Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 99 (1981)
Heft: 35

Artikel: Konstruktion einer neuen mechanischen Pfahlverbindung
Autor: Göransson, Dan
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-74541

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: 09.07.2025

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

sich die Grenzen der Möglichkeiten vor allem für den kleineren und mittleren Betrieb ab.

Chance und Verpflichtung

Trotz diesen vielen Schwierigkeiten sollten wir aber alles unternehmen, um unsere technischen Kenntnisse und Erfahrungen im Bereich der Stadtplanung nach Afrika zu exportieren versuchen.

Dies ist für uns eine Chance, aber auch eine Verpflichtung. Eine Chance, weil die räumlichen Entwicklungsprobleme in den städtischen und ländlichen Räumen immens sind. Die einheimischen Fachleute fehlen heute noch. Ich glaube, dass wir einen sinnvollen Beitrag leisten können.

Literatur

Fingerhuth und Partner, Zürich und Owerri: Imo State Capital Owerri, Master Plan Twin City, 1977

Fingerhuth und Partner, Zürich und Owerri: Imo State Capital Owerri, Action Aereas, 1976

Galantay, Erwin Y.: «The Planning of Owerri: A new Capital for Imo State, Nigeria», Town Planning Review, Vol. 49, No. 3, July 1978

Nwaka, Geoffrey I., Owerri: «Development of a Nigerian State Capital», Third World Planning Review, Volume two, Number two, Autumn 1980

Fingerhuth, Carl: «Stadtplanung im nigerianischen Urwald», «Neue Zürcher Zeitung», 23. April 1977

Fingerhuth, Carl: «Owerri – Planung der neuen Hauptstadt von Imo State, Nigeria», Bauen und Wohnen, No. 9, 1978

Die Aufgabe scheint mir aber auch eine Verpflichtung zu sein, weil die anstehenden Probleme weitgehend durch unsere Zivilisation ausgelöst worden sind.

Voraussetzung ist aber in jedem Fall, dass wir dies ohne Dünkel und mit Neugierde auf den fremden Kulturkreis tun. Zuhören können war schon immer die wichtigste Eigenschaft des Stadtplaners.

Adresse des Verfassers: *Carl Fingerhuth*, Nadelberg 24, 4051 Basel

Fotos: *C. Fingerhut:* 18, 19, 21, 22; *K. Hediger:* 3, 4, 5; *D. Preisig:* 20, 24, 25, 27; *Kenting:* 16

Konstruktion einer neuen mechanischen Pfahlverbindung

Von Dan Göransson, Göteborg

Bei modernen Bauprojekten können die durch die Verbindung von Betonpfählen verursachten Wartezeiten auf der Baustelle immer weniger in Kauf genommen werden. Eine in Schweden entwickelte mechanische Pfahlverbindung ermöglicht nunmehr die Verbindung von Betonfertigpfählen auf der Baustelle durch ungelernte Arbeitskräfte innert zwei Minuten. Die einfache, kostengünstige Konstruktion bietet sich auch für die wirtschaftliche Serienfertigung von Pfahlschüssen aus Beton im Fertigungswerk an. Die mechanischen Eigenschaften des Dyn-a-splice-Pfahlverbindungssystems wurden durch unabhängige Versuche in den USA und in Schweden bestätigt.

Bei den Überlegungen zur Konstruktion einer neuen Pfahlverbindung, die es ermöglichen sollte, vorgefertigte Betonpfahlschüsse auf der Baustelle miteinander zu verbinden, waren folgende Bedingungen massgebend:

- Die Verbindung sollte mindestens die *gleiche Festigkeit* gegen Beanspruchungen jeder Art besitzen *wie der Pfahl selbst*. Der aus Einzelschüssen verbundene Pfahl sollte so weit wie möglich das mechanische Verhalten eines in einem Stück gegossenen Pfahls der gleichen Gesamtlänge aufweisen.
- Die Verbindung sollte sich *schnell und einfach* an Ort und Stelle herstellen lassen. Es sollten ferner keine Spezialwerkzeuge und insbesondere keine besonderen Facharbeiter, wie z.B. Schweisser, benötigt werden.
- Die Verbindungsteile sollten hinsichtlich Materialaufwand und Herstellungskosten *billig* und ausserdem *leicht zu handhaben, zu lagern und zu transportieren* sein. Soweit eine besondere Aufbereitung der Pfahlschüsse erforderlich ist, sollte eine (vorzugsweise automatisierte) Serienfertigung kostengünstig möglich sein. Die erforderlichen Toleranzen sollten nicht enger sein als die, welche bei der Herstellung von Pfahlschüssen ohnehin eingehalten werden müssen.
- Die Verbindung sollte sich sowohl für *Spannbeton-* als auch für *Stahlbetonpfähle* eignen und allen üblicherweise verwendeten Pfahlquerschnitten angepasst werden können.

