Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 80 (1962)
Heft: 22

Artikel: Die Wasserkraftanlage Sennar am Blauen Nil, Sudan
Autor: Keller, Eugen
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-66166

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die Wasserkraftanlage Sennar am Blauen Nil, Sudan

DK 621.29

Von **Eugen Keller**, dipl. Ing. ETH, Gebrüder Gruner, Ingenieurbüro, Basel

1. Einleitung

Am 1. Januar 1956 erhielt der frühere Anglo-ägyptische Sudan nach langer Vorbereitungszeit seine Unabhängigkeit. Die Bestrebungen Aegyptens, dieses Land in ein grossarabisches Reich unter Führung Kairos einzubeziehen, misslangen, vor allem dank dem diplomatischen Geschick des ersten Ministerpräsidenten und der entschiedenen Haltung eines Grossteils der Bevölkerung.

Das Land hat in den vergangenen ersten sechs Jahren seiner Unabhängigkeit einen bemerkenswerten wirtschaftlichen Aufschwung erzielt, wobei die seit dem 17. November 1958 herrschende Militärregierung unter dem zielbewussten Präsidium von General Ferik Ibrahim Abboud den Hauptanteil zu dieser erfolgreichen Entwicklung geleistet hat. Von verschiedenen Staaten ist dem Sudan technische und finanzielle Hilfe angeboten worden, so vor allem von England, Westdeutschland und den Oststaaten.

2. Landwirtschaft und Bewässerung

Der Lebensnerv des Sudans ist unbestritten der Nil mit seinen beiden Hauptarmen, dem Blauen und dem Weissen Nil, die sich in Khartum zum grossen Strom vereinigen (Bild 1). Ohne künstliche Bewässerung ist das Land praktisch unfruchtbar und nicht imstande, seine Bevölkerung hinreichend zu ernähren. Aus diesem Grunde sind schon in früheren Zeiten zu diesem Zweck Pumpanlagen und Kanäle geschaffen worden, wobei die älteste Bewässerungsart die Ueberflutung der Uferpartien des Nils darstellt.

Man unterscheidet heute die folgenden Systeme: 1. Systematische Bewässerung mittels eines Kanalsystems mit natürlichem Gefälle, wie z. B. Gezira, Managil, was aber den Bau grosser Talsperren mit entsprechenden Speicherbecken bedingt. 2. Systematische Bewässerung mit Pumpwerken. 3. Bewässerung durch Ueberfluten während der Hochwasserzeit. 4. Bewässerung durch auftretende Quellen.

Die Hauptbewässerungsanlagen liegen am Nil. Die Abflussmengenkurve ist aus Bild 2[1]) ersichtlich. Die mittleren Abflüsse des Nils nördlich Atbara betragen in der Zeit von Januar bis Juni 13 800 Mio m³ oder im Mittel 900 m³/s, vom Juli bis September 76 000 Mio m³ oder 4800 m³/s im Mittel.

2.2 Die Sennar-Sperre als Hauptbauwerk für die Bewässerung der Gezira

In den Jahren 1913 bis 1925 mit Unterbruch während des Ersten Weltkrieges hat die englisch-ägyptische Verwaltung

1) Aus H. E. Hurst, The Nile.

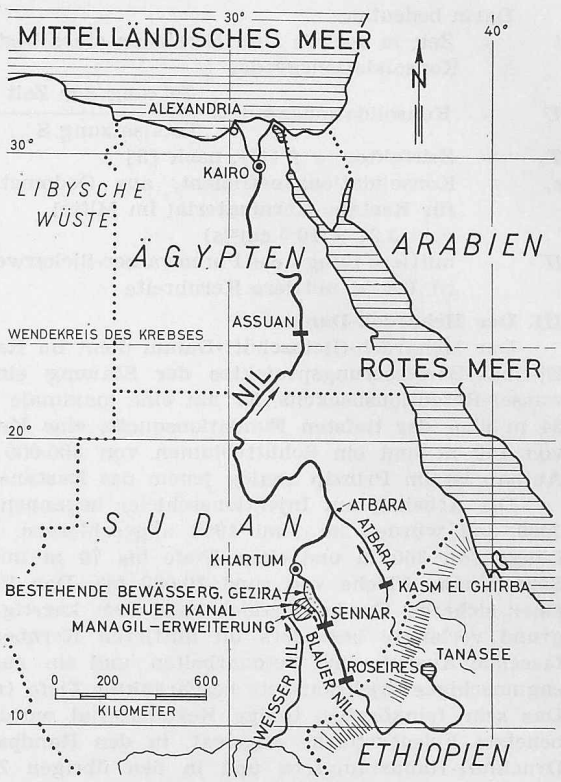


Bild 1. Uebersichtskarte, Masstab 1:30 000 000

am Blauen Nil rd. 300 km südlich Khartum die Sennar-Staumauer erbaut. Bereits im Jahre 1904 ist auf Betreiben von Lord Kitchner mit den ersten Sondierarbeiten begonnen worden. Die Projektierung und Bauleitung lag in den Händen eines Ingenieurkonsortiums unter der Führung von Messrs. Coode and Partners, London, während die Bauarbeiten durch die Gruppe Sudan Construction Company and Messrs. Alexandrini and Perry und unter Zuziehung verschiedener Unterakkordanten ausgeführt wurden.

Die gesamte Länge des Bauwerkes (Bild 3) beträgt 3025 m. Es ist ganz auf Gabbro-Granit fundiert und besteht zur Hauptsache aus 422 000 m³ Mauerwerk. Die grösste Höhe beträgt 39 m. Für die Ableitung des Hochwassers sind im 600 m langen mittleren Teil 80 Hauptdurchlässe von 2 m Breite und 8,40 m Höhe sowie 72 Ueberfallöffnungen von 3 m Breite und 3,40 m Höhe vorhanden. Beidseitig schliesst der je 150 m lange Spillway Dam mit 20 je 5 m breiten und 3,40 m hohen Oeffnungen an. Die 80 Hauptdurchlässe vermögen eine Wassermenge von 9500 m³/s und die 112 Ueberfallöffnungen eine solche von 5500 m³/s abzuleiten. Die

