

Großversuch einer seismischen Tiefsprengung.

Von Josef Walk, München.

Die Deutsche Erdöl-Aktiengesellschaft hat in den Jahren 1948/49 etwa 1 km nördlich des Ortes Kirchbichl bei Bad Tölz eine Untersuchungsbohrung bis zu einer Tiefe von 2205,40 m niedergebracht. Nachdem die Bohrung den entsprechenden geologischen und tektonischen Aufschluß gebracht hatte (Abb. 1), wurde sie eingestellt. Da dieses Bohrloch außerordentlich günstig am Rande des Molassetroges an der Grenze der Ungefalteten gegen die Gefaltete Molasse¹ und in geringer Entfernung von Helvetikum, Flysch und Ostalpin¹ gelegen war und die Bohrung die Gefaltete Molasse durchsunken hatte, außerdem die Tiefe des kristallinen Untergrundes im bayerischen Alpenvorland und allenfalls vorhandene Überschiebungen unbe-

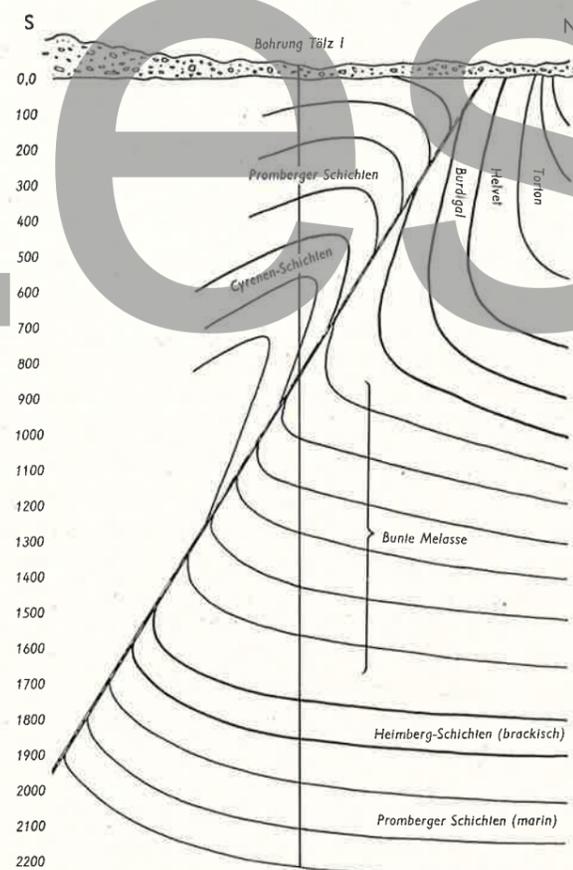


Abb. 1. Geologisches Profil der Bohrung Tölz I.

¹ Schichtenverbände im alpinen Raum.

kannt waren, schlug Professor Dr. Reich, Vorstand des Institutes für angewandte Geophysik der Universität München vor, dieses einmalig in jeder Hinsicht günstig gelegene Bohrloch für seismische Messungen auszunutzen. Er wurde hierzu vor allem durch die in der Nachkriegszeit gemachten Erfahrungen angeregt, wo bei den großen Oberflächensprengungen in Helgoland 4000 t und in Haslach im Schwarzwald 73 t brisante Sprengstoffe durch Sprengung vernichtet wurden und aufgestellte Seismographen ausgezeichnete Meßergebnisse über die Untergrundverhältnisse in der norddeutschen Tiefebene und im Schwarzwald gebracht haben.

Professor Dr. Reich ging von dem Gedanken aus, daß es für geophysikalische Messungen von Vorteil sein müßte, wenn eine entsprechend große Sprengstoffmenge in großer Tiefe abgetan wird, damit die bei der Explosion freiwerdenden Energien unmittelbar und besser den tiefen Schichten zugeführt und so auch bessere Meßergebnisse des tiefen Untergrundes erreicht werden, als bei Oberflächensprengungen. Er regte deshalb zunächst an, 5 t hochbrisanten Sprengstoff in einer Tiefe von 1000 m zur Detonation zu bringen. Die Kosten dieser Sprengung hätten sich auf rund 120000 DM belaufen, in die sich der Bund über das Amt für Bodenforschung, das Land Bayern und die Erdöl-Industrie teilen sollten. Auf Umfrage wurde festgestellt, daß derartige Sprengungen in solchen Tiefen und mit so großen Sprengstoffmengen noch nirgends durchgeführt wurden. Von verschiedenen Seiten, u. a. auch von amerikanischen Gelehrten, wurde das Projekt aber als aussichtsreich beurteilt.

Da in Norddeutschland eine Reihe von Tiefsprengungen mit kleinen Sprengstoffmengen, vor allem mangels entsprechender Erfahrungen und wegen technischer Unzulänglichkeiten hinsichtlich der verwendeten Sprengstoffe und Zündmittel sowie der seismischen Aufnahmegerate, mißglückt waren, wurde vorgeschlagen, die nötigen Erfahrungen erst durch risikolosere Messungen von großen Oberflächensprengungen in Steinbrüchen bei Kammer- und Großbohrlochsprengungen zu sammeln, für die ein Teil der von der Fraunhofer Gesellschaft

zur Förderung der angewandten Forschung e.V., München, bereitgestellten Geldmittel aufgewendet werden sollte. Die dann in den folgenden Jahren bei diesen Sprengungen, vor allem im süddeutschen Raum, gewonnenen Ergebnisse waren in vieler Hinsicht befriedigend und aufschlußreich. Sie ermutigten, den Gegenversuch mit der erwähnten Tiefsprengung durchzuführen, der schließlich auch im Einvernehmen mit dem Amt für Bodenforschung, Hannover, und auf Befürwortung der Fraunhofer Gesellschaft, München, beschlossen wurde.

Als erwünscht wurde mit Rücksicht auf die noch zur Verfügung stehenden Geldmittel eine Sprengung mit 2000 kg Sprengstoff in einer Tiefe von etwa 600 m angeben.

Die Fraunhofer Gesellschaft hat in einer Niederschrift die wissenschaftliche und seismische Problemstellung der Sprengung in dem Bohrloch Tölz I folgendermaßen umrissen:

Durch einen Versuch soll geklärt werden, ob Tiefbohrlöcher für seismische Aufnahmen verwendbar sind. Dabei wird von dem Grundgedanken ausgegangen, daß es ein Vorteil sein müßte, wenn

- die gesamte Energie direkt denjenigen Schichten zugeführt wird, deren Lagerungsverhältnisse festgestellt werden sollen,
- die Energiequelle selbst schon in einer gewissen Tiefe liegt, so daß die Untersuchung von noch tieferen Schichten besser möglich wäre.

Dieser Versuch sollte mit der Lösung einer Aufgabe der praktischen Geologie verbunden sein und eine Klärung über die Tektonik des Alpenvorlandes und des tiefen Baues der Kalkalpen bringen. Es ist nicht bekannt, wie weit der Körper der Kalkalpen über dem Kristallin des Grundgebirges gelegen ist und auch nicht, ob zwischen dem kristallinen Grundgebirge und den Kalkalpen der Schichtenverband der Molasse liegt. Der Versuch sollte also zur Lösung der Frage beitragen, ob eine Überschiebung der Kalkalpen über die Molasse angenommen werden kann. Wenn dies der Fall wäre, dann müßten sich aus den gewonnenen Seismogrammen Anhaltspunkte dafür finden lassen. Daneben wurden auch Ergebnisse über den Verlauf der Basis der Molasse und deren Tiefe sowie der tieferen Grenzflächen im kristallinen Grundgebirge und den Schichtgesteinen erwartet. Schließlich sollten noch nähere Untersuchungen über die seismischen Energieänderungen an den Grenzflächen der im Alpenvorland vorhandenen tektonischen

Einheiten und über die Geschwindigkeitsänderungen, welche die seismische Welle in der Molasse mit Annäherung an den Alpenrand erfährt, durchgeführt werden, da man bei seismischen Arbeiten in den Gebieten von Peißenberg und Bad Tölz tatsächlich solche Erscheinungen beobachten konnte.

Zu dem seismischen Problem wurde einleitend erläutert, daß die Geophysik die Lehre von den physikalischen Eigenschaften des Erdkörpers und der den Erdkörper bildenden Stoffe ist. Untersucht werden z. B. Dichte, Temperatur, elastische, magnetische, elektrische u. a. Eigenschaften der Gesteine. Die Seismik — das Wort kommt vom griechischen Seimos = Erdbeben — ist ein Zweig der Geophysik. Durch Explosionen, also Sprengungen, werden künstliche Erdbewegungen erzeugt und in den Erdschichten elastische Wellen angeregt. Wenn diese Wellen an die Erdoberfläche kommen, rufen sie dort Schwingungen des Bodens hervor, die man durch geeignete Apparate (Seismographen) messen kann. Die Aufnahmen gestatten Rückschlüsse auf die Art und die Mächtigkeit der Erdschichten.

Die Geschwindigkeit der seismischen Wellen ist von der Elastizität und der Dichte des Gesteins, durch das die Welle läuft, abhängig. So haben beispielsweise Messungen von kleinen Oberflächensprengungen den Zweck, die Geschwindigkeit der elastischen Wellen in den oberen Schichten zu ermitteln, soweit diese noch nicht ausreichend bekannt sind.

