Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 108 (1990)
Heft: 19

Artikel: Pfahlprüfung mit Ultraschall
Autor: Hürzeler, Hans / Wullimann, Rudolf
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-77423

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: 26.07.2025

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

Pfahlprüfung mit Ultraschall

Diese zerstörungsfreie Pfahlprüfmethode ist seit mehr als 10 Jahren bekannt und wird in der Praxis auch recht häufig angewendet. Oftmals wird auch der Ausdruck Integritätsprüfung gebraucht.
Was wird gemessen, bzw. was für Fehler können ermittelt werden? Diese Fragen werden mit dem vorliegenden Bericht beantwortet. Für die Diskussion und Problemlösung wird grundsätzlich von den höheren Ansprüchen für Biegepfähle ausgegangen - der Pfahlmantel ist somit von besonderem Interesse.

VON HANS HÜRZELER, AARAU UND RUDOLF WULLIMANN, ZÜRICH

Voraussetzungen

Damit die Prüfung erfolgen kann, sind mindestens zwei Führungsrohre (auch Messrohre genannt) zur Aufnahme des Impulsgebers und des Empfängers notwendig. Es können Kunststoff- oder Stahlrohre verwendet werden, der Innendurchmesser muss mindestens 1¼" (1½") betragen.

Von den Prüforganen werden Anzahl und Anordnung der einzubauenden Messröhrchen in Abhängigkeit der Pfahlgrösse, entsprechend Bild 1, empfohlen. Die Befestigung erfolgt normalerweise am Armierungskorb; auf gleichbleibende Abstände der Röhrchen über die ganze Pfahllänge ist dabei zu achten.

Messmethode

Bei der Integritätsprüfung von Pfählen mittels Ultraschall werden jeweils eine Sender- und Empfängersonde in den eingebauten und zuvor mit Wasser gefüllten Messröhren im Pfahl höhengleich von unten nach oben gezogen. Über eine angeschlossene Messapparatur wird die Durchlaufzeit des ausgesandten Ultraschallsignals im Beton über die gesamte Pfahllänge bestimmt und kontinuierlich aufgezeichnet. Die Prüfung besteht somit aus einer horizontalen Durchschallung des Pfahles.

Ein intakter Pfahl mit homogener Betonqualität zeigt auf der ganzen Länge keine nennenswerten Variationen der Ultraschall-Ausbreitungsgeschwindigkeit. Dichte- und Formänderungen im Pfahl sollten jedoch eine deutliche Änderung der Durchlaufzeit an der betreffenden Stelle bewirken. Ein Bereich schlechter Betonqualität z.B. weist im Vergleich zum übrigen Pfahlbeton eine merklich erhöhte Durchlaufzeit auf. Solche und andere Fehlstellen werden als Anomalien bezeichnet. Die Messmethode ist in [1] beschrieben.

Messergebnisse

Für die Wynaüberdeckung in Menziken wurden in zwei Etappen 1984/85 insgesamt 64 Biegepfähle ∅ 90 cm erstellt. Die Pfahllänge betrug ca. 7,5 m bis 8,5 m; 6,5 m bis 7,0 m reichen unter die Bachsohle und stehen im Grundwasser. Die meisten Pfähle mussten mit Unterwasserbeton hergestellt werden - einige Bohrungen waren jedoch trokken. Alle Pfähle wurden mit je 3 Messrohren ausgerüstet und mit Ultraschallmessungen geprüft.

Im Bild 2 sind die gemessenen Durchlaufzeiten als Messprofile über die ganze Pfahllänge der Pfähle Nrn. 15, 33 und 39 ersichtlich. Die Interpretation der Messresultate ist oftmals schwierig und nicht immer eindeutig möglich.

Das Ergebnis der Messungen an den Pfählen Nrn. 15, 33 und 39 war das folgende:

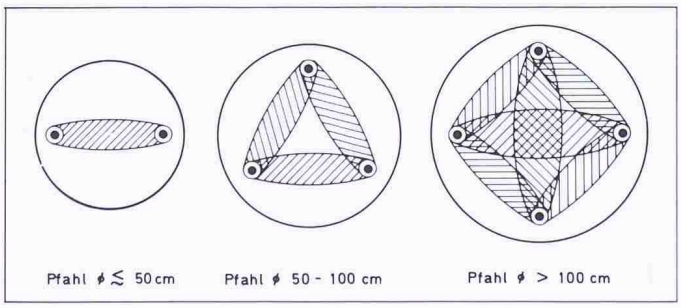
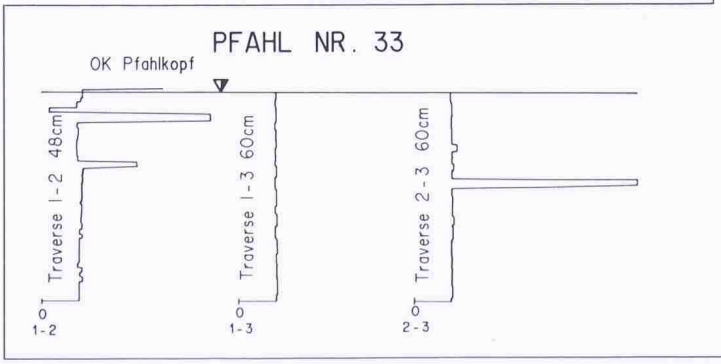


Bild 1. Anordnung der Messröhrchen, schraffiert die durchschallten Zonen (Messtraversen)



