Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 103/104 (1934)

Heft: 2

Artikel: Umbau und Erweiterung des Maschinen-Laboratoriums der E.T.H. mit Fernheizkraftwerk: Konstruktives

Autor: Soutter, P.E. / Meier, Max

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-83240

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: 25.07.2025

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

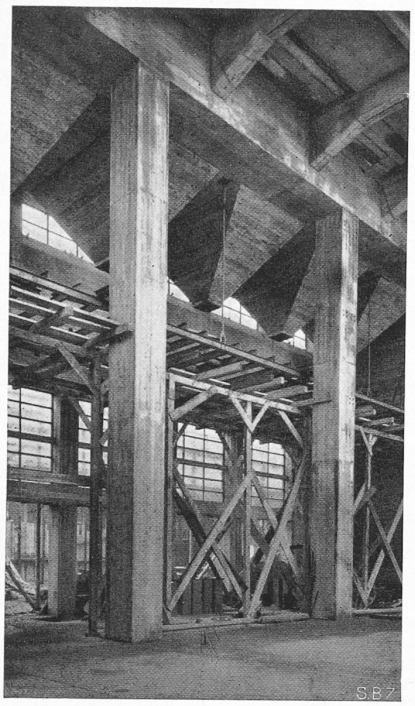

Abb. 28. Kesselhaus gegen Maschinenhalle (26. 1. 32).

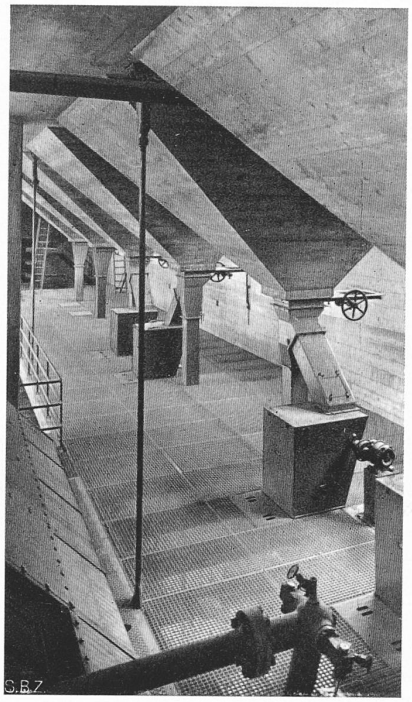

Abb. 29. Silotrichter mit Kohlen-Waagen.

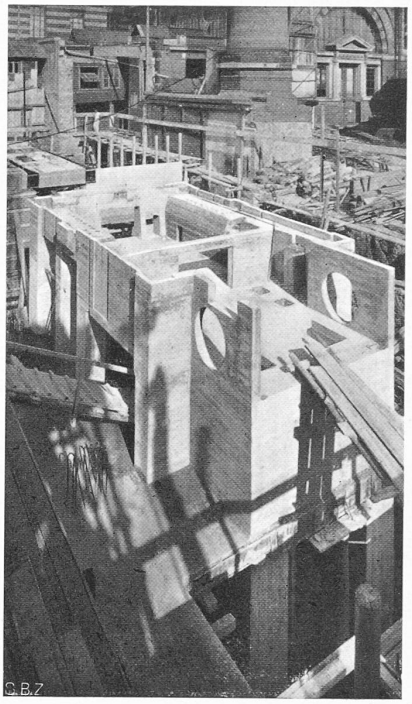

Abb. 30. Fundament des Kessels Nr. 1 (23. 7. 31).

Umbau und Erweiterung des Maschinen-Laboratoriums der E. T. H., mit Fernheizkraftwerk.

Konstruktives.

(Schluss von Seite 9.)

von Dipl. Ing. P. E. SOUTTER, Zürich.

Fundationen. Sämtliche Tragkonstruktionen sind konsequent durch die Moränedecke hindurch auf den Molassefels fundiert, da auch die kleinsten ungleichmässigen Setzungen infolge der recht komplizierten Gestaltung der mit einander steif verbundenen, verschieden schweren Hochbauteile gefährliche Rissbildungen hätten verursachen können. Das Vorhandensein eines mit Sand und Schutt aufgefüllten alten Bachbettes mitten durch die Baugrube zwischen Sonneggstrasse und Clausiusstrasse erforderte eine zum Teil tiefere Fundation als vorgesehen war. Man entschloss sich, das ganze Kesselhaus tiefer zu legen, wodurch auch ein zweiter Keller gewonnen wurde. Die maximal zulässige Bodenpressung beträgt 5 kg/cm²; da die mergelige Molasse bei feuchtem Wetter sofort verwittert, wurde jeweils die obere Molasseschicht erst im letzten Moment ausgehoben und die Sohle unmittelbar darauf mit einer Magerbetonschicht abgedeckt.

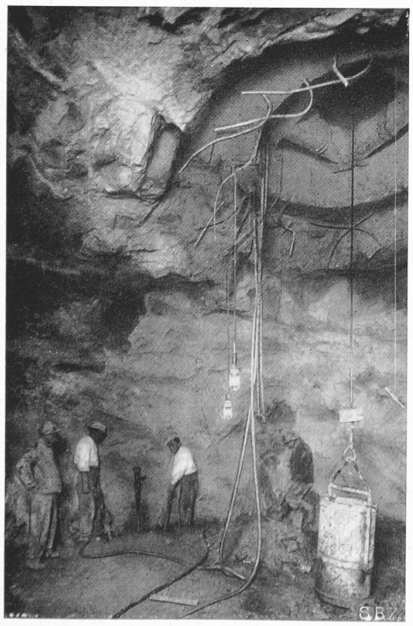

Abb. 31. Harter, standfester Molassefels am Grunde des rd. 45 m tiefen Kohlenförderschachtes.