Kennt man Elastizitätsmodul und Dichte von Erdschichten und die Laufzeit der Welle, so kann der Weg, den sie zurücklegt, berechnet und daraus auf die Mächtigkeit der Schichten geschlossen werden. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der seismischen Wellen ist beispielsweise in

Ungefalteter Molasse	2500 bis 3000 m/s
Gefalteter Molasse	3000 bis 4000 m/s
Granit	5500 bis 5800 m/s
Gabbro	6400 bis 6500 m/s
Peridotit	8100 m/s

Bei der Entwicklung der mathematischen Relationen einer seismischen Großaufnahme n erhält man Gleichungen mit $n + 1$ Unbekannten. Um hier eine Lösung zu finden, muß man noch andere Beziehungen suchen. Am genauesten ist es, im gleichen Gebiet an zwei verschiedenen Punkten zu sprengen und jedesmal auf der gleichen Profilinie zu messen. In dem Beobachtungsgebiet hat am 4. September 1954 schon einmal eine seismische

Aufnahme stattgefunden, als im Hartsteinwerk Werdenfels in Eschenlohe gelegentlich einer Kammer Sprengung 5,3 t Sprengstoff zur Explosion kamen. Diese Aufnahme gab bereits gute Anhaltspunkte. Weitere Ergebnisse sollen noch durch später folgende Großaufnahmen erhalten werden, die im Rahmen des Programmes der Commission Seismologique Européenne vorgesehen sind.

Bei der seismischen Aufnahme interessiert vornehmlich die vertikale Komponente der Schwingungen des Erdbodens, weil durch deren Aufnahme eine bessere Feststellung der Tiefen und der Neigung von Grenzflächen möglich ist als durch die horizontale Komponente. Die Aufnahmegeräte sind daher Vertikal-Seismometer. Die Seismographen bestehen im wesentlichen aus einer stationären Masse, die an einem Gestell elastisch aufgehängt ist. Die Masse macht infolge ihrer Trägheit die senkrechten Bodenbewegungen nicht mit, es findet also eine Relativbewegung zwischen Gestell und Masse statt, die vergrößert und auf einem Filmstreifen aufgezeichnet wird. Die relative Bewegung zwischen Masse und Gestell wird entweder elektrisch (bei den Reflexions-Seismographen) oder mechanisch (bei den Refraktions-Seismographen) übertragen. Die aufgezeichnete Kurve ist das Seismogramm. Das Eintreffen einer Welle wird durch eine Änderung im Diagrammverlauf erkennbar. Wenn der Moment der Sprengung auf dem Diagramm eingezeichnet ist, kann daraus unmittelbar die Laufzeit der Welle abgelesen werden.

Die Wellenbewegungen, die vom Erregungsherd ausgehen, laufen verschiedenartig. Es interessieren hier vor allem zwei Arten, nämlich die reflektierten und die refraktierten Wellen.

Die reflektierten Wellen gelangen auf die Grenzfläche eines Gesteins mit anderem Elastizitätsmodul und werden dort reflektiert. Da ihre Amplituden klein sind, können sie nur mit sehr genau arbeitenden Seismographen erfaßt werden. Die dazu verwendeten Seismographen haben eine Ablesegenauigkeit von 1/1000 s. Man erhält damit nur in unmittelbarer Nähe des Sprengpunktes gute Ergebnisse. So reichte z. B. die bei der erwähnten Sprengung von Eschenlohe verwendete Sprengstoffmenge von 5,3 t aus, Reflexionen aus der in großer Tiefe liegenden Peridotitzone zu erhalten.

Die refraktierten Wellen dagegen laufen vom Erregungsherd weg durch eine Gesteinsschicht hindurch und an deren unteren Grenzfläche entlang. Sie können in einem bestimmten Abstand vom

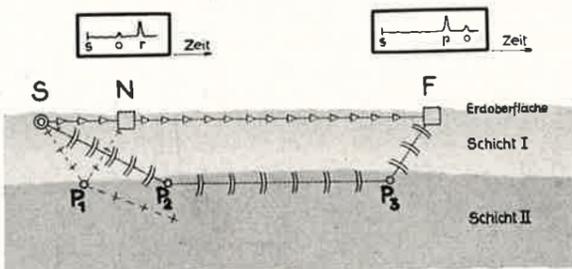


Abb. 2. Messung mittels Reflexion/Refraktion.

Reflexions- und Refraktionswellen zwischen Sprengort S, Nahstation N und Fernstation F. Schicht II hat größere Wandergeschwindigkeit als Schicht I. In den schematischen Seismogrammen bedeutet s = Sprengzeitmarken, o = Ankunftszeit der Oberflächenwellen, r = Ankunftszeit der reflektierten Wellen, p = Ankunftszeit der refraktierten Wellen.

Sprengpunkt an der Oberfläche aufgenommen werden und enthalten dann nur noch die langperiodischen Anteile der Welle (Abb. 2). Es werden daher zu ihrer Aufnahme Seismographen verwendet, die auf längere Eigenperioden von 3 bis 5 Hertz abgestimmt sind. Als Ablesegenauigkeit genügt 1/100 s. Refraktionswellen können aber nur empfangen werden, wenn mit großen Sprengstoffladungen geschossen wird.

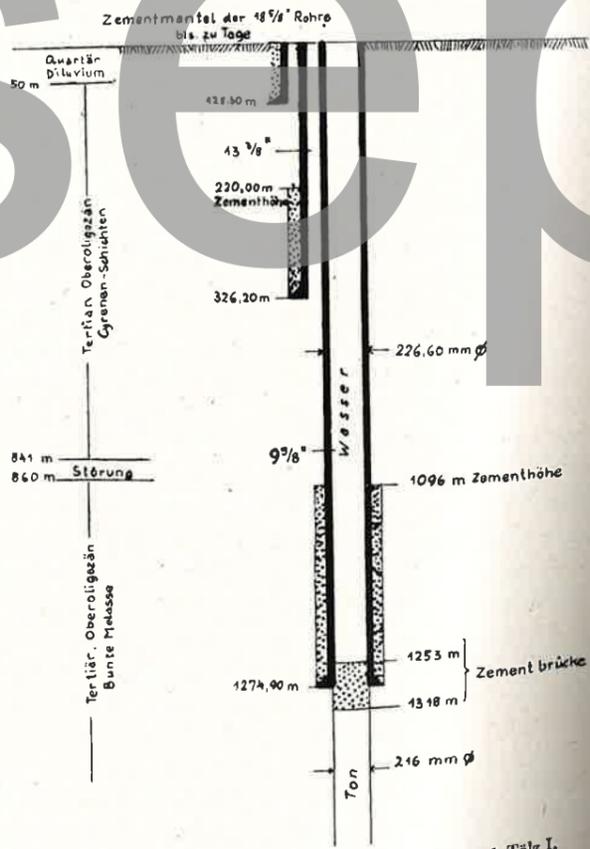


Abb. 3. Das verrohrte und mit Ton verfüllte Bohrloch Tölz I.

Das Bohrloch Tölz I wurde zwischenzeitlich bis auf 1318 m Tiefe mit Ton verfüllt, dem bis 1253 m eine Zementbrücke aufgesetzt wurde. Von 1274,90 m ab bis zum Bohrlochmund war das Bohrloch verrohrt, wobei die Rohre einzementiert waren (Abb. 3). Im Hinblick auf die beabsichtigte Sprengung wurde ein Ziehen der Rohre und ein Verfüllen des Bohrloches unterlassen. Es wurde nach Einfüllen von klarem Wasser vorläufig verschlossen.

Alle befragten Sachverständigen (Geologen, Geophysiker und Sprengstoffachleute) waren sich darüber einig, daß das einwandfreie Funktionieren der Sprengung vor allem ein sprengtechnisches Problem sei, dessen Gelingen abhängig war von dem sicheren Hinabbringen des Torpedos, dem Funktionieren der elektrischen Zündung und dem einwandfreien Durchdetonieren der langen Sprengstoffladesäule, die bei 2000 kg Sprengstoff mit rd. 80 m Länge berechnet wurde. Dabei waren ein Außendruck auf die Ladung von über 60 atü und eine Bohrlochtemperatur von etwa 40° C zu berücksichtigen.

In bezug auf die sichere und genaue Aufnahme der Sprengung durch die aufgestellten seismischen Apparate waren inzwischen durch die bereits erwähnte Registrierung zahlreicher Oberflächen-Großsprengungen in Steinbrüchen genügende Erfahrungen und Erkenntnisse gewonnen worden, so daß aller Voraussicht nach bei dieser Tiefsprengung einwandfreie Meßergebnisse zu erwarten waren.

Ursprünglich war beabsichtigt, als Gegenkontrolle zur Tiefsprengung eine Oberflächensprengung in einem ausgetrockneten Weiher in der Nähe des Bohrloches mit 1000 kg Sprengstoff durchzuführen. Im Hinblick auf die 700 bis 800 m vom Bohrloch entfernten Ortschaften Schnaitt und Kirchbichl wurde aber wegen des zu erwartenden starken Luftdruckes und der zweifellos vorhandenen kräftigen Oberflächenwellen von den Sprengstoffsachverständigen davon abgeraten. Diese Gegenkontroll-Oberflächenladung wurde dann schließlich mit etwa 50 kg Sprengstoff festgelegt.

