

# Fundationen mit Schleuderbetonpfählen

Autor(en): **Eder, Peter / Fäh, Hanspeter / Jenny, Dieter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **100 (1982)**

Heft 38

PDF erstellt am: **20.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74863>

## Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Fundationen mit Schleuderbetonpfählen

## Anwendungsbeispiele und Merkmale

Von Peter Eder, Bern, Hanspeter Fähr, Zürich und Dieter Jenny, Lenzburg

Es werden im Folgenden einige typische Fundationsaufgaben vorgestellt, wo sich Fertigpfähle aus Schleuderbeton bewährt haben.

### SBB-Überführung Pieterlen

#### Die Bauaufgabe

Der Niveauübergang in Pieterlen musste verschwinden; an dessen Stelle waren Dämme zu schütten und eine Brücke zu bauen (Bild 1). Die Brücke

brauchte eine *Pfahlfundation*, wofür das geeignete Pfahlsystem zu wählen war.

#### Die Projektierungsphase

##### Baugrund und äussere Tragfähigkeit

Die während der Projektierungsphase angeordneten *Sondierungen* zeigen, dass bei den vorliegenden Bodenverhältnissen eine Pfahlfundation notwendig ist: in den oberen 3 m kommt Torf vor, dann wechseln tonige Silte mit siltigen Sanden mit mässiger Lagerungsdichte bis in grosse Tiefen.

Bei diesen Bodenverhältnissen ist der Schleuderbetonpfahl – namentlich der konische – besonders günstig. Durch die Verdrängung werden die sandigen Schichten verdichtet und die konische Form mobilisiert erfahrungsgemäss viel Mantelreibung. Für das Fundationsprojekt müssen diese qualitativen Aussagen quantifiziert werden, wozu die allgemein bekannten Formeln für die Berechnung der Tragfähigkeit verwendet werden. Bei konischen Pfählen kann dabei der Ansatz für die Mantelreibung mit 1,5 multipliziert werden. Aufgrund der Berechnungen wurden in Pieterlen etwa 16 m lange Pfähle mit einer Nutzlast von etwa 100 t vorgesehen.

##### Innere Tragfähigkeit des Schleuderbeton-Rammpfahles

Die *innere Tragfähigkeit* des Einzelpfahles wird aufgrund der Betonqualität und des Armierungsgehalts errechnet. Die Betondruckfestigkeit ab Werk beträgt 50 N/mm<sup>2</sup>.

Es wurden *umfangreiche Rammversuche* mit dem Dieselhammer D22 und dem 5,0-t-Freifallbär durchgeführt, um die Abminderung der Festigkeit durch das Rammen zu bestimmen [1]. Der Abminderungsfaktor ergab sich zu 1,11 und 1,15. Gerechnet wird mit 1,17, was eine Betonfestigkeit des gerammten Pfahles von 42,5 N/mm<sup>2</sup> ergibt. Mit diesem Wert sind die *Interaktionsdiagramme* auf dem Rechenprogramm der ETHL ermittelt worden (Bild 2).

##### Wahl des Pfahlsystems

Neben der Dimensionierung auf äussere und innere Tragfähigkeit müssen in der Projektierungsphase noch andere *Vor- und Nachteile verschiedener Pfahlarten* verglichen werden. Bei der Verwendung von Ortsbetonpfählen müssten mancherlei Risiken bedacht werden, welche beim Schleuderbetonpfahl von vornherein wegfallen:

- Die Betonqualität kann beim Fertigpfahl vor dem Rammen kontrolliert werden. Dank dem Schleudervorgang entsteht ein so dichter Beton, dass auch bei leicht betonaggressivem Grundwasser auf teure Spezialmassnahmen verzichtet werden kann.
- Auch instabile Bodenschichten stellen beim Schleuderbetonpfahl keine unkalkulierbaren Risiken dar.

Beim hier dargestellten Beispiel «Überführung Pieterlen» war auch der Preis des Schleuderbetonpfahles richtig und es kam zur Ausführung.

