

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 76 (1958)
Heft: 31

Artikel: Geber zum Aufzeichnen der Bewegung eines Schlagbohrmeissels
Autor: Meier, J.H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-64016>

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: 24.01.2026

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

Geber zum Aufzeichnen der Bewegung eines Schlagbohrmeissels

DK 531.76:622.233.42

Von Dr. sc. tech. J. H. Meier, dipl. Ing. ETH, Bucyrus-Erie Co., South Milwaukee, Wisconsin, USA¹⁾

Zusammenfassung

Über die Bewegung von Schlagbohrmeisseln in grosser Tiefe ist viel diskutiert worden. Im Jahre 1956 zeigte sich eine günstige Gelegenheit, das Problem eingehend zu studieren. Die Apparatur zu ihrer Aufzeichnung wurde in kürzester Zeit entwickelt. Sie musste einfach, widerstandsfähig und zuverlässig sein, denn sie hatte auf einer Tiefe von 600 m und 550 m unter Wasser zu arbeiten. Ihr Hauptbestandteil ist ein Induktionsgeber. Dieser besteht aus einem Magneten, der sich durch eine Anzahl von in Serie geschalteten kurzen Einzelwindungen bewegt. Das elektrische Signal stellt die Geschwindigkeit des Magneten dar, die durch die Distanz moduliert ist. Die Fallhöhe und die Auffallgeschwindigkeit des Bohrmeissels können daher sehr rasch ermittelt werden. Die Eichung ist zuverlässig und unabhängig von Kabelverlusten.

Die Gebermethode wurde anhand eines Modells ausprobiert und verfeinert. Die Geber für den Versuch im Bohrloch hatten eine aktive Länge von 3,00 m; die Spulen wurden auf eine Kunsthärzröhre gewunden, die dann in ein Stück besonders starker Verrohrung plastisch eingegossen wurde. Das Verrohrungsstück mit dem Geber konnte an beliebiger Stelle in die gewöhnliche Verrohrung eingefügt werden. Die Magnete wurden durch nicht-magnetische Konstruktionselemente geführt. Eines dieser Elemente, das etwa 4,20 m lang ist, wurde am oberen Ende des Bohrgestänges befestigt, das andere knapp unter der Oberfläche an das Bohrseil angeklemmt. Die Geber funktionierten wunschgemäß; es werden typische Meisselbewegungen auf Tiefen von 450 m und 600 m gezeigt.

1. Einleitung

Schlagbohrmeissel verwendet man zum Bohren von vertikalen Löchern in die Erde, Bild 1. Sie bestehen aus schlanken Bohrwerkzeugen, die abwechselungsweise gehoben und fallen gelassen werden. Beim Aufschlag bricht Gestein ab. Dieses nennt man Bohrschmand; es bildet im Wasser eine Suspension, die «Suppe» genannt wird. In trockenen Löchern gibt man periodisch Wasser zu, um die gewünschte Konsistenz des Bohrschlammes aufrecht zu erhalten, und schöpft von Zeit zu Zeit die «Suppe» aus. Die ideale Meisselbewegung erfordert die volle Anhebekraft vom Zeitpunkt des Aufschlages bis zum Zeitpunkt, da die Meisselschneide eine bestimmte Höhe über dem Boden des Loches erreicht hat. In diesem zweiten Zeitpunkt sollte die Seilkraft plötzlich auf Null sinken und bis zum nächsten Aufschlag auf Null bleiben. Nur so würde die Schwerkraft voll ausgenutzt und der Meissel mit maximaler Energie aufprallen. In Wirklichkeit entspricht die Meisselbewegung der idealen nur annähernd. Die Seilkraft kann nicht völlig auf Null abfallen. Ueberdies wird die Wirksamkeit durch den hydraulischen Auftrieb und durch die Reibung zwischen Bohrmeissel und «Suppe» stark verringert.

Der Verbesserung der dem Bohrseil aufgezwungenen Bewegung sind schon viele Studien gewidmet worden. Erfreuliche Fortschritte ergaben sich durch Ersetzen des allgemein üblichen Kurbelantriebs durch Kolbenantrieb. Die Steuerung des Kolbens bei hydraulischem Antrieb wurde für wenig tiefe Löcher durch Versuche bestimmt²⁾. In tiefen Löchern ist es infolge der Elastizität des Bohrseiles noch schwieriger als bei wenig tiefen, die ideale Bohrbewegung auch nur annähernd herbeizuführen. Eine grosse Auftriebskraft unmittelbar nach dem Aufschlag erfordert, dass das Seil schon vor dem Aufschlag anzieht; dadurch wird der Fall des Bohrmeissels verzögert. Erfahrene Bohrfachleute können die Vorgänge in der Tiefe «fühlen», indem sie mit der Hand die Bewegung des Bohrseiles an der Oberfläche verfolgen. Die Ingenieure hingegen dachten schon seit Jahren über die mutmassliche Meisselbewegung nach.

1) Jetzt bei General Electric Co., General Engineering Laboratory Schenectady, N. Y. Der Aufsatz ist in englischer Sprache in den Proceedings der Society for Experimental Stress Analysis, Vol. XV, No. 1, erschienen.

2) SBZ 1951, Nr. 37 und 38, S. 516* und 527*.

selbewegung in grosser Tiefe nach. Einflüsse wie Elastizität und Masse des Seiles, Wand- und Flüssigkeitsreibung, Resonanzen und stehende Wellen brachten viele Rätsel mit sich; aber eine experimentelle Untersuchung zur Abklärung der Fragen hielt man als zu aufwändig und zu schwierig.

Eine Gelegenheit zur Untersuchung der Meisselbewegung in grosser Tiefe bot sich, als im Fabrikareal der Bucyrus-Erie Co. in South Milwaukee, Wisconsin, ein Loch von 250 mm Durchmesser und 600 m Tiefe für Versuchszwecke freigegeben wurde. Der Wasserspiegel im Loch lag 50 m unter der Erdoberfläche. Um Bohrversuche bei verschiedenen Tiefen durchführen zu können, wurden an entsprechenden Stellen etwa 4 bis 5 m hohe Ppropfen in das bestehende Bohrloch eingebaut. Dazu setzte man ein Drahtgeflecht ein, schüttete Steine darauf und füllte darüber den eigentlichen Ppropfen mit Beton auf. Das Loch wurde bis zur Tiefe des Ppropfens verrohrt, wobei die Rohre 175 mm Innendurchmesser aufwiesen. Nachher bohrte man den Ppropfen mit einem normalen Meissel von 160 mm Durchmesser und einem Gestänge von 120 Millimeter Durchmesser aus. Für diese Kombination wiegt das Bohrwerkzeug etwa 900 kg.

