PRAKLA-SEISMOS DIGEST

VOLUME 5

Case Histories, Surveys, and Interpretations

Extracts from PRAKLA-SEISMOS Reports 1971–1981

PRAKLA-SEISMOS DIGEST

In 1971 the PRAKLA-SEISMOS-Rundschau, which had grown from the earlier SEISMOS-ECHO and PRAKLA-Rundschau, was converted to the PRAKLA-SEISMOS-Report. The aim of the Rundschau had been primarily to inform "the clients and employees about the company's activities and about new developments in methods and instruments". The Report is the natural extension of the Rundschau, though in a slightly different format and with the most important articles – that means essentially the technical – in German and English.

Already the first issue was welcomed not only by clients and employees, the original target group, but also by universities around the world. This trend has continued, so that by 1976 no less than 170 universities were using the Report as "background reading". As such the Report is obviously interesting and up-to-date. But it is much more: the technical articles (between 25 % and 40 % of the total – depending on how one defines a "technical" article) are excellent teaching material, and most of them are today as interesting as at the time of publication. It is therefore not surprising that requests for back numbers have reduced the stock of some issues to the vanishing point. Today blanket requests for complete sets of the PRAKLA-SEISMOS-Report can no longer be satisfied.

A complete re-issue was out of the question, not so much for reasons of cost, but because most of the non-technical material is dated. Clearly, those interested in the older numbers are primarily technical staff and students, and they are interested, nearly exclusively, in the technical articles. **The PRAKLA-SEISMOS-Digest is the answer to this problem**. As a potential user with some experience – I have used the report regularly in introductory courses – I have agreed to select and annotate the material. In doing so, I hope to have solved another problem that has vexed me time and again: how to find the article or the illustration I need. At the time this fifth volume is prepared, there are 37 issues with over 1000 numbered pages, and even if one attempts to keep the issues in sequence and has proper references in the lecture notes, it is difficult to keep track of cross-references. For example, there are now thirteen articles on different aspects of migration in eleven individual issues. To look for material on migration means to take nearly every second issue out of the sequence! To obviate this "random search" I have collated all articles on Migration; all on Instruments and Hardware; all articles on Data Acquisition and Field Techniques; all on Data Processing and Display; and all on Case Histories, Surveys, and Interpretation (that is this volume) into separate sections. Five years ago, when the first volume was compiled, it looked as if that division was broad enough to cover all material. Today it seems that the series will have at least two more volumes, since PRAKLA-SEISMOS's fleet and PRAKLA-SEISMOS's activity related to coal by now fill volumes of their own.

The Digest does not pretend to be textbook. Rather, its merits lie in its clear and large scale illustrations and in the temperament of the articles. Many of the real and synthetic seismic sections are large enough for direct use in classroom exercises and examinations, and the line drawings are often larger – and thus easier to use, copy, or photograph – than those in textbooks and journals. The articles, on the other hand, have always been very "patient" with the reader who is not a specialist, without ever being inaccurate. The reason is that the authors write for their colleagues at work who would simply ask for clarification, if the article was not clear enough. But this "patience" makes the articles also very suitable for undergraduates and for non-geophysicists who want to know more about the scientific and technical problems of the exploration geophysicist.

I hope that the PRAKLA-SEISMOS-Digest will serve the intended purpose, though it is unlikely that everybody will be fully satisfied with it. Every selection is a compromise, and a line has to be drawn somewhere: I have excluded the reports on scientific meetings on the grounds that material presented there is, strictly speaking, already published; and I have also, albeit somewhat reluctantly, excluded the often very colourful articles on the life in a geophysical prospecting company. These articles are important background material, but as they tend to emphasize the spectacular and the extraordinary they would make for a somewhat lopsided picture in vocational counseling.

The Digest is produced in "offset" and on a less lavish grade of paper than the Report. For most purposes this should be sufficient. If for some particular purpose (e. g. preparation of transparencies or reprinting) the quality of illustrations is found wanting, PRAKLA-SEISMOS will be able to help with graphic material of higher quality.

Klaus Helbig
Professor of Exploration Geophysics
Rijksuniversiteit Utrecht.

CASE HISTORIES, SURVEYS, AND INTERPRETATIONS

Case histories are to the explorationist what biographies are to the humanist: the most direct way to hand down experience from generation to generation. While a technical article primarily deals with facts, the case history describes how it all happened and who was involed. To give this volume the title Case Histories does not imply that there are no descriptive articles in the other volumes. Nevertheless, the historical and the personal elements play certainly a bigger role in this volume than in the earlier ones.

Four years ago, when I drafted the division into five volumes, I assumed that the material would have reached volume-proportions by 1980 or 1981. Actually, the space limitation posed by the methods of binding and production make it necessary to exclude all material in the 1981 issues of the PRAKLA-SEISMOS Report and all material from the issues 1/1971 and 3/1974. The first one is in its entirety devoted to 'Five Decades of German Geophysical Surveys', while the second was reprinted in volume 2 of the Digest and is thus easily accessible. Even these restrictions left me with more material than could easily be handled. Somewhat arbitrarily, I decided to take out two large blocks: everything that has to do with survey ships and everything that has to do with coal. These will be presented in future volumes.

Interpretation is another term that smacks more of individual judgement than of natural science. The 'Chief Interpreter' of the seismic crew of the old days was the man who could 'feel' a reflection where an un-initiated physicist would only see a mess of wiggly traces. Today, after a quarter century of progress in data acquisition, processing, and display, this question does not leave much room for personal judgement (at least we would like to believe this), and 'interpretation' covers subjects of a much more qualitative nature, like the sedimentation conditions at the time the rocks were laid down. Then as now, interpretation required a combination of technical know-how with imagination controlled by a thorough understanding of geological processes that is rarely present in a single person. Some aspects of interpretation require teamwork, but some of the difficult geometrical problems can just as well be taken over by a computer. This trend is exemplified by the article on COMAI (**com**puter **a**ided **i**nterpretation).

It is only fitting that this volume begins and ends with historical reviews: '50 years of exploration seismics' – taken from report 4/1971 – to 'SEISMOS – 60 years of applied geophysics' taken from report 1/1981.

50 Jahre angewandte Seismik

Vortrag von Th. Krey auf der EAEG-Tagung 1971 in Hannover

Viele in diesem Vortrag mitgeteilten Tatsachen stammen von George Elliot Sweet. Meiner eigenen Erfahrung wurden mündliche Mitteilungen älterer Kollegen hinzugefügt.

Wenn wir nach dem Geburtstag einer angewandten Wissenschaft oder Technik fragen, ergeben sich gewisse Probleme. Sollten wir uns auf den Zeitpunkt beziehen, an dem die ersten Ideen auftauchten, die dann zu einer neuen Technik führten? Sollten wir die ersten tastenden Versuche gelten lassen, auch wenn sie noch keine wirtschaftlichen Konsequenzen hatten? Oder welche anderen Gesichtspunkte sollten als maßgebend betrachtet werden?

Für die angewandte Seismik gibt es — so glaube ich — ein Datum, auf das ihr Geburtstag passenderweise gelegt werden könnte. Ich denke hierbei an die Gründung der SEISMOS GMBH am 4. April 1921 vor etwa 50 Jahren, weil zu dieser Zeit die angewandte Seismik zu einer wirtschaftlich genutzten Methode wurde.

Nun, meine Damen und Herren, wir alle wissen, daß einer Geburt gewisse Dinge vorangehen und dies gilt auch für die angewandte Seismik. Ich will jedoch nicht bei Ideen und Versuchen verweilen, die keine praktischen Folgen hatten, obwohl sie sicherlich sehr interessant gewesen sein mögen wie z. B. die Tätigkeit der Geological Engineering Company mit Hasemann, Karcher, Eckardt und McCollum i. J. 1920. Sie konnten tatsächlich seismische Reflexionen bereits im Juni 1921 beobachten, wie z. B. Robinson in seinem Aufsatz „History of Geophysical Exploration" im Time Break, Spring 1971, berichtete.

Sehr oft ergibt sich die fundamentale Idee für eine neue Technik durch das Zusammenwirken von zwei oder mehreren Zweigen der Wissenschaft. Die Bergbauwissenschaft und die Geophysik waren Mintrop vertraut. Ihre Kombination durch ihn führte zur neuen Technik der Explorationsseismik, die inzwischen so wichtig geworden ist.

Von der Bergbauvermessung kannte Mintrop die Probleme, die eine Lösung erforderten und durch seine Studien bei Wiechert sowie Beobachtungen während des ersten Weltkrieges gelang ihm diese Lösung. Diese Ideen wurden in den Jahren 1917 und 1919 patentiert und durch seine wohlbekannte Vitalität in praktische Tätigkeit umgesetzt.

Wie die meisten von Ihnen sicherlich wissen, wandte Mintrop die refraktionsseismische Methode in vielen Teilen der Welt während der Zwanzigerjahre erfolgreich an. Der Hauptbereich seiner Tätigkeit lag jedoch weder in Deutschland noch im übrigen Europa, sondern in den USA und in Mexiko. Er suchte nach Salzdomen, fand sie und verschiedene Ölfelder, die an diese gebunden waren. Aber auch andere Arten geologischer Strukturen wurden durch ihn erfolgreich untersucht.

Der Truppleiter des ersten seismischen Trupps, der beim Aufsuchen eines Ölfeldes an einem Salzdom — dem Orchard Dome — Erfolg hatte, sitzt unter uns. Es ist der jetzt neunundsiebzigjährige Dr. Otto Geußenhainer.

Etwa ab 1925 begannen amerikanische Gesellschaften mit refraktionsseismischen Messungen. Besonders erwähnen möchte ich hier die Geophysical Research Corporation und die Namen Everett, De Golyer und I. C. Karcher sowie Marland in Ponca City und seine Geophysical Division, die so berühmte Namen wie z. B. Burton, McCollum und Frank Rieber einschloß.

EAEG-Meeting June 1971

50 years of exploration seismics

A paper by Th. Krey, given at the EAEG-Meeting 1971 in Hannover.

Much of the facts presented in this paper are extracted from George Elliot Sweet. Furthermore oral communications by older colleagues have been added to my own experience.

If we ask for the birthday of an applied science or technique certain problems arise. Should we stick to the time when the first ideas leading to the new technique appeared? Should we stick to the first tentative tests, even if they did not have any economic consequences? Or which other points of view are decisive?

I feel that for exploration seismics there is a date which can most suitably be regarded as being its birthday. I think of the foundation of SEISMOS GMBH on the 4th of April 1921 which is about 50 years ago, because at that time exploration seismics started to become an economical industry.

Now, ladies and gentlemen, we all know that each birth has some preceding events, and this is also valid for applied seismics. But I shall not stay on ideas and tests which had no practical consequences, though they may be very interesting, as e. g. the activity of the Geological Engineering Company with Hasemann, Karcher. Eckardt and McCollum, in 1920. In fact they succeeded in observing seismic reflections as early as June 1921 as reported by W. B. Robinson in has paper "History of Geophysical Exploration" in The Time Break, Spring 1971.

Very often, the fundamental idea for a new technique is created by relating two or more branches of sciences to each other. With exploration seismics, mining surveying, an essential branch of mining sciences and geophysics were combined in the brains of Mintrop, and this combination led to the origin of the new technique which has become so important in the meantime. From mining surveying Mintrop knew the problems which required a solution and from geophysics in his studies at Wiechert's observatory, and by observations

Die Reflexionsseismik und die Entwicklung der Registriertechnik

Heute fragen wir uns: Warum vernachlässigte Mintrop die Reflexionsseismik? Ich glaube, der Grund dafür ist darin zu suchen, daß die Zeit für die Anwendung dieser Explorationsmethode, die heute so wichtig ist, technisch noch nicht reif war. Mintrop und seine Schüler machten nur einige schüchterne Versuche, die, wie wir heute wissen, in einem ungünstigen Gebiet stattfanden. Aber auch die ersten Versuche in den USA führten zu keinerlei praktischen Konsequenzen. Dies ist, beim heutigen Stand unseres Wissens, gut zu verstehen. Das Erkennen von Refraktionseinsätzen — wobei man sich ausschließlich auf Ersteinsätze beschränkte — war nicht sehr schwierig, wenn die Störenergie nicht groß und die Eigenfrequenz der Geophone niedrig genug war. Mintrops Geophone hatten eine Eigenfrequenz von etwa 10 Herz. Für die Refraktionsseismik war deshalb das Nutz-zu-Störverhältnis kein besonderes Problem.

In der Reflexionsseismik sind die gewünschten Nutzsignale überdeckt von vielen anderen Bodenschwingungen, die vornehmlich durch den Schuß ausgelöst werden. Deshalb erkannte man sehr bald, daß es notwendig sein würde, die Reflexionssignale durch besondere Mittel zu betonen, um sie von den unerwünschten Bodenschwingungen unterscheiden zu können. Dies gelang schließlich durch die Erfindung der Zentralregistrierung von mehreren Spuren, wobei man sich die Fortschritte zunutze machte, die auf den Gebieten der Elektrotechnik und vor allem der Elektronik erzielt worden waren. In diesem Zusammenhang erwähne ich besonders die Entwicklung der elektronischen Röhren und Verstärker während der Zwanzigerjahre. Die Hinzuziehung eines neuen Zweiges der Wissenschaft, der Elektronik, in die angewandte Seismik führte so zu einem entscheidenden Fortschritt.

Heute würden wir sagen, daß die Zentralregistrierung ermöglichte, mit dem menschlichen Auge eine Korrelation von Spur zu Spur durchzuführen. Hierbei sollte ich wiederum die Geophysical Research Corporation erwähnen. Sie bauten — soviel ich weiß — den ersten elektronischen Verstärker etwa um 1925 und eine seismische Apparatur mit vier Spuren um 1928. Nur ganz nebenbei möchte ich darauf hinweisen, daß Instrumente aus dieser frühen Zeit, ebenso wie eine Mintrop-Station und ein elektronischer Verstärker von Petty, im Museum für angewandte Geophysik in Houston zu sehen sind. Obwohl die erste kommerzielle und erfolgreiche reflexionsseismische Messung bereits im Jahre 1927 durch Duncan ausgeführt worden war, fand die Reflexionsseismik erst allgemeine Verbreitung nach 1930, wobei sie die meisten Refraktionstrupps ersetzte. Es war das Jahr, in dem die GSI gegründet wurde und die Society of Exploration Geophysicists entstand mit De Golyer und Mintrop als den ersten Ehrenmitgliedern.

In Deutschland setzte die Entwicklung reflexionsseismischer Instrumente etwas später ein, vorangetrieben durch Friedrich Trappe, Waldemar Zettel (er sitzt unter uns) und Hubert Lückerath, der den ersten Reflexionstrupp in Deutschland leitete. Die erste kommerzielle Reflexionsuntersuchung wurde, im September 1934 beginnend, für eine Kohlengrube durchgeführt.

Die Zentralregistrierung war wirklich ein wichtiger Fortschritt. Sie war die Vorbedingung für viele weitere

which he made during World War I, he found a solution. His ideas were patented in 1917 and in 1919 and were transferred into practical activity by Mintrop's well-known vitality.

As most of you certainly know Mintrop successfully applied the refraction seismic method in many parts of the world during the twenties. But his main activity was not in Germany or in Europe but chiefly in the United States of America and in Mexico. He prospected for saltdomes and found them and various oil fields connected to these domes resulted. But other kinds of geological structures were also succesfully examined by him.

The party chief of the first seismic party successful in finding an oil bearing saltdome, the Orchard Dome, is sitting among us. It is Dr. Otto Geussenhainer, 79 years old now.

Starting from about 1925 American societies too became active in refraction seismics. I specially should like to mention the Geophysical Research Corporation and the names of Everett, De Golyer and I. C. Karcher, furthermore Marland in Ponca City and his geophysical division including such famous names as e.g. Burton, McCollum, and Frank Rieber.

Reflection Seismics and the Development of Recording Technique

Today we may ask: Why did Mintrop practically neglect reflection seismics? I feel the reason is that the time was not yet technically prepared for the use of this exploration tool which is so important today. There were only some tentative tests by Mintrop and his pupils and as we know from today's experience these tests were not in a favourable area. But neither did the first interesting tests in the United States of America lead to great practical consequences. This can well be understood from our present knowledge. Recognizing refraction events, which were nearly exclusively first arrivals according to the usage of that time, was not very difficult if the ambient noise was not too large, and if the natural frequency of the geophone was low enough. With Mintrop's geophone this frequency was approximately 10 cps. The signal-to-shot-noise-ratio was therefore no important problem for refraction seismics.

With reflection seismics desired signals are mixed with a lot of other ground movements originating from the shot. Therefore it was very soon realized that it would be necessary to enhance the reflection signals by special means in order to discriminate between them and the undesired ground movements. This resulted in the invention of recording centrally a multiplicity of traces by applying the advances which electrotechnics and especially electronics had gone through. In this context I specially mention the development of valves and electronic amplifiers during the twenties. The incorporation of a new branch of science, that is electronics, into exploration seismics, thus led to a decisive advance.

According to today's thinking the success which was reached by central recording was the possibility of making visual correlation from trace to trace. In this context I should like to mention again the Geophysical Research Corporation. They built the first electronic amplifiers by 1925 to my knowledge and a four trace

Entwicklungsschritte, die noch erwähnt werden sollen. Übrigens wurde erst vor kurzem die Zentralregistrierung mit der Anwendung von Gruppenanordnungen in die normale wissenschaftliche Seismik eingeführt.

Während der Dreißigerjahre erkannte man, daß in vielen Gebieten die Zentralregistrierung allein nicht genügte, um Reflexionen aus allen gewünschten Tiefen zu erhalten. Aber der Gebrauch elektronischer Verstärker ermöglichte es, alle Fortschritte in der Elektronik auch in die angewandte Seismik einzuführen. Hier muß an erster Stelle die Regelung erwähnt werden. Die notwendige Anzahl von Schüssen konnte besonders durch die automatische Regelung wesentlich vermindert werden. Durch die Erhöhung der Verstärkerzahl pro Registriereinheit und Fortschritte in der Bohrtechnik wurde es möglich, mit dem „kontinuierlichen Schießen" zu beginnen. Mittels elektrischer Filter konnte die Trennung von Reflexions- und Störwellen im Frequenzbereich durchgeführt werden. Sehr bald jedoch wurde auch der Versuch gemacht, diese verschiedenen Wellen durch den Gebrauch von Geophongruppen und Schußpunktgrupppen im Wellenzahlbereich zu trennen. Aber erst nachdem die Größe und der Preis der Geophone wesentlich reduziert werden konnten und nachdem das Bohren der Schußpunkte sehr viel schneller ging, ließ sich diese Methode wirtschaftlich durchführen. Ich erinnere mich, daß Anfang 1940 mit Erfolg fünf Geophone pro Spur verwendet wurden. Doch wir mußten diese Technik aus Mangel an Geophonen bald wieder einstellen.

Hier sehen wir wieder einmal, daß neue Erkenntnisse allein für den Fortschritt nicht entscheidend sind, sondern daß sehr oft technisch-wirtschaftliche Entwicklungen hinzukommen müssen. In diesem Falle wurde für die Reduktion der Geophongröße die Entwicklung neuen magnetischen Materials äußerst wichtig.

Ein weiterer Forschritt für die angewandte Seismik war die Einführung des reproduzierbaren Registrierens. Es wurde ermöglicht durch die Entwicklung des magnetischen Registrierens von Mitte bis Ende der Fünfzigerjahre, obwohl auch optische Methoden erfolgreich angewandt wurden. Hier waren wieder fundamentale Ideen sehr viel älter als ihre technische Entwicklung. In diesem Zusammenhang muß Frank Rieber erwähnt werden, dessen grundsätzliche Veröffentlichungen aus den Jahren 1936 bis 1937 stammen.

Dank der Reproduzierbarkeit der registrierten Daten konnten diese vielen Rechenprozessen unterworfen werden. Es ist hochinteressant zu wissen, daß die Vorschläge für diese Rechenprozesse in der Regel älter waren als die Technik der magnetischen Aufnahme und Wiedergabe; auf alle Fälle waren sie älter als die digitale Bearbeitung von seismischen Daten. Ich erwähne vor allem das Filtern im Zeitbereich und die Optimum-Filterung, die bereits in Geophysics Vol. XX, No. 2 im Jahre 1955 durch Simpson veröffentlicht worden war. Ich erwähne weiter die Dekonvolution, die bereits in einem Aufsatz in Geophysics Vol. XXII, No. 4, 1957, von Robinson beschrieben wurde; und schließlich die statischen und dynamischen Korrekturen sowie die Mehrfachüberdeckung, die bereits zu Anfang der Fünfzigerjahre durch Harry Mayne erfunden wurde.

All diese Prozesse dienten dazu, die Erkennbarkeit der gewünschten seismischen Signale zu verbessern, eine genauere zeitliche Bestimmung ihrer Einsätze zu ermöglichen und eine bessere Auflösung bei kurz auf-

recorder by 1928. By the way, equipment of that early time, including a Mintrop station and a Petty electronic amplifier are to be seen in the museum for applied geophysics in Houston.

Though the first successful commercial reflection seismic survey had already been carried out in 1927 by Duncan, reflection seismics became a widespread technique, replacing most of the refraction parties, only after 1930, the year when GSI was founded and when the Society of Exploration Geophysicists came into being with de Golyer and Mintrop as the first Honorary Members.

In Germany the development of reflection seismic equipment was somewhat younger. Here it is mainly due to Friedrich Trappe, Waldemar Zettel, who is sitting among us, and Hubert Lückerath, who was the first reflection party chief in Germany. The first commercial reflection party commenced in September 1934, the client being a coal mining company.

Central recording was indeed an important advance and corresponded to the requirements of the oil and mining industries. It was the precondition for many further steps of development which are still to be mentioned. By the way, central recording was introduced in normal scientific seismics only quite recently with the introduction of arrays.

During the thirties it was realized that central recording alone was not sufficient in many areas in order to get reflections from the desired depths. But the way taken to use electronic amplifiers made possible the incorporation of all advances in electronics into exploration seismics in a reasonable manner. Here in the first place gain control has to be mentioned. Especially by automatic gain control the necessary number of shots could be essentially reduced. By increasing the number of amplifiers per recording truck and by advances in shot hole drilling it became possible to start with continuous profiling. By electric filters the separation of reflection and noise waves could be carried out in the frequency domain. But very soon the attempt was also made to separate these different kinds of waves in the wave number domain too, i. e. by using multiple geophones and shots. But this intention only succeeded economically after the size and the price of geophones could be essentially reduced, and after shot hole drilling exhibited important advances.

I remember we successfully used 5 geophones per trace early in 1940. But we had to stop this technique due to a lack of geophones.

Here, too, we see that fundamental new knowledge alone is not decisive for progress, but very often technical-economic developments have to be added. In this case the development of new magnetic materials had been most important in reducing the size of geophones.

A further advance for exploration seismics was the introduction of reproducible recording, which was made practicable by the development of magnetic recording during the middle and end of the fifties, although optical methods also have been used successfully. Here too the fundamental ideas were much older than the technical development. In this context I mention the name of Frank Rieber, whose fundamental papers were from 1936 to 37.

Due to reproducible recording a lot of computing processes could be carried out with the data recorded. It is

einanderfolgenden Signalen zu gewährleisten; sie beruhen teilweise auf früheren mathematischen Veröffentlichungen oder Büchern. Hier muß besonders Norbert Wiener erwähnt werden. Was jedoch die Mehrfachüberdeckung und die Abschwächung der Multiplen durch diese Methode betrifft, scheint der Ursprung dieser Idee unabhängig von anderen Wissenschaften oder Techniken zu sein.

Soweit möglich, wurden die erwähnten Rechenprozesse um 1960 von Analogrechnern ausgeführt. Verschiedene Apparaturen wurden gebaut, um korrigierte, gefilterte und gestapelte Seismogramme zu liefern. Magnetische Delay-line-filter — von Jones i. J. 1955 beschrieben — wurden gebaut, um im Zeitbereich zu filtern. Durch das magnetische AM-Registrieren mit Miniköpfen konnten weitere seismische Daten aufaddiert werden usw.

Nach kommerzieller Verfügbarkeit von Laser-Lichtquellen wurde es möglich, sehr schnell Seismogrammprofile zu erhalten, die mit zweidimensionalen Filtern im Frequenz- und Wellenzahlbereich behandelt worden waren.

Der wichtigste Durchbruch in der exakten Routineausführung all dieser erwünschten Rechenprozesse war die Einführung der Digitalrechner in der Mitte der Sechzigerjahre. Dieser Schritt war möglich geworden durch Fortschritte in der Elektronik, besonders durch die Entwicklung der Transistoren und der integrierten Schaltungen. Darüber hinaus wurde die Erfindung gewisser peripherer Einheiten, z. B. des Konvolvers, wichtig für den praktischen Gebrauch von Rechnern in der angewandten Seismik.

Die natürliche Folge des Gebrauchs von Digitalrechnern war die Einführung der Digitalregistrierung im Feld, um die Präzision in Aufnahme und Verarbeitung der Daten in Einklang zu bringen. Bei der Lösung dieser und anderer Fragen schuf die seismische Instrumenten-Industrie die Möglichkeit, laufend immer genauere Informationen aus den seismischen Daten herauszuholen.

Die Entwicklung der Energiequellen, Schießtechnik

Bislang ist die Entwicklung des Registrierens und Bearbeitens der seismischen Daten sicherlich der interessanteste und wichtigste Teil der Geschichte der Explorationsseismik. Die Entwicklung der seismischen Energiequellen darf jedoch nicht vergessen werden.

Nach anfänglichen Versuchen mit Fallgewichten im Jahre 1910, entschloß sich Mintrop sehr bald zum Gebrauch von Sprengstoff als seismischer Energiequelle; lange Zeit hindurch wurde er an der Erdoberfläche gezündet. Die von dieser Methode herrührenden starken Oberflächenwellen konnten die Refraktionsseismik nicht beeinträchtigen. Der hohe Verbrauch an Sprengstoff und die unangenehmen Begleiterscheinungen, wie zerbrochene Fensterscheiben usw., erzwangen jedoch das Schießen unter der Erdoberfläche. Und so entstand das Bohren von Schußlöchern. Hier haben die Erfordernisse der angewandten Seismik der Industrie für Flachbohrungen einen starken Anreiz gegeben und dieser Anreiz hatte wiederum einen positiven Einfluß auf die Explorationsseismik.

Sehr bald — etwa um 1927 — war beobachtet worden, daß ein Schießen unter der oberflächennahen Schicht mit langsamer Geschwindigkeit, d. h. unter der Verwitterungszone oder unter dem Grundwasserspiegel, eine beträchtliche Abschwächung der Oberflächen-

interesting to learn that the proposals for these computing processes were on a rule older than the technique of magnetic recording and reproducing, in any case they were older than the digital processing of seismic data. I specially mention the time-domain-filtering, the optimal filtering, which had already been published in Geophysics Vol. XX, No. 2, by Simpson in 1955. I further mention deconvolution, which was already contained in a paper by Robinson in Geophysics Vol. XXII, No. 4, 1957; and furthermore static and dynamic corrections and in context with them the multiple coverage technique, which had already been invented by Harry Mayne in the early fifties.

All these processes were intended to improve the recognizibility of the desired seismic signals and to enable a more precise determination of the times of these events, as well as a better separation of such signals which have only a short time interval between each other. These processes are partly based on preceding mathematical papers or books. Here specially Norbert Wiener has to be mentioned. As to multiple coverage and the possibility of attenuating multiple reflections by this method, however, the origin of this idea seems to be independent of other sciences or techniques.

As far as possible the computing processes mentioned were carried out by analog computers by 1960. Various instruments were designed to deliver corrected, filtered and stacked records. Magnetic delay-line-filters as described by Jones 1955 were built in order to filter in the time domain. By magnetic AM recording with mini heads it became possible to add seismic data. Etc. etc. . .

By the commercial availability of Laser light sources it became possible to get very rapidly record sections which had been treated with two-dimensional filtering in the frequency and wave-number domain.

The most important breakthrough in the precise routine execution of all these desired computation processes was the introduction of digital computers in the mid sixties. This step had become possible by advances in electronics, especially by the development of transistors and integrated circuits. Moreover the invention of certain peripheral units, e. g. the convolver had been important for the practical use of computers in exploration seismics.

The natural consequence of the use of digital computers for processing was the introduction of digital recording in the field in order to match the precision of recording to the precision of the digital processing. By solving this and other tasks the industry of manufacturing seismic instruments created the possibility of extracting continually more and more precise information from the seismic data.

The Development of Energy Sources Shooting Technique

The development of recording and processing the seismic data is certainly the most interesting and most important part of the history of exploration seismics up to now. But the development of the source of seismic energy must not be forgotten. After initial tests with weight dropping in 1910, Mintrop very soon decided to use dynamite as a seismic source. For a long time shots were detonated at the surface. The strong surface waves originating from this method could not impare refraction seismics. But the high consumption

wellen bzw. der „Roller" zur Folge hatte. Neben der Zentralregistrierung muß das Bohren von Schußlöchern als der zweitwichtigste Schritt bei der erfolgreichen Einführung der Reflexionsseismik in der Praxis betrachtet werden. Zu einem späteren Datum führten das Spülen, das Schlagbohren und das Bohren mit Luftzirkulation zum multiplen Schießen, besonders zum „Pattern-Schießen", in Gegenden, wo es auf andere Weise schwierig war, brauchbare Reflexionen zu erhalten.

Während 10 bis 15 Jahren hat sich die seismische Industrie um die Entwicklung sprengstoffloser seismischer Energiequellen bemüht. Mit der vielleicht interessantesten sprengstofflosen Energiequelle arbeitet das „Vibroseis"*-system, welches in gewisser Analogie zur „Zirpmethode" des Radar steht. John Crawford, der Erfinder dieser berühmten Methode, befindet sich ebenfalls unter uns.

In der Seeseismik wurde der Bau von sprengstofflosen Energiequellen besonders intensiviert. Die Hauptanstrengung galt der Entwicklung von „bubble-freien" Energiequellen bzw. von Energiequellen, in denen die Nachteile der Bubbles eliminiert wurden. Und hier wurden Methoden geschaffen, die keinerlei Analogie zu anderen Wissenschaftszweigen aufweisen.

* Trade Mark and Service Mark of Continental Oil Company

Fortschritte in der Interpretation

Bis jetzt haben wir nur die seismischen Energiequellen betrachtet und die Registrierung von Bewegungen, die durch diese Quellen hervorgerufen werden und gewisse Techniken, um die gewünschten Nutzsignale zu verstärken und die Störsignale zu unterdrücken. Der menschliche Geist mußte nun die aufgezeichneten Daten in substantielle, physikalisch oder chemisch wohldefinierte Aussagen umsetzen. In dieser Hinsicht hat die menschliche Genialität in den letzten 50 Jahren viele hochentwickelte Methoden hervorgebracht, besonders was die genaue Lagebestimmung des Urprungs der beobachteten Signale betrifft.

In der Refraktionsseismik wurde die weitverbreitete Wellenfrontmethode bereits in sehr früher Zeit, d. h. noch vor 1930, angewandt. Aber auch in der Reflexionsseismik wurde in dieser Hinsicht sehr viel getan, wobei der Begriff „Migration" entstand.

Die Geschwindigkeit als eine Funktion der Raumkoordinaten wurde bereits — angenähert oder präzise — berücksichtigt vor mehr als 20 bis 30 Jahren durch die Konstruktion von gekrümmten Strahlen und Wellenfronten.

Um die Konstruktion der Reflexionshorizonte zu vereinfachen, wurde mittels zwei Arten von Korrekturen eine gewisse Vor-Bearbeitung der Daten eingeführt. Durch statische Korrekturen wurde der Einfluß der Verwitterungsschicht und der Topographie berücksichtigt, und durch dynamische Korrekturen wurden der Schußpunkt und Beobachtungspunkt in eine Position in der Mitte zwischen ihnen gebracht, so daß abgehender und reflektierter Strahl zusammenfielen. Diese zwei Korrekturen konnten bereits in den Seismogrammen vor mehr als 15 Jahren in den früher erwähnten Analog-Rechenzentren ausgeführt werden. Zu dieser Zeit wurden darüber hinaus, z. B. bei PRAKLA-SEISMOS, Digitalrechenprogramme entwickelt, um auf die korrekte Position der Reflexionshorizonte aus den Reflexionszeiten schließen zu können.

of explosives and disagreeable effects, as broken window panes etc. which often led to strong protest from the population, enforced shooting at a certain depth. This was the creation of shot hole drilling. Here applied seismics with its requirements has given a strong stimulus to the industry of shallow hole drilling and this stimulus then again had positive influence on exploration seismics.

Very soon, i. e. as early as 1927, it was recognized that shooting below the near-surface low velocity layer, i. e. shooting below the weathered layer or below the ground water level, resulted in a most effective weakening of surface waves or ground roll. Besides central recording, shot hole drilling must be considered as being the second most important step in successfully introducing reflection seismics into practical use. At a later date jetting, percussion drilling or drilling with air circulation led to multiple shooting, specially to pattern shooting, in areas in which it was difficult to get reliable reflections otherwise.

For 10 or 15 years the seismic industry has aimed at developing further seismic sources other than dynamite. Perhaps the most interesting of the non-dynamite sources is included in the "Vibroseis" *-system, which has a certain analogy to the Chirp-method of Radar. John Crawford, the inventor of this famous method is also sitting among us.

In marine seismics the design of non-dynamite sources has been especially intensified. Here the main effort has been in developing sources which are free of bubbles, or in which the disadvantages of bubbles have been cancelled. And here methods have been created which do not find any analogies in other sciences.

* Trade Mark and Service Mark of Continental Oil Company

Progresses in Interpretation

Up to now we have only considered seismic sources and the recording of the movements by the seismic source, including certain techniques to enhance the desired signals relative to the undesired noise. It was left to human brains to convert the recorded data into substantial, physical or chemical well-positioned statements. In this connection human ingenuity has produced many sophisticated methods in the past 50 years, especially as far as the correct positioning of the origin of the observed signals is concerned.

For refraction seismics the most general wave-front method was already applied in very early time, i. e. before 1930. But in reflection seismics, too, much has been done in this respect, whereby the concept of "migration" was created.

Velocity as a function of the space coordinates was already considered approximately or precisely more than 20 to 30 years ago by the construction of curved rays and wave-fronts.

A certain preparation of the data to simplify the construction of the reflecting interfaces was introduced by two kinds of corrections. By static corrections the influence of the weathering and the topography was allowed for and by normal-move-out-corrections, the shot point and the observation point were adjusted to a position half way between these two points so that the descending ray and the reflected ray coincided. These two corrections could already be carried out in the record sections more than 15 years ago by analog data centers as mentioned earlier. Moreover

„Fallgruben" bei der Interpretation von Reflexionsseismogrammen waren ebenfalls bereits vor mehr als 20 Jahren bemerkt worden, wie z. B. Multiple, Diffraktionen und reflektierte Refraktionen.

Bei der Behandlung der Diffraktionen wird vornehmlich das Huygens'sche Prinzip angewandt. Es ist sehr interessant, daß dieses Prinzip bei den neuesten Erfolgen in der Datenverarbeitung — bei der Herstellung von migrierten Seismogrammprofilen — eine wesentliche Rolle spielt. Mit diesem Prozeß, der Rechner mit besonders großen Kernspeichern und Rechengeschwindigkeiten erfordert, werden die seismischen Reflexionssignale in die Position im Untergrund gebracht, von wo sie herkommen. Ein gewisser Anreiz für die Einführung der migrierten Seismogrammprofile wurde durch die Holographie gegeben, obwohl dieser Analogievergleich nicht ganz richtig ist.

Es gibt noch eine andere Kennzeichnung der Migration von Seismogrammprofilen; wir können nämlich sagen, daß bei dieser Neuerung die Prozesse des „Anreißens" der Reflexionen und die Migration in der Reihenfolge umgekehrt sind. Dieses „Anreißen von Reflexionen" kann ebenfalls automatisch ausgeführt werden, muß aber noch verbessert werden.

Ein weiterer Fortschritt im Vergleich zu migrierten Seismogrammprofilen ist die Migrations-Stapel-Operation. Bei diesem Prozeß wird die Migration vor oder gemeinsam mit dem Stapeln ausgeführt.

Wir können sagen, daß die Explorationsseismik seit ihrer Geburt eine gewisse Perfektion erreicht hat, soweit dies den Nachweis und die Lokalisierung von Inhomogenitäten betrifft, die seismische Signale abstrahlen können. Mit Aussagen üben den physikalisch-chemischen Charakter dieser Inhomogenitäten stehen wir jedoch ganz am Anfang. Die Beziehungen zwischen den Reflexionsschwingungen und der Fazies der Schichten oder der Gas-, Öl- oder Wasser-Füllung ihrer Poren sind noch immer ziemlich unbekannt. Hier muß noch eine Menge Entwicklungsarbeit getan werden.

Ausblick

Meine Damen und Herren, ich glaube, daß Ihnen dieser Bericht gezeigt hat, wie die Explorationsseismik unter dem Druck der ständig wachsenden Anforderungen der Erdölindustrie und anderer Klienten bemüht war, sich in den Bereichen anderer Wissenschaften umzusehen, um befruchtende Ideen für ihre eigene Entwicklung aufzugreifen. Wir müssen aber auch feststellen, daß Ideen in unserer Industrie geboren worden sind, die kein Analogon in anderen Techniken haben, z. B. die Mehrfachüberdeckung. Andererseits sind gewisse durch die Explorationsseismik entwickelte Ideen auch von anderen Wissenschaften oder Techniken übernommen worden, wie z. B. das „Pattern-Registrieren", das in der „normalen" Seismik erst vor kurzem unter dem Namen „Array" eingeführt worden ist.

Ich glaube aber auch, daß die Explorationsseismik der Computer-Industrie wertvolle Impulse gegeben hat. Alles in allem meine ich, daß wir auf die vergangenen 50 Jahre mit Stolz zurückblicken können. Die bisherigen Errungenschaften verpflichten uns, unsere Forschungen fortzusetzen und den Stand unserer Wissenschaft immer wieder zu überprüfen, um den vielen Notwendigkeiten und Problemen, die noch vorhanden sind, nachzugehen.

already at that time, e. g. with PRAKLA-SEISMOS, digital programs had been developed in order to infer the right position of the reflecting layers from times of the reflections picked in the records.

Pitfalls in the interpretation of reflection records had also been recognized more than 20 years ago, as e. g. multiple reflections, diffractions and reflected refractions.

When considering diffractions mainly Huygens' principle is applied. Now, it is very interesting to learn that this principle is again essentially being applied in the most modern successes of data processing, i. e. in the production of migrated record sections. With this process which needs digital computers with specially large memories and computing velocities, the seismic reflection signals are transferred to that position in the subsurface, where they originate as reflections. A certain stimulus for the introduction of migrated record sections has been given by holography, though the analogy is not perfect.

There is another way of describing the introduction of migrated record sections, namely we may say, that by this innovation the processes of picking reflections and of migration are reversed in order. That "picking of reflections", too, can be carried out automatically is a further step which has already been made but which has still to be improved.

A further advance as compared to migrated record sections is the migration stack operation. With this process migration is executed before or together with stacking.

We may say that exploration seismics, since the day of its birth, has reached a certain perfection as far as detection and localizing of inhomogeneities producing seismic signals are concerned. But as to the physical-chemical character of the inhomogeneities we are still at the very beginning. Relations between the reflection oscillations and the facies of the layers concerned or the gas-, oil- or water filling of their pores is still rather unknown. Here a bulk of work has still to be carried out.

Outlook

Ladies and gentlemen, I think the preceding review has shown how exploration seismics under the pressure of the ever increasing requirements of the oil industry and other clients has always endeavoured to look around in the domains of other sciences in order to find suggestions and ideas which might be suitable for incorporation into its own technique. But we must also point to the fact that individual ideas have been born within the industry which have no analogy in other techniques, e. g. multiple coverage. On the other hand certain ideas developed by exploration seismics have also been accepted by other sciences or techniques, e. g. pattern recording, which has been introduced in normal seismics quite recently under the name "array".

Additionally I believe that exploration seismics has given a valuable stimulus to the digital computer industry. On the whole, I think, we may look back proudly upon the 50 years which have passed. But I also think, the achievements reached so far are an obligation for us to continue our researches and our designs and to check again and again the philosophy of our professional standing in order to comply with the many needs and problems which are still present.

This is one of the earliest well documented examples of the 'bright spot'-concept. Its particular significance lies in the fact that the gas content of the reservoir is known (since it has been pumped in). It could thus be used as a calibration case for natural gas fields – it should however be mentioned that the sand is unconsolidated.

Today the location of the field is no longer a secret: it is the Hähnlein reservoir of Ruhrgas AG (Essen) in the upper Rhein valley. Several publications (and even text books) have dealt with different aspects of this particular case history.

Report 3/1972

Direktnachweis von „Faziesänderungen" durch reflexionsseismische Messungen

Schon des öfteren wurde in unserer Zeitschrift auf Beispiele aus unserer Interpretationspraxis hingewiesen, in denen mit mehr oder weniger bereits bekannten seismischen Mitteln Faziesänderungen in reflektierenden Schichten nachgewiesen werden konnten. Wir sind jetzt durch das Entgegenkommen eines unserer Auftraggeber in der Lage, ein derartiges Beispiel aus jüngster Vergangenheit mit Meßmaterial zu belegen, wobei wir uns verständlicherweise für die Geheimhaltung des Meßgebietes verbürgen mußten.

In diesem Gebiet, von PRAKLA-SEISMOS mehrmals vermessen, wurde im Bereich einer flachen Antiklinale im Vergleich mit früheren Messungen eine beachtliche Verbesserung der Reflexionsqualität eines bestimmten „Horizontes" festgestellt. Die Reflexion stammte von einem ungefähr 15 m mächtigen, unverfestigten, wasserführenden Sand, der zwischen den beiden seismischen Meßperioden zur künstlichen Einspeicherung von Erdgas gedient hatte.

Die Verbesserung der Reflexionsqualität des Speicherhorizontes ist zu verstehen, wenn man folgendes weiß:

Das Hangende des Speichers besteht aus Tonen, deren Schallhärte (seismische Geschwindigkeit mal Dichte des Gesteins) a priori größer ist als die eines unverfestigten Sandes. An der Grenzfläche Ton/Sand entsteht also eine „negative" Reflexion. Die Qualität dieser Reflexion muß sich verbessern, wenn das Wasser in den Poren des Sandes durch Gas ersetzt wird, wie bei Betrachtung der kleinen Tabelle ohne weiteres verständlich wird:

	Wasser	Gas
Geschwindigkeit	~ 1500 m/s	~ 300 m/s
Dichte	~ 1	~ 0,001

Direct evidence of "facies changes" from reflection seismic survey

In our magazine we have already sometimes referred to examples of our practice in interpreting facies changes which could be made evident by more or less known seismic means. Due to the kindness of one of our clients we are now in a position to present a recent example, although understandably we have to keep the location secret.

In the area in question, where several reflection seismic surveys have been carried out by PRAKLA-SEISMOS, a noticeable improvement in the reflection quality of a particular "horizon" as compared with a previous survey was found near a shallow anticline. The reflection originated from an unconsolidated porous sand ca. 15 m thick, which had been used to store natural gas between two seismic survey periods.

The improvement in reflection quality of the storage horizon can be understood when the following is known:

The layer above the reservoir is clay the acoustical impedance (seismic velocity x density of rock) of which is greater than that of unconsolidated sand. At the clay/sand interface a negative reflection is therefore formed. The quality of this reflection is improved when the water between the sand grains is replaced by gas, as can be imagined when considering the following table:

	water	gas
velocity	~ 1500 m/s	~ 300 m/s
density	~ 1	~ 0.001

The impedance of the sand is greatly reduced by the injection of gas, and at the same time the reflection coefficient is greatly increased. An improvement of reflection quality must result.

This improvement in reflection quality has now to be determined, objectively and quantitatively if possible, in

Die Schallhärte wird im Sand durch die Injektion von Gas stark herabgesetzt und damit der Unterschied der Schallhärten an der reflektierenden Fläche, d. h. der Reflexionskoeffizient, stark vergrößert. Eine Verbesserung der Reflexionsqualität muß die Folge sein.

Es ging nun darum, diese Verbesserung der Reflexionsqualität möglichst objektiv zu erfassen, um ein Maß für die Gasfüllung des Speichers zu erhalten. Das setzte voraus, von den örtlich unterschiedlichen Ankopplungsbedingungen der Empfänger (Geophone) und Sender (Verdämmung des Sprengstoffes u. a. m.) unabhängig zu werden.

Diese Bedingung wurde annähernd erreicht durch den Vergleich der Reflexionsamplituden des Speichers und eines qualitativ gleichbleibenden Begleithorizontes, also durch die Berechnung eines Quotienten. Beeinflussungen der Amplituden des Begleithorizontes durch unterschiedliches Passieren der vom Schuß ausgesandten Energie durch den Speicherhorizont hindurch (abhängig vom Reflexionskoeffizienten) und Überlagerung von Multiplen sind allerdings in die Betrachtungen mit einzubeziehen.

Abbildung 1, eine Einfachüberdeckung in Linien-Flächenschrift, enthält als oberen Horizont (dicker Pfeil) den Speicher, als unteren Horizont (dünner Pfeil) den Begleithorizont.

order to obtain a scale for the gas filling of the reservoir. This means becoming independent of local variations in coupling conditions of receivers (geophones) and emitters of seismic energy (tamping of the explosive, etc.).

This requirement is fairly well achieved by comparing the reflection amplitudes of the reservoir layer with those of a conformable horizon of good quality, i. e. by computing a quotient. However, if the conformable horizon is deeper than the reservoir, as in our example, differences in passage of the shot energy through the reservoir have to be taken into account, as superposition of multiples does.

In Figure 1, which is a single coverage in wiggle trace / variable area presentation, the reservoir is represented by the upper horizon (thick arrow), and the conformable horizon by the lower one (thin arrow).

An increase in the reflection quality of the reservoir reflection from left to right is obvious. A strong reduction in quality in the last quarter of the section — or rather the disappearance of the reflection here, is also evident, although the conformable horizon continues unaltered. In Figure 2 this reduction in reflection quality is also shown very clearly in a appropriate part of a wiggle trace field seismogram. The offset of the shotpoint from trace 1 (top)

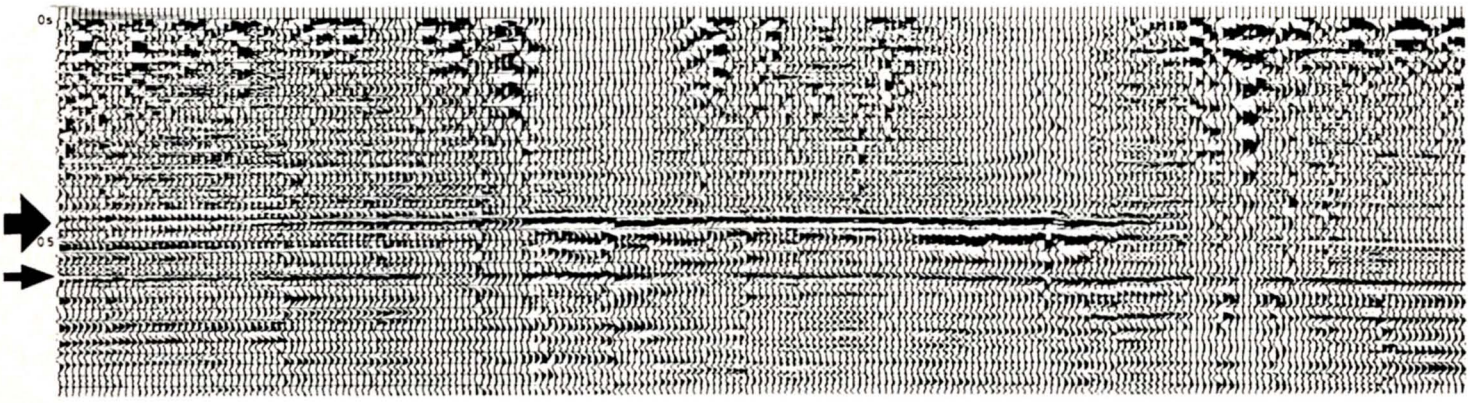


Abb. 1

Man erkennt deutlich die Zunahme der Reflexionsqualität des Speicherhorizontes von links nach rechts und im letzten Viertel des Profils eine sehr starke Qualitätsabnahme bzw. ein Verschwinden des Horizontes, während der Begleithorizont in gleichartiger Qualität weiterläuft. Recht deutlich kommt in Abbildung 2 diese Abnahme der Reflexionsqualität auch in dem Ausschnitt eines Linienschrift-Feldseismogramms an der entsprechenden Stelle zum Ausdruck. Der Abstand des Schußpunktes zur Spur 1 (oben) beträgt 12,5 m, er nimmt auf 587,5 m bei der Spur 24 zu, die trotz dieser größeren Entfernung und damit einer stärkeren Absorption der Energie eine starke Zunahme der Amplitudenhöhe erkennen läßt.

Zur übersichtlichen Beurteilung der Meßergebnisse wurde der an vielen Stellen berechnete Amplitudenquotient (Amplitude des Speichers durch Amplitude des Begleithorizontes) in einer Karte dargestellt. Damit konnte dem Auftraggeber ein flächenhafter Überblick über die Verteilung des eingepreßten Gases und über den komplizierten Verlauf des Gas/Wasser-Kontaktes zur Zeit der seismischen Vermessung gegeben werden.

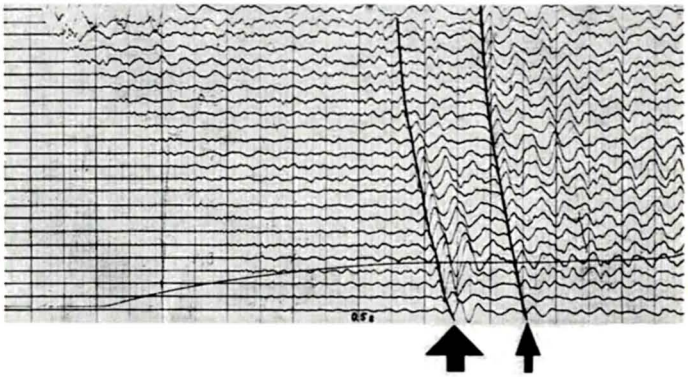
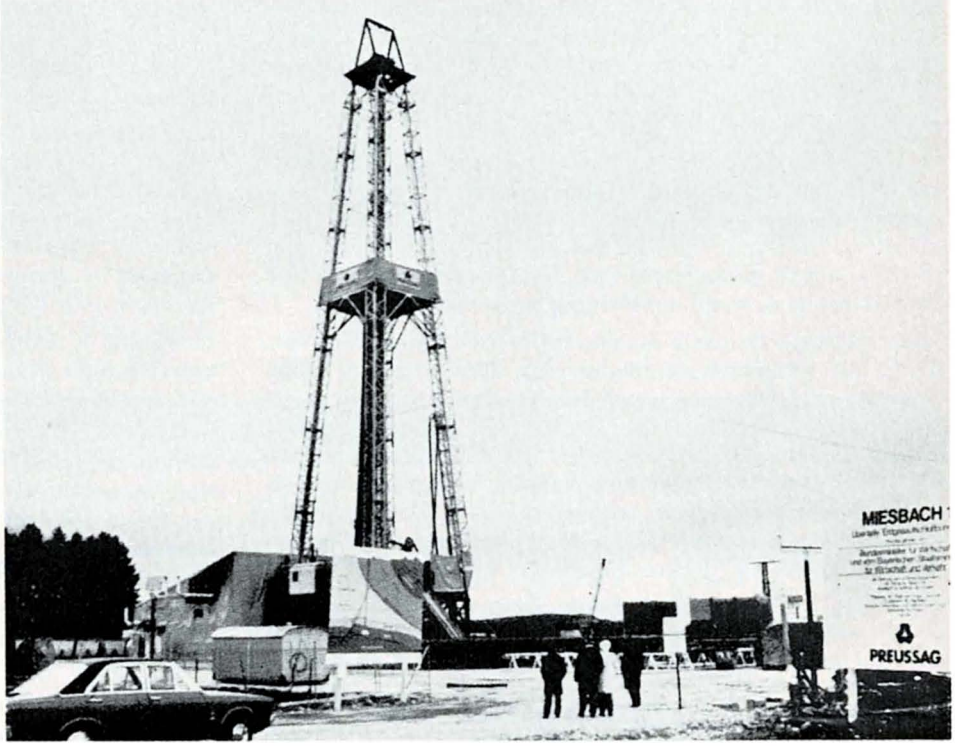


Abb. 2

was 12.5 m, increasing to 587.5 m for trace 24, which indicates a strong increase in amplitude height despite the greater distance and therefore also the greater energy absorption.

For a general estimation of the survey data, amplitude quotients (amplitude of the reservoir reflection ÷ amplitude of the conformable horizon) were calculated at many points and presented in a map. Thus the client could be given an areal view of the distribution of the injected gas and of the complex line of contact between gas and water at the time of the survey.

Tiefbohrung Miesbach 1



B. Gessner und J. Schmoll

Die übertiefe Aufschlußbohrung Miesbach 1 findet zur Zeit in Fachkreisen sowie in der Öffentlichkeit große Beachtung. Seit dem 1. März dieses Jahres bohrt im Alpenvorland unmittelbar am Ortsausgang des idyllischen Ortes Miesbach – nicht weit vom bayrischen Schliersee – eine fast 50 m hohe Viermastbohranlage. Die Bohrung ist – geologisch gesehen – im Bereich der Faltenmolasse angesetzt. Ihr Ziel ist jedoch die Untersuchung der eventuellen Speichergesteine in der überfahrenen ungefalteten Molasse und im Malm. Die Bohrung soll eine Teufe von ca. 6000 m erreichen.