Es war bekannt, daß alle handelsüblichen nicht-militärischen Sprengstoffe einen Außendruck von 60 atü nicht lange aushalten können und „totgepreßt“ werden. Ein geeigneter Sprengstoff mußte aber nicht nur unter diesem Druck beständig bleiben, sondern noch eine einwandfreie Durchzündung der langen Ladesäule in voller Detonationsgeschwindigkeit gewährleisten, damit die Seismographen eine unverzerrte Aufnahme erhielten. Eine Zeitspanne

von 0,02 s wurde von den Geophysikern als ausreichend angesehen. Schließlich mußte der Sprengstoff auch noch weitgehend handhabungssicher sein. Die weitere Forderung war ein elektrischer Zünder, der sowohl hohe Drücke als auch höhere Temperaturen auf eine gewisse Zeit aushalten würde.

Die von den Sprengstoffsachverständigen der Dynamit-Aktien-Gesellschaft vorm. Alfred Nobel & Co., Troisdorf, eingeholten Gutachten enthielten den Vorschlag, ein Gemisch von Trinitrotoluol und Hexogen im Verhältnis 60 zu 40 in gegossenen Sprengkörpern zu verwenden. Diese Sprengstoffmischung war nicht nur ausreichend handhabungssicher, wasser- und druckunempfindlich, sondern sie gewährleistete auch eine einwandfreie Durchzündung der langen Ladesäule in voller Detonationsgeschwindigkeit, sofern die Sprengkörper in dem Torpedorohr dicht aneinanderlagen und keinen größeren Abstand als 30 cm aufweisen würden. Die sprengtechnischen Daten bei dieser Sprengstoffmischung sind folgende:

Dichte der gegossenen Sprengkörper	1,7
Durchmesser der Patronen	mm 145
Länge der Patronen	mm 485
Gewicht der Patronen	kg 12,5
Detonationsgeschwindigkeit rund	m/s 7000
Explosionstemperatur	°C 3500
Brisanzwert nach Kast	118000
Bleibblockausbauchung	cm ³ 420

Es wurde hiernach für 2000 kg Sprengstoff eine Länge der Ladesäule im Torpedo von 79,7 m ermittelt. Die Detonationswelle brauchte etwa 0,011 s, um die gesamte Ladesäule zu durchleiten. Diese kurze Zeit lag demnach unter der Forderung der Geophysiker von 0,02 s, die für die Auswertung der gewonnenen seismischen Diagramme erforderlich war.

Bei einer errechneten Gasentwicklung von 1400 cbm während der Explosion, bezogen auf 0° C und 760 mm Quecksilbersäule, die bei der hohen Explosionstemperatur noch eine vielfache Ausdehnung erfährt, wurden Bedenken geäußert, ob beim Entweichen der Gase nicht eine mehr oder weniger große Trichterwirkung am Bohrlochmund und damit eine große Streuwirkung auf die Umgebung entstehen würde. Diese Wahrscheinlichkeit wurde indessen im Hinblick auf die erwähnte Sprengtiefe von den Sprengstoffsachverständigen verneint, desgleichen, daß die einbetonierten Rohre oder Felsstücke herausgeschleudert werden könnten,

da sie ja in dem engen Bohrloch vom Explosionsherd weg nicht geradlinig herausfliegen können, sondern viele Male an den Bohrlochwandungen anprallen und wieder zurückgeschleudert werden. Eine Beschädigung von Gebäuden in den nächstgelegenen Ortschaften durch den auftretenden Detonationsstoß war wenig wahrscheinlich, weil die wasserarmen tertiären Geröll- und Schotter-schichten die Bodenerschütterungen an der Oberfläche stark abdämpfen und nach den Erfahrungen der Geophysiker keine bedenkliche Größe erreichen würden. Lediglich mit der Möglichkeit der Entzündung der Sprenggase beim Austritt aus dem Bohrloch an die Außenluft mußte wegen des hohen Gehaltes von Kohlenoxyd und Wasserstoff — etwa 50% — und wegen des wahrscheinlich vorhandenen hohen Gasdruckes gerechnet werden, doch war andererseits anzunehmen, daß durch das zu verdrängende Wasser im Bohrloch und dessen Zurückfallen eine starke Abkühlung der Gase erfolgen würde. Die Gefahr eines Waldbrandes war in Betracht zu ziehen, aber von Windrichtung, Witterung und Jahreszeit abhängig, desgleichen das Festsetzen von Kohlenoxydnestern im umgrenzenden hügeligen Waldgelände.

Als Torpedokörper wurden etwa sechszöllige Rohre mit Muffen vorgesehen.

Für die Zündung des Sprengstoffes war ein Zündkopf aus Trihexogen vorgeschlagen worden, der an den Zünderausparungen zwecks kräftiger Zünd-einleitung ein mit 5% Wachs phlegmatisiertes Hexogen erhalten sollte.

Als Zünder brachte die Zündhütchenfabrik Troisdorf elektrische Momentzündler, versehen mit Kupfersprengkapseln Nr. 8 (Sprengbrückenzündler A) in Vorschlag, die als Spezialzündler für große Wassertiefen auf einen Wasserdruck von 300 atü und eine Temperatur von 95° C konstruiert und geprüft werden sollten. Sie wurden vor dem Einsatz bei dieser Tiefsprengung in der Praxis verschiedentlich erprobt, zuletzt bei einer Sprengung mit 20 kg Sprengstoff in 3000 m Tiefe, einem durch die Schwerspülung vorhandenen Druck von 800 atü und einer Bohrlochtemperatur von 120° C, wobei eine einwandfreie Zündung erfolgte.

Durch die Einholung verschiedener Gutachten von berufener Seite sollte im Hinblick auf eine abzuschließende Versicherung geprüft werden, ob durch diese Sprengung von 2000 kg hochbrisantem Sprengstoff in der erwähnten Tiefe von 600 bis

680 m irgendwelche Schäden an Gebäuden in den Ortschaften der näheren und weiteren Umgebung verursacht würden, ferner ob schädliche Auswirkungen auf die hydrogeologischen Verhältnisse der Umgebung, wie Schädigung der Trinkwasserversorgung durch Brunnen, der Trinkwasser- und Mineralquellen von Bad Tölz, Bad Heilbrunn und Bad Wiessee bestehen. Aus den vorliegenden Gutachten, die von Professor Dr. Reich, Vorstand des Institutes für angewandte Geophysik der Universität München, Professor Dr. P. Schmidt-Thomé vom Mineralogisch-Geologischen Institut der Technischen Hochschule München, Professor Dr. S. W. Souci vom Balneologischen Institut bei der Universität München sowie von der DAG Troisdorf erstattet wurden, sei auszugsweise folgendes wiedergegeben:

Die Messung der Bodenbewegungen bei großen Steinbruchsprengungen in Saal bei Kelheim mit 1850 kg Sprengstoff und 220 m Entfernung vom Sprengort und in Mergelstetten bei Heidenheim (Wttbg.) mit 700 kg Sprengstoff in 500 m Entfernung hat ergeben, daß die ermittelte Schadenzahl weit unter derjenigen von auftretenden geringen Schäden, wie Risse im Verputz lag und nur etwa den zehnten Teil der unteren Schädengrenze erreichte. Im Gegensatz zu den Oberflächensprengungen werden die schichtgebundenen Oberflächenwellen nicht angeregt, bei denen erfahrungsgemäß die maximalen Amplituden der Bodenbewegungen auftreten. Bei den eingangs schon erwähnten Großsprengungen in der Nachkriegszeit auf Helgoland und in Haslach sind trotz der gewaltigen Detonationen Gebäudeschäden in der näheren und weiteren Umgebung nicht aufgetreten. Dies traf auch für die großen Sprengstoffmengen zu, die nach dem Kriege in den Munitionsdepots unter Tage in den Kalischächten von Hänigsen, Godenau bei Alfeld und Volpriehausen bei Göttingen detoniert sind, ohne daß Schäden in der Umgebung der Schächte durch Bodenbewegungen auftraten. Nur die aus dem Schacht entweichende Luftdruckwelle habe Gebäudeschäden verursacht. Nach allen diesen Messungen und Feststellungen seien bei der Sprengung Kirchbichl (Bohrung Tölz I) nicht die geringsten Schäden zu erwarten, die nur bei oberflächennahen Sprengungen durch den Luftdruck eintreten.

Die für die Trinkwasserversorgung herangezogenen Schichtgrundwässer in der weiteren Umgebung des Bohrloches konnten als unempfindlich

gegen äußere Einwirkungen angesehen werden. Ebenso wurden die Mineralquellen der Umgebung, also die Jodquellen von Bad Heilbrunn, die Sauerbergquellen von Bad Tölz und die Jodbohrung Boxleiten sowie die Jodwässer von Bad Wiessee als durch die Sprengung wenig gefährdet, bzw. als weitgehend unempfindlich dagegen bezeichnet. Als Beweis wurde angeführt, daß die großen Kammer-sprengungen im Hartsteinwerk Werdenfels bei Eschenlohe — etwa 22 km westlich von Bad Heilbrunn — mit Lademengen bis zu 15 t Sprengstoff bisher keinerlei nachteilige Wirkung auf die Quellen ausgeübt haben. Das gleiche gilt für die vorhandenen Wasserversorgungsanlagen.