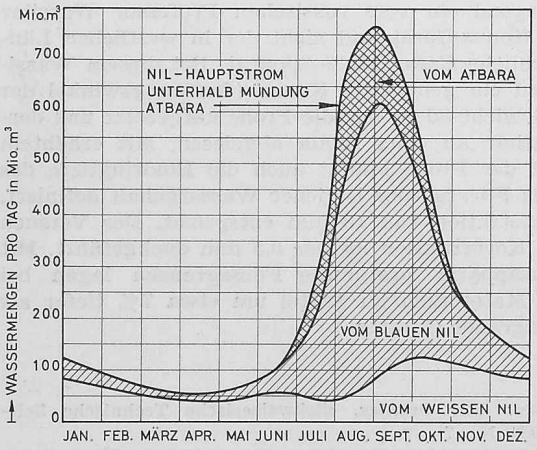


Bild 2. Nil und Atbara, Jahresverlauf der Wassermengen

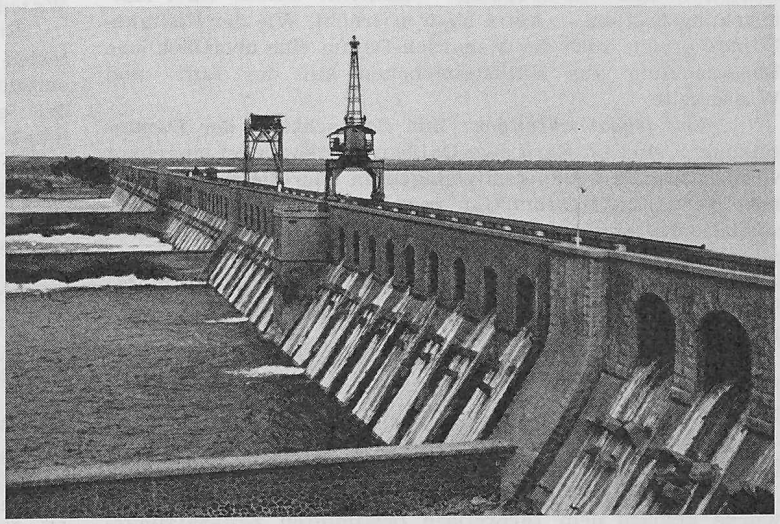


Bild 3. Die Sennar-Staumauer am Blauen Nil

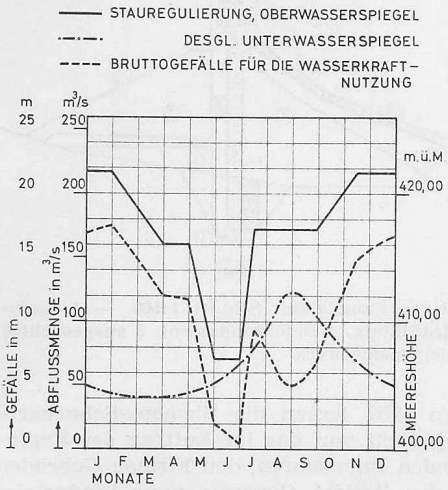


Bild 4. Charakteristische Kurven der Wasserkraftanlage Sennar

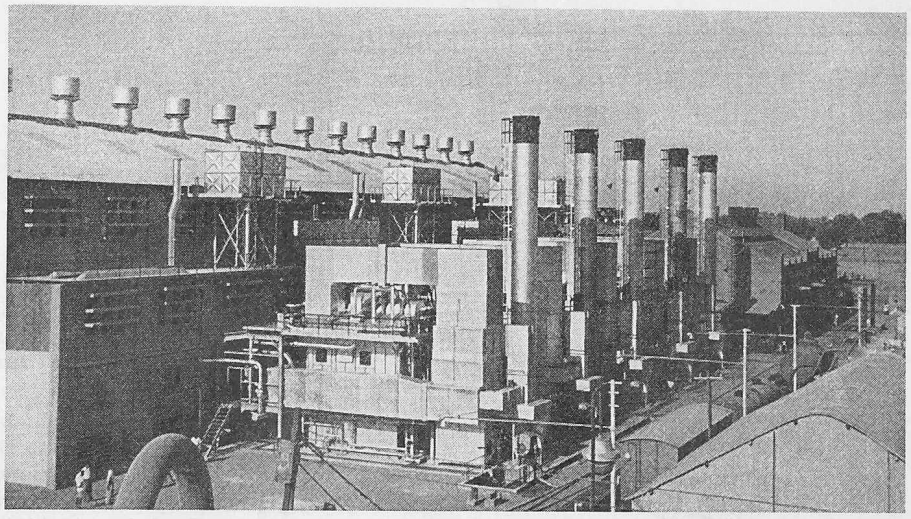


Bild 5. Thermisches Kraftwerk Burri (Khartum) mit Dampfkesseln

Hochwasserentlastungsorgane sind demzufolge für eine Wassermenge von 15 000 m³/s dimensioniert. Die bisher grösste Wassermenge, die seit Bestehen der Mauer abgeleitet wurde, betrug 11 000 m³/s im Jahre 1946.

Durch diese Talsperre wird ein Speicherbecken von 930 Mio m³ Inhalt gebildet, das sich rd. 100 km flussaufwärts erstreckt. Die Stauregulierung erfolgt im Zusammenhang mit den Bedürfnissen für die Bewässerung und ist in Bild 4 dargestellt.

Bereits im Jahre 1925 konnte das erste Bewässerungssystem in der Gezira zwischen Blauem und Weissem Nil in Betrieb genommen werden, das auf einer Fläche von 300 000 Feddan (= 1260 km²) eine systematische Bewirtschaftung ermöglichte. In den folgenden Jahren wurde die Gezira stets vergrössert, so dass heute das bewässerte Gebiet rd. 1 Million Feddan (= 4200 km²) umfasst. In der Hauptsache wird in einem dreijährigen Turnus eine sehr gesuchte Qualität von Baumwolle angepflanzt. Im Jahre 1957 hat die Regierung den Bau eines weiteren Hauptkanales, des Managilkanales, beschlossen, wodurch das bewirtschaftbare Gebiet bis heute um weitere 800 000 Feddan (3400 km²) erweitert wurde. Das Speicherbecken Sennar ist demzufolge der Wasserlieferant für ein Gebiet von 7600 km² entsprechend der halben Grösse des schweizerischen Mittellandes. Die Länge des Kanalsystems ohne Einschluss der vielen kleinen Zweigkanäle beträgt rd. 10 000 km.

2.2 Bewässerung mit Pumpen

Diese Bewässerungsart hat in den letzten 10 Jahren einen enormen Aufschwung genommen. Entlang dem Nil und den grossen Nebenflüssen sind rd. 2600 Pumpenanlagen entstanden, mit denen eine Fläche von rd. 6700 km² bewässert wird.

