

Zeitschrift:	Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	86 (1968)
Heft:	44
Artikel:	Das PTT-Betriebsgebäude in Zürich-Enge. IV. Ausführung der Schlitzwand, der Ankerpfähle und der Filterbrunnen
Autor:	Racine, Claude
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-70171

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: 25.01.2026

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

IV. Ausführung der Schlitzwand, der Ankerpfähle und der Filterbrunnen

DK 624.15.002

Von C. Racine, dipl. Ing. ETH, Firma Swissboring AG, Zürich

Nachdem in den vorangehenden Aufsätzen die konstruktive Konzeption der Baugrube, die bodenmechanischen Fragen und die an der Schlitzwand durchgeführten Deformationsmessungen erläutert worden sind, sollen nun in einem vierten Teil die ausführungstechnischen Probleme der speziellen Tiefbauarbeiten behandelt werden.

Der Auftrag gliederte sich in folgende Hauptaufgaben: 1. Provisorische Sicherung der Arbeitsplattform auf Höhe der SBB-Gleisanlagen durch eine rückverankerte Rühlwand längs der höher liegenden Gutenbergstrasse. 2. Sicherung der viergeschossigen Baugrube durch eine Schlitzwand System Rodio-Marconi. 3. Aufnahme von Auftriebskräften durch Ankerpfähle, die im Bauzustand vorübergehend auch als provisorische Druckpfähle zur Abstützung der Decken verwendet wurden. 4. Zusätzliche Sicherung der Baugrubensohle gegen Grundbruch durch tiefreichende Entlastungsbrunnen, die, teilweise mit Pumpen ausgerüstet, zur Entwässerung der Baugrube verwendet wurden.

Bei der Lösung dieser Aufgaben wurden teilweise neue, teilweise auch bekannte Verfahren, jedoch in einem bisher ungewöhnlichen Ausmass und bei schwierigen Bodenverhältnissen angewendet.

1. Rückverankerte Rühlwand längs der Gutenbergstrasse

Als Vorarbeit zur Schaffung einer Arbeitsplattform für die Schlitzwandarbeiten musste die Gutenbergstrasse durch eine vertikale Stützwand gesichert werden. Erwünscht war eine sprissfreie Konstruktion, um eine Behinderung der nachfolgenden Schlitzwandarbeiten zu vermeiden (Bild 28).

Ausgeführt wurde eine Rühlwand. Es handelt sich um ein wohlbekanntes Verfahren, dessen nähere Beschreibung sich erübrigt. Zu erwähnen bleibt nur, dass die Träger aus lärmtechnischen Gründen nicht gerammt, sondern in Bohrungen $\varnothing 318$ mm eingebaut und auf eine Einspannlänge von 3 bis 5 m einbetonierte wurden.

Die Rückverankerung verdient dagegen mehr Beachtung. Sie war bei ihrer Ausfüh-

itung im Jahre 1963 eine der ersten praktischen Anwendungen der Verankerungstechnik im Lockergestein in der Schweiz. Sie bestand aus 35 Lockergesteinsankern System «Tubfix» von 18 t Zugkraft, Länge zwischen 8,0 und 11,0 m. Beim patentierten Tubfix-Verfahren wird die Ankerkraft durch ein dickwandiges Stahlrohr übertragen. Die Verankerung im Boden erfolgt durch Injektionen auf einer durch Austrittsöffnungen im voraus bestimmten Verankerungsstrecke und die Verankerung im Bauwerk durch Verschraubung.

Das Ankerrohr wird in eine nach einem beliebigen Bohrverfahren ausgeführte Ankerbohrung eingebaut. Nach Rückzug der allenfalls notwendigen provisorischen Verrohrung erfolgt die Injektion in mehreren Phasen mit Hilfe von Injektionskolben, die in das Ankerrohr eingeschoben werden. Zwischen den einzelnen Phasen wird jeweils einige Stunden gewartet. Die erste Injektion wird mit einer plastisch bleibenden Mischung ausgeführt und ist als Ummantelungsinjektion gedacht. Sie füllt den ringförmigen Raum zwischen Ankerrohr und Bohrlochwandung vollständig auf. Sie verhindert den Austritt von Injektionsgut bei den nachfolgendeneigentlichen Verankerungsinjektionen und schützt das Ankerrohr gegen Korrosion. Nach jeder Injektionsphase wird das Ankerrohr mit Wasser ausgespült und steht dann bereit für die nächste Injektionsphase.

Die Eigenart des Tubfix-Verfahrens und gleichzeitig seine grossen Vorteile liegen in dieser Möglichkeit, mehrmalige Injektionen durchzuführen. Im vorliegenden Falle, wie im allgemeinen bei schlechten Bodenverhältnissen, stellen wiederholte Injektionen mit verschiedenen Injektionsgutzusammensetzungen und steigendem Druck eine ausgezeichnete Methode zur Erzielung einer einwandfreien Verankerung dar. Das unter Druck austretende Injektionsgut drängt den in der Verankerungsstrecke umliegenden Boden zurück und bildet nach Erhärtung eine Art «Zwiebel», die die Krafteinleitung in den Boden begünstigt (Bild 29).

Wie alle Anker, die nicht aus hochwertigem Vorspannstahl bestehen, darf der Injektionszuganker System Tubfix nicht als Vorspannanker betrachtet werden. Er eignet sich deshalb eher für Verankerungen, bei welchen ein gewisser Verlust an Spannkraft in Kauf genommen werden kann. Diese Bedingung war für die provisorische Verankerung der Rühlwand Gutenbergstrasse erfüllt. Jeder Anker wurde wohl einzeln mittels einer Spannpresse auf die vorgeschriebene Zugkraft gebracht, jedoch mehr im Sinne einer Kontrolle der Verankerung im Boden und um ein sattes Aufliegen der Spannmutter auf der Auflagerplatte zu gewährleisten.

Das Tubfix-Verfahren ist seit den ersten Anwendungen in den Jahren 1962 und 1963 weiterentwickelt worden, insbesondere durch Kombination mit vorgespannten Felsankern, System BBRV, die in ein vorgängig im Boden versetztes und injiziertes Tubfix-Rohr eingebaut werden. Durch diese Kombination können echte Vorspannanker grösserer Kapazität (100 t und mehr) ausgeführt werden.¹⁾

2. Schlitzwandumschliessung der Baugrube

Die Aufgabe bestand in der Ausführung einer ungewöhnlich tiefen Umschliessungswand bei schwierigen Bodenverhältnissen. Man stellte an das zu wählende Verfahren folgende technischen Bedingungen:

- Die nach den Grundbruchberechnungen erforderliche maximale Wandtiefe von 36 m musste mit Sicherheit erreicht werden.
- Der Untergrund war mit zahlreichen Blöcken durchsetzt (Bild 30). In Frage kam nur ein Verfahren, das diese Blöcke ohne Beeinträchtigung der Wandqualität durchfahren kann.
- Teile des Untergrundes waren als grundbruchgefährlich zu betrachten. Man musste deshalb hohe Anforderungen an die Wandkontinuität stellen.