Bei der während des Krieges erfolgten Explosion eines Trockenhauses in einer Munitionsfabrik in der Nähe von Wolfratshausen bei München mit 4,5 t Hexogen, das aus Wänden mit Schwemmsteinen und einem Dach aus Stahlbeton bestand, ferner mit einem vorschriftsmäßigen Wall und außerhalb mit etwa 15 m hohen Fichten umgeben war, traten verhältnismäßig geringe Glasschäden und dann auch hauptsächlich in einem Umkreis von 250 m auf. Schwere Wurfstücke von 100 kg und darüber wurden im Umkreis von 300 m, das etwa 2000 kg schwere Dach 60 m vom Explosionsherd gefunden, während kleinere Wurfstücke bis zu 10 kg Gewicht bis 700 m weit geschleudert wurden. Bei Explosionen von Sprengstoffmagazinen unter Tage im Kriege auf der Gewerkschaft Sachtleben und der Grube „Fröhliche Morgensonne“ detonierten je 5 bis 6 t Sprengstoff; Schäden über Tage sind aber nicht bekannt geworden, da sich die Detonationswelle in den Grubenbauen verschlug. Auf Grund dieser Erfahrungen wurde bei der Tiefsprengung Tölz I die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Schäden verneint, wobei auch auf die Tafel der Sicherheitsgrenzen von Sprengstoffmagazinen in der Preußischen Sprengstofflagerverordnung hingewiesen wurde.

Nachdem schließlich auch noch mit dem Bergamt München als der zuständigen Aufsichtsbehörde alle zu treffenden Sicherheitsmaßnahmen im Einvernehmen mit dem Landrat von Bad Tölz und mit der Bezirksinspektion der Landpolizei festgelegt waren, wurde von der Fraunhofer Gesellschaft der Termin für die Sprengung auf den 4. Dezember 1954 festgesetzt.

Vom Bergamt München wurde während des Ladens ein engeres Sperrgebiet mit einem Radius von 300 m um das Bohrloch und ein weiteres Sperr-

gebiet mit einem Radius von etwa 800 m um das Bohrloch von dem Zeitpunkt ab, an dem der Zündkopf auf die Torpedosäule aufgeschraubt wurde, vorgeschrieben. Außerdem sollten Grubenwehren mit Kohlenoxyd-Meßgeräten von den in der Nähe gelegenen Kohlengruben Marienstein und Hausham bereitstehen, die das Gelände nach der Sprengung nach Kohlenoxydgasen absuchen sollten. Die Sperrgebiete wurden im Gelände festgelegt und den topographischen, siedlungsmäßigen und verkehrstechnischen Gegebenheiten angepaßt. Für den Verkehr waren vor allem die Straße von Bad Tölz nach Dietramszell sowie die Zufahrts- und Verbindungswege zu sperren.

Zur Teilnahme an der seismischen Messung der Sprengung hatten sich angemeldet: das Institut für angewandte Geophysik der Universität München mit 7 Refraktionsstationen, das Amt für Bodenforschung, Hannover, mit 8 Refraktionsstationen, die Seismos, Hannover, mit 4 Refraktionsstationen, Professor Hiller, Stuttgart, mit 2 Refraktionsstationen, Professor Dr. Menzel, Hamburg, mit 3 Refraktionsstationen, die Prakla, Hannover, mit 3 Reflexionstrupps, die Seismos, Hannover, mit 2 Reflexionstrupps und das Institut für angewandte

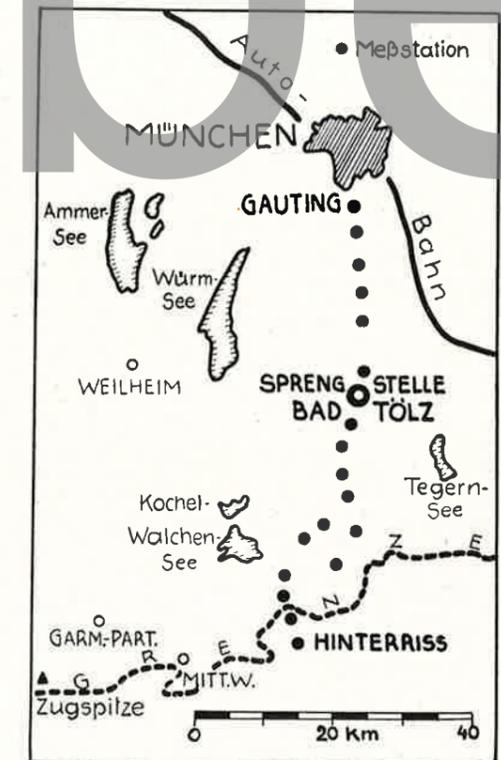


Abb. 4. Lage der Refraktionsstationen des Nordsüdkurses.

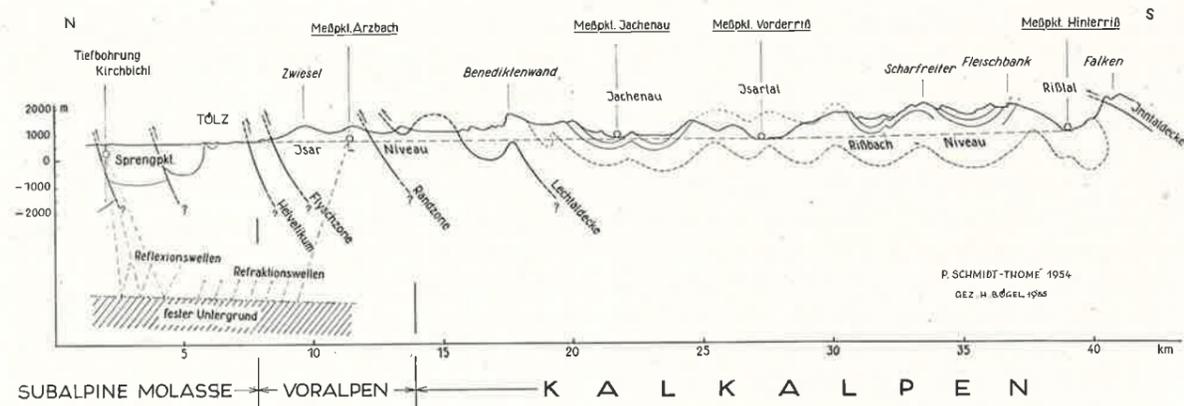


Abb. 5. Die südlich der Tiefbohrung Tölz I aufgestellten Meßpunkte.

Geophysik der Universität München mit 2 Reflexionstrupps. Die Refraktionsstationen sollten in Entfernungen bis 40 km in drei annähernd geraden Profillinien aufgestellt werden, die eine im Nordprofil mit 6 Stationen von Kirchbichl nach München, die zweite im Westprofil mit 11 Stationen von Kirchbichl zum Staffelsee und die dritte im Südprofil mit 11 Stationen von Kirchbichl nach Hinterriß (Abb. 4 u. 5), während die Reflexionsstationen 2 km im Raum um das Bohrloch so stehen sollten, daß sie die Ausbreitung der seismischen Energie nach Süden, Norden und Westen messen konnten.

Für die Auswertung der Diagramme wurde eine „Arbeitsgemeinschaft Sprengung Tölz I der Fraunhofer Gesellschaft“ gegründet, der Professor Dr. Bartels und Dr. Müller vom Geophysikalischen Institut der Universität Göttingen, Dr. Friedrich Breyer von der Preußag, Hannover, Direktor Dr. Closs und Dr. v. zur Mühlen vom Amt für Bodenforschung Hannover und Professor Dr. Reich und Dr. Förtsch vom Institut für angewandte Geophysik der Universität München angehörten.

Für die praktische Ausführung der Arbeiten wurde folgender Betriebsplan aufgestellt:

1. Einfahren mit einer Schablone von 190 mm Durchmesser in das Bohrloch, um festzustellen, bis zu welcher Teufe es befahrbar ist. Dabei sollte gleichzeitig die maximale Temperatur festgestellt werden.
2. Auffüllen des Bohrloches mit Beton bis zu einer Teufe von - 680 m.
3. Auffüllen des Bohrloches mit klarem Wasser.
4. Fertigmachen der Zündung, Laden der Rohre und Einbringen des Torpedos, der auf der Zementbrücke aufgesetzt wird.

5. Anbringen der Oberflächenladung.

6. Zünden der Tiefsprengung und im Abstand von 20 Minuten der Oberflächen Sprengung.

Die Untersuchung des bis auf 1253 m verfüllten Bohrloches, die weitere Verfüllung bis auf 680 m Teufe mit einem schnellabbindenden Zement und das Einbringen des Torpedos auf die Teufe von 680 m übernahm die Firma Aufschläger, Tiefbohr-, Brunnenbau- u. Wasserversorgungs K.G., München-Simbach, während die DAG Troisdorf, der Sprengtechnische Dienst der DAG/Wasag-Chemie A.G., Essen, und die Sprengstoff-Handels-Gesellschaft, München, durch Sachverständige die Ladearbeiten des Torpedos und die Zündung überwachten.

