

Zeitschrift: Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Herausgeber: Vereinigung Schweizerischer Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Band: 61 (1994)
Heft: 138

Artikel: Anwendung der modernen Tiefbohrtechnik in der Schweiz
Autor: Berli, Stefan / Pingel, Reinhard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-217663>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 26.01.2026

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

Anwendung der modernen Tiefbohrtechnik in der Schweiz

mit 8 Figuren, 3 Tabellen und 7 Fotos
von STEFAN BERLI¹⁾ UND REINHARD PINGEL¹⁾

Zusammenfassung

Die Anforderungen an die Bohrtechnik und damit der gezielte Einsatz modernster Systeme und Verfahren sind in den letzten Jahren stark gestiegen. Grossprojekte wie die NEAT, Bahn 2000 und Suche nach geeigneten Endlagern durch dieNAGRA sowie nicht zuletzt auch die Förderung der Geothermie verlangen bei zunehmender Bohrtiefe leistungsstarke Gerätschaften, ausgereifte Bohrgestängegarnituren, effiziente Werkzeuge und erprobte Technologien zur Einhaltung der Richtungsgenauigkeit.

Anhand von Beispielen aus der Schweiz sollen im Folgenden einige Verfahren skizziert und Hilfsmittel für eine sorgfältige Planung und Begleitung sowie Ueberwachung von Bohrkampagnen vermittelt werden. Damit kann ein für Bauherr und Bauleitung maximaler Informationsgehalt bei entsprechender Risikominderung sowohl in technischer als auch finanzieller Hinsicht erlangt werden.

Résumé

Les exigences à la technique de forage et avec cela l'utilisation ponctuelle des systèmes et méthodes les plus modernes ont été augmentées fortement ces dernières années. De grands projets comme la NLFA, Rail 2000 et la recherche de dépôts finaux adéquats par la CEDRA ainsi que le développement de la géothermie exigent, en fonction de la profondeur de borage croissant, des appareils puissants, des garnitures de tiges de forage ayant fait leurs preuves, des outils efficaces et des technologies à toute épreuve pour maintenir l'exactitude de direction.

En prenant des exemples de la Suisse, nous vous montrerons donc quelques procédés et méthodes utiles pour une planification soigneuse, pour l'assistance ainsi que pour la surveillance de projets de forage. Grâce à ces indications, on peut obtenir le maximum d'informations indispensables pour l'entrepreneur et la direction des travaux tout en diminuant les risques techniques et financiers correspondants.

Abstract

The standards required of the drilling technics and with it the specific use of the most modern systems and methods have considerably risen in the last years. Big projects such as the New Alpine Transverse for the Railway, Rail 2000 as well as the search for suitable final storages by the National Association for the Storage of Radioactive Waste and last but not least the development of the geothermic also require, by increasing drilling-depth, powerful equipments, fully-developed sets of drill pipes, efficient tools and well-tested technologies for following the exactitude of direction.

Examples from Switzerland will show you some methods and means for a careful planning and follow-up as well as for controlling the drilling projects. In this way an optimal information for the costumer and the supervision of building works can be obtained reducing accordingly the technical and financial risks.

1) Foralith AG, Bohr- und Bergbautechnik, St. Gallerstrasse 12, CH-9202 Gossau

1. Bemessung von Tiefbohrausrüstung und Vorplanung

Beim Bohren nach Erdöl und Erdgas bestehen bekanntermassen weitgehend feste Regeln für die Bemessung von Ausrüstung und Technik, die auch internationale Verbreitung gefunden haben. Diese werden in erster Linie durch folgende Parameter beeinflusst: Bohrlochendeufe, Bohrdurchmesser, Bohrlochkonstruktion, geologisches Vorprofil, Lagerstättendruck, Hydrogeologie, Richtung und Neigung der Bohrachse, geophysikalische Bohrlochmessungen. Bislang sind in der Schweiz nur wenige Explorations- oder gar Produktionsbohrungen nach Kohlenwasserstoffen niedergebracht worden, so dass die mehrheitlich ausgeführten Flachbohrungen breite Spielräume und Varianten für Bohrverfahren, Gerätschaften und Technologien offenliessen. Mit zunehmender Teufe wachsen in der äusserst komplexen Geologie der Schweiz - besonders im tektonisch beanspruchten Alpenraum - die Anforderungen an tiefe Bohrungen gegenüber Flachbohrungen exponentiell. Damit nehmen aber in gleicher Masse die Bohrkosten zu. Nur eine exakte Vorplanung, Devisierung und Anwendung ausgereifter Technologien im Zusammenspiel mit leistungsfähigen Geräten und bestqualifiziertem Personal vermindert das Risiko zusätzlicher Mehrkosten. Die Wiederholung erfolgloser Bohrungen, der Verzicht auf geotechnische und wissenschaftliche Information bei übermässigen Kernverlusten oder gar Verzicht auf grosse Kernstrecken steigert die Aufwendungen einer Sonderkampagne nicht nur durch die erhöhten Bohrkosten, sondern auch durch die gezwungenermassen längere und intensivere Betreuung durch die Bauleitung. Für den offerierenden Bohrunternehmer verbindliche technische Mindestvorgaben wie: erforderliche Haken- bzw. Kronenlasten mit Sicherheitszuschlägen, Drehmoment, Teufenkapazität der Gestänge, insbesondere bei Seilkernbohrungen, Wandstärken und Materialgüten von Casing-Rohren und Verbindern, Sicherheitssysteme (Preventer), Pumpenkapazitäten (Max. Druck und Fördervolumen), schaffen wirkungsvoll Abhilfe.

Weitere vom Bohrunternehmer zu liefernde verbindliche Angaben sind mit der Offerteingabe zu fordern:

- Spülungstypen je nach Lithologie
- Antriebsart- und Leistungen der Komponenten
- Qualifikation von Bohrmeistern und Schichtführern mit Nachweis über besuchte Kurse
- verlässliche Referenzen.

Trotz möglichst umfangreicher geologischer Vorabinformation über die zu erwartenden Verhältnisse können sich unvorhergesehene Probleme und Überraschungen ergeben, die unter anderem auch wegen Festwerdens des Bohrstranges und Gestängebrüchen oder komplexer Wasserverhältnisse die Aufgabe einer Bohrung erzwingen. Mit gezielten Vorsichtsmassnahmen wird aber auch dieses Risiko gemindert:

- Einplanung mind. eines Reservedurchmessers
- Einplanung einer Reserveverrohrung
- Bohrschema und Werkzeugeinsatz nach erprobten Normen (z.B. API)

- Vorhalten von Fangwerkzeugen
- Vorhalten von Spülungszusätzen und Beschwerungsmitteln
- genaue Einbau- und Werkzeugprotokolle
- Verwendung handelsüblicher und genormter Bohrlocheinbauten
(Packer, Liner Hanger etc.)

2. Kosten- und Risikominderung im Ueberlagerungsbereich

Bekanntmassen bieten gerade im Alpenraum im Bereich von Hang- und Bergsturzschuttfächern die Ueberlagerungsstrecken oft grössere bohrtechnische Probleme. So müssen instabile Bereiche zementiert und verfestigt oder Zonen mit erheblichen Spülungsverlusten zur Gewährleistung der zirkulierenden, stützenden Bohrspülung verstopft und abgedichtet werden. Bis zu einem gewissen Mass kann dies ohne weiteres sinnvoll sein, doch oft helfen im Endeffekt nur noch temporär oder fix eingebaute Casinge, um eine gefahrlose Fortsetzung der Bohrung zu gewährleisten. Eine weitere Gefahr besteht darin, dass gerade in Blockzonen die Tendenz für eine Bohrlochabweichung und damit verbunden übermässige Gestängebeanspruchung bis zum Gestängebruch sehr stark zunimmt. Die moderne Tiefbohr- technik bietet heute aber mit dem TUBEX-Verfahren ein Bohrsystem, das ein rasches und sicheres Bohren in Ueberlagerungszonen erlaubt, wobei das Bohrloch im gleichen Arbeitsschritt fortlaufend verrohrt wird und damit immer geschützt bleibt. Das TUBEX-Verfahren arbeitet mit einem über einen Hochdruckkompressor betriebenen Imloch-Hammer nach dem Prinzip des Unterräumens, was das kontinuierliche Einbringen von Futterrohren gestattet. Diese werden nicht gedreht, sondern sinken gleichzeitig mit dem Bohrfortschritt über ihr Eigengewicht ins Bohrloch bzw. werden über die Schlagenergie des Imloch-Hammers, der auf einen Mitnehmerring im Rohrschuh wirkt, ins Bohrloch getrieben. Beim Bohren ist der Räumer über der eigentlichen Bohrkrone ausgefahren und bohrt ein Loch, das grösser ist als der Aussendurchmesser des Futterrohres. Wenn die gewünschte Tiefe erreicht ist, wird der Bohrhammer umgesteuert, wobei der Räumer in die Ausgangsposition eingeklappt wird. Somit kann die TUBEX-Bohrkrone durch das im Bohrloch verbleibende Futterohr gezogen werden. Dieses Verfahren erlaubt mehrfache Teleskopiermöglichkeiten und bietet sich dank einer breiten Durchmesserpalette für eine Grosszahl der üblichen Bohr- und Verrohrungsvarianten an.