2. Allgemeine Anforderungen an den Geber

Mechanische Anforderungen

Es musste ein Geber von denkbar grösster Einfachheit gefunden werden. Zuverlässigkeit, Widerstandsfähigkeit und Schlagfestigkeit waren die Hauptanforderungen. Der Geber musste auch unter 550 m Wasser funktionieren, d. h. bei einem Druck von 55 atü. Jegliche Berührung zwischen dem Bohrseil und dem elektrischen Kabel war zu vermeiden; denn gelegentlich schlägt das Bohrseil arg im Loch herum und würde das elektrische Kabel in kurzer Zeit beschädigen. Die Fallhöhe des Bohrmeissels wurde auf 0,6 bis 1,2 m, möglicherweise noch mehr geschätzt. Meist werden Tiefen von 1,2 bis 1,5 m aneinander gebohrt; dann wird die «Suppe» ausgeschöpft. Die Zunahme des Bohrschmandes vermindert die Wirksamkeit der Meisselbewegung, was in der Untersuchung miteinbezogen werden musste. Weitere 0,6 m waren für Aenderungen in der Lage des Gebers einzurechnen, so dass sich eine Gesamtlänge des Gebers von mindestens 3,30 m ergab.

Elektrische Anforderungen

Die Aufgabe bestand darin, Fallhöhe und Aufprallgeschwindigkeit des Bohrmeissels zu ermitteln und zwar durch direkte Aufzeichnung, also ohne grafische Integration oder Differentiation einzelner Hübe. Ein Geber, der sein eigenes elektrisches Signal erzeugt, ist in diesem Fall einem Trägersystem vorzuziehen, da bei 600 m Kabellänge in einem Trägersystem an-

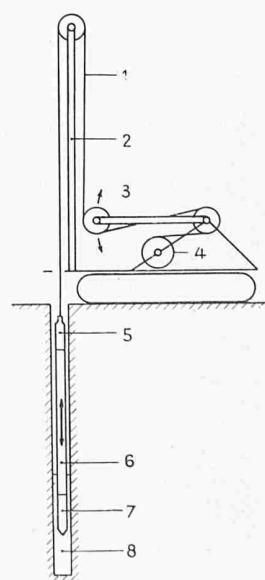


Bild 1. Hauptbestandteile eines Schlagbohrmeissels

1 Seil	4 Winde
2 Mast	5 Seilanschluss
3 Vorrichtung zur Auf- und Abbewegung des Seiles	6 Gestänge
	7 Meissel
	8 Suppe
	Seiles

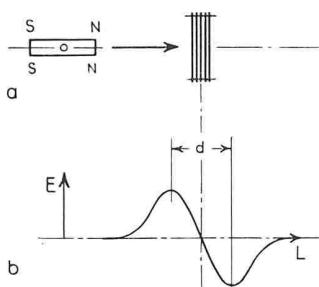
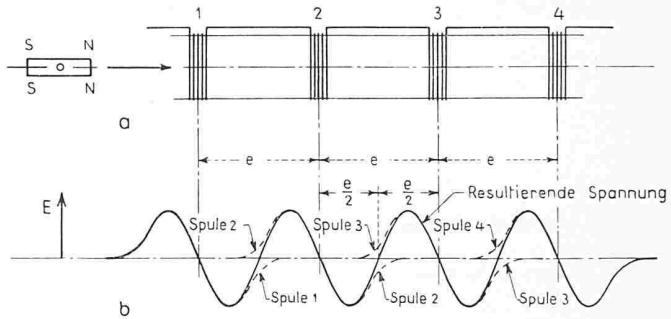


Bild 2a (links). Stabmagnet, der sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit durch eine Einzelspule verschiebt

Bild 2b (links). Induzierte Spannung E in Funktion der Lage L der Magnetmitte

Bild 3a (rechts oben). Stabmagnet, der sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit durch eine Reihe von Spulen verschiebt

Bild 3b (rechts unten). Induzierte Spannung E in Funktion der Lage L der Magnetmitte



Einfluss eines Magneten untersucht, der sich längs einer geraden Linie bewegt.

Betrachten wir den Fall eines Stabmagneten, der sich mit gleichmässiger Geschwindigkeit längs der Axe einer Spule verschiebt, Bild 2a. Die in der Spule induzierte Spannung ist in Bild 2b als Funktion der Lage der Magnetmitte aufgetragen. Wenn die Magnetmitte genau durch die Mitte der Spule hindurchgeht, geht das Signal durch den Nullpunkt und ändert seine Polarität. Die Distanz d zwischen der positiven und der negativen Spannungsspitze hängt von der geometrischen Form des Magneten und der Spule ab; sie ist hauptsächlich durch die Länge des Magneten bestimmt.

Mehrere identische Spulen können längs der selben Axe mit einer Zwischendistanz e angeordnet werden, Bild 3a. Bei Serieschaltung dieser Spulen ist das resultierende Signal gleich der Summe der Signale der einzelnen Spulen; es ist in Bild 3b als Funktion der Lage der Magnetmitte aufgetragen (große Impedanz des Aufnahmegerätes ist vorausgesetzt). Das resultierende Signal kann sehr ähnlich einer Sinuskurve gestaltet werden, indem man die geometrische Form des Magneten und der Spule günstig wählt, insbesondere indem man $e \sim 2d$ macht.

Man nahm in Aussicht, die Spulen innerhalb eines Verrohrungsstückes anzubringen und den Magneten etwa 4,2 m über dem oberen Ende des Bohrwerkzeuges anzuordnen. Die Magnetführung sollte aus nicht-magnetischem Material bestehen. In diesem Fall kommen weder das Bohrwerkzeug noch andere magnetische Elemente (mit Ausnahme des Bohrseiles) in den Bereich der Spulen, so dass von einer solchen Quelle keine Störungen befürchtet werden müssen. Das elektrische Kabel zwischen dem Geber und den Aufzeichnungsgeräten an der Oberfläche sollte außerhalb der Verrohrung geführt werden; der Raum zwischen der Lochwandung und den Verrohrungsmuffen war dazu genügend gross. Von diesem Gebersystem erhoffte man nicht nur das gewünschte Signal, sondern auch eine äusserst einfache mechanische Konstruktion.

sehnliche Verluste zu erwarten sind. Ein starkes Signal war nötig, um die Empfindlichkeit gegen Verluste und Störungen zu vermindern. Infolge des hohen hydrostatischen Druckes waren gewisse Verluste am Geber selbst und durch die Kabelisolierung zu befürchten.

