im Betrieb und frei von störenden Nebenwirkungen.

Eine Eigenart der Handelsware «Energie», die wirtschaftlich besonders interessant ist, stellt der stark unterschiedliche Preis dar, der sich nach dem Verwendungszweck richtet. Lichtstrom wird teurer verkauft, zum Preise von etwa $\frac{1}{4}$ Stunde menschlicher Arbeitskraft pro kWh; Kraft- oder Heizstrom zu $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{50}$ dieses Wertes, wobei zwischen «Tagstrom» und «Nachtstrom» wiederum eine erhebliche Abstufung gelegt wird. Da die Elektrizitätsversorgung zur Erfüllung ihrer Aufgabe gewisse Grunddienstbarkeiten, das öffentliche Wegrecht und Konzessionen an Gemeinde- bzw.

Staatseigentum in Anspruch nehmen muss, ist die politische Verwaltung ihr erster Rechtspartner, und die mit Energie belieferten Abnehmer sind keine freien Geschäftspartner mehr wie die Käufer auf dem freien Markt, sondern sie sind an die von der Elektrizitätsverteil-Gesellschaft vorgelegten Tarife in ähnlicher Weise gebunden wie an die Steuersätze ihrer Staatsbehörde. Vielerorts sind die Elektrizitätswerke entweder teilweise oder ganz in der öffentlichen Hand, und die Energiepreise sind in starkem Masse «politische Preise». Der den einzelnen Haushaltungen gelieferte Lichtstrom macht üblicherweise in Mitteleuropa 2% der gesamt abgelieferten Energiemenge aus, er bringt aber bis 30% der Einnahmen. Erst von einem Anschlusswert, der zwischen etwa 100 bis 1000 kW liegt, tritt die aus einem öffentlichen Netz verkaufte Energie in Wettbewerb mit Eigenkraftanlagen auf Wasserkraft- oder Kohlebasis und erfährt dann im freien Handel nach den Gesetzen von Angebot und Nachfrage eine auf die Selbstkosten rückführbare, «ausgehandelte» Preisbewertung.

Diese unterschiedliche Preisbildung erleichtert und erschwert zugleich die Ausbreitung der Elektrizitätsanwendung. Das stets notwendige Vertragswerk mit der politischen Behörde des zu versorgenden Gebietes hemmt den freien Wettbewerb und gestattet gewöhnlich nicht, die Stromversorgung aus Eigenanlagen anderer Gewerbe im «Verbundbetrieb» oder als Nebenzweck billigst in Gang zu setzen. Andererseits schützt die Monopolstellung der konzessionierten Versorgungsgesellschaften auf längere Zeit den Preis der Energie und gestattet, die Stromlieferung in kleinen Mengen an Einzelabnehmer für Licht und Rundfunk so gewinnbringend zu kalkulieren, dass die hohen Anlagekosten für das Elektrizitätswerk und das Verteilungsnetz in hinreichender Kürze wieder eingebracht werden.

Dem Betreiber eines Energie-Versorgungsnetzes stehen recht unterschiedliche Nährböden zur Verfügung, je nachdem, ob er Pionierarbeit in technisch noch wenig erschlossenen Gebieten leistet, oder ob er sein Gewerbe in hochtechnisierten Ländern ausübt. In unentwickelten Gegenden lohnt der Strompreis die Inbetriebnahme von Kraftwerken mit 300 bis 1000 kW Leistung. Der Stromabsatz beschränkt sich hauptsächlich auf Licht- und Radiostrom; die Tagesbelastung konzentriert sich auf die Spätnachmittags- und Abendstunden. In technisch fortgeschrittenen Ländern muss der Strom mengenmässig in der Hauptsache an mittelgrosse Abnehmer zu Gewebetarif und an Grossabnehmer im Wettbewerb mit Eigenkraftanlagen verkauft werden. Das ist dann möglich, wenn die Energie in Werken der Grössenordnung von 10 000 bis 100 000 kW und darüber erzeugt wird. Auch den grossen Erzeugungsgesellschaften fliesst ein wesentlicher Teil der Einnahmen aus dem unbestrittenen Kleinverkauf an Lichtstrom zu hohen Tarifen zu, was einen guten Rückhalt darstellt und im Wettbewerb auf dem freien, bestrittenen Grossabnehmer-Energiemarkt zur «strategischen» Preisbildung Gelegenheit bietet.

