Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 66 (1948)
Heft: 45

Artikel: Ueber die Wasserkraftanlagen der Tennessee Valley Authority
Autor: Gisiger, Paul
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-56822

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: 15.12.2025

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

66. Jahrgang Nachdruck von Bild oder Text nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet Nr. 45

Ueber die Wasserkraftanlagen der Tennessee Valley Authority

Von Dipl. Ing. PAUL GISIGER, Motor-Columbus A.-G., Baden

DK 621.311 (73)

(Fortsetzung des in Nr. 12 des lfd. Jgs. (S. 159*) erschienenen Berichtes: «Die Tennessee Valley Authority»)

Die 16 durch die TVA gebauten Wasserkraftanlagen im Tennessee-Gebiet lassen sich in einige Typen gruppieren, deren Besonderheiten und Unterschiede sowohl auf den verschiedenen topographischen und hydrographischen Bedingungen am Ober- und Unterlauf des Flusses, als auch auf Verschiedenheiten der Anforderungen in jedem einzelnen Fall beruhen.

Die schnelle Aufeinanderfolge einer beträchtlichen Anzahl von Kraftwerkbauten und die Tatsache, dass deren Projektierung und Ausführung kontinuierlich in den Händen des selben Ingenieurstabes lag, führte naturgemäss zu einer gewissen Typisierung. Diese bedeutet jedoch keineswegs Erstarrung; vielmehr lässt sich eine fortschreitende Entwicklung und Verbesserung feststellen, die im Laufe der Zeit zu mustergültigen Konstruktionen geführt hat, an denen besonders die Einfachheit und klare Sachlichkeit auffällt.

1. Niederdruckwerke

Eine der gesetzlich vorgeschriebenen Hauptaufgaben der TVA ist, den Tennessee-Fluss von Knoxville bis zur Mündung für Fahrzeuge von 2,70 m Tiefgang ganzjährlich schiffbar zu machen. Alle Anlagen unterhalb von Knoxville sind daher mit Grosschiffahrtschleusen versehen und gehören zum Typ der Niederdruckanlagen mit langem Stauwehr[1]). Die Stauwehre sind für Durchflüsse von 11 000 m³/s für das oberste Wehr am Tennessee (Fort Loudoun) bis 37 000 m³/s für das unterste (Kentucky) dimensioniert. Die Gefälle dieser Anlagen bewegen sich zwischen 11 m und 20 m, mit Ausnahme des vor der Gründung der TVA gebauten Werkes Wilson, das infolge seiner Lage an einem Gefällsbruch mit Stromschnelle ein Gefälle von 29 m aufweist, und dessen Schleuse damit eine ausserordentliche Höhe erhielt. Trotz den verhältnismässig geringen Stauhöhen werden alle diese Anlagen zur Hochwasserspeicherung herbeigezogen; besonders die Anlage Kentucky hat wegen der grossen Oberfläche des Staubeckens von 1050 km² (Genfersee 582 km²) ein ausserordentlich grosses Stauvolumen und kann deshalb die Hochwasserführung des Ohio und Mississippi wesentlich beeinflussen (Bild 3, S. 161). Auch die meisten übrigen Niederdruckanlagen haben Staubecken, die grössere Oberflächen aufweisen als z. B. der Zürichsee.

Bei der Beurteilung dieser Speicherräume, die verglichen mit schweizerischen Kraftwerken ähnlicher Gefällshöhen ausserordentlich gross sind, muss in Betracht gezogen werden, dass einerseits das Gebiet für amerikanische Verhältnisse ziemlich dicht, gegenüber der Schweiz jedoch recht dünn besiedelt ist (Staat Tennessee 25 Einwohner pro km²) und dass anderseits die überstauten Flächen zu einem beträchtlichen Teil aus Land bestehen, das der Ueberflutung durch Hochwasser ausgesetzt war.

Die Gesamtanordnung aller dieser Niederdruckwerke ist im wesentlichen die selbe. Durchwegs ist das Gefälle am Stauwehr konzentriert, das Maschinenhaus direkt an das Stauwehr angeschlossen, auf dieses ausgerichtet und in den Fluss hineingestellt, ähnlich wie bei Ryburg-Schwörstadt oder Rekkingen; Kanalwerke fehlen vollständig. Der Lageplan des Kraftwerkes Watts Bar (Bild 10) ist für die Niederdruckwerke typisch.

[1]) Schleusenabmessungen S. 160 lfd. Jgs., Tabelle 1.

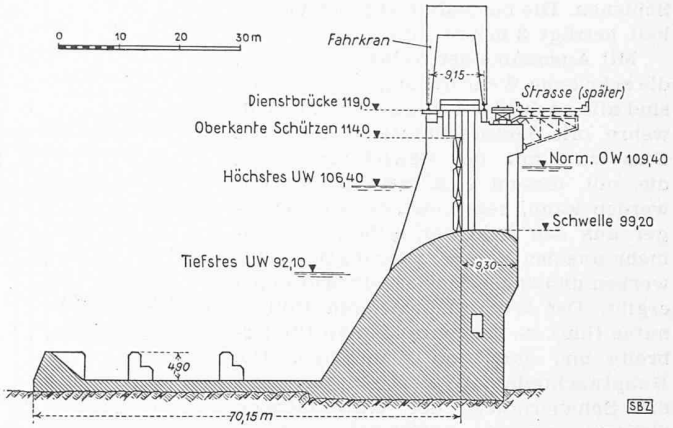


Bild 11. Stauwehrquerschnitt des Kraftwerkes Kentucky, 1:1200. Hohe Wehrschwelle, übereinanderliegende Vertikalschützen, Tosbecken mit Zahnschwellen

Bei den meisten Flusskraftwerken machten Stauhöhe und Topographie eine Verlängerung des Talabschlusses über tiefliegendes Land einseitig oder beidseitig des ursprünglichen Flussufers hinaus erforderlich. Diese Flankenabschlüsse werden als geschüttete und gewalzte Dämme ohne Betonkerne ausgeführt (Bild 7, S. 163 und Bild 10). Die Stauwehre haben immer eine Betonschwelle von beträchtlicher Höhe (Bilder 11 und 12) mit aufgesetzten Schützen, die bei den ältern Werken als Vertikalschützen mit festen Rollen, bei den neueren Werken dagegen meist als Sektorschützen ausgebildet worden sind. Tabelle 3 gibt eine Uebersicht über die Stauwehrabschlüsse.

Die Schützendimensionen sind, wie aus Tabelle 3 ersichtlich, weitgehend standardisiert worden. Offenbar liessen sich dadurch bedeutende Ersparnisse erzielen. Als Anhaltspunkt möge dienen, dass die direkten Kosten der fertig montierten Schützen von Chicamauga (1940) 11 Cents pro Pfund oder 1,03 Fr./kg betrugen; für Cherokee (1942) ist die entsprechende Zahl 1,09 Fr./kg.

Die vertikalen Doppel- und Dreifachschützen haben nicht die in der Schweiz bekannte Form, bei der die Schützenelemente aneinander vorbeigehoben oder -gesenkt werden können. Sie bilden vielmehr einfache, in der selben Vertikalebene laufende, horizontal unterteilte Tafeln, die nacheinander gehoben oder gesenkt werden. Ausser bei dem vorgängig der Gründung der TVA gebauten Wilson-Kraftwerk werden die Schützen mit Tragbalken durch Fahrkrane bedient. Spezielle Vorrichtungen ermöglichen das Ein- und Ausklinken der Hebevorrichtungen unter Wasser. Besondere Notverschlüsse fehlen, hingegen

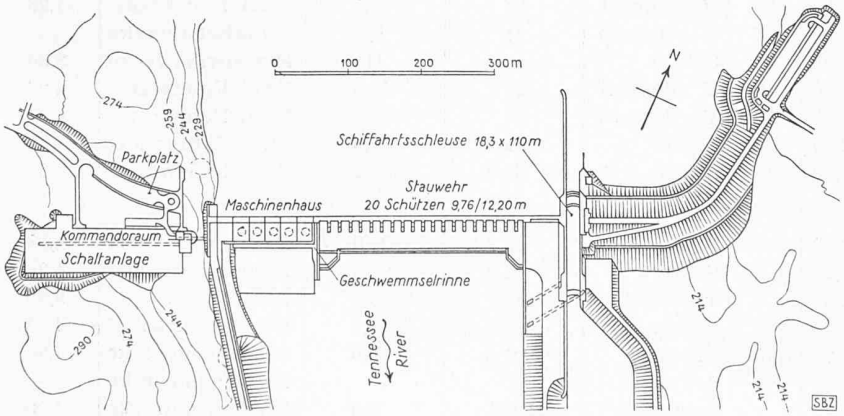


Bild 10. Kraftwerk Watts Bar, 1:10 000, Höhenlinien in m ü. M.