##### Die Probelastung

Da eine Berechnung der Pfahltragfähigkeit aufgrund von Bodenkennzif-

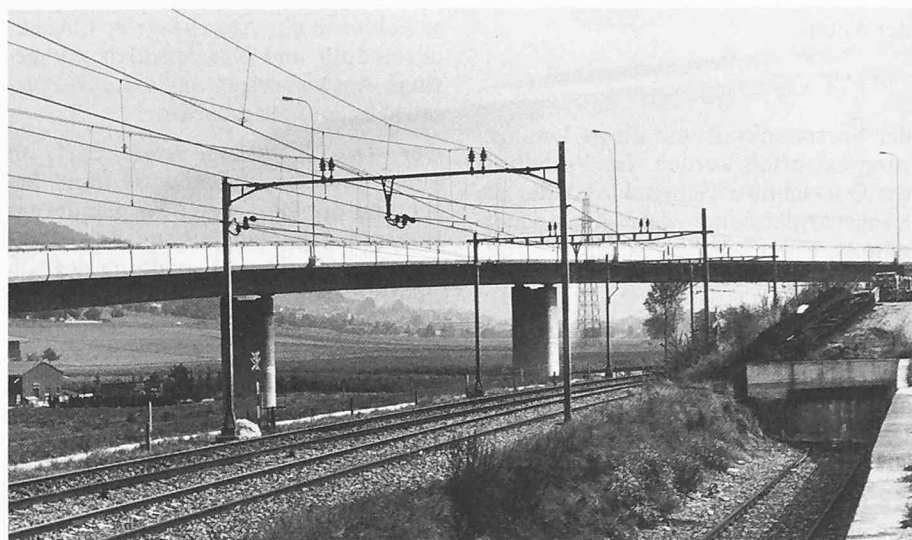
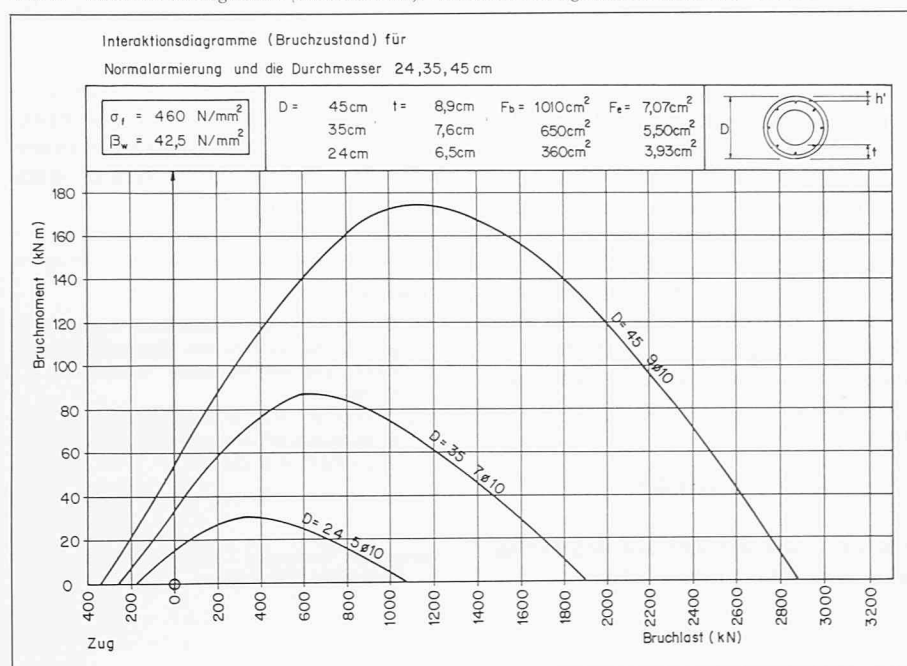


Bild 1. Überführung Pieterlen

Bild 2. Interaktionsdiagramme (Bruchzustand). Normalarmierung und Durchmesser 24, 35 und 45 cm



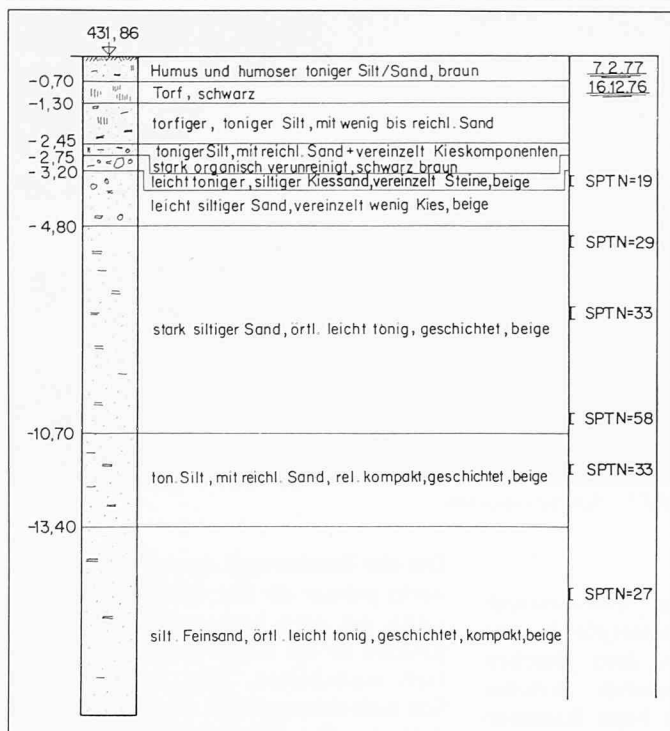


Bild 3. Bohrprofil B1 (Pieterlen)

