

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 79 (1961)
Heft: 5

Artikel: Bohrpfähle und Pfahlwände System "Benoto"
Autor: Bucher, Hans
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-65461>

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>

Von Hans Bucher, Oberingenieur in der Bauunternehmung AG. Heinr. Hatt-Haller, Zürich¹⁾.

1. Das System «Benoto»

Die Société Française de Construction de Bennes Automatiques in Paris, genannt Société Benoto, fabriziert Spezialgeräte für Fundationen und beschäftigt sich seit Jahren intensiv mit deren Entwicklung und Verbesserung. Bei der Wiedererstellung des südlichen Verladequais im Hafen von Le Havre, der im zweiten Weltkrieg auf eine Länge von rd. 1500 m fast vollständig zerstört worden war, hat sich die Société Benoto, in Zusammenarbeit mit grossen französischen Baufirmen, mit den schwierigen Problemen der Fundation des neuen Quais befasst. Die alten Quaimauern waren durch die Bombardierung derart zerstört, dass sie zum grössten Teil in das Hafenbecken stürzten und auf dessen Grund liegen blieben. Das Rekonstruktionsprojekt sah die Fundation mittels Bohrpfählen vor, die bis 30 m unter Meeresspiegel reichten. Diese Pfähle hatten Schichten von Sand, Lehm, Kalksteinen, Betonblöcken usw. zu durchfahren, um in einen nicht sehr harten Fels (Kimmeridgien) einzubinden. Ueber 20 km gebohrte Ortsbetonpfähle, Durchmesser 1,0 bis 1,5 m, mussten ausgeführt werden. Jeder Pfahl hatte eine Last von 350 bis 800 t zu tragen. Auf dieser Baustelle verwendete man mit Erfolg Bohrgeräte Benoto, insbesondere den «Hammergrab» für die Bohrung und die «Verrohrungsmaschine» für das Abteufen der Bohrrohre.

Der Hammergrab ist ein Werkzeug auf dem Prinzip eines Greifers. Sein Gewicht variiert zwischen 1000 und

¹⁾ Vortrag, gehalten am 11. November 1960 in Solothurn anlässlich der Herbsttagung der Schweiz. Gesellschaft für Bodenmechanik und Fundationstechnik.

3000 kg, je nach Durchmesser der Bohrung. Er pickelt den Baugrund auf, gräbt sich in diesen hinein, fasst das Aushubmaterial und befördert es heraus. Er kann im Trockenen, unter dem Grundwasserspiegel oder im freien Wasser arbeiten. Um das Abteufen der Bohrrohre zu erleichtern, konstruierte Benoto eine besondere Maschine. Diese erlaubt ununterbrochene Hin- und Herbewegungen des Bohrrohres, wodurch der Erddruck auf dieses während des Absenkens wesentlich vermindert wird. In Le Havre waren der Hammergrab und die Verrohrungsmaschine noch voneinander unabhängige Aggregate. Ihre Verschiebung von einer Bohrstelle zur andern erforderte relativ viel Zeit und ihr synchrones Arbeiten war umständlich. Durch Verbesserung dieser Geräte ist eine neue Maschine entstanden, die die Bezeichnung «Benoto EDF 55» trägt (Bild 1).

Dieses neue Bohrinventar, das heute in der Schweiz und praktisch in der ganzen Welt im Einsatz ist, erlaubt die wirtschaftliche Ausführung von Bohrpfahlfundationen mit raschem Baufortschritt und von grosser Tragfähigkeit. Die unproduktive Arbeitszeit im Zusammenhang mit dem Einsatz der Bohrrohre und der späteren Rückgewinnung sowie der Verschiebung des Bohrpfahlgerätes von einem Pfahl zum andern ist bedeutend reduziert worden. Die Vorteile, welche diese neuen Geräte dem Pfahlunternehmer gebracht haben, sind beträchtlich. Ein Vergleich der Arbeitsweise nach der klassischen Bohrmethode und derselben nach dem Benoto-Verfahren bringt dies deutlich in Erscheinung.

Die klassische Bohrmethode benutzt für die Ausführung von Bohrpfählen normalerweise eine Motorwinde von 5 bis 25 PS, ein Dreibein und eine Kiessandpumpe. Die Klapp-Pumpe arbeitet praktisch unter der Rohrschneide und schafft laufend einen neuen Hohlraum für das Abteufen des Bohrrohres. Das Rohr ist praktisch ohne Führung und die Leistungsfähigkeit der Geräte (0,2 bis 0,5 m/h) sehr klein. Der das Bohrrohr umschliessende Erdmantel wird stark gestört, und es entstehen durch die Klapp-Pumpen laufend Unterhöhlungen. Die Füllung des Rohres erfolgt mit Gussbeton und kann nur in kleinen Chargen durchgeführt werden. Die Gefahr des Abreissens der Betonsäule und deren Einschnürung ist beim Rohrrückzug besonders gross. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die klassische Bohrmethode nur dort anwendbar ist, wo der Pfahlfuß auf einen festen, tragfähigen Untergrund, z. B. Felsen, aufsteht. Reibungspfähle, ausgeführt nach dieser Methode, haben eine zu kleine Tragfähigkeit und weisen zu grosse Setzungen auf.