Kesselhaus (Abb. 27 bis 33). Die tiefern Kellerwände sind zum Teil direkt an den Fels anbetoniert und mit einer Sika-Beimischung von 9 kg/m³ Beton gegen eindringende Feuchtigkeit isoliert. Die übrigen Aussenwände sind aussen mit einem Sikaverputz und oberhalb der Sickerleitungen mit einer Steinpakkung versehen. Die Decken auf Kote 452,00 und 456,00 bestehen lediglich aus Versteifungsträgern mit einer Decke aus fertigen Rapidbalken, berechnet für eine Nutzlast von 1000 kg/m², die durch eine ebenfalls abmontierbare verschraubte Eisenkonstruktion unterstützt sind. Diese abnehmbare Konstruktion war notwendig wegen des spätern Einbaues von zwei weiteren Hochdruckkesseln, von denen Kessel II inzwischen bereits installiert worden ist. Das Kesselhaus selbst besteht aus einstieligen, oben und unten teilweise eingespannten Rahmen. Der horizontale Schub am Fuss der Rahmenstiele wird durch einen Plattenstreifen auf die Versteifungsträger übertragen. Ausser den ständigen Lasten und den Windbelastungen wurde ein Temperaturunterschied $(t_i - t_a)$ von 50° in Rechnung gesetzt. Um im Winter die Bildung von Schwitzwasser an der obern Südwand zu vermeiden, ist die Wand in ihrem Kern mit Schlackenplatten isoliert. In sämtlichen Unterzügen sind für die Montage der Kessel und die Aufhängung von Rohrleitungen Jordalschienen einbetoniert.

Besondere Schwierigkeiten bot das Aufsetzen des Kühlturmes auf die Silos, da dies erst beschlossen wurde, nachdem der Bau bereits in Angriff genommen war. Die betreffenden Silowände mussten entsprechend verstärkt und oben durch ein System von Trägern so versteift werden, dass die Windkräfte vom Kühlturm auf die windsteifen Konstruktionen des Kesselhauses übertragen werden konnten. Wegen Platzmangel sind im Kesselhaus nur zwei Pfeiler gestellt worden, die wegen der geringen Steifigkeit der Decken entsprechend knicksicher dimensioniert werden mussten. Die zwischen dem Pfeiler und der Kaminwand bezw. Südwand gespannte Silowand wirkt als Scheibe, übernimmt die Silobelastung, die Decke über dem Kesselhaus und einen Teil der Kühlturmbelastung, was vor allem hohe Schubbeanspruchungen verursachte. Der Waagenpodest in Eisenkonstruktion ist mittels einstellbarer Zugstangen an die Silos gehängt und so bemessen, dass mit Rücksicht auf die vorgeschriebene Genauigkeit der Waagen eine max. Durchbiegung von 2 mm nicht überschritten wird (Abb. 29).

Hochkamin (Abb. 33/35). Die Totalbelastung der Fundamentplatte beträgt rd. 1000 t. Da im definitiven Zustand Kamin und Kühlturm für die Aufnahme der Windkräfte zusammenwirken, der Kühlturm aber nicht gleichzeitig mit

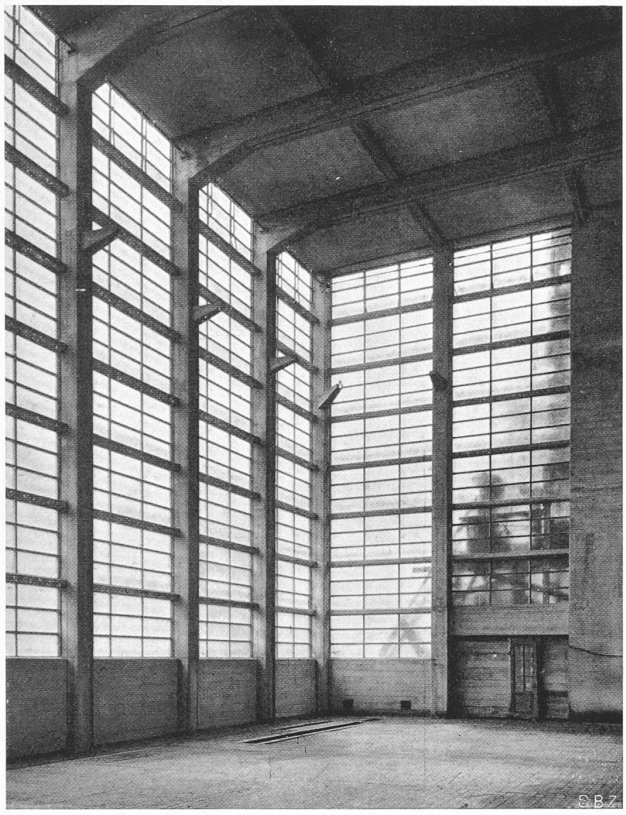

Abb. 32. Inneres des Kesselhauses im Rohbau.