Wirtschaftliche Gegebenheiten sind nichts Feststehendes. Friedliche Zeiten wechseln mit Kriegen. Was im Frieden wegen zu hohem Kosteneinsatz nicht gewagt wird, erzwingt der Krieg ohne Rücksicht auf Rendite. Was umgekehrt unter Führung einer Planwirtschaftsbehörde aus Geldern der politischen Gemeinschaft finanziert wird, dafür findet sich in der freien Marktwirtschaft kein Kapitalgeber. Konjunkturschwankungen können technische Entwicklungen fördern und hemmen. In der Energiewirtschaft sind die gleichen allgemeinen Konjunkturwellen wirksam wie in anderen Wirtschaftszweigen. Hier macht sich ausserdem eine Verteuerungstendenz geltend, die davon herrührt, dass die Anlagen zur Nutzbarmachung der Naturkräfte immer grössere Aufwendungen erfordern. Dieser Tendenz wirkt die technische Verbesserung der Umwandlungsprozesse und der Herstellungsmethoden kostensenkend entgegen. Bemerkenswert ist hierzu folgender Vergleich: Während in der Zeit von 1939 bis 1951 die Preise für Tankschiffe in England sich verdreifachten, sind sie im selben Zeitabschnitt im Motorenbau nur um das 1,62-fache grösser geworden. Diese Entwicklung verschafft der Ausbeutung niedriger Naturpotentiale, wozu vor allem grosse Maschinenanlagen benötigt werden, allmählich günstigere Wettbewerbsvoraussetzungen.

D. Mechanische Energien

a) Windkraft

Die Energie des Windes stellt neben der des fallenden Wassers die sinnfälligste Naturkraft dar. Immer wieder

fühlen sich erfinderische Köpfe herausgefordert, Windkraftmaschinen zur Elektrizitätserzeugung zu konstruieren. Dazu kommt, dass es bereits Jahrhunderte lang ganz brauchbare Windräder gegeben hat, die mancherorts, z. B. in Holland, noch in Betrieb stehen. Trotz der in allen Ländern mit entwickelter Technik entfaltenen Versuchstätigkeit sind aber bislang nur recht bescheidene Erfolge in der wirtschaftlichen Nutzung des Windes erzielt worden.

In Deutschland, England und Frankreich wurden unter staatlicher Förderung Versuchsturbinen mit Rädern bis zu 20 m Durchmesser aufgestellt und erprobt. Auch in der Schweiz wurden Versuche durchgeführt [5]. In Russland baute man eine Anlage von 30 m Raddurchmesser und in Amerika eine solche mit 53 m. Eine beachtliche Verbreitung fanden Windturbinen von 15 bis 18 m Durchmesser während des zweiten Weltkrieges in Dänemark. Die Versorgungsschwierigkeiten mit Kohle und Öl veranlassten die dortigen kleineren ländlichen Elektrizitätsversorgungsunternehmen, Windturbinen zusätzlich zu ihren Dieselmotoren aufzustellen, um die knapp gewordenen Brennstoffvorräte zu strecken. 1941 gab es in Dänemark 65 Windkraftanlagen, die monatlich zusammen etwa 250 000 kWh erzeugten. Als Höchstleistung wurden 1944 480 000 kWh in einem Monat erzeugt. Kleine ein-, zwei- und dreiflügelige Windräder mit Durchmessern von 2,5 und 3 m sind in den Vereinigten Staaten in mehreren hunderttausend Stück verbreitet. Sie dienen als Stromquellen für die Höfe der Einzelsiedler, zu denen öffentliche Netzanschlüsse noch nicht vorgedrungen sind, oder die wenigstens teilweise die billige Windenergie benützen wollen [6], [7], [8].