¹⁾ Siehe im «Bulletin technique de la Suisse romande», Nr. 22 vom 30. Okt. 1965 den Aufsatz von Ch. Comte: L'utilisation des ancrages en rocher et en terrain meuble.

Bild 28. Rühlwand längs der Gutenbergstrasse mit Longarine und Tubfix-Ankern 18 t

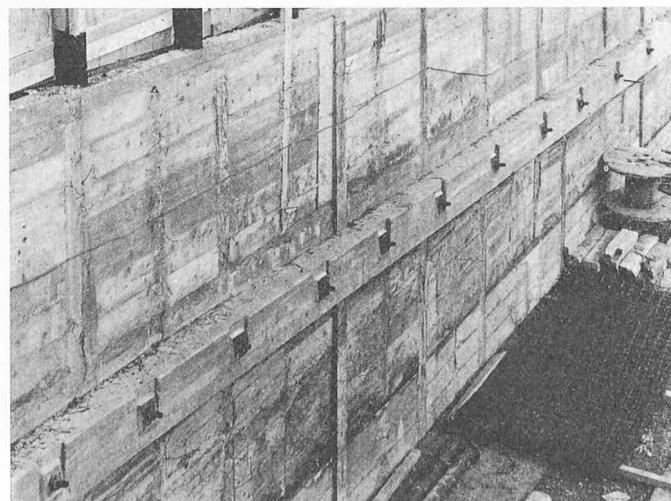
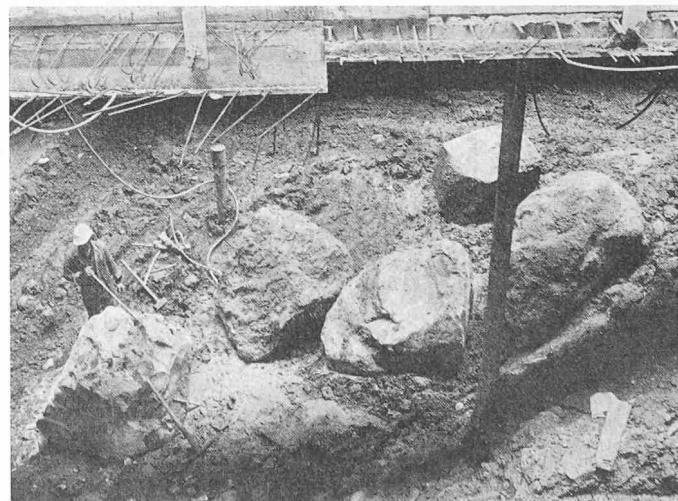


Bild 30. Gruppe von Findlingen im Baugrubenaushub



Eine Stahlspundwand fiel zum vornherein wegen der zu erreichenden Tiefe und der zu durchfahrenden Blockzonen ausser Betracht. Eine Pfahlwand war nicht vollständig auszuschliessen, wäre jedoch wegen der möglichen Abweichung von Einzelpfählen und der dadurch entstehenden undichten Stellen mit einem grösseren Risiko verbunden gewesen.

Am geeignetesten erschien das Schlitzwandverfahren, bei welchem Wandlamellen von mehreren Metern Länge in einem Arbeitsgang im Schutze einer Stützflüssigkeit auf Bentonitbasis ausgehoben, armiert und schliesslich nach dem Kontraktorverfahren betoniert werden. Die kleinere Anzahl Fugen gegenüber einer Pfahlwand setzt die mögliche Anzahl Einbruchstellen wesentlich herab.

Als Bohrverfahren kam das Saugbohrverfahren «Radio-Marconi» zur Anwendung, dessen Lizenzrechte sich im Besitze der Firma Swissborning befinden (Bild 31). Bei diesem Verfahren wird der Boden durch die Schlagwirkung eines Ringmeissels (Bild 32) aufgelöst und wenn nötig zertrümmert, um dann durch eine Saugleitung, auf welcher der Meissel teleskopisch montiert ist, von einer leistungsfähigen Kanalradpumpe abgesogen zu werden. Gleichzeitig bewegt sich die Maschine auf einem parallel zum Schlitz gelegten Gleis langsam hin und her, wodurch ein länglicher Aushub, entsprechend einer Wandlamelle, ausgehoben wird.

Wie bei jedem Schlitzwandverfahren wird der Schlitz von einer Bentonitsuspension ständig voll gehalten. Durch leichte Eindringung der Bentonitflüssigkeit in den Boden bildet sich an den Schlitzwandungen ein sogenannter Filterkuchen, dessen stützende Wirkung noch nicht restlos erklärt werden konnte, jedoch eine durch die Praxis nachgewiesene Tatsache ist. Beim Saugbohrverfahren wirkt die Stützflüssigkeit auch gleichzeitig als Transportmedium für das Aushubmaterial. Das Gemisch aus Bentonitsuspension und Bodenmaterial gelangt nach der Saugpumpe in eine Trennanlage, bestehend aus Schwing-sieben und Absetzbecken, wo die Bentonitsuspension vom mitgeführten Bodenmaterial «gereinigt» wird, um anschliessend dem in

Aushub befindlichen Schlitz wieder zugeleitet zu werden.

Das Saugbohrverfahren erfüllte die gestellten Anforderungen sehr gut:

1. Das Saugbohren ist grundsätzlich bis zu jeder Tiefe mit nur geringfügigen Leistungsabnahmen, bedingt durch die Reibung in der Saugleitung, möglich. Machinell war das zum Einsatz gebrachte Gerät in der Lage, die Tiefe von 40 bis 50 m zu erreichen.
2. Die Verwendung eines Schlagmeissels zur Auflockerung des Bodens ermöglicht gleichzeitig die Zertrümmerung von Blöcken ohne Einsatz von Spezialgeräten oder Spezialwerkzeugen. Dank der kombinierten Meissel- und Saugwirkung werden die vom Meissel abgelösten Steinsplitter laufend entfernt, so dass keine Dämpfung der Meisselschläge durch zurückgebliebene Bohrsedimente eintritt.
3. Generell weicht eine mit Schlagmeissel ausgeführte Bohrung nur in Ausnahmefällen von der Vertikalen ab. Beim Saugbohrverfahren wird die Einhaltung einer senkrechten Bohrung dank der straffen Meisselführung durch Gleis und Saugleitung noch besser gewährleistet.