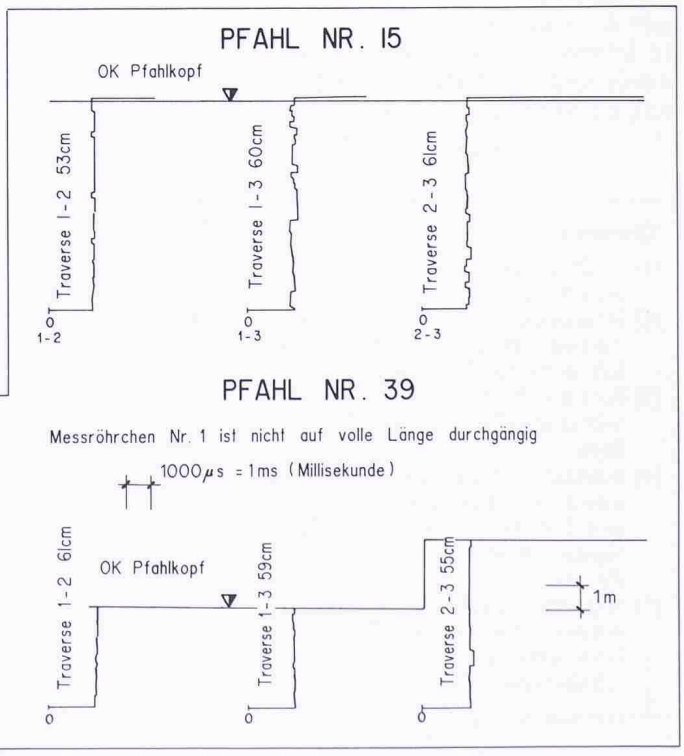


Bild 2. Messprofile von drei Pfählen

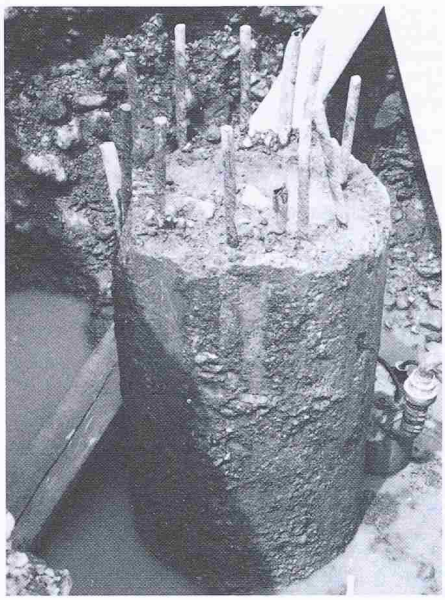


Bild 3. Der freigegrabene Pfahl Nr. 33

Bild 4. Bei Pfahl Nr. 39 stimmt etwas nicht

Bild 5. Der Schaden ist ziemlich gross

Pfahl Nr. 15: In allen drei Traversen sind Variationen der Durchlaufzeiten vorhanden. Die grössten Unterschiede betragen ca. 15%, trotzdem lautet die Beurteilung des Prüfers: keine besonderen Anomalien.

Pfahl Nr. 33: In zwei Messprofilen sind sehr grosse Abweichungen zur Normal-Durchlaufzeit gemessen worden. Der Prüfbericht zu diesem Pfahl lautete:

- Mittelschwere Anomalien im Bereich der Traverse 1-2 in Tiefen von 0,7-1,3 m bzw. 2,8-3,1 m ab OK Pfahlkopf.
- Mittelschwere Anomalie im Bereich der Traverse 2-3 in einer Tiefe von 3,5-3,9 m ab OK Pfahlkopf;
- davon abgesehen keine besonderen Anomalien.

Pfahl Nr. 39: Abgesehen von der Tatsache, dass ein Messrohr nicht durchgängig war und darum die untersten ca. 3 m Pfahl in zwei Traversen nicht gemessen werden konnten, sind keine besonderen Feststellungen möglich.

Fehlerstellen

Das Prüfen von Pfählen, z.B. mit Ultraschall wie hier beschrieben, ist die eine Seite. Doch stellt sich unweigerlich die Frage, was aus den Messresultaten herausgelesen werden kann. Die zu ergreifenden Massnahmen zur Behebung allfälliger Anomalien ist dann die andere Seite.

An der Abklärung der Frage, wie sich Fehlerstellen eines Pfahles auf die Messergebnisse auswirken und, was in der Regel noch viel wichtiger ist, welche Fehlerstellen aufgrund der Messungen ermittelt werden können, war der erstgenannte Autor, nachdem er diese Prüfmethode schon für mehrere hundert Meter Pfähle hat anwenden lassen, sehr interessiert.

Der Prüfbefund von Pfahl Nr. 33 bot eine günstige Gelegenheit zur Klärung dieser Frage, indem in sehr geringer Tiefe bis ca. 1,3 m unter Terrain eine «mittelschwere Anomalie» freigegraben werden konnte. In Bild 3 ist dieser Pfahl abgebildet. Äusserlich ein absolut korrekter Pfahl ohne Fehler. Der Bauherr liess es dabei aber nicht bewenden und liess den Pfahl aufspitzen - ohne dass sich die Interpretation der Messungen bestätigt hätte. Es konnte kein Mangel eruiert werden. Dies war ein für alle Beteiligten recht sonderbarer Befund. Die Zuverlässigkeit der Prüfmethode wurde erstmals (berechtigt) in Frage gestellt.

Die Bauarbeiten erforderten das bachseitige Freilegen aller Pfähle bis ca. 2,5 m ab OK Pfahl. Bei Pfahl Nr. 39 kam knapp über diesem Aushubniveau eine Merkwürdigkeit, eine fensterartige Öffnung, zum Vorschein (Bild 4). Das Nachgraben zeigte, dass der vorhandene Schaden umfangreich und nicht bedeutungslos war. Im Bild 5 ist der Umfang des Schadens erkennbar.

Entstanden ist diese Anomalie vermutlich durch das Verklemmen eines Brokkens zwischen Armierung und Bohrrohr während des Rohrrückzuges; der Boden kam in der Grenzzone wahrscheinlich in einen Fliesszustand, da das Rohr durch Vibration eingetrieben und zurückgezogen wurde. Im Bild 6 ist das untere Ende des «Fensters», welches mit Feinanteilen des Bodens gefüllt war, ersichtlich. Deutlich sind ein Messrohr und die ungedeckte Armierung zu erkennen.

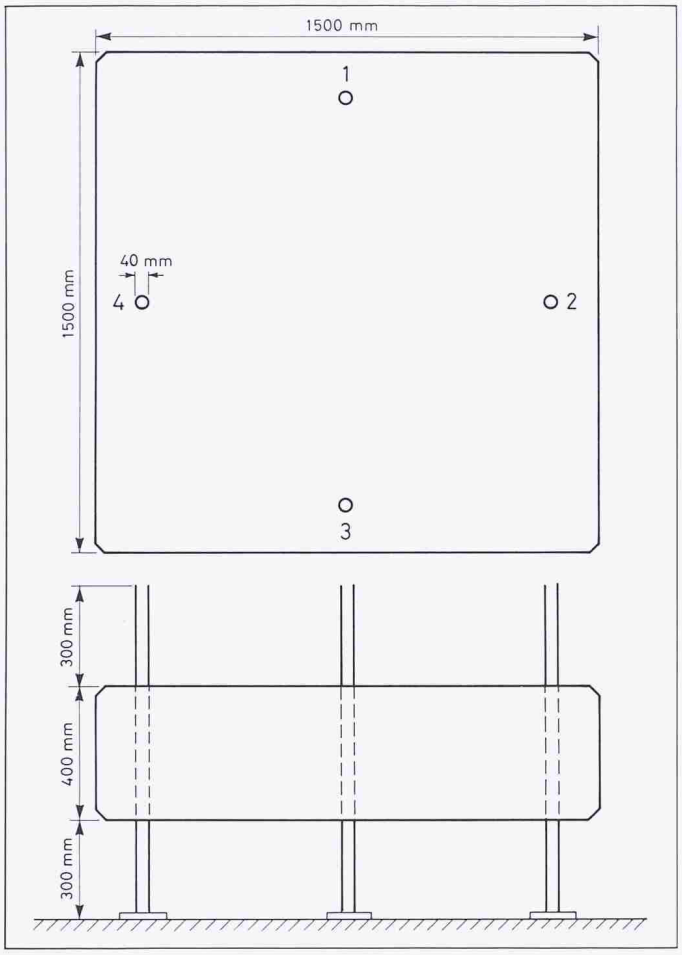
Befremdend war, dass aus den Messungen des Pfahles Nr. 39 keinerlei Hinweise auf irgendeinen Fehler bzw. Schaden zu entnehmen waren. Die Entdeckung war nur Zufall; 30 cm tiefer hätte sie niemand «gefunden».

