

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 103/104 (1934)
Heft: 19

Artikel: Das neue Elektrizitätswerk der Stadt Belgrad
Autor: Schweizerische Elektrizitäts- und Verkehrsgesellschaft
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-83330>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 07.05.2025

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

INHALT: Das neue Elektrizitätswerk der Stadt Belgrad. — Wettbewerb für einen allgem. Erweiterungsplan der Stadt Bern und ihrer Vororte. — Mitteilungen: Die Paketboote „Normandie“ und „Queen Mary“. Die Wärme-Isolierung von Martin-öfen. Mississippi-Korrektion. Elektrifizierung der polnischen Eisenbahnen. Alkalische

Akkumulatoren bei tiefen Temperaturen. Die Autostrasse Florenz-Viareggio. Das Ginsburg'sche Winterbauverfahren. Der 169. Schweizerkurs des Acetylen-Vereins. — Wettbewerbe: Teilweiser Neubau des Stadtcasino Basel. Neues Kantonsspital in Zürich. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 104

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich.
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 19

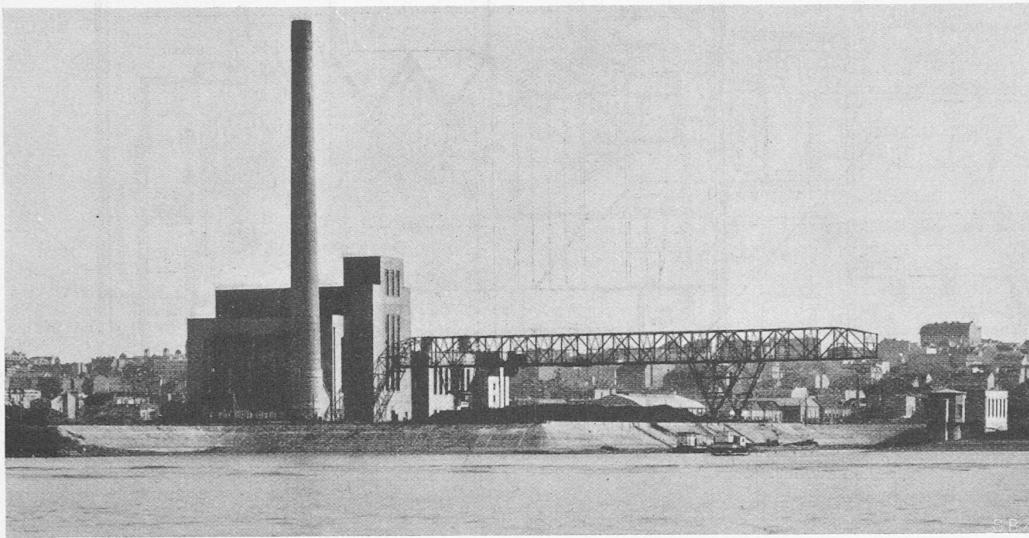


Abb. 1. Gesamtbild des neuen Dampfkraft-Elektrizitätswerkes der Stadt Belgrad von der Donauseite, aus Norden.

Das neue Elektrizitätswerk der Stadt Belgrad.

Mitgeteilt von der SCHWEIZ. ELEKTRIZITÄTS- UND VERKEHRS-GESELLSCHAFT in Basel.

[Wir freuen uns, hier ein schönes Beispiel erfolgreicher Initiative einer unserer schweizerischen Finanzierungsgesellschaften, sowie der Leistungsfähigkeit unserer schweizerischen Bau- und Maschinen-Industrie auf dem Gebiet der Elektrizitäts-Versorgung vorführen zu können, umso erfreulicher, als darin auch ihre Exportfähigkeit im Weltmarkt-Konkurrenzkampf erneut zum Ausdruck kommt. Red.]

Da die alte Dampfzentrale für die Versorgung von Belgrad mit elektrischer Energie den Belastungsansprüchen nicht mehr genügte, erteilte der Stadtrat im Jahre 1929 der „Kraft- und Licht-A.-G.“, Basel, die Konzession für den Bau einer neuen, thermo-elektrischen Anlage und für deren Betrieb während 25 Jahren. Mit der Projektierung, der Bauleitung und der betriebsbereiten Aufstellung dieser neuen Zentrale wurde die „Schweiz. Elektrizitäts- und Verkehrsgesellschaft“ in Basel betraut, wobei die Schweizer Industrie besonders berücksichtigt wurde. Die genannte Gesellschaft errichtete in der Folge ein Dampfkraftwerk für Drehstrom 6600 V, 50 Perioden, mit einer Leistung von 18000 kW, das nach und nach auf 30000 kW erweitert werden kann.

Disposition der Anlage. Mit Rücksicht auf die benötigte grosse Kühlwassermenge und auf die Möglichkeit des Antransportes der Kohle auf dem Wasserweg wurde das Kraftwerk unmittelbar am Donauufer errichtet. Die Gesamtanordnung ist aus dem Lageplan Abb. 1 ersichtlich. In der Flussrichtung setzt sie sich aus Stichhafen, Kohlenlagerplatz, Anschluss-, bezw. Rangiergeleise und Gebäudekomplex zusammen. Dieser besteht aus Kesselanlage, Maschinenhaus und Schaltanlage. Das Verwaltungsgebäude mit den Bureaux, Portier-Wohnung, Reparaturwerkstätte und Sanitäranlagen für die Arbeiter befindet sich neben der Einfahrt vor dem Schalthaus. Die Pumpenstation für das Kühl- und Speiswasser und die Filteranlage liegen am landseitigen Ende des Stichhafens.

Aus dem Lageplan (Abb. 2), dem Längenschnitt durch das Kesselhaus (Abb. 3a u. b) und dem Querschnitt durch die Gebäulichkeiten (Abb. 4) ist der Grundgedanke ersichtlich, den Auslad, die Lagerung und das Brechen der Kohle und die Beschickung der Kessel in der Richtung parallel zur Donau zu entwickeln. Die Energieerzeugung dagegen geht von den Kesseln zu den Turbogruppen und zur

Schaltanlage in der dazu senkrechten Richtung landeinwärts. Infolge dieser Disposition wird der spätere Ausbau der Anlage in der Richtung von NW nach Südosten zu erfolgen haben. Die Gesamtansicht der Gebäude, die für vier Einheiten zu je 6000 kW, und zwar für vier Turbo-Gruppen und acht Kessel vorgesehen sind, ist aus den Abb. 1 und 5 ersichtlich. Die Kohlen-transportanlage wurde von Anfang an für die Speisung dieser vier Einheiten berechnet, von denen zunächst erst drei aufgestellt sind.

Die einheimische Lignitkohle, die für den

Betrieb der Zentrale fast ausschliesslich in Frage kommt, hat einen Heizwert von 2000 bis 2200 kcal/kg und nimmt daher ein sehr grosses Volumen ein. Um entsprechend den Konzessionsbedingungen die Zentrale gegebenenfalls sechs Wochen lang aus den Lagervorräten speisen zu können, wurde ein 140 m langer und 58 m breiter Kohlenlagerplatz angelegt, der mit Hilfe einer Verladebrücke bedient werden kann. Je nach der Stapelhöhe von 7 bis 10 m können 38000 bis 55000 t Kohle gelagert werden. Auch die auf dem Anschlussgeleise an die Staatseisenbahn ankommende Kohle wird mit Hilfe der Verlade-