Im vorliegenden Falle lag die Problematik der Anwendung des Saugbohrverfahrens nicht bei der Bohrung an sich, sondern bei der nachherigen Trennung der sehr feinen Bohrsedimente und der Bentonitspülung. Zur näheren Bestimmung der einzurichtenden Trennanlagen wurde noch vor Beginn der Abbrucharbeiten ein Bohrversuch *in situ* durchgeführt, bei welchem ein zur endgültigen Umschliessung gehöriger Wandabschnitt ausgehoben, armiert und betoniert wurde. Die Trennwirkung von Absetzbecken verschiedener Grösse und von Zyklonanlagen wurde durch die Bestimmung der Kornverteilung von zahlreichen Schlammproben, die vor und nach den Trenngeräten entnommen wurden, verfolgt. Aus den Versuchsergebnissen konnte man schliessen, dass vom Aushubmaterial sich 37% durch Schwing siebe, 6% durch Absetzbecken und 8% durch Zyklon-Entsander trennen

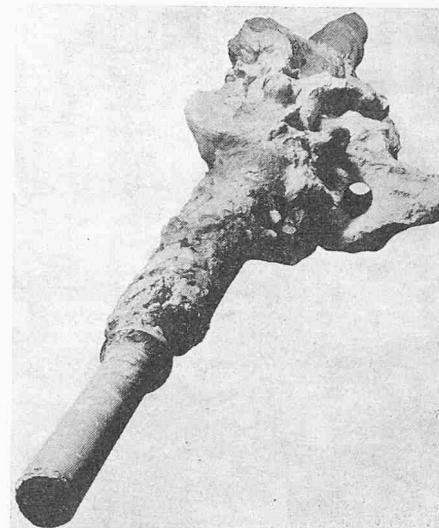


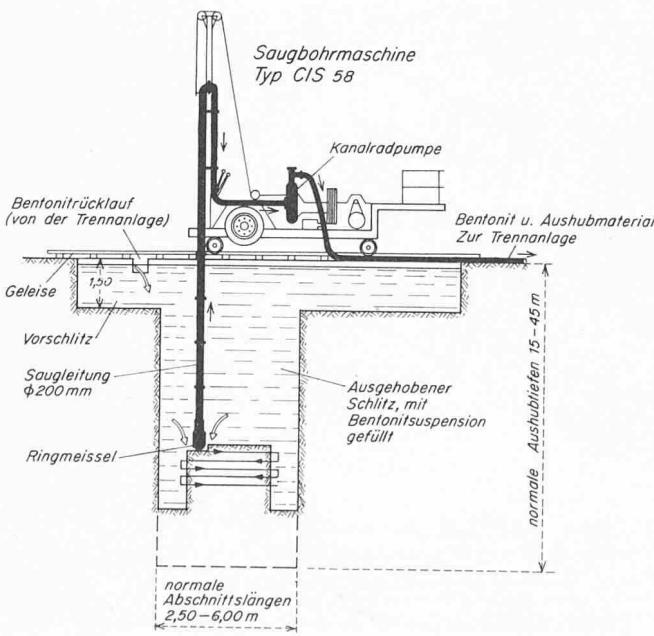
Bild 29. Verankerungsstrecke eines ausgebaggerten Tubfix-Ankers

lassen. Die restlichen 49%, bestehend aus sehr feinen Bestandteilen, blieben in Suspension und mussten samt dem Bentonitschlamm mit Saugwagen abgeführt werden. Der Versuch wurde auch dazu benutzt, die für einen optimalen Bohrfortschritt günstigste Form des Meissels zu bestimmen.

Die Ergebnisse des Versuches führten zur Projektierung einer zentralen Trennanlage bestehend aus:

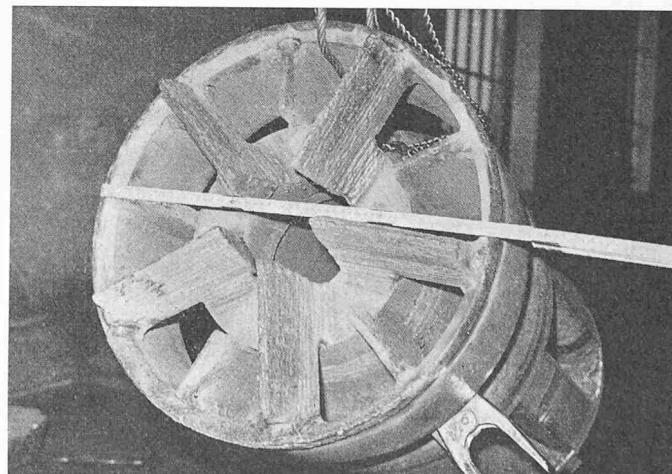
- Schwingsieben zum Ausscheiden der Körner grösser als 1 mm
- nachfolgenden Absetzbecken von 14 m^3 Inhalt, mit mehreren Überlaufwänden zum Ausscheiden von Körnern bis 0,7 mm
- einem besonderen Entsandungsumlauf mit Zyklonanlagen mit der Möglichkeit, Feinsandpartikel bis 0,02 mm zu trennen.