Die neuen Geräte EDF 55 beseitigen die vorerwähnten Nachteile der gebohrten Pfähle. Der Hammergrab oder Rohrgreifer hat die Bohrgeschwindigkeit stark erhöht sowie die Schwierigkeiten beim Antreffen von harten Schichten oder Steinen beseitigt. Die Absenkung des Bohrrohres wird durch die mechanische Hin- und Herbewegung beschleunigt. Die vertikalen Pressen erlauben, das Bohrrohr nach Belieben in den Boden einzudrücken und zurückzuziehen. Die ganze Maschine ist selbst und leicht fahrbar trotz ihres grossen Gewichtes von 30 bis 50 t. Die einwandfreie Führung des Bohrrohres in Tiefen bis über 50 m ist gewährleistet. Die Maschine wird durch einen 110-PS-Dieselmotor angetrieben; 12 Kolben, die von 5 hydraulischen Pumpen angetrieben werden, gestalten ein rasches und exaktes Manövriren. Die Leistungsfähigkeit ist sehr gross, so dass 3 bis 6 m Bohrung pro Stunde mit Durchmesser bis 1 m ausgeführt werden können.

Bild 2 zeigt, wie das Bohrrohr in den Baugrund eingetrieben wird. Die Hin- und Herbewegung des Rohres erfolgt durch zwei gegenseitig wirkende Oeldruckkolben. Das Lösen und Anpressen des das Bohrrohr umfassenden Rohrkragens erfolgt hydraulisch. Zwei kräftige vertikale Pressen erlauben, das Rohr in den Boden hineinzustossen oder zurückzuziehen. Zwei weitere hydraulische Kolben dienen der Vertikalstellung der Rohrführung. Die Rohrschneide in Hartmetall unterstützt die Arbeit des Rohrgreifers, besonders in



Bild 1. Benoto-Bohrpfahlmaschine EDF 55

hartem und kompaktem Boden. In rolligem oder fliessendem Baugrund eilt das Bohrrohr dem Rohrgreifer einige Meter voraus und gewährleistet dadurch die Stabilität des durchfahrenen Baugrundes. Im Bedarfsfalle kann ein innerer Wasserüberdruck erzeugt werden, der die Grundbruchgefahr beim vollständigen Ausräumen des Rohres bis zur Rohrschneide verhindert.

Beim Betonieren des Pfahles wird darauf geachtet, dass die frische Betonsäule eine Höhe von über 10 m aufweist, bevor ein Rohrrückzug erfolgt. Während der Füllung und des Zurückziehens des Bohrrohrs bleibt die mechanische Hin- und Herbewegung desselben in Aktion. Gleichzeitig wird das Rohr einige Zentimeter hinauf und hinunter bewegt, wodurch eine gute Verdichtung des Betons erzielt wird. Dank dieser Hin- und Herbewegung des Bohrrohrs, verbunden mit der vertikalen Verdichtung, wird die frische Betonsäule einer ständigen Nachmischung und vertikalen Verdichtung unterzogen, wodurch sich auch ein starker Druck auf den Erdboden ergibt. Der Beton dringt in alle Unebenheiten des Bohrloches ein und gewährleistet eine vollständige Verbindung mit dem Baugrund. Ein Abreissen oder Einschnüren der Betonsäule ist bei dieser Methode nicht zu befürchten. In den oberen Metern des Pfahles wird der Beton mit Tauchvibratoren verdichtet, da daselbst der statische Druck der Frischbetonsäule für die Verdichtung nicht genügt. Die Benoto-Pfähle besitzen eine grosse Mantelreibung, wodurch ihre Tragfähigkeit stark erhöht wird.

Wo die Pfähle im Grundwasser zu erstellen sind, erfolgt die Betonierung nach den bekannten Methoden mittels Spezial-Unterwasserbetonierbüchse, nach dem Contractor-Verfahren, bzw. mit «Prepkat»- oder «Colcrete»-Beton.

Die Bohrgeräte EDF 55 erlauben die Ausführung von schrägen Pfhählen mit einer Neigung bis 15% zur Vertikalen (Bild 3).