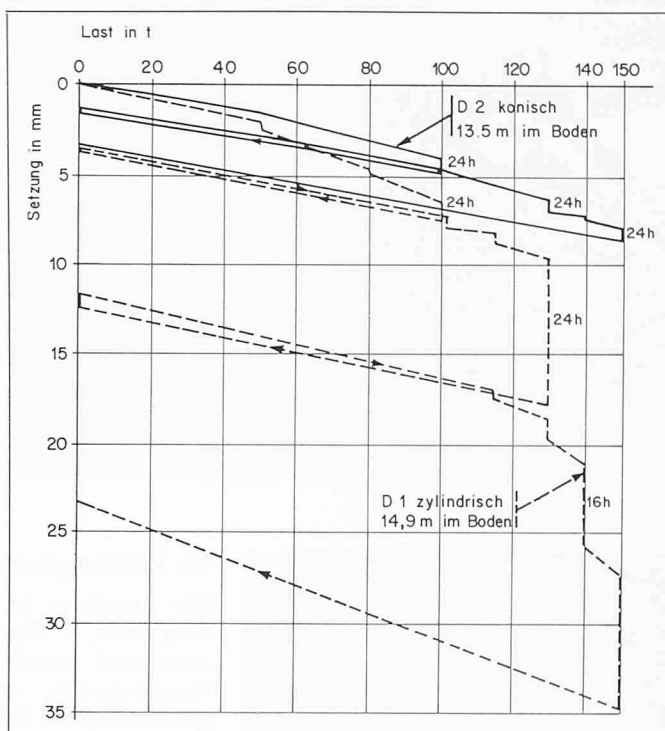


Bild 4. Last-Setzungsdiagramme des konischen und des zylindrischen Schleuderbetonpfahles (Pieterlen)

fern immer mit Unsicherheiten behaftet ist, wurde eine Probelastung angeordnet. In einem Dispositiv von 4 Zugpfählen wurden 2 Probepfähle geprüft: ein zylindrischer und ein konischer Pfahl ( $\varnothing$  45 cm). Bild 3 zeigt die Bodenverhältnisse mit SPT-Werten, Bild 4 die Lastsetzungskurven der beiden Pfähle. Der zylindrische Pfahl erreichte eine Bruchlast von 150 t, beim konischen Pfahl ist die Bruchlast bei 150 t noch lange nicht erreicht. Die Auswertung unter Berücksichtigung der verschiedenen Längen ist in Tabelle 1 dargestellt und ergibt für den konischen Pfahl eine 1,5fache spezifische Mantelreibung gegenüber dem zylindrischen.

Mit dem Rammen des Pfahles ist auch das *Rammdiagramm* aufgenommen und nach der Formel von Stern ausgewertet worden (Bild 5). Mit Hilfe der Probelastung wurde die Formel für den hier vorliegenden Fall *geeicht* und diente als *Bemessungshilfe* für die übrigen Pfähle der Überführung.

## Eigenschaften des Schleuderbetonpfahls

### Die Ausführung

Mit den Resultaten einer Probelastung werden die Pfahlänge bestimmt und die Pfähle bestellt. Dank der *Lagerhaltung* (Bild 6) von Pfählen aller Längen kann mit dem Rammen sofort be-

|                                                          |                  | konischer Pfahl | zylindrischer Pfahl |
|----------------------------------------------------------|------------------|-----------------|---------------------|
| Last bei 6 mm Setzung                                    | t                | 119             | 87                  |
| Länge im Boden                                           | m                | 13,5            | 14,9                |
| Mantelfläche                                             | m <sup>2</sup>   | 19,1            | 21                  |
| Spezifische Mantelreibung                                | t/m <sup>2</sup> | 6,2             | 4,1                 |
| Verhältnis der konischen zur zylindrischen Mantelreibung | -                | 1,5             | 1,0                 |

Tabelle 1. Auswertung der Pfahlversuche. Vergleich zwischen konischer und zylindrischer Form

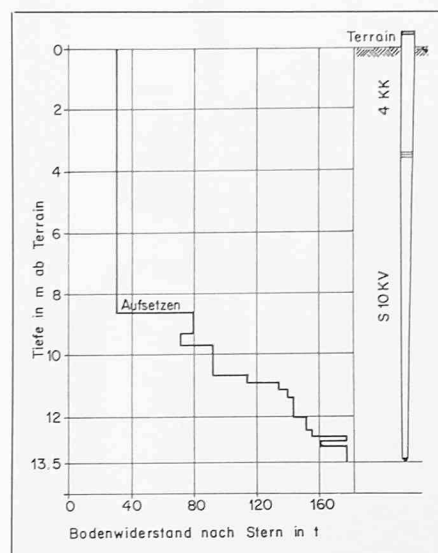
gonnen werden. Bei Änderung der Pfahlänge von Pfeiler zu Pfeiler können Pfähle «falscher» Länge zurückgegeben und dafür richtige bezogen werden.

Die Herstellung der Pfähle erfolgt in der Schweiz in zwei *Schleuderbetonwerken*, wovon eines im Zentrum der Westschweiz, das andere im Zentrum der deutschen Schweiz liegt.