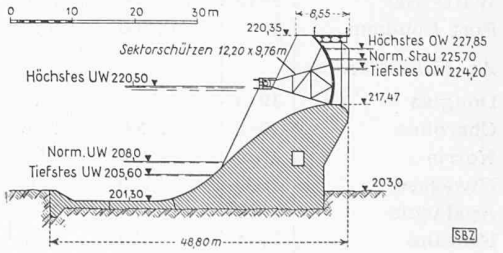


Bild 12. Stauwehrquerschnitt des Kraftwerkes Watts Bar, Masstab 1:1200. Hohe Wehrschwelle, Sektorschützen, tiefes Tosbecken

sind alle Nuten in identischer, doppelter Ausführung angeordnet, so dass, wenn erforderlich, eine ebenfalls identische Reserveschütze mit den gleichen Fahrkranen vor der normalen Schütze eingesetzt werden kann. Die Schützen laufen mit festen Rollen auf schweren Schienen. Die normale Hubgeschwindigkeit beträgt 3 m pro min.

Mit Ausnahme der Anlage Kentucky, die sehr hohe Wehröffnungen erforderte, sind alle nach 1940 fertiggestellten Stauwehre mit Sektorschützen ausgerüstet. Dies wird mit der Gewichtsersparnis, die mit diesem Schützentyp erreicht werden kann, begründet, die sich weniger aus den Schützen selber, als vielmehr aus den Nutenarmierungen, Windwerken und anderen Nebeneinrichtungen ergibt. Der Wegfall der tiefen Rollennuten führt zu Einsparungen an Pfeilerbreite und damit an Wehrlänge. Die Hauptnachteile der Sektorschützen sind die Schwierigkeit der einwandfreien Uebertragung der Achsdrücke auf die Pfeiler und das Problem der Notverschlüsse, deren Versetzeinrichtungen gegenüber dem verhältnismässig geringen Aufwand für die Schützenwindwerke ziemlich schwer ins Gewicht fallen. Die TVA hat diese Schwierigkeiten dadurch gelöst, dass die auf Zug beanspruchten Verankerungseisen der Drehzapfenlager Vorspannung erhalten und dass die Notverschlüsse als Schwimmkästen ausgebildet sind, die ohne Windwerke und Kranbahnen versetzt werden können.

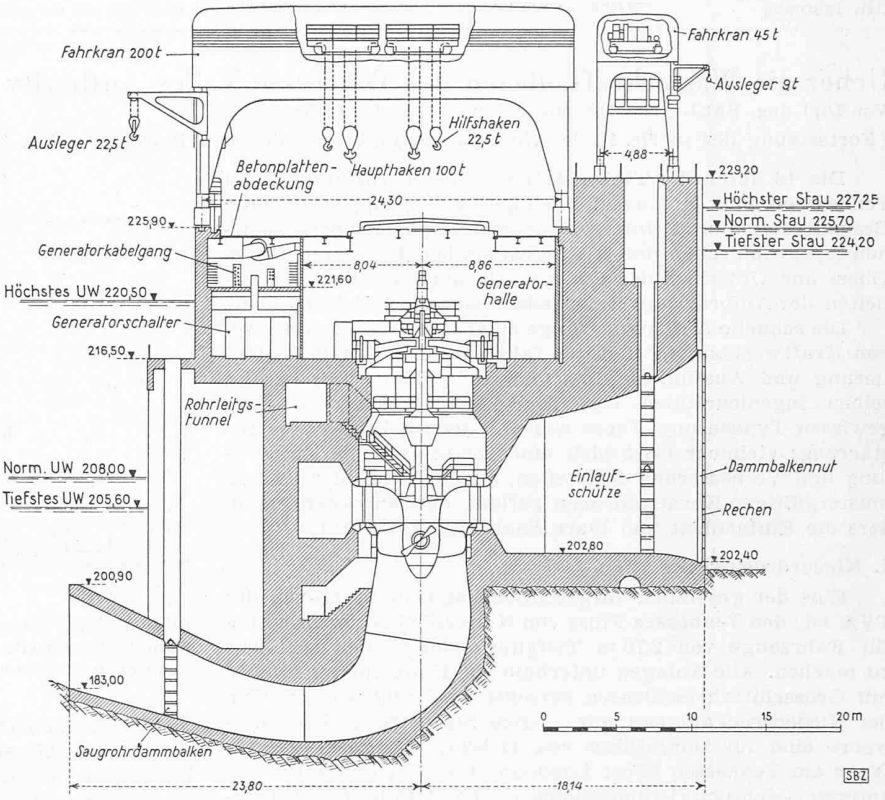


Bild 13. Querschnitt durch das Kraftwerk Watts Bar mit Maschinenhaus ohne Hochbau; Masstab 1 : 500

Alle Hauptflusskraftwerke sind auf sedimentäre Formationen fundiert, die in einigen Fällen, z. B. bei Pickwick-Landing und Wheeler, aus gutem Kalk oder Dolomit bestehen, andernorts aber auch verhältnismässig weiche Kalk- und Tonschiefer einschliessen und besonders bei Chicamauga bedeutende Aushub- und Konsolidierungsarbeiten notwendig machten. Dementsprechend musste bei einigen Stauwehren dem Kolkproblem beträchtliche Aufmerksamkeit geschenkt werden. Die zu dessen Abklärung nötigen Studien sind jeweilen im gut eingerichteten Wasserbaulaboratorium der TVA in Knoxville durch kompetente Fachleute durchgeführt worden. Auf Grund der Versuchsergebnisse sind an einzelnen Stauwehren Zahnschwellen (Bild 11) angeordnet worden, bei anderen hat man sich mit tiefen Tosbecken begnügt (Bild 12).

In den meisten Fällen wird die Kolkgefahr bei Hochwasser durch das starke Ansteigen des Unterwassers gemildert. Dieser Umstand verlangte spezielle Massnahmen beim Bau der Maschinenhäuser, da die Maschinensaalböden der Flusskraftwerke meist beträchtlich tiefer liegen als die höchsten Unterwasserspiegel. Als Beispiele seien hierfür die Maschinenhäuser Chicamauga und Watts Bar (Bild 13) erwähnt. Das letzgenannte stellt gleichzeitig einen Vertreter des schon früher eingeführten, aber von der TVA zu hoher Entwicklung gebrachten Typs des Maschinenhauses ohne Hochbau (von der TVA «Semi-Outdoor Type» genannt, vgl. Bild 6) dar.