Das Einlassen eines Senkels zur Feststellung, ob das Bohrloch frei befahrbar war und das Messen der Temperatur des im Bohrloch stehenden Wassers erfolgten am 9. November 1954 durch die Firma Aufschläger. Die Ausrüstung bestand aus einem hölzernen Vierbock, einer Winde mit Motorantrieb und einem Senkel an 1300 m langem Klaviersaitendraht. In einem wasserdichten Hohlraum befand sich ein Maximumthermometer. Das Einlassen des mit Bügeln versehenen Senkels erfolgte einwandfrei bis zu einer Teufe von 765 m, wobei die Quecksilbersäule des Thermometers die untere Marke von 37°C nicht erreicht hatte. Beim Einlassen des Senkels ohne Bügel, d. h. im Durchmesser von 75 mm, konnte eine Teufe von 1000 m gemessen werden, während die Marke der Quecksilbersäule des Thermometers 38,6°C anzeigte. Nach dem Herausholen wies der Senkel Schleifspuren auf.

Die für den Torpedokörper benötigten Rohre wurden von der Firma Mannesmann, Düsseldorf, geliefert. Sie bestanden aus $6\frac{5}{8}$ " Muffenrohren mit



Abb. 6. Etwa 9 m lange Mannesmann-Rohre mit Gewinde und Muffen als Ladetorpedo. Obenauf das 2 m lange Kopfstück des Torpedos.



Abb. 7. Sprengstoffatrappe stehend und ins Rohr eingeführt.

Linepipe-Gewinde nach Standard 5 L gebildet und einer Länge von 8,5 bis 9 m. Sie hatten folgende Abmessungen:

Außendurchmesser	. . . 168,28 mm ± 0,75 %
Wandstärke 7 mm — 12,5 %
Innendurchmesser	. . . 153,65 mm
Muffendurchmesser	. . . 188 mm ± 1 %

Als unteren Abschluß des Torpedos hatte die Firma Aufschläger eine Bodenplatte auf eine Muffe aufgeschweißt. Das oberste Rohr, das den Zündkopf aufzunehmen hatte, war 2 m lang. Auf dieses kam ein von der DAG Troisdorf angefertigtes Kopfstück mit Kausche zur Aufnahme des Förderseiles nach Art einer Hebekappe, die oben verschlossen war und im Dachstück zentral eine Öffnung zum Durchführen der Zünderleitungen hatte (Abb. 6).

Das Gewicht des beladenen Torpedos wurde mit 4420 kg errechnet. Durch die Wasserverdrängung im Bohrloch verminderte sich dieses Gewicht in 680 bis 600 m Tiefe auf etwa 3000 kg.

Das probeweise Laden des Torpedokörpers mit Attrappen (Abb. 7) und das Einfahren des Torpedos wurden am 29. November 1954 vorgenommen, und zwar an einem Drahtseil von $\frac{5}{8}$ " \varnothing , welches die Deutsche Vacuum Öl-A.G. zur Verfügung gestellt hatte. Das Seil hatte eine Tragkraft für 15 t, während der 12 m hohe Vierbock mit drei Turmrollen eine Tragkraft von 30 t hatte (Abb. 8).

Beim probeweisen Füllen des Torpedos mit Attrappen, welche die gleiche Größe und das gleiche Gewicht wie die Sprengladung hatten, zeigte sich, daß beim Aufprallen der Patronen im Torpedorohr die Möglichkeit eines Aufplatzens der Sprengkörper

bestand, weshalb beschlossen wurde, das Einführen der scharfen Sprengladekörper mittels einer Drahtschlinge durchzuführen. Das Zusammenbauen, Einlassen und Wiederziehen des noch unscharfen Torpedos machte keine Schwierigkeiten.

Die Zementbrücke wurde bis zur Teufe von 680 m in der Zeit vom 30. November bis 2. Dezember 1954 eingebracht. Das Laden des Torpedos mit Sprengstoff, die Anbringung der Zündung und das Einlassen in das Bohrloch erfolgte am 3. Dezember 1954.



Abb. 8. 12 m hoher Vierbock mit Turmrollen.

Außer den bereits beschriebenen Sprengkörpern aus Trihexogen hatte die DAG Troisdorf noch folgende Materialien geliefert:

1. Einen Zündkopf aus 4 gepreßten Initialladungen von phlegmatisiertem Hexogen mit 5% Wachs, das in Trihexogen eingebettet und mit Ausbohrungen zur Aufnahme der Zünder versehen war.
2. 4 Spezial-Momentzünder, wie früher beschrieben, für hohen Wasserdruck, von denen drei Zünder bereits von der Fabrik verbunden waren, während der vierte Zünder als Reservezünder diente. Die Zünderdrähte bestanden aus 3 m langen gummiisolierten Kupferleitungen.
3. Verlängerungsdrähte bis außerhalb des Bohrloches in 4 Rollen von je 700 m Kupferleitungen 0,6 mm \varnothing , auf 1,5 mm \varnothing mit Mipolam umspritzt, wobei zwei Rollen von weißer Farbe und zwei Rollen von blauer Farbe waren. Diese Verlängerungsdrähte waren mit einer besonders widerstandsfähigen Mipolamasse umgeben. Sie wurden in eigenen Rollen aufgespult, damit sie einen etwaigen Drall des Einlaßseiles mitmachen konnten, ohne abzureißen.
4. 1000 m Spezial-Schießkabel 4 DDK (verseiltes Kupferkabel mit starker Mipolamisolierung).

Für den Oberflächenschuß lagen außerdem 25 kg Triamin I und 25 kg Trihexogen sowie 1000 m verseiltes Schießkabel 4 DDE bereit.

Der Bayerische Rundfunk erklärte sich bereit, außerhalb der üblichen Sendezeiten ein eigenes Zeitzeichen zu geben. Eine amerikanische Nachrichtenabteilung, die Signal-School in Ansbach, stellte sich bereitwilligst zur Verfügung, um dieses Zeitzeichen sodann durch einen aufgestellten 2-kW-Sender an die verschiedenen seismischen Stationen weiterzugeben.

Da bekannt war, daß elektrische Brückenglühzünder im Hochfrequenzfeld von Sendern zur Entzündung gebracht werden können, wenn die Zünderleitungen ungefähr parallel zur Polarisationsrichtung des Senders liegen, wenn die Länge der Zünderleitungen mit der halben Wellenlänge des Senders oder ihrem ungradzahligen Vielfachen übereinstimmt, wenn der Zünder im Bündelungsmaximum von Richtantennen bzw. bei Rundstrahlern in der Mittelebene durch den Sendepol liegt und schließlich, wenn eine kritische Entfernung zwischen Sendeantenne und Zünderleitung unterschritten wird, wurde die Zündstelle des Tiefenschusses und der Oberflächenladung aus Sicherheits-

gründen in eine andere Richtung verlegt, die etwa 1 km vom Sender entfernt war. Die Zündstelle war mit der Befehlsstelle des Senders telefonisch verbunden.

Vor dem Laden der Torpedorohre mit Sprengstoff wurden Rohr um Rohr in das Bohrloch eingelassen und befestigt und in die Rohre dann die Sprengkörper eingesetzt (Abb. 9). Um ein Aufprallen von Sprengkörper auf Sprengkörper und damit etwaigen Bruch zu vermeiden, wurde jeweils die erste Patrone einer Rohrtour mit einer etwa 3 mm breiten und tiefen Rille versehen, durch die ein 2 mm starker Eisendraht gezogen wurde. Vor dem Aufsetzen eines neuen Sprengkörpers wurde dann die Ladung so weit eingelassen, bis sie auf dem unterhalb liegenden Sprengkörper dicht aufsaß. Die Muffen wurden mit Rohrzanzen von Hand verschraubt und fest angezogen, nachdem die Gewinde vorher dicht mit Gewindegitt bestrichen worden waren.

Der zwischenzeitig mit den vier elektrischen Zündern scharf gemachte Zündkopf (Abb. 10), der in eine Rolle aus starker Pappe im Durchmesser von 145 mm und 250 mm Höhe eingesetzt und 10 cm hoch mit Paraffin vergossen war, wurde an der obersten Sprengstoffpatrone durch Isolierband befestigt. Die Verbindungsstellen der Zünderdrähte mit den Verlängerungsdrähten waren mit Schnellverbindern und Isoliermasse versehen und in Paraffin eingebettet. Nach dem Einsetzen der Zündladung in das 2 m lange Zündladerohr mit Haltekopf (Abb. 11) wurde etwa noch 1 m hoch Paraffin eingegossen, in welches Zünderdrähte in Schleifen eingelegt waren, um bei etwaiger Zugbeanspruchung genügend Spiel zu haben. Dieser Paraffinverguß sollte erreichen, daß jeglicher Druck



Abb. 9. Aufsetzen der Trihexogenkörper auf die mit Drahtschlinge befestigte untere Patrone.