Lehrreich ist der 1941 bis 1945 in Nordamerika durchgeführte Versuch, eine grössere Maschine zu bauen, wie sie für die öffentliche Stromversorgung in Frage kommt. Ueber seine Durchführung und sein Ergebnis liegt eine ausführliche Monographie vor [9]. Die zweiflügelige Turbine von 53 m Raddurchmesser war mit Zahnradgetriebe von 28,7/600 U/min ausgestattet; ihr Generator war für 1000 kW bemessen; er sollte über einen Transformator in das Wechselstromnetz der Central Vermont Public Service Co. speisen, das hauptsächlich von Wasserkraftwerken versorgt wird. Die Schaufeln bestanden aus rostfreiem Stahl, waren 3,35 m breit und je 19,8 m lang; jede wog 6,8 t. Die beiden Blätter konnten erstens um ihre radiale Achse verdreht werden, um die Drehzahl konstant zu halten; sie waren zweitens schwenkbar um quer zur radialen liegende Aufhängeachsen, so dass ihr «Kegelwinkel» von 0 bis etwa 20° verändert wurde, um Böen auszuweichen. Die Kriegszeit verhinderte eine schnelle Behebung der «Kinderkrankheiten» dieser Maschine. Als im März 1945 ein Schaufelholm brach und die abgebrochene Schaufel einige 100 m davonflog, wurden die weiteren Versuche leider eingestellt. Zwar hatte man die mittlere Windgeschwindigkeit am Aufstellungsort (Grandpa's knob, einem Hügel im Staate Vermont) zu hoch geschätzt und statt der erwarteten 1000 kW im Mittel nur 400 bis 500 kW ausnützen können; auch waren im mechanischen Teil einige Schwächen vorhanden, deren eine das gewaltsame Ende des Versuches herbeiführte. Dennoch wurde der Beweis erbracht, dass Leistungen der Grössenordnung 500 bis 1000 kW dem Winde entnommen und in ein Drehstromnetz als Zusatzenergie eingespeist werden können. Künftige Unternehmungen zur Ausnützung der Windkraft werden da weiterschreiten müssen, wo die Windturbine von Putnam den Weg gewiesen hat.

Die Unberechenbarkeit des Windes in der gemässigten Zone macht eine alleinige Versorgung öffentlicher Netze nur aus Windkraft unmöglich. Windenergie ist nur als Zusatzkraft für Netze zu brauchen, die bereits durch andere frei einsetzbare Kraftmaschinen gespeist werden. Mit Windkraft kann Brennstoff gespart werden, wenn sie zur Ergänzung von Diesel- und Dampfkraftwerken eingesetzt wird. In Verbindung mit Wasserkraft kann man durch die Windturbine eine Vermehrung der «Laufenergie» erzielen, Speicherkraft kann geschont und durch Windkraft aufgeladen werden. Da im allgemeinen die Erstellung einer Windturbine keine sichere Steigerung der maximalen Leistung bringt, sondern die Lieferkapazität in anderen Maschinen sichergestellt sein muss, ist Windkraft für thermisch versorgte Netze erst von einer bestimmten Preisschwelle für den Brennstoff an wirtschaftlich. Es gibt jedoch im Passatwindgürtel der Erde viele Plätze, wo der Wind so regelmässig weht, dass seine Nutzung mit gleicher Voraussicht

und nach ähnlichen Wahrscheinlichkeitsgesetzen möglich scheint, wie wir sie aus Wasserkraftwerken gewohnt sind.