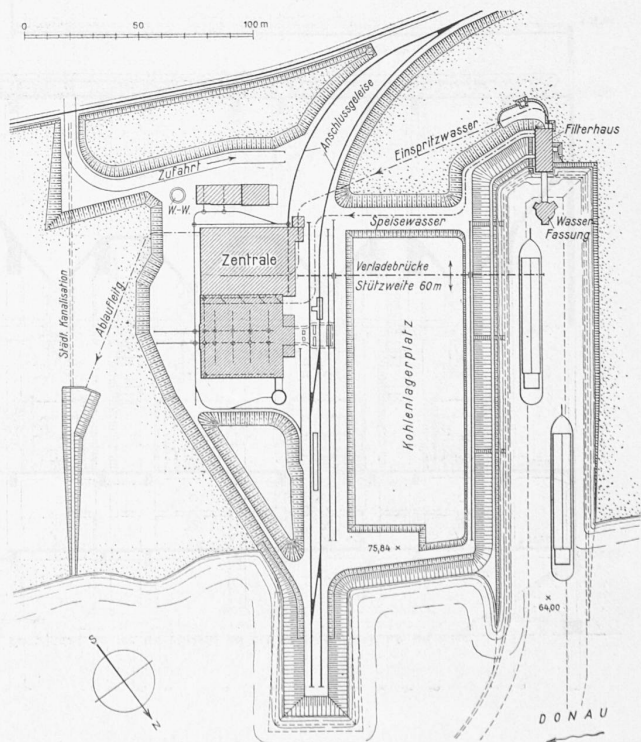


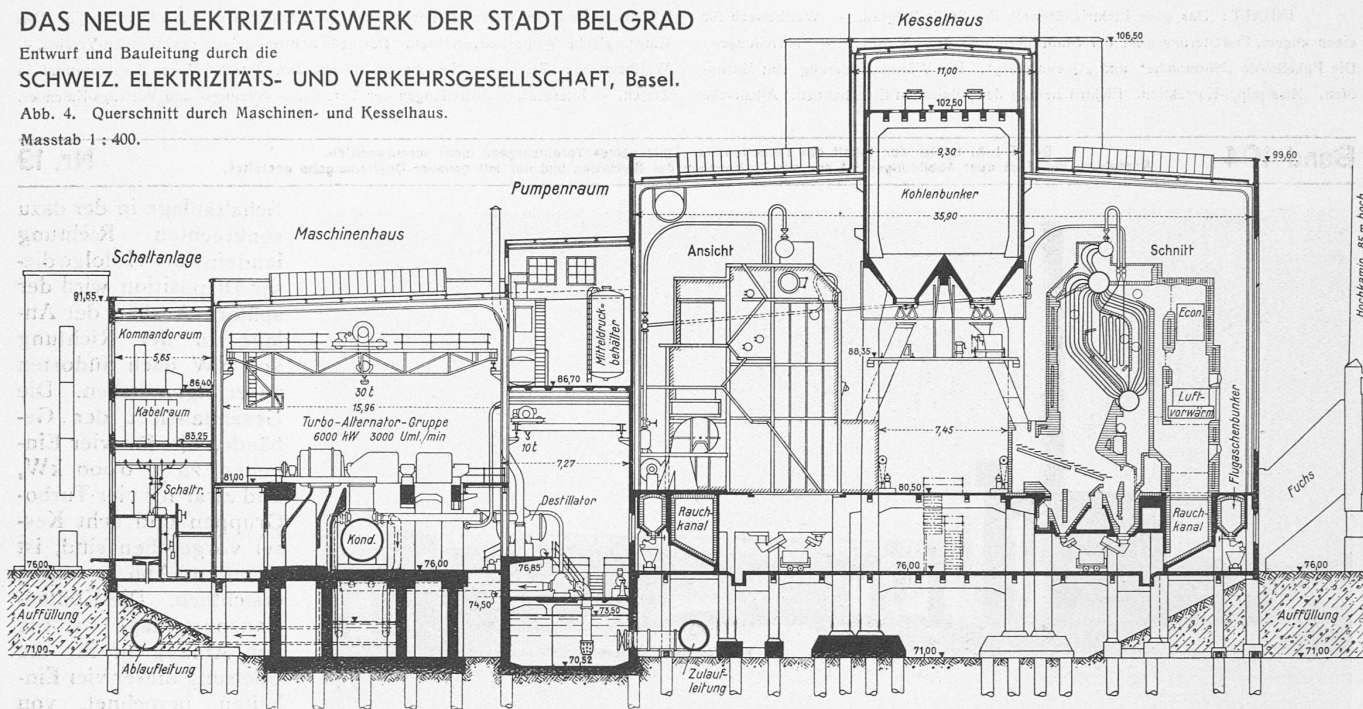
Abb. 2. Lageplan des neuen Elektrizitätswerkes der Stadt Belgrad. — 1 : 3000.

DAS NEUE ELEKTRIZITÄTSWERK DER STADT BELGRAD

Entwurf und Bauleitung durch die
SCHWEIZ. ELEKTRIZITÄTS- UND VERKEHRSGESELLSCHAFT, Basel.

Abb. 4. Querschnitt durch Maschinen- und Kesselhaus.

Masstab 1:400.



brücke ausgeladen. Sie wird meist ohne vorherige Stapelung direkt zu den Brechern geführt. Der Schornstein steht abseits vom Kesselhaus. Zur bessern Verstreuerung des Flugaschenauswurfs erhielt er die stattliche Höhe von 85 m über dem Anlage-Areal.

Baulicher Teil. Bis in eine Tiefe von rd. 30 m unter dem ursprünglichen Gelände besteht der Baugrund aus sehr feinkörnigem, sandigem Material mit Schichten, die geringe Lehmbeimengungen enthalten. Es ergab sich daher die Notwendigkeit, die schweren Hauptgebäude, die Wasserfassungs- und Filtrieranlage, den Schornstein, die Kranlaufbahn und vor allem die Turbinenfundamente auf Pfähle zu gründen. Gewählt wurden 10 bis 11 m lange Franki-

Pfähle für eine zulässige Belastung von 70 t. Nur unter den Turbinenfundamenten wurde die Belastung auf 56 t reduziert. Trotz dieser hohen Belastungen waren Pfahlbündel bis zu 16 Pfählen notwendig. Jede Turbogruppe ist einzeln für sich auf 33 Pfähle gegründet und von sämtlichen übrigen Bauteilen vollständig getrennt. Für die Foundation waren insgesamt 665 Pfähle erforderlich. Das leichtere Verwaltungs- und Werkstattgebäude und die Brechergrube sind auf durchgehenden Fundamentplatten ohne Pfähle gegründet.

Kesselhaus, Maschinenhaus mit Pumpenraum und Schaltanlage, also die Zentrale im engeren Sinne, wurden zu einer Einheit zusammengefasst (Abb. 7). Grundsätzlich sind dabei jene Teile, die schwere oder bewegte Lasten zu tragen haben, aus Eisenbeton, die übrigen in Eisen ausgeführt. Dementsprechend sind, wie aus Abb. 3 u. 4 ersichtlich ist, das ganze Traggerippe des Kesselhauses bis Kote 80,50 mit den Kesselunterbauten, den Rauch-