Die Konzession gehört der Deutschen Texaco AG. An der Bohrung sind die Preussag AG, die Deilmann AG, die Deutsche Schachtbau- u. Tiefbohrgesellschaft mbH und die Wintershall AG beteiligt; etwa die Hälfte der auf ca. 10,5 Mio DM geschätzten Kosten werden von der Bundesregierung und dem Freistaat Bayern getragen.

Der Bohrung sind umfangreiche reflexionsseismische Messungen durch PRAKLA-SEISMOS vorausgegangen. Im Verlaufe der Messungen gewann, wegen des relativ hohen Bohraufwandes bei der Sprengseismik, das VIBROSEIS-Verfahren zunehmend an Bedeutung. Die für den Ansatz der Bohrung wesentlichen VIBROSEIS-Messungen begannen bereits im Jahr 1969 mit digitaler Registrierung.

Die Lage des Konzessionsgebietes im Voralpengebiet und im Übergangsbereich von der ungefalteten Molasse zur Faltenmolasse ergab mannigfaltige Schwierigkeiten durch das stark modellierte Gelände, die quartären Ablagerungen (Seeton, Moor, Schotter) und den komplizierten tektonischen Bau der Molasseschichten. Laufende Verbesserungen der Meßgeräte und der Meßparameter (Sweep, Geophon- und Vibratorpattern) führten auch zu einer wesentlichen Verbesserung der Meßergebnisse. Bei der Ermittlung der statischen Korrekturen wurde nicht nur der Einfluß der quartären Ablagerungen eliminiert, sondern es wurden auch nach Möglichkeit die durch den komplizierten Bau der Faltenmolasse bedingten lateralen Geschwindigkeitsänderungen im Deckgebirge berücksichtigt – notfalls auf Kosten der Qualität der weniger interessierenden Deckgebirgshorizonte.

Wildcat Miesbach 1

The extremely deep wildcat Miesbach 1 is being closely watched by experts and the public. Since March 1st of this year an almost 50 m high fourstem drilling rig has been working in the alpine foreland not far from the exit of the idyllic Miesbach village, situated quite close to the Bavarian Schliersee.

Geologically speaking, the drilling is located in the folded Molasse-area. The aim, nevertheless, is the exploration of possible reservoir rocks in the underlying unfolded Molasse and the Malm. The drilling shall reach a depth of about 6.000 m.

The concession is owned by the Deutsche Texaco AG. The Preussag AG, the Deilmann AG, the Deutsche Schachtbau- und Tiefbohrgesellschaft mbH and the Wintershall AG participate in this well. About half of the estimated costs of about 10,5 million DM are being met by the Government of the Federal Republic of Germany and the Bavarian Governement.

The drilling has been preceded by extensive seismic reflection surveys carried out by PRAKLA-SEISMOS. During the surveys, due to the relatively high drilling costs of explosion seismics, the VIBROSEIS method increased in importance. The VIBROSEIS surveys, essential for the location of the well, began already in 1969 with digital recording.

The location of the concession area in the alpine foreland and in the transition region from the unfolded to the folded Molasse gave numerous difficulties due to the extremely rough terrain, the quarternary formations (seeton, moor, pebbles) and the complicated tectonic structure of the Molasse layers. Continuous improvements of the survey equipment and the survey parameters (sweep, geophone and vibrator patterns) led to an important improvement of the survey results. To determine the static

Bei der Bearbeitung des Meßmaterials im PRAKLA-SEISMOS-Datenzentrum gab es ebenfalls viele Probleme. Die befriedigenden Endergebnisse konnten oft erst nach zahlreichen Testläufen Schritt für Schritt erzielt werden.

Von einer Auswertungsgruppe unserer Gesellschaft wurden die Meßdaten in Zusammenarbeit mit der geophysikalischen und geologischen Abteilung der Deutschen Texaco AG laufend interpretiert und so das strukturelle Bild des Tertiärs und Prätertiärs erarbeitet. Zwei Aufgaben standen im Vordergrund: Das Auffinden und Fixieren von Störungen, wobei eine genaue Untersuchung und Auswertung der Beugungsbilder von großem Nutzen war, und eine möglichst korrekte Tiefendarstellung, wobei sich die Verwendung von Isotachenplänen als sehr nützlich erwies. Die Isotachenpläne wurden aufgrund von Bohrlochmessungen für jeden kartierten Horizont aufgestellt; sie ergaben für jeden Punkt des Arbeitsgebietes die für die Tiefendarstellung benötigte Durchschnittsgeschwindigkeit. Mit ihrer Hilfe wurden die Zeitpläne direkt in Tiefenpläne umgewandelt und an wichtigen Stellen auch Tiefenprofile konstruiert. Diese Art der Darstellung wurde mit Hilfe von Tiefenkonstruktionen überprüft bei denen Gleithorizonte und Intervallgeschwindigkeiten – abgeleitet aus Bohrungen nördlich und südlich der „Nördlichen Hauptüberschiebung" – benutzt und in vernünftigen Grenzen variiert wurden. Die sich aus beiden Darstellungsarten ergebenden Tiefenabweichungen waren nur gering.

Mit der Bohrung Miesbach 1 werden die gemeinsamen Bemühungen der Bundesregierung, der Länder und der Deutschen Erdölfirmen um eine langfristige, sichere Rohstoff- und Energieversorgung weiterhin verstärkt. Eine zweite Gemeinschaftsbohrung wird im östlichen Niedersachsen vorbereitet, die in eine Tiefe von ca. 7000 m bis in das Devon vorstoßen soll. Weitere Tiefstbohrungen sind in Vorbereitung. In dieses Aufschlußprogramm der großen Tiefen werden auch die Geophysiker unserer Gesellschaft insofern eingeschaltet sein, als von ihnen eine ständige Erweiterung der Feldtechnik, der Datenverarbeitung und der Interpretation der gemessenen Daten gefordert werden wird. Über bereits erzielte und sich bereits anbahnende Erfolge wird zu gegebener Zeit zu berichten sein.

corrections, not only the influence of the quaternary formations were eliminated but also the lateral velocity changes in the overlying rocks were taken into account. changes caused by the complicated structure of the folded Molasse, if necessary, at the cost of quality of the less interesting overburden horizons.

During processing the survey data at the PRAKLA-SEISMOS data-center many further difficulties arose. Satisfying results could be reached only step by step after numerous test-runs.

The survey data was interpreted together with the geophysical and geological department of the Deutsche Texaco AG and thus the structural picture of the Tertiary and Pre-Tertiary was obtained. Two problems were prominent: the finding and fixing of faults, whereby an exact examination and evaluation of the diffraction events was very useful and a depth presentation as correct as possible, whereby the use of isotach maps came in very handy. The isotach maps were constructed on the basis of borehole logs for each mapped horizon; they showed for each point of the survey area the necessary average velocities for depth presentation. With their help the time contour maps were directly converted into depth contour maps and in important places also depth sections were constructed. This type of presentation was checked with the help of depth constructions by which marker horizons and interval velocities were used derived from boreholes north and south of the „Northern Main Overthrust" and varied within reasonable limits. From both the representations the resulting depth differences were only minimal.

The wildcat Miesbach 1 intensified the joint efforts of the German Government and the German oil companies for a longlasting and safe raw material and energy supply.

A second cooperative deep well is being prepared in East-Lower-Saxony, which will be sunk into the Devonian to an approximate depth of 7.000 m. Further extremely deep wells are in preparation. In this exploration program also the geoscientists of our company will be involved by continuously elaborating field methods and improving data processing and interpretation of the surveyed data.

At an appropriate time we will report on results and successes.

Präpermexploration in NW-Deutschland

Th. Krey

Prof. Dr. Th. Krey hat auf Einladung der DGMK im Juni 1975 im BGR ausführlich über die Probleme gesprochen, die bei der Anwendung der geophysikalischen Methoden in der Präpermexploration auftreten. Welch großen Anteil die Refraktions- und Reflexionsseismik an diesen Untersuchungen bisher hatten, ist unseren Mitarbeitern mehr oder weniger bekannt. Daß aber auch die nichtseismischen Methoden wertvolle Hinweise bei der Präpermexploration geben können, wurde von Krey ebenfalls erörtert.

Da das behandelte Thema seit dem Ausbruch der Energiekrise vor etwa zwei Jahren besonders aktuell ist, soll in einer gekürzten aber auch z. T. etwas erweiterten Fassung des Vortrages beschrieben werden, was die Angewandte Geophysik bereits geleistet hat und was möglicherweise in Zukunft von ihr erwartet werden kann.

Exploration of the Pre-Permian in NW-Germany

Invited by DGMK, the German Society for Oil Research and Coal Chemistry, Prof. Dr. Th. Krey presented a paper in the premises of BGR, the Federal Institute for Geosciences and Mineral Resources in W-Germany, in June 1975. The topic was the problems which occur when applying geophysical methods in the exploration of the Pre-Permian. It is more or less well known to our German friends, how much effort has been invested quite recently in applying refraction- and reflection seismics to the goal mentioned. But Prof. Krey also commented on the chances of non-seismic methods in assisting in the Pre-Permian exploration.

As the topic in question is of special interest since the outbreak of the energy crisis about 2 years ago, we shall describe — in a shortened, but also partly extended version of the paper — what has been achieved by applied geophysics and what can probably be expected in the future.

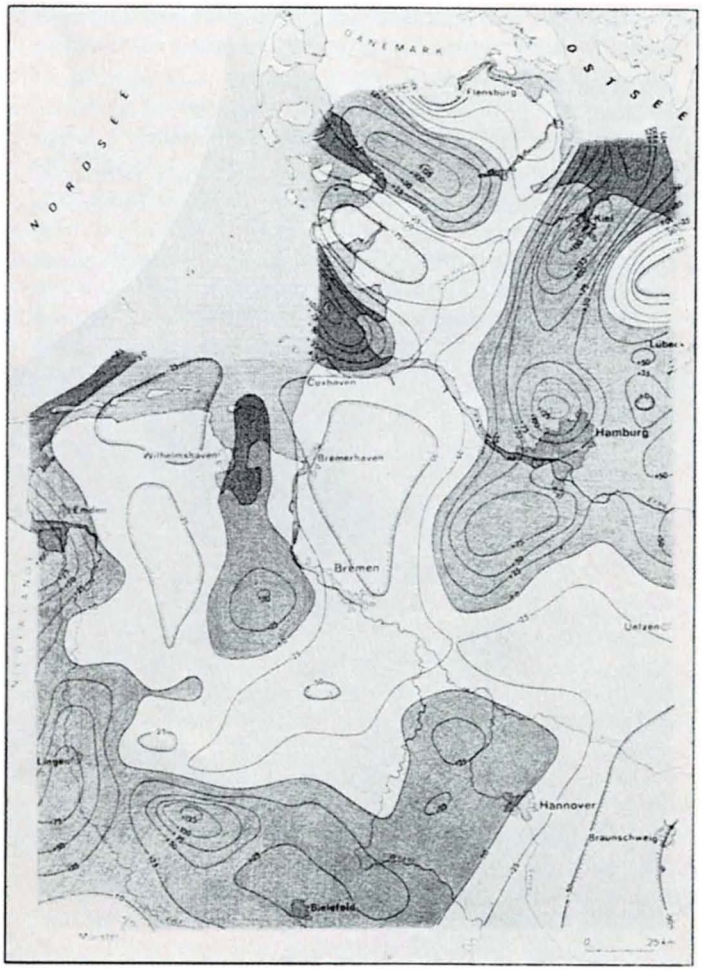


Fig. 1
Anomalien der magnetischen Totalintensität in N-Deutschland
Anomalies of the magnetic total intensity in N-Germany

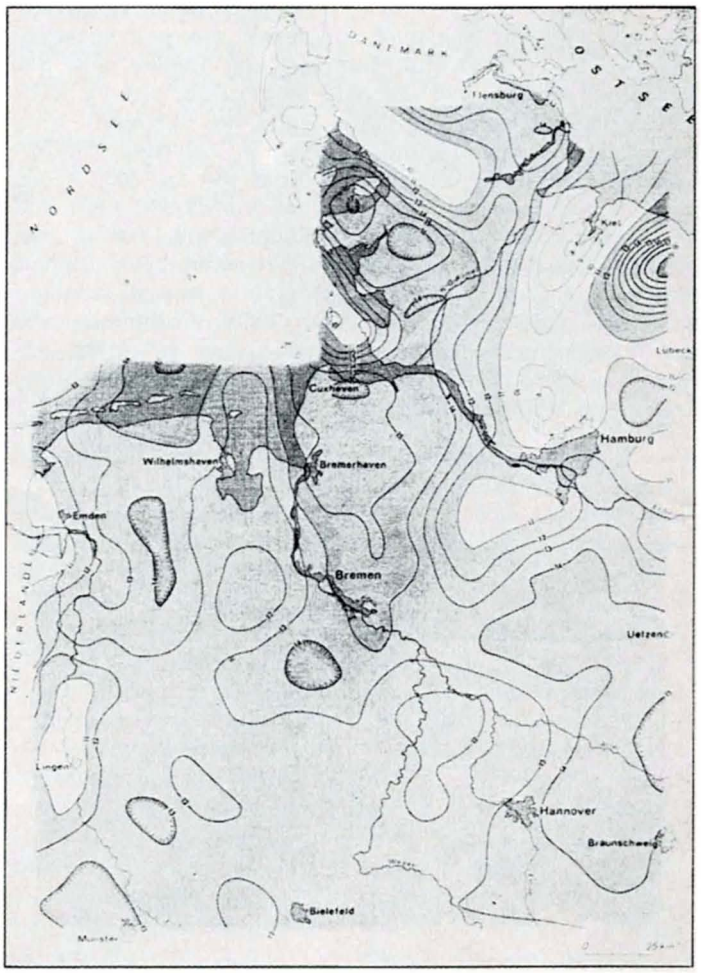


Fig. 2
Tiefenlinien eines Modells der Oberfläche des magnetischen Kristallin-Basement in N-Deutschland
Depth contour lines of the surface of a model of the magnetic crystalline basement in N-Germany

Magnetik

Die Magnetik ist die älteste geophysikalische Methode und bei Tiefenaufschlüssen wohl die unter den nichtseismischen Methoden wichtigste. Für die Kohlenwasserstoffexploration wird heute ausschließlich aus der Luft gemessen (Aero-Magnetik). Die Auswertung der Meßwerte ergibt Maximaltiefen für die Sedimentbasis.

Die früheren magnetischen Messungen der „Reichsaufnahme" auf der Erdoberfläche sind für die Tiefenberechnungen nicht sehr geeignet, da der Meßpunktabstand sehr groß war und die zivilisatorischen Einflüsse oft sehr störend waren.

Die Berechnungen zur Deutung der inzwischen erfolgten aeromagnetischen Vermessung der ganzen Bundesrepublik ist noch im Fluß. Sie wird vom NLfB und teilweise von Erdölgesellschaften durchgeführt. Bei der Vermessung mußte ein 10–30 km breiter Streifen an der Grenze zur DDR (der auch die übertiefe Bohrung Velpe-Asse Devon 1 enthält) und an der Grenze zur Tschechoslowakei ausgespart werden. Vorläufige Tiefenberechnungen von Hahn (BGR) haben Werte von meist 8 bis 12 km für das magnetische Basement ergeben. Die Isogammen und die Tiefenwerte des Basement sind in den Figuren 1 und 2 abgebildet.

Gravimetrie

Auch die Gravimetrie könnte für NW-Deutschland als Tiefenaufschlußmethode in Frage kommen. Große Aufwölbungen müßten sich im allgemeinen im Schwerebild widerspiegeln, obwohl sehr tiefe Sedimente z. T. größere Dichten haben können als die Kristallingesteine. Voraussetzung für eine brauchbare Bewertung der Ergebnisse wäre allerdings das Wegrechnen (Stripping, nach Sigmund Hammer) der Postpermschichten mit ihren sehr großen Dichteunterschieden (Salzstöcke!). Hierfür sind genaue Dichtewerte erforderlich, die sich durch Messungen in situ in Tiefbohrungen durch Gamma-Gamma-Logs oder mit dem Bohrlochgravimeter erreichen ließen. Für alle älteren Bohrungen gibt es derartige Messungen leider nicht.

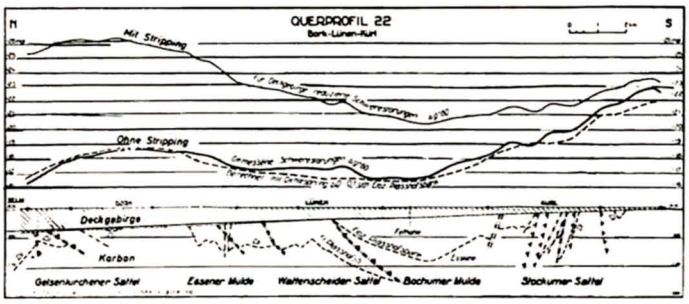


Fig. 3
Schleusener:
Gravimetrisches Stripping im Ruhrkarbon
Gravity stripping in the Ruhr-Carboniferous

Gravimetrische Strippingberechnungen hat übrigens Schleusener bereits vor vielen Jahren im Ruhrkarbon mit Erfolg ausgeführt wie die Figur 3 zeigt. Offenbar kommen die Sättel und Mulden der varistischen Faltung durchaus zum Ausdruck. Mit den Schweremeßwerten der Reichsaufnahme in ganz NW-Deutschland derartige Berechnungen versuchen zu wollen, um das tiefe Paläozoikum zu

Magnetics

Magnetics is the oldest geophysical method and, for deep exploration purposes, the most important among the nonseismic methods. Today, magnetic surveys for hydrocarbon exploration are only carried out from the air (aeromagnetics). The interpretation of the recorded anomalies yields maximum depth values for the sedimentary basins. The former magnetic surveys of the "Reichsaufnahme" carried out on the earth's surface between world wars I and II are not very suitable for depth calculations, because the observation-point spacing was very large and the influences of civilisation were often very disturbing.

The computations needed for the interpretation of the aeromagnetic survey of the entire Federal Republic of Germany, which was since carried out is still under progress. The Government Institute NLfB and various oil companies are engaged in this work. During the survey a strip of 10 to 30 km width had to be omitted at the border with East Germany and Czechoslovakia (in this omitted area, the deep well Velpke-Asse Devon 1 is situated). Preliminary depth calculations by Hahn (BGR) yielded values of mostly 8 to 12 km for the magnetic basement. The isogams and depth values of the basement are shown in figures 1 and 2.

Gravity

Gravity could also be a potential exploration method Large structural uplifts should, in general, appear in the gravity map, although very deep sediments can sometimes have higher densities than crystalline rocks. However, supposition for an efficient evaluation of the results would be the stripping of the Post-Permian layers with their large density contrasts (saltdomes!) according to Sigmund Hammer. For this purpose, exact density values are necessary, which can be obtained by gamma gamma logs in deep wells or by the borehole gravimeter. However, for all older boreholes such surveys do not exist, unfortunately.

Gravity stripping corrections had been successfully applied by Schleusener several decades ago in the Ruhr-Carboniferous area, as shown in figure 3. Obviously, the anticlines and synclines of the varistic folding appear pretty well. However, it would be vain to try such computations in all of NW-Germany in order to find deep palaeozoic structuring with the data of the "Reichsaufnahme" carried out before the end of world war II. The accuracy of the gravimeters available at that time was hardly sufficent.

Electric Surveys

The technical effort would be too great for the depths in question, and the accuracy of the survey values would be too much impaired by dense industrialisation.

Magnetotellurik and Earthmagnetic Deep Soundings

The technical effort is smaller than for resistance surveys, but here too, industrialisation impairs the method. Tests are being carried out to eliminate or to avoid these influences.

erfassen, wäre allerdings müßig. Die Genauigkeit der seinerzeit zur Verfügung stehenden Gravimeter war dazu kaum ausreichend.

Elektrische Messungen

Der technische Aufwand wäre bei den in Frage kommenden Tiefen zu groß und die Genauigkeit der Meßwerte zu stark durch die dichte Industriealisierung negativ beeinflußt.

Magnetotellurik und erdmagnetische Tiefensondierungen

Der technische Aufwand ist geringer als bei den Widerstandsmessungen, aber auch hier stört die Industrialisierung; Versuche, ihre Einflüsse zu eliminieren oder zu vermeiden sind im Gange.

Seismik

Die Seismik ist für die Kohlenwasserstoffexploration seit langem die wichtigste geophysikalische Methode.

Die Reflexionsseismik hat bekanntlich seit etwa 1960 durch die Magnetband- und Digitaltechnik stürmische Fortschritte gemacht, insbesondere wurde durch die Einführung der Mehrfachüberdeckung die Erfassung der tiefen Trias und des Zechsteins wesentlich verbessert. Aber bereits knapp unter der Zechsteinbasis – im Rotliegenden – blieb das, was die Reflexionsseismik im allgemeinen mit vertretbarem Aufwand liefern konnte, hinter den Erwartungen zurück. Nur im Verbreitungsgebiet mächtiger Rotliegendsalze (z. B. in Schleswig-Holstein) war es möglich, die Rotliegend-Salinarbasis reflexionsseismisch kontinuierlich zu verfolgen.

In den 60er Jahren bestand ein lebhaftes Interesse daran, Informationen über die Mächtigkeit des flözführenden Karbon zu erhalten, und zwar im Zusammenhang mit der Theorie von Patijn, wonach das Gas im Buntsandstein, im Zechstein und im Rotliegenden aus der Inkohlung der Flöze im Oberkarbon stammt.

Refraktionsseismik

Es war bekannt, daß das flözführende Karbon eine geringere Geschwindigkeit hat als die dichten Kalke und das Kristallin, die in größerer Tiefe zu erwarten waren. Es kam daher zu einer Reihe von refraktionsseismischen Meß-

Seismics

For a long time seismics has been the most important geophysical method in hydrocarbon exploration. Since about 1960, reflection seismics underwent big steps of development by the introduction of magnetic-tape- and digital techniques. Especially by introducing multiple coverage, reflections from the Lower Triassic and Zechstein could be improved considerably. But already right below the Base of Zechstein – in the Rotliegend – the results remained unsatisfactory with the technical and financial efforts made at that time. Only where thick Rotliegend salt occurs (for example in Schleswig-Holstein) was it possible to pick the base of this salt layer continuously in the record sections.

In the sexties arose a vivid interest in gaining information on the thickness of the Carboniferous layers, in connection with the theory of Patijn, which says that the gas encountered in the Bunter, Zechstein and Rotliegend originates from the coal seams of this geological formation.

Refraction Seismics

It was known that the seismic velocity of the Carboniferous with its coal seams is smaller than that of dense calcarious and crystalline layers, which were to be expected at greater depths. Therefore a series of refraction seismic surveys were carried out between 1960 and 1970.

At first the shot-geophone distances did not exceed 20 to 25 km using second arrivals for interpretation. Soon, however, shot-geophone distances of 40 to 50 km were applied, in some cases even at a distance of 90 km good records could be obtained as shown in figures 4 and 5.

Because of strong ambient noise during daytime, work was carried out mostly at night. By these surveys one to two refraction horizons were obtained below the Zechstein with velocities of 5800 to 6500 m/s. A reliable depth presentation could only be accomplished by taking full account of the depth variations and velocities of the Post-Permian layers. Thus, conditions are similar to the interpretation of corresponding gravity surveys, where gravity stripping becomes necessary. But in contrast to the insufficient knowledge on densities necessary for gravity stripping, the velocities in the Post-Permian needed for the depth presentation of the refraction surveys are known much better, because velocity surveys have been carried out in all isolated exploration wells and many

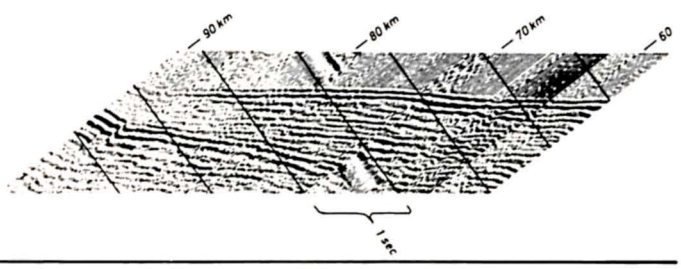


Fig. 4

Refraktionslinien mit sehr großen Schußpunkt-Geophon-Entfernungen

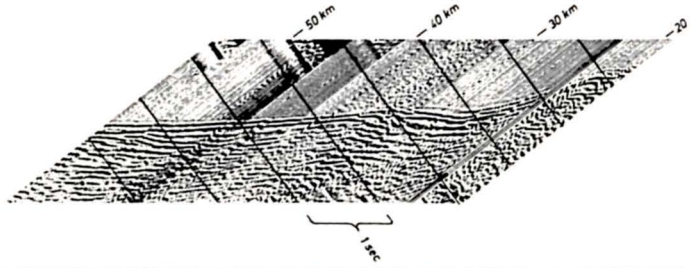


Fig. 5

Refraction Lines with very great shotpoint-geophone distances

kampagnen, die ungefähr in den Jahren 1960 bis 1970 durchgeführt wurden.

Zunächst versuchte man, durch die Auswertung von zweiten Einsätzen mit Schußpunkt-Geophon-Entfernungen von 20 bis 25 km auszukommen. Man ging jedoch bald zu Schußpunkt-Geophon-Entfernungen von 40 bis 50 km über, in Einzelfällen wurde noch bei 90 km Entfernung registriert, wie die Figuren 4 und 5 zeigen.

Wegen der starken Zivilisationsunruhe bei Tage wurde vorwiegend nachts gearbeitet. Mit diesen Messungen wurden unter dem Zechstein ein bis zwei Refraktionshorizonte mit Geschwindigkeiten von 5,8 bis 6,5 km/s erfaßt. Die Tiefendarstellung konnte nur unter voller Berücksichtigung des tektonischen Aufbaues und der Geschwindigkeiten der postpermischen Schichten erfolgen. Insofern ähneln die Verhältnisse den Gegebenheiten bei der Gravimetrie, wo Gravity-Stripping erforderlich wird. Aber im Unterschied zur Problematik der hierfür nötigen Dichtekenntnisse, sind die für die Auswertung der Refraktionsmessungen gebrauchten Geschwindigkeitskenntnisse im Postperm wesentlich besser, da in allen isoliert liegenden Bohrungen Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt wurden, und da auch aus der Fülle der damals vorhandenen Reflexionsmessungen nützliche Geschwindigkeitsinformationen abgeleitet werden konnten. Der tektonische Bau des post-permischen Stockwerkes war ebenfalls aus Bohrungen und Reflexionsseismik genügend bekannt, abgesehen vielleicht von den steilen Salzstockflankenbereichen. Durch Ausnutzung all dieser Kenntnisse konnten nun mit Hilfe der Wellenfrontmethode die Refraktionshorizonte tiefenmäßig dargestellt werden, siehe Figur 6.

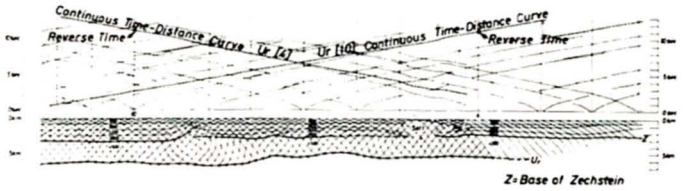


Fig. 6
Darstellung eines tiefen Refraktionshorizontes mit der Wellenfrontmethode
Representation of a deep refraction horizon by the wavefront method

Strahlenwege durch Salzstöcke und steile Salzstockflankenbereiche wurden im allgemeinen nicht für die Tiefenkonstruktion mitherangezogen. Das war möglich, weil jeder Refraktionshorizont durch Schießen und Gegenschießen doppelt erfaßt war, und da für jeden Refraktionspunkt im Untergrund mindestens einer der beiden zugehörigen Strahlenwege frei von schwer zu erfassenden Salzstockeinflüssen ist, wie Figur 7 zeigt. Es handelt sich hierbei um eine Art Analogon zur reflexionsseismischen Unterschießung eines Salzstockes.

Ein etwas schwieriges Problem bei der Auswertung der Refraktionsmessungen bildeten die Geschwindigkeiten zwischen der Zechsteinbasis und den Refraktionshorizonten. In Ermangelung detaillierter Kenntnisse wurde daher eine über weite Bereiche konstante Geschwindigkeit für die Tiefe zwischen Zechsteinbasis und Refraktionshorizont angesetzt. Hierdurch entstanden natürlich Fehlermöglichkeiten bei der Tiefenbestimmung, die jedoch nicht allzusehr ins Gewicht fallen dürften.

others too. Furthermore the wealth of available reflection surveys provides additional velocity information.

The tectonic structure of the Post-Permian layers was also sufficiently well known from boreholes and reflection seismics, except for the steep saltdome-flank areas. Applying all this information, the refraction horizons could be converted from time to depth by means of the wavefront method, see figure 6.

In general, raypaths through saltdomes and steep saltdome-flank areas were not used for depth construction. This was possible, because a double coverage exists for

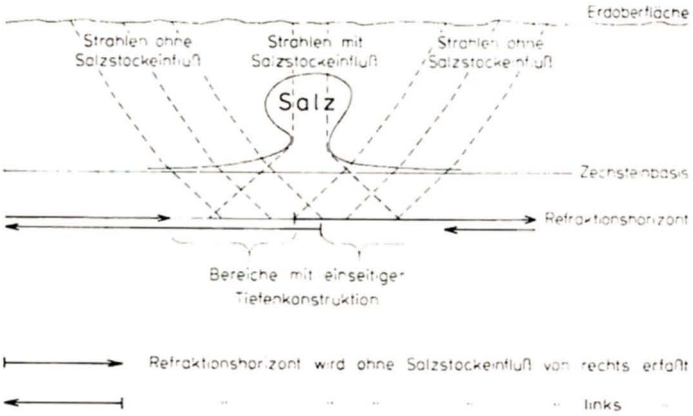


Fig. 7
Refraktionsstrahlen in Salzstocknähe
Refraction raypaths near the salt diapir

each refraction horizon by shooting and reverse shooting, and because — for each refraction point in the subsurface — at least one of the two corresponding raypaths is free of insufficiently known layering in the surroundings of a saltdome, as shown in figure 7. This is an analogy of the reflection seismic undershooting of a saltdome.

The velocities between the base of Zechstein and the refraction horizons were a somewhat more difficult problem in the interpretation of the refraction surveys. Therefore, because of the lack of detailed knowledge, a constant velocity was assumed for the interval between base of Zechstein and refraction horizons. This may give rise to depth errors, but they should be of no major importance.

Geological Interpretation of the Seismic Horizons

The velocity of about 6000 m/s of the refraction horizons can point to crystalline rocks. But certain compacted sediments with a small pore volume, for example dense calcareous rocks are also possible. The deepest refraction horizon therefore, can only inform us on the minimum depth of the base of sediments, whereas in magnetics maximum values for the sedimentary thicknesses are yielded.

If more than one refraction horizon exists below the Zechstein one has to examine, whether the "lower horizons" originate from multifold arrivals, which are produced by upper horizons. Figure 8 shows the combination of a refraction- and a reflection raypath. Such combined raypaths have been described and indicated in seismic records by Meissner (formerly with PRAKLA, now with University of Kiel). In case the refractor velocity of a

Geologische Deutung der erfaßten Horizonte

Die in den Refraktionshorizonten erfaßte Geschwindigkeit von etwa 6000 m/s kann auf kristalline Gesteine hinweisen. Es kann sich aber auch um stärker verfestigte Sedimente mit geringem Porenvolumen handeln, zum Beispiel um dichte Kalke. Der tiefste derartige Refraktionshorizont kann also nur einen Hinweis auf die Minimaltiefe der Sedimentbasis geben im Gegensatz zur Magnetik, wo eher Maximalwerte für die Sedimentmächtigkeit gewonnen werden.

Ist mehr als ein Refraktionshorizont unter dem Zechstein vorhanden, muß untersucht werden, ob die tieferen „Horizonte" nicht in Wahrheit Mehrfacheinsätzen entsprechen, die von höheren Horizonten erzeugt werden. Figur 8 zeigt die Kombination eines Refraktionsstrahlenweges mit dem einer Reflexion. Derartige zusammengesetzte Strahlwege sind von Meissner (früher PRAKLA, jetzt Universität Kiel) beschrieben und nachgewiesen worden. Falls die Refraktorgeschwindigkeit eines zweiten oder späteren Refraktionshorizontes merklich höher als 6200 m/s ist, z. B. 6500 m/s, könnte dieser Horizont bereits in der kristallinen Kruste liegen.

In der Refraktionsseismik braucht die geologische Bedeutung ihrer Horizonte nicht gleichbleibend zu sein, wie Figur 9 zeigt. Bei dieser geologischen Situation kann der vom kristallinen Untergrund der Hochscholle stammende Laufzeitast mit ziemlich glattem Verlauf in den Ast übergehen, der einer dichten Kalkserie der Tiefscholle zuzuschreiben ist.

Mehrdeutigkeiten liegen aber auch in der Reflexionsseismik vor. Die größere Anzahl von Reflexionshorizonten und die bessere Auflösung gibt der Reflexionsmethode allerdings bessere Chancen, Mehrdeutigkeiten zu erkennen. Dafür hat die Refraktionsseismik einen anderen Vorteil: Ein Sprung in einem Refraktionshorizont kann meist eindeutig beurteilt werden, während er in der Reflexionsseismik unter Umständen falsch gesehen wird.

Die Refraktionsseismik hat gegenüber der Reflexionsseismik im Präpermbereich aber den weiteren Nachteil, daß die erreichbare Auflösung merklich geringer ist, weil eine Millisekunde Zeitdifferenz in der Refraktionsseismik ein um 30 bis 100% größerer Tiefenunterschied entspricht als in der Reflexionsseismik, in der überdies größere Frequenzen vorherrschen, womit eine genauere Zeitablesung möglich ist. Außerdem verfälschen unerkannte Geschwindigkeitsschwankungen im Bereich zwischen Zechsteinbasis und Refraktor die Refraktionszeiten wesentlich mehr als die Reflexionszeiten.

Da alle bisher besprochenen Methoden Nachteile aufweisen und ihre Resultate nicht voll befriedigten, wandte man sich nach Ausbruch der Energiekrise wieder der Reflexionsseismik zu.

Reflexionsseismik

Um die in der Reflexionsseismik bisher erreichten Ergebnisse zu verbessern, mußten der meßtechnische Aufwand erhöht, neue Datenverarbeitungsmethoden entwickelt und die Auswertungsmethoden überdacht werden.

Weil die Dichte- und Geschwindigkeitsunterschiede in größeren Tiefen im allgemeinen geringer werden, sind auch die Reflexionskoeffizienten im tiefen Paläozoikum generell kleiner als in den höheren Stockwerken. Daher müssen wir im Zeitbereich des Präperm mit zahlreichen kräftigen

second or later refraction horizon is considerably higher than 6200 m/s, for example 6500 m/s, this horizon could already be situated within the crystalline crust.

The geological meaning of refraction horizons need not be constant, as shown in figure 9. In this geological case the branch of the time-distance curve originating from the crystalline basement of the upthrown block can pass rather smoothly into that branch, which originates from the

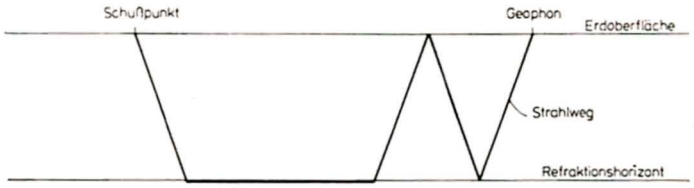


Fig. 8
Strahlweg eines Mehrfachrefraktionseinsatzes
Combination of a refraction- with a reflection raypath

dense calcareous series of the downthrown block. However, ambiguities also exist in reflection seismics. But because of the larger number of reflection horizons and the better resolution, the reflection method has better chances for a correct interpretation. On the other hand refraction seismics has another advantage. The throw of a refraction horizon at a fault can mostly be estimated rather clearly, whereas in reflection seismics ambiguities may arise.

Compared to reflection seismics, refraction seismics in the Pre-Permian has a further disadvantage: the resolution

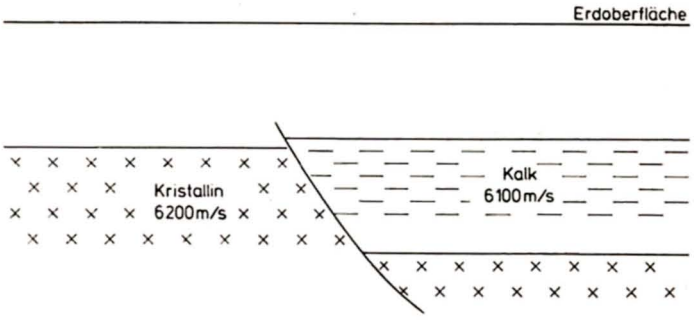


Fig. 9
Geologische Situation beim Bedeutungswechsel eines Refraktionshorizontes
Geological situation where a refraction horizon can change its stratigraphical meaning

yielded is considerably smaller. In refraction seismics a time difference of one millisecond corresponds to a 30% to 100% larger depth difference than in reflection seismics, where moreover, higher frequencies are predominant, by which a better time resolution is possible. Besides, unrecognized velocity fluctuations in the range between base of Zechstein and refractor horizon have a much higher influence on refraction times than on reflection times.

As all methods discussed so far show disadvantages, and as their results were not up to expectation, one turned again to reflection seismics after the outbreak of the energy crises.

multiplen Reflexionen rechnen, so daß die gewünschten Primärreflexionen hier nur durch besondere Maßnahmen sichtbar gemacht werden können. Die wichtigste hierfür geeignete Methode ist bekanntlich die Mehrfachüberdeckung. Ihre Wirkung beruht darauf, daß die Reflexionszeit bei multiplen Reflexionen im allgemeinen mit wachsendem Schußpunkt-Geophon-Abstand schneller zunimmt als bei den Primären die von den zeitgleichen Multiplen überlagert werden. Diese Unterschiede in den Reflexionslaufzeitkurven sind aber bei den infrage kommenden Reflexionszeiten von 3 bis 5 s nur dann groß genug, wenn auch die Entfernung zwischen Schußpunkt und Geophon und der Überdeckungsgrad groß genug sind, das heißt, die verschiedenen Strahlenwege, mit denen ein und derselbe Reflexionspunkt im Untergrund erfaßt wird, müssen genügend unterschiedlich und genügend zahlreich sein. In verschiedenen Gegenden NW-Deutschlands, in denen seit Beginn vorigen Jahres reflexionsseismische Messungen mit präpermischen und speziell devonischen Aufschlußzielen ausgeführt worden sind, hat man daher 24- und 48fache Überdeckung angewandt, gegenüber bisher 6- bis 12facher Überdeckung, wobei die Schußpunkt-Geophon-Entfernungen einen Bereich von 0 bis 5 oder sogar bis 6 km überstrichen. Bei 48facher Überdeckung wurden dafür zwei Apparaturen mit je 48 Spuren eingesetzt.

Wegen der „lebhaften" Salztektonik und der unterschiedlichen alluvialen und diluvialen Ablagerungen auf engem Raum ist in NW-Deutschland der große Schußpunkt-Geophon-Entfernungsbereich noch aus einem anderen Grunde von großem Vorteil, denn gewisse Abschnitte eines tiefen Reflexionshorizontes werden besser durch kleine, andere Abschnitte hingegen durch größere Entfernungen erfaßt. Bei der Datenverarbeitung werden daher auch meist nahe und weite Entfernungsbereiche zunächst getrennt gestapelt.

Beim Stapeln muß bekanntlich dynamisch korrigiert werden. Durch die Erweiterung des Schußpunkt-Geophon-Entfernungsbereiches auf 5 bis 6 km entsteht aber für die Durchführung der dynamischen Korrekturen eine gewisse Schwierigkeit: Die bisher angenommene lineare Beziehung zwischen den Quadraten von Reflexionszeit und Schußpunkt-Geophon-Abstand reicht nun oft nicht mehr aus. Inzwischen wurde aber von unserem Mitarbeiter Houba ein neues Computerprogramm entwickelt, welches das Problem in recht einfacher Weise löst.

Die vor dem Stapeln ebenfalls nötigen statischen Korrekturen sind zeitunabhängige Zeitverschiebungen. Sie sollen Ungleichmäßigkeiten in der Höhe der Erdoberfläche und in der Ausbildung der sog. Verwitterungsschicht bis mindestens zur Tiefe des Grundwassers ausgleichen. Es hat sich nun gezeigt, daß man in weiten Bereichen NW-Deutschlands, in denen die halokinetischen Strukturen besonders engräumig sind, den ganzen Bereich von der Erdoberfläche bis zur Zechsteinbasis evtl. sogar bis zur Rotliegend-Salinarbasis mit in die Berechnung der statischen Korrekturen einbeziehen muß; in der Praxis genügt es allerdings, bis in die obere tiefere Trias zu gehen, da hier die Geschwindigkeiten ziemlich einheitlich werden. Diese erweiterten Korrekturberechnungen, die wir mit „Seismic Stripping" bezeichnen, haben sich in vielen Fällen gut bewährt. Ein Beispiel hierfür ist in dem Beitrag: Th. Krey, „Seismic Stripping", in diesem Heft enthalten.

Bei der zumindest in Südniedersachsen möglicherweise sehr komplizierten Tektonik im Präperm war es wichtig, die erfaßten Reflexionspunkte auch dreidimensional korrekt

Reflection Seismics

In order to improve the results so far yielded by reflection seismics the technical effort in the field had to be intensified, new data processing methods had to be developed and interpretation methods had to be re-considered.

The density- and velocity contrasts generally decrease at greater depths. Therefore the reflection coefficients in the deep Palaeozoic are generally smaller than in the upper layers. Therefore we have to expect numerous strong multiple reflections in the time-range of the Pre-Permian, so that here the desired primary reflections can be made visible only by special methods. As known, the most important suitable method is multiple coverage (CRP). Its effect is based on the fact, that the reflection times of multiple reflections, generally increase faster with increasing shot-geophone distances than those of primary reflections, which are superimposed by those multiples. These differences in the reflection travel-time curves are only big enough at the reflection times involved of 3 s to 5s when the distances between shotpoint and geophone and the degree of coverage are large enough, i. e. the various raypaths involved in the observation of one reflection point in the subsurface have to be sufficiently different and numerous. In some areas in NW-Germany, where reflection seismic surveys with Pre-Permian and especially Devonian exploration aims have been carried out since the beginning of last year, 24- and 48-fold coverage was applied (so far 6- to 12-fold coverage), whereby the shot-geophone distances covered a range of 0 to 5 or even 6 km. Two recording units with 48 traces each were employed for 48-fold coverage.

Because of the "vivid" salt tectonics and the rapidly varying thicknesses of quaternary sediments, the long shot-geophone distances are of great advantage in NW-Germany for yet another reason; certain intervals of a deep reflection horizon can better be observed by small distances, other intervals by larger ones. Therefore narrow and large distance ranges are mostly stacked separately. Before the stacking process, one has to correct dynamically, as is well known. On extending the shot-geophone distances to 5 or 6 km, however, a certain difficulty arises. The linear relation so far assumed between the squares of reflection times and those of shot-geophone distances is now often insufficient. In the meantime however, a new computer program was developed by our Mr. Houba, which solves the problem in a rather easy way.

The static corrections necessary before stacking, are time-independent time-shifts. They are supposed to compensate irregularities in the elevation of the earth's surface and in the character of the so-called weathering layer, at least down to the depth of the ground water.

It appears, that in large areas of NW-Germany, where the halokinetic structures are especially narrow, one has to include the entire range from earth-surface to base of Zechstein, partly even to the Rotliegend-Salinar-base into the calculation of the static corrections, in practice however, it is mostly sufficient to extend corrections only to the Upper or Lower Triassic, because here the velocities become rather uniform. These extended correction-calculations, called "Seismic Stripping" have yielded good results in many cases. An example is given in this report in the article by Th. Krey: "Seismic Stripping" (DIGEST 4, 34–35).

As at least in southern Lower Saxony, the tectonics in the Pre-Permian is probably very complicated it was important

zu lokalisieren. Die Neigung quer zum Profil mußte also zusätzlich sichtbar gemacht werden. Das gelang aufgrund eines von Bortfeld vorgeschlagenen Meß- und Datenverarbeitungsverfahrens. Danach werden die Schußpunkte um regelmäßig oder unregelmäßig sich ändernde Beträge von wenigen 100 m aus der Profiltrasse herausgesetzt. Mittels einer Erweiterung unseres ASP-Programmes können dann die gewünschten Querneigungen laufend berechnet werden. So hat sich zum Beispiel ergeben, daß die tiefen Reflexionshorizonte bei drei und mehr Sekunden (in der Figur in „Seismic Stripping") auch quer zum Profil keine allzustarken Neigungen aufweisen, daß es sich also bei diesen insbesondere nicht um Reflexionen oder Refraktionen von seitlich des Profils liegenden steilen Unstetigkeitsflächen wie Störflächen, Salzstöcken usw handeln kann.

Durch inzwischen erfolgte weitere Verbesserungen der Feldtechnik und vor allem der Datenverarbeitung konnten neuerdings wesentlich bessere Ergebnisse im Präperm erreicht werden als sie das in dem Beitrag „Seismic Stripping" abgedruckte Beispiel zeigt. Die Figur 10 zeigt Präpermreflexionen, die noch vor kurzem als unrealisierbar galten.

Koordination von Reflexions- und Refraktionsseismik

Die Koordination der neueren Reflexionsmessungen mit den früheren Refraktionsmessungen wird noch im einzelnen untersucht. Aber es läßt sich schon jetzt sagen, daß der Verlauf der Reflexionshorizonte überwiegend dem Verlauf der kartierten Refraktionshorizonte entspricht. Lücken, welche die moderne aufwendige Reflexionsseismik offen lassen sollte, könnten also durch Refraktionsmessungen geschlossen werden. Wenn ein Anschluß an ältere Refraktionslinien möglich ist, kann dabei weitgehend mit Streufächern gearbeitet werden. Die Figuren 11 und 12 zeigen das Ergebnis eines solchen Fächers mit und ohne Migration. Offenbar wurde eine wesentliche Störung erfaßt.

to correctly localize the observed reflection points three-dimensionally. Therefore the crossdip, i. e. transverse to the line, had additionally to be made visible. This was accomplished according to a survey- and data processing method suggested by Bortfeld. This implies shifting the shotpoints a few hundred meters out of the line by regularly or irregularly varying amounts. Then by means of an extension of our ASP-package, the desired crossdips can be calculated continuously. Thus it was proved, for example, that the deep reflection horizons at 3 or more seconds (see figure in "Seismic Stripping") do not have too steep crossdips. Therefore these reflections cannot originate from steep discontinuities running more or less parallel to the seismic line, as for instance faultplanes, flanks of saltdomes etc.

Due to further improvements in field techniques and especially in data processing, much better results could be yielded in the Pre-Permian lately than even is shown in the figure of the "Seismic Stripping" article. Figure 10 shows Pre-Permian reflections, which were considered unattainable not so long ago.

Coordination of Reflection- and Refraction Seismics

The coordination of recent reflection surveys with former refraction surveys has still to be examined in detail. However, we can already conclude, that the preponderant reflection horizons correspond well with the mapped refraction horizons. Gaps which might be left by the advanced but expensive new reflection seismic techniques could therefore be filled in by refraction seismics. In case a tie to older refraction lines is possible, fan shooting could preferably be applied. Figures 11 and 12 show the result of such a fan, with and without migration. Obviously, an important fault shows up in the section.

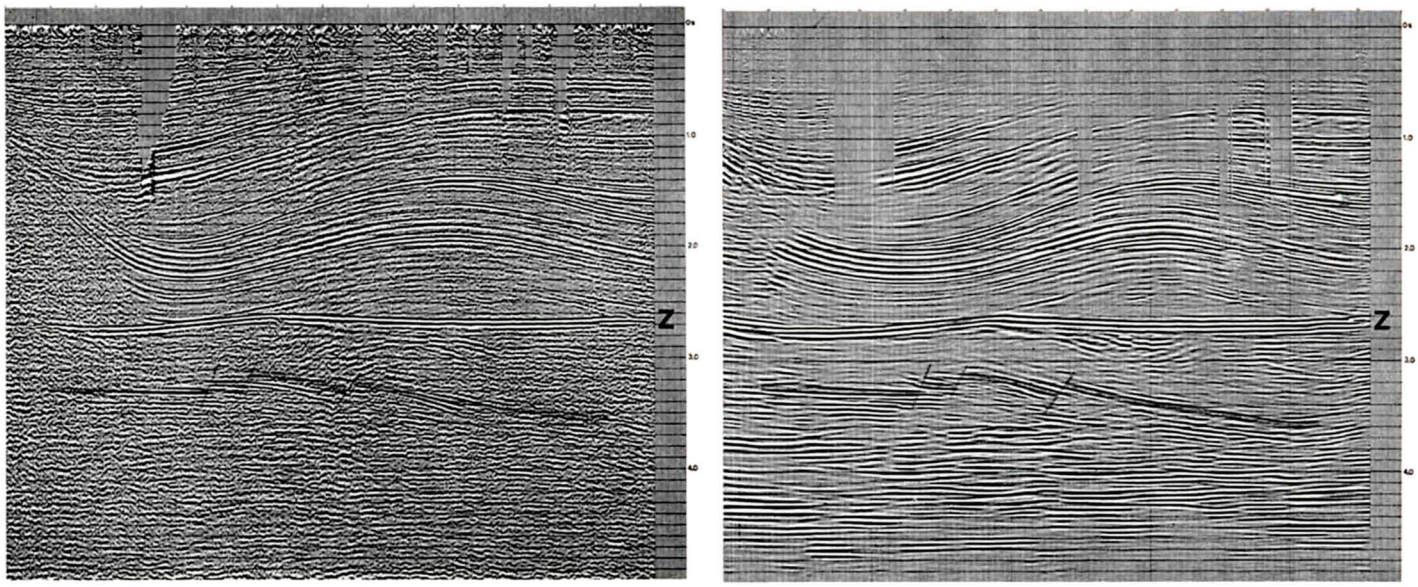
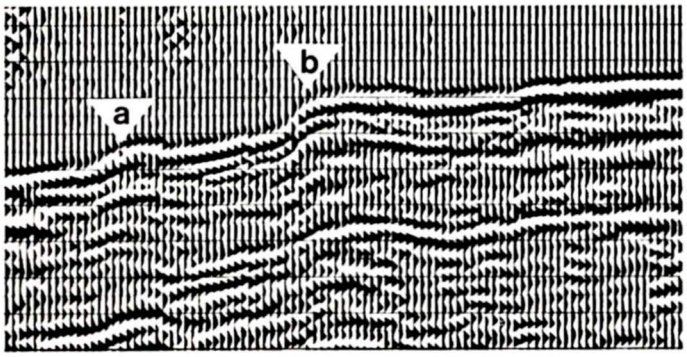


Fig. 10
Mittels neuester Techniken erzielter Präpermhorizont unter der Zechsteinbasis (Z), links ohne — rechts mit Migration dargestellt

Pre-Permian horizon below the Zechstein base achieved by sophisticated techniques, processed on the left without migration — on the right with migration

Neuauswertung

Zu der Zeit, als die kontinuierliche Kartierung der Zechsteinbasis in NW-Deutschland als erstrebenswertes Ziel erschien, wurde eine Auswertung im Präperm kaum versucht oder verlangt. Eine gründliche Neuauswertung der Reflexionsmessungen der letzten 10 Jahre bot sich daher



Die Refraktionseinsätze sind auf die Standardentfernung 30 km korrigiert

Refraktions-Fächerschießen

Fig. 11
Darstellung ohne Migration
Representation without migration

an, um den Präpermbereich zu überprüfen. Drei PRAKLA-SEISMOS-Auswertungsgruppen sind z. Zt. damit beschäftigt.

Große Teile des benutzten Meßmaterials müssen einer erneuten Datenverarbeitung unterzogen werden, schon deshalb, weil die älteren Verarbeitungen oft nicht mehr den jetzt interessierenden Zeitbereich von 3 bis 6 Sekunden erfaßten. Dabei wird versucht, die früher angewandten und für das Präperm ungeeigneten Feldparameter (Entfernungen, Geophonpattern usw.) mit besonderen Datenverarbeitungsmethoden zu kompensieren. Durch den Prozeß LLMA (Long Leg Multiple Attack) oder spezielle Dekonvolutionsverfahren, können multiple Reflexionen oft auch dann noch abgeschwächt werden, wenn die Mehrfachüberdeckung wegen zu geringer maximaler Schußpunkt-Geophon-Entfernungen nicht richtig wirksam wird. Die beiden Figuren 13 und 14 zeigen z. B. die Wirkung des LLMA-Prozesses bei der Auslöschung von multiplen Reflexionen. Erfolge der erneuten Datenverarbeitung sind also vorhanden, aber weitere Fortschritte sind wünschenswert.

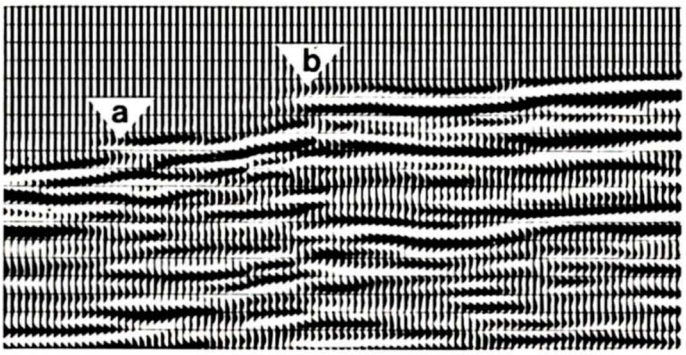
Die Tätigkeit der Auswertungsgruppen hat zu durchaus interessanten — teils sicheren, teil wahrscheinlichen — Kartierungen geführt, besonders dort, wo schon früher recht lange maximale Schußpunkt-Geophon-Entfernungen verwandt worden waren, z. B. 3 bis 4 km, in Einzelfällen bis zu 4,8 km. Diese Auswertungen lehnen sich z. T. an die neuesten, eigens für Präperm angesetzten, Messungen an; auch scheinen sie im allgemeinen den älteren Refraktionsmessungen nicht zu widersprechen.

