

Energiegewinnung aus niedrigen Naturpotentialen

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

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

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

Heft 31

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-59650>

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

DK 620.92

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

Schluss von Seite 416

E. Wärmeenergien

Wesentlich grössere Energien als im Wind und in den Gezeiten sind in Gestalt von Wärmegefallen in der Natur vorhanden. Ihre Ausbeute ist allerdings nicht in so sinnfällig einfacher Weise möglich, wie die Windräder und Wasserturbinen ihre Energieumwandlung vollbringen; Wärmekraftmaschinen arbeiten nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik und können stets nur einen verhältnismässig kleinen Teil der zugeführten Wärmemenge ausnützen. Die Heiz- und Kühlvorgänge, die nötig sind, um die Wärme in die Maschine hinein- und aus ihr wieder herauszubringen, verlangen «Transportgefälle» in den Heizflächen der Apparate, die bei den niedrigen Temperaturunterschieden der zur Arbeit herangezogenen «natürlichen» Potentiale einen nennenswerten Teilbetrag der theoretisch verfügbaren Nutzenergie aufzehren.

Die thermischen Energiequellen, die sich ausser den Brennstoffen zur Ausbeute anbieten, stammen entweder aus der Einstrahlung der Sonne oder aus den vulkanischen Wärmequellen des Erdinnern. Die Einstrahlung der Sonne kann auf zweierlei Weise nutzbar gemacht werden: Erstens kann man mit geeigneten «Konzentratoren» die Strahlen sammeln und eine Flüssigkeit aufwärmen, deren Dampf unter Abkühlung auf Umgebungstemperatur in einer geeigneten Maschine Arbeit leistet. Dies ist der Weg, der auf dem Festland am aussichtsreichsten erscheint. An der Küste, bzw. auf See, kann man als zweiten Weg den Unterschied in der Temperatur des Oberflächenwassers zum Tiefenwasser verwerten, indem man das kalte Wasser der Tiefe nach oben pumpt. In den Tropen stellt sich die mittlere Tagestemperatur des Meeresspiegels auf etwa 28 bis 30 Grad Celsius ein, nach der Tiefe zu nimmt die Temperatur erst rascher, dann langsamer ab, da von den Polen her Kaltwasser nach den tropischen Ozeanen fliesst, in Gegenbewegung zu den warmen Oberflächenströmen, die sich von den äquatorialen Breiten nach den polaren hin erstrecken. Dabei wird die Stromrichtung von der Drehung der Erde und den begrenzenden Festlandküsten beeinflusst. Der geringe Temperaturunterschied zwischen Oberflächen- und Tiefseewasser reicht hin, um eine thermische Maschine in Gang zu halten.

c) Vulkanische Wärmekraft

Vulkanische Erdwärme bietet sich besonders da zur Ausnützung an, wo in der Erdrinde im Verlauf der geologischen Verwerfungen und Verschiebungen Klüfte und Spalten entstanden sind, die durch aus dem Erdinnern nachdringendes glutflüssiges Material ausgefüllt wurden. Diese vulkanisch-tektonischen Wärmefelder sind auf der Erde nicht allzu selten. Von den an die 1000° C-Grenze heranreichenden oder sie übertreffenden Kraterschlünden noch tätiger Vulkane bis zu der an Hand einer schnelleren Temperaturzunahme in Bohrlöchern gerade noch erkennbaren Spur längstvergangener vulkanischer Ereignisse kommen alle Zwischenstufen vor. Zuzufolge dieser vulkanischen Geschichte unserer Erdrinde ist die «geothermische Tiefenstufe» kein Festwert, sondern wechselt von 80 m/° C in den Diamantbergwerken Südafrikas auf 25 m/° C des rheinischen Schiefergebirges oder noch weniger im jungen Eruptivgestein. Am leichtesten lässt sich die vulkanische Erdwärme dort ausnützen, wo sie in Gestalt von heissem Wasser oder «Erddampf» fühlbar wird.

Wenn die Erdrinde im Bereich vulkanisch aufgeheizter Temperaturfelder Hohlräume bildet, die sich mit Grundwasser füllen können, so tritt dieses Wasser in einer Thermalquelle zu Tage. Wenn deren Temperatur 100° C überschreitet, wird es unter Dampfbildung periodisch von den expandierenden Dampfblasen ausgeschleudert. Wenn das Wasser in den tiefen Hohlräumen siedet, ohne dass sein Spiegel an die Oberfläche kommt, entsteht Erddampf. Quellen mit periodischem Heisswasserausstoss sind die Geysire Islands, des Yellowstoneparks (USA) und Neuseelands. Erddampf liefern zum Beispiel die vulkanischen Felder in Lardarello (Italien). In Island wird das warme Geysirwasser zur Gebäudeheizung benützt. Eine hochentwickelte Technik der Kraftherzeugung aus vulkanischer Erdwärme besitzt bis heute allein Italien. Dort hat man in

Lardarello eine Anzahl Bohrlöcher abgeteuft, in denen der Erddampf unter Druck aufgefangen und zu Kondensationsturbinen geleitet wird. Insgesamt dürfte die installierte Leistung der mit Erddampf betriebenen Turbosätze augenblicklich rund 150 000 kW betragen; sie stellt also einen beachtlichen Anteil des italienischen Energie-Erzeugungspotentials dar. Gegenüber dem üblichen Kraftwerk geben die mit dem Thermalwasser mitgeführten gelösten Salze oder Gase (besonders SH und SO₂) gewöhnlich zusätzliche Werkstoffprobleme auf, die zur Wahl korrosionsfester Baustoffe für Rohrleitungen und Beschaufelungen zwingen. Die übrige Projektierung kann sich jedoch ziemlich unverändert an die Vorbilder der brennstoffbeheizten Kraftzentralen halten. In Lardarello wurden nach dem Kriege vier Turbogeneratoren von je 35 000 kW aufgestellt [12]. Dass in Alaska, Neuseeland, Japan und Island weitere Möglichkeiten bestehen, Erddampfquellen zur Energiegewinnung heranzuziehen, ist bekannt, und ihre Verwirklichung in etwa gleicher Art wie in den italienischen Werken dürfte nurmehr eine Frage der Zeit sein.

d) Erdwärmegewinnung mit Tiefbohrungen

Wo keine natürlichen Hohlräume die Erdrinde zur Herabgabe von Heisswasser oder Erddampf befähigen, kann man sie künstlich durch Abteufen von Bohrungen schaffen. Wenn man in jungvulkanischem Gestein mit genügend schneller Temperaturzunahme derartige Bohrungen niederbringt, kann man schon bei 1000 bis 1500 m Teufe Schichten mit 100° C Temperatur antreffen. Das in solche Bohrungen eingefüllte Wasser erwärmt sich, steigt auf und ist bei genügender Menge — man benötigt etwa 1 m³ Warmwasser je kWh — in der Lage, wirtschaftlich Dampfturbinen zu treiben. G. Claude hat berechnet, dass in der ausnützbarsten Tiefe von 8000 m bei einer Temperaturzunahme von rund 3° pro 100 m (Tiefenstufe 32 m/° C) rund 600 Mal mehr Wärme enthalten ist, als in den französischen Kohlenlagern steckt [13]. Er schlägt zur Ausnützung thermoartesischer Brunnen vor.