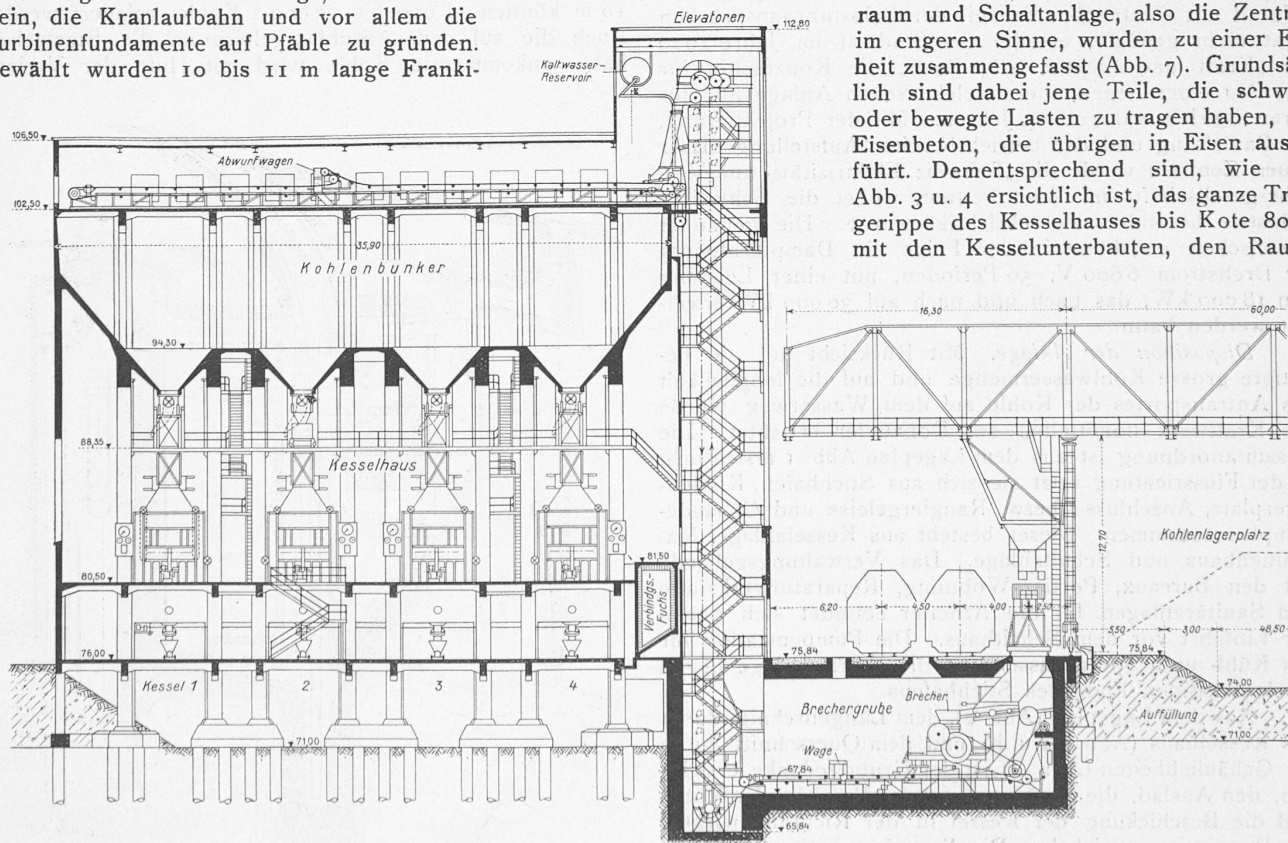


Abb. 3a. Links Kesselhaus-Längsschnitt und Brechergrube. Rechts Ansicht der Verladebrücke und Schnitt durch den Kohlenlagerplatz. — Masstab 1:400.

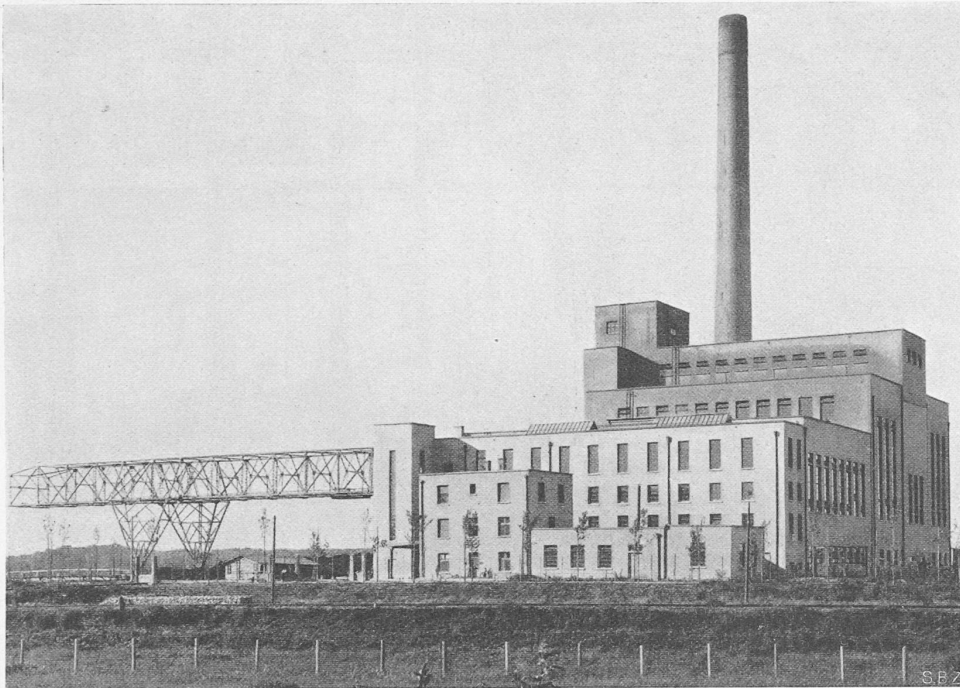


Abb. 5. Gesamtbild der neuen Zentrale von der Landseite, aus Süden, im Vordergrund die Zufahrt.

kanälen und den Flugashebunkern, dem Grossraumbunker von 2600 m³ Inhalt und dessen Decke aus Eisenbeton; Wände und Dächer bestehen aus Eisenfachwerk. Die meisten Aussenwände sind ein Stein starke, beidseitig verputzte Ziegelmauern ohne jegliche tragende Funktion; die Fussböden bestehen mit wenigen Ausnahmen aus Zementstrich. Die Dächer sind mit Tekuta, einem 0,3 mm starken, auf Beton oder Holzunterlage aufgeklebten Kupferblech eingedeckt; es ist dies leicht und dauerhaft. Der Schornstein wurde aus Eisenbeton in vorbetonierten Steinen gebaut.

Da sich die Pumpenstation (Abb. auf S. 221) am Ende des Stichhafens befindet, wird dessen Wasser langsam, aber stetig erneuert. Aus der Pumpenstation gelangt das Wasser zur Filtrieranlage, wo es mechanisch gereinigt wird. Pumpenstation und Filtrieranlage wurden mit Rücksicht auf die Fundierung getrennt ausgeführt; sie sind durch eine 13,40 m weit gespannte eiserne Brücke verbunden, an der die Zu- und Rücklaufleitungen hängen. Zwei Rohrleitungen führen das filtrierte Wasser nach den Zisternen im Keller des Maschinenhauses, unterhalb Kote 74,50. Die

200 t belastet. Dabei sanken die Köpfe um einige Millimeter, nahmen aber nach dem Entfernen der Last ihre ursprüngliche Lage wieder ein. Das Schlagen der Pfähle der Pumpenstation bot einige Schwierigkeiten, da die Pfahlköpfe rd. 7,50 m unter den Wasserspiegel zu liegen kamen. Das mit einem Pfropfen aus Kiessand unten abgeschlossene 14 m lange Vortreibrohr aus Stahlblech wurde von der auf Pontons montierten Ramme soweit in den Boden eingetrieben, bis sein oberes Ende sich noch rd. 30 cm über dem Wasserspiegel befand. Nach genauer Untersuchung des Rohrrinnens auf Trockenheit wurde der Pfahl bis wenig unter Bodenoberfläche betoniert. Dann brachte man die Pfahlarmierung ein, an der eine bis zur Oberkante des Pfahles reichende Blechhülse befestigt war und betonierte den Pfahl im Schutze des Vortreibrohres fertig. Alsdann wurde dieses wieder herausgezogen.

Die Verbindung der so erstellten Pfahlköpfe geschah durch eine unter Wasser im Schutze einer kreisrunden Larssenwand betonierte 1,80 m starke Sohle, auf der die eigentliche Pumpenstation erstellt wurde (Abb. 11, S. 221).