Tabelle 3. Charakteristische Angaben über Stauwehrschützen der TVA

Anlage	Vollendet	Durchflussvolumen m³/s	Höhe h m	Lichte Weite w m	Anzahl	Typ	Gewicht pro Oeffnung: Bewegl. Teil G t	Gewicht pro Oeffnung: Nuten, Verankerungen t	Hebevorrichtungen	$\frac{G}{(h\,w)^2}$ [3] kg/m²
Am Hauptfluss										
Kentucky	1944	37 000	15,25	12,20	24	V [2] dreifach	[1]	[1]	Zwei Fahrkrane	—
Pickwick-Landing	1938	21 000	12.30	12,20	23	V doppelt	96	43,5	Zwei Fahrkrane	4,26
Wilson	1925	26 000	5,30	11,55	58	V einfach	[1]	[1]	Einzelwindwerke	—
Wheeler	1936	18 500	4,75	12,20	60	Sektor	18	[1]	Einzelwindwerke	5,36
Guntersville	1939	17 700	12,30	12,20	19	V doppelt	96	43,5	Zwei Fahrkrane	4,26
Chicamauga	1940	17 000	12,30	12,20	18	V doppelt	96	43,5	Zwei Fahrkrane	4,26
Watts Bar	1942	15 500	9,76	12,20	20	Sektor	62,2	22,0	Zwei Fahrwinden	4,38
Fort Loudoun	1943	12 600	9,76	12,20	14	Sektor	62,2	22,0	Zwei Fahrwinden	4,38
An Nebenflüssen										
Douglas	1943	[1]	9,76	12,20		Sektor	62,2	22,0	Zwei Fahrwinden	4,38
Cherokee	1942	7 300	9,76	12,20	9	Sektor	62,2	22,0	Zwei Fahrwinden	4,38
Norris	1936	1 540	4,27	30,50	3	Trommel	145	76	Schwimmer	8,52
Hiwassee	1940	3 700	7,03	9,76	7	Sektor	29,8	6,0	Ein Fahrkran	4,90
Apalachia	1943	4 400	7,03	9,76	10	Sektor	29,8	6,0	Einzelwindwerke	4,90
Fontana	1944	5 200	10,67	10,67	4	Sektor			Einzelwindwerke	—
Ocoee Nr. 3	1943	2 800	7,03	9,76	7	Sektor	29,8	6,0	Einzelwindwerke	4,90

[1]) Angabe fehlt; [2]) V = Vertikalschützen; [3]) Vgl. *E. Stambach:* «Ueber die Entwicklung der schweizerischen Niederdruck-Wasserkraftanlagen in den letzten 50 Jahren», SBZ 1944, Bd. 124, S. 321*, speziell Tabelle V, S. 337.

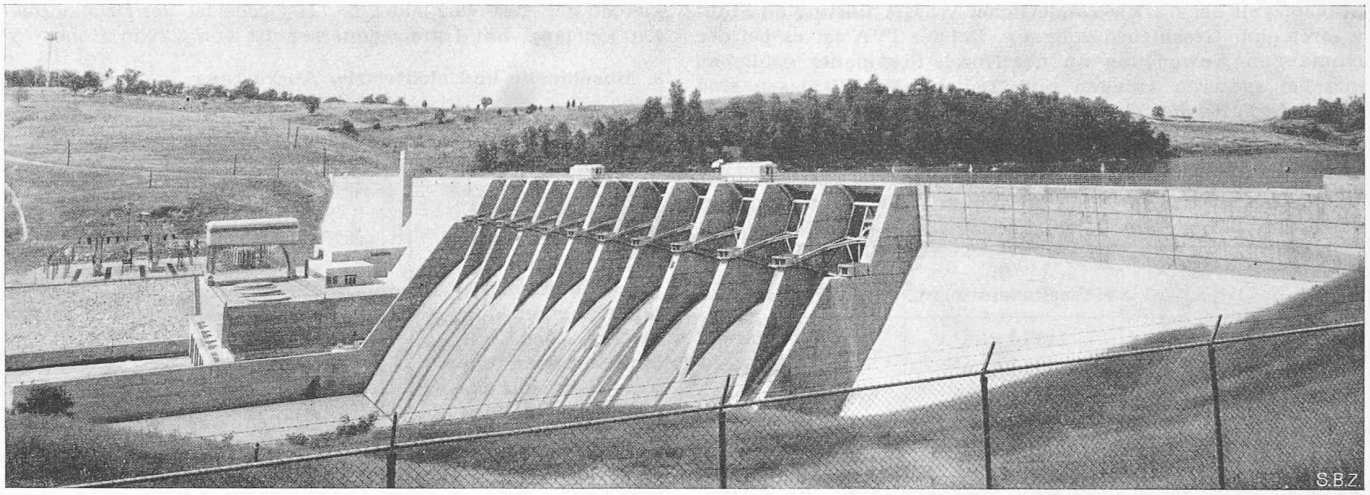


Bild 14. Kraftwerk Douglas. Sektorschützen, Maschinenhaus ohne Hochbau

Der Unterbau dieser Maschinenhäuser ist stark typisiert. Er zeigt die bei allen Niederdruckwerken befolgte Anordnung mit horizontalem Einlauf, mitteltiefer Turbinenlage und aufwärts gebogenem, ziemlich langem Saugkrümmer. Bei Chicamauga sind Einlaufschützen *und* Dammbalken vorhanden, während bei Watts Bar und andern spätern Anlagen (z. B. Fort Loudoun, Kentucky) nur *eine* Nut und nur *ein* Satz von Abschlussorganen für alle Einheiten erstellt wurden (je vier Einheiten für Vollausbau mit je drei Einlauföffnungen). Bei Chicamauga befindet sich der Saugrohrabschluss am Ende des Saugrohres, mit besonderem Versetzkran für die Dammbalken; bei Watts Bar ist er zurückgesetzt, so dass die Dammbalken an einem Ausleger des Maschinenhauskrans angehängt werden können.

Bei den Maschinenhäusern vom Typ Watts Bar verläuft der Kran ganz ausserhalb des Gebäudes. Der Generatorenraum weist in der Höhe, die sich aus den Erfordernissen für die Generatorenschalter und Kabel ergibt, ein leichtes Dach auf, das über jedem Generator mit einem abhebbaren Deckel versehen ist. Wenn der Kran z. B. einen Rotor abzutransportieren hat, so wird der Deckel entfernt, die zu demontierenden Generator- oder Turbinenteile durch die Oeffnung gehoben und auf den Montageplatz am landseitigen Ende des Maschinenhauses gebracht. Die Betriebserfahrungen mit dieser Anordnung sollen befriedigt haben. Sie ist nach einer ersten Ausführung im Kraftwerk Wheeler in sechs aufeinander folgenden Maschinenhäusern angewendet worden. Bei den neuesten Anlagen ist nur noch ein Kran vorhanden; Saugrohr- sowohl als Einlaufverschlüsse werden mit Auslegern des Hauptkrans bedient.

2. Mitteldruckwerke

Der zweite Typus von TVA-Anlagen wird durch Kraftwerke mittleren Gefälles mit grossem Speichervermögen gebildet, wie sie an den wichtigsten Nebenflüssen des Tennessee gebaut wurden. Sie dienen der Schiffahrt unterhalb Knoxville nur mittelbar durch Erhöhen des Niederwassers aus Speicherung, sind aber nicht mit Schleusen ausgestattet. Diese Gruppe umfasst die Anlagen Norris, Hiwassee, Cherokee und Douglas. Fontana, das die selben Aufgaben erfüllt, gehört wegen der Höhe seiner Staumauer in eine besondere Kategorie. Was diese Anlagen von den Flusskraftwerken unterscheidet, sind ihre höheren Gefälle und die sich daraus ergebenden Staumauern, ferner der Wegfall von Schiffahrtschleusen, die kleineren Wehrdurchflüsse, und der Gebrauch von Grundablässen, um bei Niederwasser eine höhere als die durch das Schluckvermögen der Turbinen gegebene Speicherentnahme zu ermöglichen.

Die typische allgemeine Anordnung einer solchen Anlage ist aus Bild 15 ersichtlich. Die Mauer ist hier direkt in die Talflanken eingebunden. In andern Fällen, z. B. bei Cherokee, wo das Gefälle etwas niedriger und die Hänge flacher sind, besteht der Talabschluss aus Betonmauern im eigentlichen Flussbett und wiederum aus Erddämmen an den Flanken.