Es ist nicht von der Hand zu weisen, dass man auf geologisch günstigem Untergrund solche vulkanische Kraftwerke erstellen kann. Doch muss sehr sorgfältig überlegt werden, in welchem Zeitmass die warmen Tiefenschichten ihre Wärme abgeben werden. Führt man Horizonte an, auf denen sich warmes Wasser aus einem weit gezogenen Umkreis sammelt und die Wärme mit dem Sickerwasser transportiert wird, so kann das Kraftwerk auf lange Lebensdauer rechnen. Bleibt das Bohrloch aber im harten Gestein, so dass das eingeflossene Wasser sich nur an der Bohrlochwand erwärmt und wieder aufsteigt, so bildet sich sehr bald ein ausgekühlter, isolierender Gesteinsmantel um das Bohrloch, der den weiteren Wärmezufuss abdämmt und die Wärmeausbeute rasch vermindert, so dass der Betrieb eines Kraftwerkes unlohnend wird. Für einen erheblichen Teil der Erdoberfläche sind daher die Claudeschichten Ueberlegungen noch durch solche über den Wärmetransport in den anstehenden Gesteinsschichten zu ergänzen, ehe die Wirtschaftlichkeit der teuren Tiefbohrungen zur Gewinnung der Gesteinswärme abgeschätzt werden kann. Dies gilt auch für die von Mauz veröffentlichten Vorschläge zur Nutzung des jungvulkanischen Gebietes bei Nürtingen und Neuffen (Württemberg), wo eine Anzahl kleiner Vulkanschlote die Wärme eines Magmaherdes nach oben gebracht haben [14].

e) Die Sonnenkraftmaschinen

Dass man mit Hilfe der Sonnenstrahlen eine Dampfmaschine in Gang halten kann, ist schon mehrmals nachgewiesen worden. Nachdem bereits Mitte des vergangenen Jahrhunderts in Algier einige kleine Pumpwerke mit Sonnenkraft betrieben wurden, kam 1901 auf einer Farm in Los Angeles in den USA eine Sonnenkraft-Maschine in Betrieb. Ihr wichtigster Bestandteil war ein grosser Spiegel, bestehend aus einem gegen die Sonne gerichteten, in Höhe und Ekliptikweg nachstellbaren Kegel von 11 m Durchmesser, der innen mit etwa 1800 Planspiegeln belegt war. Diese reflektierten das Sonnenlicht gegen das in der Kegelaxe stehende Rohr von 4 m Länge und erzeugten in diesem Dampf von 10 atü Druck.

Der Dampf trieb eine übliche Kolbendampfmaschine von 10 PS Leistung. Die hohen Anschaffungskosten von damals 3000 \$ und die etwas umständliche Bedienung verhinderten eine grössere Verbreitung derartiger Anlagen, obgleich sie zur damaligen Zeit, als die elektrische Kraft noch nicht jedes Bauernhaus erreichte, einige Bedeutung hätten gewinnen können. In der Folge sind noch einige Male derartige Spiegelmaschinen erprobt worden. 1907 baute dann der Amerikaner Frank Shumann einen Sonnenwärme-Sammler nach dem «Treibhaus»-Prinzip, in welchem Aether in geschwärmten Röhren verdampft wurde. 1913 stellte Shumann in Meadi bei Kairo eine Sonnenwärme-Dampfmaschine auf, die wieder mit zylindrischen Paraboloidspiegeln von 4 m Breite und zusammen 61 m Länge etwa 1 atü Dampfdruck erreichte und 50 PS abgeben konnte. Auch diese Maschine blieb ein Einzelversuch ohne Nachfolger. Immerhin hat es also schon Wärmekraftmaschinen gegeben, die mit Sonnenwärme mechanische Energie erzeugen konnten; der Gedanke ist also weniger utopisch als zurzeit das Gezeitenkraftwerk. A. Remshard [15] kommt zum Schluss, dass die seitherigen Sonnenmotoren mehr an verfehlter Konstruktion als an mangelnder Wirtschaftlichkeit gescheitert sind.

Das Hauptproblem der Sonnenenergie scheint beim Wärmesammler zu liegen. Sonnenkraftmaschinen werden dann reizvoll, wenn es mit vernünftigem Geldeinsatz gelingt, die mit der Sonnenstrahlung auf der Erdoberfläche ankommende Wärmeenergie an Warmwasser überzuleiten und zu speichern. Als Strahlensammler sind bisher zwei Typen erprobt worden, nämlich ebene, strahlungsabsorbierende (schwarze) Flächen und Zylinder-, Kugel- oder Kegel-Spiegel. Mit optisch gut gearbeiteten Spiegeln kann man sehr hohe Temperaturen im Brennpunkt bekommen. So sind im Brennpunkt mittelgrosser Spiegel schon schwermelzbare Metalle geschmolzen worden, wofür Temperaturen von mehr als 2500 °C nötig sind. Mit dem Spiegel lassen sich also die höchsten heute vom Werkstoff bei Dampfkraftanlagen ertragbaren Temperaturen mit Sicherheit erzielen, allerdings nur auf einem kleinen Brennfleck. Die wirtschaftliche Sonnenkraftmaschine braucht jedoch nicht mit solch extremer Temperatur, ja nicht einmal mit Hochdruckdampf zu arbeiten, da das Betriebsmittel praktisch nichts kostet. Man wird nicht höchsten thermischen Wirkungsgrad anstreben, sondern das Kostenminimum für Erstellung und Betrieb. Man muss also versuchen, die Spiegelreflektoren möglichst billig zu bauen — gebogene, reflektierende Bleche mit Rohr in der Brennpunktlinie — wie es bereits von den Pionieren der Sonnenenergie zu Anfang dieses Jahrhunderts gemacht worden ist. Was man heute besser versteht, ist die Ausnützung der eingefangenen Wärme mittels in hohem Vakuum laufenden Niederdruckturbinen. Mit solchen einfachen Spiegelwannen wird natürlich nur eine erheblich niedrigere Temperatur erreicht als mit optischen Präzisionsspiegeln. Das wirtschaftliche Optimum liegt aber vermutlich nicht bei den höchsten ausführbaren, sondern bei relativ niedrigen Drücken und Temperaturen im bestrahlten Rohr des Spiegelsammlers.