Die Saugbohrmaschinen wurden an die zentrale Trennanlage über Druckschläuche und Druckrohre angeschlossen. Der Rücklauf der gereinigten Bentonitsuspension erfolgte durch teilweise gedeckte Kanäle, die in der Arbeitsplattform verlegt wurden



Links:
Bild 31. Schematische Darstellung des Saugbohrverfahrens Radio-Marconi

Bild 32. Ringmeissel für eine Saugbohrmaschine Radio-Marconi. In der Mitte die Ansaugöffnung



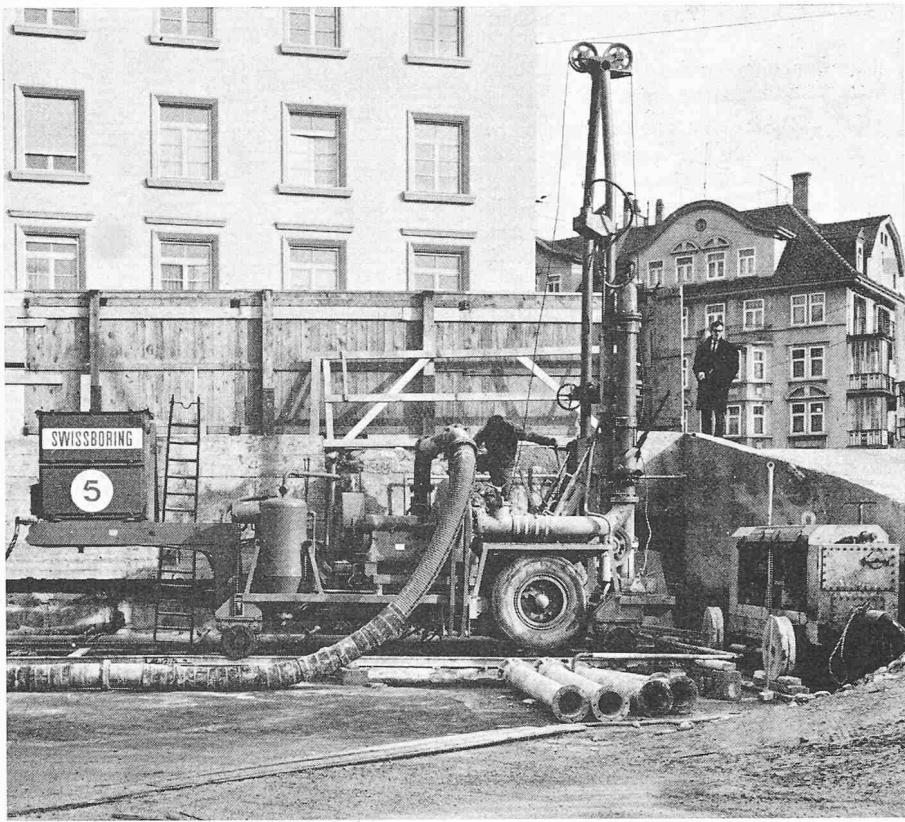


Bild 34. Saugbohrmaschine CIS 58, System Radio-Marconi

(Bilder 33 und 34). Auf der Baustelle wurden eingesetzt: 3 Saugbohrmaschinen, 1 zentrale Aufbereitungs- und Trennanlage für Bentonit, 1 Raupenkran für den Einbau der Bentonit, 1 Raupenkran für den Einbau der Armierung und das Einbringen des Betons, 1 Betonaufbereitungsanlage für 12 bis 15 m³/Std.

Die Umschliessung von total 4650 m² wurde in 50 Wandabschnitte von 70 bis 110 m² Fläche eingeteilt. Bei der vorhandenen

Wandstärke von 80 cm und unter Berücksichtigung des Betonüberprofils ergaben sich Betonieretappen von 70 bis 140 m³. Das Gewicht der Armierungskörbe betrug im Mittel 67 kg/m² Wand oder zwischen 4800 bis 7500 kg pro Wandabschnitt.

Nach erfolgtem Aushub eines Wandabschnittes ging die Armierung und die Betonierung folgendermassen vor sich:

1. Tag: Zuerst wurde die Bentonitspülung mit der Saugpumpe in Zirkulation gehalten und in einem sekundären Umlauf durch die Zyklonanlage so weit entsandet, bis der Sandgehalt nach API-Norm RP 29 weniger als 3% betrug. Anschliessend wurde das Sauggestänge ausgebaut und die Bohrmaschine auf den nächsten Abschnitt verschoben. Dann wurden mit Hilfe des Raupenkranes die Fugenrohre Ø 800 mm und die Armierung eingebaut (Bild 35), die letztere je nach Abschnittstiefe in 2 bis 3 Teilen, die über dem Schlitz im Zuge des Einbauvorganges zusammengeschweisst wurden. Schliesslich wurden die Betonierrohre mit Trichter eingebaut.

2. Tag: Bis etwa 15 Uhr wurde der Beton eingebaut (Bild 36). Einige Stunden später, etwa von 19 Uhr an, konnten dann die Fugenrohre mittels einer hydraulischen Rückzugsseinrichtung vom abgebundenen Beton gelöst und mit dem Kran ausgebaut werden.

Dieser verhältnismässig lange, sich über 2 Tage erstreckende Betoniervorgang war einerseits durch die aussergewöhnlich grossen Betonieretappen, anderseits durch die zeitraubende Entsandung der Bentonitspülung bedingt. Diese Entsandung ist einer der entscheidendsten Faktoren für die Qualität der Schlitzwandbetonierung. Wenn diese Operation nicht richtig durchgeführt wird, können sich grössere Sandmengen auf dem aufsteigenden Beton absetzen und in der Wand eingeschlossen werden, wenn der Beton sie nicht mehr nach oben zurückdrängen kann. Im vorliegenden Fall nahm die Entsandung einen noch grösseren Umfang an als auf anderen Baustellen, einerseits weil der Sandanteil im Boden sehr hoch war und anderseits, weil die Betonieretappen lang dauerten und die Sandabsetzgefahr dementsprechend gross war.

Für die Betonierung wurden Zuschlagsstoffe mit Maximalkorn 30 mm (Siebkurve siehe Bild 37) und eine Zementdosierung von