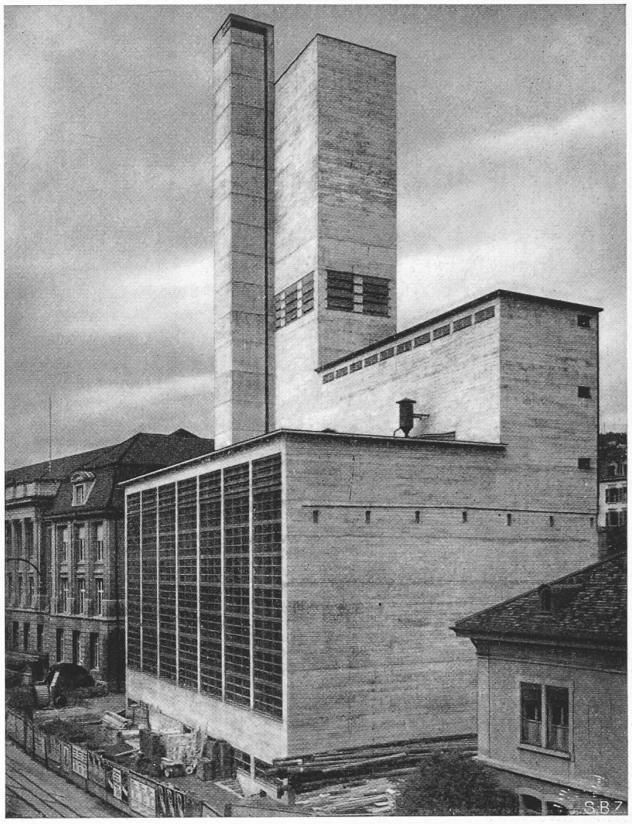

Abb. 33. Kesselhaus, Silobau, Kühlturm und Kamin, aus Süden.

Eisenbeton-Konstruktion von Dipl. Ing. P. Soutter, Zürich. — Architektonische Gestaltung Prof. O. R. Salvisberg, Zürich.

dem Hochkamin hochgeführt werden konnte, war für seine Dimensionierung der Bauzustand mit einer Windbelastung von 100 kg/m² massgebend. Für den definitiven Zustand wurde eine oberhalb der Decke über den Silos wirkende Windbelastung von 150 kg/m² in Rechnung gesetzt. Da der Förderschacht zum Lettentunnel in die Kaminfundamentplatte einmündet, wurde der Anschluss mittels einer horizontalen Fuge mit Kupferblech und Kitt so ausgebildet, dass keine vertikalen Kräfte von der Fundamentplatte auf die Schachtverkleidung übertragen werden. Um jede Lockerung des Baugrundes zu vermeiden, hat man die obern 6 m des Schachtes von Hand ausgehoben und die Sprengungen erst in einer grösseren Tiefe vorgenommen. Der ganze Kamin oberhalb der Hofdecke wurde mit einem Beton von bestimmter granulometrischer Zusammensetzung mit 400 kg Spezialzement pro m³ Beton betoniert. Neben dem Eigengewicht und den Windkräften berücksichtigt die Berechnung Temperaturunterschiede ($t_i - t_a$) der Wände des Kaminschaftes von 40°. Dieser Temperaturunterschied wurde für eine maximale Rauchgastemperatur von 250° als Mittelwert verschiedener Berechnungen eingesetzt. Das Futter, geliefert von Emch & Co., Winterthur, besteht aus Lausener Chamotte bezw. Langenthaler Radialvollsteinen, aussen mit Kieselgurplatten isoliert. Die horizontalen Ringverstärkungen des Kaminschaftes bezwecken, neben ihrer versteifenden Wirkung, die Belastung des Futters in gewissen Abständen dem Kaminschaft zu übertragen und zwischen Mantel und Futter Luftzirkulationsräume abzuschliessen. Der Abstand dieser Verstärkungen (6,7 m) wurde so gewählt, dass die Schalungselemente von Ring zu Ring umgesetzt werden konnten. Mit Rücksicht auf die hohen Temperaturen wurde auf eine Betonringverstärkung des Kaminkopfes verzichtet und nur die Wandarmierung entsprechend verstärkt, um den Kopfteil möglichst elastisch zu gestalten und Angriffsflächen für Russablagerungen zu vermeiden. Die Bedienungstreppe ist in Eisen konstruiert und nachträglich versetzt, um den Schalungsvorgang zu vereinfachen. Die Querriegel des Lichtschlitzes sind als fertige Elemente versetzt und speziell für die Schubsicherung des zusammenwirkenden Querschnittes Hochkamin/Kühlturm bei Windbelastung bemessen worden.

Kühlturm. Die Windkräfte werden mittels biegungssteifer Rahmen, die an den oberen Ecken nur horizontale, bezw. vertikale Kräfte vom Kühlturm erhalten, auf die Unterkonstruktionen übertragen. Der untere Teil des Kühlturmes enthält einen Wasserbehälter von 140 m³ Inhalt, dessen Sohle mit Rücksicht auf die sehr beschränkte Bauhöhe als Kassettendecke ausgebildet wurde. Die Jalousien sind als Fertigstücke versetzt und lose in die vertikalen Rippen eingelegt, sodass über dem Behälter die Rippen allein sämtliche Beanspruchungen aufzunehmen haben. Der obere Teil ist in doppelwandiger Konstruktion ausgeführt, damit ein Durchsickern von Wasser und die Bildung von Wasserflecken an den Aussenflächen verunmöglicht wird. Die innere, 8 cm starke, nicht belastete Schale ist von der eigentlichen Tragkonstruktion vollständig getrennt, an den Kontaktflächen mit Asphaltpappe isoliert (Abb. 27, Schnitte). Die Tragkonstruktion besteht aus einem durch eine äussere Schale versteiften Skelett, dessen horizontale Rahmen mit vertikalen Sickerröhren versehen sind, damit zwischen den Schalen allfällig vorhandenes Sickerwasser abfliessen kann. Die Betonmischung beträgt durchwegs 400 kg Spezialzement pro m³ Beton. Der Kühlturm musste zum Teil bei sehr niedriger Aussentemperatur (bis —10°) betoniert werden. Das Kiessandmaterial wurde dabei vor dem Mischen mit einer entsprechenden Vorrichtung auf Blechtafeln vorgewärmt und der Kühlturm inwendig mit Koksöfen erwärmt, sodass auch bei dieser niedrigen Aussentemperatur der Beton bei seinem Einbringen in die Schalung +20° bis +30° Wärme aufwies.