Die Hochwasserentlastungsorgane bestehen bei den Anlagen dieses Typs aus Sektorschützen, wobei z. T. die selbe Ausführung wie bei Niederdruckwerken gewählt wurde. Eine Ausnahme bildet Norris, das erste derartige Werk, bei dem sich die TVA noch stark an Ausführungen des Bewässerungsamtes anlehnte und einen dort entwickelten Schützentyp verwendete. Dieser besteht aus einem Hohlkörper mit Kreissektorquerschnitt, der längs der den Kreismittelpunkt bildenden Kante drehbar am höchsten Punkt der Wehrschwelle befestigt ist (Bild 16). Unterwasserseitig von diesem Drehpunkt ist im Wehrkörper eine Aussparung vorhanden, die bei abgesenkter Schütze den ganzen Schützenkörper aufnimmt, so dass er vom überfliessenden Wasser überströmt wird. Die Schütze wird gehoben durch Einlassen von Wasser in die Aussparung, auf dem die Schütze schwimmt. Längs der Drehachse sowohl als längs des unterwasserseitigen Kontaktes der Schütze und des Mauerkörpers sind natürlich Dichtungen erforderlich. Die Schützenaussparung steht durch Leitungen in Verbindung mit dem Oberwasser. Durch Bedienen von Ventilen in diesen Leitungen lässt sich die Schütze sehr leicht auf jede beliebige Höhe einstellen.

Dieser Schützentyp ist hier kurz beschrieben, weil er in der Schweiz noch nicht vertreten, aber in den USA durch das Bewässerungsamt an vielen Orten ausgeführt worden ist (Hoover- und Grand Coulee-Staumauern). Er eignet sich besonders zur genauen Einhaltung eines

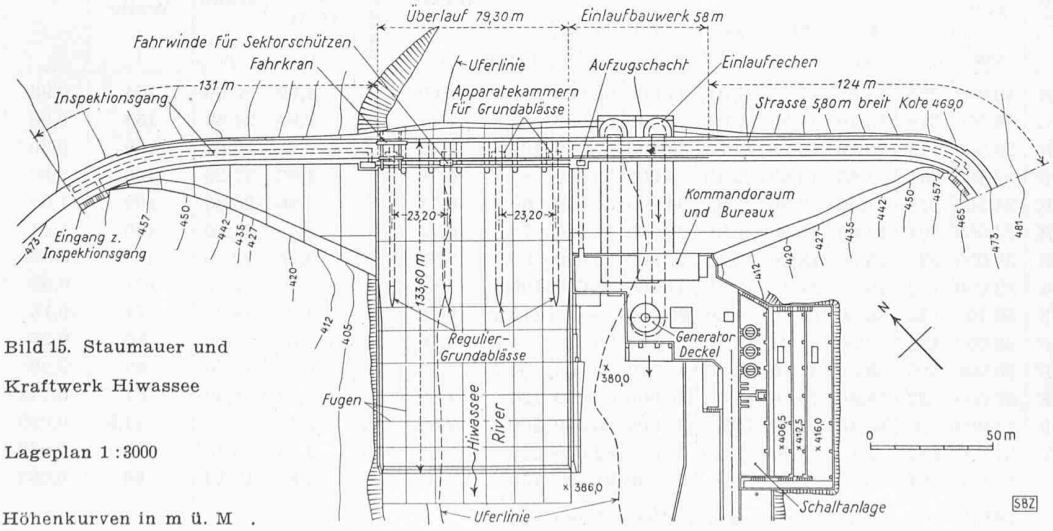


Bild 15. Staumauer und Kraftwerk Hiwassee

Lageplan 1 : 3000

Höhenkurven in m ü. M.

Stauspiegels bei stark veränderlicher Wasserführung an Stauwehren ohne Geschiebedurchgang. Bei der TVA ist es bei der einmaligen Anwendung an der Norris-Staumauer geblieben und bei späteren Anlagen mit ähnlichen Verhältnissen sind aus wirtschaftlichen Gründen immer die wesentlich leichteren und billigeren Sektorschützen gewählt worden. Tabelle 4 gibt hierzu einige Vergleichszahlen:

Tabelle 4. Gewicht der Schützen pro m² Schützenöffnung, einschliesslich Dichtungen, Nuten- und Schwellenarmierungen

	ohne Hebeeinrichtungen	*mit* Hebeeinrichtungen
Norris	1485 kg/m²	1690 kg/m²
Hiwassee	526 kg/m²	1056 kg/m²
Cherokee	705 kg/m²	Angaben fehlen

In allen Anlagen dieses Typs sind Grundablasschützen vorhanden, die bei einem herannahenden Hochwasser geöffnet werden und so rasch Stauraum freigeben. Während Niederwasserperioden erlauben diese Schützen, die Wasserentnahme aus dem Speicher über die Schluckfähigkeit der Turbinen hinaus zu steigern. Diese Grundablässe haben in Hiwassee kreisförmigen, sonst aber rechteckigen Querschnitt, und sind normalerweise mit zwei identischen, hintereinander angeordneten Vertikalschützen, die durch hydraulischen Antrieb betätigt werden, versehen. Die bei offenen Grundablässen auftretenden hohen Wassergeschwindigkeiten erzeugten bei der ersten Ausführung in Norris Anfressungen des Betons infolge Kavitation; deswegen ist für spätere Ausführungen die Form der Ein- und Austrittöffnungen im Laboratorium eingehend untersucht worden. Hieraus ergab sich eine Ausführung gemäss Bild 17.

Die Maschinenhäuser sitzen bei dieser Art Anlagen immer am Staumauerfuss und haben tiefliegende Einläufe, die mit Blech ausgepanzert sind. Die Spiralen werden gewöhnlich aus genietetem Stahlblech hergestellt. Norris besitzt ein Maschinenhaus mit einem Hochbau aus Eisenbeton. Bei den drei späteren Anlagen dieser Art ist dann auch die von TVA als «Halbfreiluft» bezeichnete Anordnung gewählt worden (Bilder 14 und 18).

Drei der Anlagen der TVA (nicht eingerechnet die zwei Erddämme von Chatuge und Nottely, an denen keine Kraftwerke bestehen) lassen sich nicht in die bis jetzt geschilderten Typen einreihen. Es sind dies die Werke Fontana, Apalachia und Ocoee Nr. 3, d. h. die drei Anlagen mit den höchsten Gefällen. Apalachia und Ocoee sind die einzigen TVA-Anlagen, bei denen Druckstollen angewendet worden sind. In Apalachia ist dieser Druckstollen 13,45 km lang, mit Kreisquerschnitt von 5,50 m Durchmesser, wovon 1800 m unverkleidet, der Rest verkleidet ist. In Ocoee ist der Druckstollen 4,10 km lang, mit Hufeisenquerschnitt von 3,82 m Höhe.

3. Maschinelle und elektrische Ausrüstung

Die verfügbaren Gefälle liegen vollständig im Bereich der Kaplan- und Francisturbinen. Von den Niederdruckwerken ist die zuerst gebaute Anlage Wheeler mit Propellerrädern mit festen Schaufeln versehen; alle späteren Anlagen dieser Art haben Kaplanräder. Man tendiert nicht auf extreme Schnelläufigkeit und nimmt eher verhältnismässig grosse Raddurchmesser in den Kauf. Dies gilt besonders in Fällen, wo hochliegender Felsuntergrund eine tiefe Turbinenlage verteuert hätte. Die Saugkrümmer sind überall vom normalen Ellbogentyp. Horizontale Trennwände in den Saugkrümmern sind bei den frühen Anlagen Pickwick-Landing und Guntersville eingebaut, später aber weggelassen worden. Die hauptsächlichsten Turbinendaten sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Die Spurlager sind durchwegs nach dem Kingsburytyp konstruiert und immer *unter* dem Rotor angeordnet.