Bei der *Fabrikation* werden Armierungsgerippe in eine 30 m lange untere Halbschale montiert. In diese Halbschale wird Beton BS PC 450 gehäuft eingefüllt und die obere Halbschale mittels Spannvorrichtungen darauf festgeklemt. Beim anschliessenden Schleudervorgang (Bild 7) entsteht im Zentrum dann ein Hohlraum (Bild 8). Gleichzeitig werden die Materialien mit dem kleinsten spez. Gewicht – also überschüssiges Wasser und zuviel Feinstkorn – gegen das Zentrum verdrängt. Dadurch wird aussen, d.h. im tragenden Querschnitt, eine fast perfekte Granulation erreicht. Nach dem etwa 20 Minuten dauernden Schleudervorgang ist der Beton dann so stark verdichtet und infolge Verdrängung des

überschüssigen Anmachwassers auch relativ so trocken, dass er nicht mehr zusammenfällt und nach etwa 24 Stunden ausgeschalt werden kann. Eine ständige Prüfung der Betonqualität im fabrikeigenen Labor und bei neutralen Prüfinstituten gewährleistet eine konti-

Bild 5. Rammdiagramm D2 des konischen Pfahles (Pieterlen)



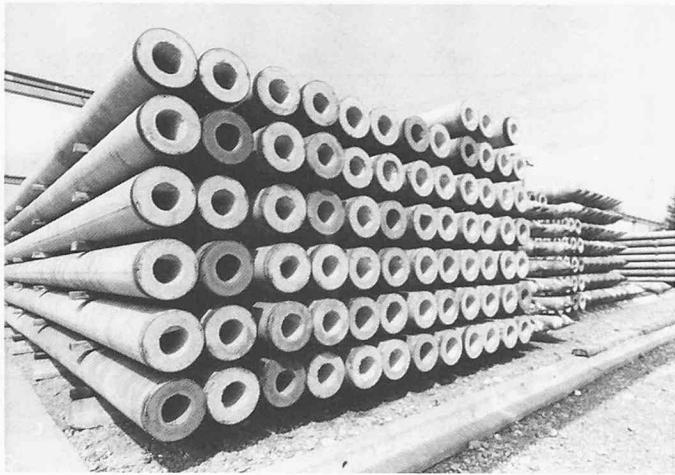


Bild 6. Pfahlager

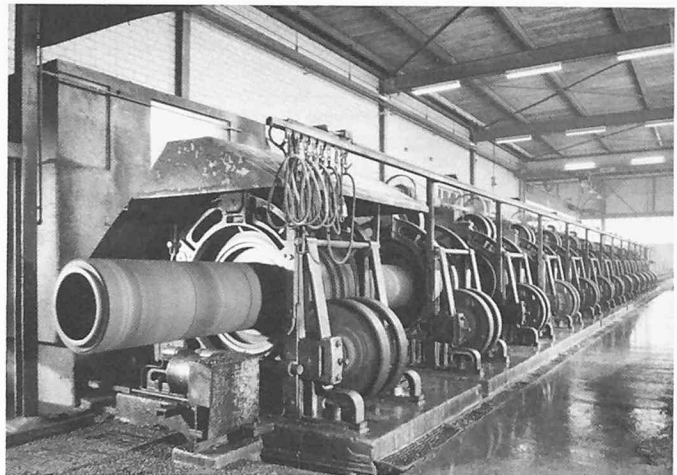


Bild 7. Schleudermaschine

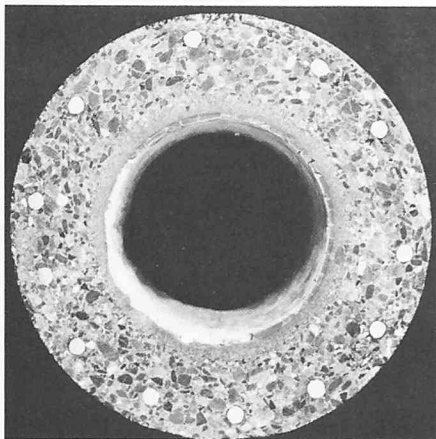
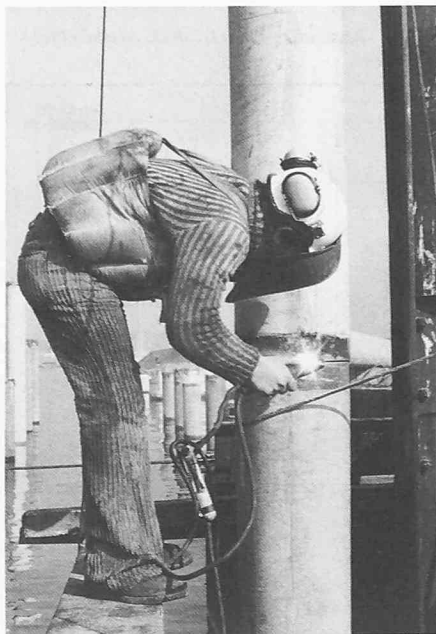


Bild 8. Querschnitt des Schleuderbetonpfahles

nuierlich hohe Betonfestigkeit, welche vom Werk auch garantiert wird.