2.3 Flutbewässerung

Diese Bewässerung als ursprüngliche Art der Urbarmachung von Land wird vor allem im Gash-Delta durchgeführt, wobei rd. 3000 km² davon Nutzen ziehen.

3. Energiequellen

Die Entwicklungshilfe ist nach dem Zweiten Weltkrieg und insbesondere in den letzten zehn Jahren zu einem Politikum ersten Ranges geworden. Alle Grossmächte, aber auch die Neutralen und die kleineren Staaten sind an diesem Problem stark interessiert. So wurde an der Weltkraftkonferenz im Haag 1947 (s. SBZ 1948, S. 296) ausgeführt, es sei notwendig, allgemein die Produktion zu steigern und in allen Ländern jene neuen Industrien zu errichten, die ihrer Eigenart am besten entsprechen. Damit könne der Wohlstand und das Glück des Einzelnen gefördert werden. Massgebend aber sei der Ausbau der Wasserkräfte oder ganz allgemein gesprochen, die vernünftige Ausnützung der brachliegenden Naturkräfte.

Bis heute besteht im Sudan noch kein bedeutendes hydro-elektrisches Kraftwerk. In der Hauptstadt Khartum bauten die Engländer ein thermisches Kraftwerk, das nach Vollendung der ersten Etappe des Sennar-Burri-Projektes im Jahre 1961 folgende Leistung aufweist: 12 Diesel-Einheiten von zusammen 11 540 kW, 2 Dampfturbinen von je 5000 kW und 2 Dampfturbinen von je 10 000 kW, total also 41 540 kW. Die Diesel-Einheiten dienen heute nur noch als Notstromgruppe und werden, da ihr Betrieb unwirtschaftlich geworden ist, nicht mehr in die energiewirtschaftliche Betrachtung mit einbezogen. Daneben besteht in der Gezira eine grosse Anzahl von Dieseleinheiten, die die Baumwollentkernungsfabriken mit elektrischer Energie versorgen.

Im Jahre 1956, nachdem der Sudan die Unabhängigkeit erlangt hatte, sind die Siemens-Schuckertwerke AG., Erlangen, von der Regierung beauftragt worden, einen generellen Bericht über den möglichen Ausbau der Wasserkräfte für die Energieerzeugung auszuarbeiten. Sie sind dabei zum folgenden Ergebnis gekommen:

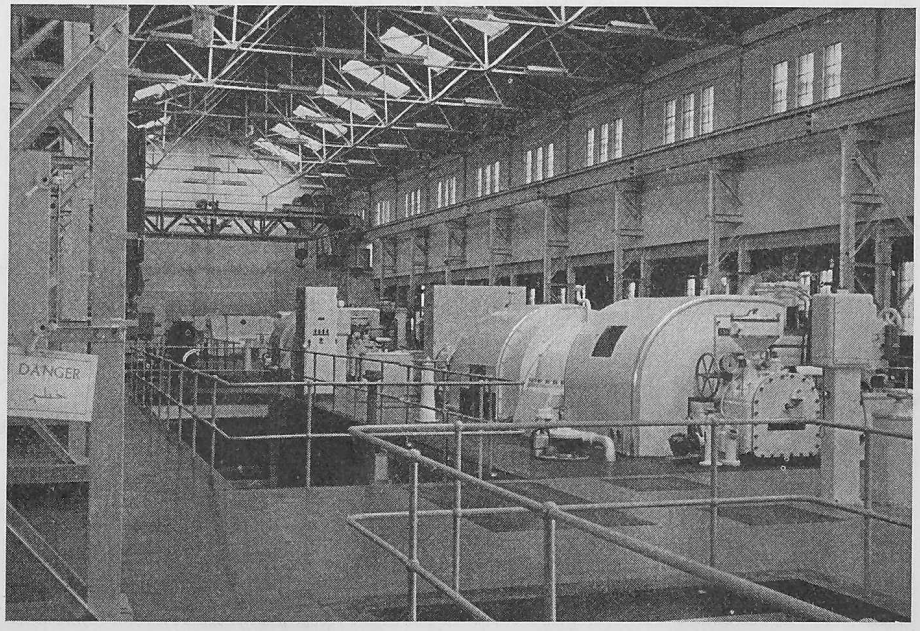


Bild 6. Kraftwerk Burri, neue 10-kV-Einheit

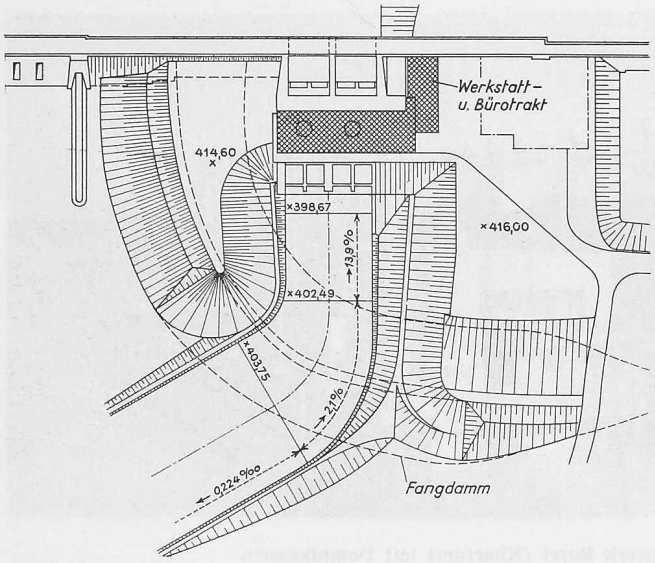


Bild 7. Wasserkraftanlage Sennar, Lageplan 1:2500

	Mio kWh (GWh	1000 kW (MW
Weisser Nil		
Zwischen Juba und Nimule	5 500	800
Blauer Nil		
Roseires	700	200
Sennar	114	15
Nil (unterhalb Khartum)		
Sabaloka	720	120
Sherlik	560	150
Merowe	1 400	300
Dal	1 600	370
Total	10 594	1955

Demzufolge können die Wasserkräfte derart ausgebaut werden, dass es möglich ist, bei einer installierten Leistung von rd. 2 Mio kW eine Energieproduktion von 10 Milliarden kWh zu erzeugen.