Die andere, auch schon mehrfach versuchte Sammlerbauart ist der «Treibhaus-Kasten». Man lässt die Strahlung durch eine dünne Scheibe in einen Kasten mit geschwärmtem Boden fallen, von dem die Strahlung in Wärme verwandelt wird [16] [17]. Der Boden wird von Rohren durchzogen, welche die von der Bodenschicht gesammelte Wärme an eine Flüssigkeit weitergeben. Der Boden und die Wände des Kastens müssen noch nach aussen isoliert sein, damit die eingestrahelte Wärme nicht durch Konvektion wieder an die Umgebung verloren geht. Mit solchen «Strahlenfallen» hat der Genfer Physiker Saussure schon um 1800 Temperaturen von 100 bis 105 °C bekommen. Der praktische Wirkungsgrad dieser Treibhauskästen liegt bei 60 bis 70 %; er nimmt mit steigender Betriebstemperatur des Bodens ab, weil dieser mit höher werdender Innentemperatur mehr Wärme an die Umgebung verliert. Man wird also die Differenz gegen die Temperatur der Umgebungsluft nicht zu hoch ansetzen dürfen; etwa mit 30 bis 50 °C je nach Ausführung beginnt der Wärmeverlust mehr auszumachen, als der Gewinn in einer Carnot-Maschine bei grösserer Temperaturdifferenz einbringt.

Ausser dem geschreinerten oder vom Spengler angefertigten Kasten kann man noch eine andere interessante Sammlerbauart bekommen, wenn man die Sonnenstrahlung in einem Teich oder See absorbiert. Der übliche offene See ist allerdings hierzu nicht geeignet, da er mit steigender Wassertem-

peratur immer mehr Wasser an der Oberfläche verdunstet, so dass auch bei intensivster Bestrahlung nicht mehr als 30 °C Wassertemperatur erreicht werden kann. Bei dieser Temperatur gibt die offene Teichfläche rund 0,5 kg/m²h Wasser bei ruhender Luft ab, die Menge steigert sich auf 1,6 kg/m²h bei leichtem Wind von 2 m/s.

Diese Verdunstung verbraucht bereits die gesamte Sonneneinstrahlung¹⁾. Gelingt es, die wärmeabführende Verdunstung an der Spiegeloberfläche zu verhindern, so erwärmt sich das Seewasser erheblich über diese Grenze hinaus. In einem kleinen See in Ungarn steht das Tiefenwasser mit einem Salzgehalt in Verbindung, hat also einen verhältnismässig hohen Salzgehalt. Der See hat einen Zufluss von Süsswasser, welches sich in etwa 1 m Dicke über das schwerere Salzwasser schichtet und nach Ueberströmen der Seefläche als Bach abfließt. Die Sonnenstrahlung erwärmt diese Süsswasserdeckschicht und auch das tiefer liegende Salzwasser. Da aber das Salzwasser spezifisch schwerer ist, auch wenn es höhere Temperatur hat als das süsse Wasser, bleibt die Wasserschichtung bei nach der Tiefe zunehmender Temperatur stabil; das Ergebnis ist eine beträchtliche Aufheizung des Tiefenwassers, das seine Erwärmung nur noch durch Leitung an den Wasserspiegel abgibt und nicht mehr durch konvektiven Stoffaustausch. Die Leitzahl der Wasserschichten ist niedrig, so dass selbst bei Eisbildung im Winter an der Oberfläche das Salzwasser noch rund 30 °C warm bleibt. Während der Sommermonate hat man in 1,3 m Tiefe Temperaturen von 70 °C gemessen. Die Oberfläche hatte dabei nur 30 °C, so dass sich 40 °C Uebertemperatur in dem kleinen, etwa 40 000 m² grossen und etwa 10 m tiefen See einstellten [18]. Solche Salzseen mit süsser Oberflächenwasser gibt es mehrere auf der Erde; bei allen beobachtet man dieses Uebertemperatur-Phänomen in mehr oder minder starkem Masse. Man kann diese natürlichen Sonnenwärmespeicher mit technischen Mitteln künstlich erzeugen, indem man eine entsprechende Wasserfläche mit einer Spiegelabdeckung versieht, welche die Verdunstung verhindert.

Die Energiegewinnung mit Hilfe von Sonnenwärmesammlern dürfte zukünftig für manche Länder, vor allem in tropischen Wüsten, eine gewisse Rolle spielen. Zwar war den zu Anfang dieses Jahrhunderts angestellten Versuchen kein wirtschaftlicher Erfolg beschieden. Doch ist ein solcher vermutbar, wenn man die Anlage etwa nach folgenden Gedanken baut und betreibt: Die Sonneneinstrahlung wird in fest angeordneten Flächen zwar nur mit dem Sinus des Einfallswinkels reduziert aufgefangen, statt der Solarkonstanten von 1150 kcal/m² ist über die gesamte Sonnenscheindauer nur eine solche von rund ¼ dieses Wertes wirksam. Dennoch dürfte der feststehende Sammler billiger sein als der dem scheinbaren Sonnenweg nachdrehbare, da bei ihm die Lager und der Drehmechanismus wegfällt. Die aus einer genügenden Anzahl Röhren zusammengesetzte Dachfläche wird in Zusammenarbeit mit einem Grosswasserspeicher betrieben. Sobald die Sonne am Morgen das in den Röhren stehende Wasser über die Speichertemperatur erwärmt hat, lässt man es mittels Pumpe durch das alle Dachflächen verbindende Verteilnetz zirkulieren und transportiert die von der Dachfläche aufgefangene Wärme in den Wasserbehälter. Natürlich erreicht man auf diese Weise nicht so hohe Temperaturen wie mit dem optischen Reflektor. Doch genügen die erzielbaren Uebertemperaturen zum Betrieb eines Turbinenrades mit Dampf niedrigen Druckes. Der bereits erwähnte Wasserbecken-Sammler (Salzsee) hat als Vorteil die Vereinigung von Speicher und Sammler; er benötigt kein Verteilnetz und keine Zirkulationspumpe. Vermutlich ist aber sein Aufwand an Metall etwa gleich dem einer Dachfläche, sein sonstiger Bauaufwand aber erheblich grösser. Ausserdem strahlt er des Nachts einen grossen Teil der am Tage eingefangenen Wärme wieder ab; im getrennten Speicher und Sammler lässt sich dieser Wärmeverlust erheblich geringer halten, da nur die Metallfläche und ihre vergleichsweise geringe Röhrenfüllung auskühlen. Die Dachflächen lassen sich auch eher zusätzlich verwenden; man kann die Räume unter ihnen vermieten, Strassen mit schattenspendenden Dachstreifen versehen, teilweise schattenbedürftige Pflanzungen unter ihnen anlegen (z. B. Kaffee-sträucher). Die leichte Bauweise ermöglicht es, auch wenig für andere Zwecke brauchbares Gelände zum Auffangen von