2. Tragfähigkeit der Benotopfähle

Bei Benoto-Pfhählen kann der Reibungswinkel ρ zwischen Pfahl und Baugrund dem Winkel φ der innern Reibung desselben gleichgestellt werden. Diese Pfhähle besitzen daher die gewünschte Eigenschaft für die Ausführung von Reibungspfhählen. Ein Vergleich der zulässigen Tragfähigkeiten für Bohrpfähle nach der klassischen Methode und dem System Benoto geht aus Tabelle 1 hervor. Auf einer Bau-

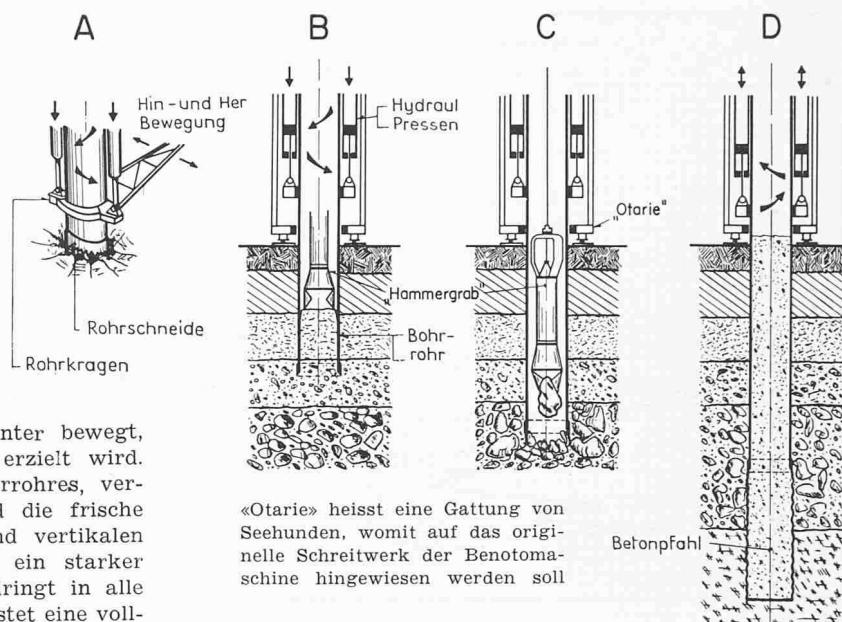


Bild 2. Bauvorgang beim Benoto-Verfahren

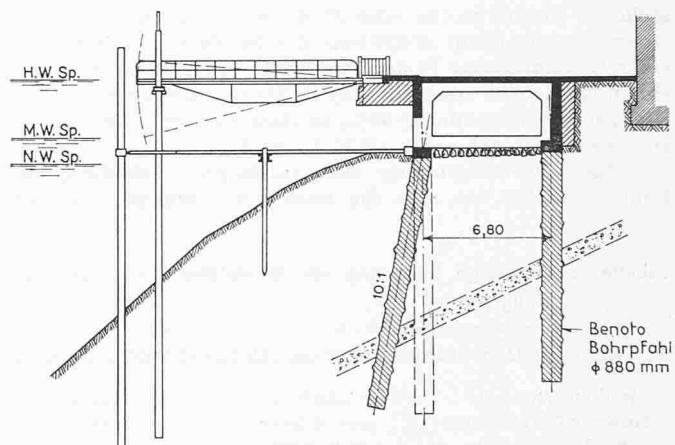


Bild 3. Wiederherstellung des eingestürzten Quais von Brissago, Schnitt 1:400

Projekt: Ing. H. Eichenberger, Zürich



Bild 4. Belastungsprobe bis 450 t auf der Baustelle «Palme» in Zürich

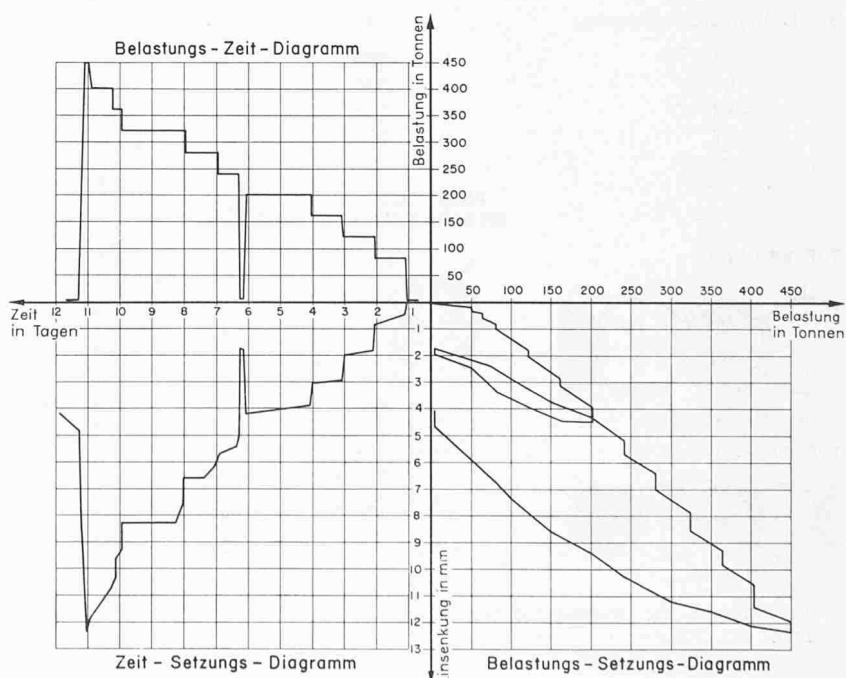


Bild 5. Zeit-Last-Setzungs-Diagramme des Versuchs Bild 4

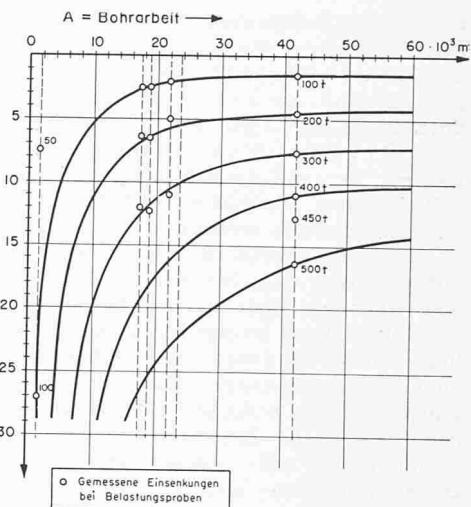
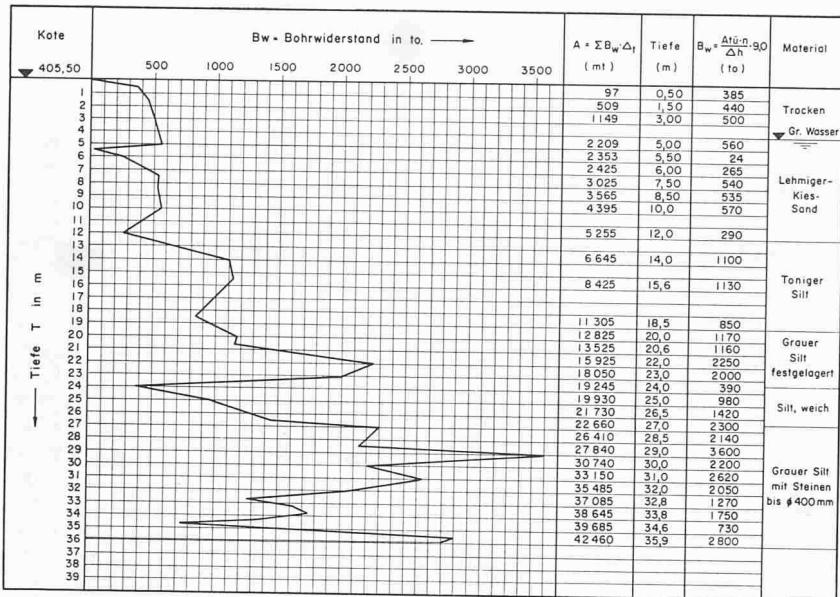


Bild 7. Diagramm der Bohrarbeit in Funktion der Pfahleinsenkung

Bild 6 (links). Bohrdiagramm Benoto (Verfahren HHH)

stelle in Zürich wurde eine Probobelastung von 450 t auf einem Benoto-Pfahl Ø 670 mm durchgeführt, entsprechend einer Betonpressung in der Pfahlsäule von 128 kg/cm². Nach einem Gutachten von Prof. Dr. R. Haefeli betrug bei diesem Pfahl die Mantelreibung 90%, so dass nur 10% der Last bis zum Pfahlfuß gelangten (Bild 4 und 5).