b) Gezeitenkraft

Wasserkraft wird heute auf der Erde überall intensiv ausgebaut und der Energieerzeugung zugeführt. Unter Gezeiten versteht man die ellipsoidische Verformung des Meeresspiegels durch die Anziehungskraft von Sonne und Mond, die mit dem scheinbaren Umlauf beider Gestirne die Erde umkreist. Die Sonne äussert dabei etwa $\frac{1}{4}$ der Wirkung des Mondes; bei Voll- und Neumond addieren sich die Kräfte, bei Halbmond subtrahieren sie sich (vektoriell); die erste Art Gezeitenwelle heisst Springflut, die andere Nippflut. Die Flut tritt täglich zweimal ein; der Niveauunterschied zwischen Ebbe und Flut beträgt an den Ozeanküsten rund $1\frac{1}{2}$ bis 2 m. In trichterförmigen, nach dem Ozean hin offenen Meeresbuchten wird jedoch die Flutwelle durch Reflexion an den Ufern verstärkt und erreicht in manchen Flussmündungen Höhenunterschiede von 12 bis 15 m, vereinzelt sogar darüber.

In Europa sind zwei Buchten besonders bekannt für ihre hohe Gezeitenwelle: Die Mündung des Severn in England und die Bucht von St-Malo in Nordfrankreich. In der Severnmündung werden bei Springfluten Höhenunterschiede von 12 m gemessen, bei Nippfluten 6,7 m. Um aus solchen Gefällen Energie zu gewinnen, gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten: Bei der ersten schliesst man den inneren Teil der Trichterbucht durch einen Damm ab und lässt das Wasser bei über das Mittelniveau steigendem Wasserstand durch Turbinen in das so entstandene Becken fliessen. Bei fallendem lässt man umgekehrt das vorher eingeströmte Wasser wieder durch Turbinen ins Meer zurückströmen. Die Maschinen arbeiten periodisch, haben zweimal täglich Stillstandszeiten, und ihre Wasserwege müssen jeweils von Ebbe- auf Flutbetrieb umgeschaltet werden. Das mittlere Nutzgefälle beträgt etwa 35 bis 40% des gesamten Gezeitenhubes.

Den Nachteile des periodischen Arbeitens vermeidet die Zweibecken-Bauweise, bei der die Flut ein Oberbecken füllt und die Ebbe ein Unterbecken entleert. Beide Becken können durch T-förmiges Eindeichen der Trichterbucht gewonnen werden. Die Turbinen werden in den Damm eingebaut, der das Oberbecken vom unteren scheidet, sie können kontinuierlich mit etwa $\frac{1}{2}$ bis $\frac{2}{3}$ des gesamten Gezeitengefälles betrieben werden. Man benötigt für diese Betriebsweise zwar mehr Deiche, ausserdem reichliche Schleusenbauwerke, dafür die Maschinenanlage klein und wechselt ihre Durchflussrichtung nicht. Stillstandszeiten der Turbinen sind nicht erforderlich, das nur wenig sich ändernde Arbeitsgefälle gestattet durchgehende Leistungsabgabe, die allerdings etwas schwankt.

Das Severnprojekt von Collins [10] sieht ein Oberbecken von 154 km² bei + 6,2 m und von 96 km² bei mittlerem Gezeitenspiegel vor. Das Unterbecken soll 69 km² bei - 6,3 m und 120 km² bei mittlerem Gezeitenspiegel aufweisen. Im Mittel dürften 4,8 m Gefälle nutzbar sein, bei Springflut würden die Turbinen etwa 500 000 kW abgeben. Die Kosten für die aus Felsbrocken mit Lehmdichtung zu erstellenden Dämme schätzt Collins zu 70 Mio £, was somit 140 £/kW ergibt. Verglichen mit den derzeitigen Kosten für den Ausbau von Niedergefälle-Wasserkraft an Flüssen liegt das Projekt durchaus an der Kostengrenze, die eine nähere Betrachtung lohnt.