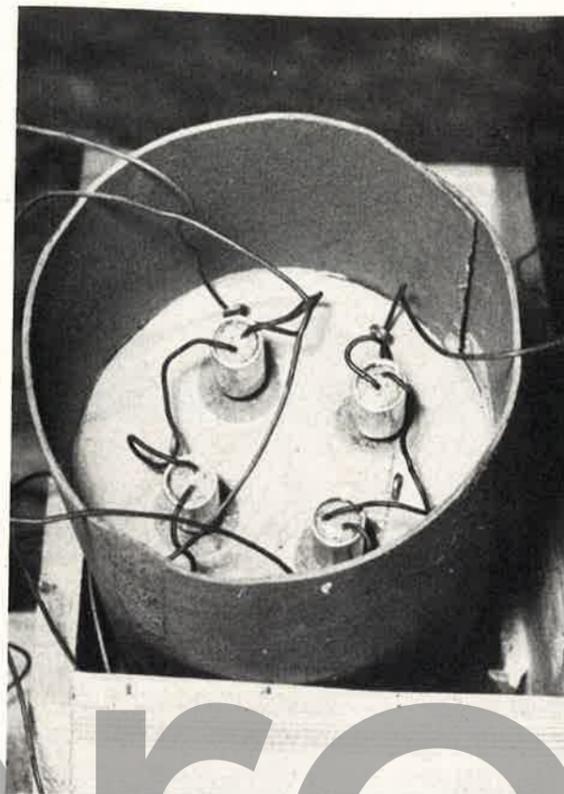


Abb. 10. Zündkopf mit elektrischen Zündern.

von den Zündern möglichst abgehalten wird. Das Erkalten des Paraffins im Zündladerohr dauerte volle fünf Stunden.

Beim Einlassen des Torpedorohres in das Bohrloch wurden die vier Verlängerungsleitungen der Zünder am Förderseil entlang geführt und lose alle 2 bis 10 m, später alle 25 m, am Drahtseil mit Isolierband befestigt. Nach Beendigung der Arbeiten befand sich der Torpedo planmäßig in 600 bis 680 m Teufe.



Abb. 11. Haltekopf des Torpedos mit durchgezogenen Zünderdrähten.

Am 4. Dezember 1954 erfolgte die Verbindung der Zünderdrähte mit dem ausgelegten Schießkabel in Hintereinanderschaltung. In einem Abstand von einigen Metern vom Bohrloch wurde noch ein Abrißzünder in den Zündkreis eingeschaltet, der die Aufgabe hatte, durch eine Unterbrechung den Augenblick der Zündung an einen Sender zu vermitteln und eine Markierung auf dem Filmstreifen eines Meßapparates herzustellen, die dann auf die Diagramme aller anderen Meßtrupps übertragen werden konnte.

Die genaue Festlegung der Zündzeit ist bei seismischen Aufnahmen von größter Wichtigkeit, da es darauf ankommt, das Eintreffen der Impulse auf $\frac{1}{1000}$ s genau zu erfassen. In der Regel genügen bei dieser Zeitspanne die Rundfunkzeitzeichen, die von den Seismographenstationen empfangen und auf dem Seismogramm aufgezeichnet werden. Dadurch, daß die bayerische Grenzpolizei elf Kurzwellenempfänger zur Verfügung stellte, konnten die meisten Stationen das Zeitzeichen auf Kurzwellen empfangen. Die wenigen Stationen, die auf Mittelwellenempfang eingestellt waren, erhielten das Zeitzeichen der Mittelwelle vom Münchener Sender in der Zeit von 11.15 Uhr bis 11.17 Uhr.

Das Zeitzeichen der Kurzwelle übertrug die erwähnte amerikanische Signal-School um die gleiche Zeit auf 69,6 m (4310 KHz). Beide Zeitzeichen wurden bei der Firma Rohde & Schwarz, München, empfangen und dort mit der Quarzuhr verglichen (geeicht). Die dazu benötigten Spezialgeräte — Dreischleifenoszillograph — stellte die Firma Siemens & Halske zur Verfügung.

Inzwischen war in einem 50 m vom Bohrloch entfernten ausgetrockneten Weiher die 1,5 m tief



Abb. 12. Einlassen der Oberflächenladung in die Ausschachtung.

eingebettete Oberflächenladung von 50 kg Sprengstoff — 25 kg Triamin 1 und 25 kg Trihexogen — durch zwei Unterwasserzünder, die mit einer eigenen Schießleitung verbunden waren, zündbereit gemacht worden (Abb. 12). Die Ausschachtung stand voll Wasser. Der Widerstand dieser Schießanlage wurde mit 150 Ohm gemessen, was mit dem errechneten Widerstand übereinstimmte.

Der Widerstand der Schießleitung des Tiefenschusses wurde mit insgesamt 210 Ohm errechnet. Bei der Messung mit einem Monavi-L-Ohmmeter wurde indessen ein Widerstand von 240 Ohm gemessen. Bei mehreren Wiederholungen schlug die Nadel nur langsam aus. Bei der trotzdem durchgeführten Zündung mit einer Zündmaschine ZEB A 80 K, die einen Widerstand von 460 Ohm überwindet und vorher ordnungsgemäß auf ihre Leistung geprüft war, sprach nur der Abrißzünder an, eine Zündung des Torpedos erfolgte jedoch nicht. Dadurch, daß der im Stromkreis in Hintereinanderschaltung liegende Abrißzünder detonierte, war zunächst noch unklar, welcher Fehler in der Leitung vorlag, da bei stärkerem Nebenschluß durch blanke Stellen und bei Kurzschluß oder bei einer Unterbrechung der Leitungen der angezeigte Widerstand am Ohmmeter geringer sein mußte bzw. überhaupt kein Ausschlag mehr hätte erfolgen dürfen. Eine etwaige Induktion über das Drahtseil und die Rohre konnte nicht so groß sein, daß ein Totalversagen der vier Zünder eingetreten wäre.

Die direkte Prüfung der beiden weißen und blauen Zünderleitungen ergab in beiden Fällen einen übereinstimmenden Widerstand von je 80 Ohm. Es wurden daraufhin die drei hintereinandergeschalteten Zünder mit einem neuen Abrißzünder und dem Schießkabel verbunden, die einen rechnermäßigen Gesamtwiderstand von 122 Ohm haben sollten, während diesmal nur 110 Ohm gemessen wurden. Bei der erneuten Zündung detonierte wiederum nur der Abrißzünder, nicht aber der Torpedo.

Der nächste Zündversuch wurde mit der Reserveleitung, also dem vierten Zünder, vorgenommen, wobei der Gesamtwiderstand 112 Ohm betragen sollte. Die tatsächliche Messung ergab 110 Ohm Widerstand. Um mehrere Stromstöße dem Zünder zukommen zu lassen, wurde bei diesem Versuch der Abrißzünder fortgelassen. Trotzdem erfolgte wiederum keine Zündung.

Der sodann angeschlossene Oberflächenschuß kam einwandfrei zur Entzündung (Abb. 13).



Abb. 13. Schwadenwolke des Oberflächenschusses.

Da die Ursache des Versagens der Zündung beim Tiefenschuß nicht bekannt war, wurde von der Fraunhofer Gesellschaft im Einvernehmen mit Professor Reich und den übrigen Sachverständigen beschlossen, den Torpedo wieder zu ziehen und die Sprengung am 11. Dezember 1954 zu wiederholen.

Die DAG Troisdorf erbot sich, trotz der Kürze der Zeit für den zweiten Versuch neue Unterwasserzünder anzufertigen, ein neues, stärkeres Kabel zu beschaffen und eine stärkere Zündquelle bereitzustellen. Die vier Zünder entsprachen denjenigen der versagten Zündung und waren, wie diese, auf einen Wasserdruck von 300 atü und einer Temperatur von 95° C geprüft. Auch der Zündkopf aus Trihexogen mit phlegmatisiertem Hexogen hatte die gleiche Zusammensetzung mit vier Ausbohrungen zur Aufnahme der Zünder. Die Zünder waren diesmal jedoch zu je zwei und zwei verbunden. Als Verlängerungsdrähte dienten zwei Gummikupferkabel mit einem Litzendurchmesser von 0,75 mm und einem äußeren Durchmesser von 8,5 mm.

Das Ziehen des Torpedos durch die Firma Aufschläger ging ohne Schwierigkeiten vonstatten. Dabei wurde festgestellt, daß sich die Zünderdrähte leicht um das Einlaßseil gewickelt hatten. Etwa 120 m über dem Torpedo, also in 480 m Bohrlochtiefe, wurde die erste blank geschleuerte Stelle an der einen Mipolamleitung festgestellt. 18 m über dem Torpedo in einer Bohrlochtiefe von 582 m waren die Leitungen unterhalb des Isolierbandes zu einem wirren Knäuel zusammengewunden, wobei neben blanken Stellen auch eine totale Bruchstelle in einer Leitung gefunden wurde. Die spätere Untersuchung dieser Zünderleitungen im Laboratorium der DAG Troisdorf ergab, daß die sehr zähe Mipolam-Schutzschicht an zahlreichen Stellen beschädigt war.