Für die Berechnung der zulässigen Belastung auf Benoto-Pfählen hat man die nach den statischen Formeln

Tabelle 1. Zulässige Belastung von Bohrpfählen in tragfähigem Baugrund

A. Normale Bohrpfähle ohne Fuss (Entwurf 1957 DIN 4014)

Pfahldurchmesser (äußerer Durchmesser des Bohrrohres)	einfacher, geschütteter Bohrpfahl	Pressbeton- Bohrpfahl
cm	t	t
30	20	25
35	25	35
40	30	45
50	—	60

B. Bohrpfähle «Benoto»

53	100
67	200
88	300
97	400

ANSCHLUSS AN SPUNDWAND

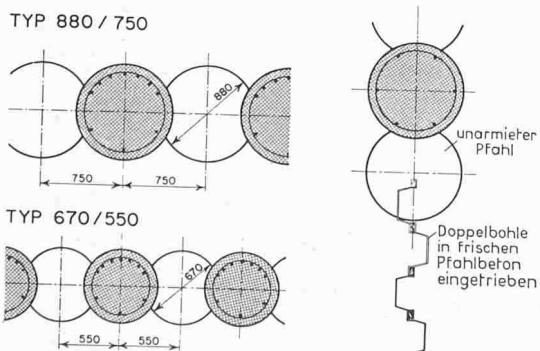


Bild 8. Schema der Herstellung von Bohrpahlwänden

Tabelle 2. Formeln zur Bestimmung der Tragfähigkeit von Bohrpfählen Benoto

A. Spezifischer Spitzenwiderstand

$$\text{Für } h \leq 7 \text{ m: RANKINE: } G_{sp} = \gamma_m \cdot t g^4(45 + \varphi/2) \cdot h$$

$$\text{Für } h \geq 7 \text{ m: BENOTO: } G_{sp} = \gamma_m \cdot t g^4(45 + \varphi/2) \cdot \frac{2(h_0^2/2 + h_0 \cdot h_u)}{h}$$

wobei $h_0 = 7 \text{ m}$ $h_u = (h - h_0)$
 G_{sp} in to/m^2 Querschnittsfläche
 γ_m = Mittleres Raumgewicht des Bodens
 $\gamma_m = \frac{\gamma_{e1} \cdot h_1 + \gamma_{e2} \cdot h_2 + \dots}{h}$

