

Einsatz eines selbsttätig steuernden
Zielbohrsystems zur Herstellung eines
lotrechten, tiefen Bohrloches beim
Kontinentalen Tiefbohrprogramm KTB

Martin Wiebe
Dipl.-Ing. Dieter Schwidder
Paul Braun

Schwing Hydraulik Elektronik GmbH & Co.
Herne 2

Dipl.-Ing. V. Mertens
Dipl.-Ing. H. Wallussek
Dipl.-Ing. J. Kohnert
Dipl.-Ing. J. Gehrke

Bergbau-Forschung GmbH, Fachabteilung Maschinellem Vortrieb
Essen 13

Dr.-Ing. T. Kerk
Dipl.-Ing. H. Kinzel
Dipl.-Ing. D. Müller-Link

Preussag Service Engineering, Berkhöpen

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Bedeutung und Einsatzmöglichkeiten der Zielbohrtechnik.....	330
2. Die Entwicklung der Bergbau-Forschung GmbH.....	332
3. Erprobung und Entwicklungsarbeiten im Versuchsstand.....	338
3.1 Betriebseinsätze.....	339
4. Erforderliche Weiterentwicklungen und Lösungsansätze für das Bohren beim KTB.....	342
5. Schluß.....	346

1. Bedeutung und Einsatzmöglichkeiten der Zielbohrtechnik

In allen Bereichen des Bergbaus, des Fels- und Tiefbaus sowie in jüngster Zeit vermehrt auf dem Gebiet der Erdöl- und Erdgasgewinnung bieten zielgenaue Bohrungen große Vorteile. Bei der Erstellung von Gefrier- und Vorbohrlöchern für das Abteufen von Schächten im Bergbau hat die Zielbohrtechnik schon heute eine vorrangige Bedeutung. Auch bei Tiefbohrungen sind die Anforderungen an die Genauigkeit des Bohrlochverlaufs in den letzten Jahren stetig gewachsen. Die sich daraus ergebenden Ansprüche an ein Zielbohrsystem sind einerseits, daß die Bohrung bei allen Neigungsrichtungen den Zielpunkt genau und zuverlässig erreichen soll und andererseits, daß sich während des Bohrens möglichst geringe Abweichungen vom geplanten Bohrlochverlauf ergeben.

Im besonderen Maße besteht die Forderung nach Zielgenauigkeit auch bei den immer tiefer werdenden Bohrungen.

Beim Abteufen von Tiefbohrungen treten Risiken auf, deren Kenntnis und Beherrschbarkeit von großer Wichtigkeit für das Gelingen eines solchen Projektes sind. Je tiefer die Bohrung werden soll, um so entscheidender ist ihr möglichst vertikaler Verlauf. Abweichungen von der Vertikalen führen zu erheblichen Überlasten beim Ziehen des Bohrgestänges, zu erhöhten Drehmomenten beim Rotary-Bohrverfahren und zu erhöhtem Verschleiß am Bohrgestänge und an bereits eingebrachten Verrohrungen. Auch der Einsatz von reibungsmindernden Spülmittelzusätzen ist nicht in der Lage, dies auch nur annähernd auszuschalten.

Für die kontinentale Tiefbohrung, die eine Endteufe von 10.000 - 14.000 m erreichen soll, ist es daher besonders wichtig, die ersten mehreren tausend Meter möglichst

genau vertikal abzuteufen, damit die erwähnten Schwierigkeiten weitgehend vermieden werden.

Da jede Bohrung durch die verschiedensten Einflüsse, die z.B. geologisch oder bohrspezifisch bedingt sein können, das Bestreben hat von ihrer geplanten Richtung mehr oder weniger stark abzuweichen, kann nur ein kontinuierlich steuerndes System ein solches Bohrloch gewährleisten. Dieses System sollte darüber hinaus in der Lage sein, durch ständige Messungen die Orientierung der Bohrung zu erkennen, zu registrieren und alle Informationen kabellos zum Bohrstand zu übermitteln.

Nach dem Erkennen einer beginnenden Abweichung muß die sofortige automatische Richtungskorrektur des Meißels beginnen. Es darf sich daher nicht um eine Richtungskorrektur im hergebrachten Sinne handeln, sondern es muß ein ständiges Richtungshalten angestrebt werden.

Eine Kontrolle des Zielbohrsystems selbst muß in der Weise möglich sein, daß gemeinsam mit den Bohrparametern auch Werte der Meß- und Steuereinheit übermittelt werden können. Durch diese Übertragung von Funktionswerten der Hydraulik und Elektronik des Systems wird somit die übertägige Gegenkontrolle von Bohrlochverlauf und Zielbohrsystem gewährleistet.

Alle heute angewendeten Techniken des Richtbohrens bei tiefen Bohrungen werden diesen Forderungen nicht gerecht. Häufig wird zwar schon während des Bohrens gemessen (MWD), die Richtungskorrektur selbst kann jedoch nur abschnittsweise vorgenommen werden. Dazu muß eine veränderte Bohrgarnitur eingebaut werden, die einen zusätzlichen Roundtrip erfordert und dadurch zusätzliche Stillstandzeiten der Bohranlage verursacht.