Eindeutigkeit

Die beschriebenen Vorkommnisse bei den Pfählen Nr. 33 und 39, einerseits Fehlerhinweise und bei der durchgeführten Untersuchung keinerlei Mängel feststellbar, anderseits bedeutender Schaden, aber aufgrund der Messresultate keine Hinweise dafür, ergaben viel Ungewissheit; das Vertrauen in die Prüfmethode war geschwunden.

Aufgrund der Tatsache, dass bei Pfahl Nr. 39 auch ein Messrohr auf über 1 m Länge im «Fenster» sichtbar war, nebst 2 Stäben der Biegebewehrung, musste die Frage nach den Grenzen der Ultra-

Bild 6. Detailaufnahme der Schadenstelle; ein Messrohr, zwei Stäbe der Biegebewehrung und die Spiralarmierung sind sichtbar



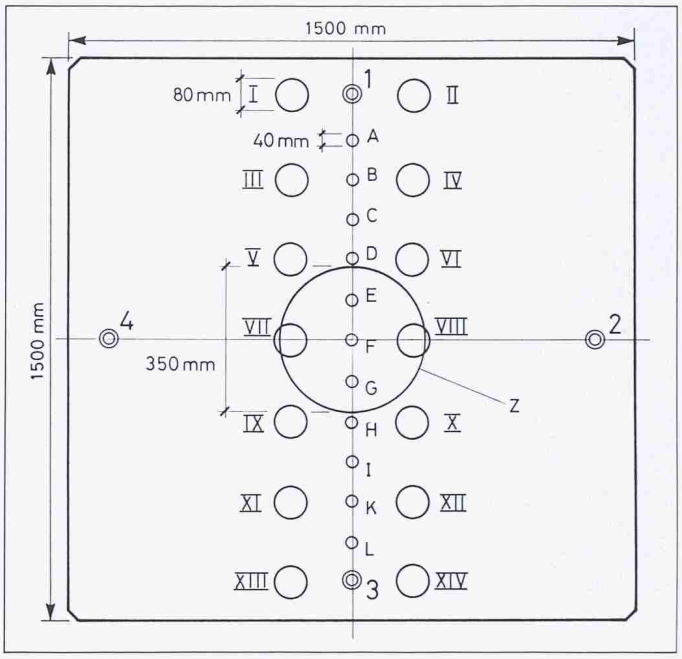


Bild 8. Anordnung der Bohrungen (= Anomalien) in der schwach armierten Betonplatte A (1 bis 4: Messrohre)

Bild 7. Abmessungen der Betonplatten A und B mit den vier Messrohren (Innendurchmesser 30 mm)

schallprüfung bzw. deren Aussagekraft gestellt werden. Der vorliegende Sachverhalt bestätigte jedenfalls, dass auch bei positiven Prüfergebnissen nicht auf einen für Biegepfähle überaus wichtigen, intakten Pfahlmantel geschlossen werden kann.

Wäre das «Fenster» durch die Messung entdeckt worden, wenn es nicht im Grundwasser gestanden hätte? Anders gedeutet bzw. gefragt:

Versagt die Methode im Grundwasser – werden z.B. auch Risse oder Kiesnester, wenn sie mit Wasser gefüllt sind, nicht erkannt? Kann sich das Signal eventuell durch die Armierung übertragen? Was wird tatsächlich gemessen?

Diese Fragen wurden vom Bauherrn gestellt, und er bemühte sich um Klärung dieser Angelegenheit. Die nachstehend beschriebenen Versuche, die am Institut für Grundbau und Bodenmechanik an der ETH Zürich durchgeführt wurden, sind durch ihn initiiert und begleitet und, soweit notwendig, auch finanziert worden.

Ultraschallmessungen im Labor

Zur Überprüfung der Messmethode hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit auf Anomalien in einem Betonkörper wurden zwei Betonplatten mit der Betonqualität PC 300 und den Abmessungen des Bildes 7 hergestellt. Die beiden Platten wurden je mit vier Messrohren (Innendurchmesser 30 mm) aus Stahl bestückt. Die Platten waren verschieden stark armiert, nämlich: Platte A: schwach armiert, Netz ∅ 5/150 unten und oben; Platte B: stark armiert, ∅ 20/100 kreuzweise unten und oben; beide mit konstruktiver Randverbügelung versehen.

Ausgehend von den in Menziken gemachten Erfahrungen und der Beschreibung der Messmethode und ihrer Anwendungen in [1], sollten mit Hilfe der Versuche, die in der Versuchshalle der ETH Hönggerberg durchgeführt wurden, folgende Fragen beantwortet werden:

1) Entsprechen die tatsächlichen Einflusszonen, d.h. Messbereiche der in Bild 1 eingezeichneten Form zwischen Impulsgeber und Empfänger, wie sie üblicherweise in der Literatur zur Darstellung kommt?
2) Wie gross ist der Einfluss der Armierung auf den Transport der Ultraschallsignale? Findet der Transport entlang der Armierungseisen (Spirale) statt?
3) Wie gross ist der Einfluss von Störungen (Anomalien) im Betonkörper auf die Durchlaufzeit, bzw. wie gross muss eine Anomalie sein – und dies ist eine wesentliche Frage –, damit sie aufgrund der Pfahlprüfung eindeutig erkannt werden kann?
4) Können Fehlerstellen im Bereich der Tragarmierung von Biegepfählen (Pfahlmantel) festgestellt werden?

Die Messungen wurden von Herrn Dr. N. Seifert, Grundbau-Beratung AG, St. Gallen, durchgeführt und die Ergebnisse in einem Bericht zusammengefasst. Der Bericht wurde für den vorliegenden Artikel verwendet.

Begonnen wurde mit den Nullmessungen an den beiden intakten Platten (Bild 7). Dann wurden etappenweise Störungen in Form von Bohrungen verschiedener Abmessung und Verteilung (Bild 8) angebracht. Ziel war es, mit diesem Vorgehen zunächst die Fragen 1) bis 3) zu beantworten.

Das Ergebnis der Messungen im Labor war das folgende:

Erster Messeinsatz: Die Nullmessungen an den beiden intakten Platten in den Traversen 1–3, 2–4, 1–2, 2–3, 3–4 und 4–1 (Bild 7) ergaben eine durchschnittliche Schallgeschwindigkeit von v = 5230 m/s. Die Grösse dieses Wertes weist auf eine hohe Betonqualität hin.

Zweiter Messeinsatz: Als erster Schritt im Hinblick auf die Beantwortung der

Frage 1) wurden in der Traverse 1-3 der Platten A und B je zwei Bohrungen B und K (Durchmesser 40 mm) gebohrt (Bild 8). Im Vergleich zur Nullmessung waren bei dieser Anordnung keine deutlichen Unterschiede in der Signallaufzeit zwischen den Messrohren festzustellen.

Dritter Messeinsatz: In der Traverse 1-3 wurden dann in die Platten A und B neun weitere Bohrungen (Durchmesser 40 mm) erstellt, so dass in dieser Traverse gesamthaft elf «Löcher» A bis L (Bild 8) vorhanden waren. Unter verschiedenen Bedingungen (Löcher leer oder mit Wasser gefüllt oder Löcher mit den Betonkernen und Wasser im Ringraum um die Kerne herum; Löcher unten mit Gummizapfen abgedichtet) wurden die Traversen 1-3 und 2-4 vermessen. Auch bei diesem Messeinsatz zeigten sich keine relevanten Variationen in der Dispersion der Schallsignale.