1) Zur Verdampfung von 1,6 kg/h bei 30 °C sind 1,6 · 580 = 930 kcal/h nötig, was der Solarkonstanten von 1150 kcal/m²h sehr nahe kommt.

Sonnenwärme zu benutzen; man ist keineswegs an die Ebene in Wüste und Steppe gebunden.

In Wüsten mit wenig unterbrochener Sonnenscheindauer ist die Sonnenwärme-Kraftmaschine geeignet, die Lichtenergie für die Nacht zu liefern und Bewässerungspumpen zu treiben. Die Warmwasserspeicher, die nötig sind, um die in den Mittagsstunden eingestrahelte Wärme bis zur ersten Nachthälfte festzuhalten, erfordern nicht zu hohe Kosten. Nachdem die heutige Dampfturbine eine bessere Umsetzung der thermischen in mechanische Energie in Nähe der Umgebungstemperatur ermöglicht als die Kolbendampfmaschine vor 50 Jahren, sollten die seinerzeit aufgegebenen Arbeiten zur Nutzung der Solarenergie wieder aufgegriffen werden. Für eine Modellanlage ist der Umstand günstig, dass die Sammelwirkung der bestrahlten Flächen von deren Grösse nahezu unabhängig ist. Die im Temperaturbereich unter 100°C laufende Turbine lässt sich schon bei Leistungen von 100 kW mit Wirkungsgraden von rd. 80 % bauen, so dass sich auch kleine Kraftwerke dieser Energie mit Vorteil bedienen könnten.

f) Die Meereswärme-Maschine

Die zwar in den Anfängen steckengebliebenen, aber doch teilweise gelungenen Versuche zur maschinellen Gewinnung von Sonnenenergie zu Anfang des Jahrhunderts haben den Beweis erbracht, dass solche Maschinen physikalisch möglich sind. Ihre Einführung in grösserem Umfang ist eine mehr wirtschaftliche Frage. Es ist in der Technik, vor allem im Kraftmaschinenbau, häufig zu beobachten, dass gewisse Maschinen oder Verfahren erst oberhalb einer bestimmten Grösse wirtschaftlich betrieben werden können, weil das preisbestimmende Verhältnis Inhalt zu Mantelfläche bei Behältern, die Strömungsverluste in Rohrleitungen und die Wirkungsgrade in Turbinen mit grösser werdenden, strömenden Mengen günstiger werden. Vor allem bei solchen Anlagen, bei denen relativ grosse Wassermengen durch längere Leitungen gepumpt werden müssen, wird der Betrieb umso wirtschaftlicher, je grösser die Einheit ist. Der Nachweis der Betriebsfähigkeit ist für manche Maschinen in diesem Sinne an eine gewisse Mindestleistung gebunden.

Deshalb war es ein sehr lobenswerter und erfolgversprechender Entschluss, als man um 1930 den französischen Forschern Claude und Boucherot Gelegenheit bot, ihr Projekt einer Wärmekraftmaschine für das Temperaturgefälle zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser der Ozeane zu verwirklichen. Die beiden Forscher hatten zuvor mit einer kleinen Turbine von 60 kW, die mit dem Kühlwasser eines belgischen Stahlwerkes Strom erzeugte, die grundsätzliche Richtigkeit ihrer Ueberlegungen nachgewiesen.

Claude beabsichtigte, an geeigneter Stelle eine Rohrleitung 600 m tief ins Meer zu senken und mit ihr das in diesen Tiefen etwa 6°C warme Wasser an die Oberfläche zu bringen. Dort sollte es den Dampf niedrigen Druckes niederschlagen, der aus Oberflächenwasser von 28 bis 30°C durch Ausdampfen unter Vakuum hergestellt wurde. Lässt man bei diesem Vorgang das Kaltwasser sich auf 10°C erwärmen und das Warmwasser auf 25°C abkühlen, so hat man im Kondensator einen Druck von 0,0125 ata und im Warmwasser-Verdampfer einen solchen von 0,032 ata. Bei Satt-dampfbetrieb ($x=0,99$) erhält man ein Wärmegefälle von 29 kcal/kg, und bei 74 % Wirkungsgrad der Energie-Umsetzung benötigt man rund 40 kg/kWh verdampfendes Wasser. Der verlustlose thermische Wirkungsgrad ist $\eta_{th} = h_{ad}/\Delta i = 29/(600-28) = 5,07\%$. Claude wollte mit einem Kaltwasserstrom von $1\text{ m}^3/\text{s}$ etwa 500 kW erzeugen. Da bei 4 % thermischem Gesamtwirkungsgrad $860 \cdot 100/4 = 21\,500\text{ kcal pro kWh}$ im Warmwasser aufzuwenden sind, wovon 20 640 in den Kondensator gehen, sollten die $7,2\text{ m}^3/\text{kWh}$ Kaltwasser um $20\,640/7200 = \text{rund } 3^{\circ}\text{C}$ erwärmt werden.