Teufen von etwa 150 m wurden bislang erreicht. Auf allen drei tiefen Sondierbohrungen für den Gotthard-Basistunnel im Tujetsch wurde das TUBEX-Verfahren in der Ueberlagerung bei Bohrlochneigungen von jeweils 45° erfolgreich angewendet, um anschliessend im gesicherten Bereich im Seilkernverfahren bis über 830 m weiterzuarbeiten.

Gezielt eingesetzt vermindert das TUBEX-Verfahren das Bauherren-Risiko infolge unvorhergesehener Schwierigkeiten ganz erheblich. Langwierige Zementationsarbeiten im nicht standfesten Bohrloch und die daraus folgenden nicht kal-

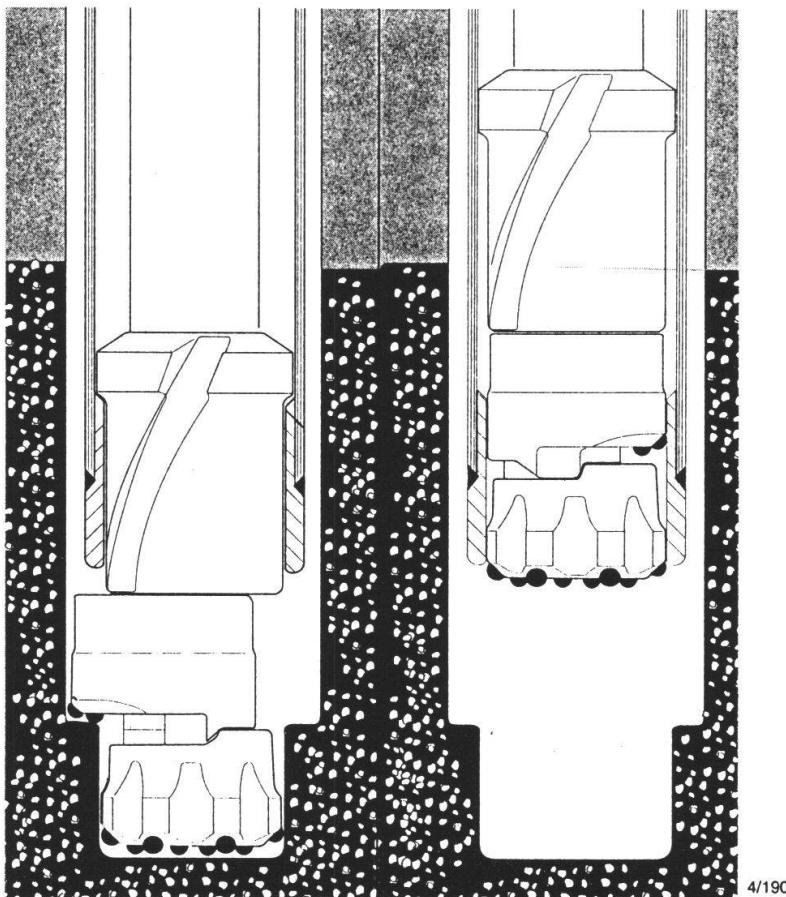


Fig. 1: Beim Ziehen der Hammerkrone wird der Räumer über eine Drehung eingeklappt

kulierbaren Mehrkosten entfallen. Die Standsicheheit von tiefen Bohrungen stellt aber oft auch im Festgestein ein generelles Problem dar. Eine den geologischen Verhältnissen Rechnung tragende Vorplanung des Verrohrungsschemas, die Wahl von Bohrgerät und Aggregaten mit genügender Leistungsreserve, sowie ein differenziertes Spülungsprogramm vermindern jedoch dieses Risiko erheblich.

3. Maximaler Informationsgehalt durch Seilkernsysteme

Teure Bohrkampagnen verlangen nach einem lückenlosen Informationsgewinn bei grösstmöglicher Sicherheit für die Bohrung, um die geforderte Endteufe zu erreichen. Die Gewinnung von aussagekräftigen Kernen ist Voraussetzung. Um die Bohrlochwand zu schonen, wird in tieferen Bohrungen mit einem Seilkernrohr gearbeitet. Das Seilkernrohr besteht aus zwei Stahlrohren, von denen das innere Rohr nicht rotiert und den Kern aufnimmt. Die Bohrkrone schneidet den Bohrkern aus dem Gebirge, wobei der Innendurchmesser der Bohrkrone so konzipiert ist, dass der Bohrkern vom Innenrohr aufgenommen werden kann, wo er mit Hilfe einer konisch gearbeiteten Kombination mit Sitz am unteren Ende des

Innenrohres, bestehend aus Kernfangring und Kernfanghülse, mittels Ziehen aus dem Gebirgsverbund gelöst und zum Ausbringen festgehalten wird. Die Länge des Kerninnrohres beträgt meistens 3 - 12 m. Nach dem Abbohren des Kernrohres oder bei Kernverklemmung wird das Innenrohr ausgebaut, um den Kern zu bergen. Mit Hilfe eines lösbarer Verriegelungsmechanismus kann bei tiefen Bohrungen unter Einsatz einer am Seil befindlichen und einzufahrenden Fangvorrichtung dieses Innenrohr in weniger als 20 % der für den konventionellen Ausbau benötigten Zeit gezogen und an die Oberfläche gebracht werden.

Mit dem Einsatz eines robusten und wirtschaftlichen Seilkernsystems steht eine deutlich erhöhte Gesamtbohrzeit zur Verfügung. Es werden eine bessere Kernqualität und ein besserer Kerngewinn erzielt.

Ein weiterer Vorteil des Seilkernsystems liegt darin, dass die Bohrung während des gesamten Bohrvorganges verrohrt und geschützt ist.

Die Teufenkapazität der heute in der Schweiz verwendeten Seilkernsysteme vom Typ GWSK 5 1/2", 4 1/2", 3 1/2" beträgt über 3000 m.

Die drei Systeme sind teleskopierbar konstruiert, so dass mit dem jeweils kleineren Durchmesser bei Problemen im Bohrloch durch die vorherige Ausrüstung weitergebohrt werden kann. Zur Erzielung einer optimalen Kernqualität und eines hohen Kerngewinns muss mit möglichst grossem Kerndurchmesser (GWSK 5 1/2" mit Kerndurchmesser 101 mm) gebohrt werden. Dies allein ist aber noch kein Garant für eine einwand-

Mögliche TUBEX-Kombinationen beim Teleskopbohren:

365-240-190-140-90

365-280-215-165-115

365-280-215-140-90

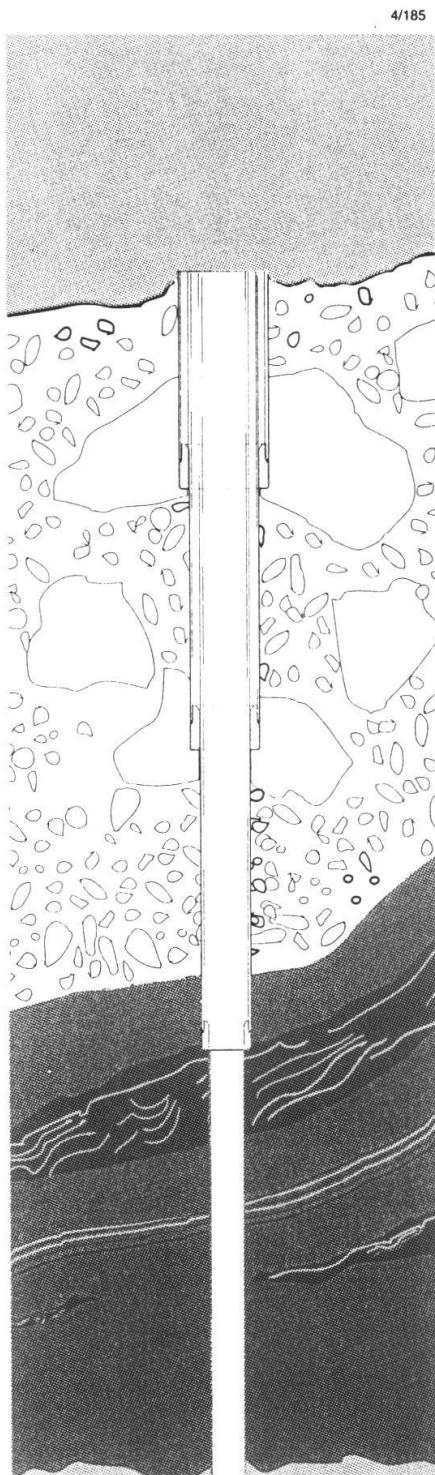


Fig. 2: Das Tubex-Verfahren erlaubt mehrfache Teleskopierungsmöglichkeiten

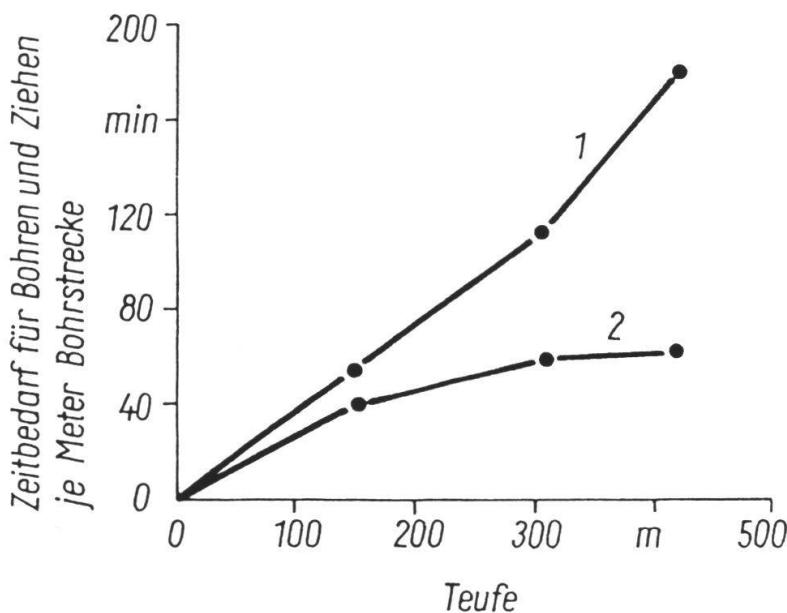


Fig. 3: Vergleich zwischen einem konventionellen Doppelkernrohr (1) und einem Seilkernrohr (2)

freie Qualität. Wichtig ist das optimierte Zusammenspiel weiterer Parameter und die Möglichkeit einer raschen Erfolgskontrolle, wie sie nur beim Seilkernverfahren gegeben ist, da langwierige Roundtrips zur Bergung des Kerns entfallen.

Qualitätsbestimmende Faktoren, die maschinentechnisch beeinflusst werden, sind ausschlaggebend:

- Bohrkronentyp
- Geometrie der Bohrkrone
- Kernfangfedern
- Drehzahl
- Andruck
- Pumprate
- Pumpendruck

In strukturempfindlichen Lithologien hat es sich gezeigt, dass die für einen Kern-

| | 5½" System | 4½" System | 3½" System |
|----------------------|------------|------------|------------|
| Bohrdurchmesser (mm) | 159,0 | 123,0 | 94,0 |
| Kerndurchmesser (mm) | 101,0 | 78,6 | 57,0 |
| Gestänge A.-D. (mm) | 139,7 | 114,3 | 88,9 |
| Gestänge I.-D. (mm) | 124,0 | 97,2 | 76,2 |
| Verbinder A.-D. (mm) | 154,0 | 118,0 | 90,5 |
| Verbinder I.-D. (mm) | 123,5 | 95,0 | 70,0 |
| Stranggewicht (kg/m) | 34,0 | 22,5 | 13,1 |

Tab. 1: Teleskopierbare GWSK-Seilkernsysteme mit einer Teufenkapazität von > 3'000 m

marsch zur Verfügung stehende Bohrzeit oft nicht ausreicht, um sämtliche Parameterinstellungen beim erneuten Anbohren wieder optimieren zu können, da das gekernte Material sehr rasch nach dem Erbohren seinen Zusammenhalt verliert und Kernklemmer die Aufnahme des Bohrkerns im Innenrohr und somit ein Weiterbohren verhindern.

Im Beispiel der steil bis vertikal stehenden Serizit-Chlorit-Schiefer im Tavetscher Zwischenmassiv, die sich über sehr rasch und ausgeprägt ändernde Festigkeiten auszeichnen, hat sich dieses Problem sehr deutlich bei den im Winkel von 45° angesetzten Bohrungen gezeigt. Der Winkel zwischen Bohrachse und Schieferung des Gebirges ist für die Kernqualität und den Kerngewinn von entscheidender Bedeutung. Je spitzer der Winkel zwischen Bohrachse und Schieferungsebene, desto grösser ist die Tendenz in einer derartigen Lithologie, dass der Kern frühzeitig zerfällt und der Kernmarsch abgebrochen werden muss. Die somit nur wenige Minuten dauernde kerngewinnende Bohrphase verhindert zusätzlich eine Bohrparameteroptimierung. Zeitraubende Kurzkernmärsche in 30 bis 50 cm Längen bleiben die einzige Alternative, um für den gutachtenden Geologen aussagekräftiges Kernmaterial zu Tage zu fördern. Den übrigen bohrtechnischen Hilfsmitteln wie Spülungstechnik, Anpassung von Kernfangeinrichtungen etc. kommt in der erwähnt strukturempfindlichen Geologie gegenüber einer gezielten Bohrparameteroptimierung unter der Vorbedingung eines möglichst grossen Bohrdurchmessers eine ebenso grosse Bedeutung zu. Im Tavetscher Zwischenmassiv sind Kerngewinne von > 95 % erzielt worden. Hierzu trägt auch die entsprechende Geometrie der Bohrkronen und ihrer Spülungskanäle bei, denn das Kernbohren kann auch in Teufen von mehreren hundert Metern, wo an sich das Gebirge durch den Ueberlagerungsdruck eine mehr oder weniger intensive Pressung und Verdichtung erfährt, erhebliche Schwierigkeiten bereiten. In unverfestigten Sanden und schwach verfestigten Sandsteinen, stark geklüfteten Kalksteinen und den erwähnten strukturempfindlichen Lithologien des Tavetscher Zwischenmassiv können auch grössere Kernverluste auftreten. Es ist bekannt, dass Kernverluste zu einem erheblichen Teil auf folgende Ursachen zurückgeführt werden müssen:

- Je nach Bohrkronenausführung fliesst ein Teil der Bohrspülung bis hin zur gesamten Spülmenge im Bereich des unteren Endes der Kernfanghülse und der Bohrkronenlippe auf einer Länge von bis zu 50 mm am frisch erbohrten Kern entlang. Bei den üblich Spülungsdurchsätzen von bis zu 300 l/min wird hierbei ein erheblicher Teil Bohrkerns des ausgespült bzw. zerspült.
- Der Kernfangring kann dadurch bedingt den Kern nicht hinreichend fassen, da dessen Durchmesser durch Einwirkung der Bohrspülung mehr oder weniger reduziert wurde. Diese Erscheinung kann zwar erheblich gemindert werden, wenn Bohrkronen zum Einsatz kommen, bei denen ein grosser Teil der Bohrspülung durch Spülungslöcher, die in den Kronenkörper eingearbeitet sind, unmittelbar zur Bohrkronenlippe geführt wird. Voraussetzung hierbei ist allerdings dass sich die Spülungslöcher in der Kronenlippe nicht verstopfen.