Am ganzen Bau wurden verwendet:

Frankpfähle . . .	7150 m	Eisenkonstruktion	560 t
Beton . . .	10000 m ³	Verputz . . .	25000 m ²
Rundeisen . . .	700 t	Erdbewegung rd.	100000 m ³

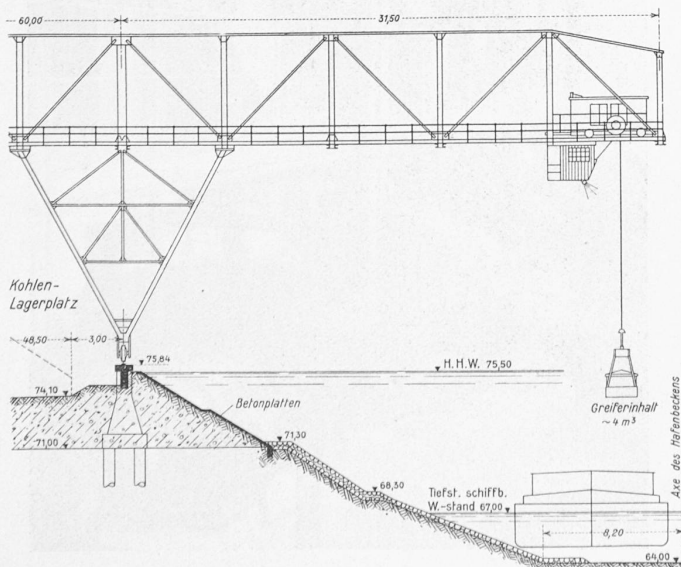


Abb. 3b. Querschnitt der Stichhafen-Böschung. — Masstab 1 : 400.

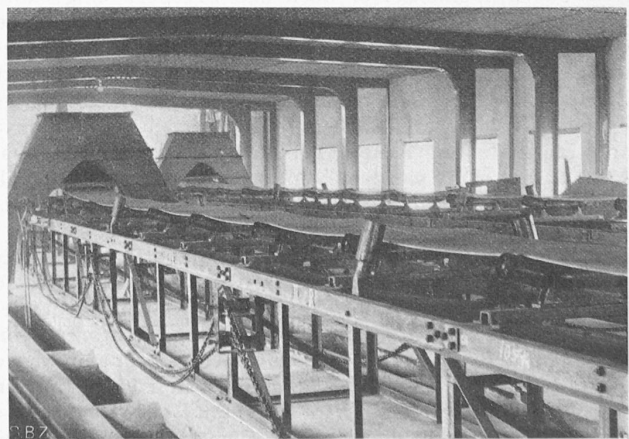


Abb. 6. Kohletransportbänder und Abwurfwagen auf Kote 102,50 (vgl. Abb. 3a u. 4).

eine dieser Leitungen ist aus Eisenbeton und hat 1,50 m lichten Durchmesser, die andere, die als Reserve dient, um jederzeit die äusserst wichtige Kühlwasserversorgung zu sichern, ist aus Stahlblech zusammengeschweisst und mit Setzungswülsten versehen; sie hat 1,20 m Durchmesser.

Bauausführung. Die Bauarbeiten sind von einer schweizer Unternehmung mit Hilfe jugoslawischer Arbeiter und Vorarbeiter, teilweise auch mit jugoslawischem Aufsichtspersonal durchgeführt worden. Sie begannen am 23. Juli 1930. Trotz der Schwierigkeiten, die durch Verwendung einheimischer Arbeiter und durch Verzögerungen im Antransport der Installationen entstanden, war die Zentrale bereits im Spätherbst 1931 im Rohbau fertig.

Das Schlagen der 665 Pfähle mit drei Rammen nahm rund zwei Monate in Anspruch. Sechs willkürlich gewählte Pfähle wurden probeweise mit je 175 bis

Kohlenbrech- und Transportanlage (siehe Abb. 3). Für die Heizung der Kessel kam, wie schon bemerkt, nur serbische Lignitkohle mit einem unteren Heizwert von 2000 bis 2200 kcal, 18 % Aschengehalt und über 40 % Feuchtigkeit, oder Trifailer Braunkohle mit einem Heizwert von etwa 3750 kcal, 12 % Aschengehalt und 26 % Feuchtigkeit in Betracht. Mit diesen beiden Kohlsorten wurden zur Bestimmung der günstigsten Rosttypen umfangreiche Brennversuche durchgeführt.

Der Auslad der Kohle, die hauptsächlich per Schiff, teilweise aber auch mit der Bahn ankommt, sowie die Bedienung des Kohlenlagerplatzes besorgt die elektrische Verladebrücke mit 6,8 t Tragkraft, 60 m Spannweite und, mit den Auslegern, 108 m Gesamtlänge. Sie hat ein zweimotoriges Greiferwindwerk mit Grenzschar, eine automatische Windschutzbremse, die in Tätigkeit tritt, wenn die Brücke bei ausgeschaltetem Motor durch Windkraft in Bewegung gesetzt werden sollte, eine Bolzenverankerung an der Fahrbahn, und eine elektrische Verriegelung, die die Einschaltung des Brückenfahrmotors verunmöglicht, solange einer der Verankerungsbolzen noch steckt. Ein Zubringerwagen von 15 m³ Inhalt, fahrbar auf der ganzen Länge des Kohlenlagerplatzes, nimmt die Kohle vom Hilfsbunker der Verladebrücke auf und entleert sie durch Boden-Klappen in den Trichter der Aufgabevorrichtung des Brechers, der in einer Grube unter den Eisenbahngleisen aufgestellt ist. Eine ständige Verschiebung der Verladebrücke wird dadurch vermieden. Für die Zerkleinerung der holzartigen Lignitkohle wurde ein Kurbelsägebrecher gewählt, der infolge der Hin- und Herbewegung der Brechbacken ein Durchsägen der Fasern bewirkt.

Vom Brecher bis zu den Hauptkohlenbunkern wird die Kohle mit Rücksicht auf eine grössere Betriebssicherheit in zwei von einander unabhängigen Anlagen gefördert, von denen jede stündlich 40 t gebrochene Kohle leistet. Jede Anlage besteht aus einem horizontalen Gummitransportband mit automatischer Abwägevorrichtung und einem senkrechten Elevator, der die Kohle auf die oberen Gummitransportbänder über dem Podium Kote 102,50 des Kesselhauses ausschüttet. Dort erfolgt durch automatische Abwurfwagen die Verteilung in den Hauptkohlenbunker (Abb. 6). Ein unmittelbar nach den Brechern eingebautes reversibles Quertransportband erlaubt ein kreuzweises Arbeiten der Brecher und der folgenden Beförderungsanlagen oder eine Verteilung des Brechgutes auf beide Transportanlagen. Mit Hilfe der Elevatoren kann die gebrochene Kohle wahlweise in die zwei neben den Elevatoren aufgestellten Reservebunker von je 600 m³ Inhalt (Abb. 7) eingefüllt werden, von wo aus sie bei einer allfälligen Betriebsstörung der Brechanlage mit den Elevatoren der Kesselanlage zugeführt werden kann.

Sämtliche Organe der Kohlentransportanlage haben getrennte Antriebe und eine elektrische Verriegelung, so dass beim Abstellen eines Apparates die vorangehenden automatisch ausgeschaltet werden. Die Elevatoren sind ausserdem mit empfindlichen Abstellvorrichtungen ausgerüstet, die im Falle von Einklemmungen in Tätigkeit treten.