Das Ergebnis dieser Korrekturen ist ein Bohrlochverlauf um eine gedachte lotrechte Achse mit mehr oder weniger großen Abweichungen.

2. Die Entwicklung der Bergbau-Forschung GmbH

Vor etwa acht Jahren hat die Bergbau-Forschung GmbH mit der Entwicklung einer selbsttätig steuernden Zielbohrstange - ZBE - begonnen. Das heute vorliegende ZBE-System, welches eine Gemeinschaftsentwicklung mit der Schwing Hydraulik Elektronik GmbH & Co. ist, kann als Vertreter einer neuen Generation von aktiven Zielbohrgeräten betrachtet werden.

Bei der Konzeption dieses Systems wurde besonderer Wert darauf gelegt, daß von der ZBE schon während des Bohrens kontinuierlich kleinste Abweichungen von der Solllinie gemessen werden können. Treten Abweichungen von der Lotrechten auf, erfolgt die selbsttätige Gegensteuerung durch das System. Zu diesem Zweck mußten aktive Einrichtungen in den Gerätekörper integriert werden, die über einen Soll/Ist-Wert-Vergleich die selbsttätige Richtungsänderung vornehmen.

Abbildung 1 zeigt die selbsttätig steuernde Zielbohrstange als Foto und als Schnittzeichnung mit den wesentlichen benannten Bau- und Funktionselementen.

Die für das Rotary-Bohren konzipierte Zielbohrstange wird hinter dem Bohrkopf von z.B. 216 mm (8 1/2") Durchmesser angeordnet und kann in Verbindung mit üblichem Bohrgestänge verwendet werden.

Das Gerät ist 1,95 m lang und besteht im wesentlichen aus einer inneren Welle, welche innerhalb eines äußeren Rohrkörpers durch Axial- und Radiallager sowie Wellen-