Ein Signal von verhältnismässig niedriger Frequenz schien aus zwei Gründen günstig, nämlich erstens um die Verluste infolge verteilter Kabelkapazität auf ein Minimum zu beschränken, und zweitens um die Benützung eines direktschreibenden Aufzeichnungsgerätes zu ermöglichen, das einen wirksamen Frequenzbereich von 0 bis etwa 35 Hz hat.

Einfache und zuverlässige Eichung des Gebers für Weg und Geschwindigkeit sowie automatische Ausschaltung der Geber- und Kabelverluste auf die Eichung waren weitere wichtige Erfordernisse.

3. Grundprinzip des Gebers

Es schien, als ob die elektrischen Anforderungen am besten durch einen Wechselstrom-Generator erfüllt werden könnten, dessen Geschwindigkeit derjenigen des Bohrwerkzeuges proportional ist. In diesem Falle sind Grösse und Frequenz des Gebersignals der Meisselgeschwindigkeit proportional. Die momentane Geschwindigkeit könnte zweimal pro Periode ermittelt werden und die Anzahl der Perioden ergäbe die Länge des Hubes. Im allgemeinen erlaubt ein solches System nicht, die Richtung der Bewegung zu erkennen; aber im Falle eines Bohrmeissels kann die Richtung leicht aus dem Verlauf der absoluten Geschwindigkeit abgeleitet werden.

Vom elektrischen Gesichtspunkt aus ist ein solcher Wechselstrom-Generator ein idealer Geber, aber der mechanische Antrieb wäre im Bohrloch viel zu kompliziert. Die erste Aufgabe bestand deshalb darin, einen Geber für lineare Bewegung zu entwickeln, der ein ähnliches Signal erzeugt. Um die Möglichkeit eines solchen Induktivgebers zu prüfen, wurde der

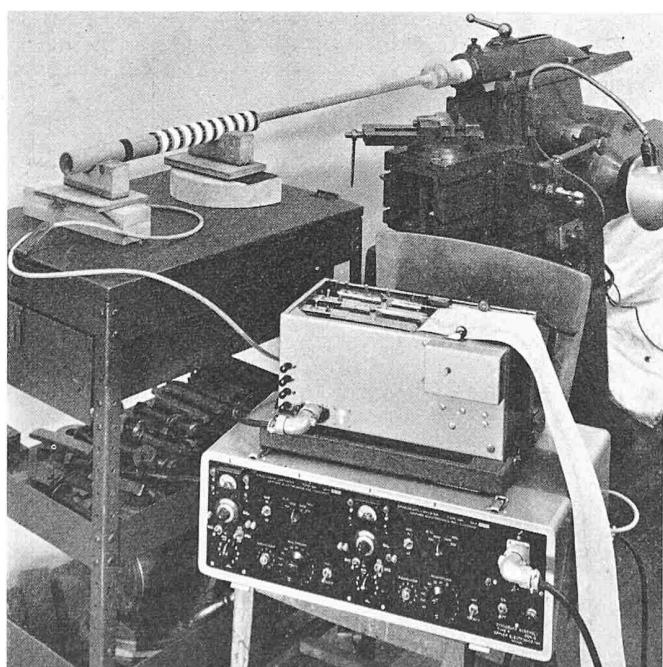


Bild 4. Versuchseinrichtung

4. Versuchsmode und Auslegung der Aufzeichnung

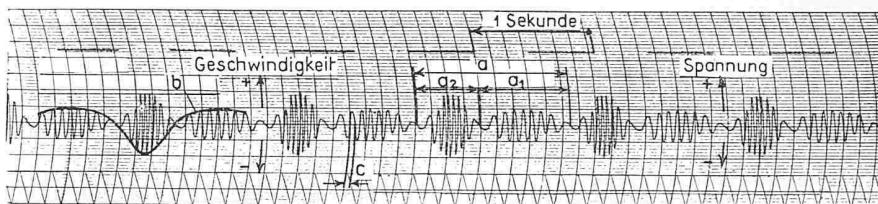
Das Versuchsmode des Induktionsgebers bestand aus zehn Spulen mit je 20 Windungen, die auf ein Kartonrohr von etwa 40 mm Durchmesser gewickelt wurden; die Distanz von Spule zu Spule betrug etwa 2,8 cm. Der Magnet wies einen Durchmesser von etwa 10 mm und eine Länge von 18 mm auf; er wurde von einem Holzstab geführt, der am Werkzeugträger einer Stossmaschine befestigt wurde. Die Stossmaschine erzeugte eine lineare Hin- und Herbewegung des Magneten längs seiner eigenen Axe, Bild 4. Das Kartonrohr wurde so angeordnet, dass die Spulen die ganze Bewegung des Magneten erfassen konnten. Die auf diese Weise gewonnene Aufzeichnung geht aus Bild 5 hervor. Die Ergebnisse waren befriedigend, und man entschloss sich, die Methode weiter zu verfolgen.

Die Bilder 2 und 3 zeigen das zu erwartende Gebersignal als Funktion der Lage der Magnetmitte. Normalerweise wird aber das Signal als Funktion der Zeit aufgezeichnet, wie es in Bild 5 geschehen ist. In diesem Falle sind die Amplitude und die Frequenz des Signals der Magnet-Geschwindigkeit proportional.

Das Signal sinkt in zwei Fällen auf Null ab, nämlich 1. unabhängig von der Magnetlage, wenn die Magnetgeschwindigkeit null ist und 2. unabhängig von der Magnetgeschwindigkeit, wenn die Mitte des Magneten durch die Mitte einer Spule oder durch den Mittelpunkt zwischen zwei aufeinanderfolgenden Spulen geht. Vorausgesetzt, dass der Magnetweg zwischen den Um-

Bild 5. Aufzeichnung der Hin- und Herbewegung der Stoßmaschine. Die Richtung der Verschiebung muss aus dem Verlauf der absoluten Geschwindigkeit bestimmt werden, da der Geber nicht zwischen positiven und negativen Geschwindigkeiten unterscheidet.

a Voller Arbeitsgang, a_1 vorwärts, a_2 rückwärts, b umhüllende Kurve = Geschwindigkeitsverlauf in Funktion der Zeit, c eine halbe Welle entspricht einer Magnetverschiebung von $e/2 = 14 \text{ mm}$



kehrpunkten ein Mehrfaches des Spulenabstandes ist, stellt die Umhüllende der Aufzeichnung den Verlauf der Geschwindigkeit des Magneten in Funktion der Zeit dar, Bild 5. Es kann dann leicht erkannt werden, welcher der beiden Fälle einen Durchgang des Signals durch Null verursacht. Praktisch bedeutet der erstgenannte Fall eine Umkehrung des Magneten. Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Nullpunkten des Signals ist beim zweiten Fall der Magnetweg gleich dem halben Spulenabstand, also gleich $e/2$ in Bild 3. Daher kann der Magnetweg zwischen aufeinanderfolgenden Umkehrpunkten leicht ermittelt werden, indem man $e/2$ mit der Felderzahl zwischen aufeinanderfolgenden Nullpunkten des zweiten Falles multipliziert. Diese Ermittlung ist nur eine Annäherung; aber sie wird um so genauer, je grösser die Felderzahl ist; denn der Einfluss der Unsicherheit in der Lage der Umkehrpunkte wird dann immer kleiner.