Kesselanlage. Die Disposition und Grösse der Kesselanlage ist durch die Abb. 3, 4 und 7 gegeben. Die Anzahl der Kessel und die Leistung der einzelnen Dampf-

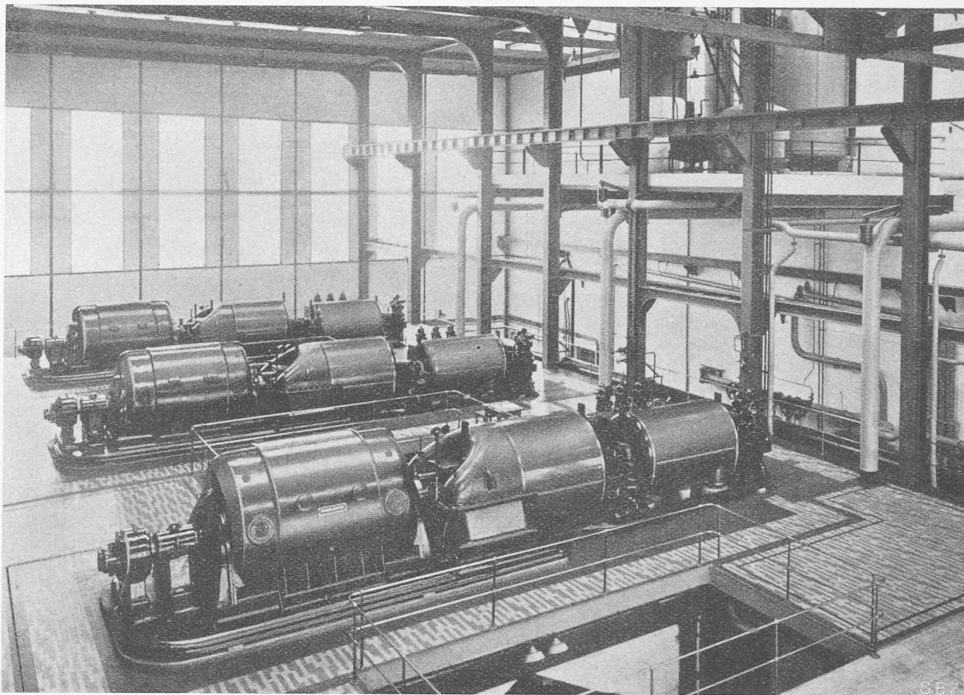


Abb. 9. Drei Dampfturbogruppen, 30 at, 3000 U/min, je 6400 kW max. Dauerleistung. — Brown, Boveri & Cie., Baden.

Turbinen waren durch den Konzessionsvertrag vorgeschrieben. Es musste aber auch das Tagesbelastungsdiagramm, das eine stark ausgesprochene Beleuchtungsspitze aufweist, und der relativ hohe Kalorienpreis der Kohle berücksichtigt werden. Die Kessel wurden daher für einen Druck von 34 at und eine Ueberhitzungstemperatur von 425 °C gewählt; ihre Heizfläche beträgt 350 m² entsprechend einer normalen Heizflächenbelastung von 48 kg/m² (Spitzenleistung 56 kg/m²). Die Kessel sind mit Economisern und Luftvorwärmern ausgerüstet, da einerseits das Speisewasser

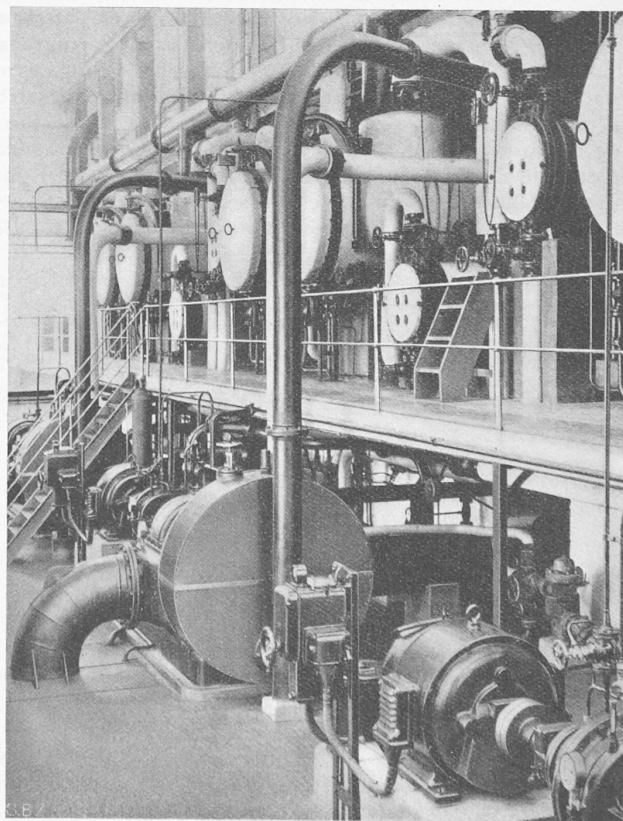
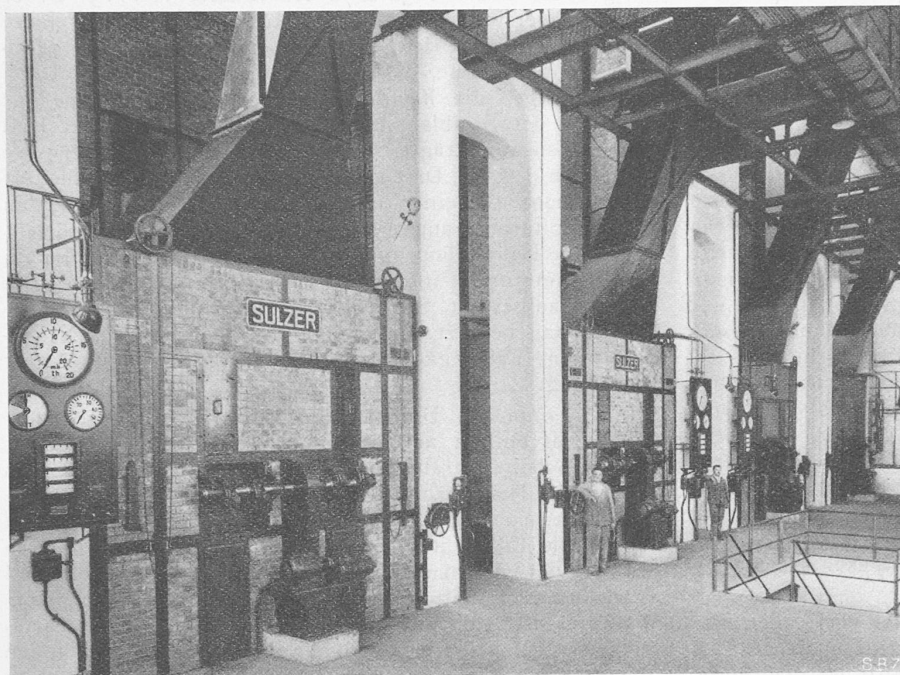


Abb. 10. Destillatoren, Vorwärmer, Kondensationspumpengruppen, von BBC.

DAS NEUE ELEKTRIZITÄTSWERK DER STADT BELGRAD.

Abb. 8. Front der Steilrohrkessel von je 350 m² Heizfläche, 34 at, 425°. — Gebrüder Sulzer, Winterthur.

in den Vorwärmern mit Anzapfdampf der Turbinen nur auf 125° C erwärmt wird, anderseits die grosse Feuchtigkeit der Kohle eine Vorwärmung der Verbrennungsluft erfordert.

Die Konstruktion der Zweitrommel-Zweibündel-Steilrohrkessel ist wegen der Belastungsschwankungen möglichst elastisch gehalten; das Rohrsystem ist an der oberen Trommel aufgehängt, während die untere Trommel durch Gegengewichte entlastet ist. Im Schnitt des Kessels, Abbildung 3, ist ersichtlich, wie die Kohle aus dem Bunker

weitere Absetzung der Flugasche erfolgt in dem weiten Rauchgaskanal, von wo aus die Flugasche auf Kote 76,00 in einer Bodenrinne durch Wasser weggespült wird.