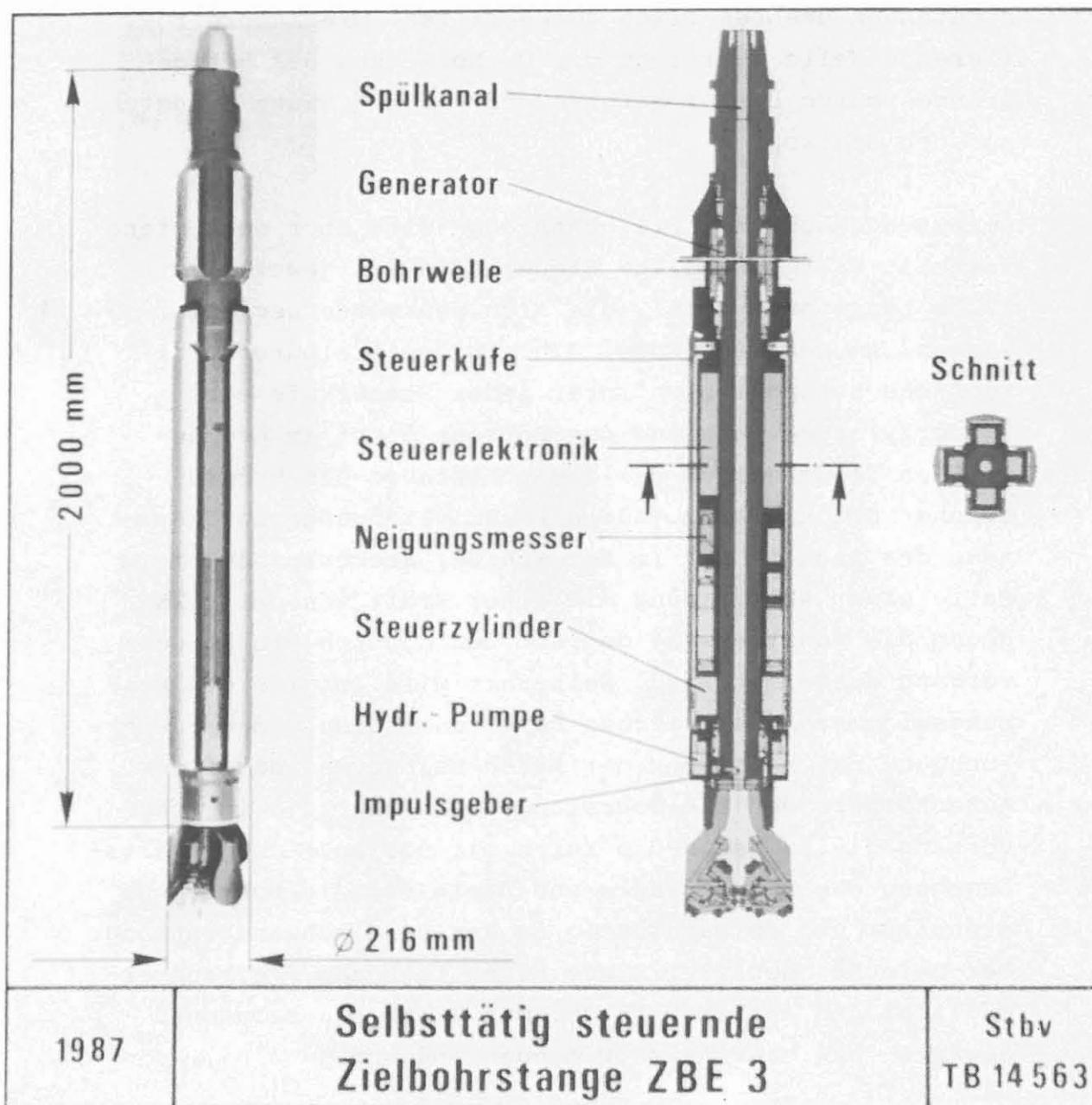


Abb. 1

dichtungen drehbeweglich gelagert ist. Die innere rotierende Welle überträgt die Drehbewegung des Bohrstänges durch das nichtrotierende Außengehäuse hindurch auf den Bohrkopf.

Am Außengehäuse der Zielbohrstange sind über den Umfang verteilt vier bewegliche Steuerkufen von jeweils ca. 1,2 m Länge angebracht, die sich paarweise gegenüberliegen. Am vorderen Ende, d.h. in unmittelbarer Bohrkopfnähe befindet sich unter jeder Steuerkufe ein Steuerzylinder. Während des Bohrens steht im hydraulischen Steuersystem der Zielbohrstange ein hydraulischer Druck bis ca. 100 bar zur Verfügung, so daß jede der Steuerkufen im Bereich der Steuerkolben im Falle einer Aktivierung mit einer Kraft von ca. 7 kN gegen die Bohrlochwand gepreßt und dadurch ein Steuerungsvorgang ausgelöst wird. Weiterhin wird infolge des Reibungswiderstandes zwischen den Steuerkufen und der Bohrlochwand das Mitdrehen der Kufen selbst und damit des Außenkörpers der Zielbohrstange verhindert. Beim Bohrvorgang gleiten dann die Kufen mit der Auf- und Abwärtsbewegung des Bohrstranges und damit der Zielbohrstange drehstarr und reibschlüssig an der Bohrlochwand entlang. Der zwischen den vier Steuerkufen liegende Freiraum ermöglicht den Abtransport der mit Bohrklein beladenen abwärts- bzw. aufwärtsströmenden Spülung.

In den Kammern hinter den Steuerleisten befinden sich die für die Ermittlung der Bohrlochneigung, für die Regelung und für den Steuervorgang nötigen Komponenten der Elektronik und Steuerhydraulik. Mit Hilfe zweier senkrecht zueinander angeordneter Neigungsmesser (Inclinometer), die ähnlich einer elektronischen Wasserwaage die Bohrlochneigung in der positiven und negativen x-Richtung bzw. y-Richtung messen, werden Abweichungen von der Lotrechten von nur einer Winkelminute ($1/60^\circ$) erkannt.

Bei Registrieren einer Abweichung durch auf den Bohrmeißel einwirkende ablenkende Kräfte erfolgt ausgehend von den Hochgenauigkeits-Meßinstrumenten die sofortige automatische Eingabe eines Korrektursignals in die Steuerhydraulik. Die in die Steuerhydraulik eingegebenen Signale bewirken, daß über eine Ansteuerung durch Magnetventile der Hydraulikkreislauf zu den Steurzylindern geöffnet wird, wobei der der jeweils gegenzusteuern den Neigungsrichtung zugewandte Zylinder mit 100 bar Druck beaufschlagt wird. Dadurch wird die zugehörige Steuerkufe gegen die Bohrlochwand gedrückt, und zwar so lange, bis die Kurskorrektur abgeschlossen bzw. die lotrechte Bohrrichtung wieder erreicht ist.

Durch diesen, in den genannten vier Richtungen kontinuierlich arbeitenden Steuervorgang werden beginnende Bohrlochneigungen bereits zum Zeitpunkt des Entstehens erkannt und durch entsprechende Gegensteuerung hin zur Lotrechten sofort korrigiert.

Bekanntermaßen erbohrt der Meißel immer ein um wenige Millimeter gegenüber dem Meißeldurchmesser vergrößertes Bohrloch. Da die hochsensitiven Neigungsmesser Abweichungen von einer Winkelminute registrieren, erfolgen die Steuervorgänge bereits schon unterhalb des Freischnittes des Bohrkopfes, d.h. innerhalb dieses Übermaßes. Es wird daher sehr frühzeitig und mit relativ niedrigen Kräften gegengesteuert.

Die für die Meß- und Steuerelemente erforderliche elektrische und hydraulische Energie wird in der Zielbohrstange selbst durch die Drehbewegung beim Bohrvorgang erzeugt. Dazu liefern 4 Hydraulikpumpen einen durch Sicherheitsventile begrenzten Systemdruck von 100 bar. Ein neuentwickelter Bohrstangengenerator erzeugt bei einer Gestängedrehzahl von nur 60 min^{-1} eine elektrische Leistung von 45 W.