Je nach Verwendungsart werden *koni-* *sche* oder *zylindrische* Pfahltypen mit den Aussendurchmessern von 24, 35, 45 und 60 cm in verschiedenen Längen hergestellt. Alle diese Pfahltypen sind kuppelbar.

Bild 9. Kuppeln eines Pfahles



### Die Pfahlkupplung

Die Kupplung ist eine *Schweisskupplung* (Bild 9). Die Aufsatzpfähle sind oben und unten mit dem gleichen Kupplungsring ausgestattet, welcher gleichzeitig als Schutz beim Rammen wirkt. Die Kupplung ist so bemessen, dass sie die gleichen Biegemomente und Normalkräfte aufnehmen kann wie der übrige Pfahl.

### Das Rammen

Zum Rammen werden heute fast ausschliesslich eigentliche *Rammbagger* auf Raupen mit verstellbaren Mäklern eingesetzt.

Bei den *Rammbären* scheint es, dass in den letzten Jahren die Entscheidung endgültig zugunsten des *Hydraulikbärs* gefallen ist (Bild 10). Gegenüber dem *Dieselbären* hat er den Vorteil von weniger Lärm und dem Fehlen von Abgasen. Der *Freifallbär* wird als einfachster und deshalb billigster Bär noch lange parallel zum *Hydraulikbär* verwendet werden.

Bild 10. Hydraulik-Rammbär



Die alte Rammregel, wonach das *Bärgewicht* grösser als das *Pfahlgewicht* sein sollte, gilt auch heute noch. Bei *Betonpfählen* ist die Regel nicht immer einfach einzuhalten. Hier ist der hohle *Schleuderbetonpfahl* im Vorteil, ist doch sein Gewicht etwa 30–40% kleiner als das eines *Vollpfahles* mit gleichem Durchmesser.

### Prüfung und Überwachung

Ein Problem aller Pfahlungsarbeiten ist die Qualitätskontrolle des Pfahles *nach Beendigung der Arbeit*. Bei *Ortbetonpfählen* können Einschnürungen oder Unterbrüche entstehen, bei *Fertigpfählen* sind *Pfahlbrüche* gefürchtet. Eine einfache, rasche und billige Methode ist beim *Schleuderbetonpfahl* möglich: das *Spiegeln* des Pfahles, durch den Hohlraum im Zentrum. Grundsätzlich bei allen *Fertigpfählen* anwendbar ist die neu entwickelte Prüfmethode mit dem *«Pile Driving Analyzer» (PDA)*; sie erlaubt nicht nur eine Kontrolle der Integrität des Pfahles, sondern auch eine Aussage über die *Pfahltragfähigkeit* (Bild 11).

### Schleuderbetonpfähle im Wasser

Die Umschlaganlagen Tiefenbrunnen in Zürich sollen hier als Beispiel erwähnt werden [2].

### Zweck der Konstruktion

In Zürich-Tiefenbrunnen wurde schon seit langer Zeit versucht, durch Aufschüttungen dem Zürichsee Land abzugewinnen. Da diese Auffüllungen auf Seekreide, und Faulschlammsschichten zu liegen kamen, gab es immer wieder Rutschungen, und die Stabilität der Böschungen blieb gering. In diesem Terrain waren Umschlaganlagen vom See auf die Strasse zu erstellen. Gewählt wurde eine Konstruktion, die aus Fertigbetonelementen besteht und auf

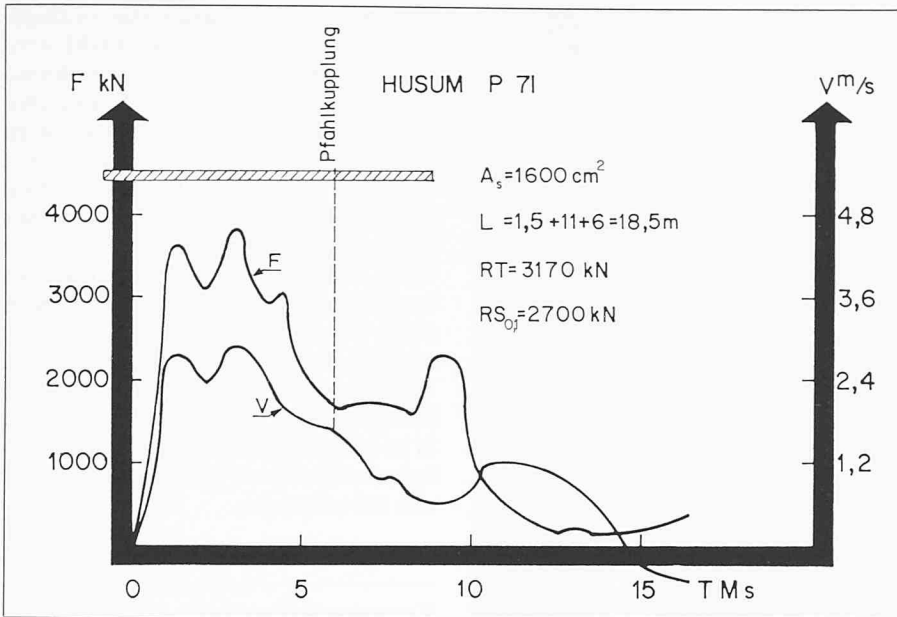


Bild 11. Prüfung des Pfahles und Bestimmung der Tragfähigkeit mit dem Pile Driving Analyzer