Kürzere, leichtere Pfahlschüsse

Der *Trend zu grösseren Bauwerken* mit entsprechenden Anforderungen an das Fundament und die Nutzung von *Baugrund geringerer Stabilität* erfordern immer *länger Pfähle*. Lange Pfähle aus einem Stück haben aber zahlreiche Nachteile, insbesondere bereiten sie Schwierigkeiten beim Transport und in der Handhabung. Überlange Fahrzeuge werden benötigt, zu deren Ablad auf der Baustelle schwere Krane erforderlich sind. Ausserdem müssen kostspieligere Pfahlrammen vorhanden sein. Oftmals sind die bei Transport und Handhabung auftretenden Spannungen grösser als beim Einrammen und später nach Fertigstellung des Bauwerks, so dass die Pfähle auf grössere Festigkeit ausgelegt sein müssen, als dies sonst erforderlich wäre.

Mit einem *«idealen» Pfahlverbindungssystem* liessen sich die Pfähle hingegen an Ort und Stelle zu jeder beliebigen Länge zusammensetzen. Abmessungen und Festigkeit der Pfähle könnten dann voll und ganz auf die Beanspruchungen beim Einrammen und auf die Gebrauchsspannung abgestimmt werden. Die Auswahl und Anpassung der Pfahllänge könnte jeweils *kurzfristig* gemäss den während des Baufortgangs festgestellten Bodenbedingungen erfolgen, wodurch sich eine genaue Vorherbestimmung der Länge erübrigen würde. Der gesamte Bedarf der Baustelle liesse sich durch die Fertigung und Lagerung von *Pfahlschüssen* in relativ *wenigen Standardgrössen* decken, wodurch das Festliegen von finanziellen Mitteln auf ein Minimum reduziert würde. Die Pfahlschüsse könnten mit *normalen Fahrzeugen* transportiert und – mit Ausnahme der grössten Durchmesser –

mit einem *auf dem Fahrzeug montierten Kran* auf- und abgeladen werden.

Viele verschiedene *Pfahlverbindungen* sind entwickelt worden, und die meisten davon erfüllen als tragende Elemente von Bauwerken ihren Zweck. Trotzdem handelt es sich bei der grossen Mehrzahl dieser Konstruktionen um *Kompromisse*. Waren die mechanischen Eigenschaften gut, so waren die Verbindungen im allgemeinen teuer und kompliziert und erforderten zeitaufwendige Vorbereitungs- und/oder Montagearbeiten. Einfach zu bewerkstelligende Verbindungen weisen andererseits Mängel im mechanischen Verhalten auf, die ihren Anwendungsbereich einschränken. Eine vor einigen Jahren durchgeführte Untersuchung von zwanzig Pfahlverbindungssystemen hat gezeigt, dass die Montagezeit auf der Baustelle sich zwischen min. 20 und max. 120 Minuten bewegte.

Zwei gleiche Gussstücke

Zwar stellt auch die neue Dyn-a-splice-Verbindung (Bild 1, 2) natürlich immer noch eine Art Kompromiss dar, aber sie weist u.E., gemessen an den Kriterien für eine «ideale» Verbindung, *keinerlei erkennbare Schwächen* auf. Bei Zug-, Druck-, Biege-, Scher- und Torsionsbeanspruchung hat sie sich als mindestens ebenso widerstandsfähig erwiesen wie die beiden zu verbindenden Betonpfahlelemente selbst. In Versuchen wurden die Ergebnisse der Laborprüfungen bestätigt. Die Pfahlverbindung hat ausserdem zwei Testreihen erfolgreich bestanden, indem sie die von CalTrans, dem Verkehrsministerium des Staates Kalifornien/USA, und die in der schwedischen Bauordnung von 1975 festgelegten Vorschriften erfüllte.