Da bei einem aktiven Zielbohrsystem, das ohne Einfluß von außen eine selbsttätige Steuerung des Bohrlochverlaufes vornimmt im Falle eines Funktionsfehlers oder Schadens die Gefahr einer Abweichung besonders groß ist, erfolgt während des Bohrens eine ständige Funktionsüberwachung. Dies geschieht mittels des Verfahrens der kabellosen Meßwertübertragung, der Mud Pulse-Technik (s. Abb. 2). Bei diesem Druckpulsverfahren wird in der Spülflüssigkeit innerhalb des Bohrgestänges in der Nähe des Bohrkopfes durch Verengung des durchströmten Querschnittes ein Druckanstieg - Druckimpuls - erzeugt. Diese Druckimpulse ermöglichen eine Datenübertragung aus dem Bohrloch heraus, da sich die unter Tage erzeugten Druckimpulse in der Spülungssäule mit nahezu Schallgeschwindigkeit bis an die Oberfläche fortsetzen. Für die angesprochene Querschnittsverengung ist in den Kopf der Zielbohrstange ein elektrohydraulisch betriebener Impulsgeber eingebaut, der zur Zeit für acht Meßwerte zeitcodierte Druckimpulse auf die im Bohrstang abwärtsfließende Spülwassersäule aufgibt. An der Bohranlage werden diese Druckimpulse von einem übertägigen Differenzdruckaufnehmer empfangen und als Stromimpulse über Kabel in den Eingang des Meßwertempfängers geleitet. Der Empfänger wertet die Zeit zwischen den seriell empfangenen Druckimpulsen aus und setzt diese in Spannungswerte um, die den in der Zielbohrstange während des Bohrens ermittelten Werten entsprechen. Ein kompletter aus dem Bohrloch übertragener Datensatz besteht aus den Meßwerten für:

- die vier Neigungswerte entsprechend den o.g. vier Neigungsrichtungen
- die System-Temperatur
- den Tankdruck des Hydrauliksystems
- den Meßwertdruck, d.h. den Druck mit dem der Impulsgeber zur Meßwertübertragung ausgefahren wird und
- den von den vier Hydraulikpumpen erzeugten Steuerdruck.