Maschinenlaboratorium, zweite und dritte Bauetappe. Beim *Umbau* des alten Hauses sind die eisernen Unterzüge der obersten Decke mit aufgeschraubten Lamellen verstärkt worden, um das spätere Aufsetzen eines Aufbaues zu ermöglichen. Die Fassadenpfeiler wurden im Querschnitt stark reduziert und mussten durch kräftige Eisenbetonbrüstungen

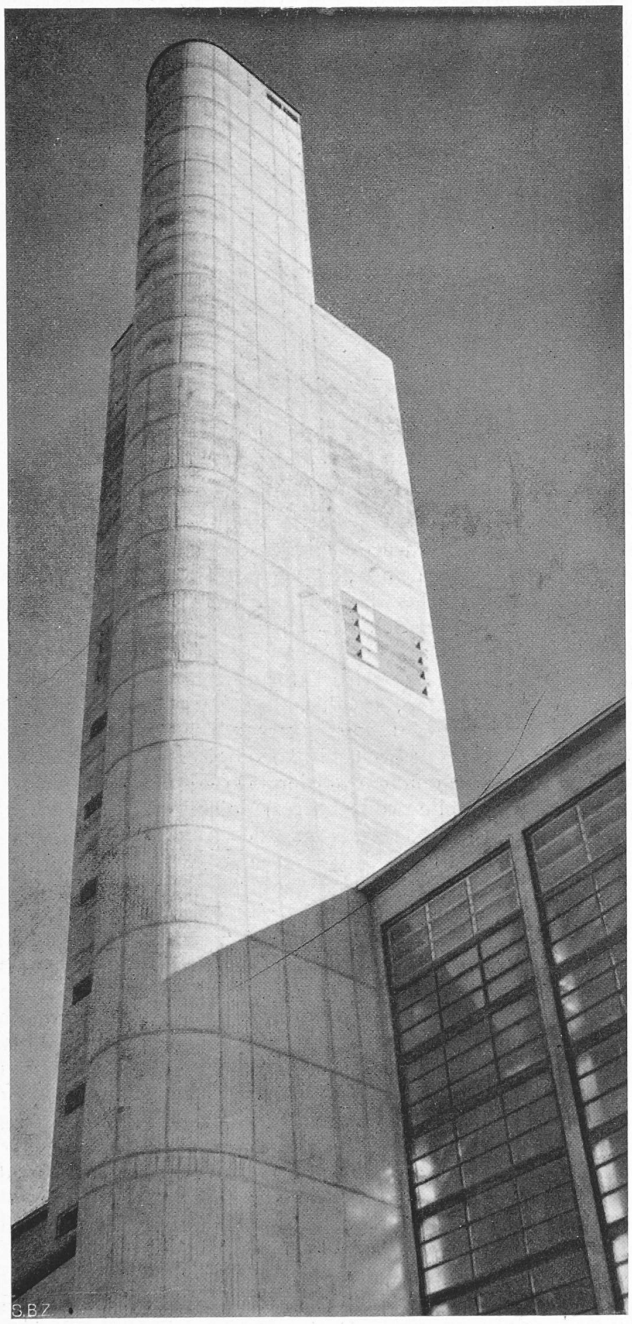

Abb. 34. Kamin aus Nordwest, dahinter der Kühlturm, rechts das Kesselhaus.

untereinander verbunden werden, um die nötige Steifigkeit der Fassade zu gewährleisten. — Der *Neubau* ist von Höhe Untergeschoss an mittels einer Dilatationsfuge vom alten Gebäude vollständig getrennt. In dieser Höhe ist die Fuge durch kräftige Gurtungen, die ins alte Gebäude eingreifen, unterbrochen, da es praktisch nicht möglich war, die Fuge konsequent durch die Fundamente durchzuziehen. An den Anschlusstellen am alten Gebäude sind die Fundamente des neuen Teiles so verbreitert, dass die maximale Bodenpressung höchstens 2 kg/cm² beträgt, um die Gefahr von Rissbildungen im Hochbau infolge einer Setzung der neuen Fundamente auf dem Molassefels praktisch auszuschalten. Die unterzuglosen Decken, die Spannweiten bis 13,1 m aufweisen, sind als unten offene Rohrzellendecken ausgebildet (Abb. 36/37). Sie sind bei grossen Spannweiten leicht im Gewicht und gestatten ohne Schwierigkeit Leitungen in die Decken zu verlegen. Die Decken sind mit einem Rabitzgeflecht abgeschlossen, was jedes Abzeichnen von Rippen im Deckenputz ausschaltet. Die Westfassade ruht mittels Pendelstützen auf den eisernen Rahmenstielen der Maschinenhalle. Hierdurch wird eine verschiedene Ausdehnung der Maschinenhalle und des Gebäudes ohne Widerstand ermöglicht. Mit Rücksicht auf die grossen Schubspannungen, die im Betonquerschnitt bei der Dilatationsfuge des Fassadenunterzuges auftreten, mussten die Auflagerkräfte mit Hilfe von eingebundenen Stahlschuhen an die Eisenkonstruktion abgegeben werden. Wegen der sehr kleinen Auflagerfläche auf der Eisenkonstruktion konnte nur das eine Balkenende direkt auf den Rahmenstiel abgestützt werden, während das andere durch ein Stahlpendelgelenk auf einem Absatz des ersten beweglich aufruht (Abb. 38; näheres vergleiche Schweiz. Bauzeitung, Bd. 101, Nr. 21).