Teilweise war die Isolierung abgesprungen, teilweise so aufgeraut, daß die Leitung nicht mehr durchschlagfest war. Außerdem wurde an der Reserveleitung gleichfalls eine Unterbrechung festgestellt. Da das im Bohrloch stehende Wasser nach der Untersuchung durch den mit Schnellbindemittel versetzten Zement stark alkalisch und daher leitend geworden war, kamen Kurzschlüsse und Erdschlüsse zustande, die bei den Messungen annähernde Widerstände vortäuschten und die Abrißzünder zum Ansprechen brachten. Das Wasser hatte einen pH-Wert von 8,3, während die elektrische Leitfähigkeit mit 0,004 Ohm/cm festgestellt wurde.

Beim Erscheinen des Torpedokopfes am Bohrlochmund war durch entweichende Luft ein starkes Brodeln im Wasser feststellbar. Nach dem Abschrauben des Haltekopfes und des Zünladerohres war die Lage der in Paraffin eingegossenen Zündladung und des darunter befindlichen Sprengkörpers unverändert. Dagegen zeigte sich, daß sich die Sprengstoffladung im darunter befindlichen Tor-

pedrohr um etwa 20 cm gesetzt hatte (Abb. 14). Dieses Setzen hatte seine Ursache darin, daß durch das auf der Ladung lastende Gewicht ein leichtes Abbröckeln an den Kanten der Sprengstoffkörper erfolgt war, das je Sprengkörper nur 1,5 mm im Mittel betrug. Da eine Übertragung aber noch auf eine Entfernung bis zu 30 cm als sicher bezeichnet wurde, wäre trotzdem bei erfolgreicher Zündung eine einwandfreie Detonation der gesamten Ladesäule erfolgt.

Um die mit Paraffin übergossene Zündladung aus dem Rohr zu gewinnen, wurde dieses in ein heißes Wasserbad von 60° C gelegt. Nach kurzer Zeit glitt der Zündkopf mit der daran befestigten obersten Trihexogen-Patrone heraus, desgleichen der darüber liegende Paraffinpfropfen (Abb. 15).

Der Sprengkörper und die Zündladung waren unversehrt, ebenso der etwa 1 m lange aufgequollene Paraffinpfropfen. Zwischen der Zündladung und dem aufgequollenen Paraffin war allerdings eine Ausbuchtung, die offenbar von unter Druck stehendem Wasser und Luft verursacht wurde (Abb. 16).

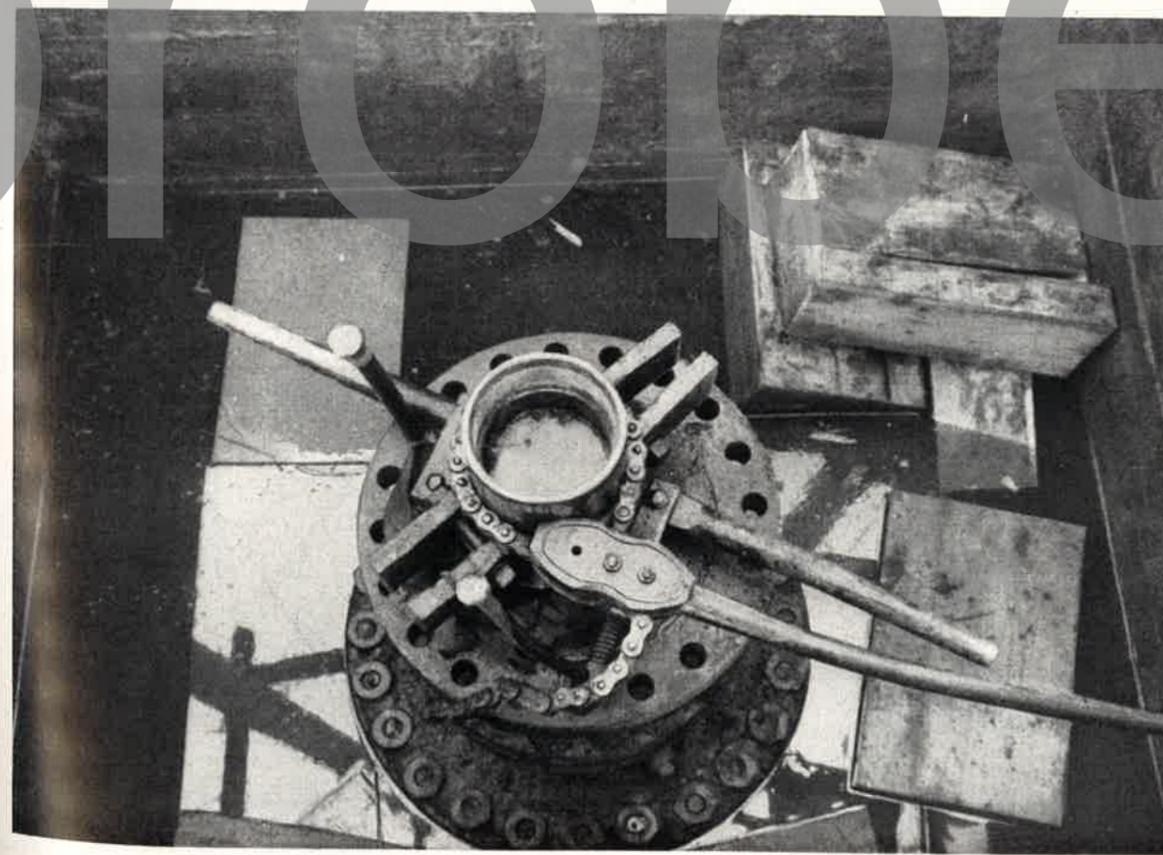


Abb. 14. Ladesäule im 80 m langen Torpedo, etwa 20 cm gesetzt.



Abb. 15. Die aus dem Zündladerohr entfernte Zündladung nebst Paraffinpstopfen.

Die innerhalb des Paraffinpstopfens in Schleifen eingelegten Zünderdrähte waren unverändert und eine Zugbeanspruchung nicht feststellbar.

Beim erneuten Fertigmachen der Zündung wurden die zu je zwei und zwei hintereinander geschalteten Spezial-Unterwasserzünder in den früher beschriebenen Zündkopf eingesetzt und der darüber befindliche Hohlraum der Papphülse wiederum mit Paraffin vergossen. Die diesmal für die Verbindung der Zünderdrähte mit dem Gummikupferkabel verwendete Steckmuffe (Abb. 17) wurde freihängend



Abb. 16. Zündladerohr, Zündkopf, Trihexogenpatrone und Paraffinpstopfen demonstriert.

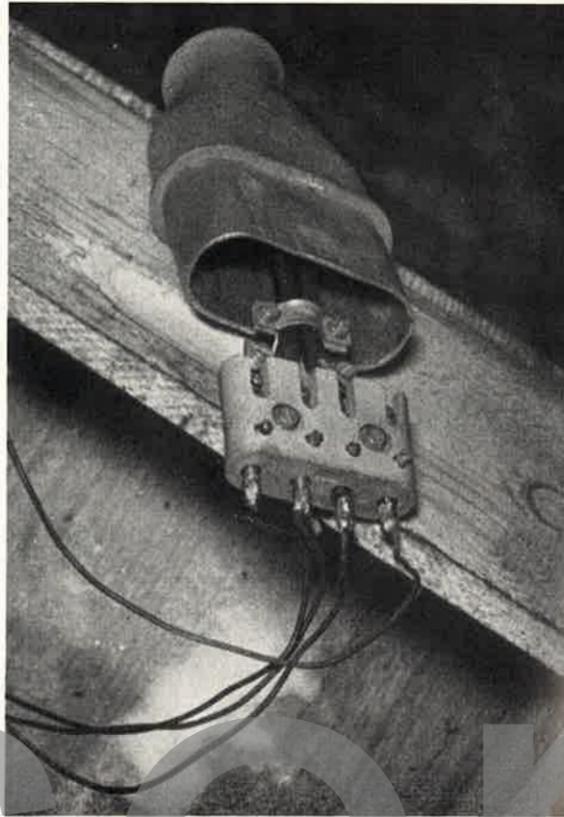


Abb. 17. Steckmuffe zur Verbindung der Zünderdrähte mit dem Kabel.

ebenfalls mit Paraffin vergossen, nachdem vorher die Zünderdrähte angelötet und Lötstellen sowie Muffe mehrfach mit Latexmilch überzogen worden waren. Das Erkalten des Paraffins dauerte wiederum mehrere Stunden.

In den Haltekopf des Torpedos war diesmal seitlich ein größeres Loch gebohrt worden, in das eine Kunststoffbüchse eingesetzt war, um ein Scheuern der Kabel zu vermeiden (Abb. 18).

Nach dem Verbinden der Zündladung mit einem Trihexogenkörper wurde dieser wieder in das inzwischen angeschraubte 2 m lange Rohrstück eingelassen (Abb. 19), wobei festgestellt wurde, daß die Ladung dicht auf dem darunter liegenden Sprengkörper aufsaß. Der Hohlraum im Zündladerohr wurde sodann, um einen Druckausgleich zu schaffen, mit Wasser voll ausgegossen.