In der Bucht von St-Malo lassen sich durch T-förmige Dämme zwei Becken von 150 und 130 km² Oberfläche schaffen, die einen Wasserstrom von etwa 300 Mio m³ je volle Sinusflutwelle oder 7000 m³/s bei etwa 4,2 m mittlerem Gefälle durch die Turbinen zu treiben gestatten. Damit liesse sich eine Leistung von rund 200 000 kW installieren. Rechnet man für die Dammbauten rund 900 sFr./kW als zulässig, so können die 40 km erforderlichen Seedeiche samt Schleusen etwa 4,5 Mio sFr./km kosten, ein Preis, für den sie ohne Zweifel herzustellen sind. Möglicherweise wird dieses Projekt in der nächsten Wirtschaftsdepression unter staatlicher Risikobeteiligung verwirklicht werden [11].

Die Bemessungsdaten des Gezeitenkraftwerkes lassen sich mit bekannten Gesetzen der Hydraulik festlegen. Die Speichervorgänge scheinen allerdings in den bisher veröffentlichten Projektskizzen noch nicht hinreichend in die Betrachtung einbezogen zu sein; insbesondere sind die Lade- und Entladevorgänge der Becken und ihre Rückwirkung auf die Gezeitenamplitude noch ungenügend untersucht. Schwer einzuschätzen ist ferner das Mass der Verlandung der Becken; eine gewisse

Verlandung ist ohne weiteres zulässig, solange der Spiegel nicht dadurch verkleinert wird. Die Turbinen gleichen denen der Niedergeläufigsten an Flusskraftwerken; die für Seewasser erforderlichen Werkstoffe sind vom Bau von Schiffspropellern her bereits bekannt.

Da Ebbe und Flut Ereignisse mit astronomischer Ursache sind, kann ihr Ablauf auch mit grosser Genauigkeit vorhergesagt werden. Die verfügbare Leistung lässt sich für das Gezeitenkraftwerk mit mehr Wahrscheinlichkeit in den Plan einer Landesenergieversorgung einsetzen als die der Flusskraftwerke, deren Energielieferung vom Wetter abhängt und nur «meteorologisch» begründete Vorausschätzungen zu machen gestattet.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Gezeitenkraftwerke in Meeresbuchten mit genügend konzentrierter Flutwelle durchaus bauwürdige Objekte darstellen. Allerdings müssen eine Reihe noch nicht genügend geklärter Einzelfragen an der Erstaufführung studiert werden. Da die Spiegelfläche mit dem Quadrat der Dammlänge zunimmt, sind kleine Gezeitenkraftwerke nicht wirtschaftlich. Günstige natürliche Verhältnisse liegen dort vor, wo eine Lagune in Küstennähe die Rolle des oder eines Beckens übernehmen kann oder enge und lange Trichteröffnungen grosse Seeflächen mit relativ kurzen Dämmen einzudeichen gestatten.

Literaturverzeichnis

- [1] *Dubs Werner*: Die physikalischen Grundlagen der Atomkernenergie-Anlage. SBZ Bd. 128, S. 107*, 123* (31. Aug. und 7. Sept. 1946).
- [2] *Salzmann Fritz*: Die britische Atomenergie-Versuchspile. SBZ 1951, Nr. 44, S. 623*.
- [3] *Lalive d'Epimay J.*: Ueber die thermische Ausnützung der Energie des Atomkerns. SBZ 1952, Nr. 7, S. 91*.
- [4] *Hartmann W.*: Streifzug durch die technischen Probleme bei der Förderung und Verwertung der Ruhrkohle. SBZ 1950, Nr. 21*, 22*, 23* und 24*.
- [5] *Ackeret J. und Caille Ch.*: Untersuchungen am Modell eines Windkraftwerkes. SBZ Bd. 114, S. 41*
- [6] Ueber Windkraftwerke. SBZ 1952, Nr. 12.
- [7] Power from the Wind. «El. Engng.» 1948, p. 68 and 1137.
- [8] *Lacroix G.*: Energie du vent. «Techn. moderne» 1949, p. 77 et 105.
- [9] *Pulmann P. C.*: Power from the Wind. New York 1946, van Nostrand.
- [10] *Collyns S.*: The production of Tidal Power. «Engineering» 1951, S. 394 und 427.
- [11] *Létrillart P.*: Energie hydraulique du mouvement des mers. «Technique moderne» 1950, p. 314.