Dieses Energieangebot entspricht aber noch nicht den heutigen Bedürfnissen. Es war deshalb naheliegend, dass die Siemens-Schuckertwerke ein Dringlichkeitsprogramm aufstellten, das auf dem mutmasslichen Energiekonsum der nächsten zehn Jahre fusste. Dabei hatte es sich gezeigt, dass das Kraftwerk Sennar, welches am Fuss der bestehenden Mauer erstellt werden soll, als erste Etappe für die Ausnützung der Wasserkräfte im Sudan in Frage kommt.

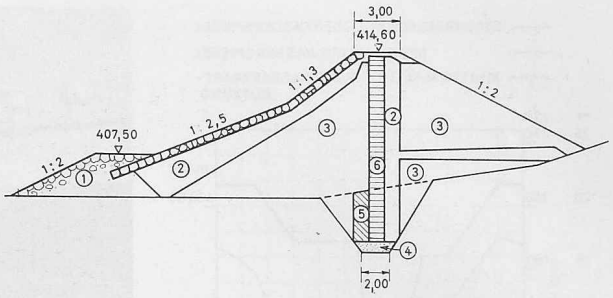


Bild 9. Unterwasserseitiger Fangdamm, Schnitt 1:500. — 1 Steinpackung, 2 Kankar, 3 Erdfüllung, 4 Betonfundament, 5 ausgesuchtes Material, 6 Kern aus Ziegelmauerwerk

Bereits im Jahre 1957 legten die Siemens-Schuckertwerke das erste Bauprojekt vor, das im Auftrag der Regierung von den beratenden Ingenieuren, den Firmen Gebrüder Gruner, Basel, und der Société Générale pour l'Industrie, Genf, begutachtet werden musste. Auf Grund des Schlussberichtes der Berater und nach verschiedenen Aenderungen und Ergänzungen wurde beschlossen, an den Bau des Kraftwerkes Sennar und einer Uebertragungsleitung von Sennar nach Khartum heranzutreten.

4. Das Sennar-Burri-Projekt

Am 12. Februar 1959 hat die sudanesische Regierung mit der English Electric Company Ltd., London, den Siemens-Schuckertwerken AG., Erlangen, und den Bauunternehmungen Siemens Bauunion GmbH, München, Julius Berger AG., Wiesbaden, Philipp Holzmann AG., Frankfurt, einen Vorvertrag über die Ausführung des Sennar-Burri-Projektes abgeschlossen, und im Juni 1959 wurde schliesslich der Hauptvertrag der beiden Parteien unterzeichnet. Den Siemens-Schuckertwerken wurde zugleich die Gesamtplanung aller Anlagen übertragen, während die Siemens-Bauunion GmbH die Detailprojektierung für die Bauarbeiten besorgt. Als beratende Ingenieure wurden Gebrüder Gruner und Société Générale pour l'Industrie verpflichtet.

Das Sennar-Burri-Projekt umfasst die folgenden Arbeiten: 1. Erstellen eines hydro-elektrischen Kraftwerkes am Fuss der Sennar-Mauer am Blauen Nil mit einer installierten Leistung von 15 000 kW. 2. Erweitern des bestehenden thermischen Kraftwerkes Burri bei Khartum um eine weitere Einheit von 10 000 kW. 3. Erstellen einer Hochspannungsleitung zwischen Sennar, Meringan, Hassa Heissa und Khartum in einer Länge von rd. 280 km. 4. Transformatoren- und Schaltanlagen in Sennar, Meringan, Hassa Heissa und Khartum.

Mit den Bauarbeiten wurde im Oktober 1959 begonnen. Am 22. April 1961 konnte die erweiterte thermische Zentrale Burri (Bilder 5 und 6) eingeweiht und die Hochspannungsleitung zwischen Khartum und der Gezira in Betrieb genommen werden. Damit steht für die Baumwollentkernungsfabriken preisgünstiger Strom aus einem allgemeinen Verteilungsnetz zur Verfügung, und den grösseren Ortschaften in der Gezira kann Energie in genügender Menge geliefert werden, während vorher jeder Verbraucher auf sich selbst angewiesen war.

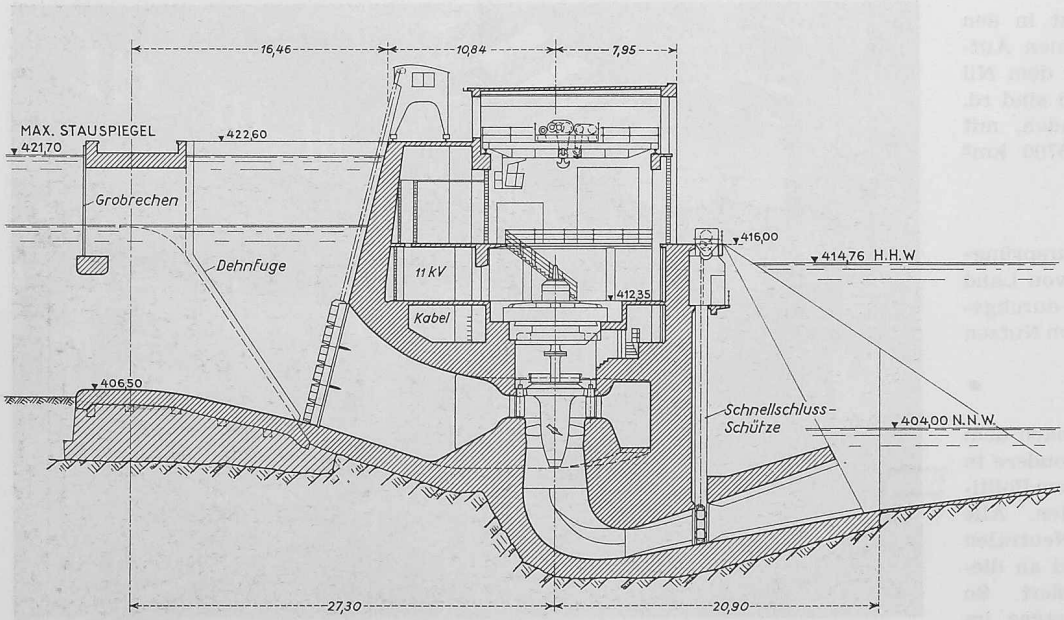


Bild 8. Krafthaus Sennar mit Kaplanturbine von 10 600 PS, Schnitt 1:500

5. Das Kraftwerk Sennar

5.1 Gesamtanordnung (Bild 7)

Das Maschinenhaus liegt direkt am Fusse der Stau-

Bild 10. Unterwasserseitiger Fangdamm während der Niederwasserperiode im April 1961