Schlußfolgerungen

Die geophysikalische Präpermexploration in NW-Deutschland ist sicherlich eine der schwierigsten Aufgaben, die der angewandten Geophysik jemals gestellt worden ist. Man kann aber bereits heute sagen, daß es in verschiedenen Gebieten gelungen ist, in die zu explorierenden Tiefenbereiche vorzustoßen, und zwar auch mit der Reflexions-

Re-Interpretation

At the time when the continuous mapping of the base of Zechstein in NW-Germany became most desirable, an interpretation of the Pre-Permian was hardly tried or wanted. Therefore, a thorough re-interpretation of the last 10 years' reflection surveys is being carried out now by



The refraction events are corrected to standard distances of 30 km

Refraction Fanshooting

Fig. 12
Darstellung mit Migration
Representation with migration

3 PRAKLA-SEISMOS interpretation groups, in order to re-examine the range of the Pre-Permian in the former records. Major parts of these records have to be subjected to new data processing, partly because the former processing did not encompass the time range of 3 to 6 s which is now of interest, partly for other reasons. This new data processing tries to compensate for certain disadvantages of the formerly employed field parameters (distances, geophones patterns etc.) which were not in general optimal for the Pre-Permian. With the LLMA-process (Long-Leg-Multiple Attack) or with special deconvolution methods, multiple reflections can often be attenuated to a reasonable degree when the multifold coverage is not efficient enough, because of too small maximum shot-geophone distances. Figures 13 and 14 show the effectivity of the LLMA-process in extinguishing multiple reflections. The renewed data processing is successful in parts but further progress is desirable.

The activity of the interpretation groups has resulted in rather interesting — partly certain partly probable — mappings, especially in places where rather long maximum shot-geophone distances had formerly been employed, for example 3 to 4 km, in some cases up to 4.8 km. These interpretations can to some extent be successfully tied to the most recent surveys which are especially designed for the Pre-Permian. In general, they also seem to correspond well to the results of the refraction surveys mentioned.

Conclusions

The geophysical exploration of the Pre-Permian in NW-Germany is certainly one of the most difficult tasks which applied geophysics has ever known. Already today we can conclude however, that at least in several areas, reflection seismics successfully penetrated into the desired depth range. This geophysical method can provide the most precise structural information. But one should not forget that other geophysical methods too — mainly refraction seismics — can provide valuable contributions

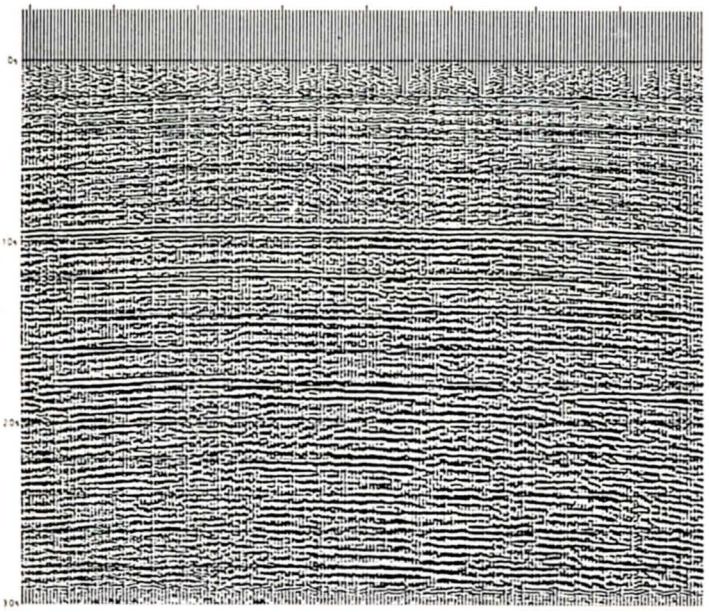


Fig. 13
Seismische Sektion vor Anwendung des LLMA-Prozesses
Seismic section before processing with LLMA

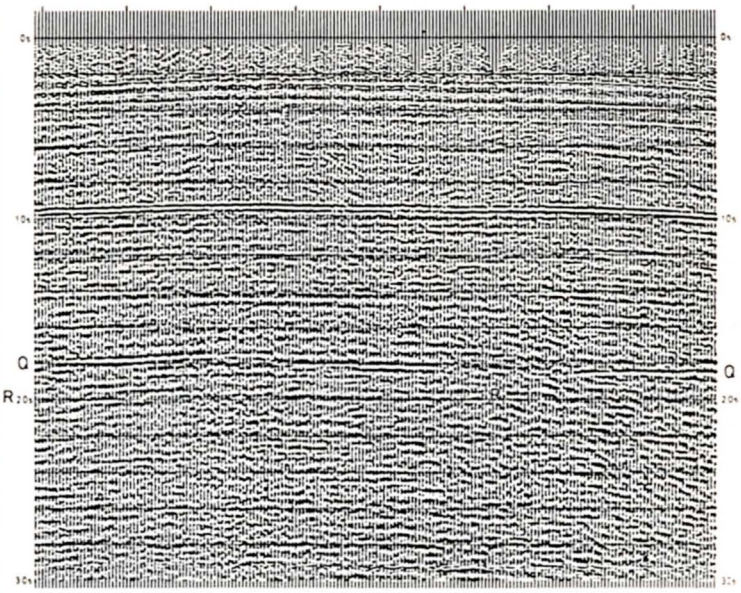


Fig. 14
Seismische Sektion nach Anwendung des LLMA-Prozesses
Seismic section after processing with LLMA

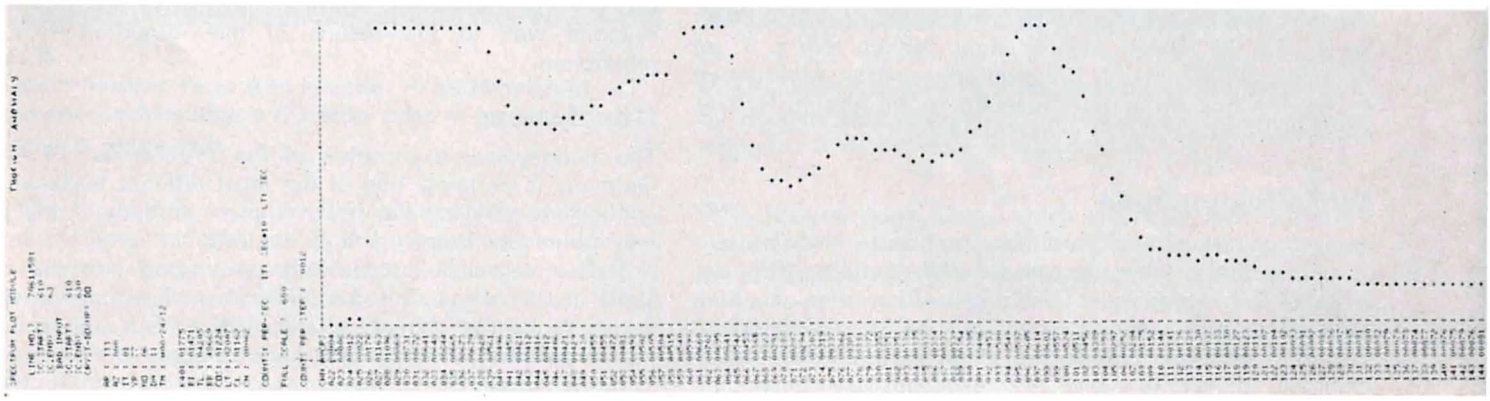
seismik, die uns die genauesten strukturellen Erkenntnisse zu liefern vermag. Daneben darf nicht vergessen werden, daß auch andere geophysikalische Methoden, insbesondere die Refraktionsseismik, wertvolle Beiträge liefern können, besonders da wir nicht wissen, ob der Reflexionsseismik der Durchbruch zum Präperm schon überall gelungen ist.

Vor wenigen Jahren noch war die Kartierung der Zechsteinbasis ein Problem, das inzwischen längst gelöst worden ist. Die neuesten sehr guten Ergebnisse in der Reflexionsseismik lassen hoffen, daß auch die einwandfreie Kartierung des Präperm in absehbarer Zeit — wenn auch mit großem technischen Aufwand — fast allgemein erreicht werden kann. ■

especially as we do not know whether the reflection seismic break-through to the Pre-Permian will be achievable everywhere.

Only some years ago the mapping of the base of Zechstein had been a big problem. It was solved in the meantime. The latest very good results in reflection seismics let us hope that we will be able to achieve a reliable mapping of the Pre-Permian as well, at least in most parts of NW-Germany. ■

The survey described in the following article became, in the end, a case history in an entirely unexpected sense: by 1979 the growing unrest in Iran made it impossible to continue the survey.



Uranprospektion durch Aerogeophysik

Dr. D. Boie

Mit der zunehmenden Nachfrage nach Natururan als Rohstoff für die Kernkraftwerke zeichnet sich in aller Welt ein Boom in der Prospektion auf Uran ab. Viele tausend Prospektoren in aller Welt versuchen mehr oder weniger systematisch mit einfachen Geigerzählern oder Scintillometern, sowie mit Bodenproben-Entnahmen mittels Spaten ihr Glück. Diese Art der Prospektion ist allerdings nicht sehr wirkungsvoll, da Einzelmessungen am Boden lediglich für ein paar Meter Umkreis repräsentativ sind und weil meist schon geringe Änderungen der Bodenbedeckung und der Vegetation die gesuchten Uran-Indikationen verschleiern.

Bei der Uransuche hat die Aerogeophysik – anders als in der Prospektion auf Kohlenwasserstoffe, bei der sie nur grobe indirekte Beiträge liefern kann – **die Chance,** wie in der Erzprospektion **als direkte Prospektionsmethode verstärkt eingesetzt zu werden.** Bei Flughöhen um 100 Meter über Grund überdeckt eine Einzelmessung (als Indikator dient die natürliche Gammastrahlung) bereits eine Kreisfläche von 100 Metern Durchmesser. Außerdem wird bei einer Meßfolge von einer Sekunde und einer Fluggeschwindigkeit von 50 m/s schon eine volle Doppelüberdeckung erzielt, so daß insgesamt ein flächenhaftes Auflösungsvermögen von 25 m erreicht wird.

Wegen der auf einem Profil praktisch kontinuierlichen Messung kann bei der Flugscintillometrie außerdem eindeutig zwischen regionalen – das heißt von Oberflächengeologie und Vegetation verursachten und lokalen – also radioaktiven – Anomalien unterschieden werden.

Die Prospektionstiefe ist mit maximal 100 Metern nicht sehr groß. Der Grund: die Meßwerte werden durch das Luftpaket nach 100 Metern, durch den Erdboden aber bereits nach 10 Metern (besonders bei humidem Klima und starker Vegetation) halbiert.

Die Geräteentwicklung hat insbesondere in Kanada in den letzten Jahren wesentliche Fortschritte gebracht. Durch die Erfindung eines neuen Herstellungsverfahrens für die Natrium-Jodid-Kristalle (die auftretenden Gammapartikel

Prospecting for Uranium by Aerogeophysics

With the increasing demand for natural uranium as a raw material for nuclear power plants, a worldwide boom in prospecting for uranium is taking place. Many thousands of prospectors all over the world are searching, more or less systematically, with simple Geiger counters, or scintillometers, with sampling by geochemics or only digging. Unfortunately, firstly, a single probe or reading on ground is only representative for a few meters surrounding, and secondly, a moderate variation in overburden and of vegetation already mask the desired indication of uranium.

Here, aerogeophysics (contrary to oil prospecting where it can only yield gross and indirect evidence) **has the chance,** as in mineral prospecting, **to be involved increasingly as a direct tool.** At ground clearances of 100 m a single record of the natural gamma rays, which serve as the indicator, represents already a ground size of 100 m diameter. Consequently, a sample interval of one second at a flight speed of 50 m/s provides double the coverage, in other words, a horizontal resolution of 25 m is achieved.

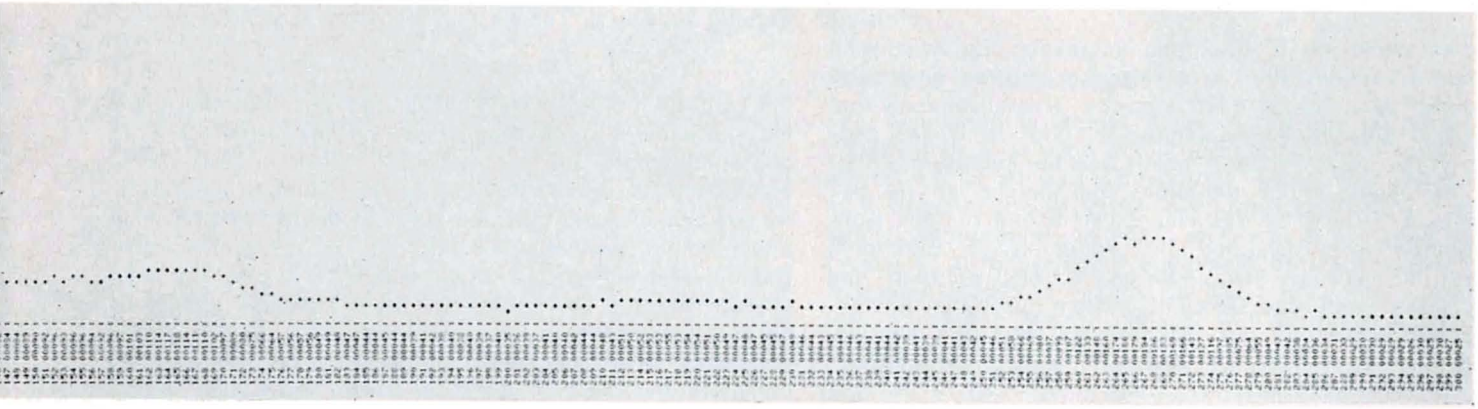
Furthermore, because of the quasi-continuous recording along the survey line, airborne scintillometry can definitely distinguish between regional (caused by overburden and vegetation) and local (radioactive) anomalies.

The depth of investigation with a maximum of 100 m is not very great. Although the screening effect of the air package beneath the plane is not very important (50% of count rate after 100 m) that of the soil is very strong (50% of count rate after only 10 m), especially with a humid climate and dense vegetation.

The development of advanced equipment, especially in Canada, has recently brought an outstanding progress: firstly, by the invention of a new kind of manufacturing

Über 20 s gemitteltes Spektrogramm der natürlichen Gammastrahlung im Bereich von 0,22 bis 3,00 MeV, geschrieben vom Bedienungsterminal der McPhar/PRAKLA-SEISMOS Apparatur

Spectrogram of the natural gamma rays, range 0.22 to 3.00 MeV, average over 20 s, written by the McPhar/PRAKLA-SEISMOS system's terminal



Die bei den Messungen eingesetzte „Luftflotte" (zwei Hochleistungs-Hubschrauber BRISTOW Bell 212 für Gipfelhöhen über 5000 m und der Aero Commander 680 der HANSA LUFTBILD) auf dem Flugplatz Hannover vor dem Abflug nach dem IRAN

The "survey-air fleet" (two high-performance helicopters BRISTOW Bell 212 with max. ceiling of 5000 m and the Aero Commander 680 of HANSA LUFTBILD) at the airport Hannover before their departure to IRAN

Neu konstruierter Helicopter-Stachel, der den Magnetometersensor trägt, mit dem erstmalig in einem Hubschrauber die Kompensation des magnetischen Flugzeugstörfeldes auf 1 nT (ein Milliardstel Tesla-Einheit der magnetischen Induktion) gelang

Newly constructed helicopter-stinger with magnetometer sensor, by which for the first time the precise compensation of the helicopter's own magnetic disturbing field down to 1 nT was achieved

Unterzeichnung des Meßauftrages in Teheran
Signing session in Tehran

werden durch sie in Photonen umgesetzt, die wiederum in Photo-Vervielfachern in elektrische Impulse umgesetzt werden) kann etwa das doppelte Kristallvolumen bei gleichem Gesamtgewicht eingesetzt und damit das doppelte Auflösungsvermögen erzielt werden. Außerdem bringt die Einführung einer digitalen Vielkanalanalyse (je 512 Kanäle à 10 keV für das Hauptsystem und für das Kontrollsystem) die Sicherheit, bei Versagen der Elektronik keine Informationen zu verlieren. Bereits während des Meßfluges kann das Gesamtspektrum der Gammastrahlung betrachtet und auf Magnetband registriert werden. Früher war dies erst nach Beschaffung einer Bodenprobe im Labor möglich.

the Natrium-Iodide-Cristals (which convert the hitting gamma particles into photons which on the other hand in photo-multipliers are converted into electrical pulses) enable the use of the double crystal volume compared to former crystals, and consequently the double resolution at equal weight. Secondly, the introduction of a digital multichannel-analyser (each 512 channels of 10 keV for the main system and for the control monitor) promises safely recorded data even at electronic mal-adjustment and the possibility of real time watching and tape recording of the complete gamma ray spectrum during the survey flight,

In der Kombination mit Zusatzsensoren für die Geophysik wie Magnetometer, Thermometer, Barometer und für die Navigation wie Dopplernavigator, Höhenmesser, 35 mm Flugwegkamera ist heute ein computer-gestütztes, sich selbst kontrollierendes Meß-System vorhanden, das in Hubschrauber und Festflügelflugzeuge eingebaut ist und unabhängig von örtlichen Navigationshilfen über unwegsamem Dschungel wie im Hochgebirge wirtschaftlich operieren kann. Es erforderte Investitionen von mehreren Millionen DM, die bereits einen ersten Erfolg zeitigten: die „Staatliche Atomenergie-Organisation" des IRAN erteilte uns einen **Großauftrag über die Vermessung von 400 000 Profilkilometern.** Das Bild auf dieser Seite zeigt Dr. Arabian mit seiner iranischen Begleitung sowie Dr. D. Boie und H. Henning von der PRAKLA-SEISMOS bei der Unterzeichnung des Meß-Vertrages am 15. September 1976 in Teheran.

Dieser Einzelauftrag ist der finanziell bisher bedeutendste in der Geschichte unserer Gesellschaft. Die Messungen wurden im Juni 1977 begonnen; sie werden innerhalb von zwei Jahren abgewickelt werden.

which formerly was only possible after analysis of a test sample in the laboratory.

With the joint application of additional sensors such as magnetometer, thermometer, barometer, and for navigation with a Doppler navigator, radar altimeter and a 35 mm tracking camera, today, a computer-guided, selfcontrolling survey system is available, installed in high-performance helicopters and fixed-wing planes, self navigating for economical operations over jungles as well as over rough terrain and high mountains.

For this system an investment of several million DM was necessary by our company. A first success was a **contract for 400 000 line-kilometers** by the "Atomic Energy Organization of IRAN". The snapshot on this page shows Dr. Arabian with companions from AEO, IRAN and Dr. D. Boie and H. Henning from PRAKLA-SEISMOS at the signing session in Tehran, Sept. 15, 76.

This largest single-contract in the history of PRAKLA-SEISMOS, means two years' work for 50 geophysicists, engineers, data men, pilots and navigators.

Report 3/1977

LANDSAT

ein Satellitensystem zur Erderkundung

Dr. H. Chr. Bachem

Seit dem Start von LANDSAT 1 im Jahre 1972 hat sich eine große Fülle von Anwendungsmöglichkeiten für die Aufnahmen dieses unbemannten Satelliten ergeben. Obwohl das LANDSAT-System für amerikanische Verhältnisse mit den vergleichsweise großen Landnutzungseinheiten und den stabilen, kontinentalen Wetterverhältnissen konzipiert wurde, ist es auch für den wesentlich feiner gegliederten mitteleuropäischen Raum mit seinen wechselnden Wetterverhältnissen von mehr als rein wissenschaftlichem Nutzen.

Wie funktioniert LANDSAT?

Der Erderkundungssatellit LANDSAT 1 (zunächst ERTS = **E**arth **R**esources **T**echnology **S**atellite genannt, später umbenannt, da auch ein ozeanographisches Satelliten-Programm geplant ist), wurde am 23. 6. 1972 gestartet. Im Januar 1975 folgte LANDSAT 2, der mit LANDSAT 1 technisch identisch ist. Der Start von LANDSAT C, der auch Wärmebilder erzeugen kann, ist für Anfang 1978 geplant; er wird dann den Namen LANDSAT 3 tragen.

LANDSAT umfliegt die Erde in etwa 915 km Höhe auf einer sonnensynchronen, nahezu polaren Umlaufbahn. Er überquert nach jeweils 18 Tagen denselben Geländeabschnitt zu derselben Tageszeit — in Deutschland zwischen 10.30 und 11.00 Uhr MEZ. Die Aufnahmen entstehen somit unter etwa gleichen Beleuchtungsverhältnissen. Das Sonnenazimut bleibt also konstant, nur die Sonnenhöhe ändert sich mit der Jahreszeit.

LANDSAT — a Remote Sensing System

Since the launching of the unmanned satellite LANDSAT 1 in 1972 a great number of applications have been found for the photographic data transmitted back to Earth. Although the LANDSAT system was concieved for american conditions with comparitively large land-use units and stable continental weather conditions it is also of more than purely scientific use in Central Europe with its variable weather conditions and its finer geographical divisions.

How does LANDSAT work?

The experimental remote sensing satellite LANDSAT 1 was launched on June 23th, 1972. It had been originally named ERTS = **E**arth **R**esources **T**echnology **S**atellite,, later changed to LANDSAT in contrast to Seasat, a planned oceanographic satellite mission. In January 1975, LANDSAT 2 followed the equipment of which is identical to that of LANDSAT 1. LANDSAT C, additionally equipped with a thermal infrared channel, will be launched at the beginning of 1978.

The LANDSAT orbit is sun synchronous and nearly polar

Die Bahn von LANDSAT 2 ist so orientiert, daß er ursprünglich 9 – nach einer Korrektur – 6 Tage nach LANDSAT 1 denselben Geländestreifen überfliegt. Die noch verbleibende „Lücke" soll LANDSAT 3 schließen, so daß dann ein Aufnahmezyklus von 6 Tagen erreicht sein wird, falls LANDSAT 1 bis dahin funktionsfähig bleibt.

Der Satellit ist zur Orientierung der Aufnahmegeräte mit einem Stabilisierungssystem ausgerüstet. Die Aufnahmegeräte sind:

- ein Fernsehsystem (Return Beam Vidicon = RBV), bestehend aus 3 Kameras, die in verschiedenen Spektralkanälen arbeiten,

und

- ein 4-Kanal Multispektralscanner (MSS), der die Erdoberfläche quer zur Flugrichtung zeilenweise im Wellenlängenbereich von 0,5 bis 1,1 µm (grün bis nahes Infrarot) abtastet.

Das RBV-System war bei LANDSAT 1 nach kurzer Zeit technisch gestört und entsprach hinsichtlich der Qualität nicht den Erwartungen. Es hat daher kaum Bedeutung erlangt. Dagegen hat der MSS alle Erwartungen übertroffen.

Der Scanner von LANDSAT 1 arbeitet seit mehr als 5 Jahren nahezu störungsfrei. Er tastet die Erdoberfläche orthogonal zur Flugrichtung zeilenweise ab. Ein mit 13,62 Hertz um ± 2,89° schwingender Spiegel lenkt die Strahlung auf ein Feld von 24 Halbleitersensoren (6 für jeden Spektralkanal, 4 Spektralkanäle), so daß mit jedem Spiegelschwenk gleichzeitig 6 Zeilen in 4 Spektralkanälen aufgezeichnet werden (s. Fig. 1). Jede Zeile ist 185 km lang und 79 m breit. Sie wird elektronisch in 3200 Bildelemente (Picture Element = „Pixel" – amerik. Kurzform) zerlegt.

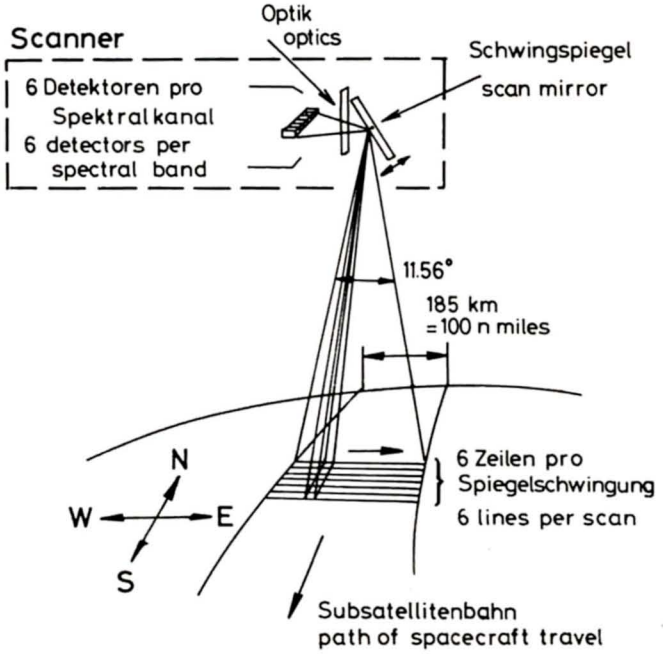


Fig. 1
Prinzip des Multispektral-Scanners
Principle of the multispectral scanner

Die Aufnahmen erfolgen in einem kontinuierlichen Streifen von 185 km Breite von Nord nach Süd. Dabei werden die Daten entweder direkt zu einer Bodenstation übertragen oder – wenn der Satellit sich außerhalb ihres Empfangsbereiches befindet – auf einem Magnetband zwischengespeichert. Gleichartige Magnetbänder mit einer sehr hohen Packungsdichte (10 Kbit/inch) werden auch in den Bodenstationen verwendet. Die Standard-Datenverarbeitung geschieht analog oder digital.

Um die großen Datenmengen manipulierbar zu machen, teilt man den kontinuierlichen Flugstreifen in etwa gleich-

oriented. Its mean altitude above the earth's surface is 915 km. Every 18 days it covers the same area at the same hour of the day – in Germany between 10h30m and 11h CET – so that all images of an individual area have similar lighting conditions. Since the sun's azimuth remains constant, only the sun's altitude varies seasonally.

The orbit of LANDSAT 2 was trimmed in such a manner that it passed originally 9, after orbit correction 6 days after LANDSAT 1 the same strip of ground. The remaining "gap" will be closed by LANDSAT 3 thus achieving a sequence of 6 days.

The satellite is equipped with an attitude control subsystem to provide the orientation of the camera system. The LANDSAT payload includes:

- a Return Beam Vidicon (RBV) Camera System, which contains three individual cameras which operate in three different spectral bands,

and

- a 4-band Multispectral Scanner (MSS), detecting the radiation in the range from 0.5 to 1.1 µm (green to near infrared).

After only a short time technical troubles arose in the RBV system leading to photos of unsatisfactory quality. Thus the RBV-system has never been of great importance. On the other hand, the MSS-system exceeded all expectations. For more than 5 years the LANDSAT 1 scanner has operated nearly without interruption. It scans the earth's surface crosstrack to the orbit. The incident radiation from the earth is reflected by the scan mirror, which oscillates at 13.62 Hertz and is directed to the detector array, consisting of 6 detectors for each of the four spectral bands (see fig. 1). In one mirror oscillation 6 lines in 4 spectral bands are recorded simultaneously. The length of each line is 185 km (100 nautical miles), its width 79 m. The lines are subdivided into 3200 picture elements (pixels), which cover 58 x 79 m each. During the spacecraft's travel from north to south a continuous strip of 185 km east-west extension is recorded.

When passing over one of the ground stations, the satellite transfers the data directly to the ground in real time. If there is no ground station within the reception area, the data are stored on a built-in magnetic tape with very high packing density of 10 Kbit per inch (high density digital tape = HDDT). The standard processing of the data is available in analog or digital form.

In order to get easily processable data, the continuous strip is subdivided in equilateral "scenes". Each scene is a parallelogram containing 2340 lines with 3200 pixels and covers an area of 185 x 185 km. All 4 bands of the scenes recorded are plotted by an Electron Beam Recorder (EBR) onto 70 mm-film as standard. Optionally they can be enlarged on black and white film or paper, negative or positive. Colour composites of three bands are on sale for anyone.

An important disadvantage of these photographically processed images is the fact that a large amount of the original information on the HDDT is lost. The data can, however, be decoded and transferred without any loss of information onto Computer Compatible Tapes (CCT). For the radiation intensity – the grey level of each pixel – one 8-bit-word is used.

In order to reduce data for storage in the computer, the scenes are subdivided into four strips in flight direction. Each of the four strips consists of 2340 lines x 800 pixels. The data of one scene are normally stored on two standard CCT's.

PRAKLA-SEISMOS Image Processing

For some years PRAKLA-SEISMOS has carried out satellite photo processing using the above mentioned CCT's.

seitige „Szenen" ein. Jede Szene ist somit ein Parallelogramm, das 2340 Zeilen zu je 3200 Pixel (185 x 185 km) enthält. Von jeder aufgenommenen Szene werden mit Hilfe eines „Electron Beam Recorders" (EBR) Bilder auf einem 70 mm-Film erzeugt; sie können vergrößert und zu Farbbildern zusammengesetzt werden, die jedermann bei der NASA kaufen kann.

Diese rein photographisch verarbeiteten Bilder haben jedoch den Nachteil, daß der Informationsgehalt der Aufnahmen bei weitem nicht ausgenutzt wird. Um alle vorhandenen Informationen verwerten zu können, werden die Daten auf Computer-compatible Magnetbänder (CCT) umgesetzt. Für die Strahlungsintensität jedes Pixels, d. h. für den Grauton im Bild, steht ein 8-bit-Wort zur Verfügung. Zur besseren Manipulierbarkeit der Daten wird jede Szene

Planning agencies and exploration companies are among our clients. They make use of the photos for a wide range of purposes, from environmental planning to geological mapping. Such applications will be the subject of a further report in this periodical.

Our processing is based on the plotter PRAKLA-SEISMOS KPU with an integrated PDP 11-Mini-Computer. The KPU is a drum plotter on the rotating drum of which a photographic film or paper with a maximum size of 1 x1 m can be mounted. The photographic material is exposed by a cathode ray tube (CRT), which is mounted on a spindle-driven carriage. The CRT and the spindle carriage are program-controlled by the PDP 11/34 computer. Several types of data presentation can be selected. For the display of satellite photos "variable

---

Die nebenstehende Abbildung ist ein Ausschnitt der LANDSAT-Szene 1076-09440, welche wir für einen unserer Auftraggeber im vergangenen Jahr abgespielt haben. Die Aufnahme erfolgte am 7. 10. 1972 durch LANDSAT 1.

Der Ausschnitt ist im Originalmaßstab der KPU-Abspielung 1:200 000 wiedergegeben. Da die langwelligere IR-Strahlung die Atmosphäre besser durchdringt, war der Kanal MSS 7 gewählt worden.

Wasserflächen treten, da sie die Nahinfrarot-Strahlung fast völlig absorbieren, schwarz in Erscheinung. Feuchte Böden, Wälder und Städte sind dunkelgrau, Freiland meist hell bis dunkel, je nach der Bodenfeuchtigkeit.

Da die Sonne wegen des Aufnahmedatums verhältnismäßig tief im Süd-Südosten steht — die Sonnenhöhe beträgt nur 33° — werden besonders die SW-NO verlaufenden Gebirgszüge durch Schlagschattenbildung hervorgehoben (Alpstein Massiv mit Säntis und Altmann, Vorgebirge östlich St. Gallen).

Der Betrachter, der oft mit topographischen Karten arbeitet, wird vielleicht im ersten Moment Berge und Täler miteinander verwechseln, weil der Kartograph sich beim Anfertigen der Schummerung (Schattieren der Berge) die Sonne im Nordwesten vorstellt. Das „Problem" wird leicht behoben, wenn man das Bild um 180° dreht und so nach Süden blickt.

Die Rheinebene hebt sich deutlich durch gleichmäßigere Grautöne und durch fehlende Schatten vom Gebirge ab. Linienelemente sind entweder Wasserläufe oder Straßen und Eisenbahnen. Daß sie auch dann noch sichtbar sind, wenn ihre Breite das Auflösungsvermögen des Scanners (80 m) weit unterschreitet, läßt sich mit dem großen Kontrast zu ihrer Umgebung erklären.

Die im Deckblatt eingetragenen Bezeichnungen sollen nur zur Orientierung dienen. Die durch den Pfeil angezeigte Nordrichtung ist um etwa 15° nach links verschwenkt.

Petrographische und großtektonische Grenzen sind zum Teil recht gut, wenn auch nicht in allen Teilen des Fotos zu erkennen. Zur genaueren Einordnung sind geologische Karten nötig.

Durch den Sonnenstand im Süd-Südosten bedingt, tritt das Helvetikum des Säntis besonders markant hervor. Das trifft auch für die nördlich anschließende Faltenmolasse zu. In der rechten unteren Ecke der Abbildung ist das tektonisch höchste Element in diesem Gebiet, die Stirnseite der nördlichen Kalkalpen (Oberostalpen) deutlich zu sehen.

Bei genauem Studium können auch kleinere geologische Bereiche deutlich beobachtet werden, z. B. die Kreide-Zonen helvetischer Ausbildung, welche sich wie Inseln aus den Alluvionen des Rheintales herausheben.

Wasserbautechnische Maßnahmen wie z. B. die Rheinbegradigung südlich von Lustenau sind klar erkennbar. Der alte Rheinarm ist wohl kaum zu übersehen.

The opposite illustration shows a section of the LANDSAT-scene 1076-09440, which we processed for one of our clients. The scene was recorded by LANDSAT 1 on October 7, 1972.

The section is reproduced in the original scale of the KPU-processed negative, 1:200 000. As the near infrared radiation penetrates the atmosphere better the spectral band MSS 7 was used.

Surfaces of water, which nearly absorb the whole near infrared radiation, appear black. Humid areas, forests and built up areas are reproduced in dark grey tones, whereas open areas are shown in light tones, their grey value increasing with the humidity.

As the sun stands south-south-east and the sun elevation is only 33° (because of the recording date), the chains of mountains which run from southwest to northeast are enhanced by their shadows (e. g. Säntis and Altmann, foothils east of St. Gallen).

Someone, who often uses topographic maps, may mistake the mountains for valleys. The reason is that the shading of mountains in the maps is prepared by placing an imaginary sun in the northwest. The "problem" can be easily solved by turning the illustration through 180 degrees so that one looks to the south.

The plains of the Rhine valley set off to the mountains by smoothed grey tones and, of course, by the lack of shadows. Linear elements are water courses, or roads and railways. They are even detectable when their width falls below the resolution power of the scanner (80 m) when there is a considerable contrast to the neighbouring surfaces.

The names of the places on the overlay serve for the reader's orientation. The direction north is turned about 15 dregrees to the left.

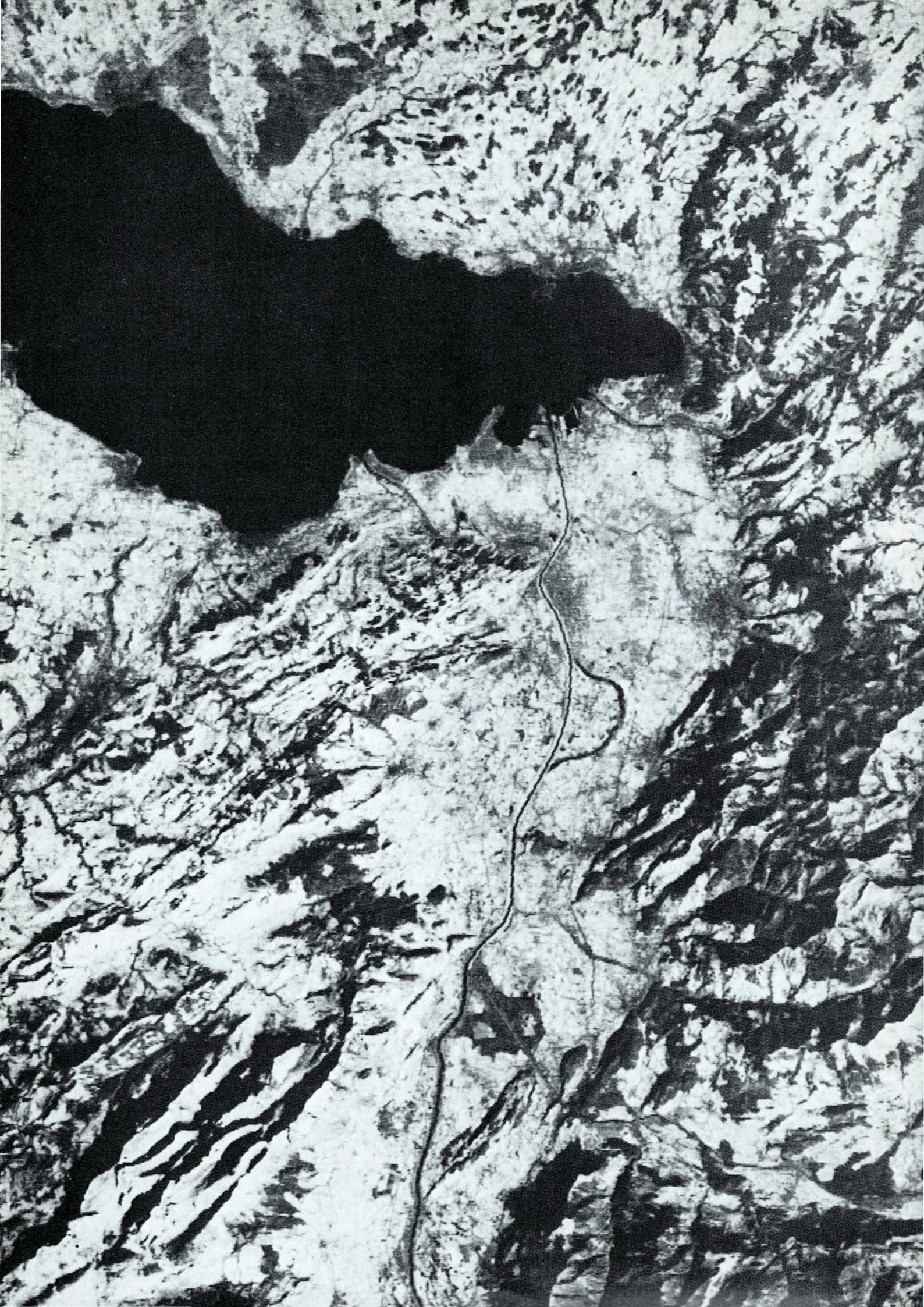
Petrographic and major tectonic boundaries are not equally well represented in all parts of the photo, and other aids, such as geological maps are sometimes necessary for their recognition.

Because of the sun's position in the south-south-east, the Helvetian Stage of the "Säntis" is especially noticeable, as is the Folded Molasse which adjoins it to the north.

In the bottom right corner of the photo the highest tectonic element in this area, the front of the High Calcareous Alps, can be clearly seen.

With more detailed study smaller geological regions can also be clearly observed e. g. the Chalk Zones of the Helvetian Stage which appear like islands in the Alluvian of the Rhein Graben.

Flood protection measures are also indicated, an example being the straightening of the Rhein south of Lustenau. The old course of the Rhein can be clearly noticed too.



FRIEDRICHSHAFEN
UNGEFALTETE MOLASSE
Langenargen
N
Lindau
Bodensee
BREGENZ
SUPALPINE FALTEN-MOLASSE
Arbon
UNGEFALTETE MOLASSE
Rorschach
Lustenau
DORNBIRN
ST. GALLEN
SUBALPINE FALTENMOLASSE
Altstätten
Rhein
ALLUVIUM
HELVETIKUM
Appenzell
HELVETIKUM
Feldkirch
Säntis
Altmann
KREIDEFLYSCH
Alpstein
TERTIÄRER FLYSCH
N-KALKALPEN (OBEROSTALPIN)

in 4 Streifen in Flugrichtung aufgeteilt, jeder Streifen enthält dann 800 x 2340 pixel. Je 2 Streifen werden auf ein Standard-CCT umgespielt.

Bildverarbeitung bei PRAKLA-SEISMOS

Seit mehreren Jahren werden bei PRAKLA-SEISMOS magnetbandgespeicherte Satellitenaufnahmen zu Bildern verarbeitet. Zu unserem Kundenkreis zählen u. a. Planungsbehörden und Explorationsfirmen. Sie verwenden die Bilder für Zwecke der großräumigen Siedlungs- und Grünplanung und als Informationsquelle für geologische Kartierungen. Über derartige Anwendungen wird demnächst berichtet werden.

Die Bildverarbeitung in unserem Hause stützt sich auf den Plotter PRAKLA-SEISMOS KPU mit integriertem Kleinrechner PDP. Der KPU ist ein Trommelplotter (wir haben im Report 2/73 darüber berichtet), auf dessen rotierende Trommel Film oder Fotopapier von maximal 1 x 1 m Größe aufgespannt wird. Das Fotomaterial wird mit einem Kathodenstrahlrohr (CRT) beschriftet, das auf einem spindelgesteuerten Schlitten montiert ist. Dieses Kathodenstrahlrohr und der Spindelmotor werden durch den Rechner PDP 11/34 über Programme gesteuert. Das CRT vermag in mehreren seismischen Schriftarten zu schreiben. Für die Bildausgabe wird die Dichteschrift verwendet: Die Bildzeilen können in mehreren Spurbreiten (0,1; 0,2; 0,4; 0,8 . . . 3,2 mm) mit variablem Grauwert wiedergegeben werden. Entsprechend der Spurbreite wird die Spurlänge gewählt, um einen homogenen Bildmaßstab zu erreichen. Danach ergeben sich Maßstäbe von 1:800 000 bis 1:25 000.

Es ist jedoch nur in Ausnahmefällen sinnvoll, Bilder in Maßstäben größer als 1:200 000 darzustellen (z. B. als Deckblätter vorgegebener topographischer Karten), da bei zu großen Pixeln das Bild „zerfällt". Der Maßstab 1:200 000 hat sich für die meisten Fälle als der günstigste erwiesen: die geometrische Auflösung kann voll ausgeschöpft und eine ganze Szene kann noch auf einem Blatt wiedergegeben werden.

Da sich während des Aufnahmevorgangs die Erde unter der Satellitenbahn nach Osten dreht, beginnen aufeinanderfolgende Bildzeilen jeweils weiter im Westen. Dieser Effekt wird im Plotterprogramm berücksichtigt. In den LANDSAT-Bildern stehen die seitlichen Bildränder also nicht rechtwinklig auf der Zeilenrichtung, sondern sind in unseren Breiten um etwa 2–3° geneigt. Durch Berücksichtigung dieses Effekts erreicht man eine einfache Entzerrung, die jedoch bereits zu einer Maßstabsgenauigkeit von besser als 1% führt.

Bei der einfachen Bildausgabe der einzelnen Spektralkanäle wird die Grauwertverteilung optimiert. Zunächst wird ein „Histogramm" (s. Fig. 2) ermittelt. Dann wird entsprechend der Grauwertverteilung eine optimale Übertragungsfunktion gewählt oder empirisch bestimmt, die den Bildinhalt, das verwendete Fotomaterial und die Kenngrößen des Kathodenstrahlrohrs berücksichtigt.

Wir haben auf Seite 4 eine besonders interessante Satellitenaufnahme abgebildet, die unser Plotter KPU „gezeichnet" hat und die durch das transparente Deckblatt geographisch und geologisch „eingeordnet" wird. Für den Rücktitel fehlt eine derartige Orientierungshilfe. Wir wollten dem Betrachter den Spaß nicht verderben, ohne Hilfe markante Punkte in einer ihm mehr oder weniger vertrauten „Landschaft" auszumachen.

density" is used. The scans can be reproduced as traces with a witdth of 0,1 – 0,2 – 0,4 . . . 3,2 mm with variable grey level. According to the trace width, the trace length can be selected in such a manner that a homogeneous image scale is obtained. The scales of LANDSAT-photos resp. sections are between 1:800 000 and 1:25 000.

Normally it is of no use displaying photos in a scale larger than 1:200 000 (0,4 mm trace width) except as overlays for topographic maps, for the image "falls to pieces" when the pixels are too large.

The scale 1:200 000 is advantageous in the most cases, for there is no loss in the geometric resolution and a complete scene can be presented on one film sheet.

During the spacecraft's travel the earth moves eastwards. So consecutive scan lines each begin further to the west and the left and right sides are not at right angles to the scans. This typical LANDSAT effect causes an inclination of 2 to 3 degrees in the latitude of Central Europe. Taking this effect into account by shifting consecutive traces the scale accuracy is better than 1%.

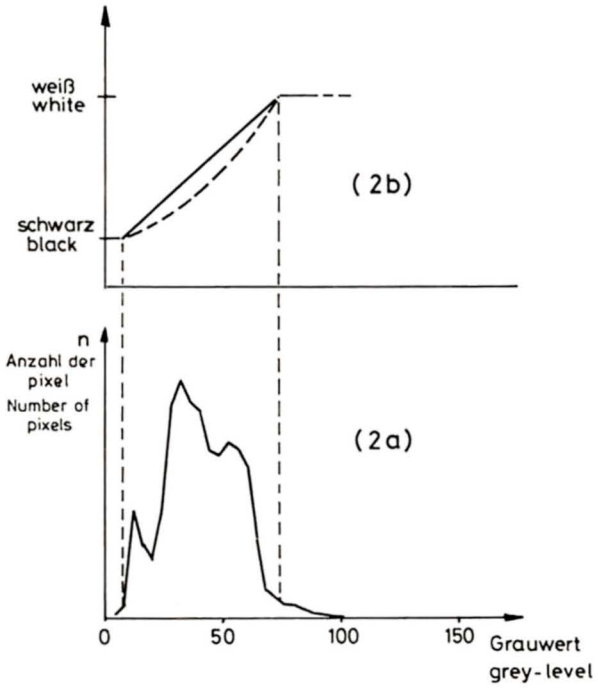


Fig. 2a
Histogram der Grauwertverteilung eines LANDSAT-Kanals

Histogram showing the grey values of one LANDSAT channel

Fig. 2b
Zwei Beispiele für eine dem Histogramm angepaßte Übertragungsfunktion

Two examples of transfer functions relating to the histogram

For simple image presentation of the different spectral bands the grey-level distribution of the data must be accommodated to the plotter-hardware. As first step a "histogram" of the grey levels in the scene or scene section concerned is calculated (see fig. 2). Then a transfer function is either selected or determined empirically, which takes into account the "content" of the photo, the properties of the used photographic material, and the characteristic of the cathode ray tube.

THERME BAD RADKERSBURG

Geschichtliche Entwicklung

Matyas Weigl, *der Verfasser des folgenden Beitrages, hat zunächst in Ödenburg (Ungarn) vier Semester Vermessungswesen studiert. Nach seinem Umzug in die Bundesrepublik i. J. 1956 studierte er in Hannover Geologie. Er unterbrach sein Studium öfters um bei PRAKLA zu praktizieren, u. a. in der Aero-Geophysik, in der Gravimetrie und im Datenzentrum. 1969 schloß er sein Studium mit dem Diplom ab und trat in die Dienste der PRAKLA. Er war seitdem ununterbrochen in der Geoelektrik tätig und übernahm, vor etwa fünf Jahren, die Leitung der Geoelektrischen Abteilung.*

M. Weigl

Es gab eine Zeit, in der Radkersburg nur ein schlichtes „Bad" war und dieses Prädikat einem aus 270 m Tiefe geförderten kohlensäurehaltigen Wasser verdankte, das sich unter dem Namen „Long Life" verkaufen ließ. Heute besitzt Bad Radkersburg in der Steiermark eine 80 °C heiße Therme und außerdem eine Zukunft, in die die Radkersburger mit einiger Zuversicht blicken können.

Wir wollen nun keineswegs behaupten, diese Entwicklung entspränge ausschließlich unserem Verdienst. Ohne eine vorausblickende Bürgervertretung, die sich an die immerhin schwierige und kostspielige Aufgabe heranwagte, mit geophysikalischen Methoden nach Mineral- und Thermalwasser zu suchen, wäre ein Erfolg nicht möglich gewesen. Was wir demonstrieren möchten, ist allein die Tatsache, daß Geophysik nicht ausschließlich Sache der „Großen" ist wie z. B. SHELL, ESSO, NAM, ÖMV oder Ruhrkohle AG, sondern daß sich auch die bescheidenen Kommunen dieses Mittels bedienen können, sobald sie die notwendigen Kosten als langfristige Investitionen begreifen, die sich nicht unter allen Umständen bereits in der laufenden Legislaturperiode verzinsen sollen.

Kraftakte sind keineswegs nötig. Auch in Bad Radkersburg ließ man sich Zeit und streckte sich nach der finanziellen Decke. Die Untersuchungen erfolgten Schritt für Schritt: 1973 begannen die geoelektrischen Messungen, 1975 ergänzt durch Vibroseismik. 1976 waren die geophysikalischen Messungen abgeschlossen, 1977 begann die Tiefbohrung und im Januar 1978 kam das Wasser und setzte den Schlußpunkt.

Spa Bad Radkersburg
A Case History

There was a time when Radkersburg was only a simple "watering place" due to carbonated water extracted from a depth of 270 m, which is sold under the name "Long Life". Today Bad Radkersburg, in Steiermark (Austria), has an 80 °C hot thermal spring as well as a future, into which the Radkersburgers can look with some confidence.

We do not pretend that this development is exclusively our merit. Nothing would have happend, had it not been for a forward looking town council, that ventured to approach the difficult and expensive task of searching for mineral and thermal water with geophysical methods. We would like to show, however, that geophysics is not solely a thing for the "Big ones", for example like SHELL, ESSO, NAM, ÖMV or Ruhrkohle AG, but that it can also serve modest municipalities, as long as they conceive the necessary costs as long term investment, which will not yield a profit under any circumstances in the current legislative period.

Big efforts are not at all necessary. The Bad Radkersburg town council took their time and chose those methods which were financially feasable. The project was carried out step by step: in 1973 the geoelectric surveys began, which were supplemented in 1975 by Vibroseis. In 1976 the geophysical surveys were finished, in 1977 the drilling began and in January 1978 the water began to flow, so marking the end of the project.

Naturally, everything did not run as smoothly as it might be understood by this summary. Bürgermeister Merlini and Stadtamtsvorstand Dr. Gmeindl probably had many sleepless nights before the water began to flow. Our task was to present, explain and carry out "tailor made" geophysics.

Now some words about the town of Radkersburg:

The town is situated in the south-eastern-most corner of Austria, directly on the Mur River, and is a gem of occidental culture. It is one of the oldest settlements of Steiermark and is documented as a town as early as 1286. In 1582 it became an imperial fortress. In the course of its history the town has experienced practically every possible disaster. It has suffered attacks from various enemies and locust swarms, fires, pestilence, and floods. In 1945 it even became a battle ground, but today, Radkersburg which counts about 2200 souls, is an island of peace and tranquility and is a place where it is possible to forget the stresses of day to day living.

The geology of the area, which was naturally of primary importance to us, was only known on a large scale. The basement was thought to lie in a depth between 900 m and 1500 m probably consisting of granites, gabbros, basalts or slightly or well metamorphosed Palaezoics. Above the basement lay Neogene clays, marls, sands and pebbles. The built-up area of Radkersburg lies on Sarmatian (European Upper Miocene) deposits. The Neogene beds dip steeply to the south-east. The 270 m deep borehole from which the previously mentioned carbonated water flows is near the town wall.

We had to supply the following information: The position and size of underground water bodies, an accurate as possible picture of the underground tectonics – whereby the positioning of the faults, which are of important influence on the water flow, was the main priority.

Natürlich verlief nicht alles so problemlos, wie man es nach dieser Zusammenfassung vermuten könnnte. Bürgermeister Merlini und Stadtamtsvorstand Dr. Gmeindl haben sicherlich so manche Nacht schlecht geschlafen, bevor das Wasser zu fließen begann. **Unsere** Aufgabe lag darin, maßgeschneiderte Geophysik anzubieten, zu erläutern – und durchzuführen.

Ein paar Worte zu Radkersburg selbst:

Die Stadt, in der südöstlichsten Ecke Österreichs gelegen, direkt an der Mur, ist ein Kleinod abendländischer Kultur. Sie gehört zu den ältesten Siedlungen der Steiermark und wird schon 1286 urkundlich als Stadt genannt. 1582 wurde sie zur Reichsfeste erhoben. Im Verlauf ihrer traditionsreichen Vergangenheit blieb ihr aber nichts erspart. Sie wurde heimgesucht von Feindeinbrüchen, Feuersbrünsten, Heuschreckenschwärmen, Pest und Hochwasser. Im Jahre 1945 wurde sie sogar zum Kriegsschauplatz. Heute ist Radkersburg, das etwa 2200 Seelen zählt, eine Insel der Ruhe und Beschaulichkeit und wie dazu geschaffen, der gehetzten Menschheit Erholung zu gewähren.

Die Geologie des Gebietes, auf die es uns natürlich in erster Linie ankam, war nur in groben Zügen bekannt. Das Grundgebirge wurde in 900 bis 1500 m Tiefe vermutet. Möglich waren Kristallin, Basalt oder mehr oder weniger metamorphes Paläozoikum. Über dem Basement lagern neogene Tone, Tonmergel, Sande und Gerölle. Das Stadtgebiet von Radkersburg liegt auf Sarmat. Die neogenen Schichten fallen stark gegen Südosten ein. In der Nähe der Stadtmauer tritt aus einer 270 m tiefen Bohrung das bereits erwähnte kohlensäurehaltige Wasser aus.