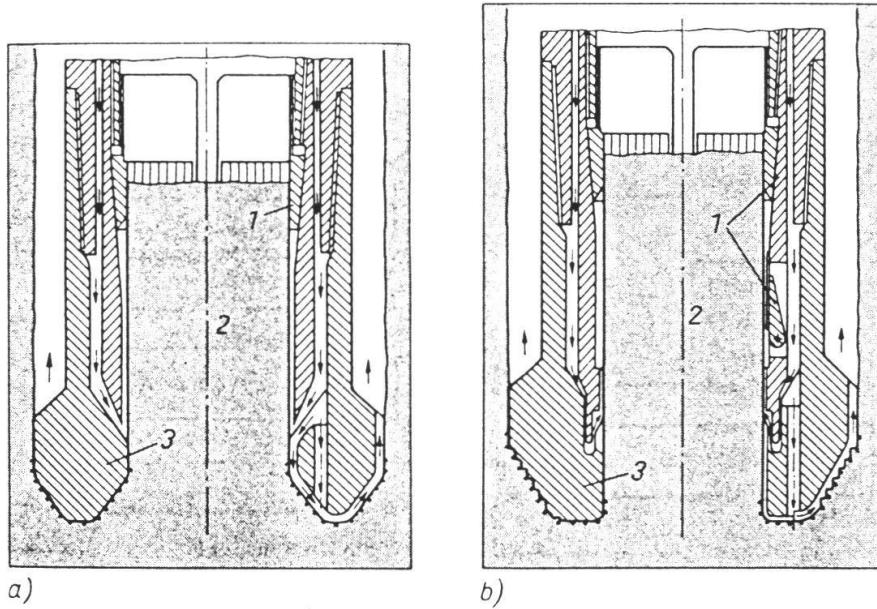


Fig. 4: Schematische Darstellung der Spülungskanäle
a) bei einer konventionellen Bohrkrone
b) bei einer modifizierten Bohrkrone.
Auf beiden Bildern ist die rechte Hälfte um einen kleinen Betrag gegen die linke verdreht, um die Spülungskanäle sichtbar zu machen.
1 Kernfänger
2 Bohrkern
3 Bohrkrone

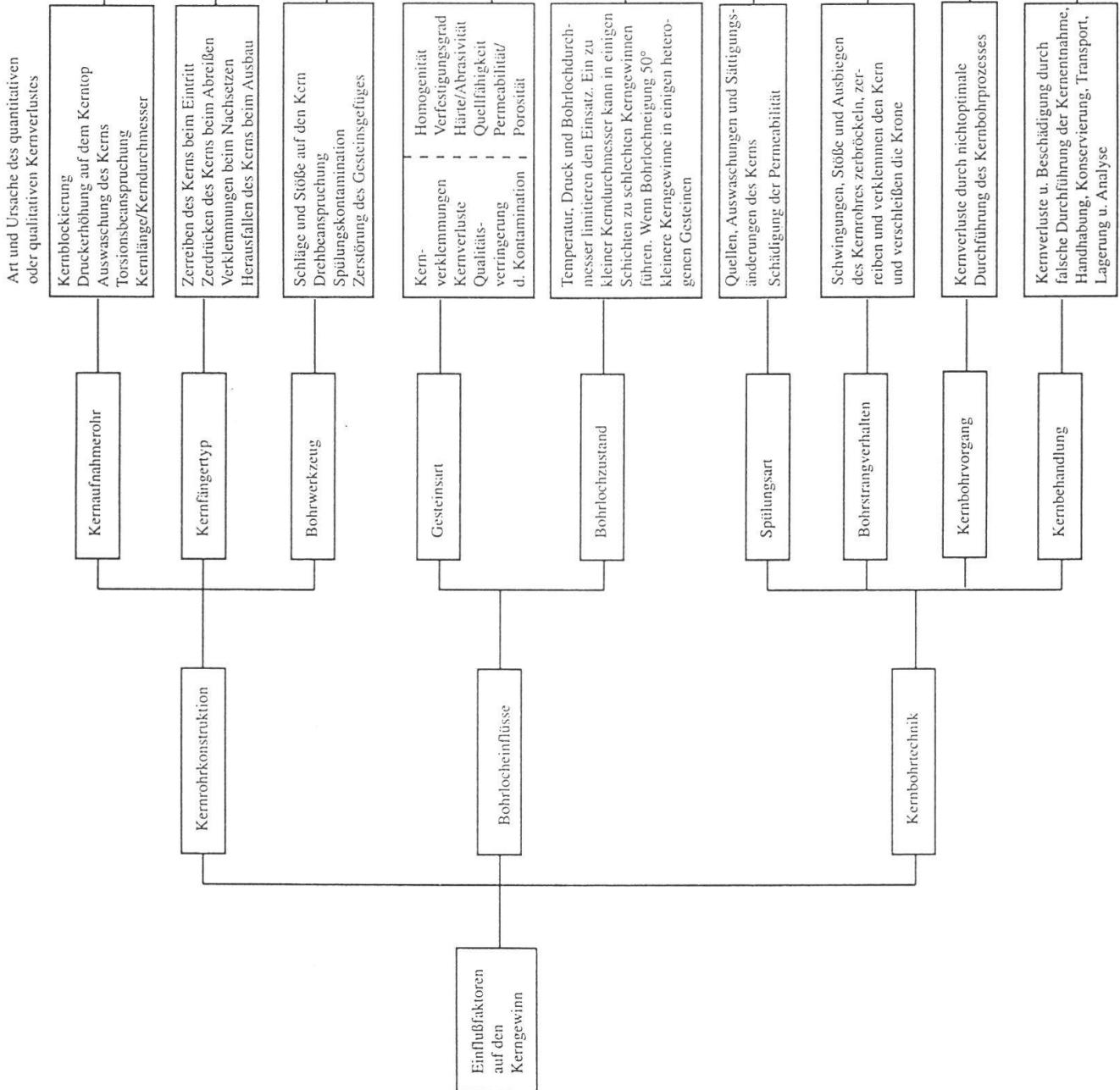
Weitere kritische Größen beim Kerngewinn sind demzufolge: die Bohrkrone, die durchgesetzte Spülungsmenge, der Reinigungsgrad der Bohrspülung und das Innenkernrohr. Fig. 4b zeigt ein verbessertes Kernwerkzeug, das sich bei der Gewinnung von Bohrkernen aus den schwer kernbaren Schichten des Tavetscher Zwischenmassivs gut bewährt hat. Bei diesem Kernwerkzeug sind Bohrkrone und Kernfänger so entwickelt, dass die Lippe des Kernfängers in eine in der Bohrkrone angebrachte Nut hineinreicht. Mit einem Stellring am Kopf des Innenrohres kann dieses justiert werden.

Anzahl und Grösse der Spüldüsen in der Bohrkrone sind grösser, so dass mehr als 70 % durch diese Kanäle fliessen und nur ein entsprechend geringer Anteil am Kern vorbei. Diese Menge wird noch dadurch reduziert, dass nur ein Drittel oder weniger des üblichen Spülungsvolumenstromes bei Abbohren des Bohrkernes durchgesetzt wird. Dadurch wird der Bohrkern weitaus weniger durch Erosionsvorgänge beansprucht.