Die nächsten Messungen wurden nur an der schwach armierten Platte A durchgeführt.

Vierter Messeinsatz: Die Störungen wurden massiv verstärkt, indem parallel und beidseits der Traverse 1-3 vierzehn weitere Bohrungen I bis XIV (Durchmesser 80 mm) in die Platte A erstellt wurden. Neben den Messrohren 1 bis 4 waren also jetzt die «Löcher» A bis L und I bis XIV (Bild 8) vorhanden. Für die Löcher I bis XIV wurden die Betonkerne diesmal mit einem PVC-Rohr überzogen, um ein besseres Einpassen in die Bohrungen zu erreichen. Wie aus Tabelle 1 entnommen werden kann, ergab sich auch bei dieser Anordnung sowohl in der Traverse 1-3 als auch in der Traverse 1-2 nur eine geringfügige Änderung der Durchlaufzeit um ca. -4%, verglichen mit der Nullmessung.

Traverse Bemerkung	*Abstand* (cm)	t (µs)	v (m/s)
1-3 kleine Löcher	122	245	4980
1-3 mit Wasser	122	240	5083
1-2 Löcher leer	86	171	5029

Tabelle 1. Resultate aus dem vierten Messeinsatz

Versuch Nr.	*Traverse*	*Abstand* (cm)	t (µs)	v (m/s)	*Bemerkung*
1	1-3	122	360	3389	alle Löcher leer
2	1-3	122	310	3935	Loch Z sowie Löcher A bis D und H bis L mit Wasser
3	A-3	114	290	3931	
4	B-3	105	260	4038	
5	C-3	95	240	3958	
6	C-L	86	220	3909	
7	C-K	76	190	4000	
8	C-I	67	170	3941	
9	C-H	59	150	3933	
10	C-H	59	150	3933	Loch Z mit Kies, ohne Wasser, andere wie oben
11	C-H	59	135	4370	Loch Z mit Kies und Wasser, andere wie oben

Tabelle 2. Resultate aus dem fünften Messeinsatz

Man ermittelte also in der Traverse 1-3 über die elf «Löcher» A bis L praktisch die gleiche Schallgeschwindigkeit v wie in der Traverse 1-2, wo allenfalls die beiden «Löcher» II und IV von den Messungen erfasst worden sein dürften.

Fünfter Messeinsatz: Hinzu kam nun noch die zentrale Bohrung Z mit dem Durchmesser von 350 mm (Bild 8). An der Platte A musste dazu auf der Unterseite eine Abdichtung mit Netzarmierung aufgebracht werden, damit auch das «Loch» Z mit Wasser und/oder Kies aufgefüllt werden konnte. Für diesen Messeinsatz waren demnach in der Platte folgende «Löcher» vorhanden: A bis D und H bis L (Durchmesser 40 mm), I bis VI und IX bis XIV (∅ 80 mm) sowie Loch Z (∅ 350 mm). Siehe dazu auch Bild 9.

Die Messergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

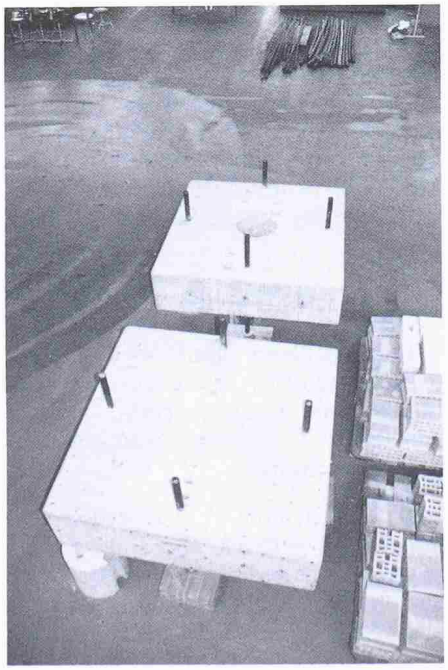


Bild 9. Ansicht der beiden Betonplatten. Vorn: Platte B (stark armiert), hinten: Platte A (schwach armiert)

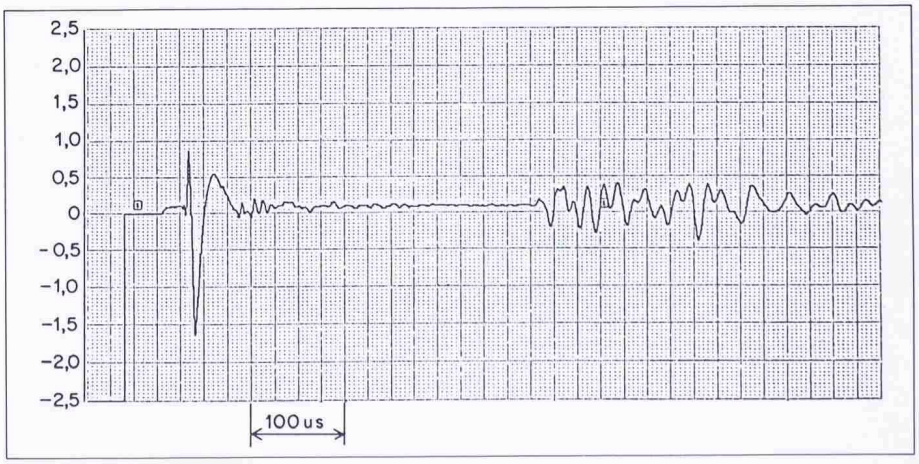


Bild 10. Resultat einer Ultraschallmessung an der Platte A; hier als Beispiel in der Traverse 1-3, Anordnung der Bohrungen gemäss Bild 8, entsprechend Versuch Nr. 1, Tabelle 2

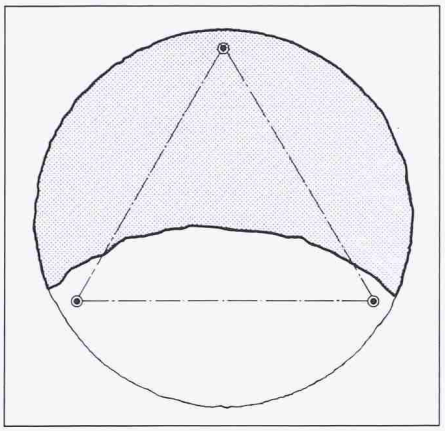


Bild 11. Anomalie mit 2 Messröhren ausserhalb des Betonquerschnittes

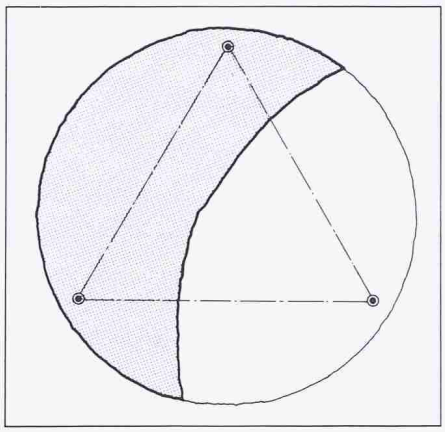


Bild 12. Anomalie mit 1 Messrohr ausserhalb des Betonquerschnittes

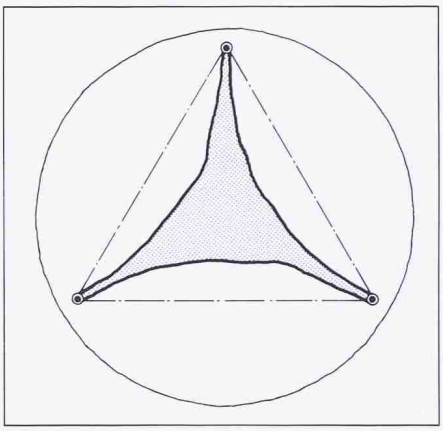


Bild 13. Theoretischer Restquerschnitt («Mercedesstern»), kein Messrohr ohne Betonkontakt