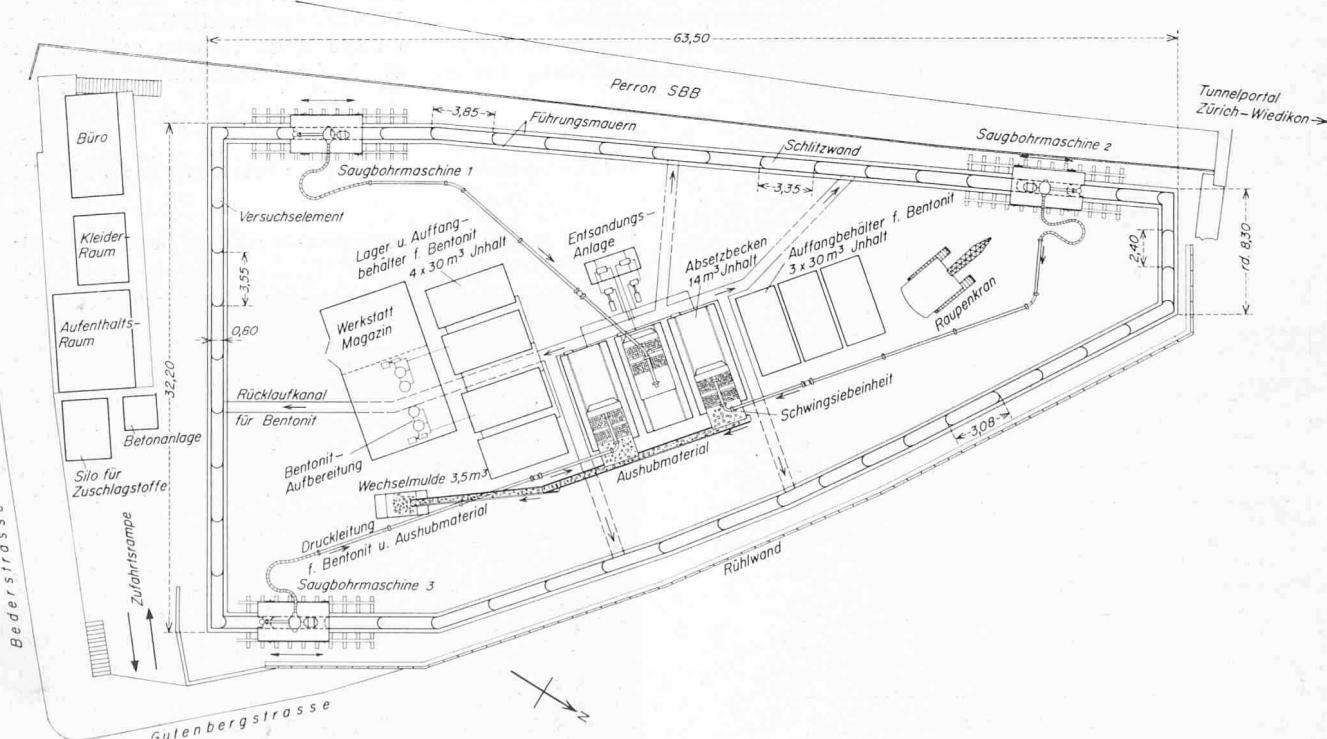


Bild 33. Installationsplan für die Schlitzwandgeräte, Massstab 1:500

350 kg/m³ verwendet. Der W/Z-Faktor betrug rund 0,58 bis 0,60. Die Würfeldruckfestigkeit nach 28 Tagen als Mittel aus 3 Proben schwankte, von einzelnen «Ausreissern» abgesehen, zwischen 250 und 475 kg/cm², und erreichte im Gesamtmittel 345 kg/cm².

Parallel zu den Aushubarbeiten hat man die Wand gereinigt, Überprofile abgespitzt, schadhafte Stellen ausgebessert und sämtliche Fugen mit einer Drainage versehen. Anschliessend wurde der Grundputz zur Aufnahme der Isolation ausgeführt, bei den ersten Etappen von Hand, später nach dem Gunitverfahren.

Die Arbeiten verliefen erwartungsgemäss und den schwierigen Bodenverhältnissen entsprechend verhältnismässig langsam. Die Ausführung der Umschliessung beanspruchte etwa 12 Arbeitsmonate im teilweise doppelschichtigen Betrieb.

Die Wand erfüllte, bis auf wenige schadhafte Stellen, die an sie gestellten Qualitätsanforderungen. Es wurden keine Einbruch- oder Grundbrucherscheinungen festgestellt. Auch Setzungen wurden in der Umgebung nirgends beobachtet. Insbesondere konnte der Bahnbetrieb während der ganzen Bauzeit ohne jegliche Einschränkung aufrechterhalten werden.

Unvorhergesehene Schwierigkeiten ergaben sich zu Beginn der Bohrarbeiten, Seite Bahnhof Enge, als die Schlitzwand unter den Vorschlitzmauern mehrmals einstürzte und sich kleine Trichter an der Oberfläche bilden konnten. Die Ursache dieser unerwünschten Erscheinung lag im Vorhandensein einer unmittelbar unter der Arbeitsplattform verlaufenden Hangwasserströmung, die von den Sondierungen nicht erfasst worden

war. In dieser geringen Tiefe konnte der Aussenandruck noch nicht durch den Überdruck der Bentonitsuspension kompensiert werden, und der Filterkuchen wurde ständig wieder ausgewaschen. Man konnte sehr gut beobachten, wie die Bentonitsuspension laufend verdünnt wurde. Diese Schwierigkeiten konnten durch den Einsatz einer Well-Point-Anlage behoben werden. Der Wasserspiegel wurde damit um 2 bis 3 m abgesenkt, und jegliche Strömung im Bereich des Schlitzes unterbunden. Wäre diese Tatsache bereits während der Sondierkampagne erkannt worden, so hätte die Möglichkeit bestanden, die Arbeitsplattform höher zu halten, um auf der Kote der Wasserströmung der Bentonitsuspension einen bereits höheren Druck zu verleihen.

Ein weiteres Problem, das bereits beim Bohrversuch offenbar wurde, lag in der Tendenz der siltig-lehmigen Schichten, unter dem Überlagerungsdruck seitlich zu quellen. Sie verursachten leichte Einschnürungen, die sich zeitlich zwischen Bohrung und Betonierung und sogar zwischen Armierungseinbau und Betonierung entwickeln konnten. So ist auch zu erklären, dass auf bestimmten Strecken die Armierungen ungenügend überdeckt waren. Neben rein ausführungstechnischen Überlegungen trug dieser Umstand zum Entscheid wesentlich bei, den Grundputz nach dem Gunitverfahren auszuführen, und damit gleichzeitig die Armierungen wieder voll einzubetonieren.