Die Fragen, denen wir uns gegenübergestellt sahen, waren komplex: Zum einen galt es, Position und Mächtigkeit von Grundwasserkörpern zu ermitteln, zum anderen sollte ein möglichst genaues Bild von der Tektonik des Untergrundes entworfen werden, wobei es in erster Linie darauf ankam, die für die Wasserführung wichtigen Störungen in ihrer Lage zu bestimmen.

Die Messungen – ihr Zweck und ihre Resultate – seien im folgenden chronologisch beschrieben.

1. Schritt: Geoelektrische Tiefensondierungen

Hierbei werden die elektrischen Widerstände der räumlichen Leiter bestimmt und ihre Veränderung in der Horizontalen und Vertikalen ermittelt. Ziel dieser Teilmessung war, die Mächtigkeit und Tiefenlage von Grundwasserkörpern zu erkunden, darüber hinaus das Meßgebiet nach Zonen abzutasten, die sich durch anomale Stromaufnahme und -verteilung und durch Störungen der geoelektrischen Schichtenfolge auszeichnen, Erscheinungen, die als Hinweise auf die Existenz geologisch gestörter Bereiche gedeutet werden könnten. – Die Ergebnisse dieser Messungen waren nicht schlüssig; bedingt durch störende Einflüsse von Bebauung und ein dichtes Netz von Rohrleitungen. Hinweise auf allerdings sehr oberflächennahe Aquifere waren vorhanden.

2. Schritt: Very-Low-Frequency-(VLF)-Messungen

Es handelt sich hier um ein einfaches und schnelles Verfahren zur Bestimmung lateraler Änderungen der elektrischen Leitfähigkeit räumlicher Leiter. Es benutzt als Primärfeld die von interkontinentalen Sendern im 15 bis 25 kHz-Bereich abgestrahlten elektromagnetischen Wellen und die von ihnen induzierten sekundären Felder als Indikatoren für Kontraste in der Leitfähigkeit

Der Heißwasser-Ausbruch kündigt sich an!
Before the blow-out.

The surveys – their aims and their results – are now described below.

Step 1: Geoelectric depth sounding

By this method the electrical resistivities of the three-dimensional conductors are determined and their horizontal and vertical variations are investigated. The aims of this partial survey were to ascertain the size and the depths of the underground water bodies, and especially to scan the survey area for zones which show anomalous electric current consumption, current distribution and disturbances in the geoelectric succession, the latter as an indication of the existence of geologically faulted areas. – The results of this survey were unsatisfactory due to the interfering influence of buildings and a dense network of piping. But indications of aquifers were present very close to the earth's surface.

zwischen Meßobjekt und Umgebung. Ziel dieser Messung war die Lokalisierung oberflächennaher geologischer Störungen. Nennenswerte Störungsanzeigen waren jedoch nicht zu beobachten. Elektrische Leitungen innerhalb des Meßbereiches beeinträchtigten ganz offensichtlich die Ergebnisse.

3. Schritt: Bodenluftmessungen

Das Verfahren dient der quantitativen Erfassung des CO_2-Gehalts in der Bodenluft. Auf diese Weise lassen sich die Fließbahnen von kohlensäurehaltigen Wässern grob bestimmen. Aus dem Wasser freiwerdendes CO_2-Gas steigt nach oben und zeigt durch erhöhte CO_2-Konzentration die Nachbarschaft von kohlesäurehaltigem Wasser an. – Diese Messung brachte den ersten Erfolg in Form deutlicher CO_2-Anomalien, die auf eine wasserdurchflossene Störungszone hindeuteten und den gezielten Ansatz des nächsten Meßschrittes gestatteten:

4. Schritt: Geothermische Vermessungen

Dieses Verfahren erweist sich als sinnvoll, wenn Tiefenwasser unter natürlichen Bedingungen relativ nahe zur Erdoberfläche hochsteigt. Durch sinnvolle Anordnung von Meßpunkten im Boden lassen sich die von aufgeheiztem Tiefenwasser durchflossenen Zonen, meist identisch mit geologischen Störungen, nachweisen und eingrenzen. – In einer Linie senkrecht zum Streichen der nach den Bodenluftmessungen vermuteten Störung wurden 13 etwa 15 m tiefe Bohrungen in jeweils 30 – 50 m Abstand niedergebracht. Im Zentrum der CO_2-Anomalie wurden darüber hinaus eine 50 m und eine 100 m tiefe Bohrung abgeteuft. (Der Einfluß des Flußwassers aus der Mur auf die Bodentemperaturen sollte durch Beobachtungen in einem gesonderten Bohrloch bestimmt werden.) Ein Vergleich der Meßdaten aus den einzelnen Bohrungen erlaubt den Nachweis von Temperaturanomalien, der Grad der Temperaturzunahme in den 50 m und 100 m tiefen Bohrlöchern ermöglicht darüber hinaus, den Temperaturverlauf für größere Tiefen zu extrapolieren.

Die Bohrungen wurden Anfang 1975 niedergebracht und mit Kunststoffrohren verrohrt. Da der Bohrprozeß eine langwirkende Störung des natürlichen Temperaturfeldes zu bewirken pflegt, wurden die Messungen nach einmonatiger Ruhezeit vorgenommen. Lediglich das 100 m tiefe Bohrloch war hierzu nicht verwendbar: Artesisch gespanntes Grundwasser stieg aus 97 m Tiefe hoch und floß an der Erdoberfläche aus.

Die Analyse der gemessenen Temperaturwerte zeigte eine Anomalie, die mit der vorher ermittelten CO_2-Anomalie zusammenfiel. Die Existenz einer geologischen Störung als Erklärung beider Anomalien konnte als überaus wahrscheinlich gelten. Nun stellte sich die letzte Frage: Wie sieht die Störung aus? In welcher Richtung fällt sie ein? Wohin ist eine Tiefbohrung zu placieren, um jene Störung in einer Tiefe anzutreffen, die mit den erwünschten Wassertemperaturen korrespondiert?

Die letzte Antwort konnte, wenn überhaupt, nur die Seismik liefern:

5. Schritt: Vibroseismik

Die Schritte 3 und 4 erlaubten einen gezielten und deshalb kostengünstigen Ansatz der geplanten Reflexionsseismik. Die gefundenen Anomalien wurden mit 5 seismischen Profilen von insgesamt 9,4 km Länge überschossen, bei 12facher Überdeckung des Unter-

Step 2: Very low frequency (V.L.F.) surveys

This is a simple and fast procedure for the determination of lateral variations of the electrical conductivity of three-dimensional conductors. It uses as a primary field electromagnetic waves transmitted by intercontinental transmitters in the 15 to 25 KHz range and the secondary fields induced by these waves as indicators for contrasts in the conductivity between the surveyed object and its surroundings. The aim of this survey was to localize the geological faults near the earth's surface. However, no fault indications worth mentioning were observed. Electric lines obiously influenced the results in the survey area.

Step 3: Ground air surveying

With this process it is possible to record quantitatively the CO_2-contents of the ground air. In this way, the flow paths of the carbonated water can be located approximately. The CO_2-gas, released from the water, moves upwards and due to increased CO_2-concentration indicates the neighbourhood of the carbonated water. This survey brought the first success in the form of distinct CO_2-anomalies, indicating a fault zone through which water flowed. This meant that the next step in the project could begin.

Step 4: Geothermal survey

This process turns out to be meaningful if subterranean water rises up under natural conditions so that it is realtively close to the earth's surface. With a suitable arrangement of the survey points on the ground, it is possible to detect and localize the zones heated up by the subterranean water flowing through them. These zones are normally coincident with geological faults.

Thirteen approximately 15 m deep boreholes were drilled at distances of between 30 to 50 m on a line right-angled to the strike of the fault suspected as a result of the ground air survey. Additionally, in the centre of the CO_2-anomaly a 50 m and a 100 m deep borehole were drilled. (The influence of the water from the Mur River on the ground temperature should be determinded by observation in another borehole). A comparison of the survey results from the individual boreholes enables the recording of temperature anomalies. The rate of temperature increase in the 50 m and 100 m boreholes should make it possible to extrapolate the temperature trend to greater depths.

The boreholes were sunk at the beginning of 1975 and cased with plastic pipes. As the drilling process causes a long lasting disturbance to the natural temperature field the surveys were carried out a month later. Unfortunately the 100 m deep borehole could not be used as artesian ground water had risen up from a depth of 97 m and flowed out at the surface.

The analyses of the recorded temperature values showed an anomaly which coincided with the previously determined CO_2-anomaly. The existence of a geological fault as the explanation for both anomalies was considered as exceedingly probable. Now the final questions had to be answered: What does the fault look like? In which direction does it dip? Where should a deep borehole be placed in order to hit the fault at a depth that corresponds to the desired water temperature? If at all, the last answer could only be provided by seismics.

Step 5: VIRBROSEIS

Steps 3 and 4 allowed a well-planned – and therefore at favourable cost – positioning of the reflection seismic

Die Freude der Radkersburger Bürger verhilft dem Bürgermeister Merlini zu einem Freibad in einem etwas ungewöhnlichen Badeanzug
After success: a joyful „baptism" of Bürgermeister Merlini

grundes. – Erwartungsgemäß wies die seismische Vermessung mehrere Störungen nach, auch jene, die durch die CO_2- und Temperatur-Anomalie angezeigt war, trotz relativ geringer bis kaum wahrnehmbarer Sprungbeträge. Eine starke Basisreflexion, die mit Vorbehalt als Top Basement angesprochen wurde, lag im Kernbereich der Messungen etwa 1700 m unter NN.

Der letzte Schritt

Nach Auswertung aller Ergebnisse und Berücksichtigung sämtlicher Fakten und Indizien galt es, den Schlußstein zu setzen und den Bohrpunkt festzulegen. Unser Berater, Dr. O. Kappelmeyer von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, half dabei. Damit war unsere Arbeit eigentlich abgeschlossen.

Die Zeit verging. Eines Tages (besser gesagt: nachts), rief Dr. Gmeindl aus Radkersburg an: Man sei nun bei einer Tiefe von 1500 m unter Oberfläche angelangt, habe auch schon mehrere Aquifere durchfahren, alle zwischen 40° und 50 °C. Was nun? Weiterbohren? Ich riet dazu. Immerhin bestand die Chance, am Kontakt Sediment/Grundgebirge noch einen Wasserspeicher anzutreffen. Doch die letzte Entscheidung lag bei Radkersburg.

Mitte Januar 1978 hatte der Meißel das Grundgebirge in etwa 1800 m erreicht, wie erwartet. Weiterzubohren schien jetzt sinnlos, obwohl auch in den Klüften und Verwerfungen des metamorphen Paläozoikums noch zirkulierende Wässer vorzukommen pflegen. Man verdünnte also die Spülung und zog das Gestänge. **Und nun bot sich den Umstehenden ein faszinierendes Schauspiel: es brodelte und fauchte, und dann schoß das Wasser, 80 Grad heiß, hoch aus dem Bohrloch.**

lines. Five seismic lines with a total length of 9.4 km and at 12-fold subsurface coverage were shot across the anomalies found. As expected, the seismic survey indicated several faults, including the one which was shown by the CO_2- and temperature anomalies, despite relatively small to hardly noticeable throw values. A strong base reflection, which was labelled (with reservations) as Top Basement, lay in the central area of the survey at approximately 1 700 m depth below sea level.

The last step

After the interpretation of all the results and after taking into consideration all factors and indications the completion of the project was marked by the positioning of the actual well site. Our consultant, Dr. O. Kappelmeyer from the Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, helped us. With the positioning of the well site our work was finished.

Time went by and then, one day, Dr. Gmeindl phoned us from Radkersburg: "We have now apparently reached a depth of 1 500 m and have drilled through several aquifers, all with temperatures between 40° and 50 °C. What should we do now? Drill further?" I advised him to continue as there was a chance to hit another water reservoir at the sediment/basement contact. However, the final decision lay with the clients in Radkersburg.

In the middle of January 1978 the drill-bit had reached the basement at a depth of about 1 800 m, as expected. Further drilling appeared pointless, even though further circulatory water is normally found in the joints and faults of the metamorphic Palaeozoics. Therefore, the mud was thinned and the drilling rods were pulled. **And then all the spectators saw a fascinating spectacle:**

Daß sich die Radkersburger mächtig über die Therme freuten, so sehr, daß sie ihren verehrten Bürgermeister fast darin ertränkten, zeigen unsere Fotos.

Nachwort der Redaktion

Noch vor Redaktionsschluß erreichte uns eine Sonderausgabe der „Bad Radkersburger Nachrichten", die u. a. einen Artikel über die **„Erschließung der Therme Bad Radkersburg"** mit näheren Angaben über die Beschaffenheit der Quelle enthält:

„ ... Es handelt sich um eine Natrium-Hydrogen-Karbonat-Therme, welche stark kohlensäurehaltig ist. Die Mineralisierung erreicht den mehrfachen gesetzlich geforderten Wert einer Heilquelle. Die Schüttung beträgt 200.000 bis 300.000 Liter pro Stunde bei maximaler Entnahme ..... Unser Thermalwasser wird auf jeden Fall gegen Erkrankungen des Bewegungsapparates und gegen Rheuma angewendet werden können. Weitere Anwendungsmöglichkeiten werden aufgrund von balneologischen Untersuchungen z. Zt. festgestellt."

Im Begleitschreiben heißt es unter anderem:

„Wir werden über den gesamten Erschließungsvorgang eine wissenschaftliche Broschüre herausgeben, an der mitzuarbeiten wir Sie sicherlich einladen werden. Denn nicht zuletzt hat Ihr Unternehmen ja die notwendigen Grundlagen geschaffen, die erst ein derartiges Wagnis erlaubt haben. Besonders hat sich Ihr persönlicher Optimismus und Ihr „geologisches Gefühl" gerade in der so entscheidenden letzten Bohrphase als „goldrichtig" erwiesen, als es darum ging, weiterzubohren oder sich mit dem zu begnügen, was man bereits befunden hatte. ... Am Brunnenkopf tritt das Wasser mit ca. 80 °C zu Tage. Wir haben bereits ein Thermalfreibad im Bau, welches im Frühjahr des nächsten Jahres in Betrieb gehen soll."

Diese Anerkennung freut uns natürlich sehr. Den Radkersburgern wünschen wir zu ihrem Fund viel Glück und ein gutes Gelingen ihrer umfangreichen Projekte.

The hole bubbled and hissed and then shot water, 80 °C hot, into the air.

Our pictures show how much the Radkersburg citizens celebrated their thermal spring, so that they almost drowned their honourable Bürgermeister.

Concluding remarks of the editor

Just before deadline reached us a special edition of the "Bad Radkersburger Nachrichten" which contained an article about the opening up of the Bad Radkersburg thermal spring with more accurate information about its quality:

" ... It is a natrium-hydrogen-carbonate thermal spring which has a high carbon dioxide concentration. The mineralization has several times the legally-required minimum value of a mineral spring. The flow is 200 000 to 300 000 litres per hour at the maximum flow rate .. Our spring will in any case be used against illnesses of the joints and rheumatism. Further applications will be based on the balneological examination which is at present taking place."

In the covering letter is also said: "We will publish a scientific brochure about the complete project and will certainly invite you to participate in its production as your company carried out the necessary ground-work, without which the successful completion of this risky undertaking would not have been possible. Your personal optimism and your geological feel especially in the so important final drilling phase, when a decision had to be made on whether to drill further or to be satisfied with what had been already found, have proved to be "spot-on" ... The water comes out of the ground with a temperature of 80 °C. We already have a thermal swimming pool under construction, which should be ready early next year."

Of course, this recognition of our work makes us very happy. We wish the citizens of Radkersburg for the future good fortune and success in their extensive projects.

Inauguration

Alle Aufnahmen innerhalb des Textes von Foto Klöckl, Bad Radkersburg

Unsere Erde als Wärme-energiequelle

Dr. R. Köhler

4000 Jahre lang könnten wir den Energiebedarf der Menschheit decken, wenn es gelänge, die Wärme der Erdkruste im Bereich der Kontinente bis 5 km Tiefe zu nutzen.

Diese Aussage ist allerdings kein Grund für die Kernkraftgegner nun zu frohlocken, denn das Vorhandensein solch gewaltiger Wärmeenergiemengen und ihre Nutzbarmachung sind zwei sehr verschiedene Dinge.

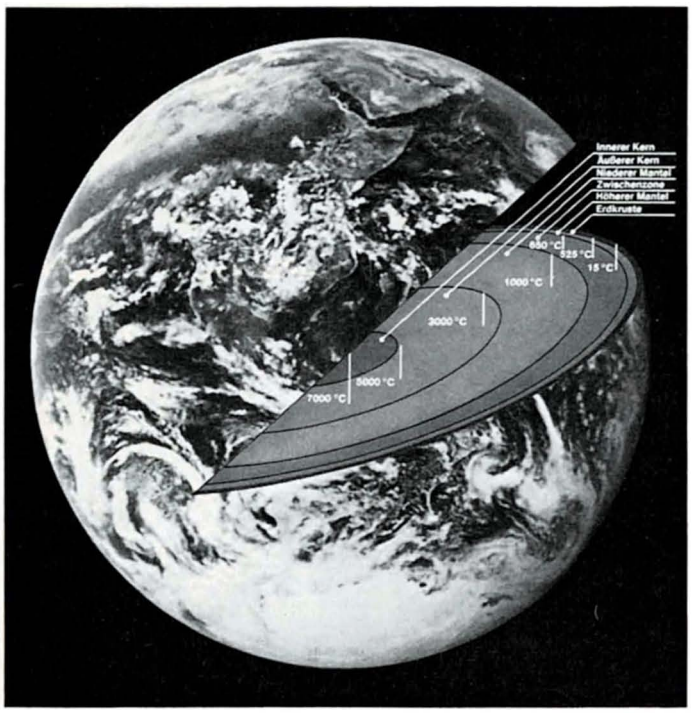
Wissenschaft und Technik haben begonnen, die Technologie zur Erschließung der Erdwärme im Rahmen eines Forschungsprogrammes der Bundesregierung und der Europäischen Gemeinschaft zu entwickeln. Auch unsere Gesellschaft wurde in diesen Prozeß (wie auch in andere ergänzende Forschungsaufgaben) durch die Teilnahme an speziellen seismischen Untersuchungen im Bereich der Wärmeanomalie Urach eingeschaltet (siehe folgenden Beitrag). Dieses Projekt stand unter der Leitung von Herrn Professor Dr. Meißner, Universi-

Our Earth as a Thermal Energy Source

For 4000 years we could meet the energy demand of man if it was possible to use the heat of the earth's crust in the region of the continents to depths of 5 km.

This statement is, however, not a reason for the atomic power protestors to celebrate, as the presence of such large quantities of thermal energy and their exploitation are two very separate things.

Science and engineering have begun to develop the technology for the harnessing of the earth's heat within the scope of a German Government and E. E. C. research program. Our company is involved with the process (as well as with other complementary research works) as we were taking part in a special seismic survey in the area of the Urach Thermal Anomaly. This project is being directed by Professor Dr. Meißner of Kiel University, who, as a field party chief for our company, gained many years of practical experience in applied seismics.



tät Kiel, der lange Jahre als Truppleiter unserer Gesellschaft praktische Erfahrungen in der angewandten Seismik sammeln konnte.

Das wesentlich Neue bei dieser Untersuchung war der Gedanke von Th. Krey, **durch sehr lange Geophonauslagen eine möglichst große Genauigkeit bei der Bestimmung der seismischen Geschwindigkeiten** aus den hierbei erzielten großen Moveout-Zeiten **im Bereich der Kruste** und ihrer Basis zu erreichen. Im Hintergrund stand dabei der Gedanke, eine eventuell gemessene Geschwindigkeitsanomalie mit der Wärmeanomalie räumlich in Beziehung zu setzen.

Der folgende Beitrag von Prof. Dr. Th. Krey, K.-S. Bartholdy und J. Schmoll beleuchtet vor allem den großen technischen und organisatorischen Aufwand, der bei diesen außergewöhnlichen Messungen erforderlich war.

Zunächst einige grundsätzliche Bemerkungen über die **Wärme aus der Tiefe**. Wir stützen uns hierbei zum Teil auf einen Aufsatz in der „PREUSSAG Zeitschrift für Aktionäre und Freunde der Gesellschaft" Nr. 64/1978.

Jedermann weiß, daß es in einem tiefen Bergwerk sehr viel wärmer ist als an der Erdoberfläche. Der „geothermische Gradient", die Zunahme der Temperatur mit der Tiefe, beträgt normalerweise etwa 30 Grad Celsius pro Kilometer. In einer Tiefbohrung von 3000 m Tiefe herrscht also eine Temperatur von etwa 100 Grad. Diese Wärme stammt zu knapp einem Drittel aus der glutflüssigen Vergangenheit unseres Planeten, zu siebzig Prozent aus dem radioaktiven Zerfall von Uran-, Thorium- und Kaliumatomkernen, die in allen irdischen Gesteinen vorkommen.

Der geothermische Gradient ist nicht überall gleich. Es gibt auf der Erde Gebiete, wo er von der Norm mehr oder weniger stark abweicht und zu sogenannten Wärmeanomalien führt, die heute auch als „thermische Lagerstätten" bezeichnet werden, soweit es sich um **„positive" Anomalien** handelt, die ein vom Normalfall abweichendes **höheres Wärmepotential** anzeigen. Diese Lagerstätten sind um so interessanter, je geringer die Tiefe ist, in der die überhöhten Temperaturen auftreten.

What was very new with this survey was the conception from Th. Krey: **by means of very long geophone spreads, a large as possible accuracy should be achieved in the determination of the seismic velocities** from the recorded large moveout times in the region of the crust and its base. In the background therewith was the conception that a possible measured velocity anomaly is in general terms related to the thermal anomaly.

The following contribution from Prof. Dr. Th. Krey, K.-S. Bartholdy and J. Schmoll illustrates above all the large technical and organisational effort which was necessary for this unusual survey.

At first a few basic comments about **heat from the depth**. We rely for this on an article in the "PREUSSAG Zeitschrift für Aktionäre und Freunde der Gesellschaft", No. 64/1978.

Everybody knows that it is a lot warmer in a deep mine than it is at the earth's surface. The "geothermal gradient", the increase of temperature with depth, normally has a value of 30 centigrades per kilometer. Therefore, in a deep borehole with a depth of 3000 m a temperature of approximately 100 centigrades Celsius prevails. Almost a third of this heat comes from our earth's red hot past while 70% is caused by the radioactive decay of uranium, thorium and calium atomic nucleii, which are present in all terrestrial rocks.

The geothermal gradient is not the same everywhere. There are places on the earth where it deviates to a greater or lesser degree from the normal and this leads to so called thermal anomalies, which are today also designated as "thermal deposits" as long as they are **"positive" anomalies,** which show a **higher than normal thermal potential**. These deposits are the more interesting the shallower the depth at which the increased temperatures occur.

If zones of large thermal accumulations come into contact with ground water or they are flowed through by circulating waters, this can lead to usable hot water or even steam. In some places on earth, flats are heated with this or electricity plants are powered. The total amount of electrical power produced from thermal heat in Iceland, Italy, Mexico and on several Pacific Islands, etc., is equivalent to an output of about 1350 Megawatts, that is not more as produces one single atomic power station. That is, world wide seen, not a lot and reminds us again that at least for the near future, during which the non-nuclear energy sources are still in the starting stage of their development, it is not possible to do without atomic power stations.

The largest problem with the using of the thermal anomalies as energy source ist, that, so far, it has not been possible to transport the heat from large depths, e. g. 5000 m, to the surface. Apart from this, the heat is mostly "trapped" in the barely porous or badly permeable rocks and it is practically impossible, or only with great difficulties possible, to reach them. How large this "dry" quantity of heat is, which is potentially available, but yet has remained unusable, is calculated from the fact that the cooling of a rock body of one cubic kilometre volume by only one centigrade is equal to the quantity of heat which is contained in 85 000 t of stone coal.

The US Research Institute of Los Alamos sunk two 3000 m deep boreholes in hot granite in the Jemez

Treten Zonen größeren Wärmestaus in Kontakt zum Grundwasser oder werden sie von zirkulierenden Wässern durchflossen, kann dies zur Bildung von nutzbarem Heißwasser ja sogar Dampf führen. In manchen Gegenden der Erde werden damit Wohnungen beheizt oder auch Elektrizitätswerke betrieben. Die Gesamtmenge des durch Erdwärme erzeugten Stromes in Island, Italien, Mexiko und auf verschiedenen Pazifikinseln usw. entspricht einer Leistung von rund 1350 Megawatt, also nicht mehr, als ein einziges Kernkraftwerk erzeugt. Das ist, weltweit gesehen, recht wenig und erinnert uns wiederum daran, daß, zumindest für die nähere Zukunft, während der „nicht-nukleare Energiequellen" noch im Anfangsstadium ihrer Entwicklung stehen, auf Kernkraftwerke nicht verzichtet werden kann.

Das größte Problem bei der Nutzung der Erdwärme als Energiequelle liegt darin, daß es bisher nicht gelungen ist, die Wärme aus größeren Tiefen, z. B. aus 5000 Meter, an die Erdoberfläche zu transportieren. Außerdem ist die Wärme in den meist nur wenig porösen und schlecht durchlässigen Gesteinen „gefangen", und man kommt noch kaum oder nur unter Schwierigkeiten an sie heran. Wie groß aber diese „trockene" Wärmemenge ist, die hier potentiell vorhanden, aber bisher ungenutzt bleiben muß, ergibt sich daraus, daß die Abkühlung eines Gesteinskörpers von einem Kubikkilometer Rauminhalt um nur **ein** Grad der Wärmemenge entspricht, die in 85 000 Tonnen Steinkohle enthalten ist.

Zur Gewinnung von „trockener" Wärme brachte das US-Forschungsinstitut von Los Alamos in den Jemez-Bergen Neu Mexikos zwei 3000 Meter tiefe Bohrungen in heißen Granit nieder. In eine davon wurde vier Tage lang kaltes Wasser unter hohem Druck eingepumpt, aus der anderen – 75 Meter davon entfernten – konnte 20 Stunden nach Beginn dieses Experimentes 150 Grad heißes Wasser mit einer thermischen Leistung von etwa fünf Megawatt entnommen werden.

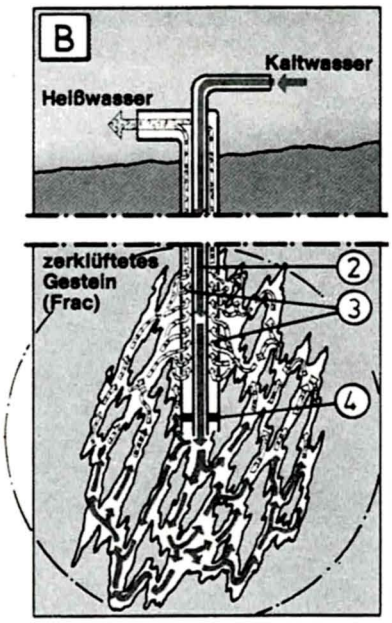
Damit Wasser zwischen zwei Bohrlöchern zirkulieren kann, müssen im Gestein Risse erzeugt werden. Das kann durch das sogenannte „Hydrofrac-Verfahren", das heißt durch hydraulisches Aufbrechen des Gesteins, bewerkstelligt werden. Dieses Verfahren wird bekanntlich bereits seit längerer Zeit in der Erdöl- und Erdgas-Gewinnung zur Produktionssteigerung angewandt.

Die Gewinnung trockener Erdwärme ist also bislang durch die hohen Kosten des Niederbringens von zwei Bohrungen belastet. Die PREUSSAG hat nun, um die Bohrkosten zu senken, ein System konzipiert, bei dem nur eine Tiefbohrung nötig ist. Demzufolge wird kaltes Wasser in einem wärmeisolierten inneren Rohr in die Tiefe gepreßt und nach seiner Aufheizung in einem zweiten, perforierten Rohr, das die innere Sonde koaxial umgibt, wieder nach oben gefördert (siehe Skizze). Ob der gegenüber zwei benachbarten Bohrungen verminderte Durchströmungsbereich genügen wird, um wirtschaftliche Ergebnisse zu erzielen, muß die Zukunft lehren.

Das Problem, Erdwärme in größerem Umfang wirtschaftlich zu nutzen, ist noch mit vielen Fragezeichen versehen. Industrie und Wissenschaft werden hoffentlich auch bei uns dazu beitragen, der Lösung dieses Problems in nicht zu ferner Zukunft näherzukommen.

B: Durch das isolierte Innenrohr (2) wird kaltes Wasser herabgeführt und durch die Erdwärme aufgeheizt. Das heiße Wasser dringt durch Öffnungen ins Außenrohr (3) und an die Erdoberfläche. (4): Abdichtung.

Cold water is pumped down through pipe (2) and is warmed up by the terrestrial heat. The hot water flows through the openings in the outer pipe (3) and up to the earth's surface. (4): Water-sealing



Mountains, New Mexico, in order to extract "dry" heat. Into one of these boreholes was pumped cold water under high pressure, and from the other borehole, 75 m distant, it was possible, 20 hours after the start of the experiment, to take out 150 centigrades hot water with a thermal output of about 5 Megawatts.

So that water can circulate between the boreholes the rock has to be fractured. This can be achieved by the so called "hydrofrac process", that is through hydraulic breaking up of the rock. This process, as is well known, has been used for a long time in gas and oil production to increase the output.

The extraction of dry heat from the earth has, therefore, to date, been loaded with the high cost of having to sink **two** boreholes. PREUSSAG Co. has now, in order to reduce drilling costs, conceived a system with which only **one** deep borehole is necessary. Accordingly, cold water is pumped through a thermally insulated pipe into the depth, and after it has been heated up it is returned to the surface in a second perforated pipe, that co-axial surrounds the inner pipe (see sketch). Whether the reduced seepage area, as compared to that of two neighbouring boreholes, will be sufficient to provide economically viable results, only time can tell.

The problem of how to economically use terrestrial heat on a large scale is still furnished with many question marks. Industry and science will hopefully aid us to come nearer to the solution of this problem in the near future.

Spezielle seismische Untersuchungen im Bereich der Wärmeanomalie Urach

Prof. Dr. Th. Krey, K.-St. Bartholdy, J. Schmoll

Im Juli/August 1978 wurde von PRAKLA-SEISMOS GMBH in Zusammenarbeit mit den geophysikalischen Instituten der Universitäten Kiel, Karlsruhe, Frankfurt, Hamburg, Stuttgart, Bochum und dem Geologischen Landesamt Krefeld ein spezielles reflexionsseismisches Meßprogramm durchgeführt (Abb. 1), das nach technischem Aufwand und seiner Zielsetzung wohl einmalig ist. Nach der „roll-along"-Technik wurde die Vermessung mit 144 Spuren und einer achtfachen Überdeckung des Untergrundes vorgenommen, bei der die maximale Schuß-Geophon-Entfernung routinemäßig mehr als 23 km betrug. Darüber hinaus waren für refraktions- und reflexionsseismische Erkundungen zahlreiche Apparaturen der Hochschulinstitute in Entfernungen bis zu 80 km eingesetzt. Die Vermessung erfolgte im Rahmen eines Geothermik-Projektes, das von der Europäischen Gemeinschaft sowie vom Bundesministerium für Forschung und Technologie getragen wird.

Seit der Energiekrise im Jahre 1973/74 wird weltweit verstärkt nach neuen zusätzlichen Energiequellen geforscht, die unsere „klassischen" Energieträger Erdöl, Erdgas und Kohle in nicht zu ferner Zukunft ergänzen sollen. Unter anderem bietet sich die Nutzbarmachung der natürlichen Erdwärme an. Ein Blick auf die Karte der Erdwärme-Verteilung in der Bundesrepublik Deutschland (Abb. 2) läßt Zonen mit erhöhter Temperatur erkennen.

Eine dieser Zonen, die Wärmeanomalie von Urach, liegt südlich von Stuttgart auf der Schwäbischen Alb. Dieses vulkanische Gebiet, in dem das Thermalbad Urach liegt, ist seit Jahren Gegenstand geologischer und geophysikalischer Untersuchungen. Hier wurde in jüngster Zeit die Forschungsbohrung Urach 3 bis auf 3334 m Tiefe niedergebracht und dabei 1730 m des kristallinen Grundgebirges durchteuft. Urach 3 ist die tiefste europäische Bohrung dieser Art, in der laufend Messungen und Versuche zum Studium der Nutzbarmachung der Wärmeenergie durchgeführt werden.

Wissenschaftliches Ziel der Vermessung war, neben der Erkundung der geologischen Lagerung, auch den Geschwindigkeitsaufbau der Kruste bis zur Mohorovicic-Diskontinuität mit Hilfe von reflexionsseismischen

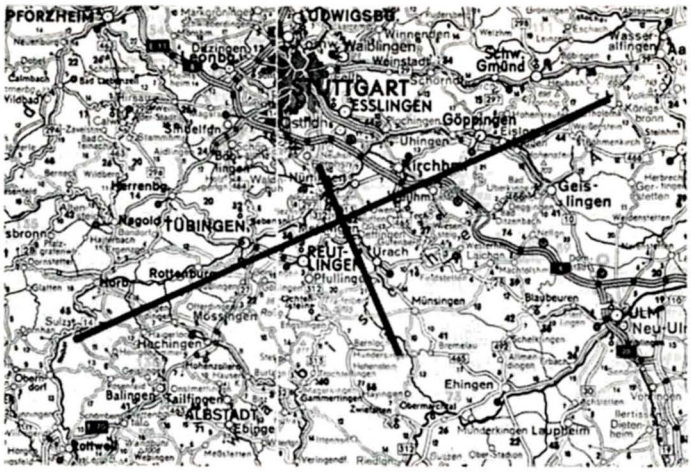
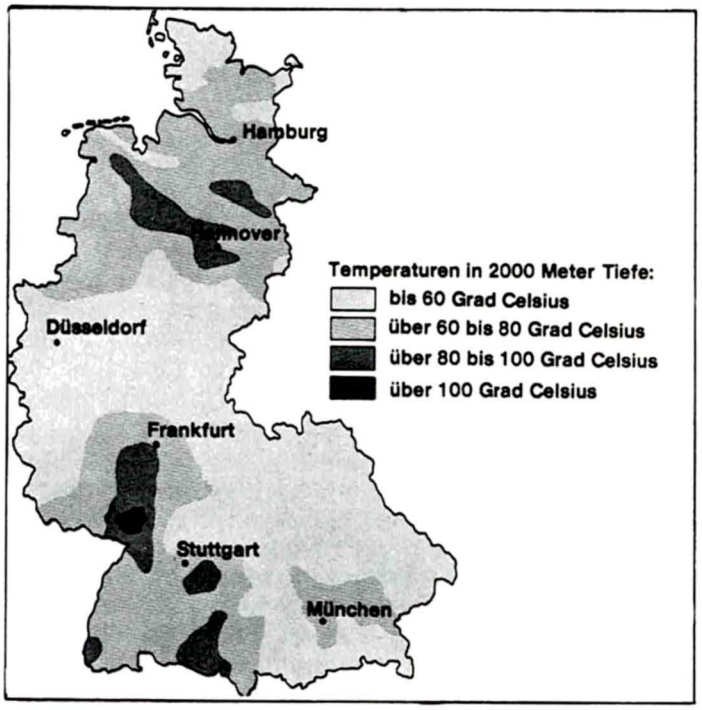


Abb. 1
Lage der vermessenen Profile
Position of surveyed lines

Special Seismic Surveys in the Region of the Urach Thermal Anomaly

In July and August 1978, PRAKLA-SEISMOS GMBH in collaboration with the geophysical institutes of the universities of Kiel, Karlsruhe, Frankfurt, Hamburg, and Stuttgart, and the "Ruhr University", Bochum, as well as the "Geologisches Landesamt Krefeld", carried out a special seismic reflection survey, which, due to the technical effort required and its objectives, was virtually unique (Fig. 1). According to the roll-along technique the survey was carried out with 144 traces and an 8-fold underground coverage, in which the maximum shot-geophone distances were routinely over 23 km. In addition to this, a large number of seismic systems contributed by the university institutes were used for distances up to 80 km for refraction and reflection surveys. The survey was made within the scope of a geothermic project, which is financed by the E. E. C. and the "Bundesministerium für Forschung und Technologie" (Ministry for Research and Technology).

Abb. 2
Bundesrepublik Deutschland,
Temperaturverteilung in 2000 m Tiefe
Federal Republic of Germany,
Distribution of temperature in 2000 m depth



und refraktionsseismischen Messungen zu klären, um daraus Rückschlüsse auf die Temperaturgliederung zu ziehen.

Sowohl aufgrund von Refraktions- und Tauchwellen als auch durch reflexionsseismische Messungen sollten Informationen über die Geschwindigkeitsschichtung in der Kruste erhalten werden. Da bei Refraktions- und Tauchwellen die Schichten der Kruste mit nahezu horizontalem Strahlengang durchlaufen werden – im Gegensatz zu einem mehr vertikalen Strahlengang bei Reflexionsmessungen – ist damit zu rechnen, daß auch Aussagen über Anisotropie in der Kruste gemacht werden können. Für die Auswertung der Tauch- und Refraktionswellen sollen hauptsächlich die von den Mars-Apparaturen der Hochschulinstitute erhaltenen Ergebnisse benutzt werden, aber auch die Reflexionsseismogramme können ganz wesentlich mit zu diesem Zweck herangezogen werden. Um die aus der Reflexionsseismik abzuleitenden seismischen Geschwindigkeiten genau genug zu erhalten, war es nötig, zu sehr großen Schuß-Geophon-Entfernungen überzugehen, ohne dabei den Steilwinkelbereich (Reflexionswinkel bis etwa 35 Grad) zu verlassen. Der Weitwinkelbereich war mit einem Teil der Hochschul-Apparaturen abgedeckt, die in Entfernungen von 60 bis 80 km laufend wanderten. Es sei vorweggenommen, daß sie, außer Refraktionseinsätzen, gute überkritisch reflektierte Einsätze aus der Unterkruste mit starken Amplituden registrierten.

Um das angestrebte Meßziel des Forschungsprojektes überhaupt erreichen zu können, wurden bei der technischen Durchführung des Meßprogramms neue und zum Teil ungewöhnliche Wege beschritten. Einige während des Planungsstadiums durchgeführte Überschlagrechnungen hatten ergeben, daß für den Steilwinkelbereich Move-out-Zeiten von ca. 0,5 bis 1 s anzustreben waren, die nur mit Aufstellungsweiten größer als 20 km zu erreichen waren. Bei diesen großen Geophonauslagen wurden zweckmäßigerweise drei 48spurige Sercel-Apparaturen gleichzeitig eingesetzt, und es wurde mit einem Geophongruppen-Abstand von 160 m und einem geringen in-line offset von 320 m gearbeitet. Der bei einem Schuß registrierte Geophonaufbau war also normalerweise länger als 23 km; weitere 48 Geophongruppen (ca. 7,7 km) waren im voraus aufgebaut worden bzw. mußten während der Messung umgebaut werden. Hinzu kamen zwei digitale 12- und 24spurige Reflexionsapparaturen der Hochschulinstitute, die aber mit geringerem Spurabstand meist im Weitwinkelbereich eingesetzt waren. Der Überdekkungsgrad bei der angewandten CDP-Methode war 8fach. Die Geophongruppen waren jeweils mit 24 Geophonen besetzt und etwa 100 m lang. Diese Aufstellungsgeometrie war ein durchaus vernünftiger Kompromiß zwischen dem gesteckten Aufschlußziel, den vorhandenen Geldmitteln und der vorgesehenen Meßzeit von 10 bis 11 Tagen.

Der Geophonaufbau und -umbau erforderte natürlich eine straffe Organisation und brachte anfangs einige Schwierigkeiten, mußten doch nach jedem Schuß wieder neue Geophonstationen im Gelände zum Anschluß an eine Registrierapparatur bereit stehen. Das brachte es mit sich, daß beim Geophonumbau Kabel und Geophone über mehr als 30 km Luftlinie transportiert werden mußten. Es war also dafür zu sorgen, daß die Transportkolonne (sowie natürlich auch Apparaturen, Bohrgeräte usw.) die entsprechenden Positionen im

Since the energy crisis in 1973/74 the search for new, additional energy sources, which should supplement our "traditional" energy supplies of oil, gas and coal in the not too distant future, has been increased worldwide. Amongst other possibilities the exploitation of the natural heat of the earth is under discussion. From the map showing thermal distribution in West-Germany it is possible to see zones with higher than average temperature (Fig. 2).

One of these zones, the Urach Thermal Anomaly, lies south of Stuttgart in the "Schwäbische Alb". This volcanic area, in which the thermal spa town of Urach is situated, has been an area for geological and geophysical surveys for many years. Recently, the exploration borehole Urach 3 was sunk here to a depth of 3334 m and passed through 1730 m of the crystalline basement. Urach 3 is the deepest borehole in Europe of this type in which surveys and experiments for studying the exploitation of thermal energy are continuously being carried out.

The scientific aim of the survey was to clarify both the geological structure and the velocity distribution of the crust down to the Mohorivicic Discontinuity with the aid of seismic reflection and refraction surveys, in order to draw conclusions on the temperature distribution.

Information about the velocity distribution in the crust should be obtained by studying the refracted and diving waves as well as from the seismic reflection surveys. As with the refracted and diving waves the ray paths through the layers of the crust are almost horizontal – as opposed to a more vertical path with the reflection surveys – it is also possible that conclusions can be made about the anisotropy in the crust. For the interpretation of the diving and refracted waves the results from the institutes' "Mars systems" shall mainly be used, but it will be also well worth referring to the reflection seismograms. In order to obtain the velocities caculated from the reflection seismic survey with great enough accuracy it was necessary to use very large shot-geophone distances without leaving the steep-angle zone (reflection angles up to about 35 degrees). The wide angle zone was covered by some of the university systems which were constantly located at distances of between 60 to 80 km. After some preliminary studies we can already say, that in addition to the refraction arrivals good high amplitude and overcritically reflected events from the lower crust have been recorded.

In order to achieve the desired survey aim of the research project it was necessary to use new and in part unusual ways for the technical execution of the survey program. A few rough estimates carried out during the planing stage showed that for the steep-angle zone moveout times of about 0.5 to 1 s were necessary, these could only be obtained with geophone spreads larger than 20 km. With these large geophone spreads three 48-trace Sercel systems were used at the same time and the work was carried out with a geophonegroup spacing of 160 m and the small in-line offset of 320 m. Therefore, the geophone spread recorded for one shot was normally longer than 23 km; further 48 geophone groups (approx. 7.7 km) were laid out before the start of the survey and had to be moved during the survey. In addition, two digital 12- and 24-trace reflection-recording systems from the institutes were mostly used with a smaller group spacing in the wide-angle zone. The degree of coverage with the CDP-method applied was

Gelände möglichst ohne Zeitverlust erreichten. Ferner mußten die Kabelauslagen so gestaltet und an die Apparaturen angeschlossen werden, daß alle drei Apparaturen nach je 4 Registrierungen an vorbestimmte neue Positionen umziehen konnten.

Zeitpunkte zu finden, zu denen an allen 144 Geophonstationen gleichzeitig Ruhe herrschte, war natürlich schwierig bzw. praktisch kaum möglich. Um allzu lange Wartezeiten zu vermeiden, wurden bei den Registrierungen auch einige wenige Spuren ohne brauchbare Informationen in Kauf genommen.

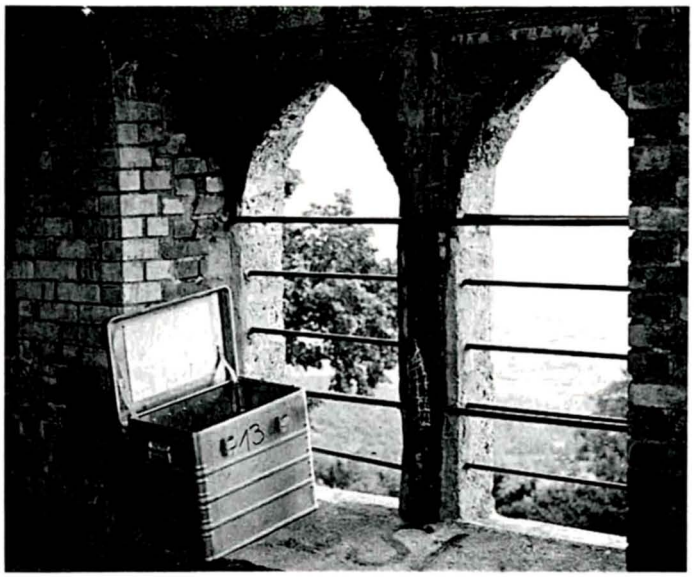


Abb. 3
Relais-Station für die Überbrückung der großen Schußpunkt-Geophonentfernungen
Relay station, necessary for large shotpoint-geophone distances

Die Schußauslösung und das Einschalten der Registrierapparaturen erfolgte über Radio. Hierzu war es nötig, wegen der großen Entfernungen und des morphologisch recht bewegten Gebietes der Schwäbischen Alb (siehe Abb. 3), Relais-Stationen zu verwenden. Es mag interessieren, daß hierzu zeitweilig auch die Burg Hohenzollern benutzt werden durfte. In einigen Fällen, in denen ausnahmsweise die Entfernung zwischen Schuß und nächster Apparatur bei stark eingeschnittenem Gelände bis zu ca. 50 km betrug, stieg der Chef-Funker des Trupps, Bredemeier, mit einem ZXDD-Gerät auf die Burgruine Staufeneck bei Salach und startete von dort aus sowohl den Schuß als auch die Apparaturen. Herr Professor Meißner besorgte dabei eigenhändig, mit Hochschul- und PRAKLA-SEISMOS-Assistenz, Transport und Aufstellung einer größeren Antenne für den Schießmeister.

Um eine gemeinsame Registrierung der Schüsse durch die Hochschulapparaturen und die PRAKLA-SEISMOS-Apparaturen zu ermöglichen, wurde von allen Apparaturen das Zeitzeichen des Senders Darmstadt mitregistriert. Für die Schußzeiten wurde vereinbart, daß nur zu vollen Viertelstunden ein Schuß abgetan werden durfte.

Alle anfallenden Vorbereitungen, Benachrichtigungen, Einmeßarbeiten usw. waren zwar im Prinzip nicht anders als bei sonstigen seismischen Feldarbeiten, nur erreichten sie durch den Umfang und den gesetzten zeitlichen Rahmen eine neue Dimension. Hier hatte Herr

8-fold. These geophone groups consisted of 24 geophones each and were each about 100 m long. This spread geometry was a reasonable compromise between the aim of the survey, the available money, and the intended survey time of 10 to 11 days.

The laying out and moving of the geophones naturally made it necessary to have an especially good organization and caused a few difficulties in the beginning, as after every shot new geophone stations had to be ready for connection to the recording systems. This meant that with each geophone move, cables and geophones had to be transported for air-line distances of more than 30 km. It was, therefore, necessary that the transport convoy (naturally as well as the instruments, drilling rigs, etc.) should reach the required positions in the field with as small as possible loss of time. Furthermore, the cable layouts had to be made and connected to the instruments in such a way, that all three seismic systems could be moved to new, predetermined positions after every fourth recording.

To find a moment at which all 144 geophone stations were quiet was naturally difficult or practically not possible. In order to avoid long waiting times a few traces without usable information had to be accepted during the recordings.

Triggering of the shot and of the recording systems were made by radio. Due to the large distances and the morphologically very rough areas of the Schwabian Alb (see Fig. 3) relay stations had to be used. It may be of interest that for this purpose we were able to use Hohenzollern Castle. In exceptional cases when the distance between the shot and the next recording system was as far as 50 km over very mountainous terrain, the chief radio operator, Mr. Bredemeier, had to climb the ruin of Staufeneck Castle, near Salach, and started the recording systems together with the shot from there. Professor Meißner, on his own initiative, transported and erected a large aerial for the shooter with aid of the universities and PRAKLA-SEISMOS. In order to make a joint recording of the shots by the university and PRAKLA-SEISMOS systems possible, the time signal of the Darmstadt-transmitter was recorded by every system. It was agreed for the shooting time that shots could only be made at every full quarter of an hour.

All the necessary preparation, information and topographical survey, etc. were, in principle, the same as for other seismic fieldwork, but due to the scope and limited time available they took on a new dimension. Mr. Bartelsen, assistant at the Geophysical Institute of Kiel University, paved the way by having many long discussions with, and visits to, the authorities.

Permitmen and three strengthened topographical survey groups began the work 14 days before the seismic survey was due to start. In the meantime the necessary technical preparations were made in Hannover. Three systems had to be fitted out in such a way, that they could synchronously record a 144-trace spread. Thanks to careful planning relatively less trouble occurred during the survey. But of course things did not always run perfectly. During the survey work communication difficulties occurred from time to time which resulted in delays, even though all three Sercel systems were fitted out with high antennas (see cover) and two relay stations were available. Two examples of the unexpected: All stations, i. e. shooter, relay station and the three systems, were "ready for firing" when system I reported a

Die Messung beginnt, Start of the survey

Bartelsen, Assistent am Geophysikalischen Institut der Universität Kiel, in langen Gesprächen und vielen Besuchen bei den Behörden in dankenswerter Weise die ersten Wege geebnet.

Mit Permitleuten und drei verstärkten Vermessergruppen setzten dann 14 Tage vor Meßbeginn die Einmeßarbeiten ein. Derweil wurden in Hannover die für eine derartige Messung notwendigen technischen Vorbereitungen getroffen. Es galt, drei Apparaturen so auszustatten, daß sie synchron eine 144spurige Auslage registrieren konnten. Dank einer sorgfältigen Planung kamen dann bei der Vermessung verhältnismäßig wenig Pannen vor. Aber ganz glatt ging es natürlich auch nicht immer. So gab es während der Meßarbeiten doch hin und wieder Verständigungsschwierigkeiten und damit Verzögerungen, obwohl alle drei Sercel-Apparaturen mit hohen Antennen ausgerüstet waren (siehe Titelbild) und zwei Relais-Stationen zur Verfügung standen. Um nur zwei Fälle plötzlich auftretender Unabwägbarkeiten herauszugreifen: Alle Stationen, d. h. Abschießer, Relais-Station und drei Apparaturen, waren „fertig zum Schuß", als Apparatur I ein heftiges Gewitter meldete. Obwohl zwei Apparaturen in herrlichem Sonnenschein standen, mußte aus Sicherheitsgründen die Messung für kurze Zeit unterbrochen werden. Oder: Häufig wurden durch Mähmaschinen oder in einem Fall bei Manövern durch Panzertruppen Kabelschäden verursacht. Um sie schnell beheben zu können, stand jedoch jedem Meßwagen eine motorisierte „Eingreif-Reserve" zur Verfügung.

Drei Sprengstofftransportfahrzeuge hatten vollauf damit zu tun, die zehn schweren Bohrgeräte vom Typ 3034 und 5001 mit Sprengstoff zu versorgen. Der tägliche Verbrauch lag bei über einer halben Tonne Sprengstoff. Insgesamt wurden 63 Schüsse abgetan, wobei 22 km Schießdraht verbraucht wurden.

Auf der Ach-Alm bei Reutlingen waren die beiden Hauptquartiere untergebracht. Hier hatte man nicht nur einen wunderbaren Ausblick auf die schöne schwäbische Landschaft , sondern auch – und das war wohl das Wichtigere – die beste Chance, noch einen einigermaßen guten Funkkontakt zu dem „Über-Hundert-Mann-Heer" der PRAKLA-SEISMOS aufrechtzuerhalten.

Neben dem PRAKLA-SEISMOS-Büro hatte Herr Professor Meißner – unterstützt von Herrn Bartelsen – mit seinen über 60 Mitarbeitern, unter denen sich auch einige Assistentinnen und Studentinnen befanden, Quartier bezogen. 26 Außenstationen vom Typ Mars mit 3 Kanälen sowie eine DFS IV der Universität Kiel wurden von hier aus telefonisch, per Funk oder per Kurier betreut. Täglich wurden bis in die Nacht hinein in guter Teamarbeit

heavy thunderstorm. Even though two systems stood in beautiful sunshine the survey had to be interrupted for a short time for safety reasons. And: Often the cables were damaged by harvester machines or in one case by tanks on manoeuvers. In order to quickly repair the cables a motorised "repair team" was attached to every recording truck.

Three explosive trucks had their work cut out in supplying explosives to the 10 heavy drilling rigs of the 3034 and 5001 types. Their daily consumption was over half a ton of explosives. A total of 63 shots was made for which 22 km of shooting wire were used.

The two main quarters were situated on the Ach-Alm near Reutlingen. Here one had not only the wonderful view over the beautiful Schwabian landscape, but also – and that was the more important – the best chance to keep in reasonably good radio contact with PRAKLA-SEISMOS's army of more than 100 men.

Next to the PRAKLA-SEISMOS office, Prof. Meißner – supported by Mr. Bartelsen – set up quarters for his co-workers. (These included female assistants and students and numbered over 60 in total.) 26 field stations of the Mars-type with three channels, as well as a DFS IV from Kiel University were supervised from here by telephone, radio or courier. Every day new situations occurred suddenly, meaning that program changes and technical difficulties had to be discussed. These discussions often lasted well into the night in an atmosphere of good team effort which enabled the correct decisions to be made.