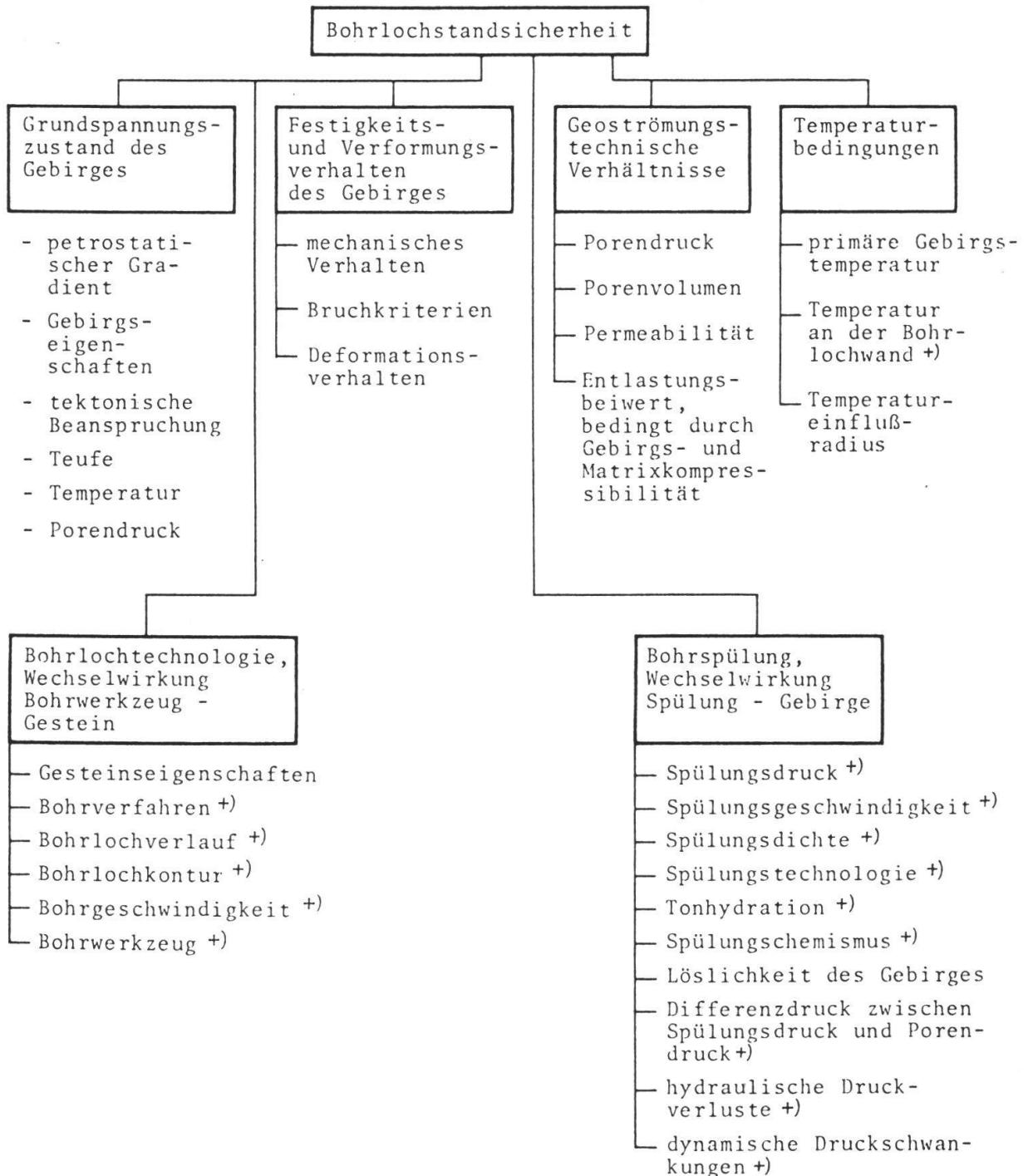
4. Bohrlochabweichungen und Schrägborhrungen

Bei Sondierbohrungen gilt es, über eine möglichst kurze Bohrstrecke sämtliche relevanten Lithologien zu erfassen. Sind die Schichten horizontal gelagert, so erfasst eine Vertikalbohrung ein Maximum an Lithologien. In steilgestellten oder gar vertikalen Schichten würde eine vertikale Bohrung schichtparallel verlaufen, sodass derselbe Informationsgehalt nur über schräg angesetzte Bohrungen oder in ihrer Neigung und Richtung mittels Vorortbohrantrieben (Bohrloch-Motoren, Turbinen) zielgerichtet korrigierbaren Bohrachsen erreicht werden kann.

Zusätzliche Faktoren wirken auf den Bohrlochverlauf ein, der zwar mit dem Einsatz von gezielten Bohrstrangstabilisationen



Tab. 2: Einflussfaktoren auf den Kernengewinn und Massnahmen zur Verhinderung von Kern-verlusten



Die mit +) gekennzeichneten Parameter sind technologisch beeinflußbar.

Tab. 3: Wichtige Einflussfaktoren auf die Bohrlochstandsicherheit

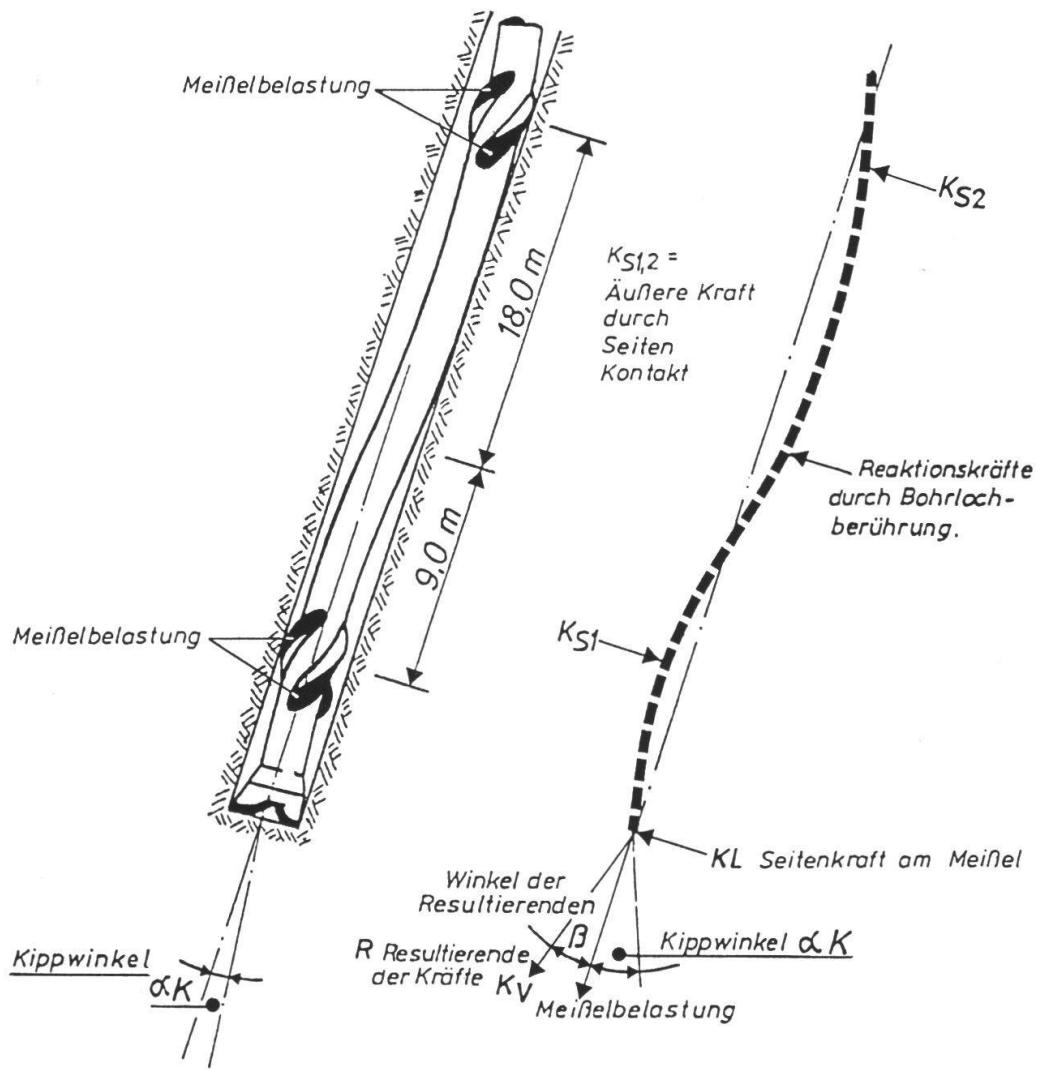


Fig. 5: Durch den gezielten Einsatz von Stabilisatoren kann die Biegesteifigkeit des Bohrstranges erhöht werden, so dass dieser durch den Andruck nur noch eine minimale elastische Verformung erfährt. Als Konsequenz wird die Resultierende aller angreifenden Kräfte einen möglichst kleinen Winkel zur Bohrlochachse einnehmen; die Richtungsgenauigkeit wird optimiert.

und geeigneten Bohrparametern (Andruck, Drehzahl etc.) beeinflusst aber effizient meist nur mit Bohrloch-Motoren und Turbinen korrigiert werden kann. Ursachen für die Bohrlochabweichung sind:

- steil einfallende Gebirgsschichten mit unterschiedlichen Festigkeitseigenschaften,
- steil einfallende Klüfte,
- kavernöse Schichten und Auslaugungszonen,
- Verwerfungen und anderweitige, tektonisch bedingte Störungen,
- Einlagerungen von Grobgeröll, Findlingen in weichen und lockeren Schichten.