Als erster Versuch wurde 1929 in Cuba (Matanzas) ein Rohr von 2 m Durchmesser ins Meer gesenkt. Es sollte mit 2 km Länge bis in 600 m Tiefe reichen. Die verhältnismässig starke Strömung des in dieser Meeresgegend der Karibischen See entstehenden Golfstromes verhinderte jedoch das Vorhaben; das Rohr brach bereits bei 50 m Tiefe. Claude liess dann eine komplette Anlage auf dem Dampfer «Tunisie» aufbauen, der bei 10 000 t Wasserverdrängung rund 6 500 t Tragkraft hatte [19]. Von diesem Schiff aus hoffte er, das Kaltwassersaugrohr von 650 m Länge freihängend mit mehr Erfolg in den Ozean herabzulassen. Das Rohr hatte 2,5 m lich-

ten Durchmesser und war aus Blechen von 3 mm (unten) bis 3,5 mm (oben) geschweisst und mit einem leichten Holzbelag isoliert. Eine Schwimmkugel von 9 m Durchmesser sollte es senkrecht halten, und ein Caisson-Anker von 200 t sollte es am Meeresboden festlegen. Man transportierte die 112 Teilstücke auf Hochseekähnen an die Brasilianische Küste und baute dort vom Schiff aus zusammen. Noch während des Zusammenbaues brach die Röhre im Seegang und versank grösstenteils in die Tiefe. Die Versuche wurden daraufhin abgebrochen, ehe sie noch recht begonnen hatten, weil die konstruktiven Schwierigkeiten dieser Leitung offenbar unterschätzt worden waren.

Einige Nebenprobleme der Claudeschen Idee sind in der Zwischenzeit durch Forschungsarbeiten der Lösung nähergebracht worden. Es war nämlich angezweifelt worden, dass eine Punktsecke 600 m unter dem Seespiegel ständig das Wasser des dortigen Horizontes ansaugen würde. Man vermutete einen allseitigen Zustrom nach Art eines Kugeltensors und infolgedessen Ansaugen von Wasser mit einer Mischtemperatur, die höher als die betreffende Horizonttemperatur ist. Zur Klärung wurden Modellversuche im kleinen Tank unternommen, wobei man den Temperaturgradienten durch einen solchen des Salzgehaltes ersetzte [20]. Damit war die Dichteverteilung des Wassers im Modell nachahmbar, und der Versuch lehrte, dass nur ein geringer Mischungseffekt eintrat, und das am unteren Rohrende angesaugte Wasser nahezu die Horizonttemperatur hat und beibehält.

Ein schwieriges Problem stellen die Hilfsmaschinen dar. Die Pumpenleistung für Kalt- und Warmwasser lässt sich zwar mit Hilfe der Reynoldsschen Zahl unter Annahme einer bestimmten Rohr-Rauhigkeit mit guter Treffsicherheit abschätzen. Wesentlicher für die Wirkungsweise ist jedoch die Leistung, die die Pumpen für die Entfernung der Luft aus dem Kondensator verbrauchen. Um die Temperaturgefälle für den Wärmetransport durch die Heizflächen zu verringern, wollte Claude seine Maschine sowohl mit direkter Ausdampfung des warmen Seewassers in einer Unterdruckkammer als auch mit Einspritzkondensation kaltwasserseitig betreiben. Ihr Aufbau war insofern denkbar einfach. Die Turbine war rund 10 m über dem Meeresspiegel im Schiff eingebaut, die Warm- und Kaltwasserkammer sollten einfach evakuiert werden, wobei das Wasser in den Zu- und Ablaufrohren hochstieg und die beiden Wasserströme durch Anlassen der Pumpen in Gang kamen. Sprühdüsen sorgten in bekannter Weise für Verdampfung auf der warmen und für Kondensation auf der kälteren Seite. Die Rechnung war insofern etwas ohne den Wirt gemacht, als das Wasser beachtliche Mengen gelöster Luft mitbringt, die ständig abgesaugt, verdichtet und nach aussen gefördert werden muss. In Wasser von 6°C können 30 g/m^3 gelöst sein, in Wasser von 30°C etwa $18,5\text{ g/m}^3$. Mit den $7,2\text{ m}^3/\text{kWh}$ Kaltwasser und $13\text{ m}^3/\text{kWh}$ Warmwasser würden somit ungünstigenfalls rund 450 g Luft eingebracht, die bei 0,0125 ata ein Volumen von rund $65 \cdot 0,45 = 29\text{ m}^3$ einnehmen. Zur adiabatischen Verdichtung dieser Luft sind etwa 50 000 mkg/kg Arbeit erforderlich. Der gewonnenen Kilowattstunde $= 367\,000\text{ mkg}$ stehen somit $50\,000 \cdot 0,45 = 22\,500\text{ mkg}$ Verdichterleistung bei Anwendung verlustloser Maschinen gegenüber. Wollte man diese Luft in einer Wasserstrahlpumpe verdichten, wie sie häufig in Kraftwerken zu finden sind, so würde die Nutzleistung gerade hinreichen, um diese Strahlpumpe zu treiben, denn deren Wirkungsgrad überschreitet kaum 6 %.

Claude hat deshalb Dampfstrahlsauger verwenden wollen, deren Treibdampf vom Schiffskessel geliefert werden sollte. Mehrstufige Strahlapparate sollten einen einigermaßen annehmbaren Wirkungsgrad ergeben, so dass der Brennstoffaufwand zur Heizung des Kessels noch erträglich bleiben würde. Immerhin hätte dies die Betriebskosten um einen recht beachtlichen laufenden Anteil vermehrt, abgesehen von dem Schönheitsfehler, den die kohle- und ölgefeuerten Strahlpumpe an der Meereswärmekraftmaschine darstellt. Den Kreiseldverdichter glaubte Claude nicht brauchen zu können, weil er bei einer Anlage von 10 000 kW für rund $300\,000\text{ m}^3/\text{h}$ bemessen werden müsste, was eine Maschine von den Abmessungen der grössten bekannten Hochofengebläse gibt. Immerhin dürften hier noch Verbesserungsmöglichkeiten offenstehen, welche die Verwendung rotierender Verdichter möglich machen.

Ein Mitarbeiter Claudes hat später ein Projekt für eine Anlage von 15 000 kW veröffentlicht [21], wofür $42\text{ m}^3/\text{s}$

Warmwasser und 14 m³/s Kaltwasser herangeschafft werden; die Pumpen sollen 4000 kW und die Luftabsaugung 1000 kW verbrauchen. Das Turbinenrad ist mit 14 m Durchmesser vorgesehen ($n = 332$ U/min). Die Maschine soll mit senkrechter Welle in einen grossen Betonbehälter von der Gestalt eines Gasometers eingehängt werden, auf dessen Zwischenböden die Verdampfung und die Strahlkondensation vor sich zu gehen hätten. Da nach wie vor in der Kaltwasserleitung das Kernproblem dieser interessanten Maschine gesehen wird, hat man im Sommer 1947 bei Brest ein halbsteifes Rohr mit Gummimuffen von 2,5 m Durchmesser und 150 m Länge zu Wasser gebracht und in 17 m Tiefe an Schwimmern hängend in 2 m hohem Seegang geschleppt. Irgendein Versuchspech hat jedoch auch diese Probearbeiten unterbrochen.