Der Neubau schliesst sich an das Gebäude des naturwissenschaftlichen Institutes und ist von diesem durch eine Korkfuge vollständig getrennt. Die Beschreibung der Konstruktionen der im Bau begriffenen Etappe IV (Aerodynamisches Laboratorium und Werkstatt) bleibt einer spätern Veröffentlichung vorbehalten.

Die Eisenbetonarbeiten des Fernheizkraftwerkes und des Maschinenlaboratoriums erforderten insgesamt rd. 8000 m³ Beton und rd. 900 t Rund- und Profileisen. Projektierung und statische Berechnungen sind vom Ingenieurbureau des Verfassers durchgeführt worden; als Mitarbeiter wirkte insbesondere Dipl. Ing. A. Zuppinger mit. Ausführende Unter-

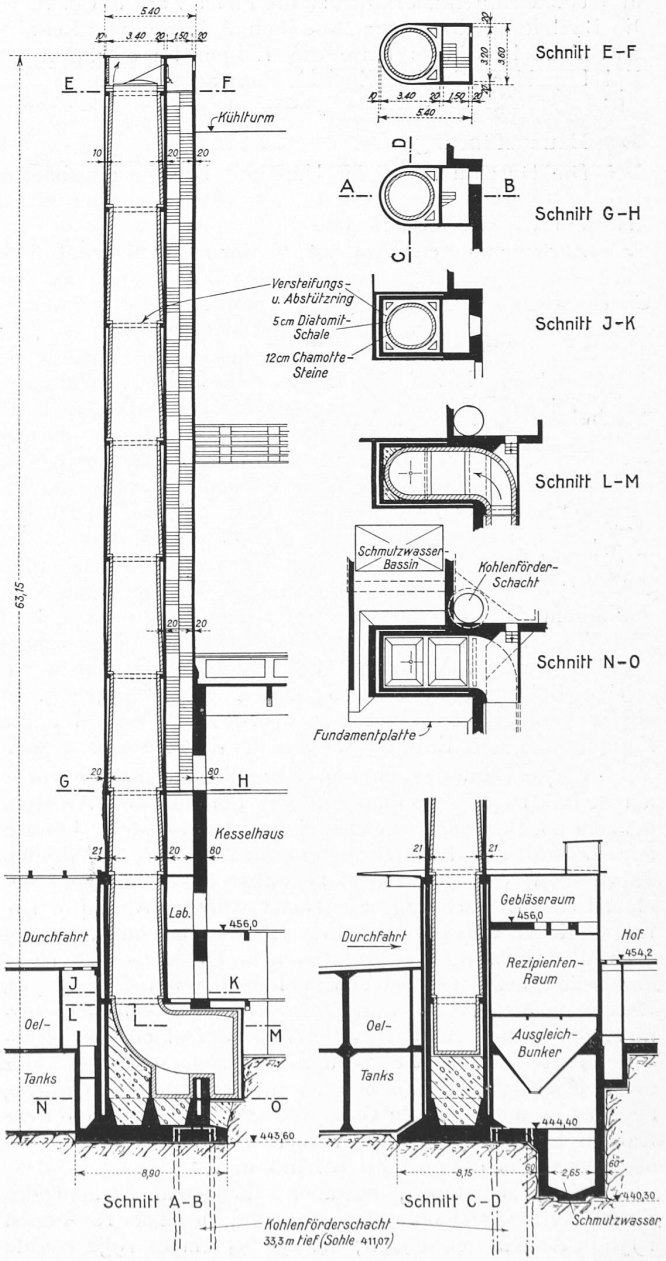

Abb. 35. Hochkamin des Fernheizkraftwerks. — Masstab 1 : 400.

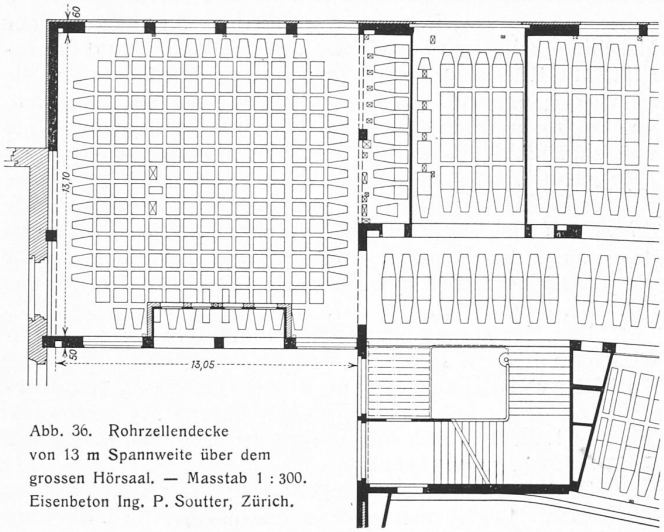

Abb. 36. Rohrzellendecke von 13 m Spannweite über dem grossen Hörsaal. — Masstab 1 : 300. Eisenbeton Ing. P. Soutter, Zürich.