Die Messinstrumente der Kessel, Dampf- und Wassermesser, Manometer, Wasserstandzeiger, CO₂- und CO + H₂-Anzeiger, sowie Thermometer sind neben dem Heizstand montiert, desgleichen die Anlass- und Regulierwiderstände der einzelnen Motoren. Ein registrierender Rauchgasprüfer, umschaltbar auf jeden Kessel, erlaubt eine dauernde Kontrolle der Feuerführung (Abb. 8, links).

zu den Vorschubtreppenrosten von 19 m² Fläche gelangt; die einstellbare Vor- und Rückwärtsbewegung der Rostelemente bewirkt ein allmähliches Rutschen der Kohle, während Asche und Schlacken durch Trichter in darunter liegende Apparate gleiten, wo sie im Wasser gelöscht werden und zerbröckeln. Rotierende Schaufelräder fischen sie langsam aus diesen Apparaten heraus und lassen sie in Transportwagen fallen. Die Verbrennungsluft von 170° C wird zonenweise von unten dem Rost zugeführt. Der Ueberhitzer ist im oberen Teil der Kessel zwischen den Rohrbündeln aufgehängt. Ein Economiser von 450 m² Heizfläche und ein rotierender Luftvorwärmer Ljungström befinden sich hinter den einzelnen Kesseln. Sie können im Falle einer dringenden Reparatur durch Klappen ausser Betrieb gesetzt werden. Da der natürliche Zug des 85 m hohen Kamins von einer gewissen Belastung an nicht mehr genügt, ist für jeden Kessel ein Saugzugventilator eingebaut, der gleichzeitig als Flugaschen-Ausschleuderer wirkt. Eine

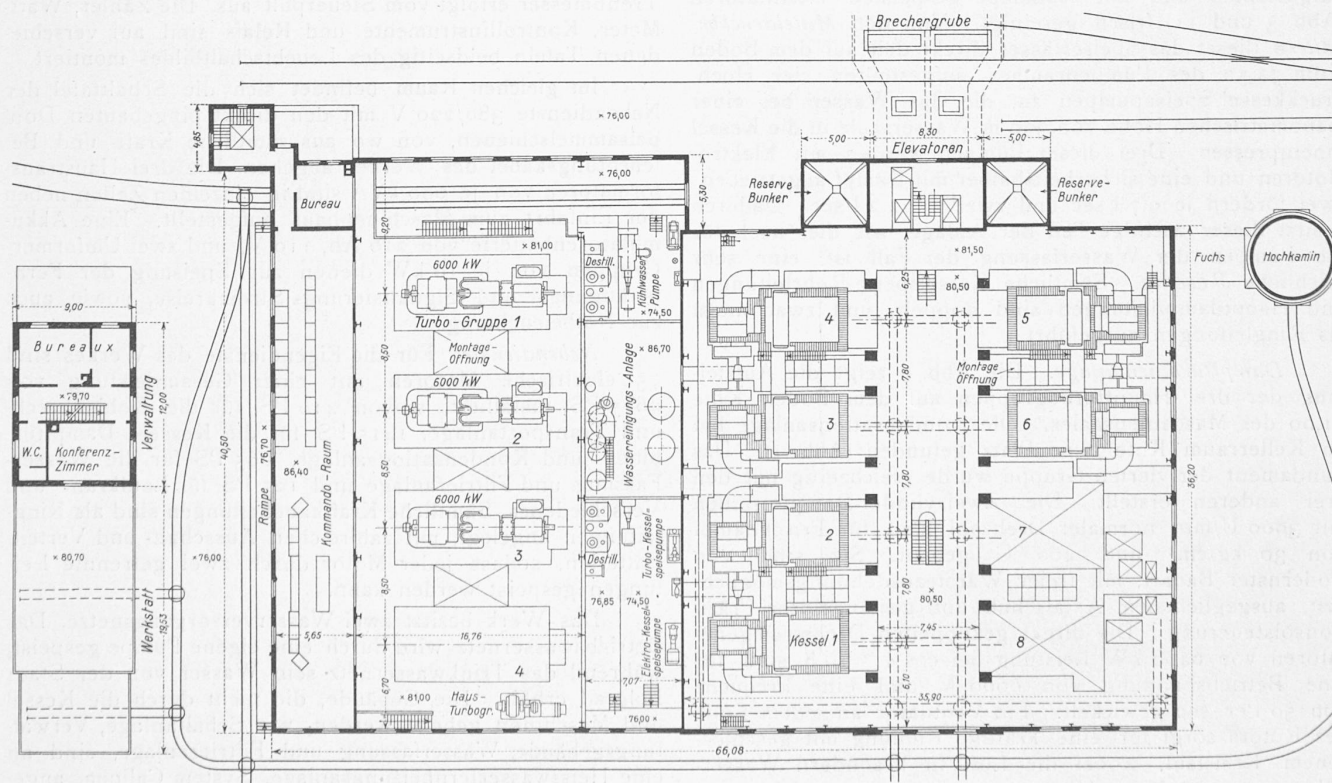


Abb. 7. Grundriss der Zentrale über dem Maschinen- und Kesselhausboden (Kote 81,0 bzw. 80,5). Links das Verwaltungs- und Werkstatt-Gebäude. — Masstab 1 : 500.

Die *Pumpenstation* (Abb. 12) enthält drei in Sternform aufgestellte vertikalachsige Doppelpropeller-Pumpen für 7,75 m manometrische Förderhöhe und 1500, bzw. 700 l pro sec, die von direkt gekuppelten 6000 voltigen Motoren angetrieben und wahlweise je nach der Anzahl der im Betrieb stehenden Gruppen eingeschaltet werden. Geeignete Regulierwiderstände erlauben, die Leistung der Pumpen den Spiegelschwankungen der Donau anzupassen. Am Eintritt der Pumpenkammern verhindern Grobrechen das Eindringen von Schwemmsel. In der *Filtrieranlage* wird auf Kote 73,65 durch Ueberläufe ein konstantes Niveau gehalten. Ein Kettenbürstenrechen von 30 mm Lichtweite dient zur Entfernung des Laubes und groben Schwemmsels. Die Erfahrung hat gezeigt, dass dieser Apparat nur zur Zeit der Laubführung oder sehr trüben Donauwassers in Betrieb gesetzt werden muss. Die eigentliche Wasserreinigung findet in den Siebmaschinen¹⁾ statt, wo das Wasser zwangsweise durch Drahtgewebe aus Phosphor-Bronze von 0,5 mm Maschenweite geführt wird. Die rotierenden, endlosen Siebbänder werden kontinuierlich durch Wasserbespritzung, im Winter durch erwärmtes Wasser, gereinigt. Zwischen den einzelnen Kammern sind Schieber eingebaut, die eine beliebige Wasserführung und die Revision der einzelnen Apparate ohne Betriebsunterbrechung gestatten.

Zur Kesselspeisung wird Kondensat verwendet, wovon durch den Betrieb etwa 5 % verloren gehen, sodass es ständig mit Donauwasser ergänzt werden muss. Dieses hat eine durchschnittliche Härte von 8,7 % D und bedarf einer chemischen Reinigung, die nach dem bekannten Kalksodaverfahren erfolgt. Die entsprechende Anlage befindet sich auf einem Podest des Pumpenraumes auf Kote 86,70. Auf dem selben Podest (Abb. 3) stehen unter 7 at Druck zwei sogenannte Mitteldruckbehälter von je 15 m³ Inhalt, in die das vorerwärmte Kondensat und das chemisch behandelte Zusatzwasser gepumpt werden. Diesem wird zur Beseitigung einer allfällig verbleibenden Härte und zur Erzeugung einer gewissen Alkalität als Schutz gegen Korrosion durch Gas etwas Natriumtriphosphat beigegeben. Ein Teil des Kondensates wird ständig mit Hilfe der auf einer Galerie des Pumpenraumes auf Kote 76,80 aufgestellten und mit Abdampf gespeisten Destillatoren (Abb. 3 und 11) frisch gereinigt. Von den *Mitteldruckbehältern* fliesst das Speisewasser direkt den auf dem Boden Kote 74,50 des Pumpenraumes aufgestellten vier Hochdruckkessel-Speisepumpen zu, die das Wasser bei einer manometrischen Höhe von 390 m Wassersäule in die Kessel hineinpressen. Drei dieser Pumpen werden mit Elektromotoren und eine sicherheitshalber mit Dampf angetrieben; zwei fördern je 9,7 l/sec und zwei je 22,2 l/sec. Dadurch besitzt dieser wichtige Teil der Anlage, wie dies auch für die Pumpen der Wasserfassung der Fall ist, eine sehr reichliche Reserve. Sämtliche Kesselspeise-Rohrleitungen und Hauptdampfleitungen sind doppelt, und zwar meist als Ringleitungen ausgeführt.