Der Magnetweg für eine Anzahl ganzer Felder zwischen aufeinanderfolgenden Nullpunkten des zweiten Falles kann beliebig genau ermittelt werden. Die Zeit, die für diesen Weg benötigt werden ist, kann aus den Zeitmarken auf der Aufzeichnung berechnet werden, Bild 5; dann ergibt das Verhältnis von Weg zu Zeit die Grundlage für die Eichung der Amplitude als Mass der Geschwindigkeit. Diese direkte Eichung ist äusserst zuverlässig; insbesondere ist sie unabhängig von Verlusten im Geber und im Kabel. Die Eichung sollte wenn möglich während einer Zeitspanne von konstanter Magnetgeschwindigkeit durchgeführt werden; aber auch Zeitspannen mit konstanter Beschleunigung können dazu verwendet werden.

5. Weitere Versuche und Verfeinerung des Stromkreises

Einige weitere Modellversuche wurden gemacht, bevor der Geber für das Bohrloch entworfen wurde. Sie befassten sich mit dem Einfluss der durch die Verrohrung bedingten Abschirmung und dem Bohrseil, das sich ungefähr mit dem Magneten bewegt. Dabei zeigte sich, dass ein Stahlrohr über den Spulen keinen wahrnehmbaren Einfluss auf das Gebersignal hatte. Der Weg war daher frei, den Geber in ein Stahlrohr einzubauen, das die nötige Tragfähigkeit für die schweren Lasten und den Schutz gegen Beschädigung von aussen gewährleistete.

Ein Stahlkabel, das sich mit dem Magneten durch die Spulen bewegte, hatte nur einen geringen Einfluss auf die Amplitude einzelner Quasi-Sinuswellen. Dagegen verursachte es eine ansehnliche Auf- und Abbewegung der Null-Linie. Der Einfluss des Kabels war identisch mit dem Einfluss, den man von einem endlich langen, magnetischen Stab erwarten würde, der auf beiden Seiten über das Spulensystem hinausragt. Dieser störende Einfluss auf das Signal musste wenn möglich ausgeschaltet werden. Ein Kabel aus rostfreiem Stahl, das nicht magnetisch ist, kam nicht in Frage. Beseitigung der Störung durch einen elektrischen Filter (kapazitive Kupplung) schien nicht praktisch, da das Signal selbst sehr niedrige Frequenzen aufweist im Zeitpunkt, in dem das Werkzeug den höchsten Punkt erreicht. Abhilfe musste daher im Geber selbst gesucht werden. Sie ergab sich nach folgender Ueberlegung:

Ein besonderes System von Spulen mit gleichen Eigenschaften kann so angebracht werden, dass die Versetzung längs der Spulenaxe $e/2$ beträgt, Bild 6a. Wenn sich der Magnet gleichförmig durch die Spulen bewegt, erzeugt das zweite Spulensystem ein Signal von gleicher Grösse wie das erste. Dagegen sind die zwei Signale um eine halbe Wellenlänge versetzt, was einer Phasenverschiebung von 180° entspricht. Falls die zwei Spulensysteme gegeneinander in Serie geschaltet werden, kommen die zwei durch den kurzen Magneten erzeugten Signale in Phase und werden daher addiert, Bild 6b. Dagegen heben sich die durch das Kabel erzeugten Signale gegenseitig auf; denn die Versetzung der Spulen ruft

nur einen verschwindend kleinen Unterschied in den Signalen hervor.

Das zweite Spulensystem hat den weiteren Vorteil, dass es die Form der Quasi-Sinuskurve verbessert, indem es Doppelsymmetrie des Signales bedingt. Das Modell wurde mit dem zweiten Spulensystem ausgerüstet und, wie erwartet, verdoppelte sich das durch den Magneten erzeugte Signal, während der Einfluss des Kabels verschwand.

6. Dimensionen des Gebers

Der Spulenabstand für ein Einzelsystem wurde zu $e = 0,1$ Meter gewählt; eine volle Quasi-Sinuskurve des Signals entspricht daher einem Werkzeugweg von 0,1 m. Die höchste Frequenz, die das Aufzeichnungsgerät ohne Verminderung der Amplitude aufnehmen kann, beträgt 35 Hz; sie entspricht somit einer Werkzeug-Geschwindigkeit von 3,5 m/s oder einem freien Fall von etwas über 0,6 m. Frühere Beobachtungen der Werkzeugbewegung in der Nähe der Oberfläche (Beginn des Bohrloches) ergaben aber, dass eine Aufprallgeschwindigkeit von 3,5 m/s einen Fall von 1,2 m erfordert.

Der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Nullpunkten der Quasi-Sinuskurve entspricht $e/2 = 0,05 \text{ m}$ und schien klein genug für eine zuverlässige Ermittlung der Fallhöhe.

Jedes Spulensystem enthält 38 Spulen; der Abstand zwischen den Endspulen ist somit 3,75 m. Dies schien zu genügen, um auch unter Berücksichtigung des Einflusses der Enden eine brauchbare Länge des Gebers von 3,3 m sicherzustellen.

7. Konstruktion der Geber

Es sind zwei identische Geber verwendet worden. Der eine wurde am untern Ende des Loches zur Ermittlung der Werkzeugbewegung gebraucht; der andere knapp unterhalb der Erdoberfläche in das Verrohrungssystem eingebaut, um die Seilbewegung am oberen Ende des Loches zu ermitteln. Der Geber in der Nähe der Oberfläche hatte übrigens eine Verrohrungslast von über 25 000 kg zu tragen.