Bei Schrägborhungen sind diese Einflüsse meist grösser und teilweise auch unberechenbarer.

In Schrägbohrungen besteht grundsätzlich die Tendenz beim Seilkernstrang, dass sich die Bohrachse - bedingt durch den Bohrandruck - verflacht. Verstärkt zeigt sich dies bei Schrägbohrungen auf steil oder vertikal geschichtete/geschieferte Lithologien unterschiedlicher Festigkeit wie sie im Tavetscher Zwischenmassiv anzutreffen sind. So hat sich die Bohrachse bei der im Herbst 1993 erfolgten Sondierbohrung von anfänglich 45° auf etwa 58° aus der Vertikalen aufgestellt. Darauf wurde der zur Ausführung der für die nachfolgenden Bohrlocherweiterungsarbeiten zum Einbau der Casinge notwendige Bohrstrang mit gezielt positionierten Stabilisatoren ausgerüstet. Diese Stabilisatoren bewirkten zusammen mit einer entsprechend modifizierten Bohrparametereinstellung infolge der elastischen Verformung des Bohrstranges und der auf die Bohrlochwand ausgeübten Kräfte der Stabilisatoren ein gezieltes "Ausknicken" des Erweiterungswerkzeuges. Die Bohrung konnte ohne Mehrkosten erfolgreich wieder auf ihre vorgesehene Achse korrigiert werden. In Extremfällen erweist sich der Einsatz von Bohrloch-Motoren und Turbinen als sinnvoll, da mit ihnen bei sorgfältiger Handhabung und in Verbindung mit genau definierten, vorgegebenen Bohranlagen- und Pumpenleistungsdaten sehr genaue Korrekturen erreicht werden.

Bei Vertikalbohrungen auf horizontale Schichtlagerung bleibt die Bohrlochabweichung in der Regel bei richtiger Wahl der Bohrparameter und Bohrstrangkomponenten radial unter 5 % der Bohrlochlänge:

Nachstehende Zahlen verdeutlichen, dass die Gefahr eines Gestängebruchs und Havarie einer Bohrung ohne genügende Stabilisation sowie die Tendenz eines unkontrollierten Verlaufs ohne Kontrolle stark zunimmt.

| <u>Bohrloch-Tiefe</u> | <u>Abweichung</u> | | | |
|-----------------------|-------------------|------|--------------|-----------|
| m | m | % | Grad | Grad/30 m |
| 300 | 15.0 | 5.0 | 2.9° | 0.29° |
| 300 | 172.8 | 57.6 | 29.9° | 2.99° |

5. Zielgenaue Bohrungen

Die eingangs erwähnten Vorortantriebe, die bei Oel- und Gasbohrungen schon längst zur Routine gehören, werden im Bohrlochtfesten zwischen dem Bohrmeissel und dem Gestänge eingebaut. Bei nicht drehendem Bohrstrang wird durch das hohle Bohrgestänge mittels Hochleistungspumpen die Spülung auf den Rotor geleitet, der - gelagert im Stator - in eine Drehbewegung gerät und über einen Übergang den Bohrmeissel in Rotation versetzt. Wird nun zwischen dem