Dampfturbinenanlage. Die Abb. 9 zeigt die Aufstellung der drei Hauptturbogruppen auf dem Boden Kote 81,00 des Maschinensaales. Die Kondensationsanlage hat im Kellerraum Kote 76,00 Platz gefunden (Abb. 4). Das Fundament der vierten Gruppe wurde gleichzeitig mit den drei anderen erstellt. Die Zweizylinder-Dampfturbinen mit 3000 U/min normaler Drehzahl sind für Frischdampf von 30 kg/cm² und 400 °C gebaut. Sie sind von modernster Bauart, mit freier Wärmeausdehnungsmöglichkeit, ausgeglichenem Axialschub und gestängeloser Präzisionsölsteuerung. Die direkt gekuppelten Drehstromgeneratoren von 6400 kW Leistung bei $\cos \varphi = 0,8$ sind für eine Betriebsspannung von 6600 V und eine Frequenz von 50 Per./sec gewickelt. Ein Ventilator an jedem Ende des Rotors sorgt für eine kräftige Kühlung mit geschlossenem Kreislauf, wobei die Luft in besondern Wasserkühlern abgekühlt wird.

¹⁾ System Rich. Mensing, Neustadt a. d. H. Näheres siehe S. 222.

Der zweiteilige Kondensator jeder Turbogruppe benötigt bei Vollast 1830 m³/h Kühlwasser von 15 °C; er ist mit unverzinnnten Messing-Kühlröhren ausgerüstet. Jeder Turbogruppe entspricht im Pumpenraum auf Kote 74,50 eine Pumpengruppe, die auf gemeinsamer Welle die Kühlwasserpumpe, die Kondensatpumpe und die Pumpe zur Speisung des Strahlapparates für das Ansaugen der Luft im Kondensator trägt. Jede Gruppe wird normalerweise mit einem 125 PS Drehstrommotor oder beim Ausbleiben des Stromes mit einer automatisch in Tätigkeit tretenden Hilfsdampfturbine angetrieben (Abb. 10).

Eine Hausturbogruppe von 540 kVA mit Niederspannungsgenerator ist in der Nordostecke des Maschinensaales (Abb. 7) aufgestellt. Sie wurde hauptsächlich bei der Inbetriebsetzung benützt und bleibt zur Speisung der Nebendienste im Falle gänzlicher Abstellung des Werkes zur Verfügung.

Schaltanlage. Der südliche Anbau des Hauptgebäude-Komplexes enthält auf vier Stockwerke verteilt die elektrische Schaltapparatur des Werkes (siehe Abb. 3). Das Prinzip der Hochspannungsschaltanlage ist denkbar einfach; es besteht aus einem Doppelsammelschienensystem, an dem sowohl die Kabellösungen der drei Generatoren, wie auch die der vier abgehenden Leitungen und die Pumpen- und Transformatorenleitungen des Werkes angeschlossen sind. Während die Kabelanschlüsse und die Strom- und Spannungswandler der verschiedenen Hochspannungsleitungen in einzelnen Zellen der Galerie auf Kote 76,00 installiert sind, haben die Schalter, Trennmesser und Sammelschienen im Raume Kote 78,20 und 79,20 Aufstellung gefunden. Die für die hohe Kurzschlussstromstärke des Werkes bemessenen Oelschalter sind in getrennten, stark armierten Explosionskammern untergebracht, sodass im Schaltraum nur ihre Deckel sichtbar sind.

Ueber dem Kabelraum befindet sich auf Kote 86,40 der Kommandoraum der Hochspannungs- und der Niederspannungsanlage. Trotz der Einfachheit der Anlage ist mit Rücksicht auf grössere Betriebssicherheit ein Leuchtschaltbild mit Schaltfehlerschutz, System Brown, Boveri & Cie., im Kommandoraum installiert worden. Die Fernbetätigung der Oelschalter und die Befehlsabgabe zur Betätigung der Trennmesser erfolgt vom Steuerpult aus. Die Zähler, Wattmeter, Kontrollinstrumente und Relais sind auf verschiedenen Tafeln beidseitig des Leuchtschaltbildes montiert.

Im gleichen Raum befindet sich die Schalttafel der Nebendienste 380/220 V mit den direkt eingebauten Doppelsammelschienen, von wo aus sämtliche Kraft- und Beleuchtungskabel des Werkes abgehen. Die drei Haustransformatoren von je 600 kVA sind in einzelnen Zellen neben der Einfahrt zum Maschinenhaus aufgestellt. Eine Akkumulatorenbatterie von 216 Ah, 110 V, und zwei Umformergruppen von je 10 kW dienen zur Speisung der Fernbetätigungs- und Signalisierungs-Stromkreise, sowie auch zur Notbeleuchtung.

Nebendienste. Für die Eigendienste des Werkes sind 75 elektrische Motoren mit einer Gesamtleistung von 2615 PS installiert, wovon 410 PS für die Kohlenbrech- und Transportanlage, 1415 PS für die Kessel-, Dampfturbinen- und Kondensationsanlage, 665 PS für die Wasserfassung und Filtrieranlage und 125 PS für Laufkrane und Verschiedenes. Sämtliche Kraftkabelleitungen sind als Ringleitungen angelegt, mit zahlreichen Ausschalt- und Verteilbatterien, sodass jeder Motor durch zwei getrennte Leitungen gespeist werden kann.

Das Werk besitzt zwei Wasserversorgungsnetze. Das Betriebswassernetz wird durch eine eigene Pumpe gespeist, während das Trinkwassernetz sein Wasser von der Stadt Belgrad erhält. Die Gebäude, die nicht durch die Kessel und Maschinen geheizt werden, wie Schaltanlage, Verwaltungsgebäude, Wasserfassung und Filtrieranlage, sind an eine Heisswasserfernheizungsanlage, System Caliqua, angeschlossen. Diese besteht aus einem Primärnetz, in dem das mit Abdampf der Turbospeisepumpe oder durch einen

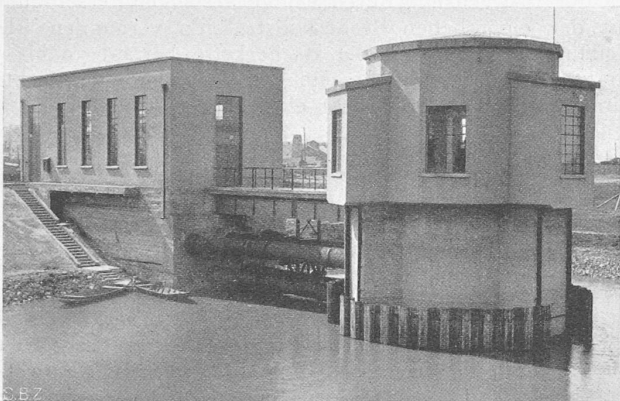


Abb. 11. Links Filterhaus, rechts Pumpenhaus der Wasserfassung.