3. Ankerpfähle zur Aufnahme von Auftriebskräften

Die zwischen Eigengewicht, Schlitzwandreibung und Auftrieb gezogene Bilanz (siehe Aufsatz von Ing. W. Streich) schliesst mit

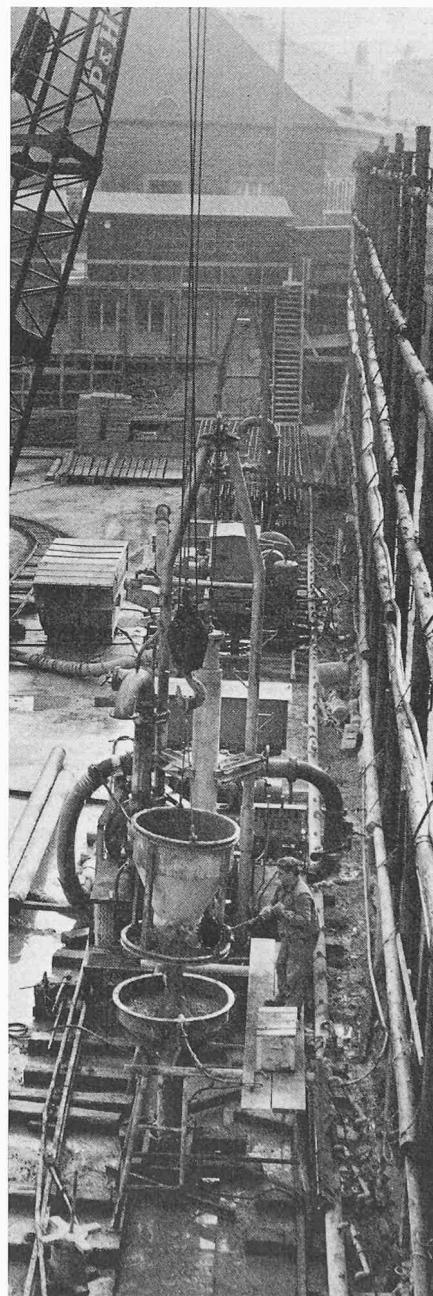
Bild 35. Übersicht der Schlitzwandbaustelle mit Armierungseinbau



einem Überschuss von rund 3250 t an Auftriebskräften, die durch Ankerpfähle aufzunehmen waren. Die optimale Ankerkraft wurde vom Projektverfasser auf 85 t festgelegt. Demzufolge waren 38 Pfähle notwendig (siehe Bild 21 auf Seite 737, SBZ H. 41).

Für den Aushub der Baugrube wurde ein Vorgehen gewählt, bei welchem Teile der endgültigen Eisenbetondecken etappenweise von oben nach unten eingezogen werden. Damit konnte eine sonst notwendige provisorische, sehr hinderliche Stahl- oder Holzspreissung weggelassen werden. Diese Variante war jedoch nur möglich, indem die Deckenteile an einer gewissen Anzahl von Punkten provisorisch abgestützt werden konnten, um grössere Spannweiten zu vermeiden. Die elegante Lösung dieser Aufgabe bestand in der Verlängerung von 23 Ankerpfählen bis auf die Kote der Decke über erstem Untergeschoss. Die Aufgabe bestand deshalb in der Ausführung von:

Bild 36. Betonierung nach dem Kontraktor-Verfahren



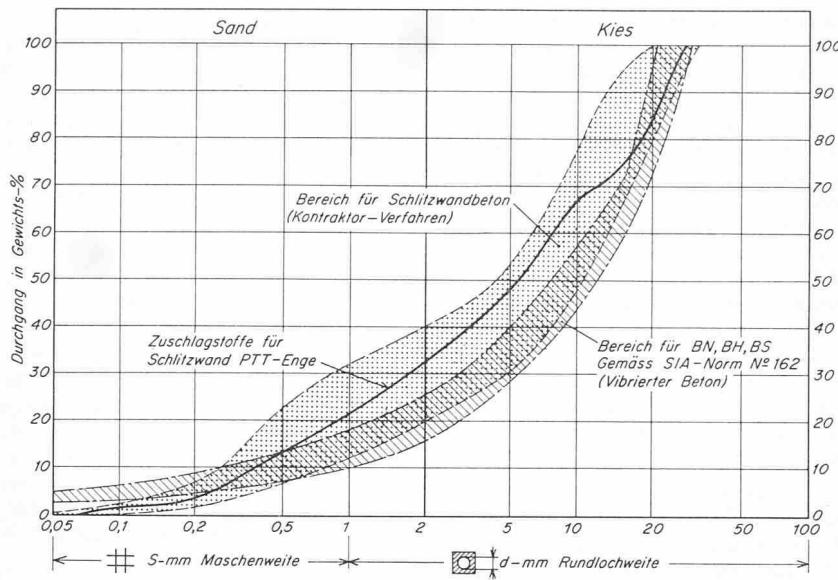


Bild 37. Kornverteilung der Zuschlagstoffe für den Schlitzwandbeton

- 15 «reinen» Zugpfählen, Kapazität 85 t mit Ankerkopf auf der Höhe der Grundplatte,
- 23 kombinierten Druck- und Zugpfählen (Druck 110 t, Zug 85 t) mit Ankerkopf auf der Höhe der Decke über erstem Untergeschoss.

In Anbetracht der abwechslungsweise Druck- und später Zugbeanspruchung wurden Stahlpfähle vorgesehen. Sie wurden nach dem

Tubfix-Verfahren ausgeführt, wie die schon beschriebene Rühlwandverankerung, jedoch selbstverständlich mit anderen Dimensionen. Die Übertragung der Zug- oder Druckkräfte auf die Eisenbetonkonstruktion wurde mit angeschweißten Platten gewährleistet (Bilder 13 und 23). Alle Pfähle wurden bis 15 m unter die Fundationskote abgeteuft. Die unteren 7 m bildeten die Verankerungs-

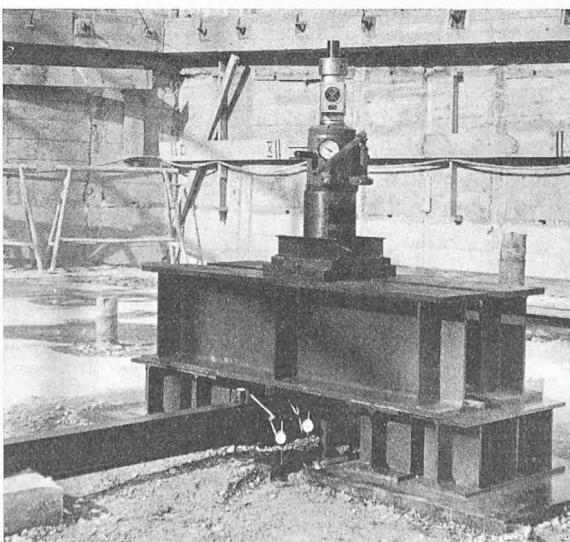
Bild 38. Lagerung der Stahlpfähle auf der Baustelle



Bild 39. Rollmeissel Ø 245 mm



Bild 40. Versuchseinrichtung für den Zugversuch am Ankerpfahl Nr. 24



strecke und waren für die entsprechenden Verankerungsinjektionen perforiert. Für die Ankerrohre (Bild 38) wurden folgende Abmessungen verwendet: reine Zugpfähle $\varnothing 165/149$ mm, kombinierte Zug- und Druckpfähle $\varnothing 175/128$ mm (auf Knicken berechnet).