Wirtschaftlich gesehen ist die Claude-Maschine zwar nicht billig; ihre Kosten pro Leistungseinheit fallen jedoch nicht allzusehr aus dem Rahmen der thermischen Zentralen mit Brennstoffbetrieb, soweit dies sich bisher übersehen lässt. Setzt man für eine Anlage von 7000 kW den Preis des Stromerzeugers (1000 U/min) = 1, so ergibt sich etwa folgende Preisliste:

Stromerzeuger	1	Rohrleitung	
Turbine	1,7	für Kaltwasser	8
Pumpen	0,5	Montage	2,8
Luftsauger	1,4	Warmwasserleitg.	0,6
Behälter	2	Dieselsatz	1
	6,6		12,4

Die Gesamtkosten der ortsfesten Ausführung belaufen sich somit auf das 19- bis 20fache des Stromerzeugerpreises. Für das Dampfkraftwerk rechnet man mit dem 16- bis 18fachen. Wenn die Claude-Anlage frei schwimmend auf ein Schiff aufgebaut wird, so kommen noch die Kosten für das Schwimmgefäss hinzu. Die Vergleichszahl steigt dann auf 25 bis 28. Eine Reihe technischer Aufgaben: Haltbare, seegangsfeste Verbindung zwischen Schiff und Röhre, Seekabel zur Ableitung der Energie ans Land, Verankerung der ganzen Station in der Nähe der Küste harren allerdings noch der Lösung, abgesehen von den betrieblichen Problemen, wie Auf- und Abbau der Röhre auf hoher See, Reinigung, Einholen und Aussetzen des «Energieschiffes», Ablösung und Dienst des Personals.

Vielleicht wäre die Claude-Anlage im Schiff geeignet, die Voraussetzungen zur industriell betriebenen Fischerei in tropischen Ozeangewässern (etwa im Stillen Ozean) zu schaffen. Man könnte sie als Energiequelle in ein grosses Verarbeitungsschiff einbauen, in dem das Eis für die Fangboote erzeugt und die Verarbeitungsmaschinen für die Konservierung und Verpackung der Fänge aufgestellt wären. Vielleicht könnte man auch daran denken, schwimmende Bauxit-Schmelzen zur Aluminium-Erzeugung einzurichten; der Seetransport der Erze ist ja relativ billig, so dass auch in ziemlicher Entfernung von den Fundorten die Elektrolyse noch mit guten wirtschaftlichen Aussichten zu betreiben ist. Gleiches gilt für die Ammoniak-Synthese. Die steuerlichen Vergünstigungen der Flagge von Panama seien nur nebenbei erwähnt.

Für Europa ist Afrika ein zwar nahe gelegener, aber grossenteils noch wenig gepflegter Wirtschaftspartner. Die klimatischen Verhältnisse der Sahara, ihre Armut an Süswasser haben die Entwicklung Nordafrikas bisher sehr behindert, gleich im Atlas abbauwürdige Buntmetallerze liegen und der kräftige und reichliche Sonnenschein bei genügender Bewässerung vielerorts eine gute tropische Landwirtschaft verspricht, wo heute die Wüste vorherrscht.

g) Sonnenwärmemaschinen mit Meereskühlung

Die Claude-Anlage ist an der westafrikanischen Küste nur als «Schwimmende Insel» möglich, weil das Meer erst hunderte Meilen weit draussen genügende Tiefe aufweist. Begnügt man sich aber, das Kühlwasser aus einer Tiefe von rund 120 bis 150 m heranzuschaffen, was auch bei flachen Küstengewässern noch mit am Meeresgrunde verlegten Leitungen von einigen Kilometern Länge möglich ist, so kann in Kombination mit einem sonnenbestrahlten Wärmespeicher an Land für das heliothermische Küstenkraftwerk rund 55 — 15 = 40 ° C Temperaturgefälle (brutto) verfügbar gemacht werden. Das Wärmegefälle, welches nach Abzug der Aufwärme-

und Transportspanne für den Oberflächenkondensator übrig bleibt, liegt bei 40 kcal/kg, so dass etwa 27 kg/kWh an Vakuumdampf benötigt werden. Es fällt somit eine relativ reichliche Kondensatmenge an, welche zur Bewässerung dienen könnte und den Anbau von Dattel- und Kokospalmen oder Bananen auf vielen Hektaren Boden neben einer Kraftzentrale von einigen tausend kW Leistung ermöglichen würde.

Bemisst man die nach den Grundsätzen der Claude-Anlage auszugestaltende Entlüftung des Betriebswassers etwas reichlicher, so kann die Destillation von Oberflächen-Meerwasser mit Hilfe des Tiefenwassers ohne nutzbare Arbeitsleistung zusätzlich vorgenommen werden, wobei dann das grössere Temperaturgefälle eine kleinere, stärker ausgenutzte Kondensatorfläche anzuwenden gestattet. Das Tiefenwasser ermöglicht ferner eine relativ billige Kühlung und Entfeuchtung der in die Arbeits- und Wohnräume einventilierten Luft, so dass der Aufenthalt für Europäer erträglicher wird.

Zwecks besserer Wirtschaftlichkeit wäre also die Stromerzeugung aus Kondensation von Sonnenwärme-Dampf mit ozeanischem Tiefenwasser durch den ganztägigen Betrieb von Klimaanlage aus einem Leitungsnetz kühlen Seewassers, das aus dem gleichen Saugrohr gespeist wird, zu ergänzen. Eine Gesellschaft, die a) elektrischen Strom liefert, b) ein Netz mit 15 bis 17 ° C warmem Wasser unterhält und damit die in den Kellern der Häuser oder in Nebengebäuden aufgestellten Klimaanlage betreibt, c) einfach destilliertes Brauchwasser und d) doppelt destilliertes Trinkwasser verteilt, dürfte auch mit dem relativ hohen Anlagekapital der Sonnenwärme-Auffanganlage und der kostspieligen Saugröhre für Tiefenwasser gewinnbringend arbeiten. Gegenüber dem Windkraftwerk hat die Sonnenwärme-Maschine den Vorteil einer gewissen Speichereigenschaft der Rohenergie, gegenüber dem Gezeitenkraftwerk den wesentlich geringeren Umfang der von der Brandung benagten Bauelemente und die Unabhängigkeit von der Mondphase voraus. Ausserdem stehen im thermischen Kraftwerk schnelllaufende Turbinen und Stromerzeuger, was seine Anlagekosten im günstigen Sinne beeinflusst.