Foto 1: Vollhydraulische Tiefbohranlage Wirth B-12 mit 120 to Hakenlast

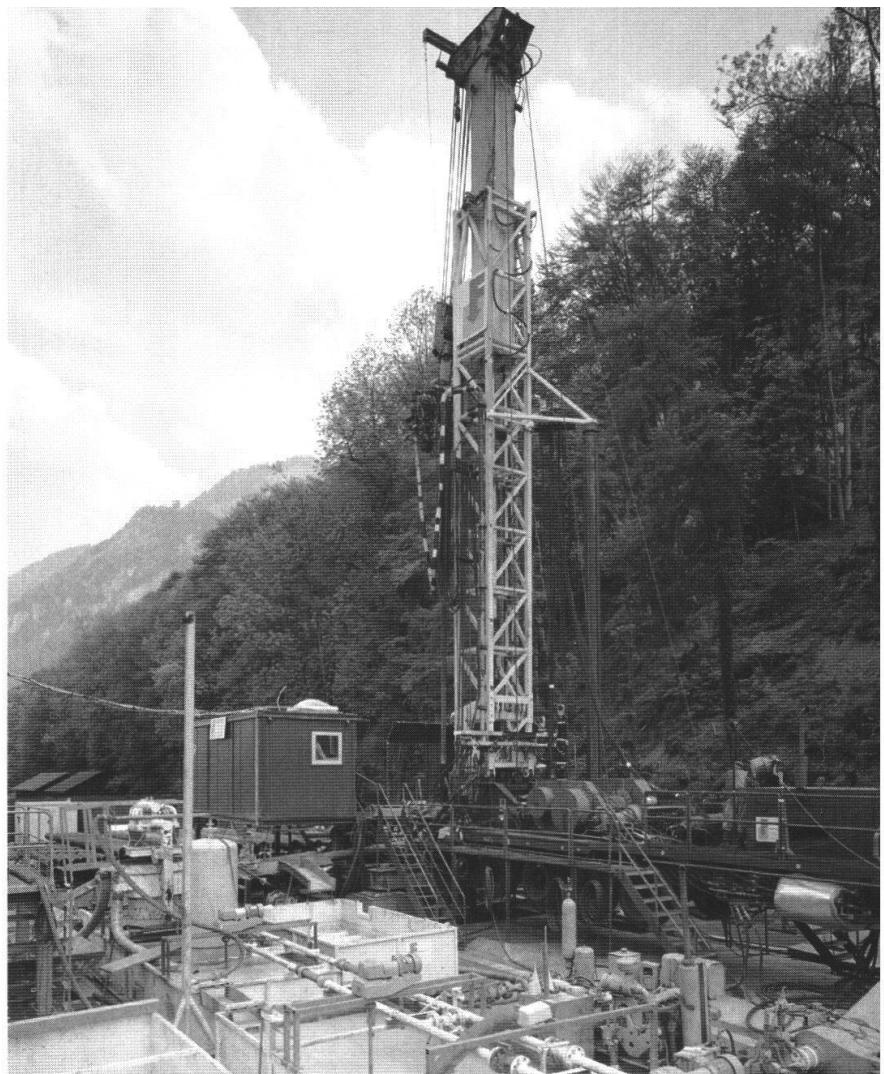


Foto 2: Schrägbohranlage für Sondier- und Zielbohrungen RC-7; 70 to Hakenlast



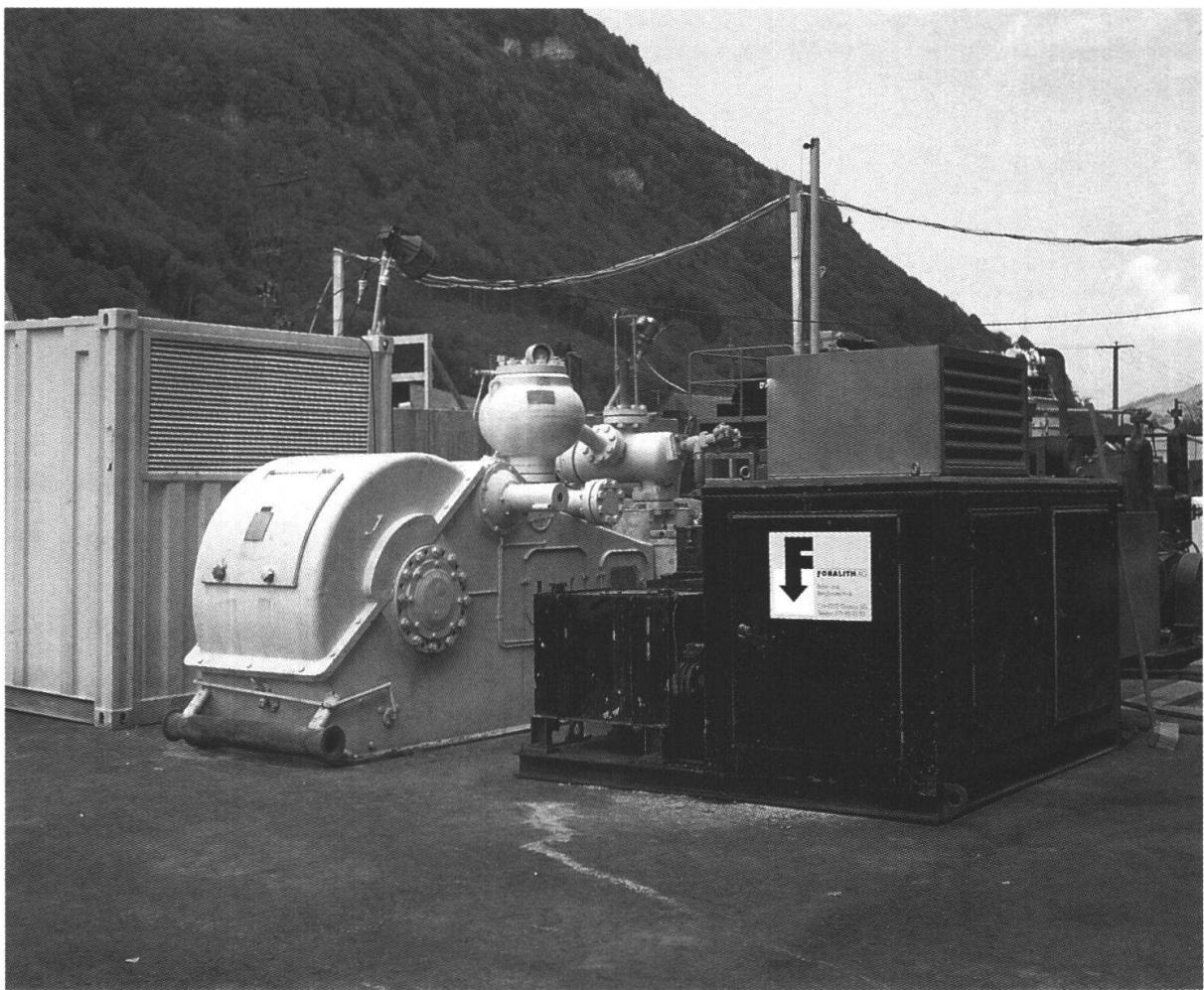


Foto 3: Spülumpen mit schallgedämpften Antriebscontainern

Vorortantrieb und dem Meissel ein Neigungsübergang eingebaut, der wenige Grad Auslenkung aus der Bohrstrangachse aufweist, so erhält der Meissel auf der Bohrlochsohle eine Richtungstendenz. Die Bohrachse kann in jede beliebige Neigung und Richtung gelenkt werden. Zielgenaue Bohrungen mit Tiefbohrkomponenten und Vorortantrieben finden in Ergänzung zu den bekannten Verfahren zur Unterquerung von Hindernissen mit Werkleitungen immer häufiger ihre Anwendung. Dies in erster Linie dort, wo topographische und lithologische Verhältnisse Positionsmessungen in grösserer Tiefe und Hartgesteinbohrgarnituren verlangen. Die moderne Richtbohrtechnologie erlaubt heute die Planung und wirtschaftliche Durchführung von "grabenlosen" Kreuzungen, das Unterqueren von Flüssen, Seen, Flughäfen, historischen Stätten, ökologisch empfindlichen Gebieten und nicht begehbarer Felsformationen für Rohrleitungen, Elektrokabel, Glasfaserkabel und dergleichen. (vgl. Foto 4)

Im Jahr 1989 wurde in einer Arbeitsgemeinschaft die weltweit längste Zielbohrung bergauf über 600 m in einem Winkel von rund 46° ausgeführt. Dies zum Einzug eines Kommunikationskabels der PTT. (vgl. Foto 5 und Fig. b) Weitere derartige Bohrungen - teilweise auch für Kanalisationen im Gebirge - befinden sich zur Zeit in Planung.

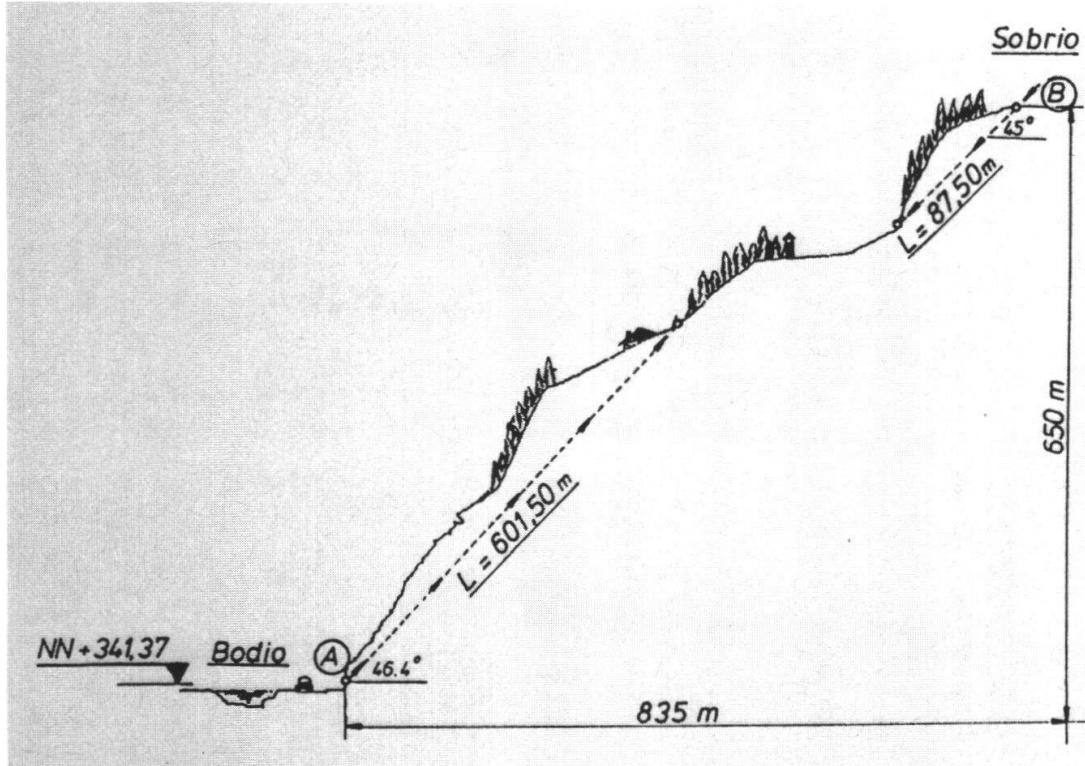


Fig. 6: Situationsskizze der Zielbohrungen von Bodio und Sobrio zum Einzug von Kommunikationskabeln

Ein weiterer Anwendungsbereich zielgenauer Bohrungen liegt in der Herstellung von Pilotbohrungen für Bohrlocherweiterungen im Raisebohr-Verfahren zum Bau von Schächten wie beispielsweise für Lüftungszwecke bei Straßen- und Eisenbahntunnels. Neben dem Vorortantrieb mittels Turbinen gelangen hier selbststeuernde Zielbohrstangen (z.B. ZBE 3000 [siehe Fig. 7]) sehr oft zum Einsatz. Diese Zielbohrreinheit wird direkt über dem Meissel platziert, sie beinhaltet eine elektronische Messapparatur für die Feststellung von Richtung und Neigung. Sobald die Messapparatur eine Abweichung ermittelt, werden automatisch kufenförmige Backen ausgefahren und gegen die Bohrlochwand gepresst, um den Verlauf der Bohrung entsprechend zu korrigieren. Wie beim MWD-Verfahren erfolgt die Messwertübertragung vom Bohrlochtfesten nach Überage durch Druckimpulse über die im Bohrloch zirkulierende Spülungssäule.