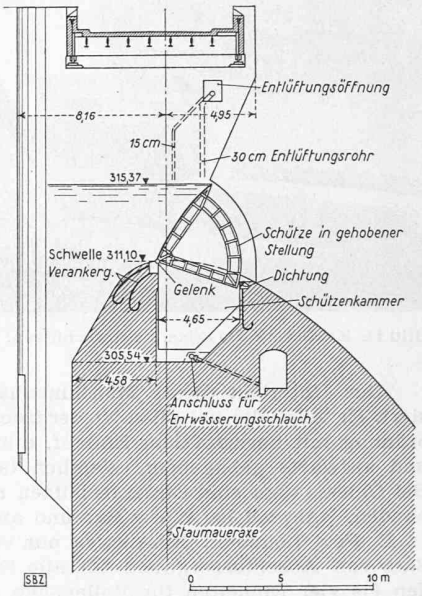


Bild 16. Staumauer des Kraftwerkes Norris, Querschnitt durch die Wehrkrone mit hohler Sektorschütze, Masstab 1:400

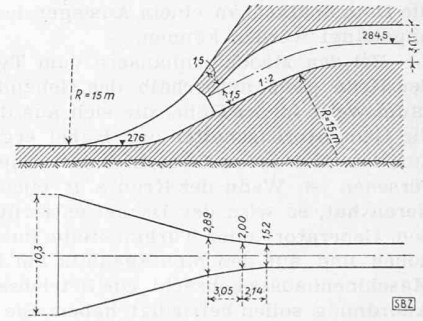


Bild 17. Auf Grund von Modellversuchen ausgebildeter Austritt der acht Grundablässe an der Cherokee-Staumauer, Masstab 1:600

Tabelle 5. Charakteristische Daten der Turbinen von Kraftwerken der TVA

	Anzahl Einheiten Ausbau Mitte 1945	Anzahl Einheiten Ausbau voll	Turbinentyp [1])	Leistung pro Einheit kW	Q [2]) m³/s	Gefälle Nenn m	Gefälle Max. m	Gefälle Min. m	Leistung Nenn PSe [3])	Leistung Max. PSe [3])	Drehzahl U/min	Laufrad-Durchmesser m	Anzahl Schaufeln	Höhe der Laufräder über U.-W. m	Einheitsabstand m	Gewicht Laufrad plus Welle t	Kavitationsbeiwert
Kentucky	4	4	K	40 000	255	14,65	17,90	6,10	44 000	50 000	78,3	6,60	6	— 4,00	23,60	154	0,96
Pickwick-Landing .	4	6	K	36 000	318	13,10	18,30	9,15	48 000	55 000	81,8	7,42	6	— 2,90	24,40	168	0,98
Wilson	—	—	F	25 000	113	28,10	29,25	24,30	35 000	37 300	100	3,30	15	+ 2,24	16,92	59	0,30
Wheeler	4	8	P	32 400	261	14,65	16,50	12,40	45 000	50 000	85,7	6,70	6	— 1,82	23,20	106	0,80
Guntersville . . .	3	4	K	24 300	278	11,00	12,80	5,50	34 000	39 000	69,2	6,74	5	— 1,56	23,80	192	1,05
Chicamauga . . .	3	4	K	27 000	304	11,00	15,90	6,10	36 000	42 000	75	6,70	5	— 3,45	24,40	190	1,21
Watts Bar	5	5	K	30 090	235	15,90	18,30	12,15	42 000	48 000	94,7	5,95	5	— 4,25	22,25	128	0,89
Fort Loudoun . . .	2	4	K	32 000	190	19,90	21,40	12,15	44 000	48 000	105,8	5,64	5	— 4,32	21,40	131	0,69
Norris	2	2	F	50 400	122	50,50	59,50	41,20	66 000	—	112,5	4,09	19	+ 1,83	18,30	74	0,16
Cherokee	2	4	F	30 000	125	30,50	44,25	16,70	41 500	50 000	94,7	4,19	15	+ 1,52	18,50	80	0,27
Douglas	2	4	F	30 000	125	30,50	39,70	18,85	41 500	50 000	94,7	4,19	15	+ 0,92	18,50	80	0,29
Hiwassee	1	2	F	57 600	122	58,00	75,00	43,50	80 000	120000	120	4,09	19	+ 1,22	18,30	64	0,141
Ocoee Nr. 3 . . .	1	1	F	27 000	34	85,50	91,00	76,50	33 500	35 500	200	2,82	16	+ 2,14	—	24,5	0,089
Apalachia	2	2	F	37 500	42,5	110	129	102	53 000	62 000	225	3,00	15	+ 1,83	13,40	29	0,073
Fontana	2	3	F	67 000	81,6	101	128	71,8	91 500	91 500	150	4,01	—	+ 1,83	17,10	66	0,087

[1]) K = Kaplan, F = Francis, P = Propeller; [2]) Nennwassermenge; [3]) 1 PSe = 76,04 mkg/s

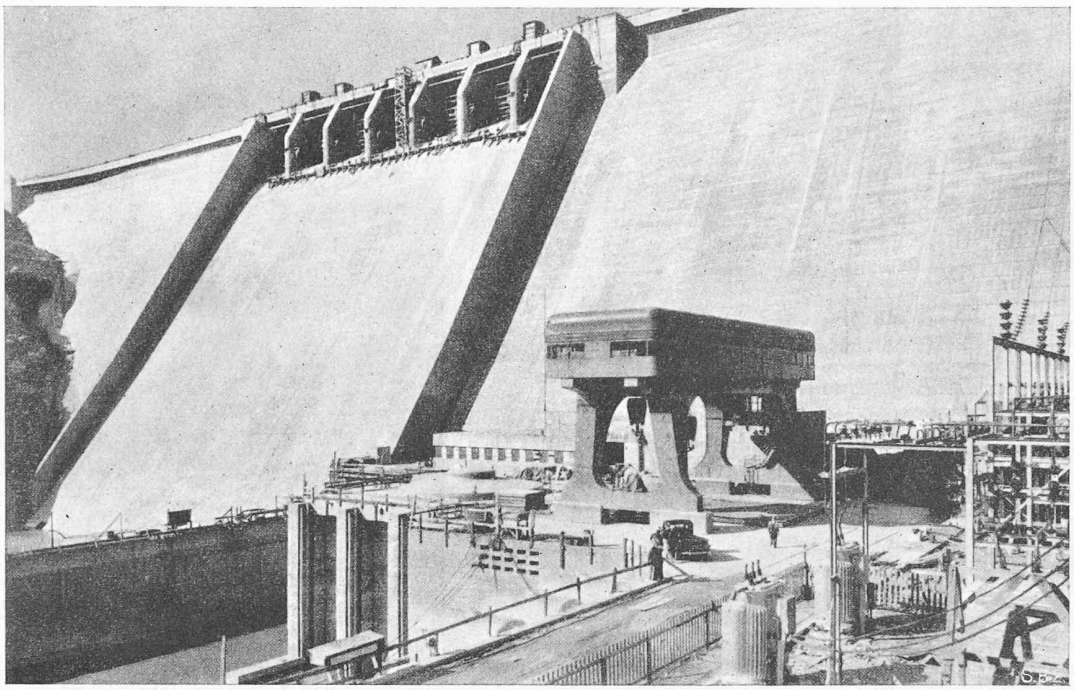
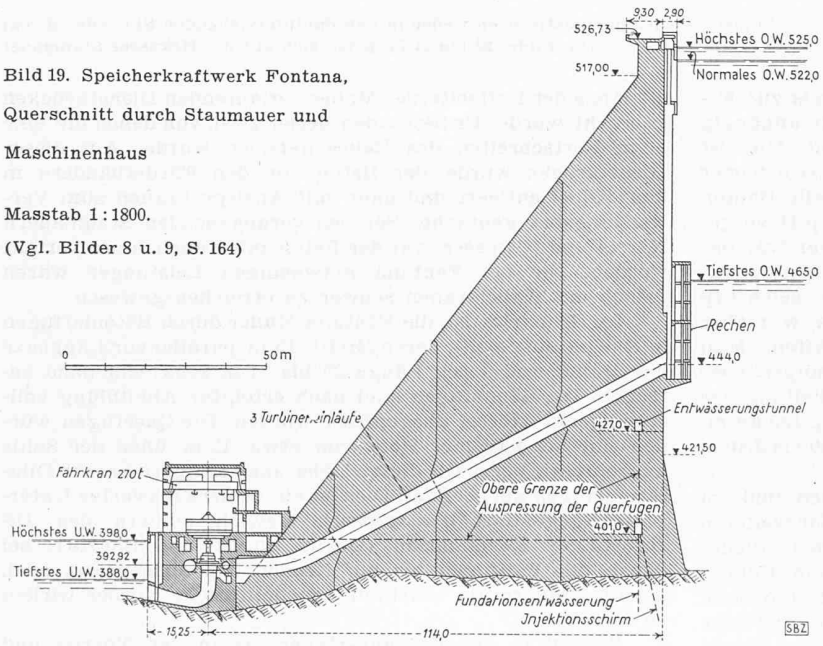