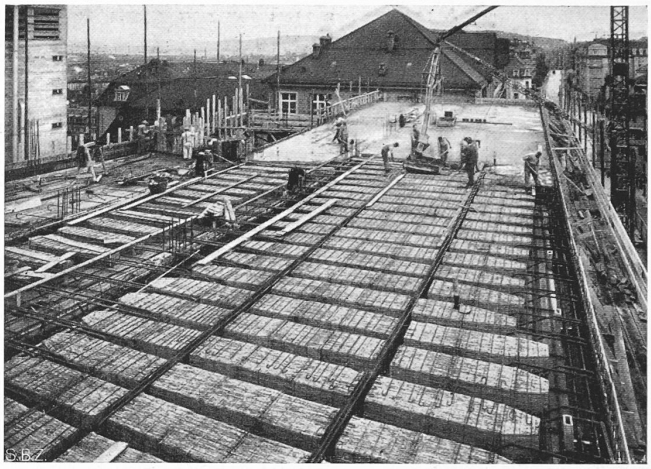

Abb. 37. Betonieren der Rohrzellendecken im Lehrgebäude (26. 4. 33).

nehmungen waren für das Fernheizkraftwerk mit Hochkamin und Kühlturm sowie Förderschacht die Firma Ed. Züblin & Co. A.-G. (Bauführung Dipl. Ing. M. Stahel) und für das Maschinenlaboratorium die Firma Baur & Co. A.-G. Die Bauleitung der bergmännischen Arbeiten von Schacht samt Tunnelanschluss hatte die Eidgen. Baudirektion an Dipl. Ing. Hans Studer (Zürich) übertragen.

*

Bauausführung.

Die Durchführung der Um- und Erweiterungsbauten erfolgte in vier Etappen und erstreckte sich über einen Zeitraum von viereinhalb Jahren.

Zur genaueren Abklärung der Bodenverhältnisse wurden auf dem noch freiliegenden Baugelände an der Clausiusstrasse schon im Jahre 1928 Probelöcher ausgehoben. Der max. Grundwasserstand erreichte Kote 452,70; der Baugrund bestand aus dem bekannten Molassefels des Zürichberges, auf dem noch eine Decke von Moräne aus der letzten Eiszeit lagert. Die Moräne selbst wird im Gebiete der Universität-Winterthurerstrasse als ausgesprochene „Zürcher Moräne" benannt und setzt sich hauptsächlich aus lehmig-sandigem, mit einzelnen Geröllen durchsetztem Material zusammen. — Der Molassefels ist ein Wechsel von Sandsteinen und Mergel und ändert in der Tragfähigkeit entsprechend dem Vorherrschen des einen oder andern Materials. Die Mergel kennzeichnen sich ausserdem dadurch, dass sie unter dem Einfluss von Luft und Wasser sehr schnell zersetzt bezw. in Lehm umgewandelt werden. Versuche über Tragfähigkeit haben zulässige Belastungen von 2,63 bis 4 kg/cm² ergeben. In einem geologischen Gutachten wurde der Weg für die Fundationen und Entwässerungen der Baugrube gewiesen.

Mit dem Bau der umfangreichen Fernheizkanäle wurde am 8. Juli 1930 begonnen und die tiefbaulichen Arbeiten bis zum 20. Dezember gleichen Jahres fertiggestellt. Je nach der Anzahl der Rohrleitungen wurden vier Kanaltypen vorgesehen, von denen drei begehbar ausgeführt und mit elektrischer Beleuchtung ausgerüstet wurden (Abb. 40). Die Kanäle liegen teils bis zur halben Höhe im Grundwasser, sodass die Dichtung der Dilatationsfugen alle 9 bis 12 m anfänglich etwelche Schwierigkeiten bereitete (Abb. 39). Durch nachträgliches Einspitzen von schwalbenschwanzförmigen Nuten und Ausstreichen derselben mit Igas-Spezialkitt wurden die besten Erfahrungen erzielt. Der tiefste Kanal, der im Fels bergmännisch vorgetrieben wurde, liegt 8,5 m unter der Universitätstrasse. Die Kosten für die Kanäle beliefen sich, ohne Rohrleitungen, auf 335 500 Fr. bei einer Gesamtlänge von rd. 800 m.

Die I. Bauetappe, bestehend aus dem Neubau des Kesselhauses samt Kohlenförderschacht, wurde am 18. August 1930 in Angriff genommen; am 15. September 1932 konnte der Versuchsbetrieb aufgenommen werden.

Die Baugrube wurde mit einem 18 t Bagger ausgehoben. Der angrenzende, 38 m hohe alte Kamin musste unterfangen und das Kesselhaus teilweise abgebrochen werden. Der Förder-Schacht wurde im Tagbau in Angriff genommen und zwar, aus Absteckungsgründen, von oben nach unten; diese Bauweise erforderte besondere Präzision in der Sprengzündung, die deshalb elektrisch erfolgte. Zum erstenmale konnte anlässlich dieser Schachtabteufung im Gebiete der Stadt Zürich ein geologisches Profil auf so grosse Tiefe aufgenommen werden. Das Material bestand fast durchwegs aus (stellenweise harter) Molasse (Abb. 31, S. 17).

In einem besonders konstruierten Fahrkorb wurden Material und Belegschaft in und aus der Tiefe befördert. Die Schachtwände wurden abschnittweise von oben nach unten betoniert, wobei die Schachtröhre an fünf Stellen durch Auflagevouten abgestützt ist; Schacht und Stollen sind mittelst Sickerleitungen entwässert. Zur Sicherung gegen Hohlräume zwischen Fels und Bauwerk wurden Zement-Injektionen vorgenommen. Schon vor Baubeginn hatten die SBB den Tunnel 30 m links und rechts vom Anschluss des Kohlenstollens durch Zement-Einpressungen gesichert.