Versuch Nr. 1 (Tabelle 2, siehe auch Bild 10) ergab, verglichen mit der Nullmessung (v = 5230 m/s) in der Traverse 1-3 eine Abnahme der Schallgeschwindigkeit um etwa -35%. Fasst man die Versuche Nr. 2 bis Nr. 9, die alle etwa unter den gleichen Bedingungen durchgeführt wurden, zusammen, stellt man eine Abnahme gegenüber v ∅ 5230 m/s im Mittel um ca. -24% fest. Keinen wesentlichen Unterschied zu diesen Versuchen zeigt Versuch Nr. 10. Bei Versuch Nr. 11 konstatiert man gegenüber der Nullmessung eine Abnahme der Schallgeschwindigkeit um ca. -16%, oder, verglichen mit den Versuchen Nr. 2 bis Nr. 9, man stellt eine Erhöhung von v um etwa +10% fest. Es dürfte in diesem Zusammenhang allenfalls noch von allgemeinem Interesse sein, dass diese Reduktion von v um beispielsweise 25% etwa einer Reduktion des E-Moduls um 50% entspricht.

In einem weiteren Messeinsatz wurden an der stark armierten Platte B Ultraschallsignale über die volle Plattenbreite von 1500 mm aufgezeichnet. Dabei wurden je eine externe Emitter- und Empfängersonde entlang zweier gegenüberliegender Profile geführt, wobei direkt über ein verbindendes Armierungseisen und im Zwischenraum ohne Armierung gemessen wurde. Die Sonden wiesen dieselben Charakteristika auf wie diejenigen für den Einsatz in den Messrohren. In beiden Fällen war die Laufzeit bis zum Eintreffen der longitudinalen Wellenfronten identisch. Daraus und aus den anderen Versuchen scheint festzustehen, dass die Armierung keinen Einfluss auf das Messergebnis hat.

Die durchgeführten Messungen erlauben die direkte Beantwortung der Fragen 1) und 2) wie folgt:

- *Zu 1) Messbereiche:* Die in Bild 1 schraffiert dargestellten Flächen entsprechen nicht den mit der horizontalen Durchschallung geprüften Querschnitten. Eine positive Prüfung (keine Fehlerhinweise) heisst lediglich, dass auf die ganze Pfahllänge eine gleichbleibende Kontaktbrücke zur Schallübertragung zwischen den Messrohren vorhanden ist.
- *Zu 2) Armierungseinfluss:* Die Spiralarmierung überträgt die Mess-Signale nicht.

Unter Beachtung dieser beiden Ergebnisse und anhand der Bilder 11-13 werden die anderen Fragen im folgenden Kapitel ausführlich diskutiert.

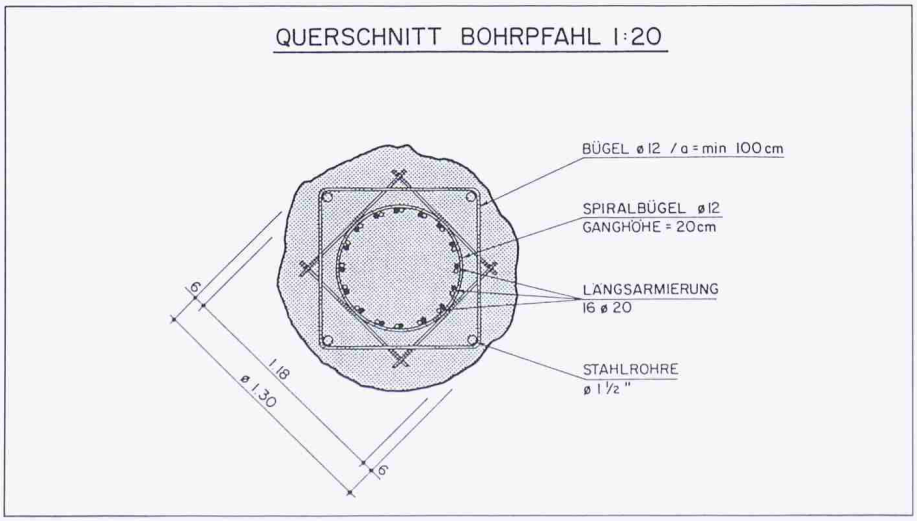


Bild 14. Spezialarmierungskorb mit aussenliegenden Messröhrchen

Randstörungen

Eine mögliche Ursache für Randstörungen sind lokale Grundbrüche, die sich während des Bohrrohr-Rückzuges ereignen. Der Pfahlquerschnitt im Bereich einer solchen Anomalie kann sich entsprechend Bild 11 oder 12 ergeben - im Extremfall kann der Betonquerschnitt komplett unterbrochen sein.

Eine Störung gemäss Bild 11 kann eventuell festgestellt werden. Voraussetzung dafür ist das Fehlen einer Kontaktbrükke zur Schallübertragung zwischen Sender und Empfänger, also zwischen den Messrohren, die sich hier ausserhalb des Betons befinden.

Die Schallausbreitung kann natürlich in jedem Medium erfolgen, entscheidend ist die darin auftretende Schallgeschwindigkeit. Sind die Abstände zwischen Messrohren und Beton nur klein und mit einem guten «Schall-Leiter» verfüllt - oder sind die Rohre mit dem Beton gar in Berührung -, ist eine rasche Übertragung des Echos möglich.

Anomalien können nur aufgrund der Durchlaufzeit-Veränderung festgestellt werden. Im beschriebenen Fall ist es somit entscheidend, ob die schnellstmögliche Schallübertragung durch Beton, Boden und Wasser deutlich länger dauert (+ ca. 15%) als im ungestörten Messquerschnitt.

Bild 12 zeigt eine ähnlich grosse Anomalie wie Bild 11, allerdings anders angeordnet, hier liegt nur ein Messrohr ausserhalb des Betons. Die Abstände zum Beton sind bedeutend, dadurch muss sich der Schall auf grosse Distanz durch den Baugrund übertragen, was sich auf die Durchschallungszeit auswirken wird.