Bild 18. Hiwassee-Kraftwerk, Bild eines typischen Mitteldruck-Speicherkraftwerkes

Bild 19. Speicherkraftwerk Fontana, Querschnitt durch Staumauer und Maschinenhaus

Masstab 1:1800.

(Vgl. Bilder 8 u. 9, S. 164)



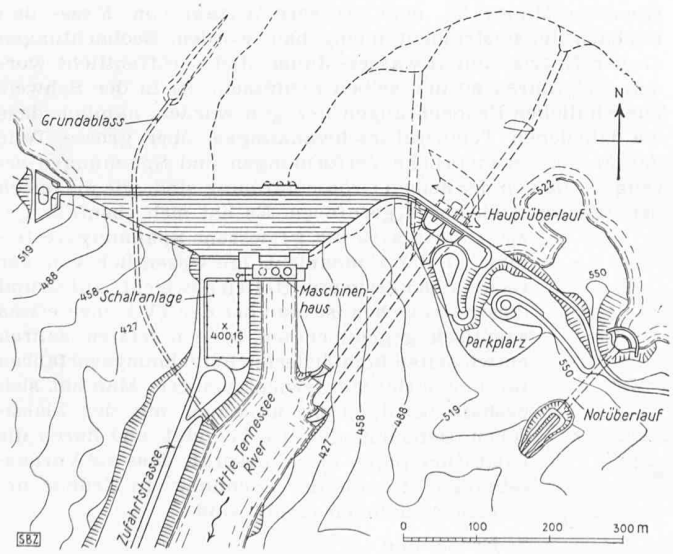


Bild 20. Staumauer und Kraftwerk Fontana, Lageplan 1:10000

Die Generatorspannung beträgt 13800 Volt. Es wird mit Drehstrom 60 P/s entsprechend dem amerikanischen Normalsystem gearbeitet. Das Uebertragungssystem der TVA besteht aus 66 kV- und 154 kV-Leitungen. Die Transformatoren sind immer in einer Freiluftanlage an Land neben den Maschinenhäusern aufgestellt und durch Kabelkanäle mit den Generatoren verbunden.

4. Speicheranlage Fontana

Das Kraftwerk Fontana ist bemerkenswert, weil es die bis jetzt vierthöchste Massivstaumauer der USA und der Welt aufweist. Diese Anlage liegt in einer Schlucht des Little Tennessee, an dem schon verhältnismässig früh Kraftwerke der Aluminium Co. of America entstanden waren. Mit der grossen Wasserreserve dieses Staubeckens kann in den unterhalb liegenden Werken jährlich eine Energiemenge von 2000 Mio kWh erzeugt werden.

Die Staumauer weist eine grösste Höhe von 143 m und eine Kronenlänge von 534 m auf. Die Fundationsverhältnisse waren für den Bau einer hohen Mauer günstig; die Baustelle liegt in hartem Quarzit- und Phyllitfelsen. Der Mauerquerschnitt hat die normale Dreieckform (Bild 19) mit einem luftseitigen Anzug von 1 : 0,76. Das Gesamtmauervolumen beträgt 2,2 Mio m³. Das Maschinenhaus ist direkt am Mauerfuss über dem ursprünglichen Flusslauf angeordnet. Der Hochwasserüberfall liegt auf der Talflanke seitlich des Hauptkörpers der Mauer. Er ist als Ueberfallwehr mit vier Segmentschützen (siehe Tabelle 3) ausgebildet. Das überfliessende Wasser wird durch zwei unter 45° abfallende Schächte mit anschliessenden Tunneln am Maschinenhaus vorbei zum Unterwasser geführt (Bild 20). Die Energie wird vernichtet, indem am Ende der Tunnel das Wasser über löffelartige Ausweitungen hinausschiesst und dabei zu einer das ganze Tal ausfüllenden Wolke zerstäubt wird. Die Form dieser Ausläufe wurde durch eingehende Laboratoriumsversuche festgelegt. Es sollen bis zu 5000 m³/s auf diese Art abgeführt werden können. Die Wahrscheinlichkeit eines Hochwassers dieser Grösse ist jedoch äusserst gering. Am fertigen Bauwerk sind Versuche bis zu 500 m³/s für beide Tunnels zusammen gemacht worden, die gute Uebereinstimmung mit den im Laboratorium gewonnenen Resultaten ergaben. Ob die schweren Hochwasser des Winters 1947/48 im Tennesseegebiet Gelegenheit zu weitergehenden diesbezüglichen Versuchen ergaben, ist nicht bekannt.

Im Maschinenhaus von Fontana sind zwei Einheiten von je 67500 kW-Leistung aufgestellt. Für eine dritte Einheit ist der Platz vorgesehen. Das Maschinenhaus hat die herkömmliche Form mit vollständig überdachter Maschinenhalle (Bilder 8 und 9). Die Spiralgehäuse sind in diesem Falle geschweisst, sowohl bei Werkstatt- als auch bei Montagenähten.

Der gesamte Beton für die Staumauer wurde in der Rekordzeit von 20 Monaten eingebracht. Dies war bedingt durch den Bau während des Krieges und die Notwendigkeit, die Energieerzeugung so rasch als möglich zu steigern. Naturgemäss musste dem Problem der Abführung der Abbindewärme besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Um Temperaturanstieg und daraus entstehende Zugspannungen des erhärtenden Betons möglichst einzuschränken, wurde ein Spezialzement mit reduzierter Abbindewärme ver-

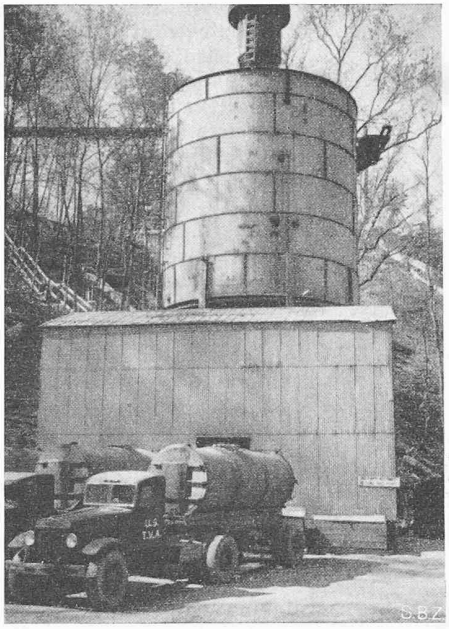


Bild 22. Zementsilo mit Zementtransportwagen. An der Eisenbahnstation wurde der Zement pneumatisch von Eisenbahn- auf Strassentankwagen aus Aluminium von je 11 t Fassungsvermögen zum Transport auf

Bild 23. Betonieranlage, sechseckig, 33 m hoch, mit Förderband für Materialzufuhr. Drei Mischer zu je 2 m³ mit Entleerung in der Gebäudeaxe