Pfahlgruppen aus Schleuderbetonpfählen versetzt ist. Diese Pfähle stehen teilweise im Wasser und sind teilweise sichtbar, so dass der runde Schleuderbetonpfahl mit seiner glatten und dichten Oberfläche besonders geeignet ist.

#### Ramm-Methode

Das Rammen der Pfähle erfolgte ab einer *Rammbühne*, welche sich teils auf dem Land, teils auf einem Ponton abstützt (Bild 12). Es kamen Schleuderbetonpfähle  $\varnothing 45$  cm mit konischem Un-

terteil zur Anwendung. Als Nutzlast waren 90 t vorgesehen. Gerammt wurde mit einem Delmag-D-30-Dieselbär.

#### Tragfähigkeit

Noch in 32 m Tiefe sind die Rammwiderstände sehr gering (um 80 t). Lässt man einen Pfahl aber über Nacht stehen, «saugt» er sich an und hat einen Rammwiderstand von 200 t (Bild 13). Ob dieses *Ansaugen* für die Tragfähigkeit wirklich berücksichtigt werden durfte, musste mit einer Probebe-

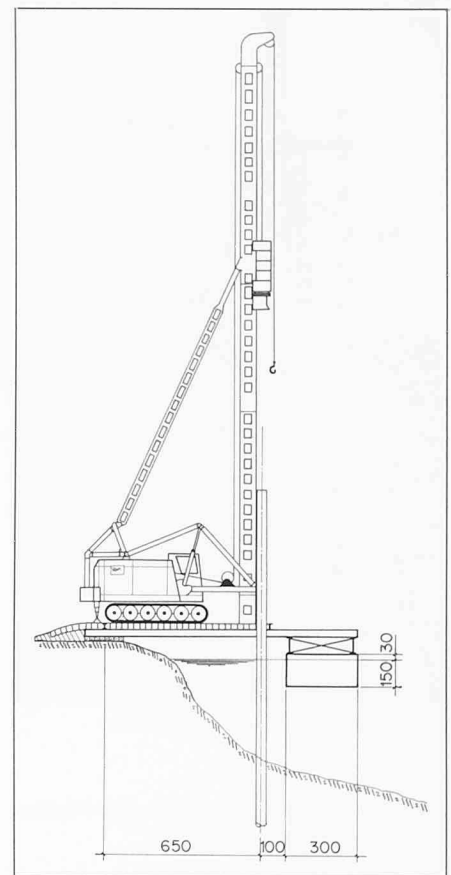


Bild 12. Rammen im Wasser, vom Ufer aus

stung abgeklärt werden. Wie Bild 14 zeigt, betrug die Bruchlast tatsächlich 210 t, was gut mit dem Rammwider-

Bild 13. Bodenprofil und Rammdiagramm (Pfahl Nr. 4, Zürich-Tiefenbrunnen)