Die Verrohrung für dieses Loch hatte einen Aussendurchmesser von 178 mm und einen Innendurchmesser von 162 mm. Man beschaffte sich Polyester-Röhren von gleichen Durchmessern, die mit gewobenem Glasband verstärkt waren. Um das Winden der Spulen zu erleichtern, setzte man kurze plastische Pflöcke von 3 mm Durchmesser in genau gebohrte Löcher ein. Die zwei Spulensysteme wurden unabhängig ge-

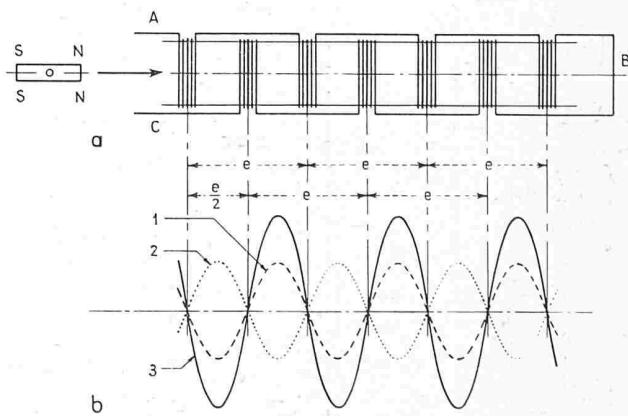


Bild 6a (oben). Stabmagnet, der sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit durch zwei Reihen von Spulen verschiebt

Bild 6b (unten). Induzierte Spannung in Funktion der Lage der Magnetmitte

1 Spannung zwischen A und B; 2 id. zwischen C und B; 3 id. zwischen A und C

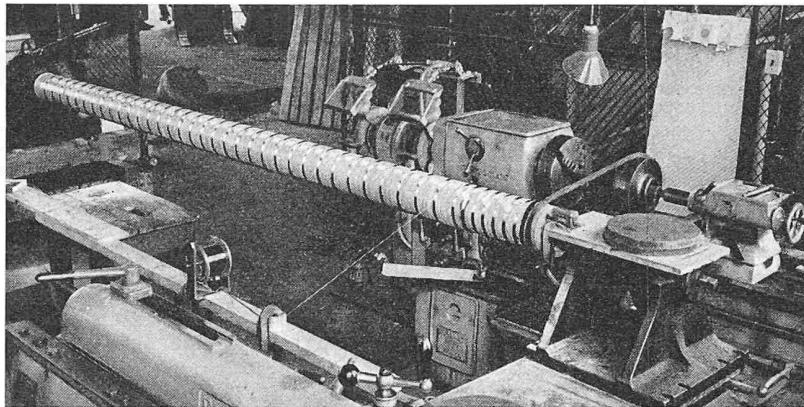


Bild 7.

Bild 7. Wickeln der Spulen. Bild 9. Verankerung des gepanzerten Spezialkabels, links Einzelteile, rechts Verankerung vor dem Ausgessen mit Gummi

wunden, Bild 7. Jede Einzelspule enthält 20 Windungen; der Widerstand pro Spulensystem beträgt 23 Ohm, oder 46 Ohm total. Die Störungssignale sind daher sozusagen kurzgeschlossen.

Die Spulen wurden mit gewobenem Glasband umwickelt, das mit etwas Kunstharsz (Epoxy) angeklebt wurde. Das plastische Rohr konnte dann in ein Stück besonders schwerer Verrohrung (von 200 mm Aussendurchmesser, ungefähr gleich wie die Muffen der gewöhnlichen Verrohrung) geschoben werden, an welches das obere Verbindungsstück (mit dem elektrischen Anschluss) bereits angeschweisst war. Darauf wurde das untere Verbindungsstück angeschweisst; der Abstand von dieser Schweissnaht zum plastischen Rohr war gross gewählt worden, um das plastische Rohr und die Windungen vor Hitze zu schützen, Bild 8. Die Verbindungsstücke bestanden aus Teilen der gewöhnlichen Verrohrung, so dass der Uebergang vom Geber zur übrigen Verrohrung gewährleistet war.

Der Raum zwischen den Spulen und dem Stahlrohr wurde mit einem Kunstharsz ausgefüllt, welches unmittelbar vor dem Giessen mit einem Katalysator gemischt wird und dann ohne äussere Hitze abbindet. Das Kunstharsz wurde von einem Tank mit etwa 1,5 atü eingepresst, um den Hohlraum ganz zu füllen und so eine Beschädigung durch den hohen Wasserdruck zu vermeiden.

Das Signal wurde durch ein Spezial-Kabel mit drei Leitungen und Kreuzschlag-Doppelstahlpanzer an die Oberfläche übertragen. Dieses Kabel musste auf der Aussenseite der Verrohrung angebracht werden. An jedem Ende eines Verrohrungsstückes klammerten Stahlbänder das Kabel fest, während an jeder Muffe beidseitig aufgeschweißte Stahlstäbe das Kabel schützten. Nachdem die Verbindungen verlötet waren,

füllte man die Verbindungstasche mit gummiartigem Kunstharsz. Eine gewisse Bewegungsfreiheit an dieser Stelle schien wichtiger als absolute Wasserdichtheit.

8. Magnete und Magnetträger

Die Magnete (Aluminium-Nickel-Kobalt-Legierung) hatten 100 mm Aussendurchmesser, 75 mm Innendurchmesser und waren etwas über 60 mm lang. Die Ringform musste gewählt werden, um den Durchgang des Kabels zu gewährleisten. Bild 10 zeigt die Magnetträger und ihren Einbau.

An der Seihülse am oberen Ende des Bohrgestänges 1 wurde ein Kugelgelenk 4 aufgeschweisst, das den Uebergang zum Magnetträger bildete. Ein zweiteiliger Ring 5, der am Kugelgelenk befestigt war, nahm ein Messingrohr 2 von 4,20 Meter Länge, 133 mm Aussendurchmesser und 127 mm Innendurchmesser auf, Bild 10. Der untere Magnet wurde in ein Aluminiumgehäuse am oberen Ende des Messingrohres eingebaut. Dieses schmiegt sich der Verrohrung gut an, so dass der Magnet parallel zur Verrohrungssaxe geführt wird. Öffnungen für den Wasserdurchfluss sind am zweiteiligen Ring am unteren Ende des Messingrohres und am Magnetgehäuse vorgesehen worden, so dass der Magnetträger mit dem Magneten (im Vergleich zum Bohrwerkzeug) keinen allzu starken Wasserwiderstand verursachte. Um das Bohrwerkzeug aus dem Loch zu ziehen (was zum Ausschöpfen der «Suppe» nötig ist), wurde der zweiteilige Ring entfernt und das Messingrohr über das Werkzeug gesenkt.

Ein ähnliches Aluminiumgehäuse wurde für den oberen Magneten verwendet; es kann leicht an einem beliebigen Punkt des Kabels festgeklemmt werden, Bild 10.