Die Ankerbohrungen wurden nach dem Rotary-Bohrverfahren mit einem Rollmeißel $\varnothing 245$ mm abgeteuft (Bild 39). Nach Erreichen der Solltiefe wurde eine provisorische Verrohrung eingebaut und die Bentonitsuspension mit Wasser ausgespült. Darauf folgte der Einbau des Rohrankers, der Rückzug der provisorischen Verrohrung und die Injektion des Ankerpfahles in mehreren Etappen.

Die Tragfähigkeit der ausgeführten Pfähle wurde durch einen Zugversuch auf 150 t mit Erfolg nachgewiesen (Bilder 40 und 41).

4. Entlastungs- und Entwässerungsbrunnen

Das ursprüngliche Projekt sah die Ausführung von 12 Sanddrains zur Erhöhung der Sicherheit gegen den hydraulischen Grundbruch vor. Im Laufe der Detailprojektierung wurden die Drains in verrohrte Entlastungsbrunnen umgewandelt, in welche teilweise Unterwasserpumpen zur Trockenlegung der jeweiligen Aushubtassen eingebaut wurden. Ihre Anzahl wurde dabei auf 24 erhöht.

Die Brunnenbohrungen wurden wie die Ankerbohrungen nach dem Rotary-Bohrverfahren $\varnothing 245$ mm abgeteuft, provisorisch verrohrt und mit Wasser ausgespült. Der Ausbau des Brunnens mit 12 m Filterrohr, bestehend aus quergeschlitzten Kunststoffrohren $\varnothing 6"$ Typ SBF-KR, und etwa 20 m Stahl-Vollrohr im oberen Teil des Brunnens, erfolgte im Schutze der provisorischen Verrohrung. Die Filterschicht zwischen Filterrohr und Bohrlochwandung aus einem sogenannten Pflastersand 0 bis 10 mm wurde unter gleichzeitigem Zurückziehen der provisorischen Verrohrung eingebracht.

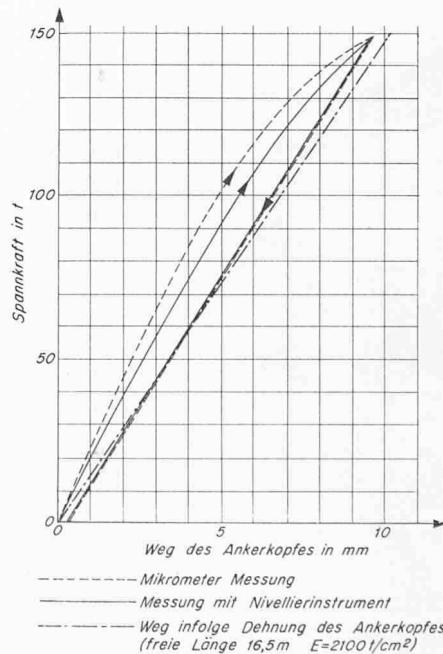


Bild 41. Zugversuch am Ankerpfahl Nr. 24, Spannungs-Dehnungs-Diagramme für den letzten Spannzyklus auf 150 t

Die Pumpenanlage bestand im Vollausbau aus 17 Unterwasserpumpen Aturieta UN 24 von 2 PS Leistung, die an eine Ringleitung $\varnothing 3''$ angeschlossen wurden. Um ein Trockenlaufen der Pumpen zu vermeiden, wurden sogenannte Wasserwächter eingebaut: zwei Elektroden, die über der Pumpe angeordnet sind und voneinander einen Abstand von 1 m haben. Sie schalten die Pumpe selbstständig ein, bzw. aus, sobald der Wasserspiegel die obere bzw. untere Elektrode erreicht hat.

Vorgängig dem Ausbau der Pumpenanlage wurden in 2 Filterbrunnen kurze Ansteig-

versuche sowie einige länger dauernde Pumpversuche mit Messung der piezometrischen Wasserstände in den benachbarten Brunnen durchgeführt. Die aus den Versuchen errechnete Durchlässigkeit betrug nach Darcy $k = 5,9 \cdot 10^{-6}$ cm/s bis $6,9 \cdot 10^{-5}$ cm/s. Auf Grund dieser Werte wurde ein erster Ausbau mit 9 Pumpen beschlossen. Die Absenkung des Wasserspiegels innerhalb der Baugrubenumschließung wurde durch Messungen in den nicht mit Pumpen versehenen Brunnen und in extra ausgeführten Piezometerbohrungen während den Aushub-

arbeiten laufend verfolgt. Aufgrund dieser Beobachtungen wurde die Pumpenanlage in mehreren Etappen auf total 17 Pumpen erweitert.

Die getroffenen Anordnungen erwiesen sich als sehr wirksam. Der Aushub konnte bis zuletzt maschinell erfolgen, ohne dass die Aushubergeräte durch Wasser oder aufgeweichte Schichten ernsthaft gestört worden wären.

Adresse des Verfassers: Claude Racine, dipl. Ing., Swissboring AG, 8001 Zürich, Theaterstrasse 20.

75 Jahre Elektrizitätswerk der Stadt Zürich

Von H. von Schulthess Rechberg, dipl. El.-Ing., Direktor EWZ, Zürich

DK 621.311

Am 1. Januar 1968 waren 75 Jahre verflossen, seit der Gründung des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich (EWZ). Dieses Jubiläum hat Anlass zu einer kleinen Standortbestimmung gegeben, und es ist recht aufschlussreich, sich zunächst mit den damaligen Verhältnissen und den Motiven, die zur Gründung eines stadtseigenen Elektrizitätswerkes führten, zu befassen.

1. Historisches

Um das Jahr 1890 war die Stadt Zürich ungefähr identisch mit jenen Teilen, die wir heute mit «City» bezeichnen. Die Einwohnerzahl betrug etwa 130 000, das Rösslitram belebte die Straßen und in Riesbach, Hottingen oder Enge wohnte man noch weitgehend auf dem Lande. Der Normalarbeitstag betrug laut eidgenössischem Fabrikgesetz 11 Stunden. Limmatabwärts befand sich im Letten das städtische Wasserwerk. Während die Trinkwasserversorgung aus über 100 Quellen am Zürichberg, Uetliberg und Albis gespiesen wurde, bezog man das Brauchwasser aus dem See. Durch eine im Schanzengraben verlegte Leitung von 90 cm Durchmesser gelangte das Seewasser zunächst in eine Filteranlage an der Hafnerstrasse und von dort ins Wasserwerk Letten, wo 5 Pumpensysteme die Förderung in drei verschiedene Druckzonengebiete, entsprechend der Höhenlage der verschiedenen Reservoirs am Zürichberg übernahmen. 8 Reaktionsturbinen, welche vom Limmatwasser angetrieben wurden und ihre Energie an eine gemeinsame Transmissionswelle übertrugen, dienten einerseits dem Antrieb der 5 Pumpen und erlaubten andererseits eine Seiltransmission von 300 PS zu betreiben, welche mechanische Energie auf die andere Seite der Limmat und abwärts bis zur Stadtmühle übertrug. Diese Seiltransmission ins Industriequartier hat diesem Stadtteil um 1870 das Leben gegeben.