Schluss folgt

NEKROLOGE

† **Heinrich Hafner**, Dip. El.-Ing., von Zürich, geb. am 29. Okt. 1900, ETH 1919 bis 1924, ist am 14. Dez. 1951 nach langer, schwerer Krankheit entschlafen. Er hatte in seiner Heimatstadt das Realgymnasium besucht und war dort ein gern gesehener, humorvoller und kritisch denkender Klassenkamerad gewesen. Schon an der Hochschule und erst recht in der Praxis vertiefte er sich immer intensiver in seine Arbeit, so dass er bald — schon 1926 — den Platz seiner Lebensarbeit fand: die Maschinenfabrik Oerlikon. Dort war er 20 Jahre lang Entwicklungsingenieur in der Studienabteilung und nachher, bis zu seiner schweren Erkrankung, Chefstellvertreter der Transformatorabteilung. Dem «Bulletin SEV» vom 17. Mai 1952, das auch ein gutes Bild des Heimgegangenen enthält, entnehmen wir folgende Einzelheiten über das Wirken unseres G. E. P.-Kollegen:

Heinrich Hafner verband mit gründlichen Fachkenntnissen die besondere Gabe, den Kern eines Problems rasch zu erfassen, um dann streng wissenschaftlich, aber ohne unnütze Komplikationen auf die Lösung loszusteuern. Von seinem erfinderischen Geist zeugen 30 Erfindungspatente, die er im Laufe der Jahre in der Maschinenfabrik Oerlikon angemeldet hat. Er verfasste auch eine Anzahl von technisch-wissenschaftlichen Aufsätzen, in denen er getreu seiner Einstellung die Lösung gründlich, aber doch möglichst einfach und klar darstellte.

Besonders auf dem Gebiete der elektrischen Lichtbogensweisgeräte hat sich Heinrich Hafner jahrelang schöpferisch betätigt und den Ruf einer Autorität erlangt. Mit zäher, die Kleinarbeit nicht scheuender Energie hat er dazu beigetragen, dass seine Ideen in der Konstruktion und der Werkstätte mit wirtschaftlichem Erfolg realisiert wurden. Verschiedenen Fachkollegen des Schweizerischen Elektrotechnischen Kom-

tees hat er grosse und bleibende Dienste geleistet, ebenso dem SEV für die Schaffung seiner Regeln für Gleichstrom-Lichtbogen-Schweis-Generatoren, Umformer und Lichtbogen-Schweisstransformatoren.

Im geschäftlichen und privaten Verkehr schätzte man seinen geraden, lauterer Charakter, das lebhaft und herzliche Temperament, die zuverlässige Kollegialität und Freundschaft. Seine hohe Bildung, der sprühende Geist und treffende Witz machten jede Diskussion mit ihm anregend. Trotz der Heinrich Hafner für sein Schaffen zu kurz bemessenen Frist ist sein Name in die Elektrotechnik ehrenvoll eingegangen, und sein Werk als Ingenieur wird bleiben.

† **Arthur Meier**, Ing. S. I. A., G. E. P., von Basel, ETH 1910 bis 1914, ist am 2. Juni 1952 in Aarau gestorben. Vor zwei Jahren schon war er von einem Herzleiden befallen worden, das ihn in seiner gewohnten, intensiven Tätigkeit stark hinderte. Ein weiterer Rückschlag machte seinem inhaltreichen Leben ein jähes Ende.