Die Konstruktion eignet sich für *massive Pfähle* und *Hohlpfähle aus Stahl-* oder *Spannbeton* mit quadratischem, rundem, sechseckigem oder achteckigem Querschnitt. Bei den beiden Hälften der Pfahlverbindung handelt es sich um *identische Leichtgussstücke,* was die Lagerhaltung und Bestandeskontrolle im Fertigungswerk vereinfacht. Diese Gussstücke lassen sich auf halbautomatisierter, serienmässiger Basis einfach und schnell auf den entsprechend ausgebildeten Enden der Fertigbeton-Pfahlschüsse anbringen.

Der grösste Vorteil der Dyn-a-splice-Verbindung beruht jedoch auf der Tatsache, dass die *Montage* auf der Baustelle *nur einige Minuten* dauert und ausser der Benutzung eines schweren Hammers keinerlei fachliche Fertigkeiten erfordert. Die Investitionen bei modernen Bauprojekten sind so hoch, dass 20 Minuten Stillstandzeit der Pfahlramme einen erheblichen Produktionsverlust darstellen.

Geradlinige Übertragung von Zugkräften

Technisch gesehen ist das charakteristische Merkmal der neuen Konstruktion die Trennung von Druck- und Zugkräften. Die Druckkräfte verteilen sich über den gesamten Betonquerschnitt, wohingegen die Zugkräfte *unmittelbar von den Bewehrungseisen* des einen Betonpfahlelements auf die des anderen übertragen werden. Ein Verbundpfahl zeigt daher das gleiche Verhalten wie ein ganzteiliger Stahlbetonpfahl.

Die *Verbindungsplatten* (Bild 3, A) bestehen aus Kugelgraphitgusseisen und passen genau über die geformten Pfahlköpfe (B) der vorgefertigten Pfahlschüsse. Gesichert werden diese Platten durch Stahlbolzen (C), die auf die mit Gewinde versehenen Enden der einbetonierten Bewehrungseisen (D) aufgeschraubt werden. Da eine Verschweissung der Platten mit den Bewehrungseisen vor dem Giessen des Betons (wie dies bei vielen anderen Pfahlverbindungen der Fall ist) nicht erforderlich ist, erübrigt sich das Problem der Bereithaltung umständlicher käfigartiger Konstruktionen.

Auf der Baustelle wird der jeweils untere Pfahlschuss normal eingetrieben, wobei zum Schutz der Verbindungsplatte nur *ein Stück Holz* zwischenzulegen ist. Danach wird als Fluchtungshilfe für die beiden Pfahlschüsse der aus einer Zinklegierung gefertigte Mittelbolzen (E) eingesetzt. Nach Aufsetzen des oberen Pfahlschusses wird die Verbindung durch Einschlagen der Kugelgraphitkeile (F) in die dafür vorgesehenen Hohlräume fertiggestellt, wodurch die Stahlbolzen der beiden Pfahlköpfe zusammengezogen werden und sich eine geradlinige Zugverbindung ergibt.