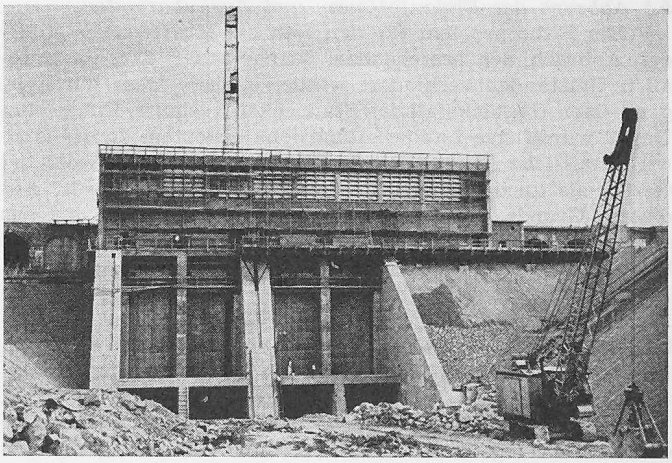


Bild 12. Das Krafthaus Sennar im April 1962

mauer Sennar auf dem westlichen Ufer, rd. 80 m landeinwärts. Auf einer Breite von rd. 30 m wird die bestehende Mauer abgebrochen. Die dadurch geschaffene Einlauföffnung wird zur Erhaltung der Verkehrswege mit einer Brücke überspannt.

Das Maschinenhaus wurde in zwei Blöcke, entsprechend den beiden Maschinensätzen unterteilt, wobei auf der Oberwasserseite die erforderlichen Nebenräume untergebracht sind. Senkrecht zum Maschinenhaus sind der Werkstatt- und Bürotrakt angeordnet und parallel zur westlichen Einlaufwand liegt das Dammtafellager für den oberwasserseitigen Abschluss. Von der Mauerkrone aus führt die Zufahrtsstrasse bis zum Vorplatz. Die Freiluft-Schaltanlage ist unmittelbar neben der Zufahrt angeordnet. Der Unterwasserkanal wurde so angeordnet, dass er möglichst dem tiefsten Gerinne folgt. Er steigt vom Saugschlauchende bis auf Kote 403,75 und schliesst im flachen Gefälle an das Nilbett an.

5.2 Oberwasserkanal und Einlauf zum Maschinenhaus

Der Oberwasserkanal, der einen Teil des Einlaufkanales zu den Bewässerungskanälen bildet, muss, damit die Ausbauwassermenge ohne wesentliche Energieverluste dem Maschinenhaus zugeführt werden kann, auf seiner ganzen Länge vertieft werden. Vor dem Einlauf in das Vorbecken ist ein Grobrechen vorgeschaltet, der verhindern soll, dass grobes Geschwemmsel eindringen kann.

Ein spezielles Problem stellte sich beim Bau der Brücke über den Einlauf. Da der Verkehr über den Damm nicht unterbrochen werden durfte, war man gezwungen, die Brücke in zwei Etappen zu betonieren. Für den einwandfreien Verbund und zur Verhinderung einer klaffenden Fuge wurde eine zentrische Quervorspannung angeordnet, wobei 250 Kabel eingebaut und mit einer Kraft von 10 t je Kabel gespannt wurden. Auf der westlichen Seite der Einlaufwände ist die Rohwasserfassung für die Stadt Sennar angeordnet. Im Mittelpfeiler befinden sich die Kühlaggregate.

5.3 Das Krafthaus (Bild 8)

Der Krafthausunterbau besteht aus Eisenbeton und ist durch eine Dehnfuge in zwei Blöcke unterteilt. Der Montageplatz befindet sich auf der Höhe der Einfahrt, die vom Turbinenblock I ebenfalls durch eine Dehnfuge abgetrennt ist. Beide Fugen sind durchgehend bis zur Dachkonstruktion ausgebildet. Die Kranbahn erhält in den entsprechenden Feldern Einhängeträger. Bis auf Kote 416,00 sind alle Wände aus Beton. Allenfalls auftretende geringe Schwitz- bzw. Sickerwassermengen werden in Isolierschlitzen gesammelt und dem Pumpensumpf zugeführt. Der Hochbau über Kote 416,00 besteht aus einem Eisenbetonskelett, das grösstenteils mit Backsteinmauerwerk ausgefacht ist. Die Giebelwände sind betoniert. Der Generatorenboden liegt auf der Höhe 412,35, wo die Generatorabdeckungen in den Fussboden eingelassen sind. An der oberwasserseitigen Wand werden die Relais- und Steuertafeln angebracht, die auch die Schaltanlagen für die Turbinen enthalten.

Die Zufahrt zum Kraftwerk liegt 2 m über dem Hochwasserspiegel auf Höhe 416,00. Unmittelbar neben dem Montageplatz befindet sich die Werkstatt. Von der an der Oberwasserseite der Maschinenhalle durchlaufenden Galerie sind zugänglich: 11 kV-Schaltanlage und Niederspannungs-Schaltanlage, Büroräume und Waschraum mit WC.

5.4 Baugrubenabschluss

Als Abschluss der unterwasserseitigen Baugrube diente ein gekrümmter Damm (Bilder 7, 9 u. 10) von rd. 200 m Gesamtlänge. Die Krone wurde dem maximal zu erwartenden Hochwasser angepasst und auf Kote 414,60 festgelegt. Zur Bestimmung der erforderlichen Werte für die Berechnung des Dammes hat das Institut für Grundbau und Bodenmechanik der TH München Versuche mit Materialproben durchgeführt. Damit die Sicherheit des Bauwerkes gewährleistet war, musste zusätzlich ein aus Felswurf bestehender wasserseitiger Dammfuss geschüttet werden.