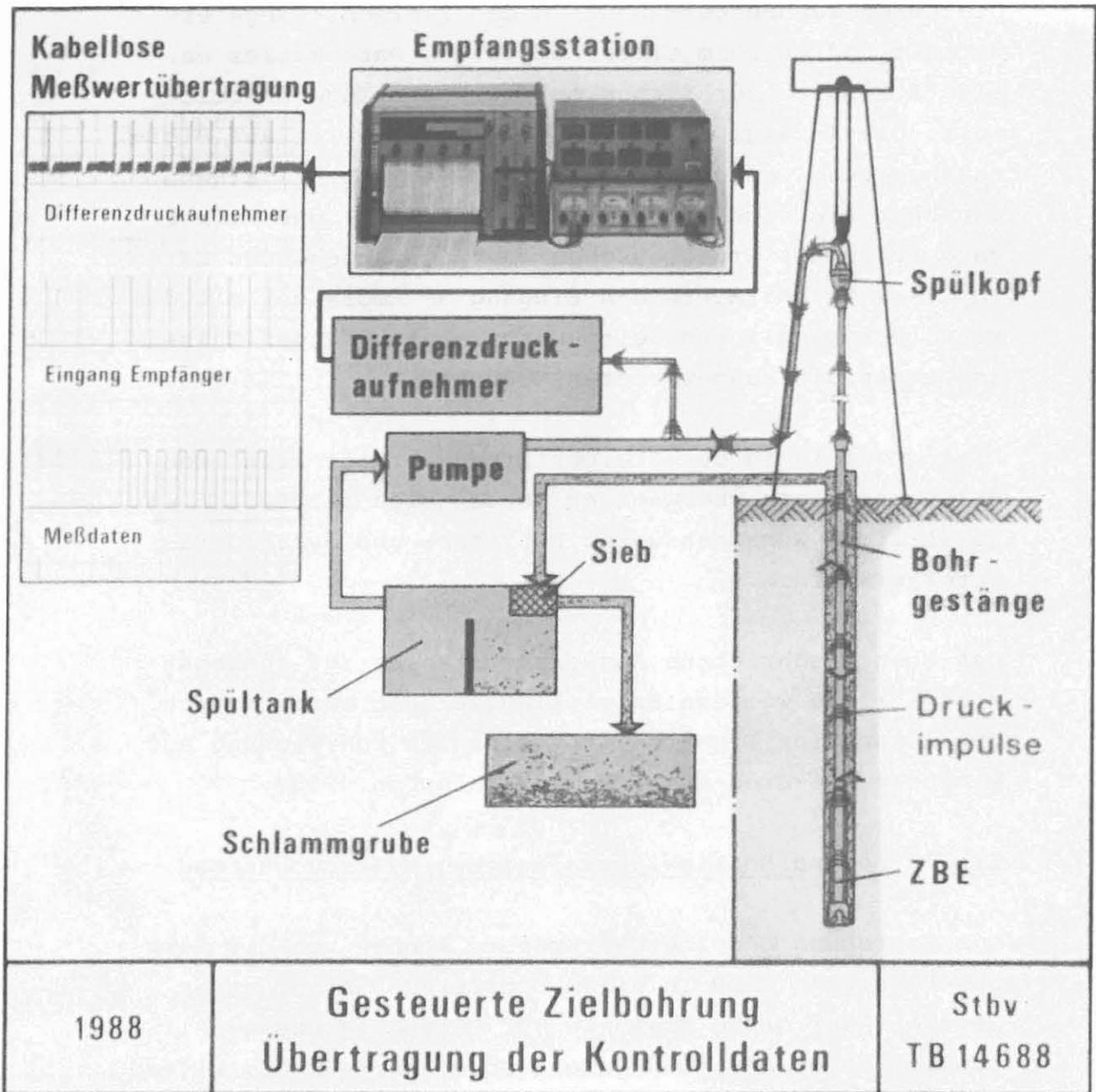


Abb. 2

Die Daten werden permanent in der Zielbohrstange ermittelt und in Form eines kompletten Datensatzes ca. alle 5 Minuten zur Systemkontrolle zum Tage übermittelt. Die Anzeige der Daten erfolgt parallel auf Digitalanzeigen. Im Schreiberdiagramm (s. Abb. 2) erkennt man oben die sich von dem durch den Bohr- und Pumpvorgang erzeugten Grundrauschen deutlich abhebenden Datenimpulse, in der Mitte den Eingang am Empfänger mit den zu unterschiedlichen Zeitpunkten eintreffenden Pulsen und unten die ausgewerteten Meßdaten.

Die derzeitig in der Zielbohrstange ermittelten Meßdaten und deren Überwachung lassen sich bei Bedarf um zusätzliche wünschenswerte Bohrloch- und Systemparameter erweitern.

Das oben beschriebene Auswerteverfahren ist zunächst noch für die weitere Entwicklungsarbeit erforderlich. Für zukünftige Einsätze läßt sich die Überwachung auf einfache Rot-Grün-Anzeigen vereinfachen.

3. Erprobung und Entwicklungsarbeiten im Versuchsstand

Die Erprobung des Zielbohrsystems konnte von der Bergbau-Forschung GmbH in einem Bohrversuchsstand unter Tage auf der Grube Tremonia der Versuchsgrubengesellschaft mbH in Dortmund durchgeführt werden. Mit Hilfe von parallel durchgeführten Testläufen zur Funktionskontrolle verschiedener Einzelteile im Labor und bei anschließender Erprobung unter Tage war somit eine weitgehende Betriebsnähe gegeben.

Insgesamt wurden 19 vertikale Aufwärtsbohrungen zwischen der 3. und der 2. Sohle mit einem Sohlenabstand von 72 m gebohrt, wobei die letzten sechs Bohrlöcher allesamt absolut lotrecht erstellt werden konnten. Zum Einsatz kam dabei eine Bohrmaschine EH 1200 der Turmag Turbo-Maschinen AG, Nüsse & Gräfer. Die Anforderungen an die Zielbohrstange waren dabei durch steilstehende, wechseln-

de Gebirgsschichten einschließlich Steinkohlenflözen außerordentlich hoch. Das Zielbohrsystem - ZBE - wurde in seinem ersten Entwicklungsschritt für bergbauübliche Einsätze mit Bohrlängen bis 350 m konzipiert und hat nach verschiedenen Detailverbesserungen heute die Betriebsreife für das Aufwärtsbohren erreicht.

Für das Abwärtsbohren, welches den zweiten Schritt in der Entwicklung des Zielbohrsystems darstellt, mußten verschiedene Modifikationen am Gerät vorgenommen werden. Der wesentliche Unterschied abwärtsgerichteter Bohrungen gegenüber den aufwärtsgerichteten ist der, daß die Zielbohrstange durch das Vorhandensein der Spülungssäule höheren statischen Drücken ausgesetzt ist. Damit ergeben sich u.a. größere Anforderungen an die Dichtungen, die das drehende Innenteil vom stehenden Außenteil der ZBE abdichten. Mit der weiterentwickelten Zielbohrereinheit ist es inzwischen gelungen, eine durchgehend lotrechte Abwärtsbohrung von 275 m Länge zu erstellen.

In einer weiteren abwärtsgerichteten Versuchsbohrung von 100 m Länge hat sich das Zielbohrsystem in Kombination mit einem nachgeschalteten Erweiterungsbohrkopf (Holeopener), der das Bohrloch von 216 mm auf einen Durchmesser von 305 mm erweitert, bewährt. Damit steht nun auch die Möglichkeit offen, mit einem Zielbohrstangen-Grunddurchmesser unterschiedliche Bohrloch-Durchmesserbereiche zu erfassen.