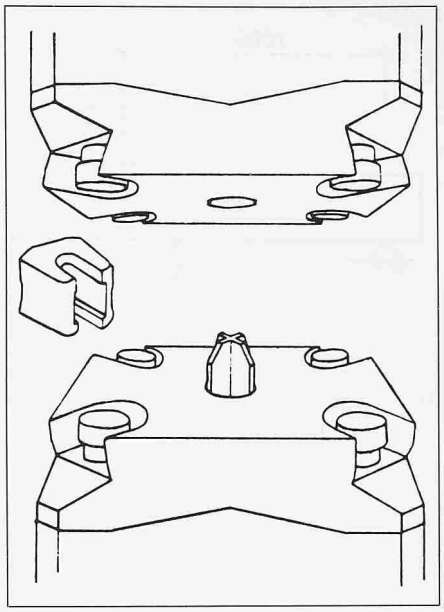


Bild 1. Obere und untere Gussplatte der Dyn-a-splice-Verbindung

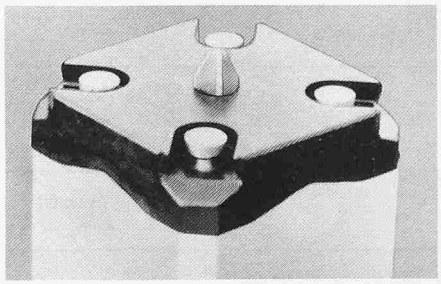
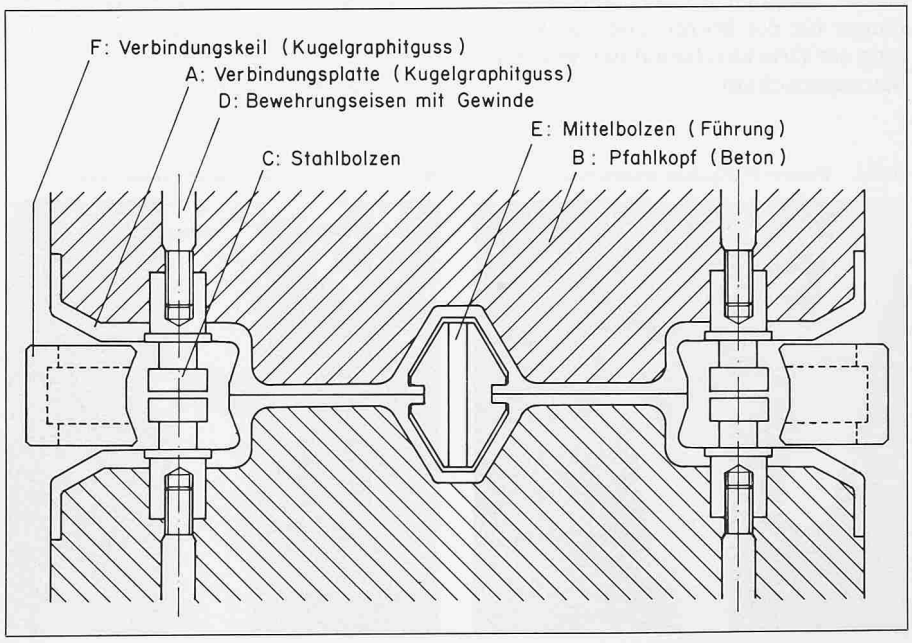


Bild 2. Untere Gussplatte auf Pfahlschuss versetzt

Bild 3. Querschnitt durch die Pfahlverbindung



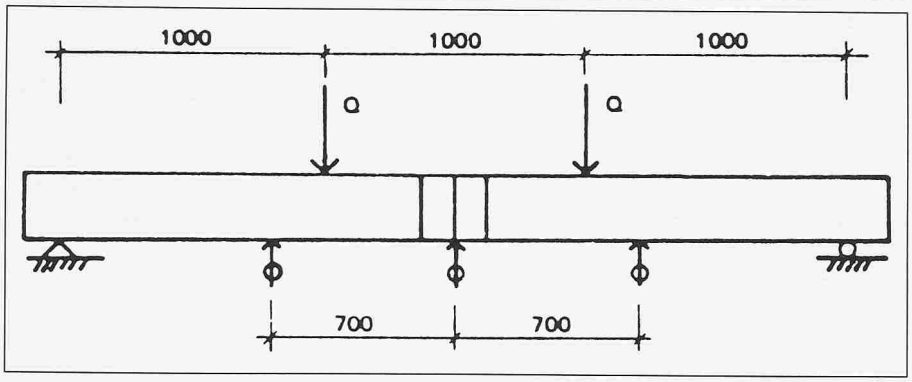


Bild 4. Biegeversuch (Schweden). Masse in mm

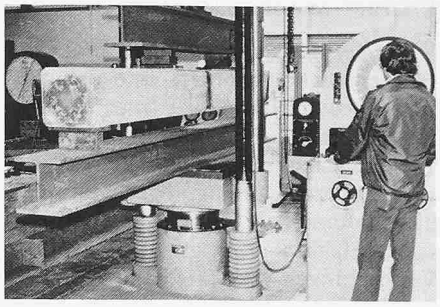


Bild 5. Biegeversuch (Kalifornien)

Tabelle 1. Resultate der Prüfungen in Schweden

	Bruchzugfestigkeit [kN]	*Bruchbiegemoment* [kNm]	*Steifigkeit* ($\delta_{1,4}$ bei Biegemoment 40 kNm) [mm]
Geforderte Werte nach schwedischer Bauordnung	min. 450	min. 51	max. 3,38
Dyn-a-splice	512	83	2,10

Tabelle 2. Resultate der Prüfungen in Kalifornien

	Zugfestigkeit [kN]	*Biegefestigkeit* [kNm]	*Scherfestigkeit* [kN]
Geforderte Werte nach CalTrans	512	102	311
Dyn-a-splice	788	129	489+[3]
Durchgehender Pfahl ohne Pfahlverbinder	800[1]	115[2]	–

[1] theoretischer Wert, nicht geprüft
[2] geprüfter Grenzwert
[3] Prüfungen aus Sicherheitsgründen vor dem Bruch gestoppt

Die *beiden Platten* selbst werden also *nicht* miteinander verbunden, sondern dienen lediglich *als Aufnahmevorrichtungen* für die Bolzen und zur Verteilung der Druckkräfte auf den gesamten Betonquerschnitt.