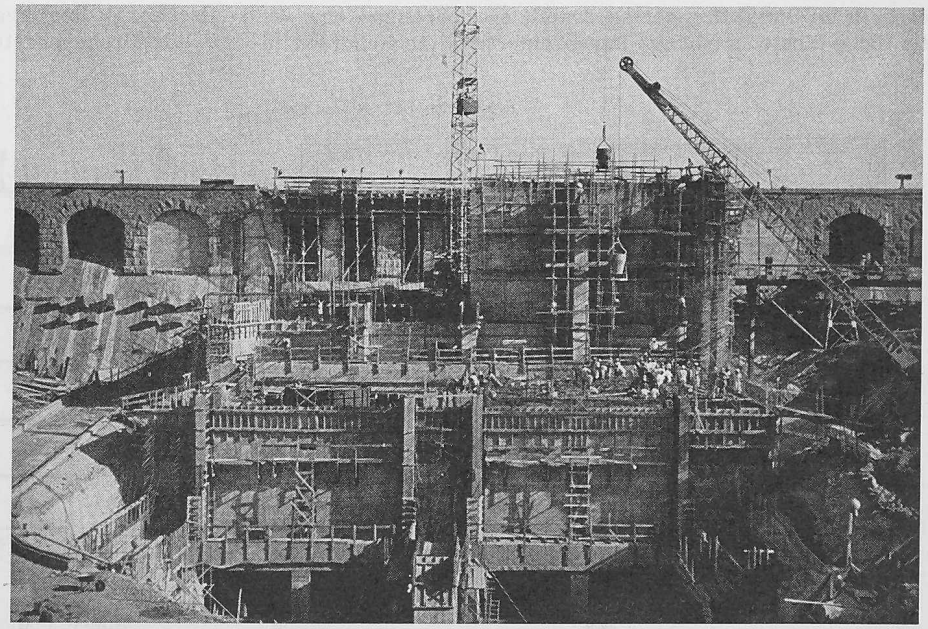


Bild 11. Krafthaus Sennar, Ansicht von Unterwasserseite im April 1961

5.5 Abbruch der Einlauföffnung und Aushubarbeiten

Ein Hauptproblem für den Bau des Kraftwerkes stellte der Abbruch der bestehenden Sennarmauer dar, da unter allen Umständen verhindert werden musste, dass durch irgend einen Unglücksfall das Staubecken auslaufe. Ein solcher Unfall würde eine Landeskatastrophe bedeuten, da die landwirtschaftliche Produktion eines ganzen Jahres sowohl der Gezira als auch des Managilgebietes ausfallen würde. Aus diesem Grunde musste zuerst das Maschinenhaus mit den seitlichen Anschlussmauern soweit erstellt werden, dass es bei eingesetzten Dammbalken die Talsperre ersetzen konnte. Aus Kostengründen wurde anderseits der oberwasserseitige Fangdamm nur bis Kote 417,50 hochgeführt, so dass der Abbruch des Dammes und die Betonierung des Einlaufes in der Niederwasserperiode, d. h. zwischen Mai und August erfolgen muss.

Eine weitere Schwierigkeit in bezug auf die Einhaltung der Termine lag in den Aushubarbeiten für das Maschinenhaus. Der beratende Ingenieur, der seinerzeit die Sennarmauer projektiert hatte, verbot aus verständlichen Gründen jedes Sprengen innerhalb eines Abstandes von 50 m von der Maueraxe entfernt. Damit war die Unternehmung gezwungen, rd. 8000 m³ Aushub von zum Teil dicht gelagertem Gabbro von Hand auszuführen. Der Fels musste, wie es in Steinbrüchen üblich ist, mit Meissel und Pressluftbohrern gelöst werden. Für diese Arbeit benötigte die Unternehmung rd. 9 statt den ursprünglich geschätzten 6 Monaten. Da die Felsquantität zum voraus nicht genügend genau abgeschätzt werden konnte, bewilligte die Bauherrschaft eine Bauzeitverlängerung von drei Monaten, so dass die Anlage am 30. November 1962 betriebsbbereit sein soll.

5.6 Elektro-mechanische Ausrüstung

Die beiden vertikalachsigen Kaplanturbinen wurden von der English Electric Company Ltd. London geliefert und haben folgende Daten: Nettogefälle 10,0 m, max. 17,0 m, min. 5,8 m; Leistung 10 600 PS; hydraulischer Schub 220 t.

Die Generatoren wurden von den Siemens-Schuckertwerken Erlangen hergestellt und weisen auf: Nennleistung 9400 kVA, Nennspannung 11 KV ± 5 %, Nenndrehzahl 136 U/min, Durchgangsdrehzahl 425 U/min, Schwungmoment 1250 t m², Gesamtgewicht 150 t, Bauform W 8.

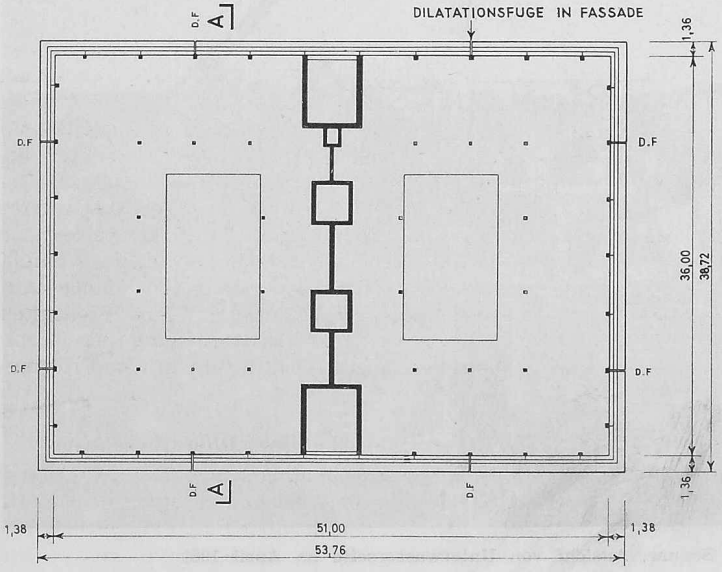
Eine etwas aussergewöhnliche Lösung wurde für die Anordnung der *Schnellschlussschützen* gewählt. Im ursprünglichen Projekt war vorgesehen, dieselben in der Einlaufspirale anzuordnen, was zur Folge hatte, dass der Raum zwischen der Maschinenhalle und der Tauchwand für betriebsnotwendige Räume nicht hätte voll ausgenützt werden können. Aus Gründen der Betriebssicherheit, vor allem beeinflusst durch den anfallenden Silt, wollte man aber auf eine Schnellschlusschütze nicht verzichten und ordnete sie deshalb im Saugkrümmer an. Damit erreichte man eine wesentliche Kostenersparnis, indem einerseits die Schützen infolge der geringeren Abmessungen billiger wurden und anderseits die Anbauten durch den Raumgewinn auf der Oberwasserseite verkleinert werden konnten.