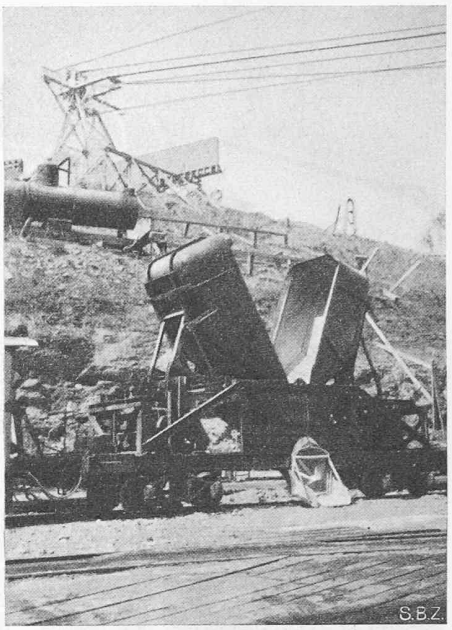


Bild 24. Betondoppelkippwagen (auf Normalspurgleis) zum Betontransport zwischen Betonieranlage und Kabelkran. Inhalt 5,7 m³

den 20 km entfernten Bauplatz umgeladen und vom Abladeschuppen wieder pneumatisch entweder in den dahinterstehenden Silo oder direkt zu der 85 m höher liegenden Betonieranlage gefördert. Die Bilder 22 bis 24 beziehen sich auf die Hiwassee-Staumauer

wendet, die Zementdosierung so niedrig gewählt als zur Erzielung der notwendigen Festigkeit gerade noch angängig war und überdies ein Kühlröhrensystem eingebaut. Hier ist zu bemerken, dass die TVA durchwegs Zement von reduzierter Abbindewärme verwendet. Ursprünglich war für alle Bauten ein Zement entsprechend dem amerikanischen Typ II vorgeschrieben[2]). Für den Bau der Hiwassee-Staumauer war dagegen Typ IV verwendet worden, um die Temperaturspannungen möglichst weitgehend einzuschränken. Der selbe Typ hätte auch bei Fontana verwendet werden sollen, war aber wegen den Kriegsverhältnissen nicht zu beschaffen. Man musste sich deshalb mit dem Typ II begnügen, sorgte aber durch ein eingebautes Kühlröhrensystem für Ableitung der entwickelten Abbindewärme. Die Dosierung betrug 190 kg/m³ für das Innere der Mauer und 288 kg/m³ für den 1,50 bis 2,40 m dicken Vorsatzbeton der Aussenflächen.

Das Kühlwasser wurde dem Fluss entnommen und im Sommer in einer Kühlanlage zusätzlich gekühlt. Zur weiteren Einschränkung der Temperaturspannungen wurde in Blockhöhen von 1,50 m betoniert und im Sommer und in Fundamentnähe diese Höhe sogar auf 75 cm reduziert. Trotzdem wurde eine maximale Tagesleistung von 8000 m³ und eine höchste Monatsleistung von 185 000 m³ erreicht. Grobe, sowohl als feine Zuschlagsstoffe wurden auf der Baustelle aus Quarzitfelsen aufbereitet. In der Betonfabrik waren fünf 3 m³-Mischer in der für die TVA typischen kreisförmigen Anordnung in einem achteckigen, turmartigen Gebäude aufgestellt. Ueber den Mischern waren Silos für einen kurzzeitigen Vorrat von Zuschlagmaterialien und Zement angeordnet; die Mischer entleerten sich durch einen zentrisch angeordneten Trichter auf ein Förderbandsystem, mit dem der Beton auf die längs der Luftseite der Mauer verlaufenden Dienstbrücken gebracht wurde. Es bestanden deren zwei, von denen die eine beim Fortschreiten des Baues gehoben wurde. Auf dieser Dienstbrücke wurde der Beton von den Förderbändern in 3 m³-Kübel entleert und dann mit Auslegerkranen zum Verwendungsort gebracht. Bei den vorangehenden Staumauern Norris und Hiwassee war der Beton mit Kabelkranen verteilt worden. Die bei Fontana notwendigen Leistungen wären jedoch mit Kabelkranen schwer zu erreichen gewesen.

Im Grundriss ist die Fontana-Mauer durch Betonierfugen in Blöcke aufgeteilt, deren Breite 15 m parallel zur Längsaxe der Mauer und deren Länge 25 bis 31 m senkrecht dazu betrugen. Die Längsfugen sind nach erfolgter Abkühlung vollständig mit Mörtel ausgepresst worden. Die Querfugen wurden nur bis zu einer Höhe von etwa 12 m über der Sohle ausgepresst, oberhalb dieser Höhe aber als permanente Dilatationsfugen ausgebildet. Dies ist ein bemerkenswerter Unterschied gegenüber den grossen Gewichtsmauern des US Bureau of Reclamation (Grand Coulee und Shasta), bei denen alle Baufugen bis auf Kronenhöhe ausgepresst sind, um die Mauern als vollständig monolithische Körper wirken zu lassen.

Sowohl in der Fontana-Mauer als in der Norris- und Hiwassee-Mauer ist eine grössere Anzahl von Mess- und Beobachtungsinstrumenten eingebaut worden. Beobachtungen an der Norris- und Hiwassee-Mauer sind veröffentlicht worden und führen zu den selben Schlüssen, die in der Schweiz aus ähnlichen Beobachtungen gezogen wurden, nämlich, dass die jährlichen Temperaturschwankungen über grosse Teile der Mauer veränderliche Verformungen und Spannungen erzeugen, die von der selben Grössenordnung sind, wie die durch den Wasserdruck hervorgerufenen. Es hat sich ebenfalls gezeigt, dass z. B. die gemessene Spannungsverteilung in der Fundamentfuge wesentlich von der rechnungsmässig ermittelten abweicht. Auf Grund dieser Tatsachen ist man bei der TVA eher etwas skeptisch gegenüber den in den letzten Jahren entwickelten komplizierten Berechnungsverfahren für monolithische Gewichtsmauern. Man hat sich deshalb bei der Fontana-Mauer mit der klassischen Berechnungsweise begnügt und durch die Dilatationsfugen dafür gesorgt, dass die Voraussetzungen für die der Rechnung zu Grunde liegenden Annahmen erfüllt sind.

[2]) Siehe S. 595 lfd. Jgs.

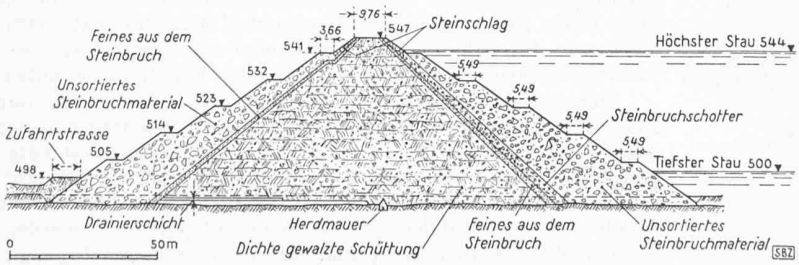


Bild 21. Querschnitt durch den Erddamm von Nottley (Vgl. Bild 4, S. 162). Masstab 1 : 2500

5. Erddämme

Bemerkenswert sind auch die Erddämme der

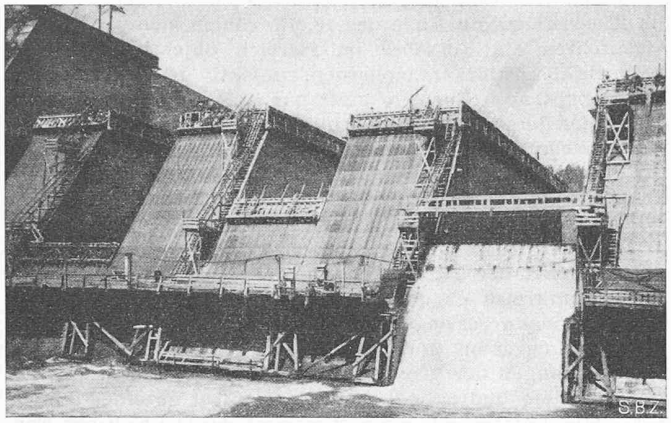


Bild 25. Hiwassee-Staumauer im Bau (April 1939). Wasserdurchfluss abwechselnd durch Schlitze von Blockbreite