3.1 Betriebseinsätze

Seit Mitte 1984 sind auf 18 Bergwerken in der Bundesrepublik Deutschland, Belgien und Frankreich 34 Zielbohrungen bis zu 400 m Länge bei in diesem Fall 8 cm Abweichung abgebohrt worden. Die mit der selbsttätig steuernden Zielbohrstange ZBE 3 überwiegend aufwärtsgerichteten Bohrungen verliefen alle zielgenau und durch-

gehend geradlinig. Beispielhaft sei hier die aufwärtsgerichtete Zielbohrung als Pilotbohrung für einen Blindschacht auf dem Bergwerk Waterschei der NV Kempense Steenkolenminen in Belgien aufgeführt.

Vor dem Einsatz des Zielbohrsystems waren bereits zwei konventionell begonnene Zielbohrungen wegen schwieriger Geologie gescheitert. Das Titelfoto verdeutlicht mit Hilfe eines Laserstrahls den über 191 m Länge absolut vertikalen Verlauf der Bohrung. Als Besonderheit ist hervorzuheben, daß die Bohrung drei abgebaute und verbrochene Flözhorizonte durchbohren mußte und dabei ihren lotrechten Verlauf genau einhielt. Gebohrt wurde ohne nachgeschaltete Stabilizer. Die von den abgebauten und verbrochenen Flözen hinterlassenen Hohlräume waren größer als 2 m und gingen damit über die Führungslänge (ca. 1,2 m) der ZBE 3 hinaus.

Bei einem erst kürzlich durchgeführten untertägigen Einsatz wurde mit der ZBE eine 307 m lange Aufwärtsbohrung durch gebirgsmechanisch stark beanspruchte Zonen sowie mehrere Flözhorizonte geführt. Bei einer späteren Befahrung des Bohrloches mit einer Fernseh-Sonde wurde deutlich, daß sich das Bohrloch abschnittsweise von der kreisrunden zu einer ovalen Form hin deformiert hatte. Anhand des geradlinigen Bohrlochverlaufes ließ sich dann eindeutig feststellen, daß selbst hohe Gebirgsdrücke auf die Bohrlochwandung keinen negativen Einfluß auf die Steuerfunktion der Zielbohrstange hatten. Inzwischen hat das Zielbohrsystem durch Betriebsversuche seine Tauglichkeit unter Beweis gestellt. Heute ist das Erstellen von Aufwärtsbohrungen nicht nur durchgehend lotrecht, sondern auch betriebswirtschaftlich erfolgreich möglich.

Schwierigkeiten bei der Erprobung im Betrieb traten überwiegend während der Übertragung der Kontrolldaten mit Hilfe des "Mud-Pulse-Verfahrens" auf. Ausfallzeiten waren die Folge. Nach einigen konstruktiven Veränderungen stellt der störungsfreie Empfang der Informationen aus der Zielbohrstange heute kein Problem mehr dar. Die Häufigkeit von ZBE-systembedingten Einsatzunterbrechungen konnte durch fortschreitende konstruktive Verbesserungen an Teilkomponenten stark reduziert werden. Es sind derzeit 10 Zielbohrsysteme bei verschiedenen Bergbau-Spezialunternehmen im Einsatz, 2 weitere Systeme befinden sich im Bau.

Eine der Hauptursachen die zu Störungen im Hydrauliksystem führte und lange Zeit nicht richtig erkannt wurde, lag im Einsatz von unrund laufenden Bohrmeißeln. Auf den Durchmesser bezogen betrug der Seitenschlag bis zu 5 mm. Allein durch den Einsatz von rundlaufenden Bohrmeißeln konnte eine wesentliche Ausfallursache beseitigt werden.

Versuchsweise wurde auch mit Bit- und Stringstabilizern gebohrt. Deren Einsatz hat sich zum einen nicht nachteilig auf die Steuerfunktion der ZBE ausgewirkt, sondern darüber hinaus zu einem insgesamt positiveren Bohrablauf beigetragen.

Wegen der höheren statischen Drücke im Bohrloch infolge der Spülungssäule wurde für das Abwärtsbohren der Einsatz verbesserter Dichtungselemente nötig. Sie befinden sich z.Z. in der Erprobung und zeigen durch die Erhöhung der Standzeiten erste Erfolge. Zur Zeit befindet sich ein Zielbohrsystem erstmalig in einem nicht bergbaulichen Einsatz bei einem Kavernenkraftwerk in Österreich.

Für die Bohrung ist eine Endteufe von 600 m vorgesehen, wobei sehr harte, u.a. quarzithaltige Gesteinsschichten zu durchteufen sind. Die Zielbohrstange ist in Kombination mit einem Holeopener von 311 mm \emptyset im Einsatz. Die Bohrung hat Anfang März eine Teufe von 300 m erreicht und weist laut Datenkontrolle einen bis hierhin durchgehend lotrechten Verlauf auf. Das Gerät hat zu diesem Zeitpunkt Betriebszeiten von 100 - 200 Stunden im ununterbrochenen Einsatz erreicht.