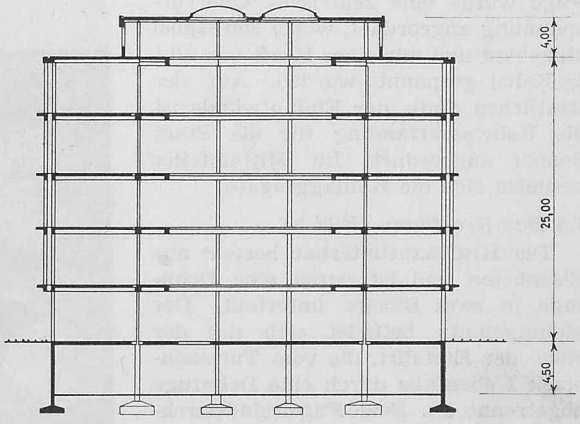
Damit die bei den verschiedenen Fallhöhen, Durchflussmengen und Schliesszeiten auftretenden Drücke an der Saugschlauchdecke oberhalb und unterhalb der Schützen und an der Schütze selbst verlässlich bestimmt werden konnten, wurden im Institut für Hydromechanik, Stauanlagen und Wasserversorgung der Technischen Hochschule Karlsruhe unter der Leitung von Prof. Dr. E. h. P. Böss eingehende Modellversuche durchgeführt. Dabei wurden die Strömungsverhältnisse sowohl bei vollständig geöffneten als auch bei bis auf 4 cm Spaltweite geschlossenen Schützen bestimmt. Es zeigte sich, dass bei grossen Nutzwassermengen eine Erhöhung der Belastung der Schützen durch den Druckanstieg oberhalb und den Druckabfall unterhalb von etwa 3,70 m WS bei 15 s Schliesszeit entsteht. Ferner wurde festgestellt, dass Sandablagerungen in den Schützennischen beim Betrieb nicht zu erwarten sind. Man hat aber aus Sicherheitsgründen auf eine Spüleinrichtung nicht verzichtet. Ausserdem wurde auch die Schwallhöhe im Oberwasser untersucht. Da die Nachbildung des relativ grossen Einlaufbeckens nicht möglich war, ist der Fall des plötzlichen Abschlusses beim max. Stauspiegel von 421,70 und einer Nutzwassermenge von 170 m³/s rechnerisch überprüft worden. Es zeigte sich, dass bei diesen Verhältnissen ein Schwall von 1 m Höhe entsteht.

Vor dem Einlauf zum Maschinenhaus ist ein Feinrechen mit einer lichten Stabweite von 100 mm angeordnet. Die Einlauföffnung wird durch vier Sätze Portaldammbalken, die aus je sechs Elementen bestehen, abgeschlossen. Eine automatische Rechenreinigungsmaschine, versehen mit einem Dammtafelhubwerk, sorgt für das Sauberhalten des Rechens.

6. Schlussbemerkungen

Wenn am Nationalfeiertag des jungen sudanesischen Staates am 17. November dieses Jahres die Wasserkraftanlage Sennar am Blauen Nil feierlich eingeweiht wird, so können die einheimischen Ingenieure, die an diesem Bauvorhaben massgebend beteiligt waren, sei es in der Verwaltung oder als örtliche Bauleiter, mit Stolz und Freude auf ein gut gelungenes Werk zurückblicken. Dank dem grossen Verständnis der Bauherrschaft für zweckmässige technische Lösungen und einem ausgeprägten Gerechtigkeitsgefühl für alle Fragen, die im Zusammenhang mit einer möglichen Interpretation der Verträge aufgeworfen wurden, gelang es, die Arbeiten im besten gegenseitigen Einvernehmen abzuwickeln. Diese Leistung ist um so beachtenswerter, als die Vielfalt der beteiligten Firmen und Ingenieure aus verschiedensten Ländern, aber auch die zum Teil schwierigen klimatischen Bedingungen, vor allem in der Sommerzeit, oft heikle Probleme stellten.





Bilder 1 u. 2. Fabrikbau, Grundriss und Schnitt A—A, Masstab 1:700

Dabei konnten allerdings die Engländer und die Deutschen, deren Staaten dem Sudan verschiedene grosse Kredite gewährten, auf eine tatkräftige behördliche Unterstützung zählen, während die Schweiz bis vor kurzem mit dem Sudan keine diplomatischen Beziehungen unterhalten hatte. Mit der Ernennung eines schweizerischen Geschäftsträgers im Oktober letzten Jahres ist zu hoffen, dass sich aus diesen zwischenstaatlichen Beziehungen Hilfeleistungen an ein Land ergeben, das unser Vertrauen restlos verdienen würde. Es sind nicht nur das Geld und die Erzeugnisse der Industrie, welche die aufstrebenden Länder Afrikas interessieren; sie erwarten vielmehr einen von Wohlwollen getragenen menschlichen Kontakt ohne «imperialistische» Nebenabsichten und den Austausch von Erfahrungen in Form von Beratungen auf allen Gebieten der Technik. In diesem Sinne noch mehr zu tun, wäre eine Aufgabe der Schweiz, wobei allerdings für grössere Projekte eine finanzielle Unterstützung durch Gewährung langjähriger Kredite von Seiten des Staates oder der Banken aus Gründen der Konkurrenz wünschenswert wäre.

Berücksichtigung der Temperatureinflüsse bei der Projektierung der Tragkonstruktionen von Hochbauten

DK 624.92:624.042.5

Von **Werner Jauslin**, dipl. Ing. ETH, Gebrüder Gruner, Ingenieurbureau, Basel und Gruner & Jauslin, Ingenieure S. I. A., Muttenz

1. Einleitung

Für den Bauingenieur unterscheiden sich die Hochbauten (Wohn- und Verwaltungsgebäude, Industriebauten usw.) vor allem dadurch von den eigentlichen Ingenieurbauten, dass die Tragkonstruktion — und damit der engere Aufgabenkreis des Ingenieurs — gegenüber den andern Anforderungen an das Bauwerk zurückzutreten hat. Die Tragkonstruktion bestimmt nicht wie bei Brücken, Staudämmen, Leitungen usw. die Form oder die Konzeption des Bauwerkes. Vielmehr hat sie im Rahmen der andern Bedürfnisse: Innenräume, Verbindungs- und Transporteinrichtungen, Installationsanlagen für Heizung, Lüftung, Energie, Betriebsanforderungen usw. ihre Funktion zu erfüllen. Deshalb kann die Zweckmässigkeit oder Wirtschaftlichkeit der Tragkonstruktion eines Hochbaues nicht für sich allein beurteilt werden.