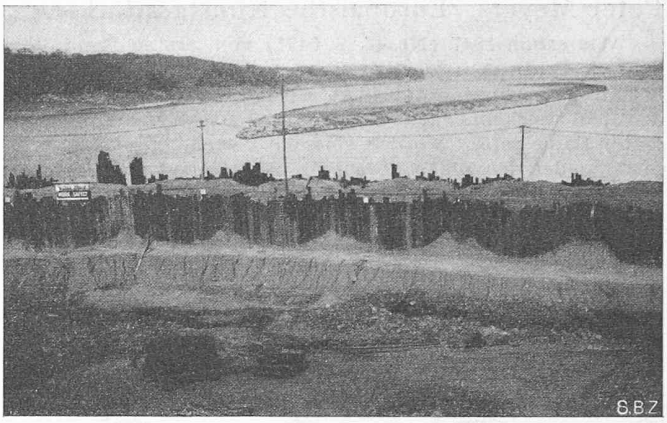


Bild. 26. Spundwandzellen-Fangdamm des Kraftwerkes Chicamauga. Trockene Baugrube im Vordergrund

TVA. Bei zwei Speicheranlagen ohne Kraftwerke, Nottely (Bild 4, S. 162) und Chatuge, besteht der Talabschluss vollständig aus geschütteten Dämmen. Aber auch bei einer Anzahl anderer Anlagen werden das eigentliche Stauwehr oder die Staumauern von Erddämmen flankiert, die zusammen viele Millionen m² Schüttung aufweisen und für sich allein respektable Bauwerke darstellen.

Im allgemeinen sind diese Erddämme als gewalzte Schüttungen gebaut worden, mit Ausnahme eines Seitendammes von 760 000 m³ Volumen bei der Anlage Pickwick-Landing, wo aus Materialgründen hydraulische Schüttung gewählt wurde. Auch anderweitig ist die Dimensionierung dieser Dämme immer den verfügbaren Materialien angepasst, wobei die neueren Erkenntnisse der Erdbaulehre verwertet werden und ein eigenes Erdbaulaboratorium die Projektierungsgrundlagen abklärt.

Beachtenswert ist die für den Nottely-Damm gewählte Lösung. Dort stand nur verhältnismässig wenig Erde, aber viel Felsmaterial zur Verfügung, weshalb ein gemischter Querschnitt mit einem dichten Kern aus gewalzter Erde und beidseitigen Felsschüttungen gewählt wurde (Bild 21). Ein ähnlicher Querschnitt gelangt für den jetzt im Bau befindlichen Watauga-Damm zur Ausführung, der, mit 85 m Höhe und mehr als 2 Mio m³ Volumen, einer der höchsten geschütteten Dämme darstellen wird.

Erddämme sind in letzter Zeit bei der TVA und auch andernorts an Stellen ausgeführt worden, wo Fels in erreichbarer Tiefe als Unterlage für eine massive Sperre verfügbar gewesen wäre. Durch die Fortschritte der Erdbaumechanik zusammen mit der Entwicklung hochleistungsfähiger Erdbaugeräte und Transporteinrichtungen ist jedoch die wirtschaftliche Grenze zwischen geschütteten Dämmen und Massivbauwerken zugunsten der erstgenannten verschoben worden. Diese Entwicklung scheint noch im Fluss zu sein. Man wird deshalb wahrscheinlich auch andernorts geschütteten Dämmen wieder vermehrte Aufmerksamkeit schenken.

6. Baueinrichtungen

Es würde zu weit führen, hier auch noch eingehend über die Bauplatzinstallationen der TVA zu berichten. Es seien deshalb nur einige für die TVA-Bauplätze mehr oder weniger typische Anlagen erwähnt.

Grössere Fangdämme an den Hauptflusskraftwerken werden fast durchwegs als aneinander gereihte Eisenspundwandzellen mit Durchmesser von 12 bis 17 m ausgebildet. Das Rammen erfolgt unter Verwendung von Führungsgerüsten, vielfach von Schwimmbatterien aus. Die Spundbohlen können meist wiederholt verwendet werden. Bild 26 zeigt einen solchen Fangdamm, wie er beim Kraftwerk Chicamauga zur Ausführung kam.

Die Betonzuschlagstoffe bestanden an einigen der Flusskraftwerke aus natürlichem Kies und Flussand, der z. B. beim Bau des Kraftwerkes Wheeler auf dem Wasserweg angeführt werden konnte. Beim weitaus grösseren Teil der Bauten sind jedoch gebrochene Zuschlagstoffe verwendet worden. Bei Norris war es Dolomit, sowohl für grobe als feine Zuschläge, bei Chicamauga Kalkstein für grobe, Natursand für feine Zuschläge, bei Hiwassee Grauwacke sowohl für grobe als für feine. An diesen drei Baustellen hat man die selbe Aufbereitungsanlage verwendet. In Cherokee kamen wiederum Dolomit und in Fontana Quarzit zur Verwendung. Grobe Zuschläge werden im allgemeinen in vier Abstufungen aufbereitet, mit Korngrössen von 6 bis 19 mm, 19 bis 38 mm, 38 bis 75 mm und 75 bis 150 mm. Sand wurde in Norris in zwei, sonst aber im allgemeinen nur in einer Abstufung aufbereitet. Zement wird überall unverpackt in Tankwagen angeführt und von diesen mit pneumatischen Anlagen in die Silos und zu den Mischern gefördert.

Einen Anhaltspunkt über die Mechanisierung der Bauplätze geben die Tabelle 6, sowie die Bilder 22 bis 26, von denen die ersten vier am Bauplatz des Kraftwerkes Hiwassee aufgenommen wurden.

*

Die Tätigkeit der TVA ist reich dokumentiert. In der amerikanischen technischen Presse sind die Bauplätze und die fertigen Anlagen oft und eingehend geschildert worden. Die TVA selbst veröffentlicht in der Regel über jede Anlage nach Fertigstellung einen technischen Bericht in Gestalt eines Oktavbandes von 300 bis 400 Seiten und daneben eine Monographie mit beschränktem Text, aber reicher Ausstattung mit Bildern und Plankopien. Diese Veröffentlichungen stehen Interessenten zu geringem Preis zur Verfügung. Während des Krieges sind sie nicht fortgeführt worden. Dies wird jetzt aber nachgeholt.

Ein grosser Teil der Angaben im vorliegenden Artikel beruht auf diesen Veröffentlichungen, anderes rührt von Besuchen und persönlichen Kontakten mit dem Ingenieurpersonal der TVA her. Besonders verpflichtet ist der Schreibende unserem Kollegen Adolf Meyer, Dipl. Ing. E. T. H. und «Head of Civil Design» der TVA für die meisten der hier reproduzierten Photographien und für viel anderes Material.

Tabelle 6. Angaben über Bauplatzinstallationen

Anlage	Aushub total Mio m³	Beton total Mio m³	Nennleistung der Betonfabrik m³/h	Monatsleistung m³ [1]	Arbeiterzahl [1]	Totale Anschlussleistung	Maximale Belastung	Verbrauch pro Monat Mio kWh [1]	Bauzeit Monate
Norris	0,365	0,760	137	46 000 [2]	2150	6500 kVA	3100 kVA	1,70	40
Hiwassee	0,345	0,600	137	41 000 [2]	1200	8293 kW	[4]	[4]	34
Cherokee	0,760	0,515	206	100 000 [3]	3000	6145 kW	3000 kW	1,61	23

[1] Höchstwerte; [2] Zweischichtenbetrieb; [3] Dreischichtenbetrieb; [4] Angaben fehlen