Obschon die bergmännischen Arbeiten im Schichtenbetrieb möglichst beschleunigt wurden, wirkten sie sich auf den Baufortgang des Hochbaues sehr erschwerend aus. Sämtliche sichtbaren Betonmauern wurden schalungsroh angefertigt und bleiben unverputzt; die Schalung bestand aus gehobelten 20 cm breiten, parallel besäumten horizontalen Brettern mit verschränkt angeordneten Stössen. Auf Vorschlag der Unternehmung wurden sie mittels Patent-Schalschrauben auf die vorgeschriebenen Mauerstärken distanziert; das lästige „Drahten" mit all seinen Nebenerscheinungen fiel dadurch weg. Dieses System hat sich hervorragend gut bewährt; später wurde es dann noch

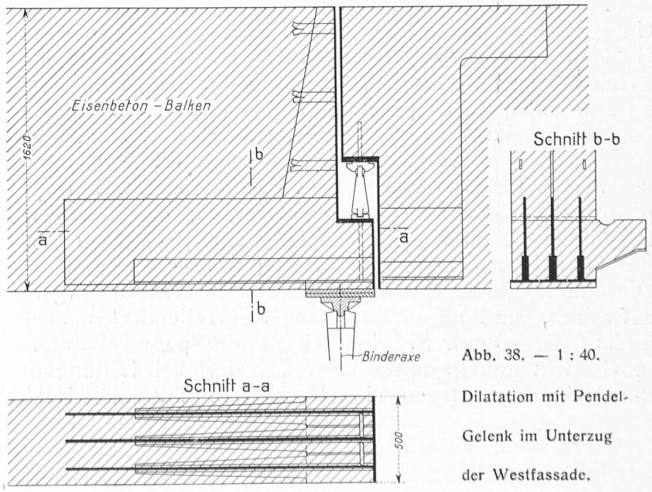

Abb. 38. — 1 : 40. Dilatation mit Pendel-Gelenk im Unterzug der Westfassade.

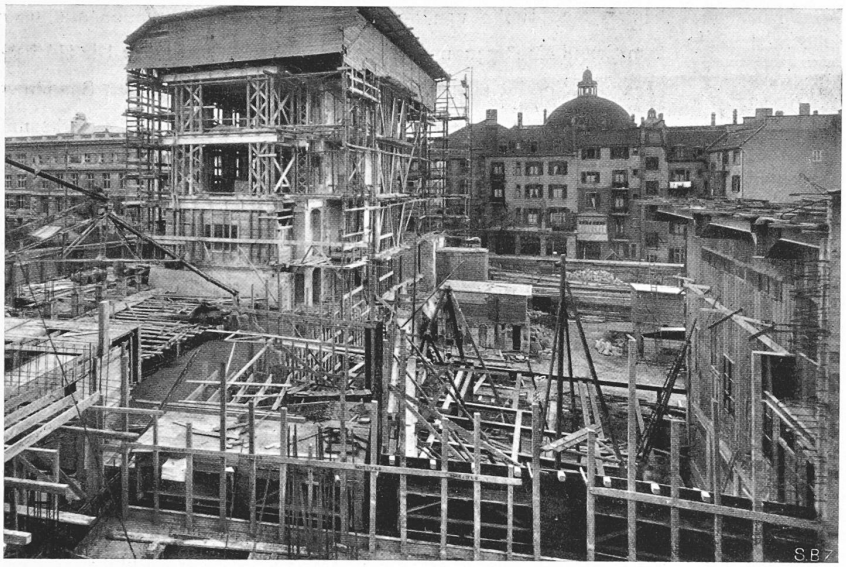

Abb. 38. Blick aus NW auf die Baustelle (8. 12. 1932). Hinten links Altbau mit Notdach, rechts davon die Holzverschalungen der drei erhalten gebliebenen alten Maschinen.

soweit vervollständigt, dass mit den gleichen Schalungsschrauben auch die Auflagerbolzen für ein „Profit"-Leichtgerüst kombiniert werden konnten. Die Stahlblechzargen für die Türen sind in die Schalungen eingebaut worden, um durch das Einbetonieren saubere Anschlüsse zu erreichen.

Vorgängig der II. und III. Bauetappe wurde der alte Turm abgebrochen. Der Abbruch der alten Halle, der Westwand und der Brandmauer des Lehrgebäudes erforderte grosse Sorgfalt auf die verbleibenden alten Bauteile, die mittels umfangreichen Spriessungen geschützt werden mussten (Abb. 38); ein Notdach schützte diesen Bauteil vor Verwitterung und Durchnässung. Der Granit-Rustikasockel, sowie die Backsteinverblendung wurden auf die rohe Betonmauerflucht des Neubaues zurückgearbeitet, um dadurch eine einheitliche Fassadengestaltung zu ermöglichen; die Hauptfassaden des Lehrgebäudes erhielten eine Kunststeinplattenverkleidung mit wärmeisolierender Kork- und Luftschicht. Abgesehen von baugesetzlichen Vorteilen ergab der Umbau des alten Hauses gegenüber völligem Abbruch und Neubau immerhin eine Einsparung von rd. 120 000 Fr.

Der Neubau des Lehrgebäudes ist im Gegensatz zur Maschinenhalle als Eisenbetonskelettbau mit unterzuglosen Rohrzellendecken hochgeführt. Im Innenausbau fanden weitgehend neue einheimische Materialien Verwendung und schaffen dadurch einen engen Bezug zwischen Schule, Laboratorium und Industrie.

Die IV. Bauetappe, umfassend die Aerodynamische Abteilung und die Werkstätten neben dem Kesselhaus an der Clausiusstrasse, ist zur Zeit noch in Ausführung begriffen; dieser Bauteil wird wegen der verschiedenartigen Zweckbestimmung der Räume als Stahlskelett mit ausbetonierten Feldern ausgeführt. Er bildet einen Annex der Maschinenhalle und lehnt sich aus diesem Grunde in seiner äussern Erscheinung und im Material an diese an.