Eichung

Zur Eichung wurde der Ringmagnet im oberen Gehäuse mit gleichförmigen Geschwindigkeiten von 0,45 bis 3,30 m/s durch einen Geber gezogen. Dazu diente eine Drehbank, in die eine Winde eingespannt war. Auf dieser wickelte sich ein

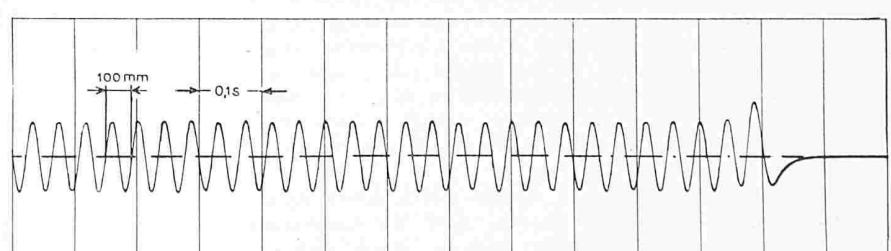


Bild 11. Teil einer typischen Eichungsaufzeichnung

Bild 8 (links). Konstruktion der Geber; a oberes Ende; b unteres Ende; c Ringmagnet und Gehäuseumriss

Legende zu Bild 8

1 Verrohrung von 178 mm
2 Kunstharszrohr

3 extraschwere Verrohrung von 200 mm
4 Spulen
5 letzte Schweissnaht
6 eingegossenes Kunstharsz

7 elektrisches Anschlusskästchen
8 Spezialkabel mit Stahlpanzer
9 Verrohrungsmuffe

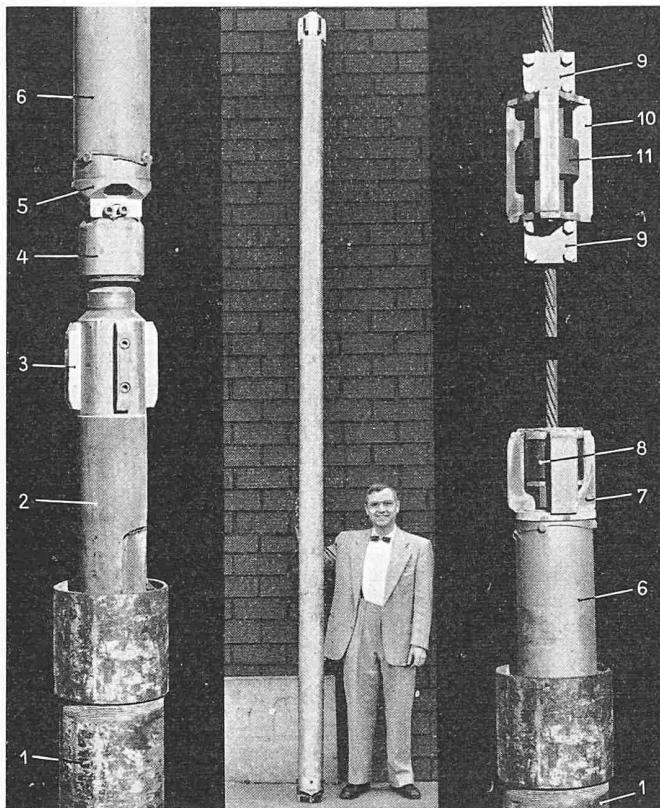


Bild 10. Magnetträger. Links: unteres Ende, rechts: oberes Ende des unteren Magnetträgers, rechts oben: Träger des oberen Magneten, Mitte: Gesamtansicht des unteren Magnetträgers

- | | |
|---|--|
| 1 Normale Verrohrung (Bohr-
gestänge) von 178 mm Außen-
durchmesser | 5 Zweiteiliger Ring mit vier
Löchern für Wasserdurchtritt |
| 2 oberster Teil des Bohrgestän-
ges, in dem das Seil befestigt
ist | 6 Messingrohr |
| 3 Führungsstäbe am Seil-
anschluss | 7 Gehäuse für den unteren
Magneten |
| 4 Kugelgelenk | 8 unterer Ringmagnet |
| | 9 Seilklemmen |
| | 10 Gehäuse für den oberen
Magneten |
| | 11 oberer Ringmagnet |

Drahtseil von 1,5 mm Durchmesser auf, das den Magneten zog. Eine Vorrichtung hatte die Winde abzubremsen und den Magneten abzufangen, wenn er das Ende des Gebers erreicht hatte. Die Drehgeschwindigkeit der Winde konnte auf die gewünschten Eichgeschwindigkeiten eingestellt werden; die genaue Geschwindigkeitsbestimmung erfolgte aber stets durch Abzählen der aufgezeichneten Wellen. Ein sehr schnell wirkendes, photographisches Instrument zeichnete die Impulse auf, wobei der Geber direkt (also ohne Verstärker) mit dem Galvanometer verbunden war. Solange sich der Magnet ein kleines Stück innerhalb der Endspulen befand, war die Aufzeichnung sehr gleichmäßig und ergab eine gute Wellenform, Bild 11.

Die Endeinflüsse lassen erkennen, dass für den verwendeten Magneten der gewählte Spulenabstand etwas grösser als der günstigste Abstand ist; denn die Signale der einzelnen Spulen überschneiden sich mehr, als in Bild 3 angedeutet ist. Immerhin war die Wellenform sehr befriedigend und das Signal stark genug, so dass die geometrischen Verhältnisse beibehalten werden konnten.

Über den ganzen untersuchten Geschwindigkeitsbereich war das Signal der Magnetgeschwindigkeit genau proportional. Die Signalstärke betrug 0,208 Volt (Spitze zu Spitze) für eine Magnetgeschwindigkeit von 1 m/s. Das armierte Kabel mit einer ursprünglichen Länge von 750 m verringerte die Signalstärke um ungefähr 1 %.