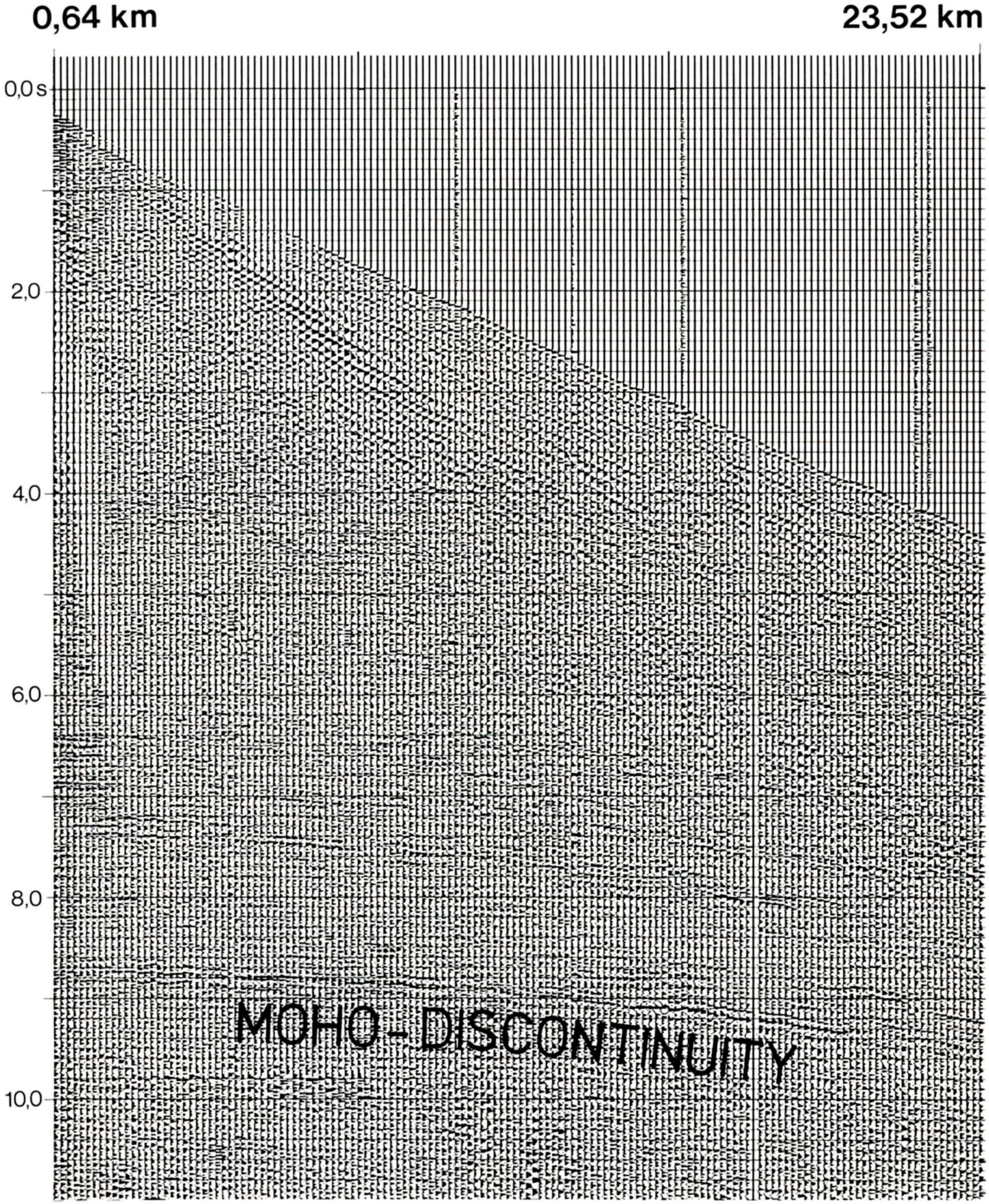
The results were generally good, especially from the deep crust region. Examples are shown in Fig. 4 and 5.

The data processing, which is not yet finished, shall embrace together with CDP-stacking a continuous determination of the optimal stacking velocities. Thereby the "seismic stripping" method will be used (Th. Krey, Geophysics 1978), i. e. the effect imposed on the reflection times by non-horizontal sediment layers shall be taken into account and removed before the data processing. With the optimal stacking velocities obtained in this way, experiments shall be made later to test if some zones of reduced velocities are present in the crust within the survey region and using the publication "How to Take Better Advantage of our Recording Channels" (Th. Krey, EAEG-Meeting 1977) the trend of the boundaries of the lower velocity zones should be determined.

The fact that the technically new and very expensive survey could be carried out successfully in spite of the difficulties is due to the cheerful commitment, the wealth of ideas and the good cooperation of all the workers from PRAKLA-SEISMOS and the universities.

Fig. 4
144spuriges unkorrigiertes Seismogramm mit guten Ergebnissen im tiefen Krustenbereich. Die Reflexion bei 8,7 Sekunden t_0-Zeit (Moho-Bereich) hat eine Moveout-Zeit von etwa 0,8 Sekunden

Uncorrected seismogram of 144 traces with good events from the lower crust. The reflection at 8,7 seconds t_0-time (Moho zone) has a moveout-time of about 0,8 seconds



beit plötzlich auftretende neue Situationen, Programmänderungen und technische Schwierigkeiten diskutiert und die entsprechenden Folgerungen gezogen.

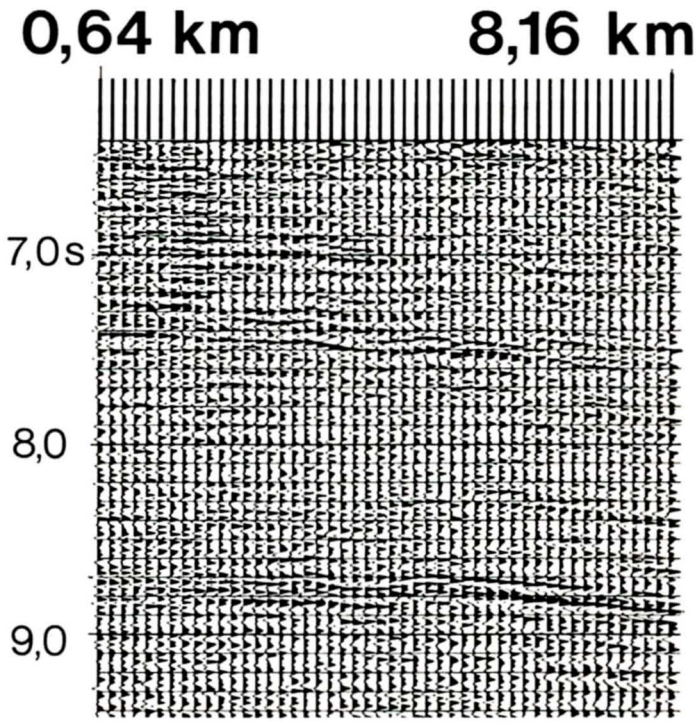
Die Ergebnisse waren besonders im tiefen Krustenbereich meist recht gut. Beispiele sind die Abbildung 4, in der die guten Ersteinsätze und die guten Reflexionen im Krustenbasis-Bereich auf einem 144spurigem Seismogramm zu sehen sind und die Abbildung 5.

Die Datenverarbeitung, die bisher noch nicht abgeschlossen wurde, soll neben der CDP-Stapelung eine kontinuierliche Bestimmung der optimalen Stapelgeschwindigkeiten umfassen. Dabei soll von der Methode des „Seismic Stripping" Gebrauch gemacht werden (Th. Krey, Geophysics 1978), d. h. die Auswirkungen, die die Abweichungen der Sedimentschichten vom ebenen Verlauf auf die Reflexionszeiten haben, sollen vor der Datenverarbeitung weggerechnet werden. Aufgrund der so ermittelten optimalen Stapelgeschwindigkeiten soll später untersucht werden, ob im Meßbereich irgendwelche Zonen mit verminderten Geschwindigkeiten in der Kruste vorliegen und aufgrund der Arbeit „How to Take Better Advantage of our Recording Channels" (Th. Krey, EAEG-Tagung, 1977) soll berechnet werden, wie die Begrenzungen dieser Zonen verminderter Geschwindigkeiten verlaufen.

Daß diese technisch neuartige und sehr aufwendige Vermessung trotz aller Schwierigkeiten erfolgreich durchgeführt werden konnte, ist der Einsatzfreudigkeit, dem Einfallsreichtum und der guten Zusammenarbeit aller Mitarbeiter von PRAKLA-SEISMOS und von den Universitäten zu verdanken.

Fig. 5
Seismogrammsektion mit 48 schußpunktnahen Geophongruppen zeigt eine sehr gute Moho-Reflexion und weitere Reflexionen aus dem tiefen Krustenbereich

Seismogram section with the 48 shotpoint-nearest geophon groups showing a good Moho-reflection and other reflections of the deep crust zone



3D-Seismik

Die angekündigte 3D-Serie, die im letzten Report 2/79 mit W. Houba's ausführlichem Beitrag über 3D-Processing eingeleitet wurde, findet nunmehr mit der Veröffentlichung spezieller Anwendungen von flächenhaften seismischen Messungen ihre Fortsetzung. Die Artikel dieser Folge werden den Charakter von Fall-Studien tragen, wofür sich in unserem Fachbereich der Ausdruck „case history" eingebürgert hat. Die betreffenden Messungen hatten ganz spezifische Aufschlußziele und wurden in jüngster Zeit für verschiedene Auftraggeber durchgeführt. Für die Möglichkeit, diese Messungen in unserem Report zu beschreiben, fühlen wir uns diesen Kunden gegenüber zu besonderem Dank verpflichtet.

Die „case histories" werden sich zunächst auf ein flachgründiges, dann ein mitteltiefes und schließlich auf ein tiefes Objekt seismischer Exploration erstrekken. Ein Teil der Abbildungen wurde bereits in anderen Veröffentlichungen verwendet; die Abbildungen dieses ersten Artikels der Serie wurden anläßlich eines Vortrages der EAEG-Tagung 1979 in Hamburg vorgeführt (1) und finden sich zum Teil auch in unserer Information Nr. 19 „3-D Seismics".

R. Bading

3-D Seismics

The 3-D series introduced in our last issue (2/79) with W. Houba's comprehensive article about 3-D processing is continued here with the publication of special uses of areal (3-D) seismic surveys. The series will take the form of a collection of "case histories". The surveys described all have specific exploration targets and have recently been carried out for several clients, to whom we owe our special thanks for the possibility of publishing this one and the subsequent contributions.

The case histories show three different objectives; a shallow, a deeper and finally, a deep seismic target. Some of the illustrations were already used in other publications, those of this first article for a paper read at the EAEG-meeting in Hamburg this year (1) and may also, to some extent, be found in our PRAKLA-SEISMOS Information No. 19 "3-D Seismics".

CASE HISTORY NO. 1

Flachgründige seismische Untersuchung mit hoher Auflösung

Wer mit der seismischen Erschließung von Öl- und Gaslagerstätten zu tun hat, mag flachgründige seismische Messungen als etwas aus dem Rahmen Fallendes betrachten. Was wir normalerweise von einem seismischen Aufschluß erwarten, ist die Antwort auf Fragen nach der Struktur des Untergrundes. Im vorliegenden Fall war das besondere Interesse auf den Laufzeitbereich von 200 bis 400 ms gerichtet: Jede kleinste Störung oder sonstige strukturelle Veränderung bis in den Bereich weniger Meter oder Millisekunden sollte aufgedeckt werden. Das ist ein recht ehrgeiziger Anspruch selbst für eine typische „High-Resolution-Messung", d. h. eine Vermessung mit wesentlich höherer Auflösung als sonst üblich. Eine saubere räumliche Erfassung von kleinen und kleinsten Strukturanomalien ist nur mit einer flächenhaften Messung möglich, die ein angemessen dichtes Netz von Untergrundpunkten erzeugt; denn eine hohe Auflösung im Laufzeitbereich allein, d. h. nur in der „vertikalen" Richtung, ist wenig sinnvoll, sondern muß vernünftigerweise von gesteigerter Auflösung in horizontaler Richtung begleitet sein.

Probleme dieser Art konnten erst dann in wirtschaftlicher Weise gelöst werden, als Vielkanal-Instrumente auf dem geophysikalischen Markt erschienen, die eine Kombination von Vielspur-Registrierung mit höherer

CASE HISTORY NO. 1

Shallow Seismic Exploration with High Resolution

Anyone involved in seismic gas and oil exploration may find that shallow targets seem to be somewhat peripheric. The usual information expected from seismic surveys is subsurface structure. In the case presented here the zone of interest lay between 200 and 400 ms, reflection time, the aim being to obtain highly detailed information about faults and other structural changes in the order of meters or milliseconds. Even for a high resolution survey this would be an ambitious claim. A detailed spatial view of such small, and smallest, structural anomalies can only be obtained using 3-D seismic surveys with an appropriately dense grid of subsurface points. A high resulution in the time domain, i. e. the vertical, is only really useful when the horizontal resolution is of adequate quality.

Such problems could only be realised economically with the appearance of multi-channel recording systems for the geophysical sector, allowing a combination of multi-trace recording with higher data rate. A suitable instrument was available to us in the second half of 1978; a Sercel SN 348 telemetric recording system, at that time capable of simultaneously recording either 120 traces at 2 ms sampling rate or 60 traces at 1 ms sampling rate. (The latest development in this field permits twice this recording density.)

Datenrate ermöglichten. Ein Instrument mit den geforderten Eigenschaften war für uns in der zweiten Hälfte des Jahres 1978 verfügbar: Das seismische Telemetrie-Instrument SN 348 von Sercel, das damals 120 Spuren mit 2 ms oder 60 Spuren mit 1 ms Samplingrate aufzunehmen gestattete. (Die neueste Entwicklung auf diesem Gebiet ermöglicht sogar die doppelte Datenrate.) Letztere Kombination ermöglicht es, das genannte 3D-High-Resolution-Problem bei vernünftigem Kostenaufwand anzugehen.
Ein paar Stichworte über die wesentlichen Unterschiede eines Telemetrie-Instrumentes gegenüber den bislang gewohnten digitalen seismischen Aufnahmeapparaturen: Die Analog/Digital-Wandlung geschieht bereits bei jeder Geophonstation in sogenannten „station units". Hier werden die digitalen Daten zunächst gepuffert und dann – Station nach Station – über ein einziges Kabelpaar in die Zentraleinheit geschickt. Auf diese Weise werden Effekte wie elektrische Störeinstreuungen (z. B. 50 Hz), Übersprechen im Meßkabel sowie Erdschlüsse weitgehend vermieden. Solche Vorzüge sind für den Benutzer natürlich sehr attraktiv. Die Hauptsache aber ist – um es zu wiederholen – die Möglichkeit einer Kombination von hoher Auflösung mit einer Vielkanal-Aufnahme.

Bevor wir zu den Einzelheiten der Messung übergehen, ein paar kurze Anmerkungen zu den geologischen und topographischen Bedingungen im Meßgebiet.

Geologie und Gelände

Die geologischen Verhältnisse sind gekennzeichnet durch eine etwa 800 m mächtige Deckschicht aus Tertiär und Kreide über tektonisch stark gestörtem Karbon. Das Gelände ist praktisch eben, und der Grundwasserspiegel liegt etwa 1,5 m unter Gelände. Seismische Messungen aus den frühen fünfziger Jahren ließen günstige Reflexionsbedingungen erwarten.

Die zu vermessende Fläche war mit Wald sowie dichtem Unterholz und Brombeergestrüpp bewachsen und nur über einige Schneisen zugänglich. Die Einmeßarbeiten bedeuteten für die Topographen keine reine Freude. Zeitweilig waren bis zu 20 Arbeiter damit beschäftigt, Sichten zu schaffen und Pfade zu schlagen. In diese feindliche Umwelt mußte also das Muster übertragen werden, das wir als Meßschema ausgeklügelt hatten.

Meßmethode

Figur 1 zeigt die Auslage der Geophonstationen und die Anordnung der Schußpunkte innerhalb eines Meßstreifens. Die Längsrichtung entspricht der Richtung des Meßfortschritts. Die Geophonorte sind regelmäßig angeordnet und durch eine mäandrierende Kabelauslage miteinander verbunden. Der Gitterabstand der Geophonstationen beträgt 30 m in x- und y-Richtung. Die Schußpunkte säumen den Geophonstreifen auf beiden Längsseiten in 30 m-Intervallen und sind gegen die Geophongruppen jeweils um einen halben Stationsabstand versetzt. Der Abstand der Schußreihen zu den Reihen der äußeren Geophongruppen beträgt ebenfalls 15 m.

Zu jeder Auslage – bestehend aus zwei Mäandern von je 30 Geophongruppen, die in Figur 1 durch ausgefüllte Kreise angezeigt werden – gehören zwei Schußpunkte,

These properties allowed the economical feasibility of approaching our 3-D high resolution problem. Here a few of the significant differences between conventional and telemetric recording instruments: In a telemetric system the A/D conversion is carried out at the geophone stations in so-called "station units". Here the digital data are buffered and subsequently sent, station by station, via a two-core cable to the central unit. The advantage of this system is that interference effects, such as electrical noise (e. g. 50 Hz), cable cross-feed and ground leakage are, to a great extent, eliminated. These qualities are, of course, very attractive for the user. The main advantage, however, is the possibility of combining high data rate with multi-trace recording.

Before going into the details of the survey some comments concerning the geological and topographical conditions in the survey area.

Geology and Topography

The geological conditions are characterized by a Tertiary and Cretaceous overburden around 800 m thick, lying over tectonically heavily faulted Carboniferous. The topography is virtually flat and the water table lies at a depth of around 1.5 m below the surface. Previous seismic surveys from the early 50's let us expect favourable reflection conditions.

The survey area was wooded with thick underbrush and brambles and only accessible by a few lanes. Such conditions, of course, were of little delight to our topographers. At times up to 20 labourers were employed to open views and to clear paths needed. In this hostile environment the survey scheme designed for this program had to be set out.

Survey Method

Fig. 1 shows the layout of the geophone stations and the arrangement of the shotpoints for a single survey strip. The longitudinal axis corresponds to the survey progress direction. The geophone locations are spaced regularly and linked by a meandering cable. The grid spacing of the geophone stations is 30 m in both x- and y-directions. The shotpoints border the geophone strip on both long sides and are spaced at intervals of 30 m, they are displaced by one half of the station separation with respect to the geophone groups. The offset of the shot lines from the outer geophone lines is also 15 m.

To each array, comprising two meanders each with 30 geophone groups (shown as filled circles in Fig. 1), belong two shots fired one after the other (in Fig. 1 encircled). The gap in the areal split spread is necessary to avoid overrides in the analog amplifiers resulting from too short a distance between shots and geophones, a fact observed in preceding test recordings. As a result the minimum and maximum shot-geophone distances are 76 m and 255 m, respectively.

Surveying several parallel strips in this way, as in the location map of Fig. 2, a regular grid of subsurface data points is obtained with a 15 m grid spacing, seamlessly knit from strips of 180 m width. The grid continuity is obtained when using the same positions for the inner shots of two neighbouring strips. The subsurface data grid increases in length and breadth with progressive recording of the meanders within the strip and by the addition of further strips, respectively.

die nacheinander abgetan werden (in Figur 1 eingekreist). Die Lücke zwischen den symmetrischen Flächen-Zentralschuß-Anordnungen ist erforderlich, um Übersteuerungen der Analog-Vorverstärker infolge allzu großer Schußnähe von Empfängergruppen auszuschließen, eine Erkenntnis, die sich aus Testaufnahmen ergeben hatte. Die minimalen und maximalen Schuß-Geophon-Abstände betragen danach 76 m bzw. 255 m.

The analogy to conventional seismic line shooting becomes obvious if one considers the geophones in the x-direction as being connected by parallel cables, with 5 stations to each side of the central shot positions. The recording of a strip laid out in this way, and consisting of 6 geophone lines, gives 2 x 6 = 12 subsurface profiles, the shotpoints having different lateral offsets (15 m, 45 m, 75 m, 105 m, 135 m and 165 m). The separation between profiles as well as the trace spacing along them is 15 m.

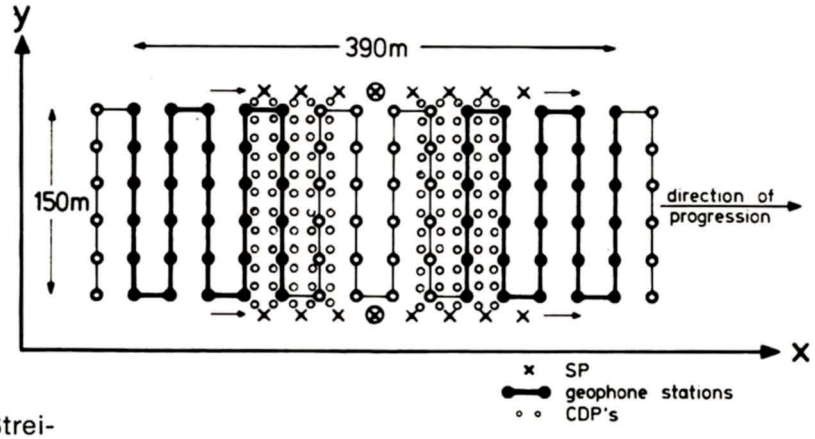


Fig. 1 Aufnahmegeometrie
Field layout

Vermessen wir nacheinander mehrere parallele Streifen dieser Art, wie im Lageplan der Figur 2 dargestellt, so erhalten wir ein regelmäßiges Netz von Untergrundpunkten mit Gitterabständen von 15 m, aus jeweils 180 m breiten Streifen nahtlos zusammengefügt. Diese Nahtlosigkeit wird erreicht, wenn man die Positionen der inneren Schußpunkte zweier Nachbarstreifen dekkungsgleich wählt. Das Datennetz im Untergrund wächst nach Länge und Breite mit der fortschreitenden Registrierung der Mäander innerhalb der Streifen bzw. mit der Anfügung weiterer Streifen.

Die Analogie zur Linienseismik wird offensichtlich, wenn wir uns die Geophonstationen in x-Richtung durch parallele Kabel miteinander verbunden denken, und zwar jeweils 5 Stationen beiderseits der zentralen Schußpunkte. Die Registrierung eines so angeordneten Streifens aus 6 Geophonlinien ergibt 2 x 6 = 12 Profile im Untergrund, wobei die Schußpunkte verschiedene seitliche Abstände (15 m, 45 m, 75 m, 105 m, 135 m und 165 m) aufweisen. Die Profilabstände betragen dabei 15 m, ebenso wie die Spurabstände auf den Profilen. Der Überdeckungsgrad, der durch die flächenhafte Vermessung erzielt wird, entspricht dem Überdeckungsgrad der Profile „in Linie", da der Grad der Überdekkung quer zum Meßstreifen gleich eins ist, wie aus Figur 1 leicht abzuleiten ist. Die Überdeckung in Linie ist, bei gleichen Stations- und Schußpunktabständen, bei n Stationen gleich $\frac{n}{2}$ hier also $\frac{10}{2}$ = fünffach

Meßparameter

Tests vor Beginn der eigentlichen Messung hatten gezeigt, daß 100 g-Einzelladungen ausreichen, abgetan in 2 m bis 2,5 m tiefen Löchern. Das Herstellen solcher Löcher mittels Bohrlanzen und die Anwendung entsprechend kleiner Ladungsmengen ist bei unseren seismischen Meßtrupps in bestimmten Gebieten Hollands seit Jahren üblich, bedingt durch die behördliche Auflage, den Boden nicht tiefer als 2 m zu perforieren (2). Aus der Not wurde eine Tugend! Es zeigte sich nämlich, daß dieses Bohrverfahren nicht nur sehr wirtschaftlich und umweltfreundlich ist, sondern daß sich durch Verwendung kleinster Ladungen – eine Zwangsläufigkeit die-

The degree of coverage of our 3-D survey is simply equal to that of the above mentioned profiles, as the degree of coverage perpendicular to the strips is only single-fold. At equal spacing of emitter and receiver stations the degree of coverage is found to be $\frac{n}{2}$, when the number of receiver stations is n, thus the coverage is $\frac{10}{2}$ = 5-fold.

Survey Parameters

Tests before the actual survey showed that single 100 g charges were sufficient, loaded in 2 m to 2.5 m holes. The use of small charges in holes sunk with lances has been common practice in our survey crews for years in those areas of Holland where the local authorities do not allow drilling deeper than 2 m (2). This restriction turned out to be a virtue: Lancing not only proved more economic and environment-protective but also showed improvements in quality because such small charges produce a considerable shift towards higher signal frequencies (3), particularly when the holes are carefully tamped with granulated clay. Further, the tests showed that geophone patterns with noteworthy diameters were not necessary for the suppression of groundroll, as long as a minimum shot-geophone separation of 75 m is retained, because only the exact recording of two horizons at 150 ms and 320 ms was of prospective interest. Moreover, laying out of patterns in the thick brush would have been feasible only in rare cases. The geophone groups were virtually point locations, 3 chains of 6 geophones per station connected in parallel. (One chain of 6 would probably have been sufficient, but at the start of a survey one never knows whether problems may occur later.) The decision to use 20 Hz-geophones was reasonable. Low-frequency groundroll would probably have caused trouble, enforcing larger shot-geophone distances.

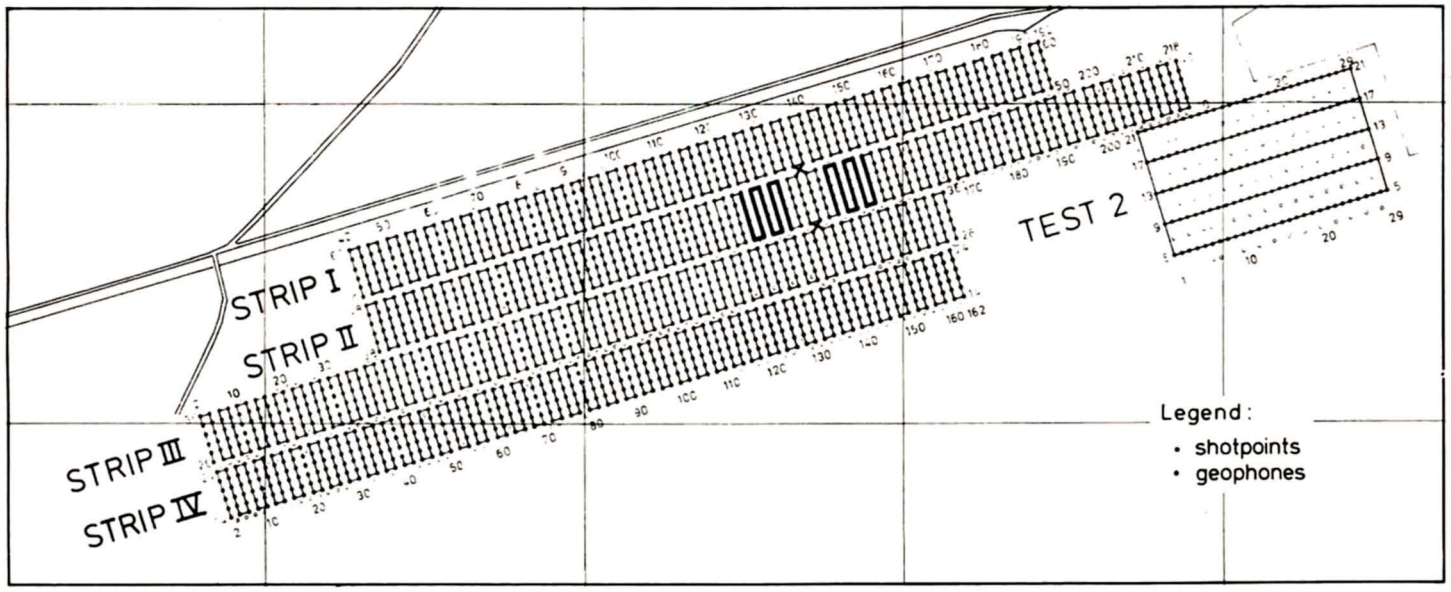


Fig. 2 Lageplan – Location map

ser Methode – das Spektrum der Signalfrequenzen beträchtlich zu höheren Frequenzen hin verschiebt (3), insbesondere nach sorgfältiger Verdämmung mit quellenden Tonkörnern.

Die Tests hatten weiterhin gezeigt, daß es zur Dämpfung von Bodenrollern nicht erforderlich sein würde, Geophonpattern von nennenswertem Durchmesser zu verwenden, sobald ein Mindestabstand von 75 m zwischen Schuß- und Geophongruppen eingehalten wird; denn es kam im wesentlichen ja nur auf die klare Erfassung zweier Horizonte bei etwa 150 ms und 320 ms an. Im übrigen hätte man das Auslegen von Pattern in dem Dickicht des Waldes nur selten realisieren können. Die Geophongruppen wurden also praktisch punktweise gebündelt, und zwar 3 6er-Ketten pro Station parallel geschlossen. (Eine 6er-Kette hätte wahrscheinlich genügt, aber da man zu Beginn einer Messung nicht weiß, ob später nicht doch Probleme auftreten, beließ man es zur Sicherheit bei 3 Ketten = 18 Geophonen pro Station.) Die Entscheidung, Geophone von 20 Hz-Eigenfrequenz zu verwenden, war sicher richtig: Die tieffrequenten Bodenroller hätten möglicherweise Ärger bereitet und zu größeren Schuß-Geophon-Distanzen gezwungen.

Lassen Sie mich den Katalog der Maßnahmen noch einmal zusammenstellen, die getroffen wurden, um unter den gegebenen Umständen eine möglichst „feinkörnige" Auflösung der Meßdaten zu erreichen:

Schußseite:
kleine Ladung (100 g), gut verdämmt in 2 m Tiefe (unter dem Grundwasserpegel)
Empfängerseite:
praktisch punktweise Bündelung von 20-Hz-Geophonen (3 Ketten mit je 6 SM-7 Geophonen, 20 Hz, in Serie parallel)
Registrierung:
Telemetrie Sercel SN 348, 60-kanalig mit 1 ms Sampling Rate, Tiefschnitt 20 Hz/12 dB/Okt, Hochschnitt 250 Hz/72 dB/Okt

Let me recall the points considered to attain the most "fine-grained" resolution under the circumstances present.

Shooting:
Small charges (100 g), well tamped at a depth of 2 m (below the water table).
Receiving:
20 Hz geophones, type SM-7, point location of groups of 18 (3 parallel chains at 6 in series).
Recording:
Telemetry Sercel SN 348, 60 channels at 1 ms sampling rate, low-cut 20 Hz, 12 dB/oct, high-cut 250 Hz, 72 dB/oct.

The first field seismogram appeared as in Fig. 4: 60 traces from one of the two central shotpoints. As a result of the meandering cable layout 5 "saw-teeth" appear for the first breaks. The shot-near geophone groups lay approx. 75 m, the shot-far 255 m from the shot location. The central traces show considerable noise interference from 0.3 s onwards, but in spite of this the base Tertiary reflection is still easily recognizable. After the analysis of these first field results the conclusion could be made, that the factors employed were appropriate for the target in view and that the problem in hand could probably be solved in this way.

Before discussing the results produced in our data center, a few paragraphs concerning static corrections, because exact static corrections for the traveltimes in the near surface layers are a prime condition for the quality of high resolution surveys.

Static Corrections

The first problem was to attain the exactitude needed. If seismic signals are to be stacked in such a way that at least 70% of the signal amplitude is retained, the phase differences must be smaller than 50% of the signal period, that means smaller than 5 ms in the case of a 100

Das erste Feldseismogramm sah dann aus, wie jenes in Figur 4: 60 Spuren, beschossen von einem der beiden zentralen Schußpunkte. Infolge der mäanderförmigen Kabelverbindungen ergeben sich für die Ersteinsätze 5 „Schwalbenschwänze". Die schußnächsten Geophongruppen lagen ca. 75 m, die schußfernsten etwa 255 m vom Schußort entfernt. Die mittleren Spuren zeigen ab 0,3 s zwar beträchtliche Störwellen-Amplituden, doch ist bei 0,6 s die Tertiärbasis-Reflexion trotz dieser Interferenzen durchaus erkennbar. Nach Analyse dieser ersten Feldergebnisse konnte der Schluß gewagt werden, daß die angewendete Technik dem gesteckten Ziel gerecht werden würde, die gestellte Aufgabe also zu lösen sein müsse.

Vor einer Diskussion der im Datenzentrum produzierten Ergebnisse soll noch über statische Korrekturen gesprochen werden; denn hohe Ansprüche an die seismische Auflösung setzen entsprechend genaue Korrekturen der Laufzeiten für die oberflächennahen Schichten voraus.

Statische Korrekturen

Zunächst stellt sich die Frage nach der erforderlichen Genauigkeit. Sollen seismische Signale so gestapelt werden, daß mindestens 70% der Signalamplitude erhalten bleiben, dann müssen die Phasendifferenzen kleiner sein als 50% der Signalperiode, für 100 Hz-Signale heißt das: kleiner als 5 ms, für 200 Hz-Signale: nicht größer als 2 ms. Letzteres ist die Größe, die wir anvisieren mußten, denn 200 Hz-Signale waren unser Wunschziel. Anforderungen dieser Qualität an statische Korrekturen lassen sich zwar stellen, sind sie aber realisierbar? Besonders bei Verwendung derart flachgründiger Schüsse, deren Aufzeiten mit unseren Standardgeräten nicht erfaßbar sind?

Wir mußten hinsichtlich der Aufzeiten voraussetzen, daß in den oberen 2 Metern generell $v_0 = 500$ m/s gilt. Die Aufzeiten wurden also konstant gleich 4 ms gesetzt. Da die Empfängergruppen praktisch punktförmig angeordnet waren, ließen sich die Ersteinsätze zur Ermittlung von Interceptzeiten an den Schußpunkten und von Hagedoornschen „Plus"-Zeiten an den Geophonorten verwenden. Ein Blick auf das Meßschema in Figur 3 zeigt, wie das gemeint ist: Wir verbinden zwei Schußpunkte auf den Streifenrändern mit 45°–Diagonalen in der Weise, daß je 6 Geophonorte auf diesen Diagonalen liegen. Davon sind allerdings nur je 4 von Schuß und Gegenschuß angeregt worden (die beiden schußnächsten Stationen waren wegen der Offset-Lücke in der Zentralaufstellung nicht angeschlossen). Die Reziprok- oder Gegenzeiten sind zwar gut kontrolliert, aber die eigentlichen Interceptzeiten an den Schußpunkt-Ordinaten müssen über 2 1/2 Stationen extrapoliert werden. Doch da für jeden Schußpunkt zwei Interceptzeiten erhalten und dann gemittelt werden können, von der Diagonalen links oben nach rechts unten und umgekehrt, ist dieser Mangel nicht so schwerwiegend. (Ideal wäre es allerdings gewesen, wenn der Offset statt vier nur zwei Empfängerreihen betragen hätte. Aber die optimale Registrierung der Reflexionssignale, wie im Seismogramm der Figur 4 gezeigt, mußte Vorrang haben vor einer Optimierung statischer Korrekturen.) Da bei der Aufnahme des Nachbarstreifens die Schußpunkte auf der Grenzlinie wiederholt werden, erhöht sich somit die Zahl der pro Schußort zu mittelnden Interceptzeiten auf vier. Im übrigen stand immer noch die automatische

Hz signal, not greater than 2 ms for 200 Hz signals. The latter must be held in view, as the target frequencies hoped for are in the range of 200 Hz. Such high quality in static corrections may of course be demanded, the question being only whether it can be realised, particularly when using shallow shots, the uphole times of which are too short to be recordable by standard equipment.

A v_0 of 500 m/s was assumed for the upper 2 m, which corresponds to a constant uphole time of 4 ms. As the receiver groups were virtually point locations, the first breaks could be used for the calculation of intercept times at the shotpoints and of Hagedoorn's "Plus-times" at the geophones.

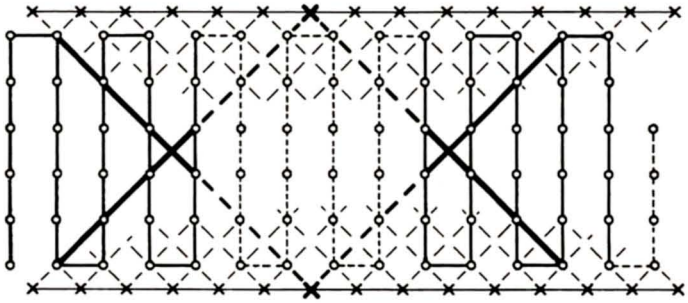


Fig. 3
Zuordnung von Schuß- und Geophonorten zur Ermittlung der statischen Korrekturen
Shot-receiver configuration used for determination of statics

A glance at the survey scheme in Fig. 3 shows what is meant here: Two shotpoints on the strip edges are connected by 45° diagonals in such a way that 6 geophones lie on this diagonal. Of these 6, only 4 are involved by shot and countershot (the two shot-near stations were not branched due to the offset gap in the central shooting scheme). The reciprocal or counter times are well under control, but the actual intercept times at the shot locations have to be extrapolated over 2 1/2 stations. But, as 2 intercept times are obtained for each shotpoint and then averaged, from the diagonal upper left to lower right and vice versa, this problem is not all that significant. (The ideal case would be an offset of 2, instead of 4, receiver rows but, as shown in Fig. 4, optimal recording of the reflection signals must take priority over the calculation of optimal static corrections.) As the shotpoints between strips are repeated when shooting the neighbouring strip, the number of intercept times to be areraged per shot increases to 4. After all, the 3-D ASTA automatic residual statics program was still standing by, although its efficiency was, up to then, an unknown factor.

Data Processing

Fig. 5 is the result of a preliminary data processing test showing the application of a spike deconvolution to the field record presented in Fig. 4. After deconvolution the signals rise above the general noise level with much greater clarity and have considerably higher frequencies, continuous reflections being recognizable down to 0.8 s.

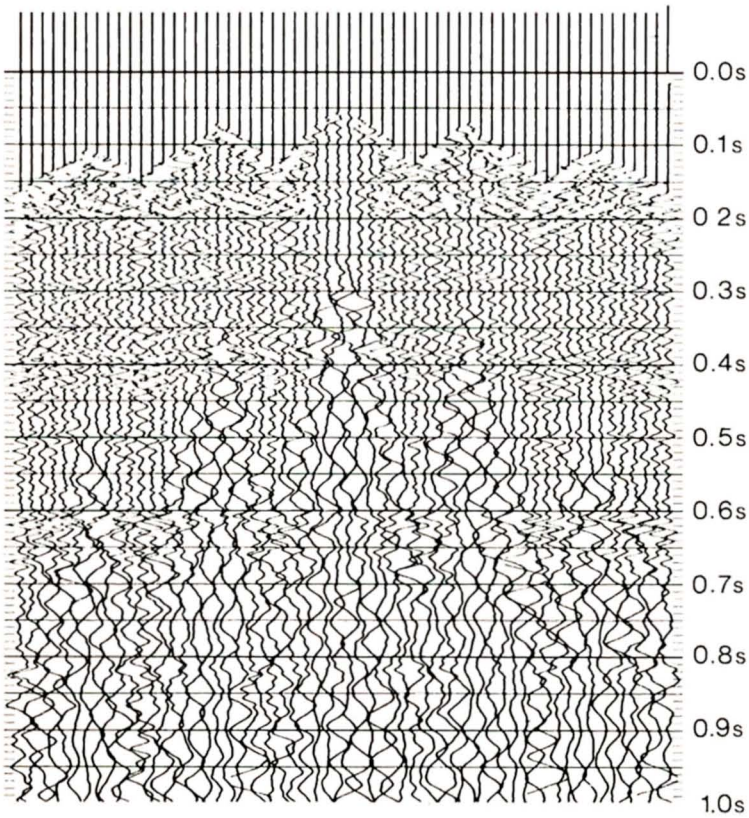


Fig. 4
Feldaufnahme, 60 Spuren, 1 ms Sampling Rate
Field record, 60 traces, 1 ms sampling rate

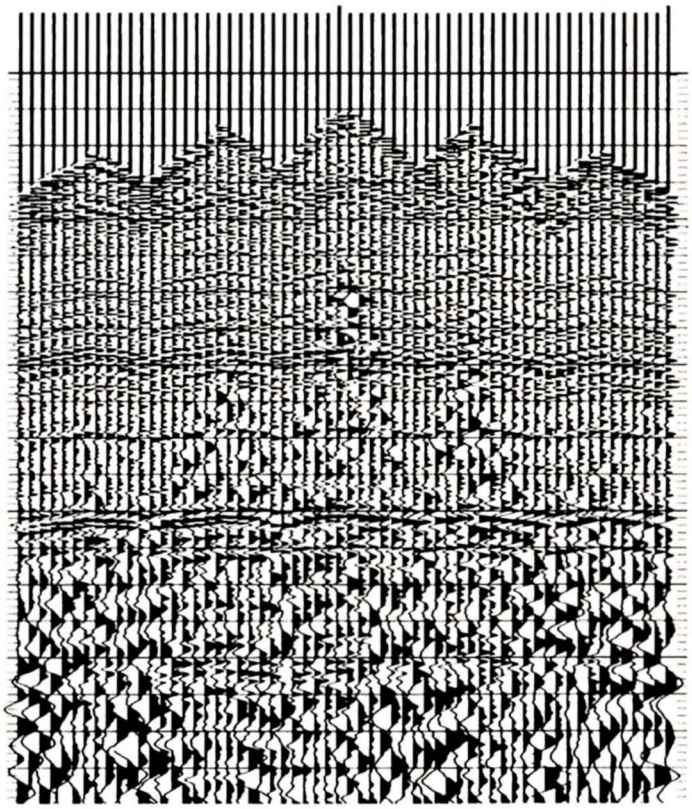


Fig. 5
Feldaufnahme mit Spike-Dekonvolution
Spike deconvolution applied on field record

statische Nachkorrektur durch das Programm 3D-ASTA im Hintergrund, dessen wirklicher Leistungsfähigkeit wir uns bis zu seiner Bewährung im Rahmen dieser Messungen allerdings noch nicht so ganz sicher sein konnten.

Datenbearbeitung

Figur 5 ist das Ergebnis eines ersten Tests für die Datenbearbeitung und zeigt die Anwendung einer Spike-Dekonvolution auf dieselbe Aufnahme, deren Feldmonitor bereits in Figur 4 vorgestellt wurde. Die Signale heben sich nach der Dekonvolution ungleich deutlicher aus dem allgemeinen Störpegel heraus und sind wesentlich höher in der Frequenz. Zusammenhängende Reflexionen sind bis zu Laufzeiten von 0,8 s erkennbar.

In welchem Maße der Frequenzinhalt durch die Dekonvolution angehoben wurde, zeigt der Vergleich der Powerspektren a und b der Figur 6. Die Powerspektren beziehen sich auf eine der beiden schußnächsten Spuren in der Mitte des Seismogramms und erstrecken sich über den ganzen Zeitbereich bis zu 1,0 s. Das Energiemaximum der Figur 6a liegt bei 20 Hz; es entspricht dem Restanteil des Bodenrollers. (Frequenzen unter 20 Hz wurden bei der Aufnahme durch die 20-Hz-Geophone und das Instrumentfilter von 20 Hz, 12 dB/Okt bereits beschnitten.) Die Mittenfrequenz der Nutzsignale liegt bei etwa 70 Hz, deren Energie allerdings um mehr als eine Zehnerpotenz geringer ist als die des Bodenrollers.

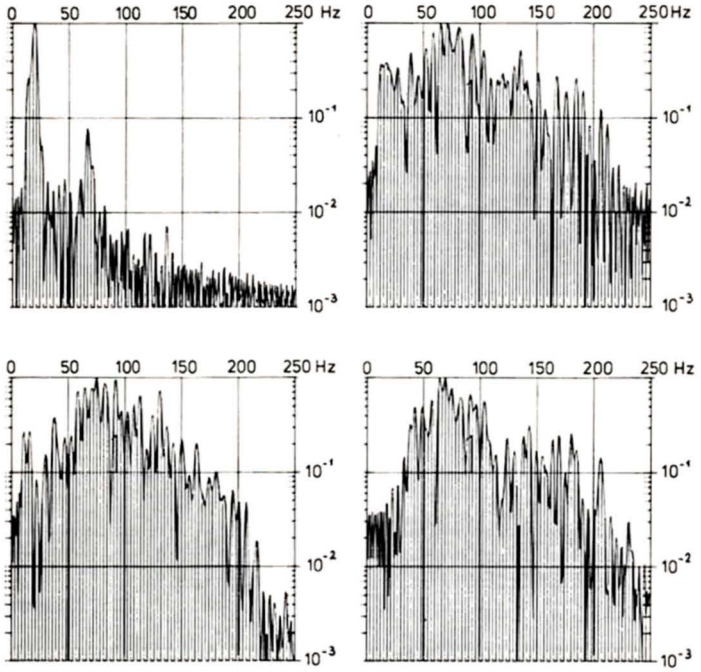
To what extent the frequency content was raised by the deconvolution is shown by the comparison of the power spectra, a and b of Fig. 6, derived from one of the shot-near traces in the middle of the seismogram, and covering the whole time scale down to 1.0 s. The energy maximum in Fig. 6a is at 20 Hz, corresponding to the residual portion of the groundroll (frequencies below 20 Hz having already been eliminated by the use of 20 Hz geophones and a lowcut recording filter of 20 Hz, 12 dB/oct). The middle frequency of the usable signals is around 70 Hz, the signal energy being less than that of the groundroll by a power of 10 or more. After deconvolution (Fig. 6b) the energy peaks lie between 60 and 80 Hz, the 20 Hz peak (Fig. 6a) having been suppressed to a third of its original maximum value. The usable signal frequencies, up to 200 Hz, were raised to a level amounting to around $^1/_7$ of the maxium amplitude. In the following discussion of the results only the more significant of the 3-D processing steps are mentioned; for more detailed basic information please refer to W. Houba's 3-D processing article in Report 2/79.

The data organization, in this case, was not particularly difficult. As the coverage perpendicular to the strip was only single-fold, the resulting 5-fold stacked lines are, in reality, only 2-D stacks: the shot/geophone points concerned lie on parallel lines, the lateral offsets of 15 m to 165 m already mentioned in the section covering the survey method. This single-component coverage is expedient for shallow exploration in order to keep shot-

Fig. 6
Power Spektren – Power spectra

a) Einzelspur
Base trace

b) Deko auf Einzelspur
Decon on base trace



c) Stapelspur
Stack trace

d) Migrierte Spur
Migrated trace

Nach der Dekonvolution (Figur 6b) liegen die Energiespitzen dagegen bei den Frequenzen von 60 bis 80 Hz; das 20 Hz-Maximum in 6a wurde in 6b auf ein Drittel des Maximalwertes des Spektrums gedrückt. Die Nutzsignale bis hin zu 200 Hz wurden auf einen Pegel angehoben, der etwa ein Siebtel der Maximalamplitude beträgt.

Bei der nun folgenden Diskussion der Ergebnisse kann ich mich auf die Nennung der wesentlichen Schritte der 3D-Datenbearbeitung beschränken. Hinsichtlich grundsätzlicher Fragen sei auf den 3D-Processing-Artikel von W. Houba in Report 2/79 verwiesen.

Die Datenorganisation war in unserem Fall nicht sonderlich schwierig. Da der Überdeckungsgrad quer zur Streifenrichtung nur einfach war, sind die entstehenden 5fach-Stapelungen eigentlich nur 2D-gestapelte Profile: Die zusammengehörigen Schuß-Geophon-Paare liegen auf parallelen Linien, deren seitliche Abstände von 15 m bis 165 m bei der Diskussion der Meßmethode schon erwähnt wurden. Für flachgründige Exploration ist diese „Ein-Komponenten-Überdekkung" zweckmäßig, um die Schuß-Geophon-Entfernungen möglichst klein zu halten, andererseits auch nicht von Nachteil, da im hier interessierenden Laufzeitbereich mit multiplen Reflexionen kaum gerechnet werden muß. Bei „tieferen" Problemen empfiehlt es sich allerdings, den Grad der Überdeckung aufzuteilen: etwa in 3fach in y (quer zum Meßfortschritt) und in 2fach in x (in Richtung des Meßfortschrittes), resultierend in 3 x 2 = 6fach total. Bei Aufteilung der Mehrfachüberdeckung auf beide Richtungen ergibt sich nämlich eine wesentlich größere Vielfalt der Glieder einer CDP-Familie. Diese Vielfalt wirkt sich bei der Multiplenbekämpfung vorteilhaft aus, sowohl bei der Stapelung als insbesondere auch bei einer 3D-Migration (4).

geophone distances as small as possible, on the other hand it is not disadvantageous because multiple reflections are hardly to be expected within the target zone. In the case of "deeper" problems it is recommendable, however, to split the degree of coverage, e. g. 3-fold in the y-direction (perpendicualar to the survey direction) and 2-fold in th x-direction (following the survey direction), resulting in 3 x 2 = 6-fold total coverage. As a result of this division into x and y components a considerably greater diversity of the members of a CDP "family" is attained, favourable for the attenuation of multiples both in stacking and, particularly, in the 3-D migration.

Figs. 7, 8 and 9 all show the same 645 m segment of one of a total of 48 profiles. Fig. 7 shows the raw stack, Fig. 8 the stack after improvement by the application of 3-D ASTA automatic residual static corrections. The effect is astonishing and is not, as is sometimes the case with automatic residuals, purely cosmetic, but shows a considerable improvement of the signal/noise ratio and a gain in information for the whole of the zone shown. The shift towards higher frequencies is the result of the application of an additional low-cut filter of 30 Hz, 60 dB/oct. Fig. 9 demonstrates the effect of 3-D migration (Kirchhoff method). This process was applied to enable interpretation of the fault structures in the Carboniferous indicated by diffractions below the Cretaceous transgression (0.8 s). The horst and graben tectonics also become recognizable and interpretable. Another pleasing side effect of the migration is a further obvious improvement in the signal/noise ratio. The slight drag structure in the strong base Tertiary horizon at 0.6 s at the left of Fig. 9 must be seen in connection with a graben fault in the Carboniferous.

To clarify this situation the ratio of horizontal scale to vertical scale (about 1 : 1 in Figs. 7 to 9) was changed in Fig. 10 by increasing the vertical scale by a factor of 5 and displaying the section in its full length of 2085 m. A flexure can now be discerned in all horizons, from Cretaceous on, to around 0.4 s in the Tertiary, comprising 10 ms in the lower regions and running from the lower right to the upper left along a 45° line (in reality) until reduced to zero around 0.4 s. This obviously long-lasting afterworking of a tectonic fault in the Carboniferous became visible also in the rest of the migrated profiles by 5-fold exaggeration of the vertical scale. The zone of interest above 0.4 s is, to all appearances, unfaulted, as was to be proved.

Another glance at the power spectra in Figs. 6c and 6d shows the interesting discovery, that the frequency content (Fig. 6c) did not suffer from the stacking process compared with that of the single trace in Fig. 6b. As the stacked trace had not yet been filtered with a low-cut of 30 Hz, the 20 Hz peak is still to be seen. In Fig. 6d, where this filter was applied before migration, the peak is obviously eliminated. The migration did not recognizably alter the frequency content and, in particular, did not effect a shift to lower frequencies. In conclusion, another demonstration of the frequency band concerned here may be shown: Two enlarged displays of the upper part of the section in Fig. 9 (in this case unmigrated). Fig. 11a is the stack with 3-D ASTA residual statics after 30 Hz low-cut filtering, Fig. 11b is the same stack after 100 Hz low-cut filtering (in both cases with a slope of 60 dB/oct).

Die Figuren 7, 8 und 9 stellen denselben 645 m langen Ausschnitt eines von insgesamt 48 Profilen dar. Figur 7 zeigt die Rohstapelung, Figur 8 ihre Verbesserung durch Anbringen der statischen 3D-ASTA-Restkorrekturen. Die Wirkung ist erstaunlich und keine bloße Kosmetik, wie bisweilen bei automatischen Nachkorrekturen, sondern eine substantielle Verbesserung des Nutz/Störverhältnisses und ein Informationsgewinn im gesamten abgebildeten Bereich. Die Verschiebung zu höheren Frequenzen ist das Ergebnis einer zusätzlichen Tiefschnittfilterung bei 30 Hz, 60 dB/Okt.