Die Beurteilung aller Einzelfragen ist nur noch bei ganz alltäglichen Bauten durch einen einzigen Fachmann möglich. Immer mehr ergibt sich, dass die Projektierung von Hochbauten in einer engen Zusammenarbeit der verschiedenen beteiligten Fachleute erfolgen muss. Ueblicherweise fällt dem Architekten die Aufgabe zu, diese Gruppe von Fachleuten zu leiten, als «Regisseur» zu wirken, zu koordinieren, Entscheide zu fällen und den Kontakt mit dem Bauherrn zu wahren. Verschiedentlich übernehmen aber auch andere Instanzen diese Aufgabe (zum Beispiel Betriebswissenschafter, Planungsbüro usw.). Dem Bauingenieur fällt in diesem Teamwork die Aufgabe zu, in Abwägung der Bedürfnisse und Möglichkeiten die Tragkonstruktion statisch und konstruktiv einwandfrei zu konzipieren. Sein Aufgabenkreis vergrössert sich ständig, da die Zahl der verwendbaren Baumaterialien, der Bauweisen und der möglichen Bauformen wächst, da die ästhetischen Anforderungen an die Bauten steigen und da er sich oft zwangsläufig mit Nebenteilen wie Fassaden, Isolationen, Belägen usw. befassen muss, weil diese indirekt die Tragkonstruktion beeinflussen.

Früher war es wohl möglich, einen Bau zu erstellen und ihn nachträglich mit den notwendigen Installationen zu versehen. Heute kommt den Installationen (Heizung, Lüftung, Sanitär, Beleuchtung, Energie) die Priorität zu, einerseits, weil ihre Zahl und Bedeutung zugenommen hat, und anderseits, weil sie nirgens sichtbar sein sollten. Die Tragkonstruktion sollte sich mit dem zwischen Nutzräumen und Installationen verbleibenden Raum begnügen.

Aus dieser Sicht ergibt sich, dass der Bauingenieur sich mit allen auftretenden Fragen eines Hochbaues befassen und die gesamten Probleme kennen muss, um die geeignete Tragkonstruktion projektieren zu können.

Es zeigt sich aber auch, dass die Gestaltung der Konstruktion vielfältiger wird. Dadurch, dass die Tragkonstruktion nicht mehr losgelöst vom fertigen Bau beurteilt werden kann, kommt man oft zu neuen Lösungen, neuen Formen und Systemen. Dies wiederum bedingt, dass in jedem Fall mit der eigentlichen statischen Dimensionierung auch die Nebeneinflüsse beurteilt werden müssen: Die materialtechnischen Eigenschaften der Baustoffe, die Bauvorgänge, das Verhalten unter den betrieblichen Anforderungen, die Auswirkungen von Alterung und äusseren Einflüssen.

Im folgenden soll an Hand von einigen Beispielen und Ueberlegungen auf die Berücksichtigung der Einflüsse von natürlichen Temperaturschwankungen eingegangen werden.

2. Problemstellung

Bekanntlich führen die Temperaturänderungen in den Baumaterialien zu Längenänderungen. Für Beton und Stahl beträgt die Dehnung 0,00001 pro 1° C, das heisst 1 mm auf eine Länge von 10 m bei 10° C Temperaturdifferenz. Ist die freie Auswirkung dieser Längenänderungen behindert, so entstehen «innere Spannungen», welche zu grossen Gesamtkräften anwachsen können.

Die Aussentemperatur erreicht zum Beispiel in Basel die Extremalwerte + 39° C im Sommer und — 24° C im Winter. Während einerseits unter Sonnenbestrahlung höhere Temperaturen im Material auftreten können, bewirken grosse Massen und schlechte Leitfähigkeit der Baumaterialien eine Verflachung der Temperaturspitzen. Je nachdem sind die Mittelwerte aus einigen Stunden, Tagen oder Wochen für die Temperaturaufnahme massgebend. Die extremen Monatsmittel, als Durchschnitt über 30 Jahre, betragen zum Beispiel in Basel nur + 18,7° C im Sommer und + 0,1° C im Winter.

Die Auswirkungen von Temperaturschwankungen sind bei Bauwerken immer zu berücksichtigen, sei es als Differenz zwischen isolierender Aussenhaut und Tragkonstruktion, sei es in der Auswirkung der Dehnungen von tragenden Bauelementen. Auch bei gut isolierten und klimatisierten Bauten treten Schwankungen auf, zumindest im Bauzustand und in Ausnahmezuständen. Oft ist der Einfluss nur indirekt, zum Beispiel hervorgerufen durch die Aenderung des Feuchtigkeitsgehaltes von Luft und Material infolge der sich ändernden Aussentemperatur.

Da die Tragkonstruktion den andern Bedürfnissen untergeordnet ist, wird es nur in den seltensten Fällen gelingen, die temperaturbedingten Dehnungen, das «Temperaturspiel», sich frei auswirken zu lassen. Wände, Treppenhäuser, Liftschächte oder ähnliche betrieblich bedingte Bauteile können die Bewegungen nicht mitmachen. Sie zerreissen oder setzen so grosse Widerstände entgegen, dass andere Bauteile überansprucht werden. Obgleich wegen der Temperatureinflüsse eine gewisse Beweglichkeit aller Bauteile wünschbar ist, muss gleichwohl die Steifigkeit und Standfestigkeit des Gebäudes gewährleistet sein. Wenn auch nach den S. I. A.-Normen nur mit Windlasten als horizontalen Kräften zu rechnen ist, so ist doch auch zu berücksichtigen, dass andere Wirkungen, zum Beispiel kleinere Erdstösse, auftreten können. Aus den sich widersprechenden Anforderungen: gute Steifigkeit einerseits und Beweglichkeit zur Ermöglichung des «Temperaturspiels» andererseits, erwächst die eigentliche Problemstellung.

3. Auswirkungen in der Horizontalen; Dilatationsfugen

Dass bei Bauten mit Ausdehnungen von über 20 bis 30 m Dilatationsfugen notwendig sind, ist eine allgemein bekannte Tatsache. Praktisch ist es jedoch nicht möglich, generell anzugeben, bis zu welcher Bauabmessung keine Dilatations-