B. Spezifische Mantelreibung

$$\text{Für } h \leq 10 \text{ m: MAYER: } G_m = \gamma_B \cdot t g \varphi' \cdot h/2$$

$$\text{Für } h \geq 10 \text{ m: BENOTO: } G_m = \gamma_B \cdot t g \varphi' \cdot \frac{(h_0^2/2 + h_0 \cdot h_u)}{h}$$

wobei $h_0 = 10 \text{ m}$ $h_u = (h - h_0)$
 G_m in to/m^2 Mantelfläche
(Flüssigkeitsdruck der Betonsäule im Bohrlohr)
 γ_B = Raumgewicht des Betons
= $2,3 \text{ t}/\text{m}^3$ oberhalb Wasser
= $1,3 \text{ t}/\text{m}^3$ im Wasser

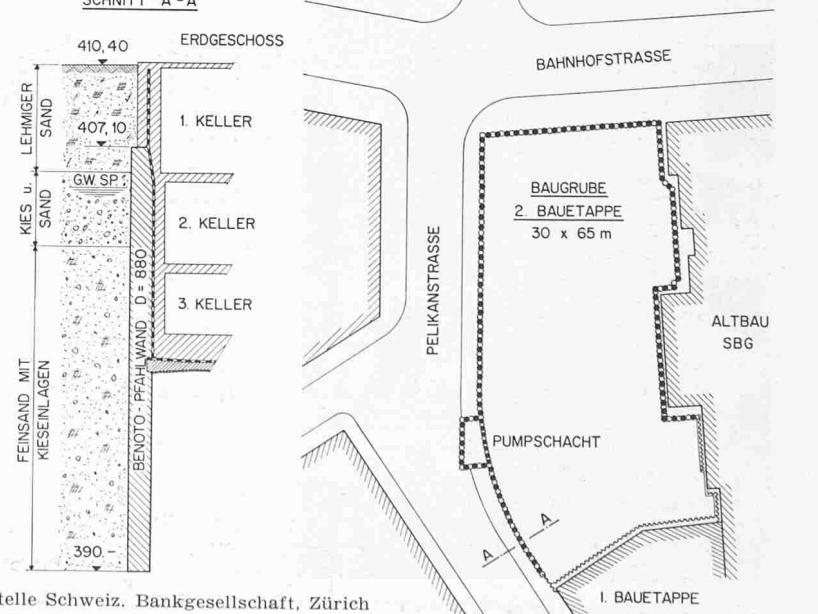


Bild 9 (rechts). Benoto - Baugrubenumschliessung der Baustelle Schweiz. Bankgesellschaft, Zürich