Figur 9 demonstriert den Effekt der 3D-Migration (nach Kirchhoff). Dieser Prozeß wurde angewandt, um die durch Diffraktionen angezeigten Störungen im Karbon unterhalb der Kreide-Transgression (bei 0,8 s) interpretieren zu können. Die Horst- und Grabentektonik wird nunmehr erkenn- und auswertbar. Als erfreulicher Nebeneffekt der Migration kommt eine weitere nicht unerhebliche Verbesserung des Nutz/Störverhältnisses hinzu. Die leichte Verbiegung im Verlauf des kräftigen Tertiärbasishorizontes bei 0,6 s in der linken Hälfte der Figur 9 schien uns in Zusammenhang zu stehen mit einer im Karbon erkennbaren Grabenrandstörung. Um diesen Befund deutlich hervorzuheben, wurde das Maßstabverhältnis zwischen der Horizontalen und der Tiefe (≈ Laufzeit), – in den Figuren 7 bis 9 etwa 1:1 – in Figur 10 in der Vertikalen um den Faktor 5 vergrößert und das Profil in ganzer Länge von 2085 m dargestellt. In der Tat wird nunmehr in allen Horizonten – von der Kreide an bis zu 0,4 s im Tertiär – eine Flexur erkennbar, die im unteren Bereich 10 ms beträgt und sich entlang einer Linie von in Wirklichkeit ca. 45° von rechts unten nach links oben bei ca. 0,4 s auf Null reduziert. Diese of-

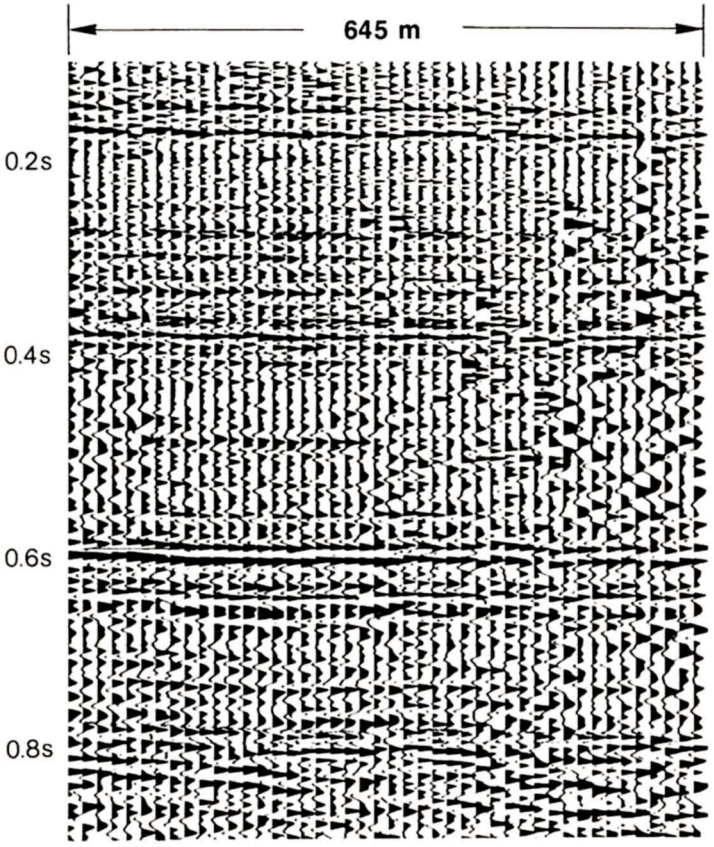


Fig. 7
Profilausschnitt, 5fach-Stapelung
Segment of stacked section, 5-fold

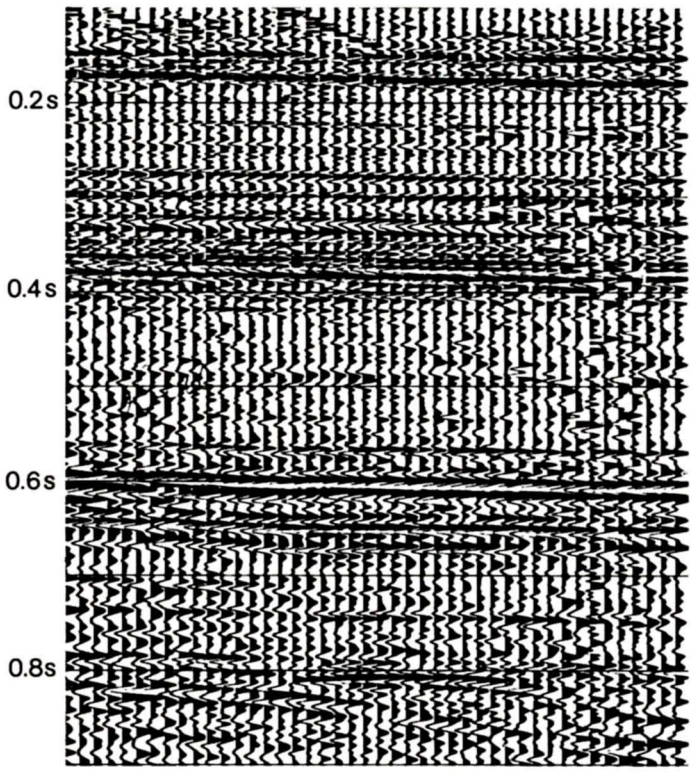


Fig. 8
Gleicher Profilausschnitt nach 3D ASTA
Same segment of section after 3-D ASTA

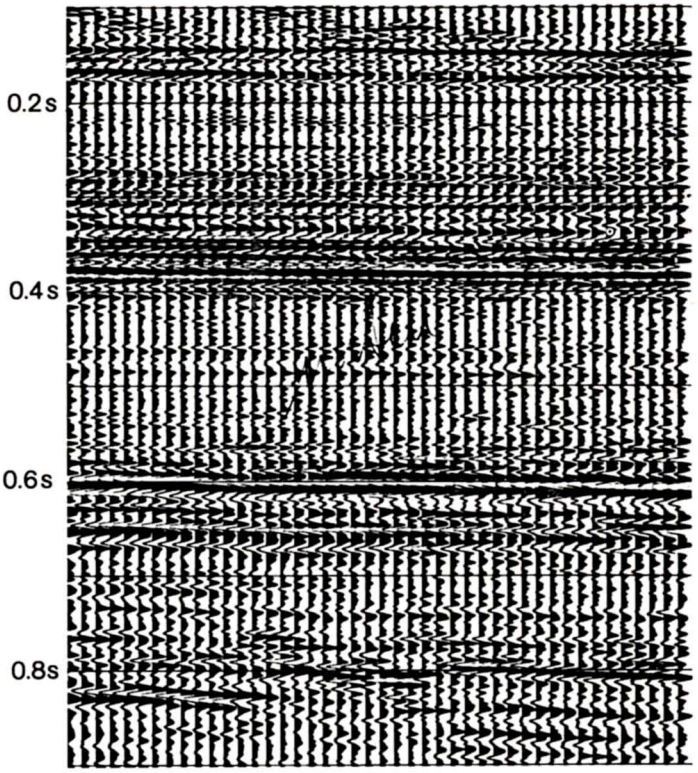


Fig. 9
Gleicher Profilausschnitt nach 3D-Migration (Kirchhoff)
Same segment of section after 3-D migration (Kirchhoff)

fensichtlich langanhaltende Nachwirkung einer tektonischen Störung im Karbon konnte durch den Kunstgriff einer stark überhöhten Darstellung auch in den übrigen migrierten Profilen sichtbar gemacht werden. Der interessierende Bereich oberhalb von 0,4 s ist jedoch allem Anschein nach völlig ungestört – was zu beweisen war.

Ein Blick zurück auf die Powerspektren in den Figuren 6c und 6d zeigt den interessanten Befund, daß der Frequenzumfang durch den Stapelvorgang gegenüber der Einzelspur in Figur 6b nichts eingebüßt hat (Figur 6c). Da diese Stapelspur im Stadium der Rohstapelung (6c) noch nicht mit 30 Hz gefiltert wurde, ist auch die 20 Hz-Spitze noch erhalten, anders als in Figur 6d, wo vor dem Migrationsprozeß diese Filterung angewendet worden war und die 20 Hz-Spitze natürlich verschwinden mußte. Im übrigen ist der Frequenzumfang durch die Migration nicht erkennbar verändert, insbesondere nicht nach tiefen Frequenzen hin verschoben worden.

Um zum Schluß noch einmal zu demonstrieren, in welchem Frequenzbereich wir uns bewegen, möchte ich noch zwei vergrößerte Versionen aus dem oberen Abschnitt des Profils vorstellen, das in Figur 9 dargestellt ist, nunmehr allerdings in der nichtmigrierten Form: Figur 11a ist die Stapelung mit 3D-ASTA-Restkorrektur in der Version LC 30 Hz, Figur 11b in der Version LC 100 Hz (jeweils mit einer Steilheit von 60 dB/Okt).

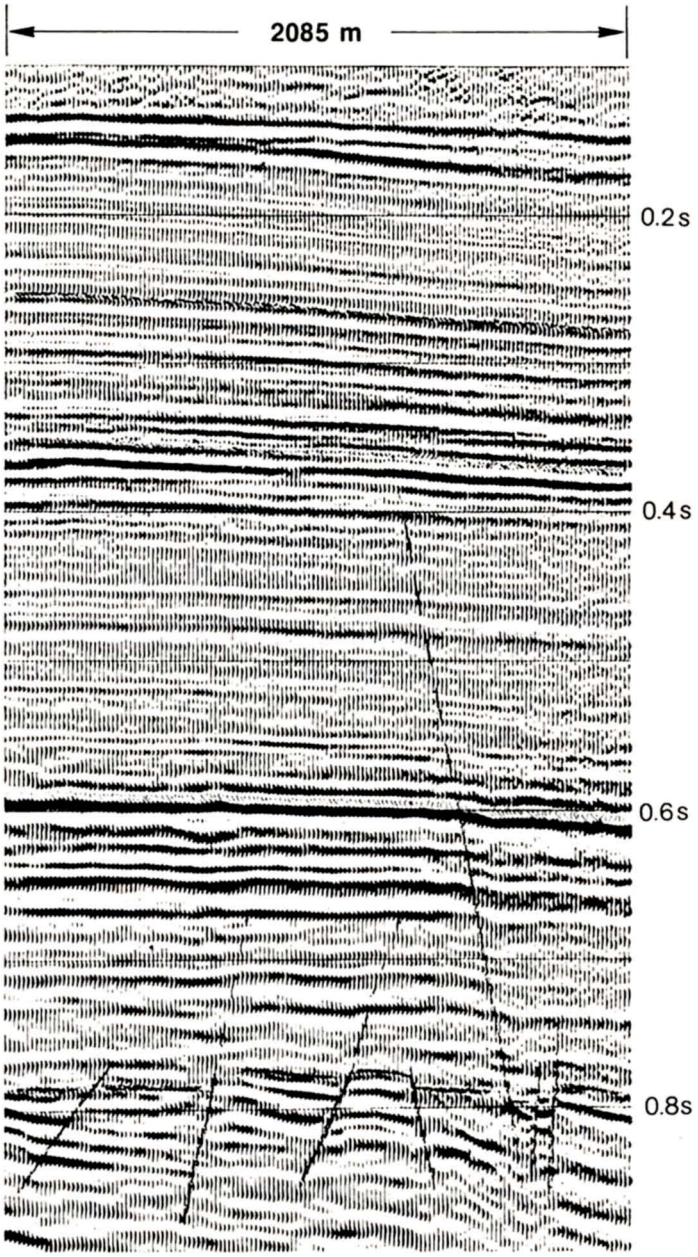
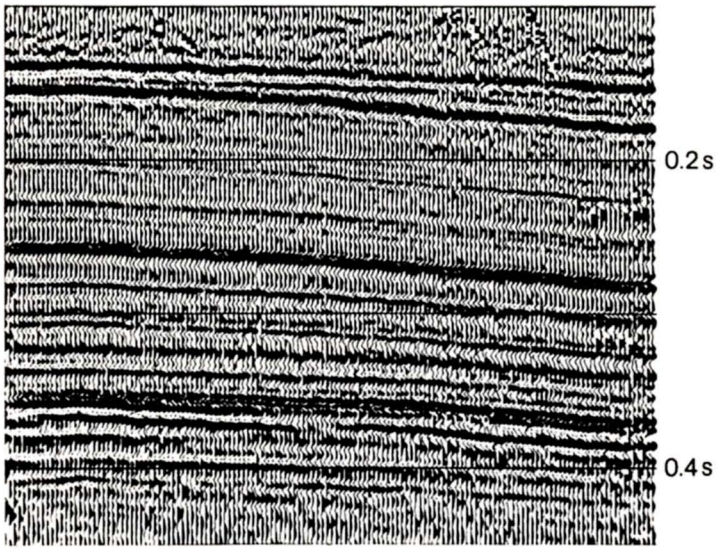
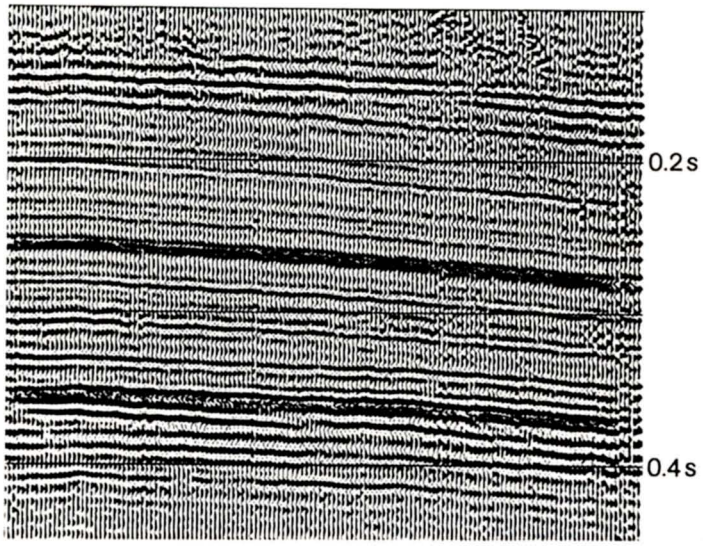


Fig. 10
Gesamtprofil nach 3D Migration, 5fach überhöht, mit Interpretation der Störungen
Total section after 3-D migration, time scale 5-times exaggerated, with fault interpretation

Fig. 11
Oberer Abschnitt des gleichen Profils ohne Migration
Upper part of same section without migration



a) Tiefschnitt 30 Hz Low-cut 30 Hz



b) Tiefschnitt 100 Hz Low-cut 100 Hz

Statistik der Feldarbeiten und Schlußfolgerungen

In 15 Arbeitstagen zu 9 Stunden wurde eine Fläche von 1,75 km² so vermessen, daß im Untergrund ein Raster von ca. 7800 fünffach überdeckten Datenpunkten entstand.

	Gesamt	Tages-leistung
Anzahl der Empfängerstationen:	1962	~130
Anzahl der Schußpunkte:	640	~ 43
Länge der Geophonauslagen:	58,74 km	3,9 km
Länge der 180 m breiten Streifen:	9,72 km	0,65 km

Diese Zahlen an sich sagen uns nicht viel. Reihen wir die 7800 Datenpunkte im Untergrund jedoch so aneinander, daß sich ein Profil von 15 m x 7800 = 117 km Länge ergibt – fünffach überdeckt und in nur 15 Arbeitstagen vermessen – dann sind diese Zahlen schon eher geeignet, auch dem Fachmann zu imponieren. Umgerechnet auf einen Normalmonat zu 173 Arbeitsstunden, würde dies einer Leistung von 150 Profilkilometern entsprechen. Und das bei 1 ms Samplingrate!
Das Maß an vertikaler Auflösung, das erzielt wurde, d. h. die Maßeinheit, mit der der Auswerter nun arbeiten kann, ergibt sich aus der Wellenlänge:

$$\lambda = 1800 \text{ m/s} \times \frac{1}{180 \text{ Hz}} = 10 \text{ m},$$

verglichen mit etwa 25 m, die man bei Standardmessungen günstigenfalls erwarten könnte.
Die Vermessung wurde bewußt mit einer sehr modernen Standard-Apparatur durchgeführt, um nichts an Schärfe der erreichbaren Auflösung zu verlieren. Im übrigen waren offensichtlich auch die natürlichen Voraussetzung für eine hohe seismische Auflösung gegeben, denn die Frequenzen der zurückkehrenden Signale sind in erster Linie durch das Spektrum bedingt, das man dem Boden bei deren Aussendung aufprägen kann. Und das hängt eben sehr von den spezifischen Eigenschaften des betreffenden Untergrunds ab. Die Prozesse der Datenverarbeitung haben keinerlei Einbußen an Auflösung gebracht, wie die Powerspektren zeigen, sondern erheblich zur Qualitätsverbesserung beigetragen, in erster Linie die Prozesse der automatischen statischen Restkorrekturen (ASTA) und der Migration.

Ein Nachwort: Eigentlich bedauern wir es jetzt, bei der Feldaufnahme mit der Registrierdauer gegeizt zu haben. Die kürzestmögliche Aufnahmelänge von einer Sekunde reichte zwar zur Problemlösung völlig aus, aber wir hätten nun doch gerne gewußt, bis zu welcher Eindringtiefe wir mit 100 g-Ladungen hätten vorstoßen können.

Field Work Statistics and Conclusions

In 15 9-hour working days an area of 1.75 km² was surveyed, resulting in a subsurface grid of 7800 data points, each with a 5-fold coverage.

	Total	Daily Rate
Number of receiver stations	1962	130 (approx.)
Number of shotpoints	640	43 (approx)
Length of geophone lines	58.74 km	3.9 km
Length of strips (width 180m)	9.72 km	0.65 km

The figures as such don't reveal much. But consider the 7800 5-fold covered data points arranged along a single line of 7800 x 15 m = 117 km in length – and this shot in only 15 days! Quite impressive when regarded in this way! Transferring these figures to a usual working month of 173 working hours would give a monthly production of 150 km, and that at 1 ms sampling rate! The degree of resolution obtained, i. e. the accuracy with which an interpreter can work, can be derived from the wavelength:

$$\lambda = 1800 \text{ m/s} \times \frac{1}{180 \text{ Hz}} = 10 \text{ m},$$

which compares very favourably with the 25 m to be expected (at the best) from conventional surveys.

The survey was performed with one of the most modern standard recording instruments in order to obtain the best possible resolution. Obviously, the natural prime conditions for high resolution were fulfilled. The frequencies of the returning signals are, of course, bound to the spectrum transmitted into the ground. And this, in turn, depends on the specific properties of the subsoil in question. The various data processing steps had no detrimental effect on the resolution potential, as can be seen in the power spectra, but were significantly responsible for additional improvements in the final data quality. This is in particlar true for the processes of 3-D ASTA and 3-D migration.

P. S.
It is actually a pity that the recording length was kept so short; the shortest possible length of 1.0 s was adequate for the problem in hand, but it would have been very interesting to find out the depth penetrable using 100 g charges.

Quellen/Sources:
(1) R. Bading, H. A. K. Edelmann, The Potential of Multi-Channel Recording. Vortrag gehalten auf EAEG-Tagung in Hamburg, 1979.
(2) R. Bading, Bohrlanzen anstatt Spülpumpen. PRAKLA-SEISMOS-Report 1/77; DIGEST 2, 72–74.
(3) H. Ziolkowski und W. E. Lerwill, A Simple Approach to High Resolution Seismic Profiling for Coal. Geophysical Prospecting, Vol. Z7, Number 2, Seite 365.
(4) R. Bading, Flächenhafte reflexionsseismische Feldaufnahmen. PRAKLA-SEISMOS-Report 2/76; DIGEST 2, 65–68.

3D-Seismik

R. Bading

Die Serie von 3D-Case-Histories wurde im Report 3+4/79 mit dem Artikel „Flachgründige seismische Untersuchung mit hoher Auflösung" eröffnet. Der für das vorliegende Heft eingeplante Beitrag über ein mitteltiefes Objekt wird bis zum Report 2/80 zurückgestellt, der vor allem dem Kohlebergbau gewidmet sein soll. Dafür wurde das „tiefe" Projekt für Report 1/80 vorgezogen. Für die Erlaubnis zur Veröffentlichung des Konzeptes einer in der Schweiz durchgeführten flächenseismischen Vermessung danken wir der BEB, Gewerkschaften Brigitta und Elwerath Betriebsführungsgesellschaft mbH. Verschiedene der Abbildungen wurden bereits in der PRAKLA-SEISMOS Information Nr. 19 „3-D Seismics" und auf der Ausstellung der EAEG-Tagung im Juni 1979 in Hamburg gezeigt. Einige Gesichtspunkte dieser Vermessung wurden im November 1979 von den Herren Schoop und Dr. Dürschner (BEB) gelegentlich der DGMK-Tagung in Hamburg vorgeführt.

Case History No. 2 Tiefes Objekt: 3D-Messung mit VIBROSEIS*) in den Schweizer Bergen

Die VIBROSEIS-Methode ist seit vielen Jahren eine anerkannte Alternative zur konventionellen sprengseismischen Prospektion. Das gilt vor allem, wenn aus mancherlei Gründen Bohrungen und Sprengungen nicht in Betracht kommen (Bebauung, Umweltschutz, Unwirtschaftlichkeit konventioneller Methoden etc.). Die Vorteile der VIBROSEIS-Methode kommen besonders aber dann zur Geltung, wenn hohe Grade der Überdeckung erforderlich werden. Die mittlere Leistung je Arbeitsschicht ist mit 60 Sendestationen etwa doppelt so hoch wie in der Sprengseismik. Diese große Sende-Intensität läßt die VIBROSEIS-Methode für flächenseismische Prospektion so besonders geeignet erscheinen.

In unserem Meßgebiet waren bereits einige VIBROSEIS-Linien vermessen worden. Für eine gesicherte Lozierung einer tiefen Explorationsbohrung reichten die hierbei gewonnenen Informationen jedoch nicht aus. Daher entschloß sich der Auftraggeber, eine flächenhafte seismische Messung durchführen zu lassen, um die geplante Tiefbohrung mit einem Minimum an Risiko ansetzen zu können. Im folgenden möchten wir zeigen, wie eine Fläche von ca. 17 km² im Untergrund auch mit einer „nur" 48spurigen Apparatur in recht wirtschaftlicher Weise lückenlos vermessen werden kann. Eine Profilserie am Ende des Artikels demonstriert die Qualität der gewonnenen Ergebnisse.

*) Trade mark and Service mark of Continental Oil Co.

3-D Seismics

The series of 3-D Case Histories was started in Report 3+4/79 with the article "Shallow Seismic Exploration with High Resolution". The article about a middle deep target, intended for the present edition, will be deferred until Report 2/80 which shall be dedicated, above all, to coal mining. For that reason, the "deep" project was preferred for the Report 1/80. We thank BEB, Gewerkschaften Brigitta und Elwerath Betriebsführungsgesellschaft mbH, for the permission to publish the 3-D concept. Several of the illustrations were already shown in PRAKLA-SEISMOS Information No. 19 "3-D Seismics", and in the EAEG congress exhibition in June 1979 in Hamburg. Some viewpoints of this survey were presented by Mr. Schoop and Dr. Dürschner (BEB) in November 1979 on the occasion of the DGMK congress in Hamburg.

Case History No. 2 Deep Target: VIBROSEIS*) 3-D Survey in the Swiss Mountains

The VIBROSEIS method has been for many years a recognized alternative to conventional explosive seismic prospecting. This is especially true if, for various reasons, drilling and shooting is not possible (built-up area, environmental protection, uneconomical conventional methods etc.). The advantages of the VIBROSEIS method become particularly important when higher

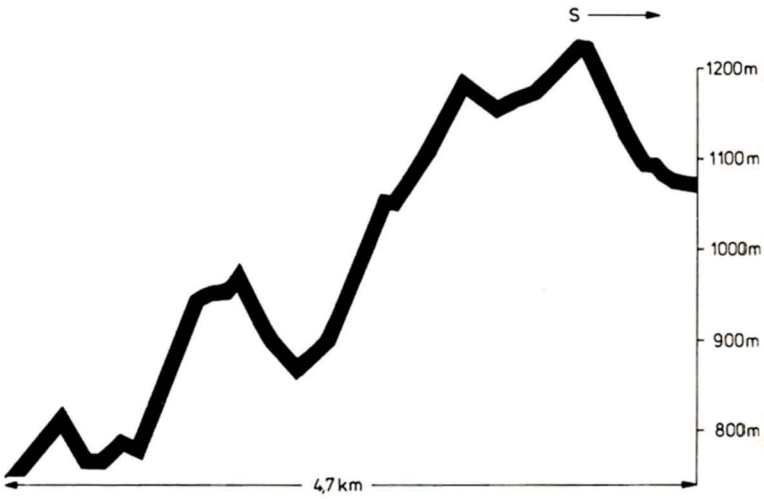


Fig. 1
Relief der Geophonlinie L 4 (überhöht)
Relief of geophone line L 4 (exaggerated vertical scale)

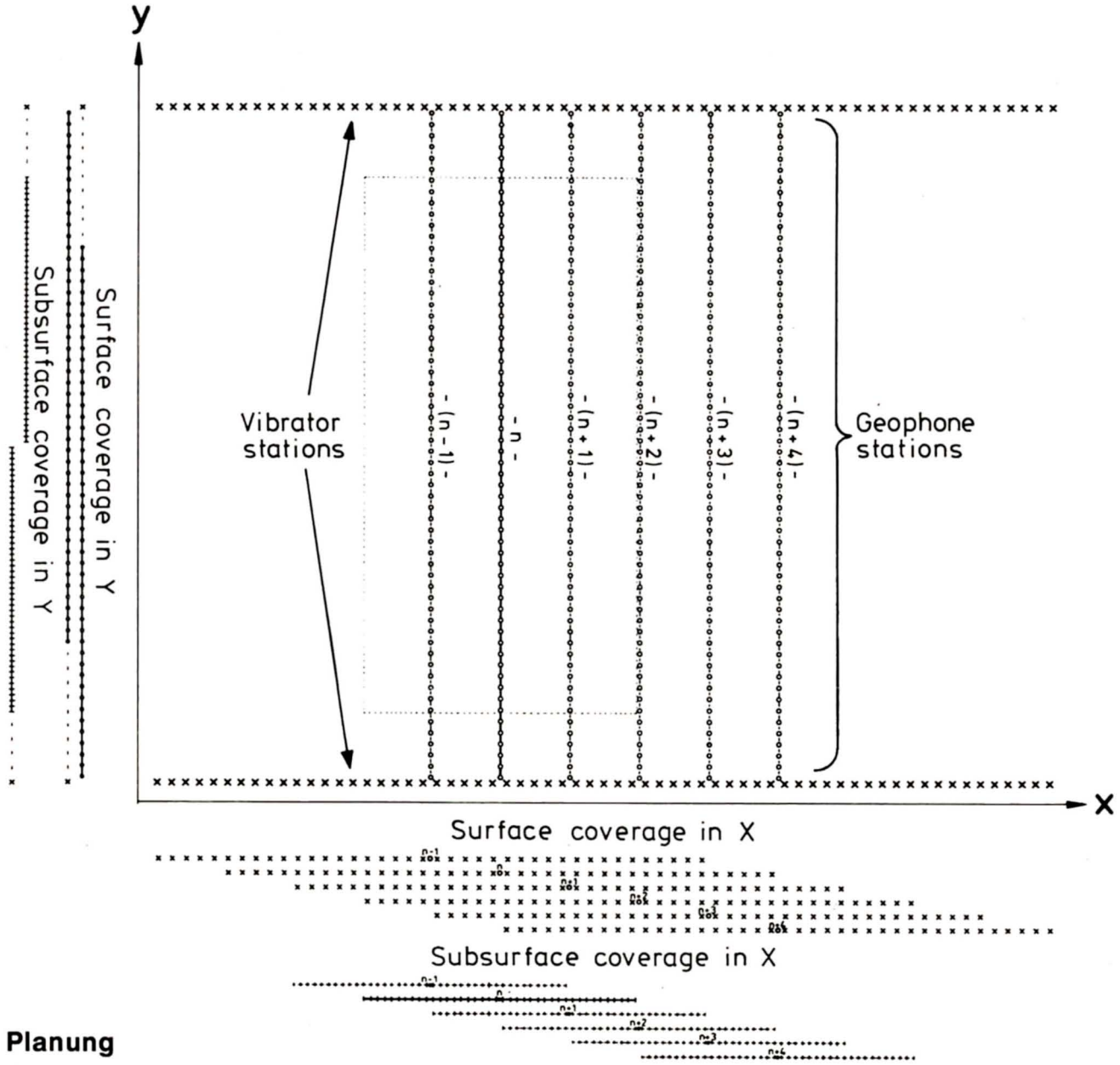


Fig. 2
'Leiter-System', 4fache Untergrundüberdeckung
'Ladder-system', 4-fold subsurface coverage

Planung

Wie man eine flächenhafte seismische Vermessung durchführt, hängt naturgemäß in erster Linie vom Ziel der Messung ab, aber auch – und zwar in höherem Maße als in der Linienseismik – von äußeren Geländebedingungen wie Relief, Bewuchs, Bebauung und Zugangsmöglichkeiten. Die angestrebte seismische Auflösung bestimmt die Wahl der Meßparameter, andererseits aber spricht auch die Kostenfrage ein deutliches Wort mit. Denn die Abstände von Sender- und Empfängerstationen sowie der Überdeckungsgrad bestimmen die Kosten in der Flächenseismik weit stärker als in der Linienseismik. Es gibt aber gewisse Minimumbedingungen für den Aufwand, ohne deren Einhaltung das Meßziel möglicherweise verfehlt wird. Darüber später noch einiges. Zunächst soll das unserer Messung zugrundegelegte Schema diskutiert werden.

Aus früheren Messungen in diesem Gebiet war bekannt, daß brauchbare Reflexionen i. a. erst bei Abständen von mehr als 1000 m zwischen Vibrator- und Empfängerstationen erhalten werden und daß die optimalen Distanzen zwischen 3 und 6 km liegen. Die gewünschten Informationen aus dem interessierenden Bereich beginnen erst bei Laufzeiten von mehr als 1,6 s. Ein geeignetes Meßschema müßte also – bei Mindestabständen von 1000 m zwischen Sende- und Empfängerstationen – für die Untergrundpunkte im entscheidenden zentralen Bereich des Meßgebietes die optimalen Distanzen von 3 bis 6 km aufweisen. Zu diesen seismisch bedingten Ein-

degrees of coverage are required. The average performance of 60 transmitter stations per working shift is approximately double the amount normally achieved in conventional seismics. This large transmitter intensity, in particular, makes the VIBROSEIS method so suitable for areal seismic prospection.

In our survey area some VIBROSEIS lines had already been surveyed. The information thereof, however, did not provide conclusive results for a well-defined site of a deep exploratory well. As a consequence, the client decided to carry out an areal seismic survey. In the following, we would like to show how an underground area of approx. 17 km² can be covered in a very economical way with a consistent grid of seismic data using "only" a 48 trace instrument. A series of profiles at the end of the article demonstrates the quality of the results obtained.

schränkungen kommt eine weitere und sehr gravierende hinzu: die Topographie. Die von Vibratoren befahrbaren Wege verlaufen am südlichen Rand des Meßgebietes etwa in E-W-Richtung, im Norden etwa in SW-NE-Richtung. Das dazwischen liegende eigentliche Meßgebiet ist waldbestandenes Berggelände und weist ein Relief mit Höhen zwischen 600 m und 1300 m auf, mit Steilhängen bis zu 45° (s. Fig. 1).

All diesen Bedingungen wird ein Meßschema gerecht, das wir „Leitersystem" genannt haben (s. Fig. 2): Die Vibratoren bewegen sich längs „Holmen" einer Leiter, die Geophonstationen sind auf den „Sprossen" angelegt, also auf Linien senkrecht dazu. Der Meßvorgang ist dabei wie folgt: Von den 60 Geophonstationen einer Sprosse werden je 48 registriert, die 48 nördlichen von den Vibratorstationen der südlichen Vibratorlinie, die 48 südlichen von der nördlichen Vibratorlinie aus. Betragen die Abstände zwischen den Sprossen n–1, n, n+1, usw. das Fünffache der Abstände der Vibratorstationen, dann genügen je 10 Stationen auf den Vibratorlinien, symmetrisch zu den betreffenden Geophonlinien angeordnet, um eine vollständige Einfachüberdeckung der Gesamtfläche zu erzielen. Je 20 Sendestationen ergeben eine zweifache, je 30 eine dreifache, je 40 eine vierfache Überdeckung, wie das Schema der Untergrundüberdeckung in x-Richtung zeigt. Die Vibratorstationen sind dabei mehrfach anzufahren. Das Überdeckungsschema in y-Richtung zeigt eine lückenlose Einfachüberdeckung. Soweit die Theorie.

Ein paar Worte zu den Meßparametern: Eines der wesentlichen Ergebnisse einer 3D-Messung ist die dreidimensionale Migration. Voraussetzung für diesen Prozeß ist eine angemessene „horizontale Samplingrate", das ist die Samplingrate in der Längendimension, somit das logische Äquivalent zur wohlbekannten Datensamplingrate im Zeitbereich (1, 2 oder 4 ms). Dies gilt in gleicher Weise auch für die zweidimensionale Migration.

Hier ist nicht die Stelle, um allgemein über das Samplingtheorem zu sprechen. Aber da man die Wahl der horizontalen Samplingrate in die Überlegungen einbeziehen muß, will man das Ergebnis eines Migrationsprozesses nicht durch sogenannte Alias-Effekte gefährden, sei hier zumindest der formelmäßige Zusammenhang angegeben. Für den Gitterabstand $\frac{\triangle x}{2}$ und $\frac{\triangle y}{2}$ (in m) der Datenpunkte wird gefordert:

$$\begin{matrix}\frac{\triangle x}{2} \\ \frac{\triangle y}{2}\end{matrix} \leqq \frac{\tilde{V}}{4\, f_{max} \cdot \sin\theta}$$

Dabei ist:

$\tilde{V}$: RMS-Geschwindigkeit bis zu den betreffenden Laufzeiten (in m/s)

f_{max} : Obere Grenzfrequenz (in Hz) der Signale

θ : Größte Horizontneigung

Bei hohen Geschwindigkeiten (4500 m/s), tiefen Frequenzen ($\leqq$ 30 Hz) und kleinen Neigungen (< 15°) wird der zulässige maximale Abstand der Datenpunkte ($\frac{\triangle x}{2}$, $\frac{\triangle y}{2}$) leicht eingehalten (wegen $\frac{4500}{4 \times 30 \cdot 0{,}258} = 150$ m), wenn die beabsichtigten Geophongruppen- und Vibratorstationsabstände ($\triangle x$, $\triangle y$) 100 m betragen, dem Maximalabstand, der mit unseren Meßkabeln mit 110 m-Abgriffen normalerweise realisierbar ist.

Planning

How one carries out an areal seismic survey naturally depends primarily on the aim of the survey, but also – and indeed to a greater extent than in line seismics – on terrain conditions such as relief, vegetation, built-up areas and access possibilities. The choice of the survey parameters is determined by the desired seismic resolution, on the other hand the question of cost has to be carefully considered. This is because the spacing of transmitter and receiver stations, as well as the degree of coverage, determine the cost of areal seismics far more than in line seismics. There are certain minimum expenditure conditions, however, without which the survey aim cannot be adhered to successfully. This will be dealt with later. Next, the concept of our survey will be discussed.

From earlier surveys in this area it was known that useable reflections are received only when the distance between the vibrator and receiver stations is more than 1000 m, and that the optimum distance lies between 3 km and 6 km. The information desired is obtained only after 1.6 s reflection time. A suitable concept, therefore, must make sure that the zone of most prospective interest in the central area is covered by data based on the optimum offsets of 3 to 6 km, and must maintain the minimum offsets of 1000 m between vibrators and geophone groups. To add to this seismic limitation there is a further and very aggravating restriction: the topography. The passable routes for the vibrators run approx. E-W in the southern margin of the survey area and SW-NE in the north. The survey area situated in between is wooded mountain terrain with heights between 600 m and 1300 m and with steep slopes up to 45° (see fig. 1).

These aforementioned conditions are met in a survey scheme that we have called "the Ladder-System" (see fig. 2): the vibrators move along the „uprights" of the ladder, whilst the geophone stations are laid out on the "rungs", and consequently are situated on perpendicular lines. The survey procedure is as follows: from the 60 geophone stations of a rung only 48 are active for each recording, the northern 48 respond to the vibrator stations on the southern vibrator line, the southern 48 to those on the northern vibrator line. When the spacing between the rungs n–1, n, n+1 and so on amounts to five times the spacing between the vibrator stations, then every 10 stations on the vibrator lines, arranged symmetrically to the corresponding geophone lines, are enough to obtain complete single-fold coverage of the total area. Every 20 transmitter stations yield a two-fold, every 30 a three-fold and every 40 a four-fold coverage, as the diagram of the underground coverage in the x-direction shows. In doing so, the vibrator stations are repeatedly used. The coverage diagram shows a consistent single-fold coverage in the y-direction. The theory so far.

A few words about the survey parameters: one of the essential results of a 3-D survey is the three-dimensional migration. A requirement for this process is an appropriate "horizontal sampling rate", i. e. a sampling rate in the longitudinal dimension, and therefore the logical equivalent to the familiar data sampling rate in the time domain (1, 2 or 4 ms). (This comment refers to 2-D migration as well.)

This is not the place to speak generally about the sampling theorem. However, because the choice of the horizontal sampling rate must be included in the

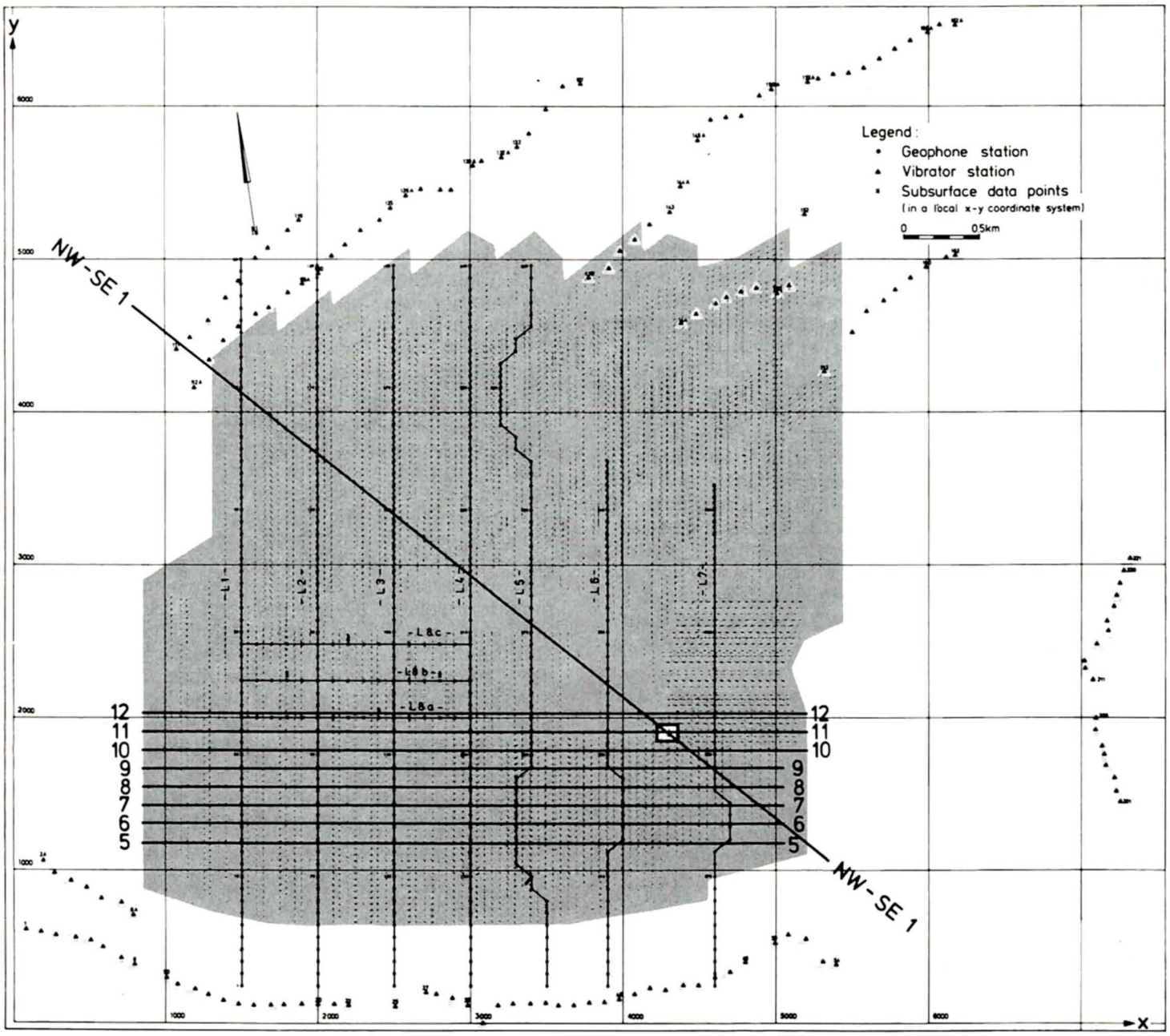


Fig. 3
Lageplan mit Untergrundüberdeckung (schattiert), Geophonlinien L 1 bis L 8 und Vibratorstationen. Linien 5 bis 12 markieren eine Serie 36fach-gestapelter Profile, Linie NW-SE 1 die Lage eines nach der Finite-Difference-Methode 3D-migrierten Profils.

Location map showing scatter of data points (shaded), geophone lines L 1 to L 8 and vibrator stations. Lines 5 to 12 mark a sequence of 36-fold stacked sections, and lineNW-SE 1 the position of a 3-D migrated section (Finite-Difference).

Nach sorgfältiger Geländeerkundung durch Truppführer Dr. W. Glück und den 3D-erfahrenen Feldsupervisor H. Arnetzl ergab sich, was der Lageplan in Fig. 3 zeigt: Die vier westlichen Geophonlinien ließen sich als „Sprossen" L1 bis L4 verwirklichen, die übrigen nur mit Verbiegungen und Verkürzungen. Allerdings waren die beabsichtigten Geophongruppenabstände von 100 m wegen der bis 45° steilen Berghänge auf 80 m zu redu-

considerations, if the migration is not to be impaired by the socalled alias-effect, at least the respective formula may be given. Minimum spacings $\frac{\Delta x}{2}$ and $\frac{\Delta y}{2}$ (in m) in the subsurface grid are postulated from the equation (in m):

$$\begin{matrix}\frac{\Delta x}{2}\\ \frac{\Delta y}{2}\end{matrix} \leqq \frac{\tilde{V}}{4\, f_{max} \cdot \sin\theta}$$

where

$\tilde{V}$ = RMS velocity to the respective travel time (in m/s)
f_{max} = highest frequency component of the signals (in Hz)
θ = largest dip expected

At high velocities (4500 m/s), low frequencies ($\leqq$ 30 Hz) and small dips (< 15°), the maximum permissible spacing of the data points ($\frac{\Delta x}{2}, \frac{\Delta y}{2}$) is easily adhered to (because $\frac{4500}{4 \times 30 \cdot 0.258}$ = 150 m), when the spacings

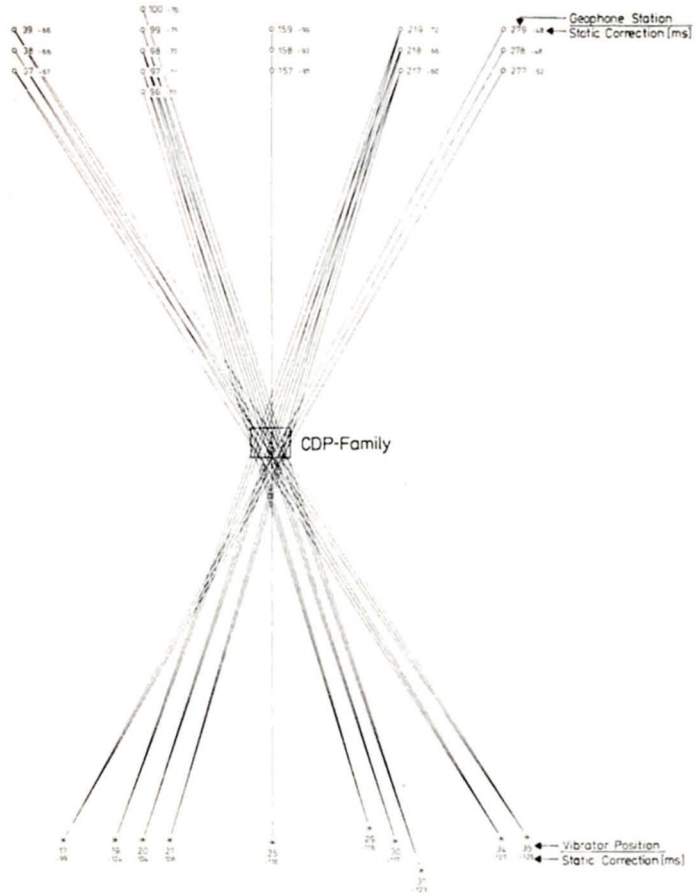


Fig. 4
‚Spinne' und ‚CDP-Familie'. Die Darstellung zeigt die Horizontalprojektion der Strahlenwege zwischen Sender und Empfänger, deren Datenpunkte innerhalb einer gewählten Integrationsfläche von 120 m x 150 m liegen und eine Stapelspur ergeben.

'Spider' and 'CDP-Family'. The graph shows the horizontal projection of the ray-paths, the data points of which lie within a chosen integration area of 120 m x 150 m, resulting in one stacked trace.

zieren. Die verkürzten Linien L6 und L7 enden im Norden an steilen Felswänden. Die dadurch entstehende Lücke im Untergrundnetz konnte durch die Querlinien L8a, b und c geschlossen werden, angeregt von Vibratorstationen 2 km östlich des Meßgebietes. Die südlichen Vibratorstationen liegen erkennbar auf einem – wenn auch gekrümmten – Leiterholm, während die nördlichen auf Abschnitten von verschiedenen, parallelen Wegeabschnitten zu plazieren waren, die schiefwinklig auf die Sprossen zulaufen. Der Nordholm ist also in fünf Teile aufgesplittert. Die Abstände zwischen den Vibratorstationen wurden so bemessen, daß die X-Komponenten 100 m betrugen, was zu Maschenweiten der Datenpunkte von 50 m in x- und 40 m in y-Richtung führte. Immerhin, das gewünschte Datenpunktgitter im Untergrund, die angestrebte 4fach-Überdeckung sowie die postulierten Sender-Empfänger-Distanzen waren einzuhalten und das Projekt war als ganzes realisierbar.

Durchführung

Die übliche Ausrüstung des VIBROSEIS-Meßtrupps brauchte nicht verändert zu werden; allerdings mußte die Gruppe der Topographen beträchtlich verstärkt werden, und zwar auf zwei 4-Mann-Gruppen für die Absteckung und Lageeinmessung von Vibrator- und Geophonstationen in einem örtlichen xy-Koordinatensystem (s. Fig. 3) und zwei 2-Mann-Gruppen zur Höheneinmessung. Verglichen mit linienseismischen Messungen, bei denen man nötigenfalls seitlich ausweichen kann, müssen an die Vermessung der Koordinaten von Sende- und Empfängerstationen ungleich höhere Genauigkeitsansprüche gestellt werden, um die dyna-

$\triangle x$ and $\triangle y$ at the surface are as large as 100 m. This is the maximum spacing normally realizable with our survey cables with 110 m spans.

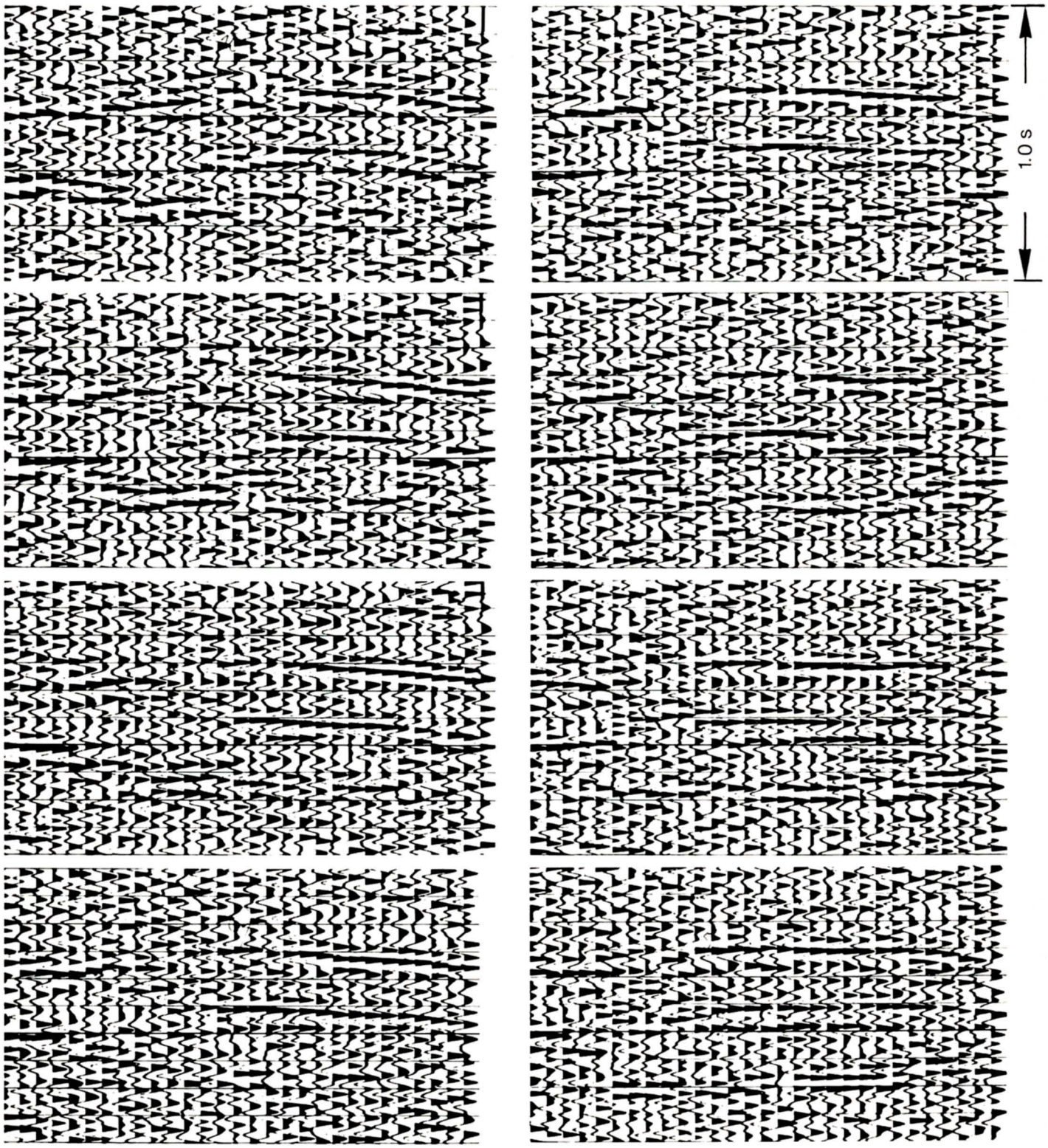
After careful terrain reconnaissance by party chief Dr. W. Glück and the 3-D experienced field supervisor H. Arnetzl, the site plan shown in fig. 3 could be realized as straight-line rungs L1 to L4, the remaining lines with deformations and shortenings. However, the intended geophone group spacing of 100 m had to be reduced to 80 m because of the steep mountain slopes. The shortened lines L6 and L7 end in the north at steep rock walls. The gap in the underground net arising from these shortenings could be closed through the cross lines L8a, b and c, the vibrator stations being positioned 2 km east of the survey area. The southern vibrator stations lay on a slightly crooked ladder upright, whilst the northern ones had to be located on portions of different, but almost parallel, roads which run obliquely to the geophone-line rungs. The north upright is, therefore, split into five parts. The distances between the vibrator stations were apportioned in such a way that the x-component amounted to 100 m, which resulted in a data-point mesh width of 50 m in the x- and 40 m in the y-direction. After all, the data grid and the 4-fold degree of coverage strived for, as well as the postulated transmitter-receiver distances, could all be adhered to and the project as a whole realized.

Execution

The equipment of a normal VIBROSEIS survey crew did not need to be modified; the topographical group, however, had to be substantially reinforced, amounting to a total of two 4-man groups for horizontal survey and positioning of geophone and vibrator stations in a local coordinate system (see fig. 3), and two 2-man groups for station levelling. Compared with line seismic surveys, where certain lateral station displacements can be tolerated without loss in accuracy, higher accuracy demands are required in areal surveying, because deviations from the intended positions will necessarily cause errors in dynamic corrections. The difficult terrain, with its steep slopes, short sights and sometimes thick underwood with tall trees, was a real challenge to the surveyors and their helpers.

The average elevation was approx. 1000 m, whilst the elevation difference throughout the geophone lines amounted to 400 m and even reached over 550 m along geophone line L5. Therefore, the topographical team, and also the cable and geophone teams, had to secure themselves here and there with ropes like climbers.

Luckily, the weather in the first half of September 1978 was very favourable for the survey, only a little rain fell. Otherwise it would have been hardly feasible to do the



mischen Korrekturen nicht durch Fehler in der Geometrie zu gefährden. Das schwierige Gelände mit steilen Hängen, kurzen Sichten und teilweise dichtem Hochwald- und Unterholzbestand waren eine Herausforderung an die Vermessungsingenieure und ihre Helfer.

Die mittlere Geländehöhe lag bei etwa 1000 m, die Höhenunterschiede innerhalb der Geophonlinien betrugen durchweg mehr als 400 m, längs der Geophonlinie L5 sogar über 550 m. Die Topographen und natürlich auch die Kabel- und Geophonmannschaften mußten sich daher streckenweise mit Seilen bergsteigerisch sichern.

Fig. 5
Ausschnitte aus acht benachbarten Stapelprofilen. Jede Spur resultiert aus den Datenpunkten – in der Regel 36 – einer 'CDP-Familie' (s. auch Fig. 4).

Portions of eight adjacent stacked sections. Every trace is the gather of, in principle, 36 data points of one 'CDP-Family' (see fig. 4).

Glücklicherweise war das Wetter in der ersten Septemberhälfte 1978 für die Messungen sehr günstig, es fiel nur wenig Regen. Sonst wären die Messungen kaum in 9 Feldarbeitstagen durchführbar gewesen. Wie üblich wurden die seismischen Aufnahmen nachts durchgeführt, das Auslegen und Aufnehmen der Geophonstationen erfolgte tagsüber.

Feldtechnik

Bei der Diskussion unseres „Leiter-Systems" wurde der Ablauf der Meßprozedur schon vorweggenommen: Von den in der Regel 60 Geophonstationen einer Linie wurden die jeweils 48 sendefernen Geophonstationen registriert. Die Mura-Box wurde dabei nur beim Wechsel der Sendeseite geschaltet. Drei Vibratoren mit 30 m Abstand voneinander blieben während der 16 aufeinanderfolgenden Vibrationen auf derselben Stelle stehen und bewegten sich dann um ca. 100 m weiter zur nächsten Station. (Patternfahren hätte wenig Sinn gehabt, da die Pattern nur entlang der Straßen hätten gefahren werden können.) Störwellendämpfung fand also nur auf der Empfängerseite statt.