Die Eichung wurde nur für gleichförmige Magnetgeschwindigkeit durchgeführt. Der Fall von veränderlicher Magnetgeschwindigkeit wurde mathematisch untersucht in der Annahme, dass der Geber ein Geschwindigkeitssignal erzeugt, das durch den Weg moduliert wird. Die Untersuchung ergab:

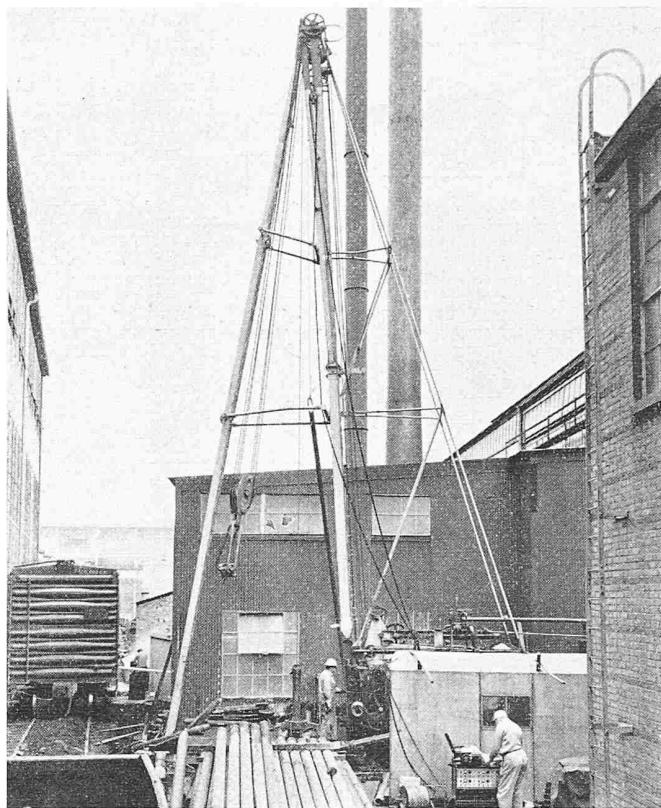


Bild 12. Versuchsböhrmaschine und Apparatur im Betrieb

a) dass die Umhüllende der Aufzeichnung die Geschwindigkeitskurve des Magneten darstellt, Bild 5; die Eichungskonstante für die Umhüllende ist gleich wie für gleichförmige Magnetgeschwindigkeit. (Das stimmt allerdings nur, wenn das Signal durch mehrere aufeinanderfolgende Spulen erzeugt

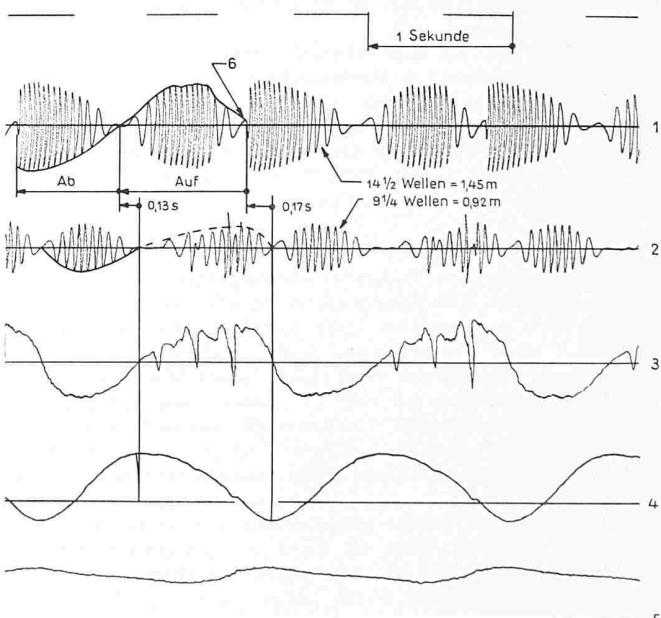


Bild 13. Typisches Diagramm eines Bohrvorganges bei 450 m Tiefe und Kurbelantrieb des Bohrmeissels

- | | |
|---|--|
| 1 Meisselgeschwindigkeit | 4 Seilverschiebung unmittelbar
über der Erdoberfläche
(gemessen mit Potentiometer) |
| 2 Seilgeschwindigkeit unmittelbar
über der Erdoberfläche
(1 und 2 gemessen mit der hier
beschriebenen Vorrichtung) | 5 Rotationsgeschwindigkeit der
Antriebskurzel
(gemessen mit Wirbelstrom-
generatoren) |
| 3 Wie 2, jedoch mit Wirbelstrom-
generatoren gemessen | 6 schwacher Rückprall nach dem
Aufschlag |

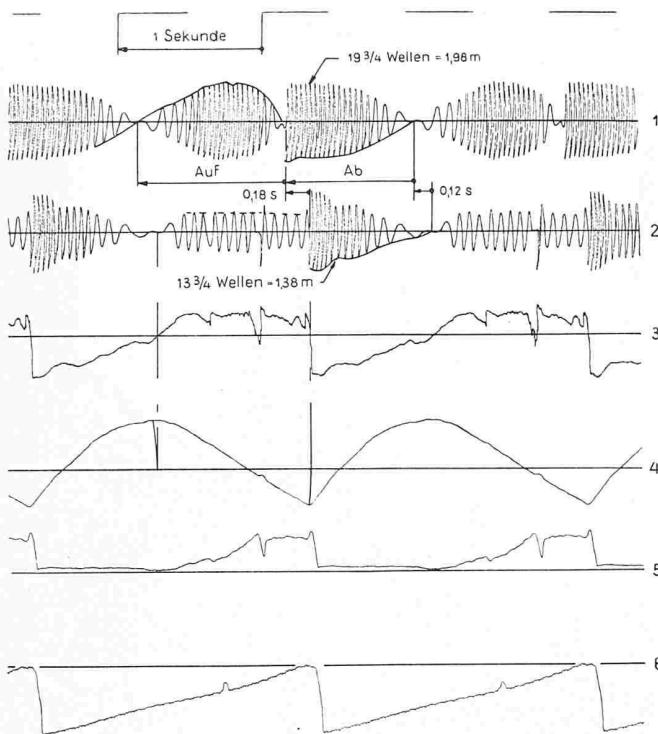


Bild 14. Typisches Diagramm eines Bohrvorganges bei 600 m Tiefe und hydraulischem Antrieb

1 bis 4 wie bei Bild 13. 5 Druck im Arbeitszylinder, gemessen mit Druckzelle, 6 Verschiebung des Steuerschiebers zum Druckzylinder, gemessen mit elektromagnetischem Differenzialgerät für lineare Bewegungen

wird und nicht, wenn der Magnet im Bereich einer einzelnen Spule schwingt.)

b) dass die Berührungsstellen zwischen der aufgezeichneten Schwingung und der Umhüllenden nur für gleichförmige Geschwindigkeit mit den Spitzen der Halbwellen zusammenfallen. Für ungleichförmige Geschwindigkeit ist die tatsächliche Geschwindigkeit etwas grösser, als die Spitzen der Halbwellen angeben.

c) dass nur ein sehr kleiner Fehler entsteht, wenn die Spitzen der Halbwellen berücksichtigt werden anstatt die Berührungsstellen mit der Umhüllenden. Wenn z. B. der Magnet gleichförmig beschleunigt wird, ist der Fehler dem Quadrat der Verschiebung des Magneten umgekehrt proportional und beträgt ungefähr 0,3 %, wenn der Magnet den Weg eines Spulenabstandes zurückgelegt hat.