Arthur Meier wurde am 30. Mai 1891 in Basel geboren. Nach Abschluss seiner Studien an der Bauingenieur-Abteilung der ETH betätigte er sich bei verschiedenen Firmen im Eisenbetonbau wie auch im Eisen- und Brückenbau. Die Jahre 1918 bis 1927 verbrachte er bei den SBB in deren Brückenbau-bureaux in Luzern und in Bern. 1928 trat er in den Dienst des aargauischen Tiefbauamtes und wurde 1932 Adjunkt des Kantonsingenieurs.

Sein besonderes Interesse galt von jeher dem Brückenbau. Er wurde vom S. I. A. für die Bearbeitung von Brückenbauvorschriften zugezogen, und noch während seiner Krankheit hat er im Auftrage der Konferenz der Kantonalen Baudirektoren einen Bericht über den Einfluss von Schwertransporten auf Strassenbrücken verfasst. Arthur Meier hatte auch grossen Anteil an der Entwicklung der neuen Baumethoden für Strassenbeläge. Er präsidierte etliche Jahre die Fachkommission der Vereinigung Schweiz. Strassenfachmänner¹⁾, die dieses Gebiet bearbeitet. Wie überall, leistete der Verstorbene auch hier gründliche und wegleitende Arbeit. Sämtliche ersten Entwürfe zu neuen Belagvorschriften waren sein persönliches Werk. Sie zeichneten sich durch eingehende und strenge Formulierungen aus und liessen auf einen ungewöhnlich grossen Schatz an praktischen Erfahrungen und Sachkenntnis schliessen.

Bei allen Diskussionen blieb Arthur Meier immer korrekt und objektiv. Er scheute keine Widerstände und vertrat seine Ansichten unentwegt, was ihm nicht immer Dank einbrachte. Sein gerader Charakter und seine Uneigennützigkeit wurden von allen, die mit ihm zu tun hatten, sehr geschätzt. Die Strassen- und Brückenbauer verlieren mit Arthur Meier einen ihrer besten Ingenieure, und alle, die den Verstorbenen näher kannten, werden ihm ein ehrendes und bleibendes Andenken bewahren.

F. Doser

† **Otto Burckhardt**, Arch. S. I. A., ist am 29. April 1952 in Basel als einer der letzten Architekten, die bereits vor dem letzten Weltkrieg in massgebender Weise zur Gestaltung des Stadtbildes beigetragen haben, dahingegangen. Geboren am 22. November 1872, erhielt Otto Burckhardt, nachdem er die Matura in Basel bestanden hatte, seine berufliche Ausbildung in Paris an der Ecole des Beaux Arts und arbeitete später in der selben Stadt bei Architekt Meves, einem der führenden Architekten des ausgehenden 19. Jahrhunderts. Die starken künstlerischen Eindrücke, die Otto Burckhardt damals empfangen hat, sind bestimmend und richtunggebend für seine ganze spätere berufliche Tätigkeit geworden. Der Geist und die Kultur Frankreichs haben den jungen Architekten tief beeindruckt, und diese Eindrücke sind bei ihm stets lebendig geblieben. In seinen besten eigenen Werken schwingt daher, auch heute noch klar erkennbar, etwas vom französischen Geist des 18. Jahrhunderts mit. Besonders die Kultur und Formenwelt der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts waren Otto Burckhardt vertraut und lieb. Seine Kenntnisse und sein Wissen umfassten aber nicht nur Architektur und darstellende Kunst, sondern auch alle anderen Gebiete menschlicher Kultur. Für uns junge Architekten, die später mit ihm zusammenarbeiten durften, war es daher stets ein Erlebnis, wenn Otto Burckhardt ein Werk der Architektur oder irgend ein Architektur-Element erläuterte, die historischen Zusam-

¹⁾ Im Heft 7, 1952, bringt «Strasse und Verkehr» ein Porträt von A. Meier.