Anzapffrischdampfumformer auf 165°C erhitze Wasser durch eine Spezialpumpe in einen geschlossenen Kreislauf gebracht wird, und aus einem sekundären Netz in jedem angeschlossenen Gebäude. Die Sekundärnetze sind gewöhnliche Zentralheizungen und erhalten ihre Wärme durch Wärmeumformer aus dem primären Netz.

Kabelleitungen und Unterstationen. Die Energieabgabe an die Stadt erfolgt in zwei Unterstationen, die mit je zwei Leitungen zu zwei Kabeln von $3 \times 185\text{ mm}^2$ Querschnitt mit der Zentrale verbunden sind; im ganzen sind 20,5 km Kabellänge, streckenweise direkt in den Boden oder in den bestehenden Kabelkanal, verlegt worden. Die Energie wird in Form von Drehstrom 50 Per./sec mit 6300 bzw. 3150 V Spannung abgegeben. Die Unterstation I umfasst deshalb drei Transformatoren von je 2500 kVA, 6300/3150 V. Im übrigen enthalten die Stationen Doppelschienen-Systeme mit den nötigen Schalt- und Schutzapparaten für die ankommenden und abgehenden Kabelleitungen, sowie in einem besondern Raum die Registrier- und Kontrollinstrumente der abgegebenen Energie.

Versuche. Die nach Fertigstellung der Montage durchgeführten Verdampfungs- und Belastungsversuche haben

erwiesen, dass die garantierten Werte der Kessel- und Turbogruppen mit beiden Kohlsorten eingehalten wurden; bei der Trifailerkohle muss allerdings eine künstliche Kühlung des Rostes vorgenommen werden. Die Verdampfungsmenge von 16500 kg/h im normalen Betrieb kann im forcierten Betrieb auf 19000 kg/h erhöht werden. Bei normaler Körnung der Kohle erreicht der Wirkungsgrad der Kessel 88 %, wobei die übrigen 12 % die Rostverluste an unverbrannter Kohle und die Kaminverluste darstellen. Bei Verwendung von Lignitkohle wurde folgender Kohlen-Verbrauch pro kWh der an den Klemmen des Turbo-Generators gemessenen Energie ermittelt bei:

Vollast einer Gruppe 6000 kW u. $\cos \varphi = 1$ 1,95 kg/kWh
Halblast einer Gruppe 3000 kW u. $\cos \varphi = 1$ 2,09 kg/kWh
bezogen auf die Bedingungen, die den garantierten Zahlen zu Grunde gelegt waren, nämlich:

Heizwert der Kohle 2000 kcal/kg
Kühlwassertemperatur 15°C
Dampfdruck 30 kg/cm² abs.
Dampf Temperatur am Turbineneintrittsventil . . . 400°C

Diese Kohlenverbrauchsahlen sind um einige Prozente niedriger als die von den Konstrukteuren der Kessel und der Dampfturbinen solidarisch gegebenen Garantien.

*

Die Projektierung und Bauleitung, sowie die Kollaudierung und Inbetriebsetzung der Anlagen lag, wie gesagt, in den Händen der Schweiz. Elektrizitäts- und Verkehrs-Gesellschaft, Basel, die die Baupläne und statischen Berechnungen der Hoch- und Tiefbauarbeiten dem Ingenieurbureau für Tiefbauarbeiten der Buss A.-G., Basel, übertrug. An der Konstruktion und an den Lieferungen für die neue Zentrale haben sich folgende Hauptunternehmungen und Lieferanten beteiligt: Simplon-Avala, Belgrad (Ing. Dr. h. c. F. Rothpletz, Aarau), für die Erd-, Beton- und Maurer-Arbeiten; Pieux Franki, Liège, für die Pfahlgründung; Splosna stavbena družba (Allgemeine Bau-gesellschaft), Maribor, für die Eisenkonstruktion der Gebäude; Gebr. Sulzer A.-G., Winterthur, für die Kesselanlage,

Dampfleitungen, Pumpen, chemische Wasservorbereitung, Hausturbogruppe und für die Niederdruckheizungsanlagen und die Wasser-Zuleitungsrohre; Brown, Boveri & Cie., Baden, für die Turbo-Gruppen, die Schaltanlage und sämtliche Elektromotoren; Ateliers de Sécheron, Genf, für die Transformatoren der Unterstationen; Carl Maier & Cie., Schaffhausen, für die Schaltapparatur der Unterstationen und diverse Verteil-Batterien des Werkes; Câbleries et Tréfileries de Cossonay S. A., für die Hoch- und Niederspannungskabel; Maschinenfabrik Rüeegg & Cie., Basel, für die Kohlenbrech- und Transportanlage; Maschinenfabrik Rüeegg & Cie. gemeinsam mit der Buss A.-G., Basel, für die Verladebrücke; Caliqua A.-G., Basel, für die Heisswasser-Fernheizungsanlage; Rich. Mensing, Neustadt a. d. Haardt, für die Kühlwasserreinigungsanlage.

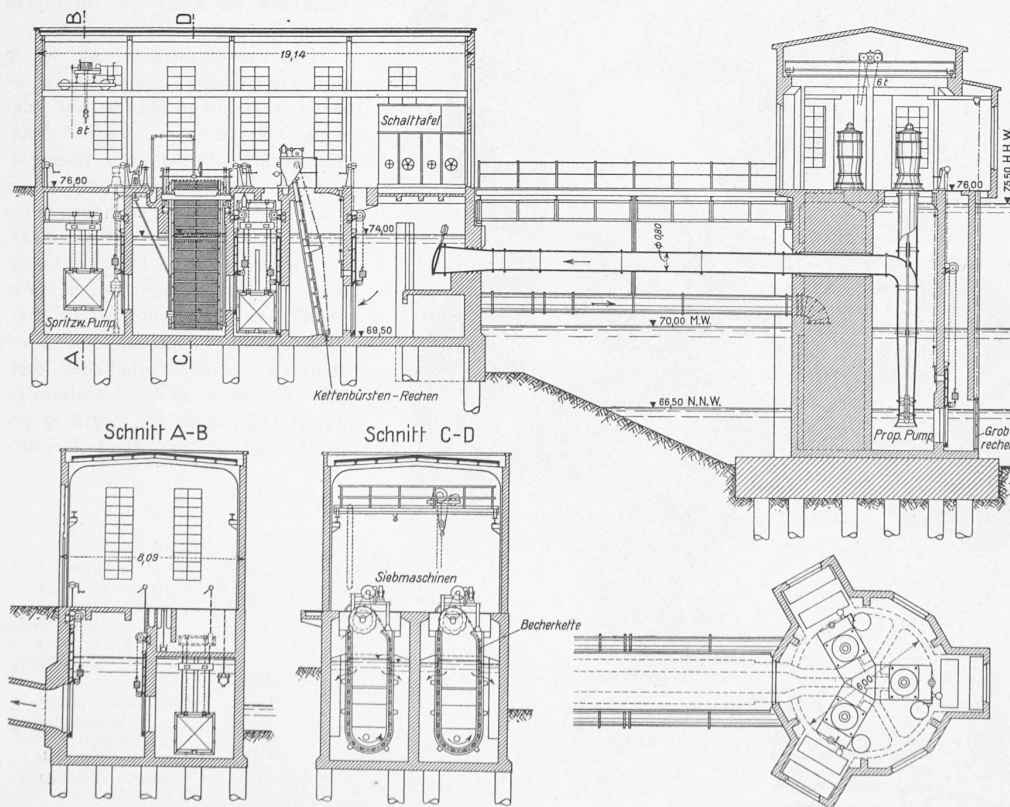


Abb. 12. Wasserfassung und Filteranlage System Mensing, im Kohlenhafenbecken des neuen Elektrizitätswerks Belgrad. — 1 : 300.