Der Mittelbolzen aus Zink gewährleistet *elektrolytischen Korrosionsschutz,* jedoch können bei besonders korrosiven Böden auch sämtliche Verbindungselemente mit einem Schutzüberzug versehen werden.

Das Dyn-a-splice-Pfahlverbindungssystem ist bereits in 45 Ländern patentrechtlich geschützt und weltweit über Lizenzverträge vertrieben worden. Die Länge der Pfahlschüsse beträgt normalerweise bis zu 13 m und gestattet damit einen wirtschaftlichen Transport auf herkömmlichen 12-m-Tiefladern.

Unabhängige Prüfungen

Prüfung in Schweden

Betonpfähle mit Dyn-a-splice-Pfahlverbindern wurden im September 1979 nach Massgabe der schwedischen Bauordnung geprüft. Die schwedische Werkstoffprüfbehörde *Statens Provningsanstalt* führte diese Prüfungen an der «Chalmers University of Technology» in Göteborg durch.

Es wurden zwei obere und zwei untere Pfahlschüsse gegossen, jeweils 4 m lang, mit einem quadratischen Querschnitt von 300 mm und mit vier Bewehrungseisen von 20 mm Durchmesser. Die beiden verbundenen Pfähle wurden mit jeweils 3000 Schlägen gegen massives Felsgestein gerammt und unmittelbar danach Biegeprüfungen unterzogen. Diese wurden an Pfahlstücken von 3,6 m Länge vorgenommen, wobei die Pfähle beidseitig im

Bild 6. Unterer Pfahlschuss eingerammt

Bild 7. Aufsetzen des oberen Pfahlschusses

Bild 8. Einsetzen der vier Keile

gleichen Abstand von der Verbindungsstelle durchgesägt wurden. Die Abschnitte wurden an zwei Auflagepunkten im Abstand von 3,0 m abgestützt (Bild 4) und an zwei Punkten im Abstand von 1,0 m belastet. Dabei wurde die Durchbiegung der Pfahlverbindung gegenüber zwei im Abstand von 1,4 m angeordneten Punkten (Durchbiegung $\delta_{1,4}$ mit dem vorgeschriebenen Biegemoment von 40 kNm gemessen. Zugversuche wurden separat durchgeführt. Die Resultate sind in Tabelle 1 dargestellt. Eine Sichtprüfung nach dem Rammen ergab weder Risse im Beton noch Beschädigungen an den Verbindungsstellen, und auch am Winkel von 180° zwischen den Pfahlhälften liess sich keine messbare Änderung feststellen.

Prüfung in Kalifornien

Im Dezember 1979 wurden mit Dyn-a-splice verbundene Pfähle an der *San Jose State University* in Kalifornien entsprechend den CalTrans-Anforderungen geprüft (Bild 5 zeigt die Durchführung der Biegeprüfung). Die Spannbetonpfähle mit einem quadratischen Querschnitt von 300 mm waren mit vier Bewehrungseisen von 25 mm Durchmesser verstärkt. Ein vorheriges Rammen der Pfähle war nicht vorgeschrieben. Dabei wurden Festigkeitswerte gemäss Tabelle 2 erzielt.

Bei den Druckprüfungen kam es bei Belastungswerten zwischen 3800 und 4000 kN zum Bruch des Betons, nicht jedoch zu einem Versagen der Pfahlverbindungen. Die Korrosionsprüfungen an belasteten Pfählen zeigten eine vernachlässigbar geringe Korrosion (unter 0,025 mm/Jahr) bei ungünstigsten Bedingungen. Dies führte zu der Schlussfolgerung, dass die Dyn-a-splice-Verbindung die volle Belastungsfähigkeit eines Spannbetonpfahls von 300 mm mit einer 28-Tage-Druckfestigkeit von 41 MN/m² entwickeln kann.

Nach Abschluss der Versuche wurden 30 von der *Sante Fe-Pomeroy Inc.* hergestellte Spannbeton-Verbundpfähle zur Abstützung des neuen Kaufhauses «Liberty House» in Sacramento/Kalifornien verwendet. Die Bilder 6–9 zeigen den *Pfahlverbindungsvorgang*. In Bild 6 ist der untere Pfahlschuss eingerammt. Danach werden der obere Pfahlschuss aufgesetzt (Bild 7) und die vier Keile eingesetzt (Bild 8) und eingeschlagen (Bild 9).