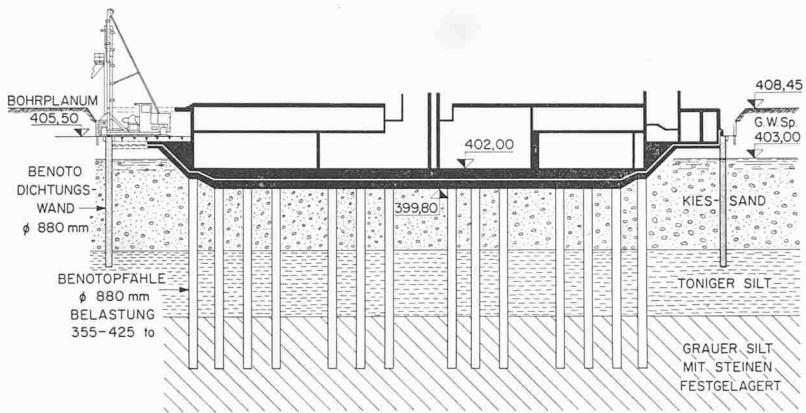


Bild 11 (links).
Längsschnitt A-A zu
Bild 10

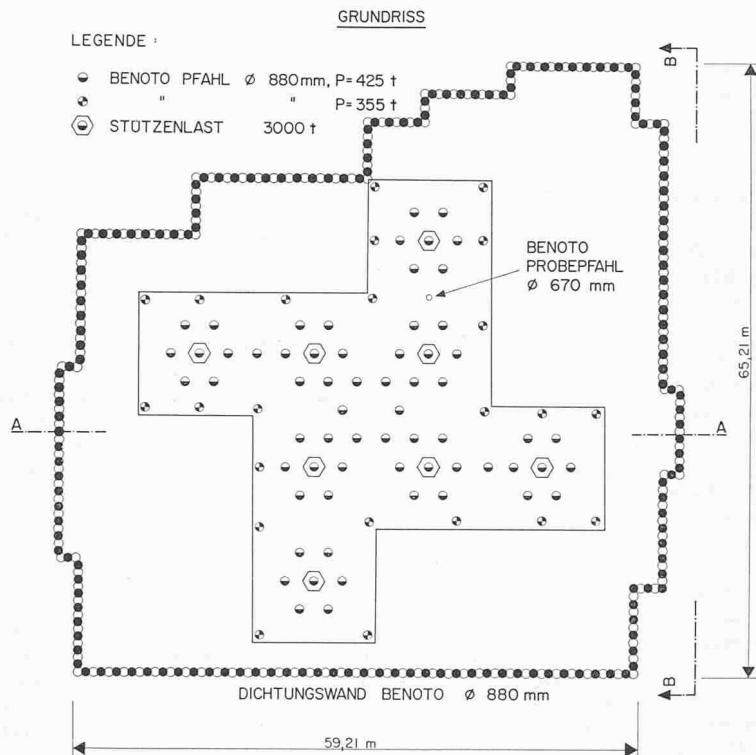
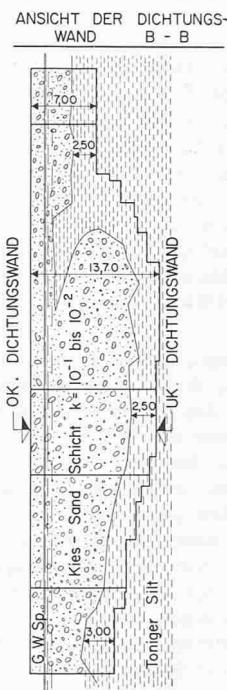
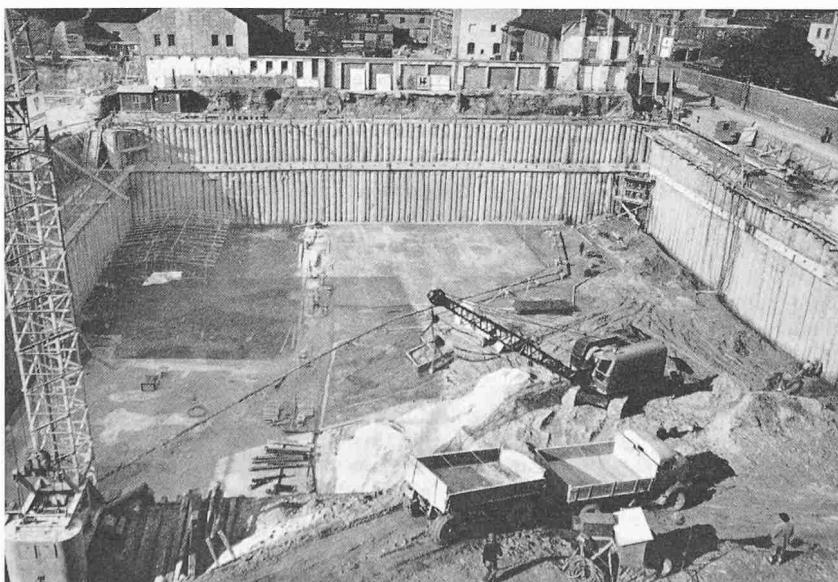


Bild 10. Dichtungswand und Pfahlgründung der Bau-
stelle «Palme» in Zürich, Plan 1:800

Projekt: Ingenieure Henauer & Lee, Zürich



von Caquot-Kérisel, Doerr, Rankine und anderen erhaltenen Resultate verglichen mit denjenigen von Probebelastungen. Die Tabelle 2 zeigt die für Benoto-Pfähle praktisch anwendbaren Formeln. Der Spitzenwiderstand berechnet sich analog der Formel von Rankine. Für die Bestimmung der Mantelreibung ist die Formel von Schneider geeignet. Für letztere ist massgebend, dass die Reaktion des Erdmantels auf den Pfahl praktisch nicht grösser werden kann als der hydraulische Druck der frischen Pfahlbetonsäule im Zeitpunkt des Rohrrückzuges. In der Formel wird jedoch die Höhe dieser Säule auf 10 m beschränkt, unter Rücksichtnahme auf die Reibung zwischen Beton und Rohr und den Zeitpunkt des Abbindebeginns des Betons.

3. Kontrolle der Pfahltragfähigkeit während der Ausführung

Obwohl für die Projektierung die statischen Formeln für die approximative Bestimmung der Pfahllängen und -grössen genügen, ist es schwierig, auf Grund dieser Formeln auf die tatsächliche Tragfähigkeit bei der Pfahlausführung zu schliessen. Unsere Böden sind im allgemeinen derart heterogen, dass es nicht möglich ist,

innert nützlicher Zeit die Bodenkennziffern jeder Schicht zu bestimmen und in der Formel auszuwerten. Dies war mit ein Grund, warum bis vor einigen Jahren der Verwendung von gerammten Fertig- oder Ortsbetonpfählen, die mit einem gerammten Rohr erstellt werden, der Vorzug gegeben wurde.