Statistik der Feldarbeiten

Reine Meßzeit:	83,5 Std.
Zeit für Tests:	4,0 Std.
Feld-Arbeitszeit:	87,5 Std., d. h. knapp neun 10-Stundentage
Vermessene Fläche im Untergrund:	17,36 km²
Vibratorstationen:	561
Durchschnittliche Zahl der gemessenen Stationen pro Nacht:	67
Kurz-Refraktionslinien für statische Korrekturen:	20
Aufzeitmessungen:	7

Korrekturen

Ein großer Teil des Meßgebietes ist mit Moränen bedeckt, deren wechselnde Mächtigkeiten durch Refraktionslinien und deren vertikale Geschwindigkeiten durch Aufzeitmessungen ermittelt werden mußten, damit der Moräneneinfluß „weggerechnet" werden konnte. Die eigentlichen Höhenkorrekturen sind wegen des starken Geländereliefs natürlich beträchtlich. Die Höhenunterschiede zwischen Erdoberfläche und Bezugsniveau reichen von +565 m bis –97 m. Wie unterschiedlich die Laufzeiten der Strahlenwege sein können, die einer ‚CDP-Familie' von 36 Wertepaaren angehören, läßt sich in Figur 4 ablesen, wo an den Positionen der betreffenden Geophon- und Vibratorstationen die Werte der statischen Korrekturen vermerkt sind. Die maximalen Differenzen in den statischen Korrekturen innerhalb einer CDP-Familie, liegen bei ca. 150 ms.

Processing

Zur Datenverarbeitung seien noch einige Anmerkungen gemacht: Um die seismischen Spuren mit automatischen statischen Nachkorrekturen (3D-ASTA) versehen zu können, wurden jeweils neun 4fach-gestapelte Spuren einer Untergrundfläche von 120 m x 150 m zu **einer** Referenzspur zusammengefaßt. Die vier Ausgangsspuren einer Stapelung wurden dann mit der entsprechenden Referenzspur kreuzkorreliert, um die Zeitdifferenzen als erste Annäherung der statischen Restkorrektur

survey in 9 fieldwork days. As usual, the seismic recording was carried out by night, the cable and geophone work was done by day.

Field Technique

In the discussion of our "Ladder-System" the execution of the survey procedure was already anticipated: from the usual 60 geophone stations of a line, the 48 transmitter-distant geophone stations were always used for recording. The trace-switching box was used only after having exchanged the vibrator positions from N to S and vice versa. Three vibrators, at a spacing of 30 m from one another, remained at the same place for 16 successive vibrations and then were moved about 100 m further to the next station. (Pattern driving would have been pointless, because the vibrators could only travel along the roads, i. e. more or less perpendicular to the geophone lines.) Damping of surface waves, therefore, was taken over by the receiver side only.

Field Work Statistics

Actual survey time:	83.5 hrs
Time for tests:	4.0 hrs
Field work time:	87.5 hrs, i. e. barely nine 10 hr days
Subsurface area surveyed:	17.36 km²
Vibrator stations:	561
Average number of stations surveyed per night:	67
Short refraction lines for static corrections:	20
Uphole-time surveys:	7

Corrections

A large part of the survey area is covered with moraine, the varying thickness of which had to be found by short-refraction surveys, whilst the vertical velocities of which had to be ascertained by several uphole surveys, in order to remove the influence of the moraine cover. Due to the strong relief the actual elevation corrections are, naturally, considerable. The elevation difference between the earth's surface and datum plane ranges from +565 m to –97 m. The actual travel times of the ray paths, which belong to one "CDP family" of 36 pairs of values, can be derived from fig. 4, where, at the positions of the corresponding geophone and vibrator stations, the values of the static corrections are given. The maximum time-correction differences within a "CDP family" were about 150 ms.

Processing

Only a few remarks will be made with regard to data processing: in order to provide the individual base traces with automatic static residual corrections (3D-ASTA), always nine 4-fold CDP traces of an area of 120 m x 150 m in the subsurface were combined to a reference trace. The four base traces of a stack position were cross-correlated with the respective reference trace to determine the time differences which give the first approximation of static residual corrections. These travel-time shifts were split into surface-consistent geophone and emitter station corrections. The complete 3-D residual static correction process consists of three such runs to determine the final corrections (for details

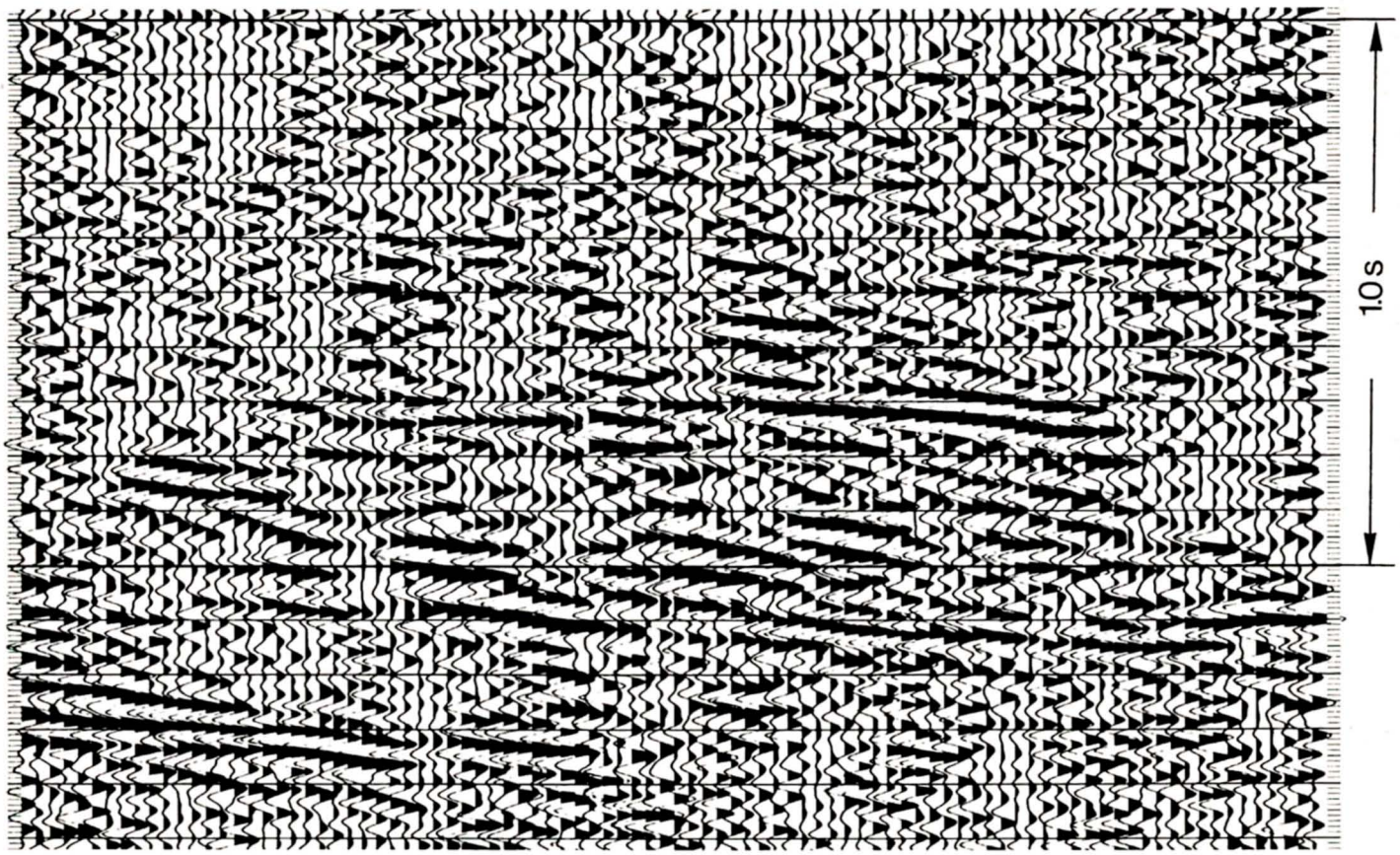


Fig. 6
3D-migriertes Profil (Wellengleichungsmethode) mit Kohärenzfilterung, unter Verwendung 4fach-gestapelter Spuren.
Section after 3-D Finite-Difference-Migration and coherency filtering, using 4-fold stacked traces.

zu ermitteln. Diese Zeitdifferenzen wurden in ‚oberflächenkonsistente' sende- und empfangsseitige Komponenten aufgeteilt. Eine komplette Bestimmung der Restkorrekturen (3D-ASTA) besteht aus drei solcher Läufe (siehe hierzu: W. Houba „3D-Processing" in Report 2/79).

Um das Signal-Noise-Verhältnis in den Profilausspielungen für die Interpretation zu verbessern, wurden wiederum neun benachbarte 4fach-gestapelte Spuren zu einer quasi-36fachen Summenspur zusammengefaßt, was somit zu Spurabständen von 150 m führte (s. Fig. 5). Dieser Schritt war durch die Tatsache gerechtfertigt, daß in unserem Falle kein Verlust an seismischer Auflösung mit dem größeren (150 m-)Spurabstand verbunden war, wie unsere Diskussion der maximalen horizontalen Samplingrate ergab. Es hatte sich ja gezeigt, daß 150 m horizontale Samplingrate die Bedingungen für den Migrationsprozeß erfüllt. Gilt das eben Gesagte für die Migration, dann gilt dies sicherlich auch für die unmigrierten Stapelprofile.

Zusammenfassung

Der Wunsch des Kunden nach detaillierteren strukturellen Informationen sowie die schwierigen Geländeverhältnisse in einer Gebirgslandschaft erzwangen die Anwendung einer speziell zugeschnittenen flächenhaften seismischen Vermessung. Die VIBROSEIS-Methode hatte sich bereits vorher in dieser Gegend bewährt. Jetzt wurde sie erfolgreich in eine 3D-Vermessung nach dem „Leiter-System" integriert. Die Vermessung, die eine Untergrundfläche von über 17 km² 4fach überdeckte, wurde in nur neun Feldarbeitstagen durchgeführt. Die Ergebnisse waren von guter Qualität und ermöglichten eine zuverlässige Interpretation.

see W. Houba's article in Report 2/79). To improve the signal-to-noise ratio for interpretation purposes in the sectional displays, again nine adjacent 4-fold stacked traces were combined to cumulative quasi-36-fold stacked traces, the trace width thus being 150 m (see fig. 5). This step is justified by the fact that no loss in seismic resolution is, in our case, associated with the larger 150 m-trace spacing. When we look back to the discussion on the maximum spatial sampling rate, we had found that a 150 m spatial sampling rate would still fulfill the conditions for migration processes. If this applies for migration it certainly should apply to stacked sections.

Summary

The request of the customer for more detailed structural information, as well as the difficult topographical conditions in a mountainous area, forced the introduction of an appropriate 3-D seismic survey concept. The VIBROSEIS source which had previously proved succesful in this area was integrated into the design of a special areal seismic "Ladder-System" survey.

The areal survey, covering a subsurface of more than 17 km² in four-fold degree, was performed in a period of only nine fieldwork days. The data obtained were of fair quality and provided a reliable basis for interpretation.

COMAI

Computergestützte Profilauswertung

Am 6. 2. 1980 führte eine sechsköpfige Entwicklungsmannschaft unserer Firma ein neues Programmsystem vor, das sie mit dem ebenso geheimis- wie klangvollen Namen COMAI belegte. COMAI ist ein Akronym und steht für **COM***puter-***A***ided-***I***nterpretation, zu deutsch:* **Computergestützte Profilauswertung.** *Das sinnreich geschnürte Programmpaket – entwickelt mit finanzieller Unterstützung des Bundesministeriums für Forschung und Technologie – sollte nun an diesem Tag den interpretierenden Geologen und Geophysikern unserer Gesellschaft zur Anwendung übergeben werden.*

(Red.)

Dr. E. Meixner

Bereits seit Herbst 1977 liefen in unserem Hause Überlegungen, ob und in welcher Weise der oft geschmähte Computer zur Aufarbeitung einer Datenfülle herangezogen werden könne, die uns die Flächenseismik nun Jahr für Jahr ins Haus schwemmt. Natürlich war uns klar, daß kein Computer, so groß und schnell er auch sein mag, den Menschen ersetzen kann. Aber daß er imstande sein müsse, dem Interpreten die mühevolle Kleinarbeit zu erleichtern und das Aufspüren tektonischer Zusammenhänge zu beschleunigen, stand ebenso zweifelsfrei fest. Das Ziel war somit abgesteckt, jetzt ging es nur noch um den Weg dorthin.

Das Entwicklungsteam
The development team

Schlüpfen wir in die Haut eines Auswerters, der vor der Aufgabe steht, eine flächenseismische Vermessung bearbeiten zu müssen. Lassen wir, der Einfachheit halber, 100 seismische Linien von weiteren 100 Linien im rechten Winkel kreuzen, was ein Maschennetz von 100 x 100 = 10 000 Knoten- oder Schnittpunkten ergibt. Für den Interpreten bedeutet dies die alptraumhafte Konsequenz, für einen **einzigen** Horizont nicht weniger als **10 000** Vergitterungen und damit Reflexionszeiten zu erfassen und auszuzählen. Dabei ist noch nicht einmal berücksichtigt, daß durch die Mehrdeutigkeit qualitätsschwacher Horizontstücke, beson-

Dr. H.-J. Trappe beglückwünscht ein Mitglied des Entwicklungsteams
Dr. H.-J. Trappe congratulates a member of the development team

COMAI – Computer Aided Interpretation

On February 6, 1980 a six man development team from our firm demonstrated a new program system to which they attached the melodious, secret sounding name COMAI. This is an acronym and stands for **COM***puter-***A***ided-***I***nterpretation. The ingeniously arranged program package – developed with financial support from the Federal Ministry for Research and Technology – should now be handed over for use by our company's interpretation geologists and geophysicists.*

(Ed.)

Since autumn 1977 the company has constantly considered whether, and in which ways, the often abused computer can be applied to cope with the data abundance which pours in year by year from areal seismic surveys. Of course, we appreciate the fact that no computer, however large and fast, can replace a man. Although it is clear that a computer must be capable of lightening the interpreters laborious spadework and accelerating the tracing of tectonic relationships. The objective was thus marked out, now it only remained to achieve this aim.

Demonstration der Anlage
Demonstration of the system

◀ **Dr. E. Meixner erläutert die Arbeitsweise**
Dr. E. Meixner explains the working method

Der neue Arbeitsplatz
The new working place

Der Calcomp-Plotter 960
The Calcomp-plotter 960

ders in der Nachbarschaft von Störungszonen, bereits getroffene Zuordnungen wieder verworfen und neue, in das geologische Bild passende, gefunden werden müssen. Die Beschleunigung dieser zeitraubenden Horizontvergitterung ist nun Standardaufgabe des neuentwickelten Systems COMAI.

In der Praxis funktioniert die interaktive Computerunterstützung wie folgt:

- Alle zu erfassenden Horizonte und Störungen eines seismischen Profils werden digitalisiert, was bedeutet, daß diese Elemente mit Hilfe eines elektronischen Stiftes durch so viele Punkte abzutasten sind, wie zu ihrer exakten Beschreibung notwendig erscheinen.
- Der Computer wandelt die abgetasteten Punkte in Zahlenwerte um (‚Digitalisierung'), errechnet daraus die Reflexionszeiten und speichert sie.
- Auf dem Bildschirm erscheint das abgetastete Element – ob Horizont oder Störung – zur Kontrolle.
- Diese Prozedur wird nun bei allen Profilen durchgeführt.
- Unmittelbar nach der Digitalisierung eines Horizontes berechnet der Computer die Reflexionszeiten an den Profilschnitten. Die Durchstoßpunkte der an den entsprechenden Stellen kreuzenden Horizonte erscheinen als Markierungskreise auf dem Bildschirm.
- Stimmen diese Kreise **nicht** mit dem eben digitalisierten Horizont überein – was bei fehlerhafter Horizontansprache, bedingt durch Störungen oder schwache Reflexionen, passieren kann – besteht für den Auswerter nun die Möglichkeit, durch Verschieben oder Löschen und Neudigitalisieren von Horizontstücken den Widerspruch zu korrigieren.

Wir haben also ein echtes interaktives System vor uns: Mensch und Computer sprechen miteinander. Was dabei herauskommt, ist ein Dialog – oder ein Duett (halten wir es mit einem Bild aus der Musik), ein Zwiegesang nach folgender Partitur:

– **Auswerter**
Digitalisierung der interessierenden Horizonte und Störungen in allen Profilen.

– **Computer**
Lineares Verbinden der Punktfolgen digitalisierter Horizonte und Störungen.

Darstellung der Horizontlinien und Störungen auf dem Bildschirm.

Berechnen und Speichern der Reflexionszeiten an den Kreuzungspunkten.

Digitalumsetzer und „Handwerkszeug"
Digitizer and "hand tools"

Let us put ourselves into the shoes of an interpreter who is about to work upon an areal survey. Let us take the simple situation where 100 seismic lines cross a further 100 lines at right angles, so that a grid of 100 x 100 = 10 000 knots or intersection points is produced. For the interpeter this means the nightmare consequence that for a single horizon no less than 10 000 crossing points, and thereby reflection times, have to be taken into account. Furthermore, it has not yet been considered that due to the ambiguity in horizon parts of poor quality, especially in the vicinity of fault zones, previously defined elements must be rejected and redetermined to fit the geological picture. The speeding up of this time consuming horizon grid work is now standard procedure of the newly developed COMAI system.

In practice the interactive computer aid works as follows:

- All horizons and faults of prospective interest relating to a seismic profile are digitized, which means these elements are sampled, with the aid of an electronic pencil, using as many points as seems necessary for their exact description.
- The computer converts these sampled points into number values (digitization) and from them computes the reflection times which it stores.
- On the screen appears the sampled element – whether horizon or fault – for control.
- This procedure is now carried out for all profiles.
- Immediately after the digitization of a horizon the computer calculates the reflection times in the cross sections. The points of penetration of the crossing horizon appear as marking circles on the screen at the corresponding positions of the profile being interpreted.

Einblenden der Reflexionszeiten an den Kreuzungspunkten in Form von Markierungskreisen.

- **Auswerter**
  Löschen, Verschieben oder Neudigitalisieren von Horizonten, Horizontstücken und Störungen falls nötig, bis Aussagen an den Kreuzungspunkten widerspruchsfrei.
- **Computer**
  Nutzung der gespeicherten Daten für
  - Störungspläne
  - Dreidimensionale Flächendarstellungen
  - Tiefenmigrierte Profile
  - Seismische Modelle
  - Isolinienpläne

  und das auf zweierlei Weise:
  - präsentiert auf dem Bildschirm und/oder
  - gezeichnet vom Plotter.

Digitales... G. Miethke im Dialog mit dem Computer
Digits... G. Miethke in conversation with the computer

- If these circles do not coincide with the digitized horizon – which can happen by a false definition of a horizon, conditional upon faults or weak reflections – then the possibility exists for the interpreter to correct the discrepancies in the horizon parts through shifting or erasion and new digitization.

What we present is a real interactive system: man and computer talk with one another. What comes out of it is a dialogue – or a duet, according to the following musical score:

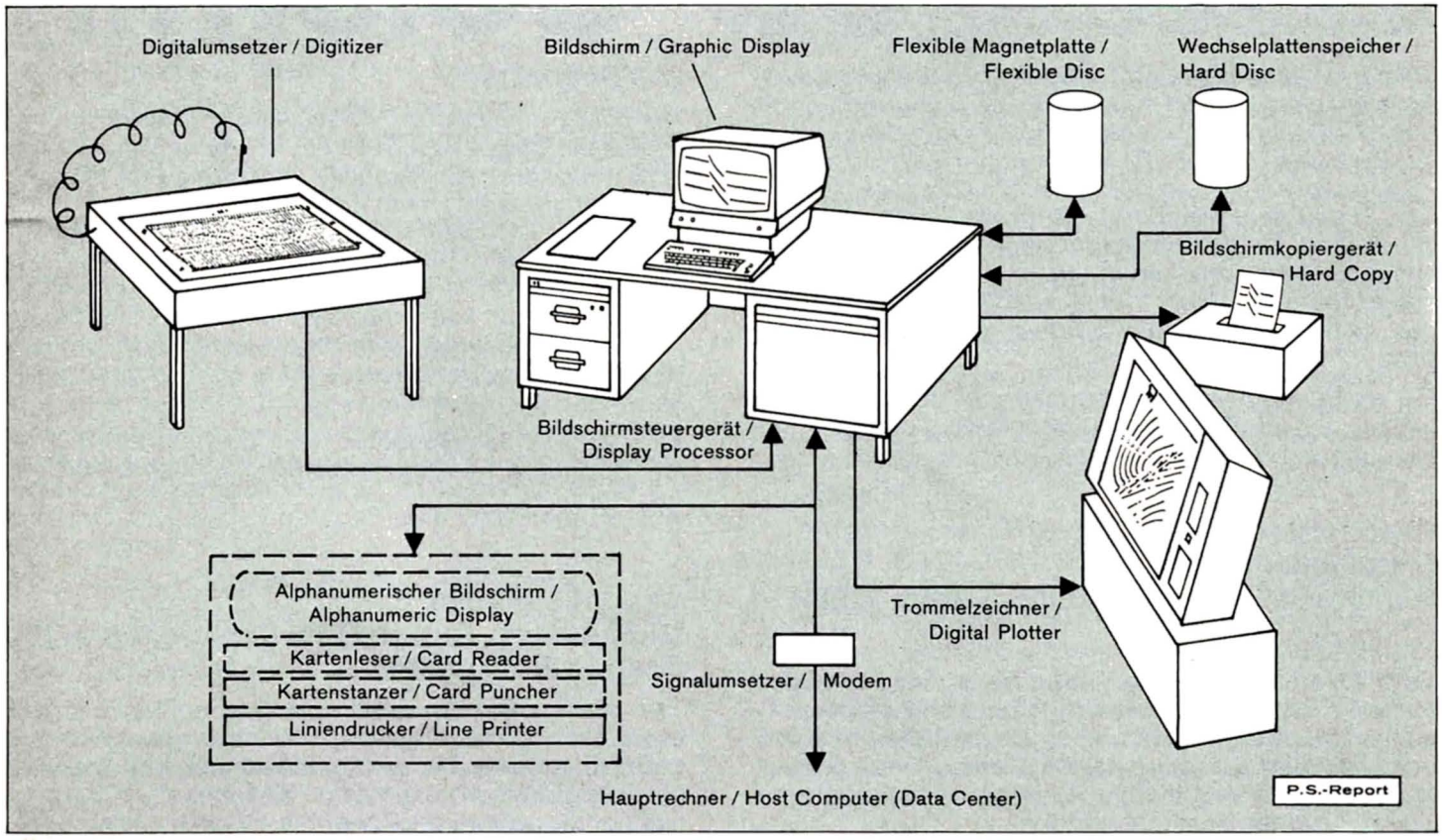
- **Interpreter**
  Digitization of the interesting horizons and faults in all the profiles.
- **Computer**
  Linear connection of the digitized point sequences of horizons and faults.

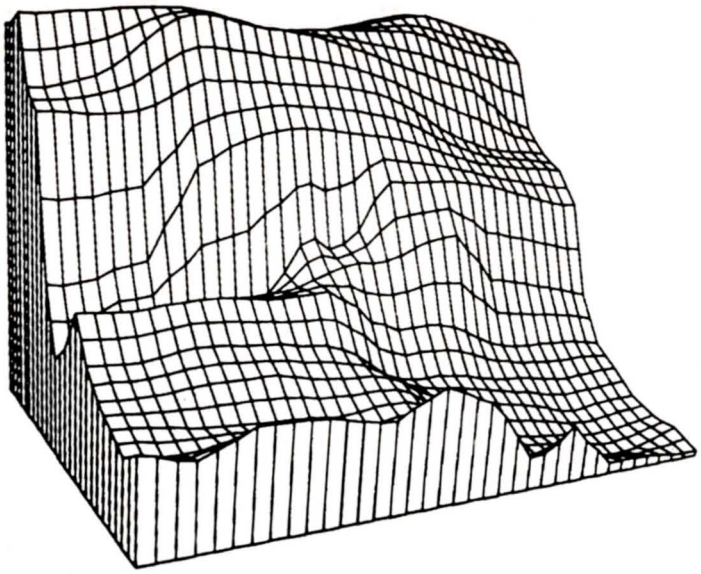
  Presentation of the horizions and faults on the screen.

  Computation and storage of the intersection-point reflection times.

  Appearance on the screen of the intersection-point reflection times in the form of marking circles.
- **Interpreter**
  Erasion, shifting or new digitization of the horizons, horizon parts and faults, if necessary, until the values at the intersection points are free from discrepancy.

Schema des Programmsystems COMAI mit peripheren Anlagen
Terminal for computer-aided seismic interpretation (COMAI)





Dreidimensionale Darstellung eines Horizontes mit antithetisch einfallender Störung
Three dimensional presentation of a horizon with an antithetic fault

Aber auch Terzette sind nach unserer Partitur nicht ausgeschlossen: Sehr rechenaufwendige Prozesse, wie dreidimensionale Flächendarstellungen etc., können über eine Direktleitung an einen Großrechner zur Ausführung übergeben und die Resultate über dieselbe Leitung wieder zurückgeholt und auf dem Plotter oder dem Bildschirm sichtbar gemacht werden.

Ein Schema des Programmsystems COMAI mit peripheren Anlagen findet sich auf Seite 17 dargestellt. Sein ‚harter' Kern, das Tektronix-System, besteht im wesentlichen aus dem Bildschirm TX 4081, dem Interdata-Rechner und dem Digitalumsetzer 640. Als Trommelzeichner wurde der Calcomp-Plotter 960 integriert.

Wir hoffen und erwarten, daß Bearbeitungszeiten von 4 Monaten durch das neue System auf 2 Monate zusammenschrumpfen. Den Auswertern aber rufen wir zu: Keine Angst vor den Computern! Laßt sie wissen, wer der Herr ist und wer Diener! Und eines noch, auf unseren ‚Dialog' gemünzt: Das letzte Wort hat immer noch der Mensch!

– **Computer**
  Utilization of the stored data for
  - Fault maps
  - Three dimensional presentation of horizons
  - Depth migrated sections
  - Seismic models
  - Isoline maps

  which can be presented in two different ways:
  – on the screen and/or
  – drawn from the plotter.

However, vocal trios are not excluded from our full score: very time-consuming processes, like three dimensional presentations of horizons etc., can be fed via a direct connection to a host computer for execution, and the results retrieved along the same way and then displayed on the plotter or the screen.

A scheme of the COMAI program system with the peripheral installations is shown on page 17 It's "hard" core, the Tektronix System, essentially consists of the Graphic Display TX 4081, the Interdata-Computer and the Digitizer 640. A Calcomp-Plotter 960 was integrated into the system.

We hope and expect that processing times will be reduced from 4 months to 2 months using the new system. To the interpreters we say: don't be afraid of the computers! Let them know who the master is and who the servant! One more point concerning our 'dialogue': man has still the last word!

Report 2+3/1980

3D-Seismik

Mit dem vorliegenden Artikel über ein 'mitteltiefes' Projekt schließen wir die seit Report 2/79 laufende Serie über 3D-Seismik – Processing und Feldtechnik – vorläufig ab. Die Themen '3D-Seismik' und 'Kohle' kreuzen sich in diesem Heft in durchaus absichtsvoller Weise. Der Schnittpunkt markiert die große Bedeutung der 3D-Technik für die Kohleexploration, soll aber auch die eminente Stimulanz hervorheben, die zu Nutzen jener neuen Technik von der 'Kohle' ausging, ein Phänomen, das nicht allein auf die Bundesrepublik beschränkt blieb.

Für die Erlaubnis zur Veröffentlichung des Artikels fühlen wir uns der Bergbau AG Westfalen, Dortmund, zu besonderem Dank verpflichtet.

3-D Seismics

The series concerning 3-D seismics – processing and field techniques – which has been running since Report 2/79 will now be provisionally concluded with this present article about a middle-deep project. In this issue the topics "3-D seismics" and "coal" intersect intentionally. The point of intersection marks the major significance of 3-D techniques for coal exploration, and stresses, on the other hand, the important stimuli originating from the "coal" which promote these new techniques, a phenomenon not only restricted to the Federal Republic.

We are particularly indebted to the Bergbau AG Westfalen, Dortmund, for the permission to publish this article.

Case History No. 3
Mitteltiefes Objekt: Kohleexploration im östlichen Ruhrgebiet

H. Arnetzl

Der Flächenseismik ging 2 Jahre zuvor eine linienseismische Übersichtsvermessung mit 12facher Überdekkung des Untergrundes und einem mittleren Abstand der Meßlinien von etwa 1,2 km voraus, deren Ergebnisse in den wesentlichen Aussagen durch mehrere Kernbohrungen bestätigt wurden:

Case History No. 3
Middle-deep Target: Coal Exploration in the Eastern Ruhr District

Two years before the areal seismic survey was carried out, a line seismic reconnaissance survey with 12-fold subsurface coverage and an average survey line spacing of 1.2 km was executed. The more significant results of this survey were verified by core drilling:

Das 600 m bis 700 m mächtige Deckgebirge der Kreide transgrediert mit 5° bis 10° Winkeldiskordanz über das flözführende Karbon. Im Zentrum des Meßgebietes ließ sich eine weitgespannte Mulde nachweisen, deren Achse parallel zum WSW-ENE-Streichen der variskischen Gebirgsfaltung verläuft. Die Karbonschichten lagern im allgemeinen konkordant. Innerhalb der etwa 1,7 km bis 2,5 km breiten Mulde herrscht flache Lagerung vor, was einen großflächigen, hochmechanisierten Abbau der Flöze begünstigt. Im Muldentiefsten wurden bis zur bergmännisch bewältigbaren Teufe von etwa 1500 m bis zu 72 Flöze durch Kernbohrungen nachgewiesen, von denen aufgrund der Flözmächtigkeit etwa 14 Flöze als abbauwürdig gelten könnten (minimale Mächtigkeit 1,0 m), sofern nicht zu viele tektonische Störungen oder die rohstofflichen Daten (z. B. große Aschengehalte oder mangelnde Kokbarkeit der Kohlen) der Abbauwürdigkeit entgegenstehen. Die Muldenränder zeigen relativ steile Lagerung mit 45° Einfallen. Die Mulde wird von variskisch streichenden Überschiebungen begrenzt, das Steinkohlengebirge selbst durch große, im allgemeinen NW-SE streichende, postkarbonisch-präkretazische Störungen mit Sprungbeträgen zwischen 50 m und mehr als 200 m in mehrere Schollen gegliedert. Innerhalb der einzelnen Schollen wurde damals schon Mitteltektonik mit etwa 25 m Sprungbeträgen nachgewiesen, ihre Korrelation aber stieß, wegen der großen Profilabstände, auf erhebliche Schwierigkeiten. Aufgabe der flächenseismischen Vermessung war es daher, neben der Lage der Karbonoberfläche vor allem die Ausdehnung der Karbonmulde und die Elemente der Groß- und Mitteltektonik innerhalb des Karbons zu erkunden. Dabei war besonders auf die relativ steil einfallenden Muldenflanken zu achten.

Planung

Für die Vermessung wurde von PRAKLA-SEISMOS ein besonderes Meßschema entworfen, für dessen Konzeption die folgenden Überlegungen zugrunde lagen:

- Das Meßgebiet soll mit Hilfe einer Vielzahl sogenannter 'Blöcke' gleicher Dimension vermessen werden. Diese Blöcke werden in Arbeitsrichtung wie Bausteine zu Streifen aneinandergefügt (Fig. 1), wobei durch entsprechende Überlappungen innerhalb der Streifen für eine gleichmäßige Untergrundüberdekkung zu sorgen ist. Die Streifen schließen sich nahtlos aneinander an.
- Jeder Block besteht aus 10 parallelen Geophonlinien, in Streifenrichtung angeordnet, mit je 12 Geophongruppen, was 120 Stationen ergibt und mit der Anzahl der seismischen Kanäle der Apparatur übereinstimmt. Die Anordnung der Geophonstationen (Fig. 1) führt zu einem quadratischen Raster der Datenpunkte (Mittelpunkte zwischen den Schuß- und Geophonorten) im Untergrund.
- Die zu den einzelnen Blöcken gehörenden Schußpunkte liegen auf senkrecht zu den Geophonlinien verlaufenden Traversen. Die Abstände zu den einzelnen Geophonlinien eines Blockes sind unterschiedlich.
- Den Figuren 1 und 2 ist zu entnehmen, daß die zu einer Untergrundinformation zusammenzufassenden Einzelinformationen aus den unterschiedlichsten Richtungen eingeholt werden. Die Azimutverteilung der

The 600 m to 700 m thick Cretaceous overburden overlaps the coal bearing Carboniferous with a 5° to 10° dip unconformity. In the centre of the survey area an extensive syncline has been proved, the axis of which runs parallel to the WSW-ENE trending Variscan folds. In general, the Carboniferous layers lie concordantly. Within the syncline, which is 1.7 km to 2.5 km wide, horizontal layering predominates, this favours a large faced, highly mechanized seam exploitation. In the trough of the syncline as many as 72 seams have been proved down to a feasible mining depth of about 1500 m. Considering the seam thickness, about 14 of these seams (minimum thickness 1 m) could be workable provided the presence of tectonic faults or the coal data (e.g. high ash content or deficient coke property of the coal) are not too unfavourable. The edges of the syncline exhibit relatively steep layering with dips of 45°. The syncline is bound by overthrusts, striking parallel to the Variscan folds, whilst the Carboniferous strata itself is subdivided into serveral blocks by large post-Carboniferous pre-Cretaceous faults, mainly striking NW-SE, with throws from 50 m to over 200 m. Within the individual blocks medium tectonics with throws of about 25 m were at that time proved, but because of the large survey line spacing considerable difficulties were encountered in their correlation. The aim of the areal seismic survey was, therefore, besides the location of the Carboniferous surface, above all to find out the extent of the Carboniferous syncline and the elements of the large and medium tectonics within the Carboniferous. Moreover, particular attention was to be paid to the relatively steeply dipping syncline flanks.

Planning

The following considerations form the basis of the survey scheme, which was specially planned for this survey by PRAKLA-SEISMOS:

- The survey area should be surveyed employing a large number of so-called "blocks" of equal dimensions. These blocks should be connected together in the survey direction (Fig. 1) so that the overlap within the strip produces a corresponding regular underground coverage. The strips themselves are laid next to one another without gaps.
- Each block consists of 10 parallel geophone lines, arranged in the strip direction, with 12 geophone groups per line; this results in 120 stations per block, which correspond to the number of seismic channels in the instrument. The arrangement of the geophone stations (Fig. 1) leads to a square grid of underground data points (midpoints between shot and geophone positions).
- The shotpoints belonging to the individual blocks are located along traverses which run perpendicular to the geophone lines. The distances of the traverses to the individual geophone lines of a block are varied.
- Figures 1 and 2 show that the individual data, which combine to one underground data point, arrive from a variety of directions. The azimuthal distribution of the shot-geophone directions is made to suit the slope of the strata or the fault tectonics by a suitable choice of the degree of coverage in the component directions X and Y.

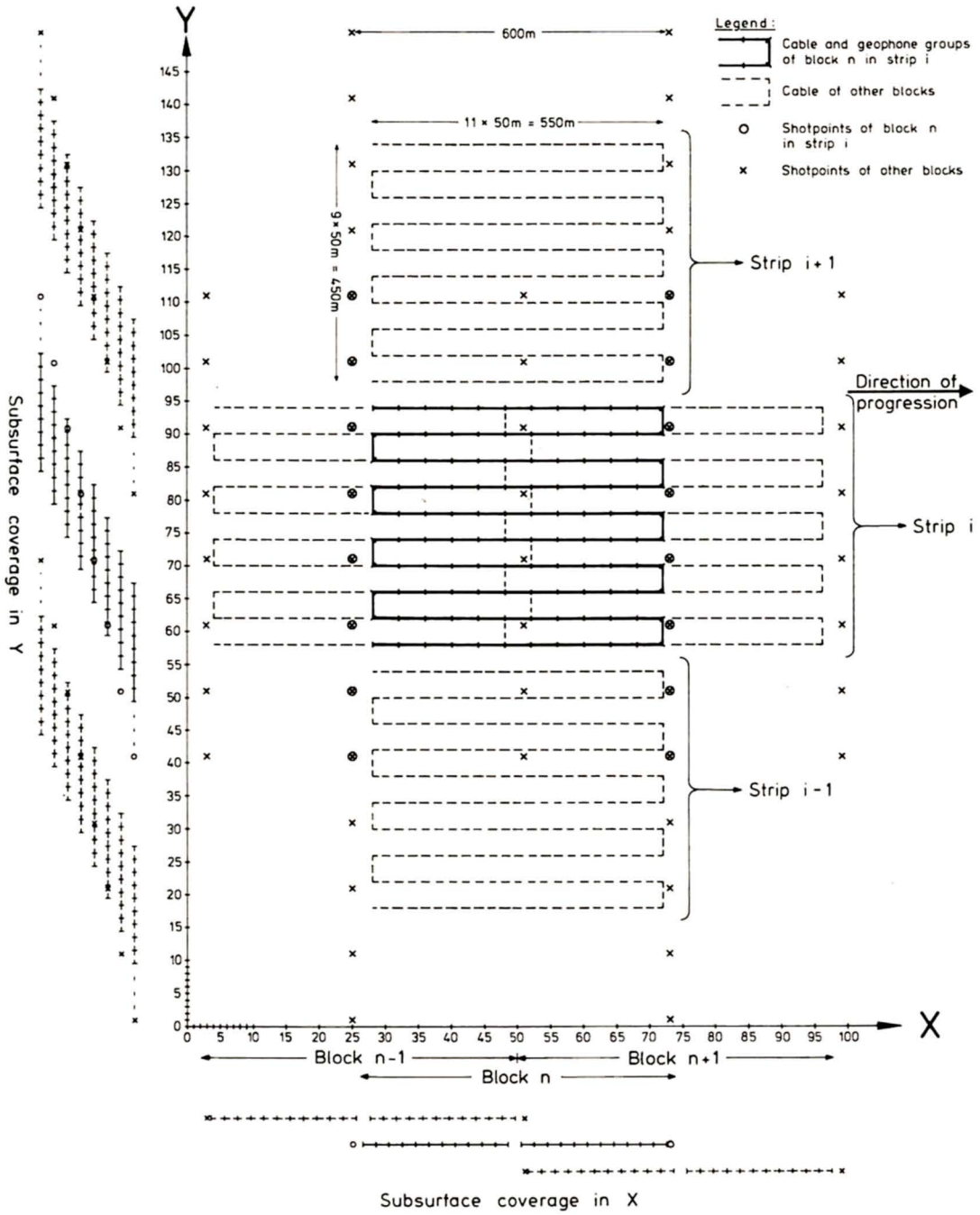


Fig. 1 Aufnahmegeometrie • Field layout

Schuß-Geophon-Richtungen ist durch geeignete Wahl der Überdeckungsgrade in den beiden Richtungskomponenten X und Y den Schichtneigungen oder der Störungstektonik anzupassen.

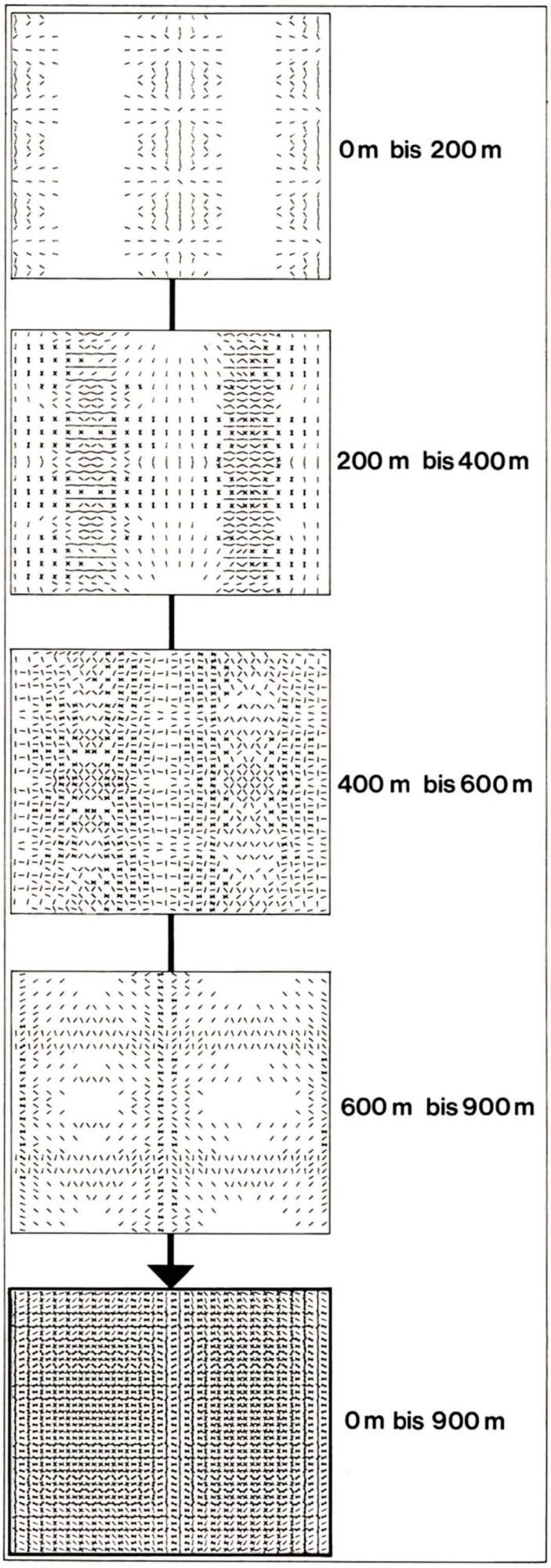
Bei früheren 3D-Messungen mit quadratischen Datenpunktrastern von 40 m und 50 m Maschenweite waren nach der 3D-Migration keine höheren Nutzsignalfrequenzen als etwa 60 Hz mehr vorhanden, obwohl in den 8- und 6fach gestapelten Seismogrammen Nutzsignale von 80 Hz und mehr durchaus noch auftraten. Es hatte sich gezeigt, daß für diesen Frequenzverlust Alias-Effekte im Wellenzahlenbereich verantwortlich zu machen sind*). Aus diesem Grund und im Hinblick auf die steileren Muldenflanken empfahl es sich, die seismischen Informationsspuren wesentlich zu verdichten, und zwar auf ein Datenpunktraster von 12,5 m Seitenlänge. Bei diesem engen Netz von Datenpunkten ist kein Wellenzahlen-Aliasing zu

- In earlier 3-D surveys with square data-point grids of 40 m and 50 m widths no effective signal frequencies higher than about 60 Hz were present after the 3-D migration, although in the 8- and 6-fold stacked seismograms effective signals of 80 Hz and higher do occur. It is apparent that this frequency loss is caused by alias-effects in the wave-number domain*). Because of this, and in view of the steep flanks of the syncline, it is necessary to substantially concentrate the seismic data points, namely to a data-point grid with sides 12.5 m long. In this dense grid of data points wave-number aliasing causes no problems as long as the angles of emergence remain less than 30° at an effective frequency of 100 Hz, and less than 21° at up to 140 Hz.
- Application of a high degree of coverage (e.g. 6-fold) for a data grid of this density would be unavoidably uneconomical. Experience of early 3-D processing

*) Krey, Th.: Reconciling the Demands of 3D-Seismics with Those of Improved Resolution. (SEG-Tagung San Francisco, 1978)

Fig. 2
Scattergramme. Die oberen vier Scattergramme zeigen für den Untergrundbereich von Block n im Streifen i die Verteilung der Datenpunkte sowie die Azimute der Verbindungslinien bei unterschiedlichen Schuß-Geophon-Entfernungen. Das unterste Scattergramm stellt die Summe aller Datenpunkte dar. Neben dem zentralen Block n im Streifen i haben noch folgende randliche Blöcke zur Komplettierung der angestrebten 2fach-Überdeckung beigetragen (s. Fig. 1):
Block n im Streifen i + 1
Blöcke n-1 und n + 1 im Streifen i
Block n im Streifen i-1

The upper four scattergrams show the scatters of different shot-geophone distances as well as the azimuths of these distances for the area of block n in strip i. The lowest scattergram respresents the distribution of all data points. Besides the central block n, the following marginal blocks have contributed to the completion of the 2-fold coverage aimed at (s. fig. 1):
Block n of strip i + 1
Blocks n-1 and n + 1 of strip i
Block n of strip i-1



befürchten, so lange bei einer Nutzfrequenz von 100 Hz die Emergenzwinkel der auftauchenden Strahlen unter 30° und bis 140 Hz unter 21° bleiben.

- Ein Datenraster dieser Dichte wäre bei Anwendung eines hohen Überdeckungsgrades (z. B. 6fach) zwangsläufig unwirtschaftlich. Die Erfahrungen bei früherem 3D-Processing haben jedoch gezeigt, daß eine Unterdrückung von multiplen Reflexionen nicht nur durch die CDP-Stapelung erreicht wird, sondern auch durch die 3D-Migration. Wichtig dabei ist nur, daß die Datenpunkte innerhalb des Kohärenzbereiches der 1. Fresnelschen Zone eine ausreichend große Streuung der Schuß-Geophon-Entfernungen aufweisen. Die Konsequenz: Das enge Datenpunktraster begünstigt die Erhaltung höherer Frequenzen, der Prozeß der 3D-Migration wiederum sorgt für die Unterdrückung der Multiplen und übernimmt damit eine wichtige Funktion des Stapelprozesses.
- Die Aufspaltung einer CDP-Summenspur in Einzelspuren eines kleineren Rasters ist bei gleichbleibender Anordnung der Geophonstation dadurch zu erreichen, daß man als Schußpunktabstand **kein** ganzzahliges Vielfaches des Geophongruppenabstandes wählt.
- Damit bei notwendig werdenden Verlegungen oder Ausfällen von Schußpunkten keine Meßlücken entstehen und zumindest eine einfache Untergrundüberdeckung erreicht wird, wurde für den Regelfall eine 2fache Überdeckung gewählt.

Meßschema

All diese Überlegungen führten zu dem in Figur 1 dargestellten Meßschema. Die Geophonstationen sind in einem quadratischen 50-m-Raster angelegt, während die Schußpunktabstände das 2,5-, 5,5- und 6,5fache der Geophongruppenabstände betragen. Die Schußpunkttraversen liegen an den Stirnseiten der Blöcke, bei Block n in 3/4 und 1/4 Geophongruppenabständen davor, respektive dahinter. (Bei den Blöcken n-1, n+1 usw. ist es umgekehrt.) Alle Blöcke überlappen sich innerhalb eines Streifens jeweils um 50%, sämtliche Streifen schließen sich lückenlos aneinander an. Der

Überdeckungsgrad parallel zur Y-Achse ist 2fach, parallel zur X-Achse 1fach, was eine 2fache Überdeckung ergibt. Pro Quadratkilometer 2fach-überdeckter Untergrundfläche werden $(1000/12{,}5)^2 \cdot 2/120 = 106{,}67$ Schußpunkte benötigt.

Die Schuß-Geophon-Entfernungen liegen zwischen 17,7 m und 885,5 m. Die Scattergramme*) von Figur 2 zeigen die flächenhafte Verteilung der einzelnen Entfernungen, und zwar für den Untergrundbereich von Block n (siehe auch Fig. 1). Die für die Multiplenunterdrückung durch die 3D-Migration wichtige Streuung der Schuß-Geophon-Entfernungen ist gewährleistet. Auch scheint ihre Azimutverteilung zur Erfassung der relativ steilen Muldenflanken günstig zu sein. Die Arbeitsrichtung (X) liegt parallel zum variskischen Streichen.

Durchführung

Die Übertragung des Meßschemas in das Gelände bereitete keine Schwierigkeiten. Die geodätischen Arbeiten wurden von 2 Vermessungsingenieuren mit 6 Helfern ausgeführt. Zusätzlich wurde ein Permitman eingesetzt. Zur Erleichterung der Arbeiten wurde ein fiktives Koordinatensystem eingeführt, dessen X-Achse parallel zum variskischen Schichtstreichen lief. Das Geophonraster wurde von einer Basislinie aus mittels Bussolenzügen abgesteckt. Die Kontrollen der Parallelität und Orthogonalität der Rasterlinien sowie der absoluten und relativen Lage der Geophonstationen wurden laufend durch optische Entfernungsmessungen, in Waldgebieten durch Rundschlußmessungen, durchgeführt. Die Schußpunkte wurden vom Geophonraster aus abgesteckt. Die Bestimmung der Geländehöhen erfolgte durch Nivellements. An die Lagegenauigkeit der abgesteckten Punkte waren hohe Anforderungen zu stellen. Alle Punkte lagen innerhalb von Fehlerkreisen mit max. 1,5 m Durchmesser. Ein Höhenfehler von ± 0,5 m wurde toleriert. Aus Bebauungsgründen mußte ein Teil der Schußpunkte verlegt werden. Diese Verlegungen erfolgten um ganze 50 m in X- resp. Y-Richtung, um das Datenpunktraster zu erhalten.

Feldtechnik

Günstigste Schußtiefen von 30 m bis 42 m waren bereits von der Linienseismik her bekannt. Schußpattern und Ladungstests ergaben, daß mit Ein-Loch-Schüssen und punktförmigen Ladungen von 0,375 kg bis 0,5 kg Sprengstoff ausreichend gute Seismogramme erzeugt werden konnten. Schußladungen von 0,125 kg bis 0,5 kg Sprengstoff ergaben im Reflexionszeitbereich von ca. 380 ms bis 550 ms (Oberkante Karbon) Nutzfrequenzen bis zu 90 Hz. Größere Schußladungen verringerten die Nutzfrequenzen und verursachten darüberhinaus kräftige Oberflächenwellen des Rayleigh-Typs, die bei Ladungsmengen von weniger als 0,5 kg kaum in Erscheinung traten. Geringere Schußladungen als 0,375 kg ergaben bei Laufzeiten über 750 ms in den Einzelseismogrammen kaum mehr Reflexionsandeutungen.

Die Bohrarbeiten wurden von 7 Geräten des Typs 1002 von PRAKLA-SEISMOS Geomechanik bewältigt. Insgesamt waren für 1200 Schußpunkte rund 42 000 m abzubohren, was eine Durchschnittsleistung von 170 m pro Zehnstundentag und Bohrgerät bedeutete.

*) Verteilung der Datenpunkte (= Untergrundpunkte)

has shown, however, that a suppression of multiple reflections is not only achieved by CDP-stack, but also by 3-D migration. It is also important that the data points within the 1st Fresnel coherence zone exhibit a sufficiently large scattering of different shot-geophone distances. Result: the dense data-point grid favours the reception of higher frequencies; the process of 3-D migration suppresses the multiples and therefore takes over an important function of the stacking process.

- The splitting of CDP-stacked traces into single traces of a smaller grid can be achieved without changing the geophone arrangement by selecting a shotpoint spacing which does **not** correspond to whole multiples of the geophone-group spacing.
- A 2-fold coverage was used in order to grant at least a single-fold subsurface coverage in cases when unavoidable shotpoint relocations or even fall-outs would otherwise lead to gaps.

Survey Arrangement

All these considerations lead to the field layout shown in Figure 1. The geophone stations are laid out in a square 50 m grid; the shotpoint distances are 2.5, 5.5 and 6.5 times the geophone-group distances. The shotpoint traverses are located at the front of the blocks; in block n they are 3/4 and 1/4 of the geophone-group distance in front of and behind the block respectively. (In blocks n-1, n+1 etc. it is reversed.) Within each strip adjacent blocks overlap by 50% while the strips themselves are continuously joined, leaving no gaps. The degree of coverage in the Y-direction is 2-fold and in the X-direction singlefold, resulting in a 2-fold overall coverage. In order to cover a subsurface area with 2-fold coverage, $(1000/12.5)^2 \cdot 2/120 = 106.67$ shotpoints are required per square kilometer.

The shot-geophone distances are between 17.7 m and 885.5 m. The scattergrams*) in Figure 2 show the areal distribution of selected distances for the underground region of block n (see also Fig. 1). The wide range of the shot-geophone distances which is essential for the suppression of multiple reflections by 3-D migration is ensured. In addition, their azimuthal distribution appears favourable for detecting the relatively steep syncline flanks. The direction of progress (X) lies parallel to the Variscan trend.