Das Einlassen des Torpedos ging diesmal sehr ruhig und gleichmäßig vor sich. Das Befestigen der Schießkabel am Drahtseil erfolgte zunächst mit Isolierband alle 1 m, dann alle 5 m und nach 50 m alle 10 m. Die Zündleitungen wurden bis auf eine

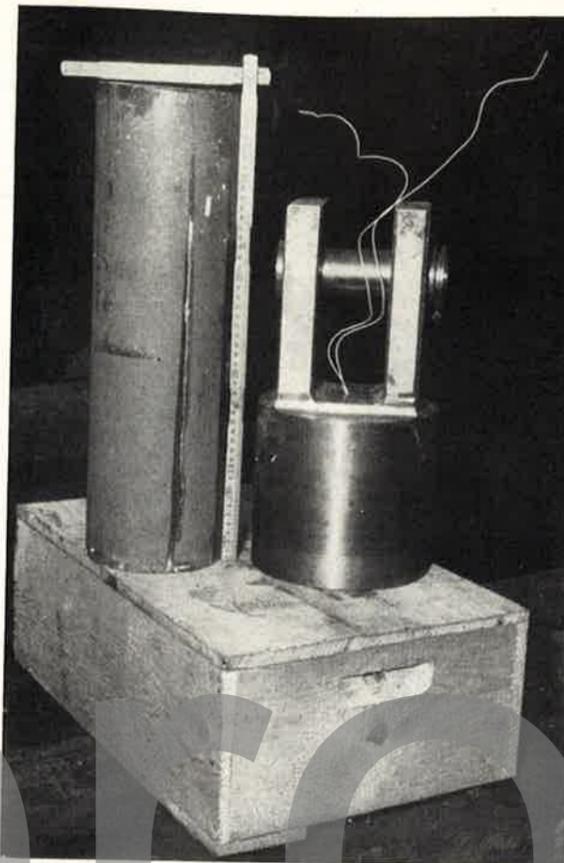


Abb. 18. Haltekopf des Torpedos mit Kunststoffbüchse. Links ein Trihexogenkörper.



Abb. 19. Einlassen der Zündladung mit dem letzten Trihexogenkörper.

Tiefe von 200 m alle 50 m geprüft und in Ordnung befunden. Bei der Bohrlochtiefe von 400 m zeigte sich aber, daß das eine Kabel der Zünderleitungen keinen Stromdurchgang mehr hatte, während das andere statt 34 Ohm nur mehr 17 Ohm Widerstand anzeigte. Es war also in dem einen Kabel wieder eine Unterbrechung eingetreten, während die zweite Zündleitung offenbar einen Kurzschluß aufwies. Nach dem dadurch notwendig gewordenen Wiederaufziehen des Torpedos wurde auf -290 m Bohrlochtiefe festgestellt, daß das eine Kabel auf etwa 10 cm blank geschuert und dasselbe Kabel auf -280 m eine Unterbrechung hatte. Das andere Kabel zeigte sich nach wie vor stromlos. Nach der Scheuer- und Schnittstelle zu schließen, mußten scharfkantige Stellen im Bohrloch vorhanden sein.

Die Prüfung des durchgeschnittenen Kabels ergab nach unten hin noch einen Widerstand von 17 Ohm, der rechnermäßig stimmte. Da das Auflegen eines neuen Kabels nach den gemachten Erfahrungen mit Sicherheit wieder eine Beschädigung ergeben hätte, wurde in Übereinstimmung mit Professor Dr. Reich und der Fraunhofer Gesellschaft beschlossen, den Torpedo auf der stehenden Tiefe zwischen 280 und 360 m abzutun.

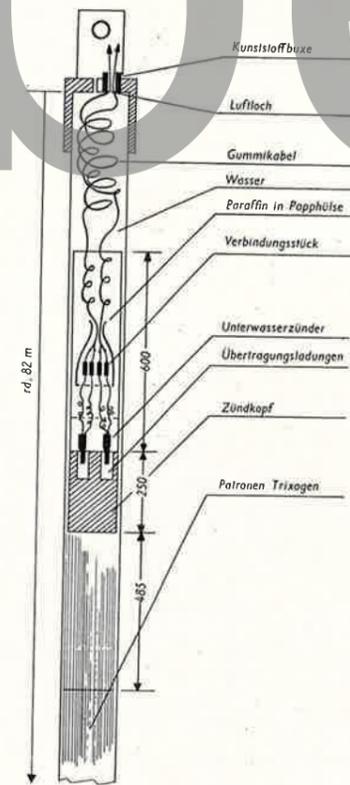


Abb. 20. Zündladerohr im Schnitt.

Aus Sicherheitsgründen wurde diesmal wegen der höher liegenden Ladung vom Bergamt München während des Abschusses ein Sperrbereich von 1000 m um das Bohrloch festgesetzt. Für die Zündung, die von der gleichen Stelle aus vorgenommen wurde, hatte die DAG eine Anodenbatterie von 1200 Volt und 24 Amp. zur Verfügung gestellt. In den Zündkreis war wiederum ein elektrischer Momentzünder als Abrißzünder, diesmal jedoch parallel geschaltet, eingeschlossen. Aus Zeitmangel konnte nur die Winde vom Bohrloch entfernt werden, nicht aber der Vierbock.

Die Zündung erfolgte am 11. Dezember 1954 nach telefonischer Durchsage um 11.25 Uhr. Durch einen starken Stoß wurde erkennbar, daß der Torpedo zur Detonation gekommen war. Nach etwa 5 s stieg eine Wassersäule etwa 100 m senkrecht in die Höhe, der eine dichte Schwadenwolke nachfolgte. Die Wassersäule und die Schwaden wurden in östlicher Windrichtung etwa 30 bis 50 m weit abgetrieben (Abb. 21).

Die mit CO-Geräten ausgestatteten Suchtrupps der Grubenwehren von den Kohlenbergwerken

Marienstein und Hausham konnten schon nach einer halben Stunde melden, daß das Gelände frei von Kohlenoxydgasen war, so daß drei Viertel Stunden nach dem Abschuß die Absperrung der Sprengstelle freigegeben werden konnte. Der stehengebliebene Vierbock war nur etwas weggerückt, aber nicht zerstört (Abb. 22 u. 23). Im Bohrloch hatte sich ein auseinandergefaltetes Rohr der $9\frac{5}{8}$ " Rohrtour bis an den Bohrlochmund hochgeschoben. Der Bohrplatz war, hauptsächlich in östlicher Richtung, mit Schlamm bedeckt, sonst aber keinerlei Beschädigung im umgrenzenden Waldgelände festzustellen. Auch in den etwa 800 m entfernten Ortschaften Schnaitt und Kirchbichl waren Schäden an Häusern und dgl. nicht eingetreten. Aus dem Bohrloch traten noch etwa eine Stunde lang nach dem Abschuß Schwaden aus, deren CO-Gehalt mit 0,5 bis 0,3% gemessen wurde.

Professor Dr. Reich konnte schon nach verhältnismäßig kurzer Zeit feststellen, daß die sämtlichen aufgestellten Seismographen im Umkreis von 40 km die Sprengung ausgezeichnet, hauptsächlich in südlicher Richtung, registriert hatten.



Abb. 21. Wasser- und Schwadensäule nach der Sprengung.



Abb. 22. Vierbock nach der Sprengung.



Abb. 23. Das durch die Sprengung zu einem wirren Knäuel zusammengestauchte Drahtseil.

Das Ergebnis dieser Sprengung kann dahingehend zusammengefaßt werden, daß die Ursache für das Versagen der Zündung bei dem ersten Versuch und die erneute Beschädigung der Zündleitungen auch beim zweiten Versuch in dem Vorhandensein eines scharfen Gegenstandes im Bohrloch zu suchen sei. Da das im Bohrloch stehende Wasser leitend war, kamen Kurzschlüsse und Erdschlüsse zustande, durch die man falsche Widerstandsmessungen erhielt. Es ist bei derartigen tiefen Bohrlochsprengungen daher künftig notwendig, stark bewehrte Schießkabel zu verwenden und beim Einlassen eine laufende Prüfung der Leitungswiderstände vorzunehmen. Die elektrischen Zünder und die Sprengstoffmischung Trihexogen in Gußkörpern entsprachen voll den Anforderungen.

Die Sprengung hat weiter Aufschluß darüber gebracht, welche Lademenge für genügend weit-

reichende Impulse nötig ist, ohne daß in Sprengortnähe Oberflächenschäden entstehen, und daß mit solchen Sprengladungen bessere und weiterreichende Meßergebnisse erzielt werden können. Es ist außerdem offenbar nicht notwendig, den Sprengherd in sehr tiefe Zonen zu verlegen, da mit dieser Sprengung bereits festgestellt werden konnte, daß die Grenzschicht zwischen den oben liegenden Sedimentgesteinen und den unten liegenden kristallinen, nach den Alpen zu absinkenden Grundgesteinen bei etwa 5000 m Tiefe liegt. Außerdem weisen hohe, dem Molassegestein nicht eigentümliche Fortpflanzungsgeschwindigkeiten in der nördlich der Alpen befindlichen Molassewanne auf bisher unbekannt, weitere Forschung verlangende Zustände hin.

Über die Ergebnisse dieser interessanten Sprengung berichtet der folgende Aufsatz von Professor Dr. Reich.