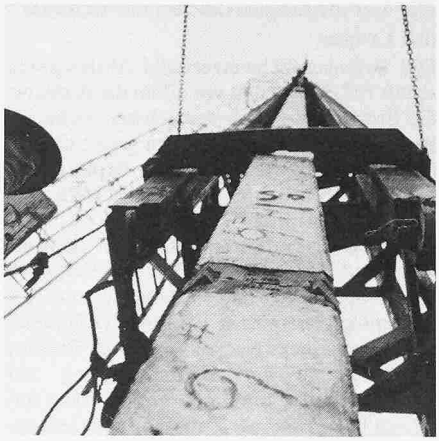


Bild 9. Rammen des verbundenen Pfahls

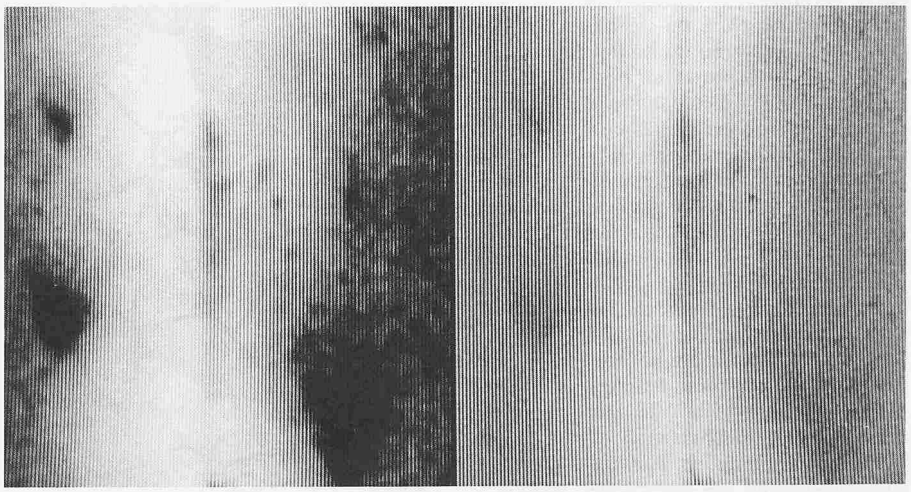
Adresse des Verfassers: *Dan Göransson*, A-Joint-Corporation, Göteborg (Schweden)

Umschau

Digitale Bildverarbeitung in der Materialprüfung

(BAM). In der zerstörungsfreien Materialprüfung werden häufig Röntgenaufnahmen von Objekten gemacht, um mögliche Fehler in ihnen entdecken zu können. Fehler, wie z. B. Risse, deuten sich auf den Röntgenbildern oft nur undeutlich an oder werden durch die Fülle der wiedergegebenen Einzelheiten überdeckt. Es sind daher Verfahren notwendig, die wesentliche Details eines Bildes hervorheben und unwichtige Einzelheiten sowie Störungen unterdrücken.

Die digitale Bildverarbeitung bietet die Möglichkeit, eine gegebene Bildvorlage weitreichend gegenüber dem Original zu verändern. Hierbei wird das Bild beispielsweise mit einer speziellen Fernsehkamera abgetastet. Die erhaltenen Grauwerte von winzigen Bildausschnitten werden im Rechner gespeichert. An diesem digital gespeicherten Bild werden dann mathematische Operationen vorgenommen, die die gewünschten Akzentverschiebungen bewirken. Das bearbeitete Bild wird danach auf einem Bildschirm zum Betrachten wiedergegeben. Details von 0,1 mm Grösse können für die Auswertung wesentlich sein. Dies erfordert bereits die Speicherung von etwa 10 000 Daten je Quadratzentimeter des Röntgenbildes. Die Erkennung noch feinerer Details erfordert die Verarbeitung von erheblich mehr Daten. Dementsprechend leistungsfähig müssen die verwendeten Rechner sein. Die BAM verfügt über ein digitales, interaktives Bildverarbeitungssystem. Mit seiner Hilfe werden die notwendigen Schritte zur Bildaufbereitung untersucht. Es wird langfristig angestrebt, eine vollautomatische Bildauswertung zu ermöglichen.



Kontrastverstärkung durch digitale Bildverarbeitung bei einer Röntgenaufnahme einer Schweissnaht