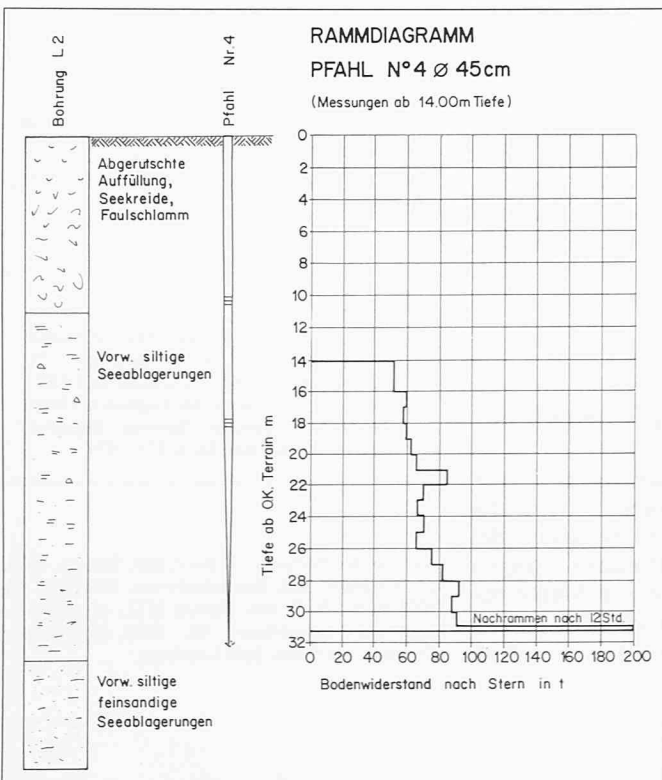
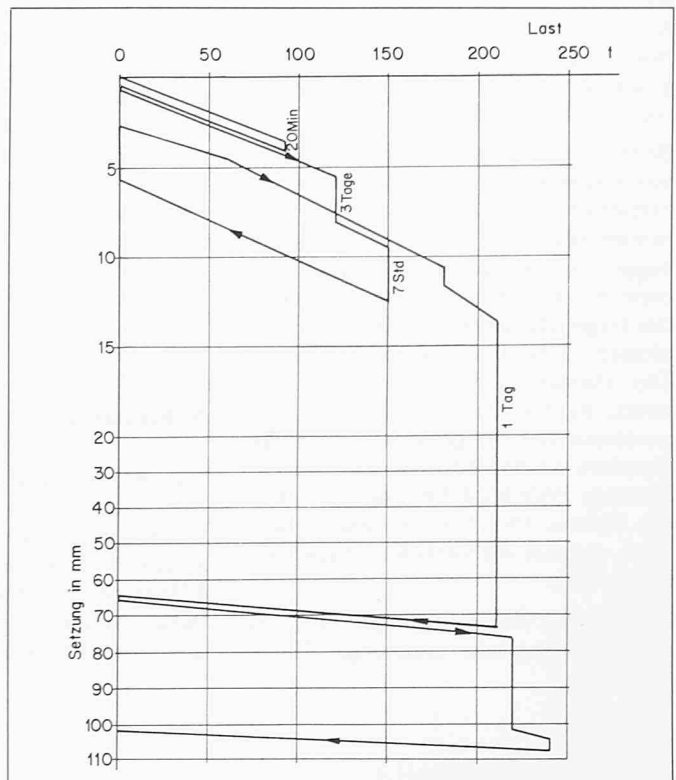


Bild 14. Last-Setzungsdiagramm des 32 m langen und 45 cm dicken Schleuderbetonpfahles (Zürich-Tiefenbrunnen)



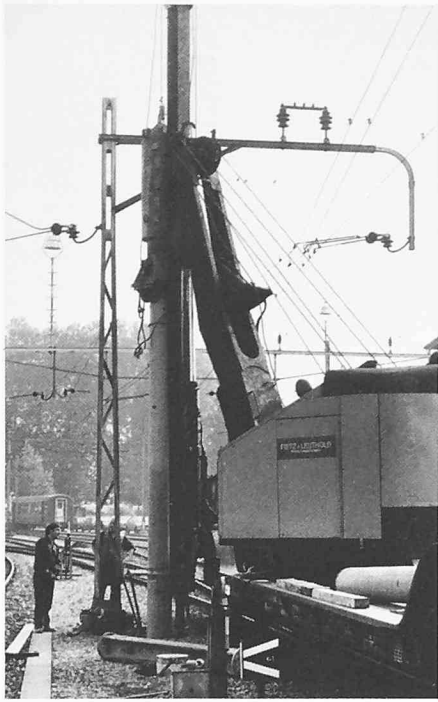


Bild 15. Rammens vom Bahngleise aus

stand nach dem Ansaugen des Pfahles übereinstimmt.

### Pfählen vom Bahngleis aus

Mastfundamente für Fahrleitungen werden normalerweise konventionell erstellt: Aushub eines Schachtes, evtl. Spriessung, Versetzen der Ankerschrauben und der Kopfschalung und Einbringen des Betons. Das ausgehobene Material muss z.T. unter erschwerten Bedingungen abgeführt werden. Kommt ein Fundament in eine steile Böschung oder in schwierigen Baugrund zu liegen, können die Kosten recht hoch werden.

Beim vorgeschlagenen Verfahren wird von einem Spezialwagen aus ein vorfabrikierter Schleuderbetonpfahl gerammt (Bild 15). Wagen und Ramm-bagger sind so konstruiert, dass auch beim Schwenken das Lichttraumprofil des Gegengleises frei bleibt. Die Pfahlelemente sind 4 m lang und kuppelbar. Das oberste Element ist speziell armiert, so dass die vom Leitungsmast verursachten Biegemomente aufgenommen werden können. Für die Verbindung Pfahlkopf/Leitungsmast wird ein kleines Ortbetonfundament betoniert, welches die Verankerungsschrauben enthält.