Praktische Erfahrungen

Bild 12 zeigt die Versuchs-Bohrmaschine und die Apparatur im Betrieb. Die Spulen-Geber funktionierten wie erwartet, aber mit zunehmender Tiefe des Bohrloches ergaben sich mehr und mehr Verzerrungen in der Aufzeichnung der Anhub-Periode, hervorgerufen vom Geber unmittelbar unter der Erdoberfläche, Bilder 13 und 14. Diese Verzerrungen wurden durch kurze, schnelle Geschwindigkeitsänderungen (sogar Rückwärtsbewegungen) des Seiles erzeugt — nämlich durch die Spannungswellen, welche geübte Bohrleute ausnützen, um die Vorgänge am Boden des Loches «abzufühlen». Der Spulen-Geber, welcher ein Geschwindigkeitssignal erzeugt, das durch den Weg moduliert wird, ist nicht gut geeignet für solche Spannungswellen, denn diese bedingen nur einen sehr kleinen Seilweg. Die Apparatur wurde daher ergänzt durch Geber, welche die Seilbewegung an der Oberfläche ohne Modulation wiedergaben.

Ausser den Geschwindigkeitsgebern wurden weitere Geber verwendet für den Weg des Seiles an der Oberfläche und die Kurbelgeschwindigkeit bei mechanischem Antrieb, Bild 13; bzw. für den Druck im Arbeitszylinder und die Lage des automatischen Steuerschiebers bei hydraulischem Antrieb, Bild 14. Die Gesamtarbeitsweise ist für alle vorgesehenen Bedingungen aufgezeichnet worden. Ausserdem hat man die Eigenfrequenz und die Dämpfungskonstante des am Seil hängenden Werkzeuges ermittelt für die gedämpfte Schwingung, die entsteht,

wenn das Bohrwerkzeug für kurze Zeit fallen gelassen und plötzlich abgebremst wird; ebenso die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Spannungswellen im gespannten Seil. Zu diesem Zweck wurde die Kupplung zum Anheben des freihängenden Werkzeuges plötzlich eingeschaltet oder die Bremse schnell gelöst, um das Werkzeug fallen zu lassen. Die Zeitspanne zwischen dem ersten Zeichen an der Oberfläche und am Boden des Bohrloches ergab dann die Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Für diesen Zweck liess man das Papier des Registrier-Instrumentes so schnell als möglich laufen, und man hat das Signal mehr als normalerweise verstärkt, um die ersten Anzeichen einer Bewegung sofort erkennen zu können.

Das Schlagbohren ist mit viel Stößen und Schlägen verbunden, nicht nur unten im Bohrloch, sondern auch an der Bohrmaschine selbst und am Seil, dessen seitliche Bewegung oft recht heftig ist. Schwierigkeiten mit Registrierapparaturen können daher nicht ganz vermieden werden. Diese röhren fast alle von den Gebern über der Erdoberfläche her. Der Spulengeber am unteren Ende des Loches funktionierte jederzeit tadellos. Beim Einsetzen der Verrohrung wurde das Kabel einige Male beschädigt. Auf einer Tiefe von 300 m blieb einmal das Werkzeug in der Verrohrung stecken und musste gewaltsam losgerüttelt werden. Dieses Rütteln, in Zusammenhang mit der Last von 12 000 kg am oberen Spulengeber und der grossen Kälte verursachte einen Drahtbruch am Ende der Kunstharzfüllung (Punkt A in Bild 8). Die Drähte waren so fest im Kunstharz eingebettet, dass der kleinste Spalt zwischen Kunstharz und Stahlmantel zum Bruch des Drahtes führte. Der Grund des Bruches wurde bald erkannt, und die Reparatur konnte rasch vor sich gehen, indem ein kleines Fenster in den Stahlmantel gemeisselt wurde. Nach der Reparatur wurde diese kleine Stelle mit einem Kunstharz gefüllt, das dauernd elastisch bleibt, um die Gefahr eines erneuten Drahtbruches zu vermeiden.

Adresse des Verfassers: J. H. Meier, dipl. Ing. ETH, 1537 Grenoside Avenue, Schenectady 9, N. Y.

Um ein Technikum im Kanton Aargau

Gestützt auf zahlreiche Wünsche und Anregungen hat der Regierungsrat des Kantons Aargau eine Studienkommission zur Prüfung der Frage nach der Errichtung eines Aargauischen Technikums ernannt, deren Bericht interessante Angaben enthält. Die Untersuchung der Bedürfnisfrage auf Grund der Beantwortung von Fragebogen, die an die technischen Firmen des Kantons versandt wurden, ergab allein für den Kanton Aargau einen jährlichen Bedarf von rd. 230 Technikums-Absolventen. Diese verteilen sich auf Maschinenbau, Elektrotechnik, Hochbau und Tiefbau. Man sieht fünf Klassen zu je 20 Schülern vor, wovon im Maschinenbau zwei Parallelklassen geführt werden sollen. In dreijähriger Ausbildungszeit sollen jährlich rd. 100 Schüler das Technikumsdiplom erwerben.

Für die insgesamt 15 Klassen benötigt man 18 Klassenzimmer und 12 Zeichensäle. Physik- und Chemiezimmer, Laboratorien und Aula sollen gemeinsam benutzt werden. Aus diesem Raumbedarf ergibt sich ein Schulhaus von 42 000 m² umbautem Raum, dessen Erstellung etwa 7 Mio Fr. kosten wird. Dazu kommen Laboreinrichtungen, Mobiliar, Bauland usw., wodurch sich Gesamtkosten von rd. 10,5 Mio Fr. ergeben. Die Betriebskosten einschliesslich Erneuerung der Laboratoriums- und Versuchseinrichtungen werden auf 0,95 Mio Fr. geschätzt. Das Aargauische Technikum soll in bezug auf Lehrkräfte und Einrichtungen hohen Anforderungen genügen, um mit anderen Schulen dieser Art auf gleicher Stufe zu stehen.

Als Standorte sind Brugg, Lenzburg oder Windisch in Aussicht genommen. Dabei weist der Raum Brugg-Windisch insofern wesentliche Vorteile auf, als er verkehrstechnisch günstig und zugleich im Schwerpunkt der aargauischen Industrie liegt. Wichtig ist, dass möglichst viele Schüler zu Hause wohnen und die Schule im Pendelverkehr besuchen können. Wie soeben bekannt wird, soll sich die Studienkommission für Windisch entschieden haben. Der vorgesehene Bauplatz im Klosterzelg misst 25 000 m² und weist grosse Raumreserven auf. Er ist vom Bahnhof Brugg aus in fünf Minuten zu Fuss erreichbar.