4. Erforderliche Weiterentwicklungen und Lösungsansätze für das Bohren beim KTB

Das Zielbohrsystem ist augenblicklich noch für die Erstellung "flacher" vertikal aufwärts- oder abwärtsgerichteter Bohrungen konzipiert und genügt den an diese Bohrungen gestellten Anforderungen im Bergbau. So konnte bei den bisher durchgeführten Betriebseinsätzen die mittlere Standlänge je Bohrung durch konsequente Weiterentwicklung und Verbesserungen an Problembereichen von zunächst sehr niedrigen Werten nennenswert gesteigert werden. Bei den aufwärtsgerichteten Bohrungen wurde bereits eine Einzel-Standlänge von knapp 240 m erreicht. Um den Einsatz des Zielbohrsystems auf tiefe Bohrungen ausdehnen zu können, müssen während der nächsten Entwicklungsschritte verschiedene konstruktive Veränderungen an diesem System vorgenommen werden. Es wird ein wesentlicher Beitrag zum Gelingen der KTB-Bohrung sein, die Voraussetzungen für ein weitgehend geradliniges und lotrechtes Bohrloch zu schaffen.

Die in der kontinentalen Tiefbohrung in den für die ZBE vorgesehenen Einsatzteufen zu erwartenden bohrtechnischen Parameter sind ein wichtiger Bestimmungsfaktor für die konstruktive Gestaltung der Zielbohrstange. Ihre Einsatzfähigkeit und Lebensdauer hängt im wesentlichen davon ab, daß ihre möglichen Belastungsgrenzen nicht unterhalb derer vergleichbarer Bohrstrangkomponenten liegen. Dazu muß das System den derzeitigen durchschnittlichen Standardanforderungen genügen.

Die KTB-Bohrung soll im ersten Bohrlochabschnitt bis 500 m Teufe in einem Durchmesser von 17 1/2" und im daran anschließenden Bohrlochabschnitt bis ca. 3000 - 5000 m in einem Durchmesser von 14 3/4" ausgeführt werden. Dabei werden für die Teufe von 5000 m etwa folgende Arbeitsbedingungen angenommen:

- Spülungsdruck: bis ca. 600 bar
- Temperatur: 120°C
- Schockbelastung: bis ca. 500 g

Der hohe Wert der Schock- und Stoßbelastung ist nicht nur aus den Umgebungsbedingungen beim Bohren hergeleitet, sondern wird auch für die Handhabung bei Transport und Einbau gefordert.

Für die Erfüllung der beim KTB geforderten Aufgabe wird das Zielbohrsystem mit einem Grunddurchmesser von 14 3/4" (374,6 m) gefertigt. Die Abdeckung des ersten Bohrlochabschnittes erfolgt durch Auffüttern des Gehäuses der ZBE auf 17 1/2". Als Alternative hierzu wird die Kombination der 14 3/4"-Zielbohrstange mit einem nachgeschalteten Erweiterungsbohrkopf (Hole-opener) angesehen.

Wie aus obigen Angaben zu ersehen ist, werden die Ansatzpunkte für weitere Entwicklungsschritte, insbesondere die Werte des Drucks, der Temperatur sowie die maximal auftretenden mechanischen Beanspruchungen in der angestrebten Teufe sein.

Das bisher in der Zielbohrstange eingesetzte Hydrauliksystem, welches mit Hilfe drehzahlabhängiger Hydraulikpumpen Systemdrücke von 100 bar liefert, kann in 5000 m Teufe nicht mehr eingesetzt werden. Bedingt durch die herrschenden Druck- und Temperaturbedingungen muß ein geöffnetes, vom Teufendruck unabhängiges System entwickelt werden.

Im Zielbohrsystem gibt es zwei problematische Dichtungssysteme, deren frühzeitiger Ausfall bisher u.a. das Maß für die Standzeit war. Es handelt sich hierbei um die Gleitringdichtungen, die das "stehende" Gehäuse und die rotierende Bohrwelle gegeneinander abdichten. In diesem abgedichteten Raum sind die komplette Lagerung (Bohrwelle-Gehäuse), der Generator, die Hydraulikpumpen sowie die Drehdurchführung für die Datenübertragung untergebracht. Angesichts der zu erwartenden Druckverhältnisse in der KTB-Bohrung (bis 600 bar) wird es nur schwer möglich sein, den abzudichtenden Freiraum gänzlich von evtl. eindringender verschmutzter Spülung freizuhalten. Unter Beibehaltung der bewährten Meß- und Steuertechnik wird zur Eliminierung der o.g. bisherigen Hauptausfallursache ein Lösungsweg beschritten, der die Verwendung der Spülung selbst als Druckmedium für das Hydrauliksystem vorsieht. Durch eine Abzweigung des in der rotierenden Welle herabfließenden Spülstroms in den o.g. Freiraum zur Bespeisung der Hydraulikpumpen wird ein teufenunabhängiger Druckausgleich entsprechend dem jeweiligen Teufendruck zwischen dem Freiraum und der Spülungssäule geschaffen. Diese technische Lösung und eine Reihe weiterer damit verbundener gravierender Vorteile gegenüber der jetzigen Auslegung läßt bei jeder Teufe und Drehzahl eine störungsfreie Funktion der ZBE erwarten.