Die Strecke Richterswil-Pfäffikon, wo streckenweise sehr schwierige Boden-

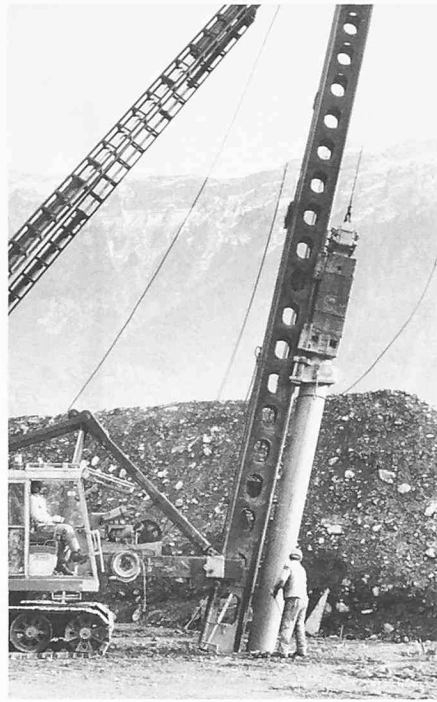


Bild 16. Überkopf Rammens eines Schrägpfahles

verhältnisse vorhanden sind, wurde im Juni 1980 als erste mit diesen neuartigen Mastfundamenten erstellt. Weitere Strecken sind in Arbeit.

### Schrägpfähle

Für den Autobahnzubringer zur N8 (Lindenallee, Interlaken) war eine Überführung zu fundieren. Das statische System der Brücke besteht aus einem Sprengwerk; es müssen relativ grosse Horizontalkräfte aufgenommen werden. Schleuderbetonpfähle  $\varnothing 45$  cm mit Schrägstellung bis 4:1 erwiesen sich als wirtschaftlich. Da aus Gründen der Vorbelastung die Anschlussdämme vorgängig geschüttet worden waren, mussten die Pfähle zum Teil über Kopf gerammt werden, was dank dem leichten Gewicht und der Möglichkeit mit kurzen Pfahlelementen zu arbeiten, auch ohne weiteres möglich war (Bild 16).

### Schleuderbeton-Injektionspfahl

Auf der einen Hälfte des Viaduc d'Yverdon (Autobahn N5) waren tiefergründig lockere siltige Sande zu erwarten. Bei solchen Bodenverhältnissen tragen Pfähle hauptsächlich durch Mantelreibung. Um die zulässige Pfahllast zu vergrössern und die Pfahllänge zu verrin-

gern, wurde der Schleuderbeton-Injektionspfahl entwickelt: Der Pfahl wird mit einer Spitze grösseren Durchmessers versehen, in den Hohlraum zwischen Pfahlmantel und Spitze wird während des Rammens Zementmörtel verpresst. Mit einem Schleuderbetonpfahl  $\varnothing 45$  cm kann so ein Pfahl mit einem mittleren Durchmesser von etwa 70 cm erstellt werden, gleichzeitig wird durch den Injektionsvorgang die spezifische Mantelreibung erhöht. Die Auswertung der zwei Belastungsproben in Yverdon ergab eine zulässige mittlere Mantelreibung von  $3,5 \text{ t/m}^2$ , so dass ein 21 m langer Pfahl ohne nennenswerten Spitzenwiderstand eine zulässige Last von 160 t erreicht.

### Zusammenfassung

Anhand von Beispielen wurden die verschiedenen Verwendungsmöglichkeiten des Schleuderbeton-Fertigpfahles gezeigt, sie beruhen auf den nachfolgend zusammengefassten Vorteilen:

Die ausserordentlich gute Qualität des Schleuderbetons ergibt eine hohe Schlagfestigkeit. Sie erlaubt hartes Rammen ohne Pfahlbrüche, ohne Beschädigung des Pfahlkopfes. Die Lagerhaltung verschiedener Pfahllängen und die Kuppelbarkeit der Pfähle erlaubt die kurzfristige Ausführung von Aufträgen ohne Vorbestellung und die Anpassung der Pfahllängen an die Bodenverhältnisse während der Rammarbeiten. Konische Pfähle erlauben die Erhöhung der Tragfähigkeit bzw. die Reduktion der Pfahllänge in Reibungsböden. Injektions-Fertigpfähle haben ihre Eignung für Sonderfälle erwiesen.

Damit verbindet der Schleuderbetonpfahl die Vorteile des anpassungsfähigen Ortsbetonrammpfahles mit der überprüfbaren Betonqualität des Fertigpfahles.

#### Literatur

- [1] Eidg. Materialprüfungsanstalt: «Druckfestigkeitsproben». EMPA-Berichte Nr. 235 046 und 235 046/1. Dübendorf, 6.1.82
- [2] Bernardi B.: «Der Umschlaghafen Tiefenbrunnen in Zürich». Schweiz. Ingenieur und Architekt, Heft 36, S. 651, 1979

Adresse der Verfasser: P. Eder, dipl. Bauing. ETH, c/o Losinger AG, Spezialarbeiten, Könizstr. 74, 3001 Bern; H. P. Fähr, Bauing HTL, c/o Fietz + Leuthold, Industriest. 48, 8304 Wallisellen; D. Jenny, c/o Sacac, 5600 Lenzburg.