Damit eine Pfahl-Anomalie eindeutig festgestellt werden kann, müssen somit folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- Die im übrigen Bereich gemessene Durchgangszeit muss sich um min. ca. 10–15% vergrössern.
- Der die Anomalie ausfüllende Baugrund darf kein guter Schallübertrager sein.
- Die Anomalie muss eine grosse Ausdehnung haben (Bilder 11 und 12) und eine ungünstige Lage bezüglich der Messrohre einnehmen.

Es ist also eine gegenseitige Abhängigkeit zwischen Grösse und Lage der Störung sowie des sie umgebenden Baugrundes, die dafür verantwortlich ist, dass eine Anomalie festgestellt werden kann.

Es sei vorausgenommen, dass der im Bild 13 dargestellte Restquerschnitt («Mercedesstern») in der Praxis kaum möglich ist. Trotzdem ist es interessant, ihn zu diskutieren, als unterer Grenzwert. Die horizontale Durchschallung würde keine Fehlermeldung anzeigen, da einwandfreie Kontaktbrücken vorhanden sind und der Laufweg der einzelnen Signale nur wenige Prozente länger wäre als bei einem intakten Pfahl. Ein derart fehlerhafter Pfahl würde die Prüfung also untadelig bestehen.

Es darf hier nicht unerwähnt bleiben, dass die vertikale Durchschallung, der dynamische Pfahlprüftest (DPT), derartige Anomalien aufzeigen müsste. Eine abrupte Querschnittsverengung von ca. 10–15% liefert eindeutige Fehlerhinweise. Allerdings versagt auch diese Messmethode, wenn keine Reflektionsflächen vorhanden sind. Eine Anomalie mit keilförmigen Enden (ähnlich dem Fenster in Menziken, Bild 5, kann also auch mit dem DPT nicht entdeckt werden.

Die bisherigen Bemühungen, etwas Besseres, also mehr Sicherheit zu erreichen, führten zu folgendem:

Konstruktionsvorschlag

Basierend auf den Erfahrungen in Menziken, wurden parallel zu den Laborversuchen weitere Überlegungen ausführungstechnischer Art angestellt und auf einer Baustelle in Waltenschwil in die Praxis umgesetzt. Dies wird in den nächsten vier Abschnitten beschrieben.

Voraussetzungen für Biegepfähle

Für biegebeanspruchte Pfähle ist die Gewährleistung der Erhaltung ihrer Bewehrung eine unabdingbare Voraussetzung. In gewissen Böden kann dies ohne Schutz der Stähle möglich sein; normalerweise wird aber ein intakter Pfahlmantel vorausgesetzt. Eine Betonüberdeckung von ca. 5–8 cm darf als üblich bezeichnet werden.

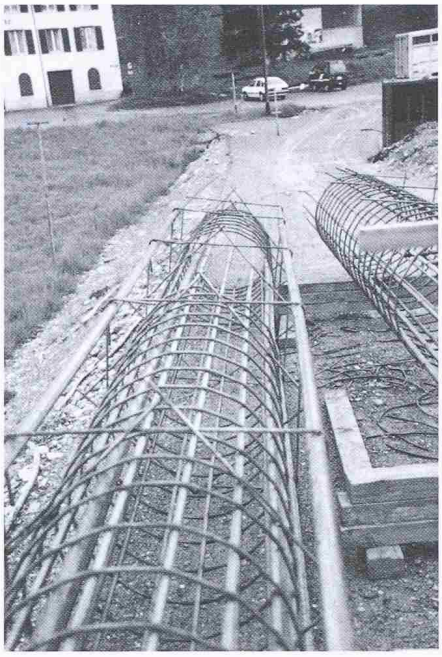


Bild 15. Der einbaufertige Armierungskorb

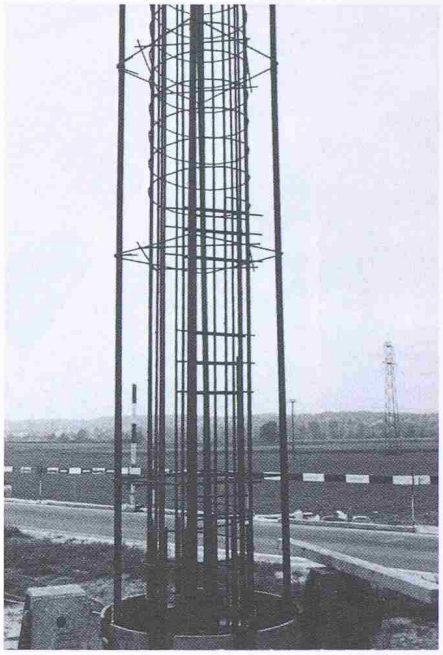


Bild 16. Zu Versuchszwecken ist die Spiralarmierung teilweise unterbrochen

Die eingangs beschriebenen Ereignisse in Menziken und das im Kapitel «Randstörungen» beschriebene zeigen, dass genau diese Zonen, die äusserste Kruste der Pfähle, mit der Ultraschallprüfung in der bisher üblichen Anwendung nicht erfasst werden können. Für die Pfahlfundation der 1988 erstellten Strassenbrücke in Waltenschwil wurden deshalb Pfähle mit bedeutend grösserer Armierungsüberdeckung ausgeführt.

Prüftechnische Überlegungen

Die Messung erfolgt als Gerade zwischen den Messröhrchen. Von der ausserhalb liegenden Betonmasse (Kreisabschnitt) wird nichts wahrgenommen.

Bei der Anordnung der Messröhrchen gemäss Bild 1 wird ein Streifen, ein gleichseitiges Dreieck oder ein Quadrat gemessen, ein positives Messergebnis bestätigt, dass innerhalb des Messpolygons Beton vorhanden ist. Die Messungen erlauben keine Aussage über den Zustand des Pfahlmaterials in den Kreisabschnitten.

Damit ein für die Bewehrung intakter Schutz vorhanden ist, muss demzufolge der Messpolygon ausserhalb des Armierungskorbes angeordnet werden. Das bedingt, dass mindestens vier Messrohre eingelegt werden; mit nur drei Messröhrchen wird die Statik zu stark benachteiligt, und die Mehrkosten für die grösseren Pfahldurchmesser sind zu hoch. Die Systemskizze für diese Armierung und die Messrohranordnung ist in Bild 14 dargestellt.

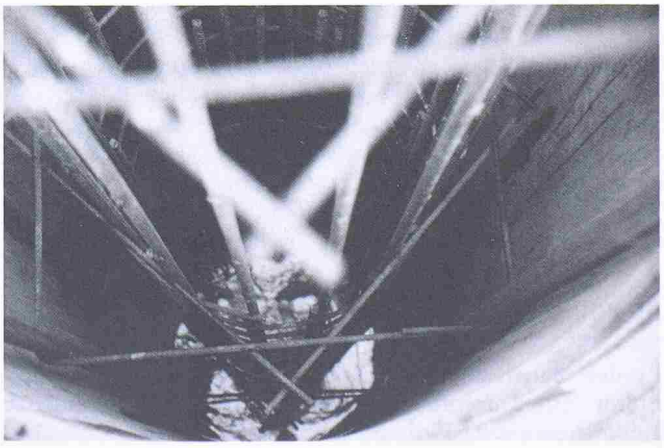


Bild 17. Die äusseren Bügel sind sehr eng in das Bohrrohr eingepasst.