Dies war die technische Ausgangslage für jene initiativen Ingenieure, die der Stadt ums Jahr 1890 das elektrische Licht bringen wollten. Die erste Privatinstallation mit 8 Bogenlampen und Speisung durch Dynamomaschinen war in Zürich bereits 1882 errichtet worden. Ende April 1890 gab es in der Stadt 48 elektrische Installationen mit 47 privaten Dynamomaschinen, 214 Bogenlampen und 3580 Glühlampen. Die benötigten 490 PS wurden teils mit Wasserkraft, teils mit Dampf und sogar mit Gasmotoren erzeugt. Die rasche Entwicklung dieser neuen Energieform führte zu einer Reihe von Konzessionsgesuchen seitens Privater zur Benützung der öffentlichen Straßen und Plätze für eigene Verteilernetze und zwangen die Behörden, sich mit diesem neuen Problem zu befassen. Es waren vor allem zwei Gründe, nämlich die Beanspruchung von öffentlichem Boden für das Verlegen der Leitungen und die Hoffnung auf Erschliessung einer neuen Einnahmequelle, welche den Stadtrat am 14. August 1888 zum entscheidenden Entschluss bewogen, das alleinige Recht zur Erstellung und zum Betrieb elektrischer Verteilanlagen und zur Benützung des öffentlichen Grundes der Stadt vorzubehalten.

Gestützt auf diesen Beschluss begann eine Spezialkommission, Erhebungen über das Lichtbedürfnis anzustellen und die Möglichkeiten der Stromversorgung zu studieren. Sie konnte sich teilweise auf einen Bericht des Quai-Ingenieurs Dr. A. Bürkli-Ziegler stützen, in welchem dieser bereits 3 Jahre früher im Zusammenhang mit den Neubauten der Seequai-Anlagen eine elektrische Beleuchtung mit 72 Bogenlampen vorgeschlagen hatte.

Im gleichen Bericht wird darauf hingewiesen, dass der Bedarf an elektrischer Kraft für Beleuchtungszwecke sich damals nur auf wenige Stunden am Tage beschränke. Aus diesem Grunde komme eine direkte Verwendung der Wasserkraft nicht in Frage. Vielmehr bestehe die einzige sinnvolle Lösung darin, das durch die Pumpen der Wasserversorgung im Triebwasserweiher am Zürichberg gespeicherte Wasser zum Antrieb von Hochdruckturbinen zu verwenden und so die gewünschte elektrische Energie nur nach Bedarf zu erzeugen. Man gab sich auch durchaus Rechenschaft darüber, dass eine solche indirekte Nutzung der Wasserkraft der Limmat einen wesentlich schlechteren Nutzeffekt ergab und errechnete einen Wirkungsgrad von 37,5%. Wie man daraus erkennt, war der Gedanke der Pumpspeicherung, der heute im Zeitalter der Atomkraftwerke wieder von höchster Aktualität ist, schon bei der Gründung des EWZ von entscheidender Bedeutung.

Die Studien des Stadtgenieurs fanden ihren Niederschlag in einem 74seitigen Bericht vom Mai 1890, der den Antrag enthielt, dass Wasserwerk durch Einbau von zwei weiteren Wasserturbinen, zwei Dampfmaschinen und eines Pumpensystems zu verstärken, ein Elektrizitätswerk Letten mit 2 Hochdruckturbinen, 5 Wechselstromgeneratoren von je 200 kW für die private Beleuchtung und 5 Gleichstromgeneratoren von je 40 kW für die öffentliche Beleuchtung zu bauen und schliesslich die elektrischen Verteil- und Beleuchtungsanlagen zu erstellen. Die Stadtgemeinde hiess diese Anträge im September 1890 gut und bewilligte den für die nächsten zehn Jahre budgetierten Kredit von 2 103 000 Franken. Die Arbeiten wurden unverzüglich begonnen, und bereits im August 1892 kam das Elektrizitätswerk in Betrieb. Vom Kraftwerk führte eine Primärleitung von 2000 Volt nach dem Rathausquai, von wo 18 Hochspannungsleitungen die verschiedenen Transformatorenstationen versorgten. Alle Leitungen wurden von Anfang an unterirdisch verlegt.

Schon das erste Betriebsjahr zeigte, dass die Elektrizität eine viel grössere Expansionskraft in sich barg, als man ihr zugetraut hätte. Mit der Stadtvereinigung von 1893 erhielt das Elektrizitätswerk eine eigene Geschäftsleitung, und damit begann eine Entwicklung, die sich damals wohl niemand auch nur annähernd träumen liess.

2. Gegenwärtige Lage

Heute stellt das EWZ ein Unternehmen dar, das seinen festen Platz innerhalb der schweizerischen Energieversorgung einnimmt. Eigene Kraftwerkanlagen, die sich aus historischen Gründen zum grössten Teil in Graubünden befinden, erzeugen jährlich über eine Mld kWh, während die Beteiligung an den 5 Partnerwerken Wäggital, Oberhasli, Maggia, Blenio und Hinterrhein fast noch einmal so viel Energie einbringt. Im letzten, allerdings ungewöhnlich günstigen Geschäftsjahr erreichte die gesamte Produktion beinahe 2,4 Mld kWh. Davon benötigte die Stadt rund 1,4 Mld; 0,183 Mld kWh bezogen die vom EWZ belieferten Bündnergemeinden und rund 0,800 Mld kWh konnten an fremde Werke verkauft werden. In bezug auf den verfügbaren Stauraum steht das EWZ mit über 600 Mio kWh unter den schweizerischen Unternehmen an 4. Stelle. Dank dem vorsorglichen Bau hydraulischer Werke ist die Stadt Zürich somit gut eingedeckt. Auch die