F. Schlussbemerkung

Die verschiedenartige Gestalt der Erdoberfläche, die ungleiche Verteilung von Wasser und Land, die klimatischen Verschiedenheiten in den verschiedenen Zonen werden keinem der betrachteten Gewinnungsverfahren von Energie aus niedrigen Potentialen einen absoluten Vorrang zuzuerkennen gestatten. In wasserarmen Wüsten und in unwirtlichen Gebirgen wird die Windkraft zuweilen mit Vorteil nutzbar gemacht werden. Mit den auf Höhenzügen aufgestellten Windturbinen könnte man durch elektrische Kraftübertragung in benachbarten Tälern die Brunnenpumpen antreiben, die aus wasserführenden Tiefschichten das Betriebswasser für neu anzulegende Oasen usw. fördern. Auch als Ergänzung kleiner und mittelgrosser Dieselzentralen bietet die Windturbine mancherlei Vorteile.

In einigen Meeresbuchten, die an gut mit anderen Kraftwerken ausgestattete Länder grenzen, wird das Gezeitenkraftwerk den Energiehaushalt wirksam ergänzen. In abgelegenen Ozeangenden mit wertvollen Inselpflanzungen (Ananas) oder Fischreichtum wird die am Ufer erstellte oder schwimmende Claude-Anlage ihre Bewirtschaftung erleichtern. An heissen, regenarmen Küsten mit nicht allzu schwierig erreichbarem ozeanischem Tiefenwasser wird die Energiegewinnung aus Sonnenwärme im Verein mit Destillatgewinnung und Klimatisierung sich als nützlich erweisen.

Die Frage des wirtschaftlichen Nutzens ist nach mehreren Gesichtspunkten zu überlegen. Die Kraftanlagen mit Energiegewinnung aus niedrigen Potentialen werden voraussichtlich stets mehr Kapital binden als das Hochdruck-Dampfkraftwerk oder die Dieselzentrale, die sich in tropischen und subtropischen Ländern einer ziemlichen Verbreitung erfreut. In bezug auf die Wasserkraft darf man als wahrscheinlich annehmen: Solange ein Land über Ausbaumöglichkeiten von Flusskraftwerken verfügt, wird man erst die erschöpfen, ehe man neue, bisher nicht begangene Energie-Erzeugungswege entwickelt. Es kommt jedoch früher oder später der Tag, an dem die ausbauwürdigen Wasserkräfte sämtlich in Dienst genommen sind. In fast allen Industrieländern ist heute schon die benötigte Energiemenge grösser als die durch Wasserkraft lieferbare. Den Unterschied decken in erster Linie die Wärme-Kraftzentralen. Deren

wirtschaftliche Lage ist in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts immer günstiger geworden, da die sich rasch auf einen hohen Stand entwickelnde Technik des Grosswärmewerkes den Kohlenverbrauch (kg/kWh) stärker verminderte, als die Kohlekosten (Geldeinheiten/kg) anstiegen.

Während in den nächsten Jahren der spezifische Wärmeverbrauch für die erzeugte Energie aber nur noch um wenige Punkte fallen wird, dürfte die steigende Tendenz der Kohlepreise auf die Dauer gesehen anhalten, denn die Förderung geschieht aus zunehmender Tiefe. Die kapitalisierte Summe der Brennstoffkosten wird also für Dampfkraftwerke wachsend höher angesetzt werden müssen. Damit verbessern sich mit der Zeit die Aussichten von Energiegewinnungsverfahren, die zwar einen sehr hohen einmaligen Kapitaleinsatz erfordern, deren laufende Kosten jedoch um die laufenden Beträge für Kohle oder Öl niedriger sind.

Die in den hochindustrialisierten Ländern aus den vorhandenen und bereits ausgebauten Potentialen gewinnbare Energie wird in steigendem Masse für die kleinere Industrie, den Bahnbetrieb und den Haushalt gebraucht werden. Die Grosssynthese von Ammoniak, das elektrische Erschmelzen von Metallen und andere chemische Verfahren werden vielleicht zuerst eine gewisse Tendenz zeigen, sich der «unerschöpflichen» Energiequellen der Erde zu bedienen, da sie leicht an günstig gelegene Stellen der Erdoberfläche zu verlegen sind und auch am ehesten das Kapital hierfür aus Einnahmeüberschüssen abzweigen können. Dies gilt für die technisch entwickelten Industrieländer. Die weniger mit fossilen Brennstoffen gesegneten Länder mit schwach entwickelter Industrie werden voraussichtlich die Entwicklung von Gewinnungsverfahren für Energie aus niedrigen Potentialen mit staatlichen Mitteln fördern, da man allgemein lieber hohe Summen in die eigene Volkswirtschaft investiert, als gegen eine fremde ein dauerndes, geldliches Abflussloch in Gestalt laufender Brennstoffeinfuhren offen zu halten geneigt ist.

Bei Investitionen grösserer Tragweite für die Gesamtwirtschaft eines Landes pflegt man die Verzinsungs- und Amortisationsrechnung nicht allein über die Bewilligung der Mittel entscheiden zu lassen. So hat sich z. B. der vorwiegend aus strategischen Gründen angelegte Nordostseekanal zwischen Kiel und Hamburg-Unterelbe mit der Zeit als ziemlich gewinnbringendes Wirtschaftsobjekt erwiesen. Es ist durchaus möglich, dass auch die Aufwendungen z. B. für eine Meereswärme-Kraftmaschine unwirtliche Küstenstriche bewohnbar zu machen und die Grundlage neuer Produktions- und Verdienstmöglichkeiten zu schaffen berufen sind. Wahrscheinlich würden die in dieser Richtung angesetzten geldlichen Mittel sogar eher zu greifbaren Erfolgen führen als die Investitionen für die Nutzbarmachung der Atomenergie. Man sollte darum über die gewiss nützlichen und erkenntnisfördernden Studien und Entwicklungsarbeiten am Kernspaltungsproblem die sanfteren Kräfte der Natur nicht ganz vernachlässigen und auch ihnen das Halfter zum Dienste an einer beständig wachsenden Menschheit überzustreifen versuchen.