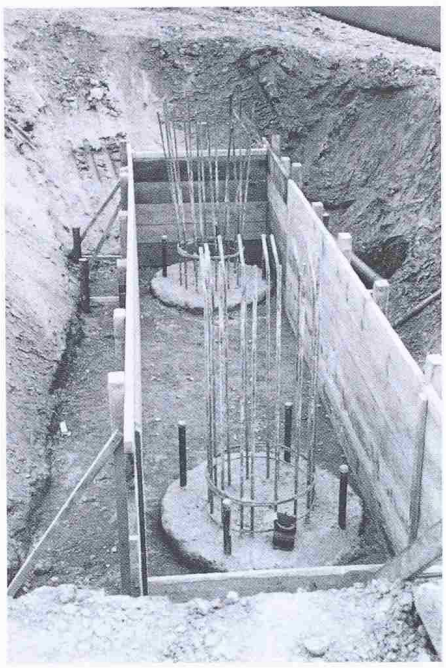


Bild 18. Die fertigen Spezialpfähle

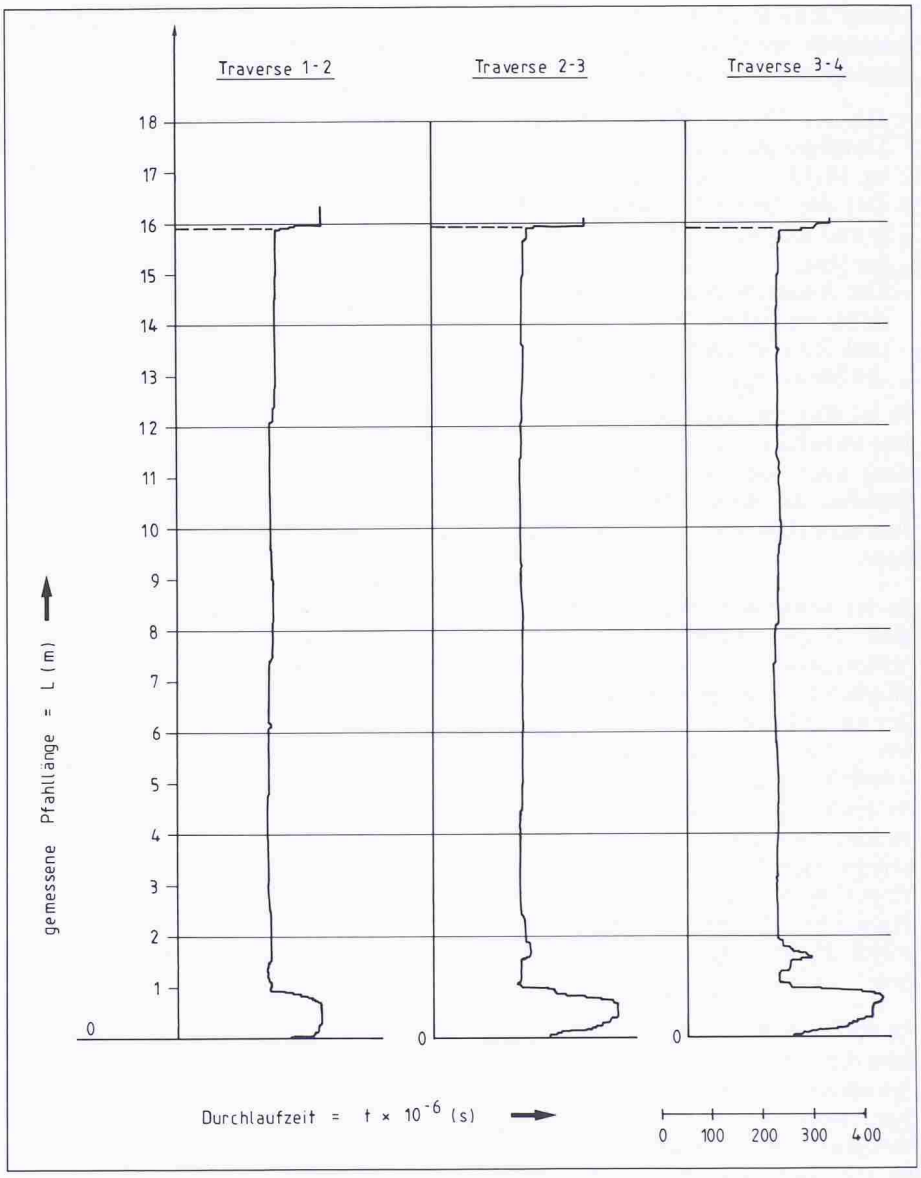


Bild 19. 3 der 6 gemessenen Traversen eines Pfahles in Wartenschwil mit ausgeprägter Fussanomalie (Durchmischung mit Baugrund?)

Statische Überlegungen

Die grosse Betonüberdeckung auf der Zugseite hat keinen Nutzen. Auf der Druckseite wird das Vorhandensein von Beton angenommen, obwohl die Messung je nach Lage der Messrohre darüber keine Aussage ermöglicht. Dadurch muss bei gleichen Kräften und gleicher Bewehrung der Pfahl ungefähr um das Mass der vergrösserten Betonüberdeckung vergrössert werden; bei vier Messröhrchen. Werden fünf oder sechs Röhrchen verwendet und am Umfang gleichmässig verteilt, kann die Durchmesser-Vergrösserung kleiner ausgeführt werden – dafür wird der Messaufwand grösser.

Ausführung der Spezialpfähle

In der statischen Berechnung waren Pfähle mit Durchmesser 1,00 m und einem Armierungskorb mit Durchmesser 88 cm enthalten. Die Sonderausführung erforderte min. ca. ∅ 1,18 m Pfähle mit Armierungskorb ∅ ca. 70 cm. Hergestellt wurden Pfähle ∅ 1,30 m mit ∅ 70 cm Armierung.

Die Verbügelung für die im Quadrat angeordneten Messrohre, siehe Bild 15, war sehr eng ins Bohrrohr passend gewählt worden, siehe Bild 17, damit die nicht prüfbaren Kreisabschnitte möglichst klein blieben. Um eine eventuelle Beeinflussung der Signalübertragung via Bewehrung zu unterbinden, wurden die Bügelabstände auf mindestens 1,0 m festgelegt. Im Bild 16 sind die dadurch auf weite Strecken freiliegenden Messröhrchen gut sichtbar.

Die Herstellung der Armierungskörbe mit der zusätzlichen Aussenverbügelung zur Fixierung der Messröhrchen bereitete einige Mühe. Die notwendigen Arbeiten waren zeitraubend und mussten sorgfältig erfolgen, um die ungeschützten Röhrchen nicht zu beschädigen.

Die Prüfung der Pfähle lieferte einwandfreie Ergebnisse, 3 Traversen eines Pfahles sind in Bild 19 dargestellt. Auffallend ist die grosse Pfahlfuss-Anomalie. Sie ist wahrscheinlich auf eine Durchmischung von Beton und Baugrund zurückzuführen, die beim Einbringen des Unterwasserbetons entstehen konnte – eventuell noch begünstigt durch eine ungenügende oder komplett fehlende Bohrlochreinigung.