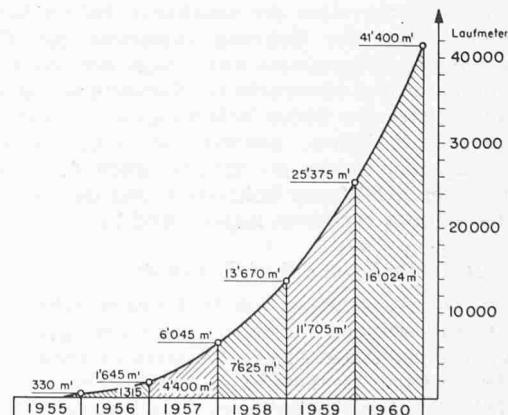


Bild 15. Entwicklung des Benoto-Verfahrens in der
Schweiz: Summenkurve der seit 1955 hergestellten
Pfahllängen

Bild 12 (links). Baugrubenumschliessung der Bau-
stelle Bayerischer Rundfunk, München, mit einer
Benoto-Pfahlwand

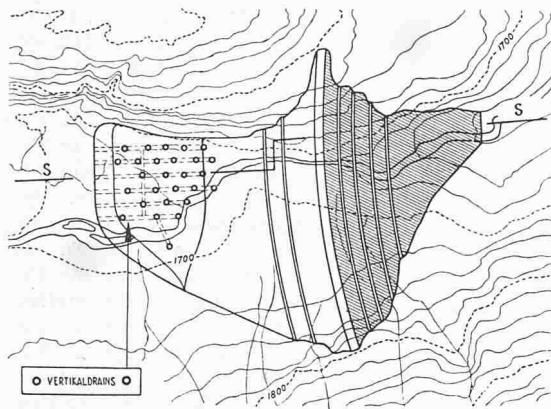


Bild 13. Vertikaldrainagen Staudamm Göschenenalp, Anordnung im Plan

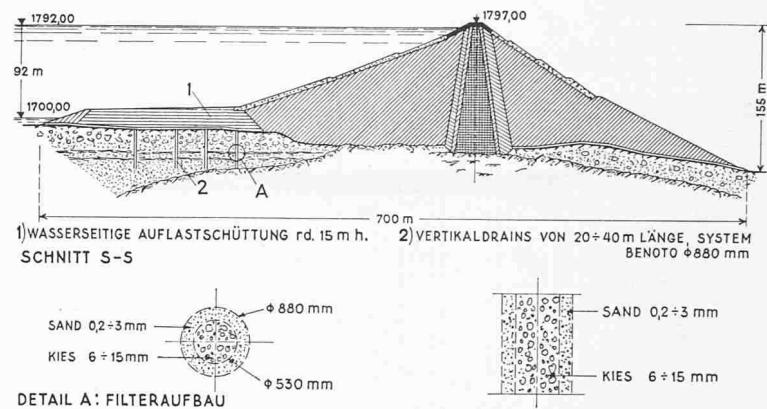


Bild 14. Dammschnitt 1:8000 mit Einzelheiten der Filter

Für diese gerammten Pfähle stützt man sich zur Bestimmung der Tragfähigkeit auf die bekannten dynamischen Formeln nach Stern und anderen, um die zulässige Tragfähigkeit jedes einzelnen Pfahles zu bestimmen. Für Bohrpfähle, die nach der klassischen Methode erstellt werden, besteht einzig die Möglichkeit einer Belastungsprobe in kleinem Massstab innerhalb des Bohrrohres auf der Bohrsohle. Solche Belastungsversuche sind sehr kostspielig und mit grossem Zeitverlust verbunden. Ferner geben sie nur Anhaltspunkte für den zulässigen Spitzewiderstand, jedoch nicht für die Mantelreibung.

Das Bohrverfahren Benoto dagegen hat uns erlaubt, eine Methode zu entwickeln, die mittels geeigneter Messapparaturen beim Abteufen des Bohrrohres laufend Kennwerte bringt, die auf die Grösse des Widerstandes im Boden schliessen lassen. In der Tat besteht eine Beziehung zwischen der Kraft für das Hin- und Herbewegen der Bohrröhren unter einer konstanten Last und der Eindringung des Rohres während einer bestimmten Anzahl Hin- und Herbewegungen. Die ersten Versuche in dieser Richtung und nach Rücksprache mit den Ingenieuren der VAWE²⁾ haben uns gezeigt, dass tatsächlich eine Beziehung zwischen den vorgeschlagenen Kontrollmessungen und der zulässigen Pfahltragkraft besteht. Es war jedoch angezeigt, die erhaltenen Resultate mit Pfahlprobobelastungen zu vergleichen, bevor Schlüsse gezogen wurden. In enger Zusammenarbeit mit Prof. Dr. R. Haefeli und den Ingenieuren R. Henauer und E. Schubiger in Zürich, sowie dank der Verbesserung der Messgeräte sind wir heute in der Lage, beim Abbohren jedes Pfahles die notwendige Länge der Bohrung in bezug auf die verlangte Pfahltragfähigkeit und die zulässige Setzung zu bestimmen.