G. Zusammenfassung

Der zunehmende Ausbau der Wasserkräfte des Binnenlandes und der starke Angriff der fossilen Brennstofflager zwingen zur Ausschau nach weiteren für die Gross-Elektrizitätsversorgung nutzbringend ausbeutbaren Energiequellen. Die Entwicklung der Atomenergie ist der Schritt zu höheren Naturpotentialen; mit ihr wird möglicherweise eine weitere Energiequelle aus bergmännisch gewinnbaren Stoffen erschlossen. Daneben besteht die Möglichkeit, schwächere Naturpotentiale dem menschlichen Energiebedarf dienstbar zu machen: Windkraft und Gezeitenwelle sind mittels langsamlaufender Turbinen auszunutzen, Meereswärme, vulkanische Wärme des Erdinneren und direkt eingefangene Sonnenstrahlung lassen sich mit Niedergefälle-Dampfturbinen ausbeuten. Die Windkraft ist eine relativ unzuverlässige Energiequelle; ihre Nutzung erfordert sehr grosse Schaufelräder in Leichtbauweise und Verbundbetrieb mit anderen Kraftmaschinen. Das Gezeitenkraftwerk ist in Meeresbuchten am Platze, wo sich die Gezeitenwelle anstaut. Die Becken erfordern grosse Deiche und Schleusen.

Neben den heute schon ausgenutzten Erddampfquellen sind in vulkanisch jungem Gelände mit guter geothermischer Tiefenstufe Anlagen zur Erdwärmenutzung aussichtsreich. Die Temperaturunterschiede des Meerwassers zwischen Oberfläche und etwa 500 m Tiefe stellen einen grossen Vorrat thermischer Energie dar, die zwar mit bescheidenem thermischem Wirkungsgrad, aber mit tragbarem Kapitaleinsatz ausnutzbar ist, sofern gewisse technische Schwierigkeiten überwunden werden. Unter diesen ist die Konstruktion der Kaltwasser-Saugrohre die wichtigste. Sonnenkraftmaschinen kann man mit optischer Konzentration der Strahlen oder mit einfachen schwarzen Flächen bauen. Ueber Versuche in kleinem Masstab ist man bisher nicht hinausgegangen, es fehlt noch der Grossversuch. Für heisse Gegenden würde die Meereswärme-Kraftmaschine mit kühlem Tiefenwasser und die Sonnenkraft im Verbundbetrieb von Energie-Erzeuger und Klima-Anlage neue Produktionsmöglichkeiten erschliessen.

Literaturverzeichnis

- [12] Bartelli L.: Volcanic Power. «Northwestern Engr.» 1951, p. 11/12.
- [13] Claude G.: Utilisation thermique du sol. «Techn. Moderne» 1950, p. 307.
- [14] Mauz J.: Erdwärmenutzung in Württemberg. «Bohrtechnik und Brunnenbau» 1950, S. 243.
- [15] Remshard A.: Sonnenkraftmaschinen. «Z. VDI» 1926, S. 159/62.
- [16] Hottel and Woertz: Performance of Flat Plate Solar Heat Collectors. «Trans. ASME» 1942, p. 91.
- [17] Der Sonnenwärmespeicher Sutter-Adank. SBZ 1947, Nr. 31, S. 426*.
- [18] Kalczyński A. v.: Die ungarischen heissen Salzseen. «Ann. d. Physik» 1902, S. 408, und 1904, S. 843.
- [19] Martin H.: Le navire «Tunis». «Le Génie civil» 1934, p. 253.
- [19] Nisolle L.: Utilisation de l'énergie thermique des mers. «Mém. Soc. Ing. Civ.» 1947, p. 796.
- [21] Nizery A.: Nouvelles recherches sur l'énergie thermique des mers. «Mém. Soc. Ing. Civ.» 1947, p. 826.

Wettbewerb für ein Schwesternhaus des Kantonsspitals Zürich

DK 725.518 (494.34)

Umschreibung der Bauaufgabe

Aufgabe dieses Wettbewerbes war vor allem die städtebauliche Einordnung des Schwesternhauses. Der Kanton sieht sich gezwungen, auf dem verhältnismässig kleinen Grundstück des Plattengartens eine grosse Anzahl von Schwesternzimmern für das Kantonsspital unterzubringen. Im Rahmen von Baugesetz und Bauordnung wird das kaum möglich sein. Es werden deshalb Ausnahmegewilligungen erteilt werden müssen. Es war Aufgabe des Wettbewerbes, abzuklären, ob solche Ausnahmegewilligungen verantwortet werden können. Die Teilnehmer am Wettbewerb hatten alle Freiheit für die Gestaltung des Baues. Ueberschreitungen des Baugesetzes, bedingt durch das Raumprogramm, waren also zugelassen. Es betrifft das insbesondere Gebäudehöhe und Geschosshöhe. Eine Entwicklung in die Höhe findet hier ihre Berechtigung, weil gegen Sportplatz und Gloriastrasse keine nachteiligen Auswirkungen zu befürchten sind und auf der andern Seite der Plattenstrasse eine kantonale Liegenschaft angrenzt, die in ihrer Ausnutzung den Verhältnissen angepasst werden kann. Es ist dort das zahnärztliche Institut vorgesehen. Für die im Süden liegende Nachbarschaft entstehen kaum nachteilige Folgen: Immerhin hatte der Wettbewerbsteilnehmer

darauf zu achten, dass die östliche und südliche Nachbarschaft möglichst wenig beeinträchtigt wird und dass die architektonische Gestaltung im Einklang mit der Umgebung steht.

Der obere Teil der Schönleinstrasse zwischen Phönixweg und Plattenstrasse soll aufgehoben werden. Die Strasse durfte in der halben Breite für das Schwesternhaus beansprucht werden. Im untern Teil der Schönleinstrasse war ein Grenzabstand von 3,5 m einzuhalten. Es war damit zu rechnen, dass die Grundstücke oberhalb des Phönixweges in absehbarer Zeit neu überbaut werden, während unterhalb des Phönixweges in den nächsten Jahren keine Aenderungen des gegenwärtigen Zustandes zu erwarten sind.

Raumprogramm: 250 bis 300 Schwesternzimmer zu 11 m², mit Waschbecken, Nebenräume zu den Schwesternzimmern auf jedem Geschoss:

a) für 20 bis 30 Zimmer ein Wohnraum, 1 Teeküche, Schuhputzraum mit Putzbalkon, Handwaschraum, Dusche, Telefonkabine, Schrank für saubere Wäsche.

b) für 8 bis 12 Zimmer 1 Kabine mit Badewanne.

c) für 10 Zimmer 1 W.C.