Folgerungen

In [1] werden Vor- und Nachteile der zerstörungsfreien Pfahlprüfmethode mit Ultraschallmessungen aufgeführt: *Die Vorteile* der Messmethode bestehen darin, dass die Methode unabhängig vom umhüllenden Boden auf Pfähle beliebiger Länge und Durchmesser anwendbar ist, dass eine hohe Präzision der Diagnose erreicht wird, dass fehlerhafte Partien bildhaft in Erscheinung treten, dass der apparative Aufwand re-

Literatur

H. Kapp: Zerstörungsfreie Pfahlprüfmethoden: Möglichkeiten und praktische Erfahrungen. Mitteilung Nr. 99, Schweiz. Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik, Zürich, 1978.

lativ klein ist und dass die Führungsröhrchen (Messrohre) zur Sanierung schadhafter Pfähle als Injektionsrohre verwendet werden können. Als *Nachteil* wird angegeben, dass die zu prüfenden Pfähle zum voraus bestimmt und mit Führungsröhrchen bestückt werden müssen und dass der äusserste Mantelbereich des Pfahles im allgemeinen nicht erfasst wird. (Aus [1] sinngemäss zitiert.)

Aus den im vorliegenden Artikel beschriebenen Feststellungen auf der Baustelle und den Versuchen im Labor sind dazu die nachstehenden Ergänzungen anzubringen:

- Anomalien können mit der horizontalen Durchschallung nur geortet werden, wenn sich die Messzeit um min. ca. 10–15% vergrössert.
- Wenn Anomalien mit sehr gut schallleitendem Baugrund gefüllt sind, können sie kaum entdeckt werden.
- Die übliche Anordnung der Messröhrchen im Pfahl erlaubt keine Aussage über den Zustand des, je nach statischer Beanspruchung wichtigen Materials im Pfahlmantel (Bild 5). Durch einen grösseren Pfahldurchmesser mit wesentlich grösserer Armierungsüberdeckung könnte dieser Nachteil, allerdings mit beachtlichem Aufwand, kompensiert werden.
- Eine hohe Präzision und Diagnose in der Beurteilung festgestellter, fehlerhafter Partien wird nur bezüglich ihren Höhenlagen im Pfahl und ihrer Ausdehnung möglich. Eine querschnittbezogene Aussage ist nicht möglich (Bilder 11–13).

Nach Meinung der Autoren sind deshalb bei einer Anwendung der zerstörungsfreien Pfahlprüfmethode mit horizontaler Durchschallung hinsichtlich ihrer Aussagekraft Vorbehalte anzubringen. Welches Gewicht den hier beschriebenen, schlichtweg negativen Feststellungen auf der Baustelle und bei den Versuchen im Labor – letzteres insbesondere im Hinblick auf die anfänglich gesteckten Ziele – auch immer gegeben wird, sollten diese Ausführungen bei der Wahl dieser Pfahlprüfmethode doch berücksichtigt und den während bereits seit 10 Jahren gemachten Erfahrungen beigefügt werden.

Auch wenn mit zusätzlicher vertikaler Durchschallung (DPT) eine weitere Pfahlprüfung erfolgt, ein gewisses Restrisiko wird bleiben. Eine hundertprozentige Sicherheit wird es auch hier nicht geben – deshalb, ein bisschen mehr Sorgfalt scheint angebracht zu sein!

Am Bau und an den Versuchen Beteiligte

Bauherr
Aarg. Baudepartement, Abteilung Tiefbau, Brücken- und Tunnelbau, Buchenhof, 5000 Aarau

Projekt- und Oberbauleitung
Hans Hürzeler, Bauingenieur HTL/SIA, c/o Aarg. Baudepartement, 5000 Aarau

Pfahlunternehmer in Menziken
Bless, Bauunternehmung AG, 8600 Dübendorf

Pfahlunternehmer in Waltenschwil
Meier + Jäggi AG, Bauunternehmung, 8050 Zürich

Pfahlprüfungen und Versuchsmessungen
Grundbau-Beratung AG, 9000 St. Gallen

Adresse der Verfasser: *H. Hürzeler*, Bauing. HTL/SIA, Aarg. Baudepartement, 5000 Aarau, und *R. Wullimann*, dipl. Bauing. ETH/SIA, Institut für Grundbau und Bodenmechanik, 8093 Zürich.

Flüssigkeitsgestützte Bauverfahren in der Geotechnik

4. Christian-Veder-Kolloquium in Graz

Das Institut für Bodenmechanik, Felsmechanik und Grundbau der TU Graz führte im April 1989 als Höhepunkt seiner 25-Jahr-Feier zum viertenmal ein Christian-Veder-Kolloquium durch, und zwar über «Flüssigkeitsgestützte Bauverfahren in der Geotechnik - Neue Entwicklungen»; die über 150 Teilnehmer kamen u.a. aus Belgien, Deutschland, Jugoslawien, den Niederlanden und der Schweiz. In 14 Vorträgen mit zahlreichen Diskussionsbeiträgen wurden sowohl theoretische Grundlagen (Suspensionen mit und ohne Quellzeit des Bentonits, innere Standsicherheit des suspensionsgefüllten Schlitzes, Bentonitsuspensionen als Puffer gegen horizontale Baugrundverformungen) als auch neue Entwicklungen in der praktischen Anwendung flüssigkeitsgestützter Bauverfahren behandelt, wie Gasmatten, Drainagewände, flüssigkeitsgestützte Grossbohrpfähle, Schächte und Tunnelschilde.

Zur Einführung gab Prof. Dipl.-Ing. *M. Fuchsberger*, TU Graz, einen ausführlichen Überblick über *flüssigkeitsgestütze Bauverfahren*, beginnend mit Begriffsdefinitionen über die Entwicklung der Schlitztechnik von den Anfängen in den USA und Europa bis zu den vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten durch Neu- und Weiterentwicklungen in der Gegenwart, wie Fertigteilwände, vorgespannte Schlitzwände, Tragelemente und Pfahlbohrungen unter Flüssigkeitsstützung, kombinierte Wände und flüssigkeitsgestützte Tunnelschilde sowie Aushubgeräte und Wiederverwendung der Stützflüssigkeit.

Standsicherheitsnachweis

Prof. Dr.-Ing. *B. Walz*, Wuppertal, ging in seinem Vortrag über die *Grundlagen der Flüssigkeitsstützung von Erdwänden* auf die auf poröse Lockergesteine ausgeübte stützende Wirkung von Bentonitsuspensionen und die rechnerische Erfassung dieser Stützwirkung [1–3] ein sowie auf die daraus abgeleiteten Standsicherheitsnachweise [4–8]. – Dr. *L. Martak*, Wien, berichtete über den *Nachweis der inneren Standsicherheit des suspensionsgefüllten Schlitzes* und entwickelte aus der Praxis [9, 10] ein vereinfachtes Rechenverfahren, in das der Grösstkorndurchmesser in Abhängigkeit von der Filterkuchendikke(Presswasserversuch) und der Suspensionsüberdruckhöhe eingeht; damit wird die Terzaghische Filterregel bestätigt und kann auf Schlitzwandsuspensionen angewandt werden.