Der Gesamtkredit für Umbau und Erneuerung des Maschinenlaboratoriums ist in einen Baukredit von 6 337 500 Fr. und einen Maschinenkredit von 3 842 500 Fr. unterteilt worden. Die Bauausführung konnte ohne Ueberschreitung der Baukosten im Rahmen des Kredites durchgeführt werden. Die reinen Baukosten der einzelnen Bauetappen betragen:

I. Fernheizkraftwerk	rd. 59 Fr./m³
II. Neubau Lehrgebäude und Halle	73 Fr./m³
III. Umbau- mit Erweiterung Lehrgebäude und Halle	68,85 Fr./m³
IV. Neubau Werkstattgeb.	rd. 41 Fr./m³

Hierin sind Mobiliar und Architektenhonorar enthalten. Max Meier, Arch.

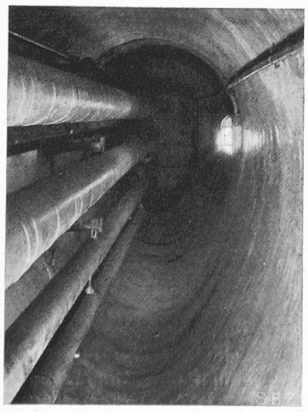

Abb. 40. Begehbarer Leitungskanal des Fernheizkraftwerkes.

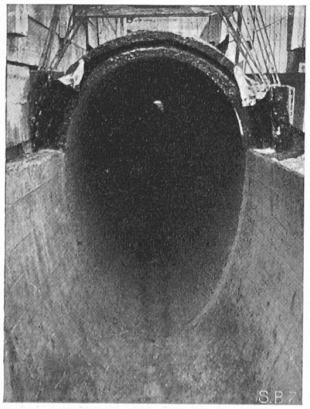

Abb. 39. Dilatationsfuge eines Heizkanals.

Die Dauerfestigkeit der Werkstoffe des Flugzeug- und Flugmotorenbaues.

In der Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt vom 4. und 28. November 1933 gibt *Kurt Matthaes* Versuchsergebnisse der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt Berlin-Adlershof bekannt, die in ihrem Bericht 337 niedergelegt sind. Hauptresultate:

I. Abhängigkeit der Dauerfestigkeit von der Anzahl der Lastwechsel. Die Dauerfestigkeit, d. h. jene Schwingungsamplitude, der ein Stoff eben noch unterworfen werden kann, ohne dass es zum Bruch kommt, nimmt bekanntlich mit der Zahl der Lastwechsel ab. Je nach dem Verlauf der diese Abhängigkeit darstellenden Kurve lassen sich drei Werkstoffarten unterscheiden:

a) Stoffe mit eindeutig feststellbarer *Dauerfestigkeitsgrenze*, d. h. einem Knickpunkt der Kurve, von dem ab sie horizontal verläuft. Sie liegt bei Stählen zwischen 1 und 10 Millionen, bei Reinaluminium im Bereich von 5 Millionen und bei Holz zwischen 20 000 und 2 Millionen Lastwechseln.

b) Stoffe, deren Kurve sich einer Horizontalen asymptotisch nähert. Dieser Gruppe gehören die Leichtmetallegierungen an, bei denen Brüche auch nach 100 Mill. Wechseln noch eintreten können.

c) Stoffe ohne Dauerfestigkeitsgrenze, denen z. B. Nickel und seine Legierungen angehören. Brüche können noch nach mehreren 100 Millionen Wechseln erfolgen.

II. Bruchform. Ermüdungsbrüche sind kontraktionslos und weisen einerseits eine glatte, vielfach mit Schichtlinien durchsetzte Dauerbruchfläche und anderseits eine rauhe Restbruchfläche auf. Eine kleine Restbruchfläche deutet auf geringe normale Betriebsbeanspruchungen hin, während die Schichtlinien die Ruhepausen angeben. Da zwischen Anriss und Durchbruch, nicht zu hohe Betriebsbeanspruchung vorausgesetzt, bei Kurbelwellen bis zu 50 Betriebstunden vergehen können, ist es möglich, durch Kontrolle Brüche im Betrieb zu vermeiden. — Die Dauerbruchflächen von Holz zeichnen sich durch gestufte, fast faserfreie Beschaffenheit aus.

III. Beanspruchungsfrequenz und Verfestigung. Der Einfluss der Frequenz auf die Schwingungsfestigkeit ist von Bedeutung bei höherer Temperatur und bei zusammengesetzter statischer und dynamischer Beanspruchung.

Durch eine grössere Anzahl Beanspruchungswechsel mit Amplituden von $3 \div 8\,\%$ unterhalb der normalen Dauerfestigkeit kann durch das Hochtrainieren die Dauerfestigkeit bis um $30\,\%$ erhöht werden.

IV. Einfluss statischer Vorspannung. Bei Stahl wurde gefunden, dass die Zug-Ursprungsfestigkeit σ_U auf Biegung rd. 1,7 mal so gross ist wie die Biege-Schwingungsfestigkeit σ_W. Ebenso ist für Lautal (36 kg/mm² Zugfestigkeit) $\sigma_U = 23$ kg/mm², $\sigma_W = 13$ kg/mm². Bei Drehbeanspruchungen sind die entsprechenden Werte 24, 15 und 9,5 kg/mm². Für Elektron *AZM* (34 kg/mm² Zug- und 17 kg/mm² Schubfestigkeit) ist $\sigma_U = 19$ kg/mm², $\sigma_W = 15$ kg/mm², $\tau_W = 7{,}5$ kg/mm².