Die Bodenwiderstandswerte, genannt «Bohrwiderstand», werden graphisch aufgetragen, wie dies in Bild 6 dargestellt ist. Die Integration der erhaltenen Bohrwiderstände auf die ganze Tiefe der Bohrung entspricht der Fläche des obengenannten Diagramms und bringt den Wert der effektiven und nutzbaren «Bohrarbeit». Nachdem wir in sandig-kiesigen und kohärenten Böden Belastungsproben auf Benoto-Pfählen ausgeführt haben, konnten wir eine Reihe von Kurven bestimmen, welche die Tragfähigkeit des Pfahles in Funktion der geleisteten Bohrarbeit und der zulässigen Setzung des Pfahles ermitteln lassen (Bild 7).

4. Bohrpahlwände System Benoto

Die Ausführung von Dichtungswänden und Baugrubenumschliessungen mittels aneinander gereihter oder sich überschneidender Pfähle, wodurch Spundwände ersetzt werden können, ist bereits seit mehr als 30 Jahren bekannt. Jedoch haben die früheren Ausführungen dieser Art keine grosse Verbreitung; sie haben sich auf Spezialarbeiten beschränkt, da ihr Preis sehr hoch und die Bauzeit relativ lange war. Die Art des Bauvorganges für solche Pfahlwände geht aus Bild 8 hervor. Die Bohrgeräte Benoto EDF 55 erlauben uns heute, solche Pfahlwände zu einem

²⁾ Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH.

Preis und mit einer Leistungsfähigkeit auszuführen, die sich denjenigen für Stahlspundwände nähern (Bilder 9 bis 12).

5. Andere Anwendungen des Benoto-Verfahrens

Neben Pfahlfundationen und Pfahlwänden können die Bohrgeräte Benoto EDF 55 für die rasche und wirtschaftliche Herstellung von Filterbrunnen und von umfangreichen Sondierungen eingesetzt werden. Anlässlich der Schüttung des Staudamms Göschenenalp wurden Vertikaldrainagen Ø 0,88 m und bis auf Tiefen von 40 m gebohrt, durch welche der Baugrund unter dem zukünftigen Damm vordrainiert werden konnte (Bilder 13 u. 14). Dadurch wurde eine Beschleunigung der Setzung des Talgrundes erreicht.

Wie ausgeführt, erlaubt das Bohrverfahren Benoto, zahlreiche Fundationsprobleme auf Grund einer neuen Technik zu lösen. Bild 15 zeigt die unerwartet rasche Entwicklung dieses Verfahrens. Seit 1955 wurden bis heute über 40 000 m Benoto-Bohrungen durch die Firma AG. Heinr. Hatt-Haller ausgeführt.

Neben den technischen Vorteilen haben die heutigen Bestrebungen, den Baulärm nach Möglichkeit durch Verwendung geräuschärmerer Maschinen zu mildern, viel dazu beigetragen, die rasche Entwicklung des Benoto-Verfahrens zu fördern. Die «Schweizerische Liga gegen den Lärm» hat zu wiederholten Malen den durch die Benoto-Geräte verursachten Lärm durch Phon- oder Dezibel-Messgeräte ermitteln lassen. Dabei wurde festgestellt, dass der durch die Benoto-Geräte verursachte Lärm unter dem Lärmpegel des städtischen Strassenverkehrs liegt. Außerdem hat die Ausführung von Bohrpfählen den Vorteil, dass keine Rammen oder Pressluft-Schnellschlaghämmere verwendet werden müssen. Durch den Wegfall dieser Rammgeräte werden starke Erschütterungen im Baugrund und dadurch oft grosse Entschädigungen für entstandene Schäden an benachbarten Werken und Gebäuden vermieden.

Adresse des Verfassers: Obering. H. Bucher, A. G. Heinr. Hatt-Haller, Bärengasse 25, Zürich 1.

Wettbewerb für die Seeufer-Gestaltung von Biel, Nidau und Ipsach

DK 711.5

Dieser Ideen-Wettbewerb für die Gestaltung der Bieler Seebucht wurde durchgeführt im Auftrage der Gemeinderäte der Stadt Biel, der Stadt Nidau und der Gemeinde Ipsach und war offen für alle Schweizer Architekten, Ingenieure und Gartengestalter.

Aus dem Programm

Die im Wettbewerbsprogramm verlangten Anlagen entsprechen dem voraussichtlichen Bedarf bis zum Jahre 2000. Ohne Verbindlichkeit für die spätere Planung und Realisierung wird für die Durchführung des Wettbewerbes folgendes festgelegt: a) Die SBB-Linie Biel—Neuenburg soll voraussichtlich auf eine Länge von 2415 m in einen Tunnel verlegt werden. Die Tunneleinfahrt befindet sich in der Felswand unterhalb des Pavillons. b) Für den Hauptstrassenverkehr werden die in der Unterlage bezeichneten Routen ausgebaut