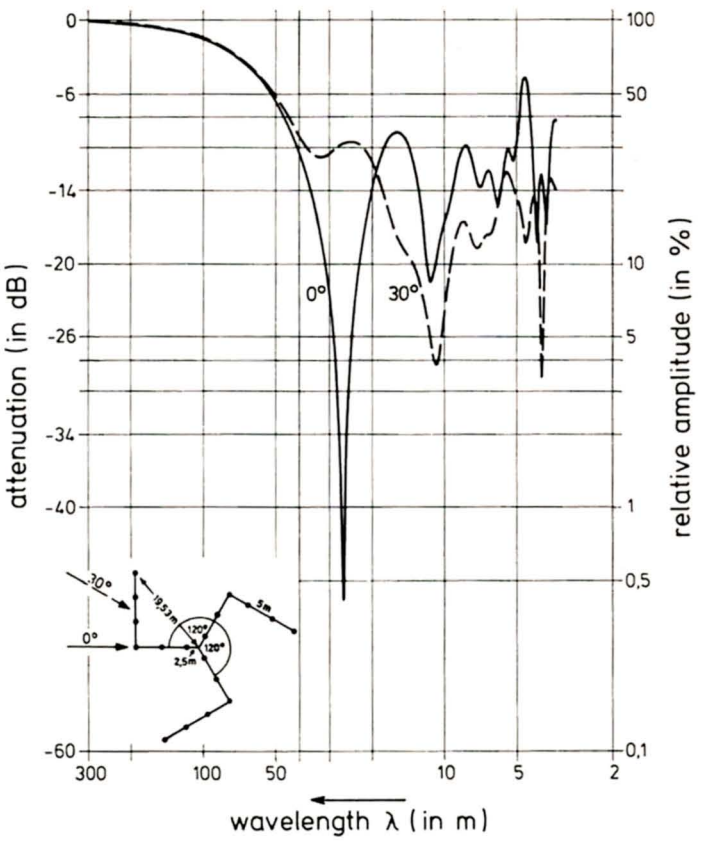
Execution

Transferring the survey scheme from paper to the terrain caused no difficulties. The geodetic work was performed by 2 surveyors assisted by 6 helpers; additionally a permitman was employed. In order to facilitate the work, a fictitious coordinate system was introduced with its X-axis parallel to the Variscan trend. The geophone grid was marked out from a base line using compass bearings. Control of the parallelism and perpendicularity of the grid lines, as well as the absolute and relative positions of the geophone stations, was routinely carried out by optical distance measuring. In wooded area closed traverses were employed. The shotpoints were marked out from the geophone grid. Elevations were determined by levelling to an accuracy of at least ± 0.5 m. The accuracy of the positions of the marked points was maintained at a high level; all the points laid within error circles of maximum 1.5 m radius. Owing to

*) Distribution of data points

Fig. 3
Geophonfigur und Filterkurven für unterschiedliche Einfalls-Azimute (0° = 60° = 120° und 30° = 90° = 150° usw.)

Geophone pattern and filter responses for different azimuths (0° = 60° = 120° and 30° = 90° = 150° a.s.o.)



Auf der Empfangsseite wurden Geophone des Typs SM-7 mit 20 Hz Eigenfrequenz eingesetzt, gebündelt in Gruppen zu 18 Geophonen. Die Dämpfungswiderstände des Kreises Geophongruppe – Kabel – Apparatureingang betrugen 10 kΩ, was eine Dämpfung von 65% für das einzelne Geophon bedeutet. Die Geophone waren somit für alle vorkommenden Signalfrequenzen über ca. 28 Hz gleichmäßig empfindlich. Die Geophongruppe als Wellenlängenfilter brauchte daher tieffrequenten Oberflächenwellen nicht mehr entgegenzuwirken. Lediglich die Anteile des dispergierenden Rayleigh-Wellenzuges, die mit höheren Frequenzen und kleineren Wellenlängen wandern, mußten allenfalls noch durch die Geophongruppe unterdrückt werden. Der Gruppendurchmesser konnte deshalb mit 39 m verhältnismäßig klein gehalten werden.

Da bei 3D-Messungen die Oberflächenwellen aus den unterschiedlichsten Richtungen kommend die Geophongruppe durchlaufen, mußte das Geophonpattern möglichst in allen Richtungen eine gleich gute Wellenlängenfilterung bewirken. Figur 3 zeigt das benutzte Geophonpattern sowie seine Filtercharakteristiken für Einfallswinkel von 0° (= 60°, 120° usw.) und 30° (= 90°, 150° usw.). Beide Kurven zeigen, daß Störwellen kleiner als 30 m um mehr als 50% gedämpft werden, wohingegen Nutzenergie mit Wellenlängen größer als 40 resp. 45 m mit 70% ihrer Amplitude passieren. Hochfrequente Nutzwellen, die mit relativ geringer Scheingeschwindigkeit die Erdoberfläche erreichen, werden begünstigt, also die hochfrequenten Reflexionen relativ steil einfallender Schichten.

Die Aufnahme erfolgte mit einer 120spurigen DFS V. Als Abtastintervall wurden 2 ms gewählt, als Hochschnitt das Anti-Aliasfilter von 128 Hz bei 70 dB/Okt. Zur Vermeidung von Erdschlüssen wurden besondere Maßnahmen ergriffen. Leckwiderstände von 100 kΩ wurden in keinem Fall unterschritten.

Leistung

Die Statistik brachte es an den Tag: pro 10 Stunden Meßzeit wurden durchschnittlich 27,4 Schüsse abgetan, pro Tag nicht weniger als 145,5 Geophongruppen nebst Kabel auf- und abgebaut. Anders ausgedrückt: ein Quadratkilometer 2fach-überdeckter Fläche beanspruchte 38,9 Stunden Arbeitszeit.

Korrekturen

Die statischen Korrekturen wurden unter Berücksichtigung der Geländehöhen, Schußtiefen und Aufzeiten sowie unter Benutzung einer Korrekturgeschwindigkeit unterhalb der Verwitterungsschicht von 2500 m/s berechnet. diese Korrekturgeschwindigkeit wurde aus den Ersteinsätzen hergeleitet. Anhand markanter Reflexionen wurden die ermittelten Korrekturwerte entlang der Geophonlinien (X-Richtung) überprüft und ggf. verbessert. Außerdem wurden die Ersteinsätze zur Kontrolle der Korrekturwerte der Y-Richtung herange-

the presence of buildings, a number of shotpoints had to be relocated; however, in order to maintain the data-point grid, the resulting relocations were only 50 m or multiples thereof in both the X- and Y-directions.

Field Technique

From the line-seismic survey it was known that shot depths of 30 m to 42 m were suitable. Shot pattern and charge tests showed that sufficiently good seismograms could be produced using one-hole shots with charges of 0.375 kg to 0.5 kg dynamite. Charges of 0.125 kg to 0.5 kg produced frequencies of up to 90 Hz for reflection times ranging from 380 ms to 550 ms (Top Carboniferous). Larger charges reduce the signal frequency and moreover created strong Rayleigh-type surface waves, which hardly showed up from charges of less than 0.5 kg. Charges less than 0.375 kg produced hardly any more reflection indications in the single seismograms at travel times greater than 750 ms.

Drilling was accomplished by 7 PRAKLA-SEISMOS Geomechanik units of type 1002. Altogether approximately 42,000 m were drilled for 1,200 shotpoints, which gave an average performace of 170 m per 10 hr day per drilling unit.

On the receiver side the geophones, type SM-7 with a natural frequency of 20 Hz, were placed in groups of 18. The damping resistance of the circuit geophone group – cable – instrument input was 10 kΩ, which means a 65% damping for the individual geophone. Consequently the geophones were uniformly sensitive to all signal frequencies occurring over approximately 28 Hz. For this reason the geophone group, acting as a wavelength filter, no longer needed to counteract the low frequency surface waves. Only the parts of the dispersing Rayleigh wave-train which travel with high fre-

zogen, unter Berücksichtigung der nahe den Schußpunkttraversen liegenden Geophongruppen. Der flächenhafte Ausgleich der statischen Korrekturen erfolgte bei der Datenbearbeitung mit Hilfe des Prozesses 3D-ASTA.

Processing

Die Bearbeitung der Meßdaten erfolgte im PRAKLA-SEISMOS-Datenzentrum. Einen Überblick über ihren Ablauf zeigt Figur 4. Die meisten der hier aufgeführten Bearbeitungsschritte wurden von W. Houba in der Ausgabe 2/79 des PRAKLA-SEISMOS-Reports beschrieben. Im gleichen Aufsatz sind auch ein Profil nach 4 verschiedenen Bearbeitungen (Fig. 10a bis 10d) und 5 Zeitscheiben (Fig. 12) aus dem Meßgebiet abgebildet.

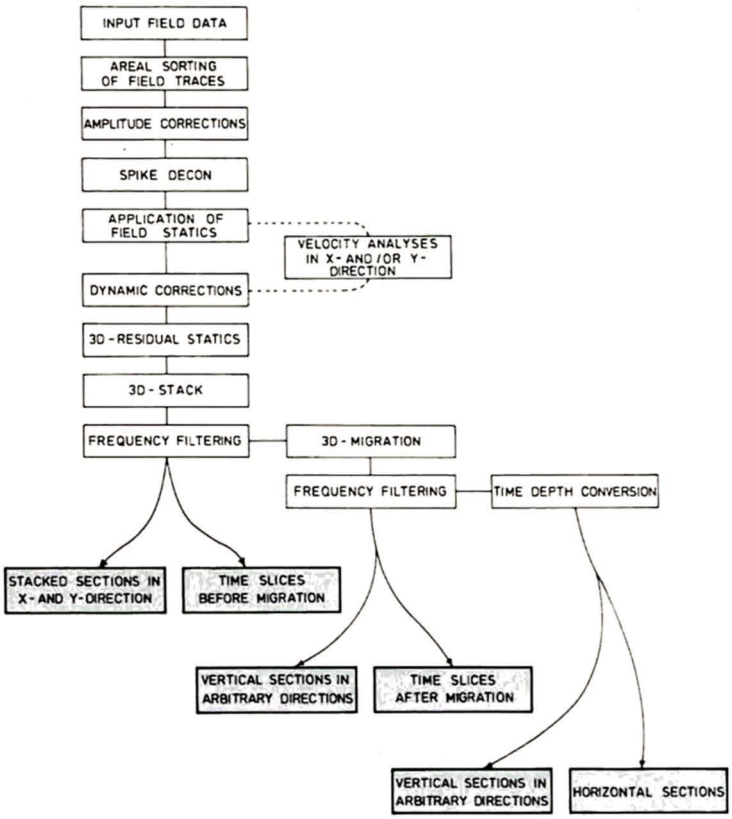


Fig. 4
Ablauf der Datenverarbeitung
Flow diagram of data processing

Interpretation

Eine Auswertergruppe in Hannover übernahm die Interpretation. Dabei waren alle das Meßgebiet betreffende Bohrungen sowie Linienprofile einzubeziehen. Die Auswertung der 3D-Messung gestaltete sich als Wechselspiel zwischen Interpretation der Kulissenprofile in X- und Y-Richtung und Deutung der Horizontalschnitte, der 'Zeitscheiben'. Die in den Profilen ausgewerteten Horizonte und Störungen wurden in die Zeitscheiben übertragen, in diesen weiter verfolgt, dann wieder in die Kulissenprofile zurückübernommen usw. Auf diese Weise gelang es, Mehrdeutigkeiten, insbe-

quencies and short wave-lengths have to be attenuated by the geophone group. The group diameter could therefore be kept comparatively small at 39 m.

In 3-D surveys the surface waves pass through the geophone group from all directions, thus the geophone pattern has to effect an equally good wave-length filtering in all directions. Figure 3 shows the geophone pattern used and its filter characteristics for incidence angles of 0° (= 60°, 120° etc.) and 30° (= 90°, 150° etc.). Both curves indicate that noise waves shorter than 30 m are damped more than 50%, whilst signal energy with wave-lengths longer than 40 to 45 m passes through retaining 70% of its amplitude. High frequency signal waves which reach the earth's surface with relatively low apparent velocity are favoured, i.e. the high frequency reflections from relatively steeply dipping layers.

Recording was made with a 120-trace DFS V instrument. A sample interval of 2 ms and a high-cut filter of 128 Hz with 70 dB/oct were selected. Special precautions were taken in order to avoid leakage. More than 100 kΩ were always maintained.

Performance

The statistics show: an average of 27.4 shots were fired per 10 hr survey time and not less than 145.5 geophone groups, including cable, were picked up and laid out per day. In other words: one square kilometre with 2-fold coverage required 38.9 working hours.

Corrections

The static corrections were calculated taking into account the elevation, shot depths and uphole times, as well as a subweathering correction velocity of 2500 m/s. This correction velocity was derived from the first arrivals. With the aid of prominent reflections (picked up in X-direction) the statics were checked and, if necessary, improved. Moreover, the first arrivals were used as a control of the correction values in the Y-direction considering the geophone groups situated near the shotpoint traverses. The areal adjustment of the static corrections was done by data processing using the 3-D ASTA process.

Processing

The processing of the survey data took place in the PRAKLA-SEISMOS Data Centre. Figure 4 shows the essentials of the process. The majority of these processing steps were described by W. Houba in PRAKLA-SEISMOS Report 2/79. Illustrated in the same article were one profile, processed in four different ways (Fig. 10a to 10d), and five "time slices" (Fig. 12) from the survey area.

Interpretation

This work was undertaken by an interpretation group in Hannover. All data from wells and line surveys related to the survey area were incorporated in the work. The interpretation of the 3-D survey turned out to be an interplay between the evaluation of the echelon profiles in the X- and Y-directions and the computation of the horizontal sections. The horizons and faults, interpreted from the profiles, were transferred to the time slices and then traced through them, after which they were transferred back to the echelon profiles and so on. In this way it was possible to clarify ambiguities, especially in fault

sondere im Bereich von Störungen, aufzuklären. Figur 5 zeigt ein Kulissenprofil in X-, Figur 6 ein anderes in der dazu senkrechten Y-Richtung (s. auch die Seiten 12 bis 14 von „Seismic Interpretation").

regions. Figure 5 shows an echelon profile in the X-direction and Figure 6 another profile in the perpendicular Y-direction (see also pages 12 to 14 "Seismic Interpretation").

Fig. 5
Vertikale Zeitsektion in X-Richtung
Vertical time section in X-direction

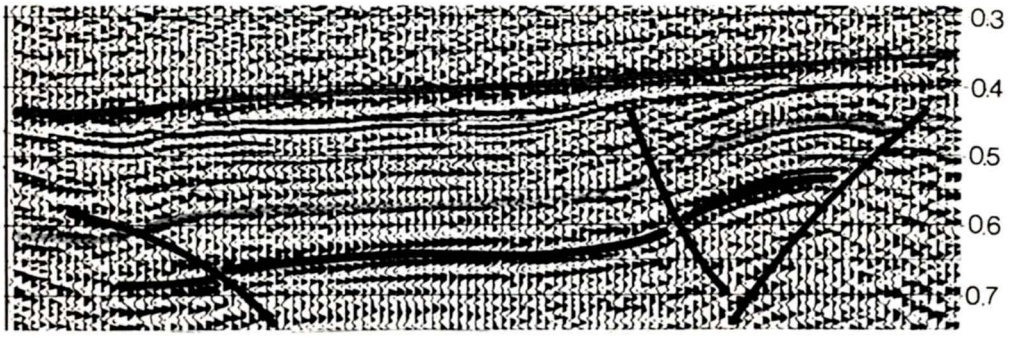


Fig. 6
Vertikale Zeitsektion in Y-Richtung
Vertical time section in Y-direction

Schlußbetrachtung

Die in die Vermessung gesetzten Erwartungen haben sich voll erfüllt:

- Die Vermessung führte zu relativ hochfrequenten Feldaufnahmen, die kaum Störwellen und multiple Reflexionen erkennen ließen.
- Die Datenverarbeitung erreichte eine weiter Verfeinerung der Felddaten. Die Zusammenfassung von jeweils vier Datenpunkten zu einem Raster von 25 m Maschenweite und 4 x 2 = 8fach-überdeckten Datenpunkten (eine Notwendigkeit für den 3D-ASTA-Prozeß) bewirkte eine Unterdrückung der Multiplen, ohne daß die hohen Frequenzen beim Migrationsprozeß beeinträchtigt wurden (s. Fig. 5 und 6).
- Die Mitteltektonik in den einzelnen Schollen konnte weitgehend aufgegliedert werden. Im oberen Karbonbereich gelang es, Störungen von erheblich weniger als 25 m Sprunghöhe zu erfassen.

Auch in Zukunft wird es notwendig sein, Untersuchungsstrecken unter Tage voranzutreiben, da Kleintektonik durch seismische Übertagemessungen nicht erfaßbar ist. Aber diese kostspieligen Arbeiten werden jetzt weit zielvoller angesetzt werden können.

Final Remarks

The expectations set in the survey were completely fulfilled:

- The survey gave relatively high-frequency field recordings which revealed hardly any noise and multiple reflections.
- The data processing attained a further refinement of the field data. The concentration of 4 data points to one grid square of 25 m width leading to a 4 x 2 = 8-fold data point coverage (a necessity for the 3-D ASTA process) produced a suppression of multiples by the migration process without the high frequencies being impaired (see Fig. 5 and 6).
- The medium tectonics within the individual blocks could largely be revealed. In the Upper Carboniferous it was possible to recognize faults with throws of considerably less than 25 m.

As in the past, it will be necessary in the future to drive test galleries, as small tectonic faults cannot be detected by surface seismics. However, the costly driving of galleries can now be executed with much more precision and therefore efficiency.

„Seeseismik" im Ruhrgebiet

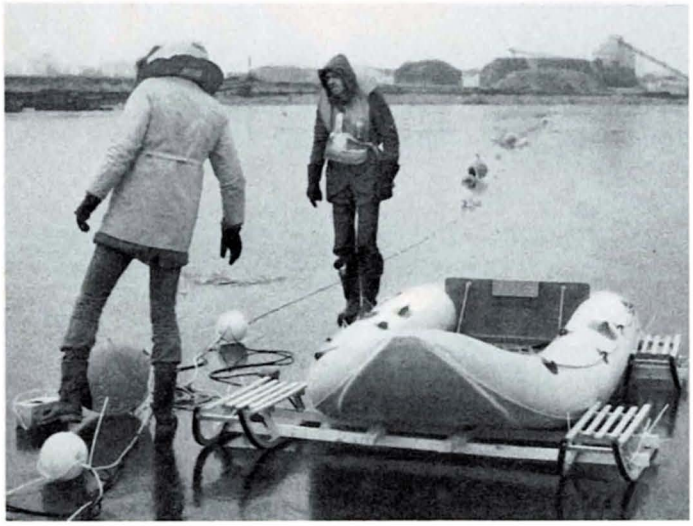
U. Brandt

Etwas bescheidener könnten wir von 'Baggersee-Seismik' sprechen, denn darum ging es letztlich. Auch wenn wir unser System, wie die Fotos zeigen, gelegentlich auf das Eis zu übertragen hatten, wollen wir uns doch nicht gleich wortschöpferisch betätigen oder gar behaupten, schlechthin die 'Glazial-Seismik' erfunden zu haben.

Bei unseren 3D-Messungen für die Ruhrkohle stießen wir immer wieder auf zum Teil sehr ausgedehnte Baggerseen, die zu Meßlücken führten und diese wiederum zu häßlichen Löchern und Webfehlern im Raster der Untergrundpunkte. Auch zusätzliche Schußpunkte konnten, wegen der Größe der Seen, nicht immer Abhilfe schaffen. Wie sonst aber war der Herausforderung zu begegnen?

Nach verschiedenen Diskussionen mit dem Auftraggeber, mit Beratern und Herren unserer Service-Abteilung, rangen wir uns während einer Freiwoche zu folgender Problemlösung durch:

Den Vermessern war die Aufgabe gestellt, sämtliche Geophonorte und auch jene Stellen, an denen Kabelkupplungen zu setzen waren, mit Polyformbojen (Trag-



Geophonauslage über einem zugefrorenen Baggersee. Transportvehikel und Markierungsbojen
Geophone layout crossing a gravel lake. Transport vehicle and marker buoys

„Eimergeophone"
"Bucketgeophones"

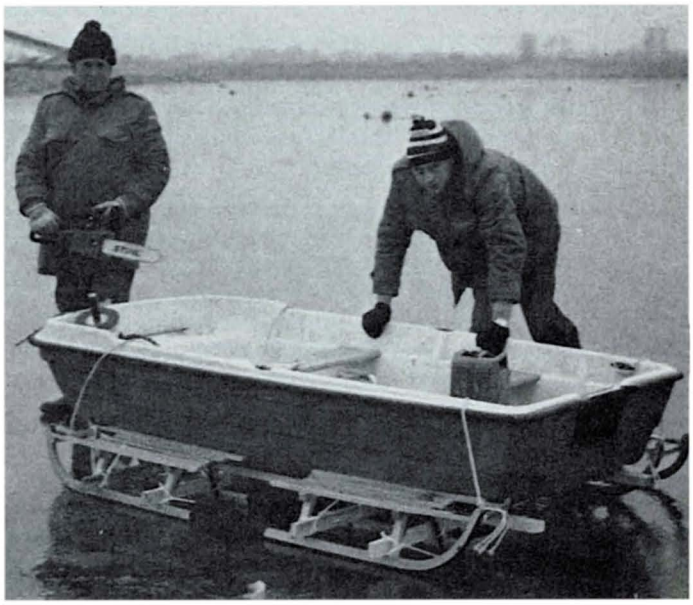
"Marine Seismics" in the Ruhr District

It is not our intention to create new words or to insist on having invented "glacial seismics". In order to handle our topic more modestly we should have perhaps called it "gravel lake seismics", for that is the actual case.

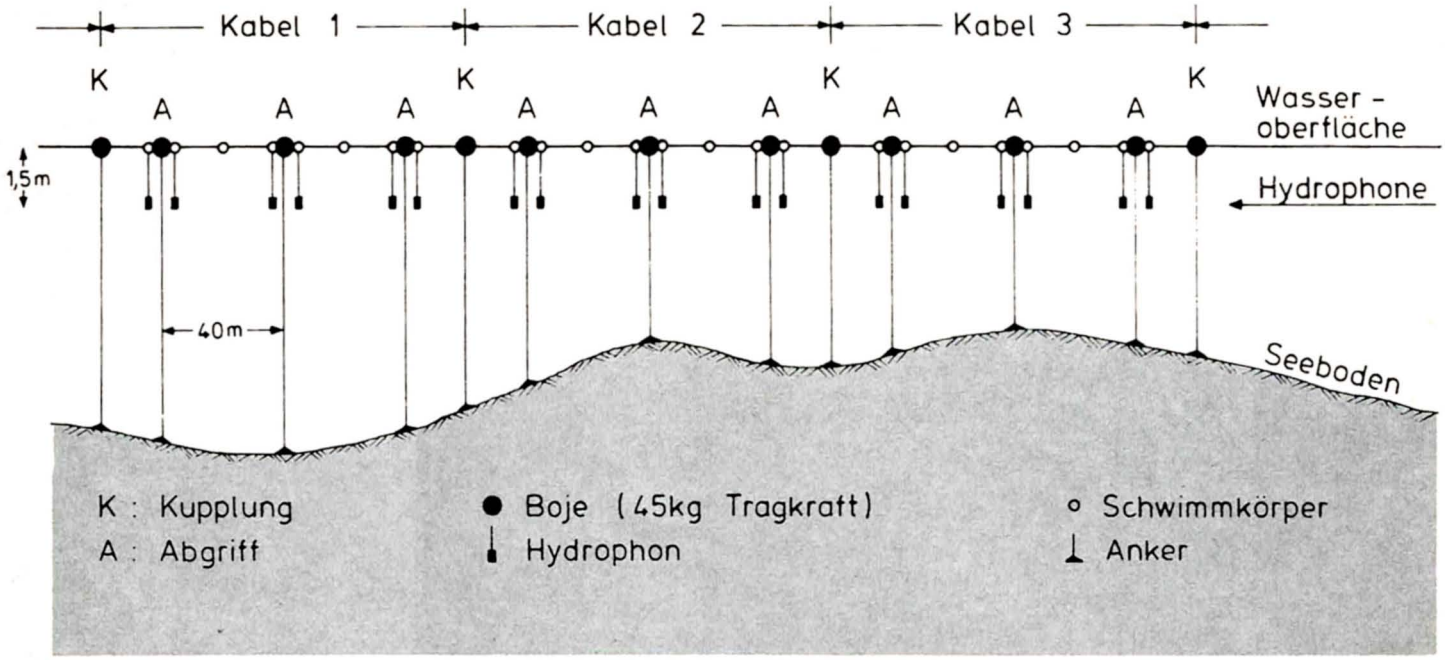
During our 3-D surveys for the Ruhrkohle we have time and again encountered gravel lakes, some with considerable extensions, which have caused survey gaps that in turn led to undesirable holes and "flaws" in the

Zur Einbringung von Hydrophonen bw. Geophonen werden mit Baumsägen Löcher in das Eis geschnitten

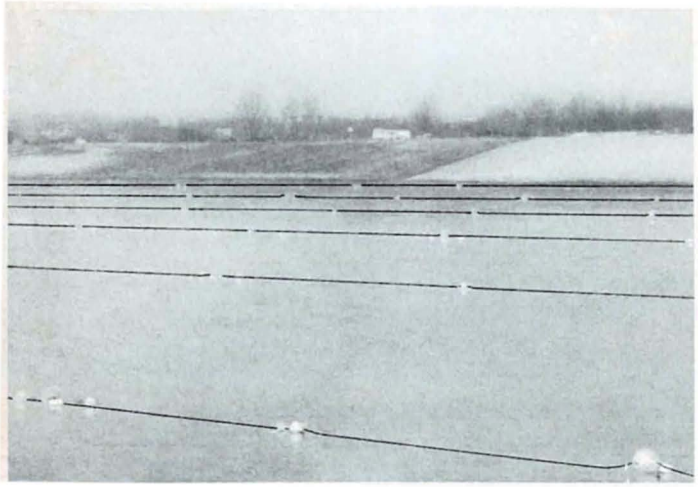
For lowering hydrophones or geophones into the water, holes are cut into the ice by chain-saws



Auch dieses Vehikel eignet sich zum Transport. Die Typenreinheit bleibt nicht immer gewahrt
Different types of hand constructed sledges are used



Schema
Scheme



Flächenseismik auf dem Eis eines Baggersees
The pattern of 3-D seismics revealed on the ice of a gravel lake

kraft 45 kg) zu vermarken und diese auf dem Seegrund zu verankern. Unter Leitung eines Meßtechnikers präparierte eine andere Gruppe die Landkabel für den Wassereinsatz, brachte die Abgriffe auf die geforderten Gruppenabstände und sorgte durch Anbringen von Auftriebskörpern (Tragkraft 4 bis 6 kg), daß die Kabel an der Wasseroberfläche schwammen. Soweit das Vorspiel.

Das Zuwasserlassen des Systems war das härteste Stück Arbeit. Wind, Regen, Schnee und Eis machten uns oft das Leben sauer; das Eis zwang uns darüber hinaus zu einigen ungewohnten Praktiken (siehe Fotos). Zur Impulsaufnahme verwendeten wir zwei Hydrophone pro Spur und Anschluß. Einmal, als wir 180 Stationen zu belegen hatten, reichten unsere Hydrophone nicht mehr aus. Ersatzweise pflanzten wir je 6 Geophone einer Kette in halb mit Sand gefüllte Eimer und ließen sie zu Wasser. Diese ‚Eimergeophone' hatten bereits einige unserer Holland-Trupps erfolgreich angewendet.

Wie wir uns all das vorzustellen haben, darüber gibt unsere Schemaskizze Auskunft: Von den zu beiden Seiten der Tragbojen angebrachten Schwimmkörpern hängt je ein Hydrophon auf die gewünschte und für die statischen Korrekturen so bekömmliche einheitliche Tiefe von 1,5 m unter Wasseroberfläche herab. Ist der Baggersee zufällig mit Eis bedeckt, dann sägen wir uns Löcher in dasselbe. Der Zentrale raten wir schon jetzt: forscht mal nach, was Schlittenhunde kosten!

subsurface data-point grid. Additional shotpoints can not always provide a remedy because of the size of the lakes. How else could this challenge be confronted?

After various discussions with the client, with advisers and personnel from our Service Department, we struggled through, during a free week, to the following solution:

The surveying crew was given the task to mark all geophone locations and also those points where cable couplings were to be positioned, with polyform buoys (carrying capacity 45 kg), and then to anchor these buoys to the lake floor. Under the supervision of an operator a second crew would prepare the land cables for use in water, shorten the cables to the desired geophone-group distances and attach floats (carrying capacity 4 to 6 kg) to them. The preliminaries so far.

Setting the system to water was the hardest piece of the work. Wind, rain, snow and ice made our lives unpleasant; furthermore the ice forced us to do some unusual practices (see photos).

As receivers we used two hydrophones per trace. One time, when we had to provide for 180 stations, our supply of them was not sufficient. As a substitute we placed bunches of 6 geophones into buckets half filled with sand and lowered them into the water. These "bucket geophones" have been successfully applied by some of our seismic crews in Holland.

The scheme (above) enables us to imagine this set-up: From the floats which are attached to both sides of the support buoy, a hydrophone is suspended at the desired uniform depth of 1.5 m under the water surface, which is so beneficial for the computation of statics. If the gravel lake happens to be covered with ice, then we saw holes in it. We have already advised head office to look into the price of huskies!

60 Jahre Angewandte Geophysik
Years of Applied Geophysics

SEISMOS–

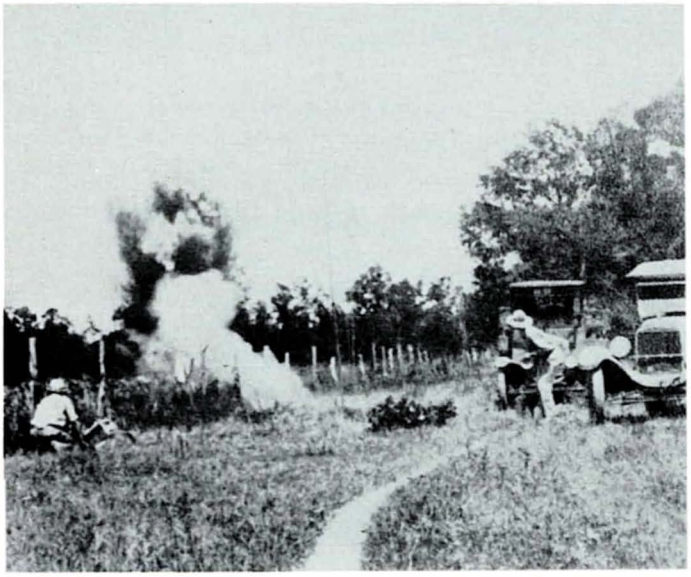
60 Jahre Angewandte Geophysik

G. Keppner

Am 4. April 1921 wurde die SEISMOS von **Dr. L. Mintrop** *gegründet, finanziell gestützt von fünf großen deutschen Montankonzernen. Das wesentliche 'Kapital' dieser Gesellschaft lag jedoch in der wissenschaftlichen Leistung ihres Begründers, die ihren Niederschlag fand in der Patentschrift Nr. 371963 über ein seismisches "Verfahren zur Ermittlung des Aufbaus von Gebirgsschichten". Gemeint war jenes Meßverfahren, das wir heute unter* **Refraktionsseismik** *verstehen.*

In unserem ersten Report-Heft Nr. 1/1971 (– also auch ein Jubiläum –), finden sich die Leistung Mintrops und die Anfänge der deutschen angewandten Geophysik ausführlich gewürdigt. Was uns im vorliegenden 'Report' als aufzeigenswert erscheint, ist jener sensationelle und folgenreiche Impakt, den das Mintrop-Verfahren in den USA, dem Mutterland des Erdöls, vor nun fast 60 Jahren ausgelöst hatte.

Dr. O. Geußenhainer, der den ersten SEISMOS-Meßtrupp 1923 nach Übersee führte, beschrieb die Exotik und Abenteuerlichkeit dieser Unternehmung in einer unserer ersten 'Rundschau'-Nummern. Die Lage der Ölindustrie war damals prekär. Der Ölbedarf nahm ständig zu, während die Fundrate im gleichen Tempo



'German Dynamiters'

Prof. L. Mintrop, Gründer der SEISMOS
Prof. L. Mintrop, founder of SEISMOS

SEISMOS – 60 Years of Applied Geophysics

On April 4, 1921 SEISMOS was founded by **Dr. L. Mintrop,** *financially backed by five large German mining companies. The fundamental 'capital' of this company rested, however, upon the founder's scientific achievements, which were reflected in the patent no. 371963 about a seismic "Method of Investigating the Structure of Strata". Meant was the survey method that we know today as* **Refraction Seismics.**

In our first Report issue no. 1/1971 (– also an anniversary –) Mintrop's achievements and the beginnings of German applied geophysics are to be found in detail. What seems to be worth showing in the present issue is the sensational and momentous impact which the Mintrop method caused in the USA, the mother country of oil, nearly 60 years ago.

Dr. O. Geußenhainer, who lead the first SEISMOS crew overseas in 1923, described the exoticism and adventurousness of this operation in one of our first

abnahm. Bezeichnend, daß der spätere Ölriese Texas nach dem Spindletop-Gusher von 1901 wieder sanft entschlummert war. Die 'Creekologie', als die klassische Methode der Ölsucher, war gründlich ausgereizt. Jetzt hätte es tiefergreifender Techniken bedurft, denn es genügte nicht mehr, aus dem Verlauf von Bächen und Flüssen, wie im Kaffeesatz lesend, auf die Struktur der tieferen Erdschichten rückzuschließen. Kein Wunder, daß die Ölbosse nach Strohhalmen griffen, zu Wünschelrute und Pasteur-Pendel.

Auch Mintrops Instrumentarium galt den meisten Erdölgeologen damals kaum mehr als eine besonders luxuriöse Art von Wünschelrute. Da die 'Scouts' (Wirtschaftsspione) sofort intensive Jagd auf die Geheimnisse in den Registrierzelten zu machen begannen – erst seit 1926 war das Verfahren in den USA patentrechtlich geschützt – hatten die SEISMOS-Leute auf strengste Geheimhaltung zu achten, was andererseits dem Mißtrauen Nahrung bot. Von Mißtrauen und seiner milderen Abart, von Ironie und Gelächter, weiß Geußenhainer viel zu berichten. Mintrops Chance lag in erster Linie in der Philosophie seiner Klienten, die sich sagten: Wenn es auch nicht nützt, so kann es doch nicht schaden (sieht man von den bescheidenen Kosten ab). Und wer weiß . . .

Natürlich gab es auch damals schon klardenkende und allem Neuen aufgeschlossene Wissenschaftler, die der seismischen Methode Chancen einräumten. Waterschoot van der Gracht von Marland Oil Co. (heute Conoco) zum Beispiel ließ 1923 den ersten SEISMOS-Trupp unter Mintrops persönlicher Leitung in die Vereinigten Staaten kommen, nachdem kurz vorher Geußenhainers legendäre Party I nach Mexiko gegangen war, um im Bereich der Golden-Lane-Felder für die Mexican Eagle (El Aguila/SHELL) zu explorieren. Eine der zahlreichen mexikanischen Revolutionen bescherte der Gulf Production Co. die Gelegenheit, Geußenhainers jetzt sprengstofflose 'German Dynamiters' auf die andere Seite des Golfes zu holen und dort auf Salzstöcke anzusetzen. Im Juni 1924 war es schließlich soweit. Die Ölwelt hatte ihre Sensation. Der Orchard-Salzstock unweit Houston war gefunden und damit das erste jener endlosen Kette von Ölfeldern, die ihre Entdekkung der Seismik verdanken.

Jeder, der mit 'Angewandter Geophysik' sein Brot verdient, sollte sich gelegentlich das intellektuelle Vergnügen gönnen, die Geschichte dieses Fundes bei Dr. O. Geußenhainer nachzulesen (Rundschau Nr. 7).

Wie war die Reaktion im Ölland USA? Die Presse berichtete in großer Ausführlichkeit. Die Fachpresse, wie OIL, OIL WEEKLY, OIL and GAS JOURNAL, zog nach. Aber auch die Fachprominenz räumte den Ereignissen gebührenden Platz ein. **G. E. Sweet** schreibt in seiner "History of Geophysical Prospecting":

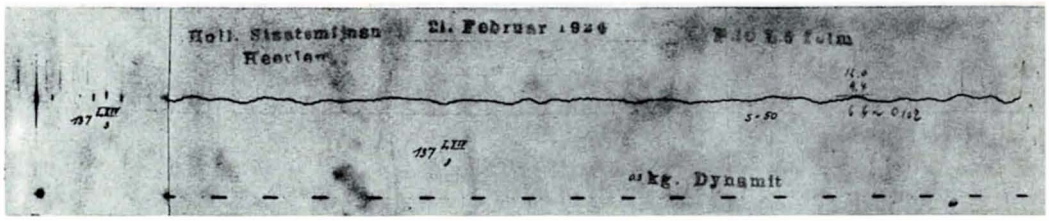
"Mintrops initialer Erfolg am Orchard Dom in der Grafschaft Fort Bend in Texas war das größte Ereignis (biggest event) in der Geschichte der geophysikalischen Exploration, denn er führte die seismische Kontraktorfirma in das Ge-

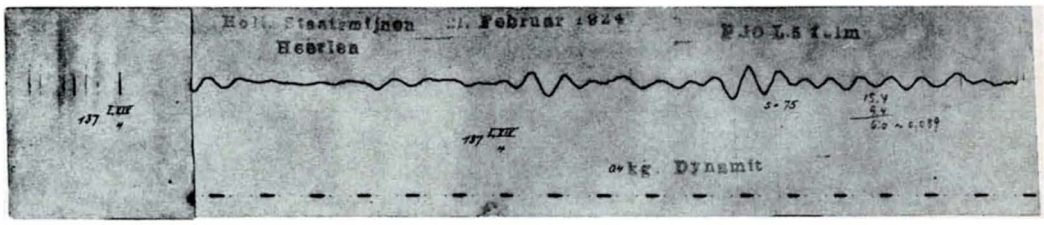
Seismik 1923 · Seismics 1923

'Rundschau' issues. The situation of the oil industry at that time was precarious. The oil demand constantly increased whilst the rate of discovery decreased at a similar tempo. It was typical that the later oil giant Texas gently passed away after the Spindletop-Gusher of 1901. 'Creekology' as the classic method of the oil explorer had thoroughly dried up. It now required deeper probing techniques as it was no longer possible to infer the structure of the earth's deeper layers from the courses of creeks and rivers, a procedure similar to reading tea-leaves. No wonder that the oil bosses grabbed at straws, like divining-rods and Pasteur-pendulum.

Even Mintrop's instrumentation was then looked upon by the majority of oil geologists as little more than an especially luxurious type of divining-rod. Because the 'scouts' immediately began to make an intensive search for the secrets within the recording tents – the method was not protected by patents in the USA until 1926 – the SEISMOS personnel had to observe strict secrecy, something which on the other hand fed the distrust. On distrust and its subtle variations, on irony and laughing-stock, Geußenhainer has a lot to say. Mintrop's chance lay above all in the philosophy of his clients, who said: When it's of no use, it cannot do any harm (– overlooking the comparably modest costs –). And who knows . . .

Naturally, there were already then clear thinking and open-minded scientists who conceded that the seismic method had real chances. Waterschoot van der Gracht of Marland Oil Co. (today Conoco), for example, sent for





Refraktionsseismogramme, aufgenommen am 21. Februar 1924 für die Holländischen Staatsgruben

Refraction seismograms, recorded for the Dutch state mines on February 21, 1924

schäft ein. So war Mintrops Instrumentarium verantwortlich sowohl für das Auffinden des ersten Salzdomes überhaupt, Meissendorf, als auch für die Entdeckung der ersten ölführenden Salzstruktur (Orchard)". (Gemeint in beiden Fällen: durch die seismische Methode, Red.)

Entscheidend jedoch war das, was nun folgte. Schlagen wir nach bei zwei prominenten Kronzeugen dieser Epoche.

O. Scott Petty, Mitbegründer der Petty Geophysical Engineering Co. (heute Petty-Ray Geophys. Div./Geosource Inc.) beschreibt in seinen Erinnerungen ('Seismic Reflections', 1976), wie es zur Gründung seiner Gesellschaft kam. "Ein bißchen Geschichte" lautet die Überschrift des ersten Abschnitts. Nur 6 von 32 Zeilen widmet er der Zeit vor Mintrop, der große 'Rest' liest sich wie folgt:

"Die erste praktische Anwendung der Seismographen, außer zum Registrieren von Erdbeben, geschah während des Ersten Weltkrieges, nachdem der deutsche Wissenschaftler Dr. L. Mintrop einen tragbaren Seismographen für die deutsche Armee zur Ortung feindlicher Artilleriestellungen erfunden hatte..."

O. S. Petty berichtet Staunenswertes über die Präzision dieser Ortung: "...Oft pflegte schon der erste Schuß einer deutschen Kanone voll zu treffen..." Er beschreibt, wie Mintrop dabei zu Werke ging und schließlich, wie Mintrop sein System zum Zwecke friedlicher Exploration modifizierte:

"...jetzt zündete er eine Sprengladung... m a ß die Distanzen und e r m i t t e l t e die Geologie. Das war die Geburts-

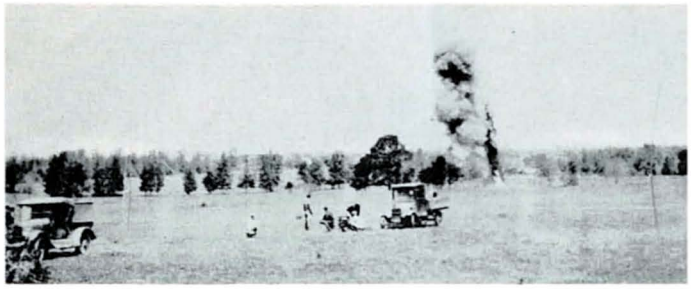
the first SEISMOS crew in the United States in 1923 under Mintrop's personal leadership. This occurred shortly after Geußenhainer's legendary party I left for Mexico in order to explore the regions of the Golden-Lane fields for the Mexican Eagle (El Aguila/SHELL). One of the numerous Mexican revolutions gave the Gulf Production Co. the opportunity of bringing Geußenhainer's now explosive-lightened 'German Dynamiters' onto the other side of the Gulf, where they should start finding saltdomes. In June 1924 the time was ripe. The oil world had its sensation. The Orchard saltdome near Houston was found and with that the first oil field of that endless chain which owed its discovery to seismics.

Everyone who earns his living from 'applied geophysics' should at some time or other indulge in the intellectual pleasures of reading the story of this discovery, written by Dr. O. Geußenhainer (Rundschau No. 7).

What was the reaction in the oil giant USA? The press reported in great detail. The oil publications, like OIL, OIL WEEKLY and OIL AND GAS JOURNAL followed in their footsteps. Even the leading figures in the realm of geoscience allocated the fitting place for the events. **G. E. Sweet** writes in his "History of Geophysical Prospecting":

"Mintrop's initial success, at the Orchard dome in fort Bend County, Texas, was the biggest event in geophysical exploration history, for it put the contracting seismograph company in business to stay. Thus the Mintrop seismograph was responsible for finding both the first saltdome, Meissendorf, and the first oil-rich saltdome, Orchard. (Meant in both cases: by using the seismic method, Ed.)

Decisive, however, was that which followed. We refer to two outstanding witnesses of this epoch.



Refraktionsschuß 1927 bei Summerfield/Texas
Refraction shot 1927 near Summerfield/Texas

stunde der heutigen seismischen Kontraktorindustrie". Und fast biblisch klingt der Schluß dieses Abschnitts: "Er (Mintrop) nannte seine Gesellschaft SEISMOS".

Amen! ist man versucht, hinzuzufügen. Aber das Interessanteste kommt erst jetzt. O. S. Petty zitiert einen Brief, den er, damals Statiker in Dallas, am 25. März 1925 von seinem Bruder Dabney, Geologe in Austin, erhielt. Und O. S. Petty bewertet dieses Schriftstück als "The Letter That Sparked The Beginning", den Beginn seiner Gesellschaft nämlich:

"Scottie, ich schicke Dir da die Kopie eines Papieres, das die SEISMOS-Leute von sich geben ("put out", vermutlich handelte es sich um ein Seismogramm, Red.), die die Gulf mit ihren Seismographen ausstatten... Es gibt nur drei Gesellschaften, die sie jetzt an der Golfküste benutzen. Aber die anderen arbeiten daran, und werden sie ohne Zweifel auch bald benutzen... Vielleicht wäre es Dir möglich, die Methode zu studieren und vielleicht kannst Du herausfinden, wie man die Ergebnisse (readings) lesen muß... Ich kriege höchsten Ärger, wenn ich nicht bald hinter das Geheimnis dieser Instrumente komme... Wenn Du herausbringen könntest, wie diese Dinger funktionieren, könnten wir mit Konsultingarbeiten ein großes Geschäft machen..."

Man sieht, die Hatz hatte begonnen.

Als zweiter Kronzeuge fungiere kein geringerer als **Everette Lee DeGolyer,** der wohl bedeutendste Erdölgeologe und Geophysiker seiner Epoche. 'Mr. De' geht sehr freimütig auf Mintrops Erfolge an der Golfküste ein und bekennt (SEG Early Geophysical Papers, Second Printing 1956):

"... Ich neigte zur Skepsis, was den möglichen Wert der seismischen Methode anbetraf. Aber wiederholte Erfolge der SEISMOS-Trupps für die Gulf überzeugten mich, daß man mit dieser Methode zu rechnen hatte... 1925 wurde praktisch die ganze kommerzielle Tätigkeit von der SEISMOS ausgeführt. Im November dieses Jahres operierten drei Meßtrupps für die Gulf und einer für Marland."

Aus einem 'Saulus' war ein 'Paulus' geworden. Und 'Paulus'-DeGolyer bedurfte keiner weiteren Beweise für die Wirksamkeit der Meßmethode. Er schritt zur Tat. Zu-

O. Scott Petty, co-founder of the Petty Geophysical Engineering Co. (today Petty-Ray Geophys. Div./Geosource Inc.), describes in his recollections ('Seismic reflections' 1975) how the setting-up of his company came about. The heading of the first section reads "A bit of History". He dedicates only 6 from 32 lines to the time before Mintrop, the large 'remainder' runs as follows:

"The first practical use of the seismograph for anything except recording earthquakes happened during World War I when German scientist Dr. L. Mintrop invented a portable seismograph for the German army to use for locating Allied artillery..."

O. S. Petty reported astonishing things about the accuracy of this position-finding: "... that often the first shot from a German gun would make a direct hit..." He describes how Mintrop set about it and in conclusion how Mintrop modified his system for the purpose of peaceful exploration:

"... but this time he would m e a s u r e the distances and c o m p u t e the geology. And that was the birth of the present day seismograph contracting industry". And almost biblically he concluded the section: "He (Mintrop) named his company SEISMOS".

One is temped to add: amen! But now comes the most interesting part. O. S. Petty cites a letter that he, then a structural engineer in Dallas, received on March 25, 1925 from his brother Dabney, an Associate State Geologist in Austin. And O. S. Petty assessed this document as "The Letter That Sparked The Beginning" – the beginning of his company:

"Scottie, I am going to enclose a copy of a paper that the SEISMOS people put out – who are furnishing the Gulf with their seismographs... There are only three companies using them now in the Gulf Coast. But the others are working on them and no doubt will soon be using them... I am wondering if you would spend a few of your spare moments in studying the method and see if you can learn to interpret the readings... I am going to be blown up so far as economic geology goes if I don't get lined up with one of these instruments... If you could learn how to use one we could do a great business doing consulting work..."

Thus we can see: the hunt had begun.

The second chief witness is no less than **Everette Lee DeGolyer,** the most eminent american oil geologist and geophysicist of his epoch. 'Mr. De' frankly admits Mintrop's success on the Gulf Coast and confesses (SEG Early Geophysical Papers, Second Printing, 1956):

"... I was inclined to be skeptical with regard to the possible value of the seismic method. Repeated successes of the SEISMOS crews for the Gulf, however, soon convinced me that the method was one to be reckoned with... During 1925 practically all the commercial work was being done by SEISMOS. In November of that year three crews were operating for the Gulf and one crew for Marland".

sammen mit J. C. Karcher und wissenschaftlich beraten von dem genialen Erfinder R. Fessenden gründete er 1925 die Geophysical Research Corporation (GRC) als Tochter der Amerada Oil Corporation. Der legendäre 'Amerada-Stammbaum' war gepflanzt. Die Gesellschaft sollte Urmutter einiger der erfolgreichsten amerikanischen Geophysik-Unternehmen werden.

Es mag Ludger Mintrop tief befriedigt haben, daß die 1930 gegründete SOCIETY of EXPLORATION GEOPHYSICISTS (SEG) gerade ihn, den Ausländer und Bürger eines noch vor wenigen Jahren feindlichen Landes, an die Spitze ihrer Honorary Members stellte. Noch im Gründungsjahr wurde ihm und seinem Konkurrenten E. L. DeGolyer jene hohe Ehrung zuteil. Diese Tatsache und die vorausgestellten Äußerungen prominenter Geowissenschaftler lassen uns erkennen, wie klar die Bedeutung Mintrops in den Vereinigten Staaten damals gesehen wurde. Nicht weniger als sechs Jahre vergingen, bis die SEG zwei weiteren Wissenschaftlern – W. E. Pratt und L. P. Garrettt – die Honorary Membership zuerkannte. Und zwischen der Würdigung von D. C. Barton (1940) und J. C. Karcher (1950) verstrichen noch weitere zehn Jahre.

Die Zeit zwischen 1921 und 1924 läßt sich klassifizieren als die Pionierjahre der SEISMOS mit uneingeschränkter Monopolstellung, und die Zeit zwischen 1925 und 1931 als die Kampfjahre der Gesellschaft. Gemeint ist ihr Kampf um den amerikanischen Markt gegen die nun aus dem Boden sprießende Konkurrenz. Er endete mit einer Niederlage, fast zwangsläufig. Denn die Entwicklung überschlug sich jetzt: Die Vakuum-Röhre hielt ihren Einzug. Der elektrische Seismograph verdrängte den mechanisch-optischen. Die Reflexionsseismik trat auf den Plan und schob sich an Platz Eins. Der Knoten war geplatzt. Die Erfolge häuften sich und das Werkzeug, das die bisher 'blinden' Geologen sehend machte, war gefunden. How to find oil? – Kein unlösbares Rätsel mehr . . .

Mintrop hatte den Ölriesen Amerika wachgeschossen – siehe O. S. Petty, siehe E. L. DeGolyer! – und hatte durch seine Erfolge auch jene ermutigt (und ihre Geldgeber frisch motiviert), deren reflexionsseismische Experimente 1921 in Oklahoma nicht zum Durchbruch führten: E. A. Eckhart, P. Haseman, J. C. Karcher und B. McCollum. Lassen wir das SEG-Ehrenmitglied **D. C. Barton** über diese Gruppe berichten. ("Applied Geophysical Methods in America" in Economic Geology, 1927):

". . . Ihre Ergebnisse sahen damals ziemlich negativ aus, aber neueste Untersuchungen zeigen, daß die hauptsächlichsten Fehler damals in einem Mangel an Ermutigung und in begrenzten finanziellen Mitteln lagen. Das auslösende Moment (initial impetus) für die intensive Nutzung der seismischen Methode ist hauptsächlich L. Mintrop und seiner SEISMOS-Gesellschaft zuzuschreiben . . . Die Entdeckung mehrerer Salzstöcke 1924 durch den Seismographen gab einen großen Impetus zur Anwendung der Methode . . ."

Der Funke hatte gezündet. –

So this doubting Thomas was converted into a believer. And this believer, DeGolyer, needed no further proof of the survey method's effectiveness. He proceeded to take action. Together with J. C. Karcher, and with scientific advise from the brilliant inventor R. Fessenden, he founded the Geophysical Research Corporation (GRC) in 1925 as a subsidiary of the Amerada Oil Corporation. The legendary 'Amerada Tree' was planted. The GRC was to become the parent stem of some of the most successful American geophysical enterprises.

It probably pleased Ludger Mintrop very much that the SOCIETY OF EXPLORATION GEOPHYSICISTS (SEG), founded in 1930, placed him, a foreigner and the citizen of a country with which America had been at war just a few years earlier, at the top of its honorary members. Still in the foundation year, he and his competitor, E. L. DeGolyer, achieved that excellent honour. This fact and the previously mentioned remarks of prominent earth-scientists show how clearly Mintrop's significance was viewed at that time in the United States. It was no less than six years later when the SEG awarded two further scientists, W. E. Pratt and L. P. Garrett, the honorary membership. And there was a further ten years spread between the memberships of D. C. Barton (1940) and J. C. Karcher (1950).

The time between 1921 and 1924 may be classified as the pioneer years of SEISMOS in which they had absolute monopoly, and the time between 1925 and 1931 as the fighting years of the company. What is meant by fighting? The struggle for the American market against the competitors that were then sprouting. It ended in defeat, almost inevitably. For the development went head over heels: the vacuum tube made its appearance. The electrical seismograph superseded the mechanical-optical one. Reflection seismics came along and pushed itself into number one position. The snags had been cracked. The oil discoveries multiplied and the tool which allowed the former 'blind' geologist to see was found. How to find oil? No longer an unsolvable problem . . .

Mintrop had roused the oil giant America – see O. S. Petty, see E. L. DeGolyer! – and through his success had also encouraged those (and freshly motivated their financial backers) whose reflection seismic experiments in 1921 in Oklahoma had not lead to the breakthrough: E. A. Eckhart, P. Haseman, J. C. Karcher and B. McCollum. Let us permit SEG honorary member **D. C. Barton** to write about this group ("Applied Geophysical Methods in America" in Economic Geology, 1927):

". . . Their results at the time seemed rather negative but very recent work shows that the apparent failure at that time was due largely to lack of encouragement and to limited financial resources. The initial impetus to the present extensive use of the seismic (or sonic) method is due very largely to L. Mintrop and his SEISMOS Company . . . The discovery by the seismograph of several saltdomes in 1924 gave great impetus to the use of the method . . ."

The fuse had been lit. –

PRAKLA-SEISMOS

PRAKLA-SEISMOS GMBH · HAARSTRASSE 5 · P.O.B. 4767 · D-3000 HANNOVER 1
PHONE: (5 11) 80 72-1 · TELEX: 9 22 847/9 22 419 · CABLE: PRAKLA · GERMANY

© Copyright PRAKLA-SEISMOS GMBH, Hannover 1981