Eine weitere dominierende Größe hinsichtlich zu ertragender Umgebungseinflüsse stellt die Temperatur dar. Die Arbeitsgrenzen aller zur Zeit auf dem Markt erhältlichen Geräte liegen heute bei maximal 150 - 200°C. Sie müssen auf ihre Eignung für das Zielbohrsystem untersucht werden. Alle Bauteile, die zur Meß- und Regeltechnik der Zielbohrstange gehören, müssen nach den gleichen, auch für die Hydraulik und Elektronik relevanten Kriterien gekühlt oder isoliert werden.

Bei einer zu erwartenden Meißellast von etwa 30 (\pm 10) t und entsprechend vorhandenen Zugkräften der Bohrmaschine werden an die Lager der Zielbohrstange hohe Anforderungen gestellt. Sie müssen so ausgelegt sein, daß sie im Rahmen der angestrebten Lebensdauer die auftretenden statischen und dynamischen Belastungen in axialer und radialer Richtung aufnehmen können.

Hinsichtlich der zu erwartenden Stoßbelastung besteht eine weitere Entwicklungsaufgabe darin, die einzelnen Bauelemente oder -gruppen der Elektronik durch konstruktive Maßnahmen und/oder zusätzliche Dämpfungselemente gegen Zerstörung durch hohe Stoßbelastung beim Bohrvorgang oder durch unsachgemäßen Transport zu schützen.

Erreichen die abwärtsgerichteten Bohrungen größere Teufen, so muß die Technik der Impulserzeugung zur Datenübertragung infolge zunehmender Dämpfung der Druckstöße modifiziert werden. Es ist zu erwarten, daß mit zunehmender Teufe die Datenübertragung wegen wachsender Kompressibilität des Spülstroms schwieriger wird. Mit zunehmender Teufe und wachsender Anzahl der Gestängeverbinder nehmen die Fließwiderstände im Strang zu. Damit verbunden ist ein Anwachsen des sogenannten "Grundrauschen", welches sich additiv aus den Druckanstiegen der Pumpenhöhe der Spülpumpe und den Fließwiderständen im Strang zusammensetzt. Die Druckstöße der Meßwerte aus dem Zielbohrsystem müssen eindeutig über dem "Grundrauschen" liegen. Hier müssen Wege gefunden werden, die eine bessere Auflösung garantieren, um dann die erzeugten Signale eindeutig aus dem Spülstrom filtern zu können. Zuletzt durchgeführte Versuche haben einen Weg erkennen lassen, wie Druckstöße, die über dem "Grundrauschen" liegen, besser erkannt und ausgewertet werden können.

Mit dem "Mud-Puls-Verfahren" - BF/Schwing - kann bei entsprechender Weiterentwicklung des Impulsgebers eine eindeutige Datenübertragung für 5000 m Bohrteufe erwartet werden.

Für größere Bohrteufen sollten die begonnenen Entwicklungsarbeiten an elektromagnetischen Übertragungssystemen intensiviert werden.

5. Schluß

Das selbsttätig steuernde Zielbohrsystem BF/Schwing (Bergbau-Forschung GmbH/Schwing Hydraulik Elektronik GmbH & Co.) hat in mehreren Betriebseinsätzen nachgewiesen, daß durchgehend lotrechte Bohrlöcher mit diesem System erstellt werden können. Bei einer der letzten Bohrungen ist bereits eine Standzeit von 200 Betriebsstunden erreicht worden.

Für die zukünftigen Schritte ist die Weiterentwicklung eines auf der Technik des heute bestehenden Zielbohrsystems und auf der Basis der bestehenden Patente BF/Schwing aufbauenden Prototyps nötig und realisierbar. Durch den Einsatz des Zielbohrsystems in Tiefbohrungen können Kosten minimiert und technisch bedingte Risiken erheblich reduziert werden.

Durch die erforderliche Weiterentwicklung des Zielbohrsystems - ZBE - für das KTB ist eine weitreichende Signalwirkung für andere Bohraufgaben zu erwarten, auch wenn in den Entwicklungsschwerpunkten eine gravierende Abgrenzung vorhanden ist. So sind die Fragen des erhöhten Drucks und die Probleme der Abdichtung in vielen Fällen ähnlich gelagert.

Die bisher gemachten Erfahrungen sowie die vorgesehenen weiteren Entwicklungsschritte lassen die berechtigte Hoffnung zu, daß das für das KTB ausgelegte Zielbohrsystem bis zur Teufe von 5000 m erfolgreich einsetzbar ist und eine durchgehend lotrechte Bohrung liefern wird.