Dieses System wurde im Forschungsstollen der NAGRA am Grimsel mit einer Genauigkeit von wenig über 1 cm bei einer 100 m tiefen Bohrung zur Anwendung gebracht, während die Schachtbohrung für die Tunnelumfahrung Locarno in den folgenden Arbeitsschritten - erstmalig in der Bohrtechnik - erstellt wurde: (siehe Fig. 8 und Fotos 6, 7)

1. Seilkernbohrung zur Erkundung der Klüftigkeiten unter ständiger Vermessung bis zu einer max. Abweichung von radial 80 cm aus der Lotrechten
2. Injektion der gebrächen Zonen in diesem Abschnitt über Packer
3. Herstellen der Pilotbohrung ($\varnothing 8\frac{1}{2}''$) mit Turbine bis zur vertikalen Tiefe des jeweiligen Seilkernbohrungsabschnittes.

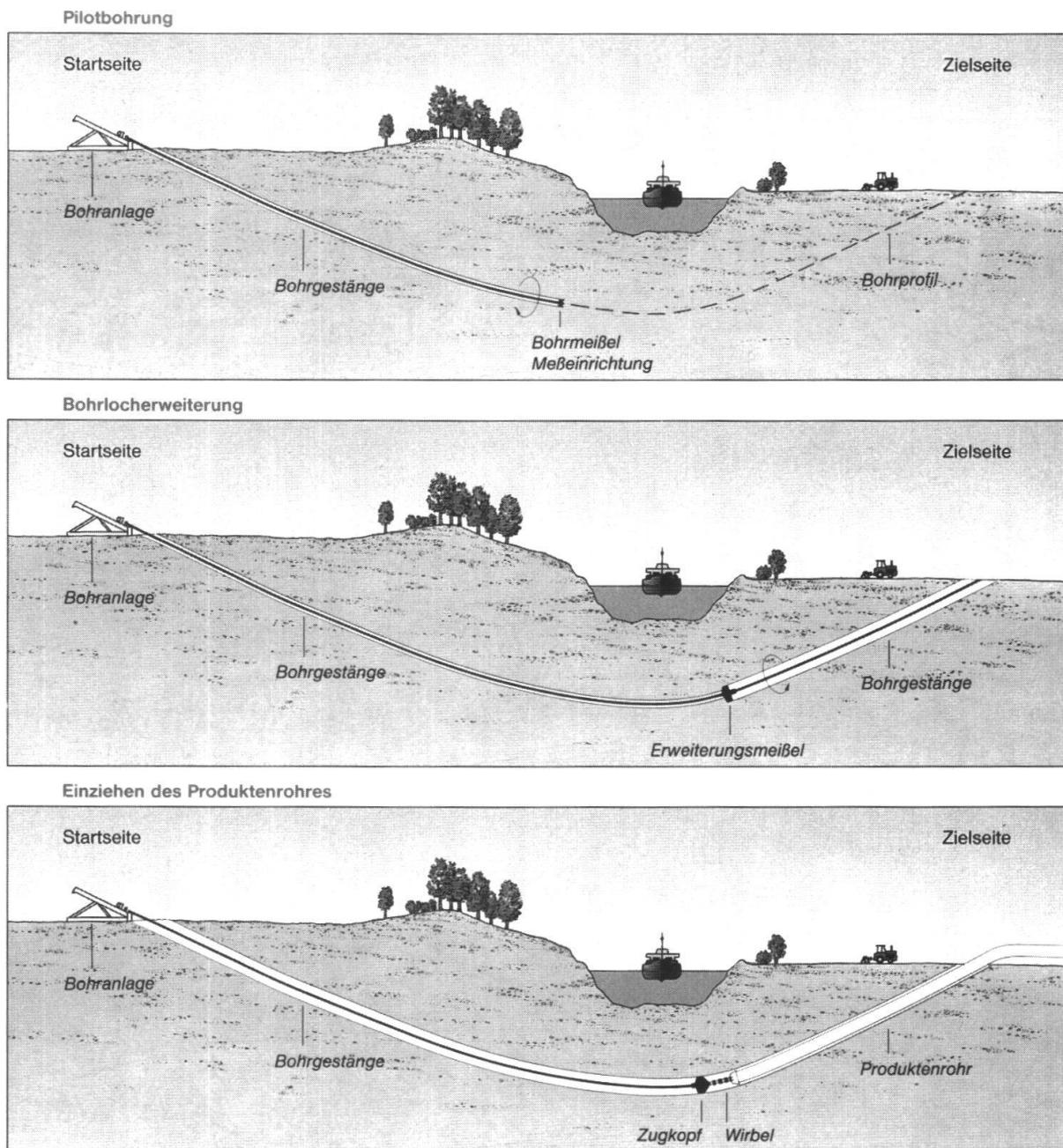


Foto 4: Arbeitsschritte zur Herstellung einer langen, zielgenauen Dükerbohrung

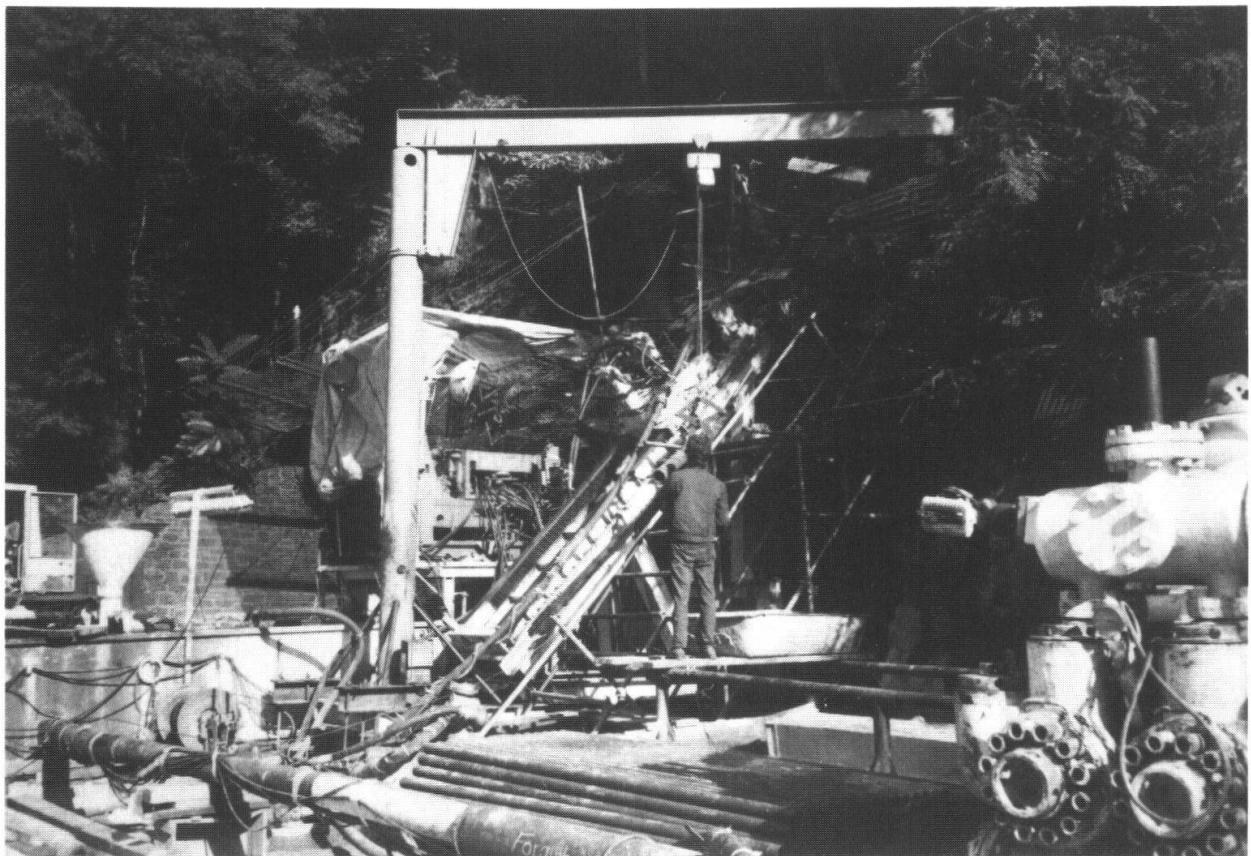


Foto 5: Zielgenaue Schrägbohrung 45° aufwärts über 600 m zum Einzug von Kommunikationskabeln (Bodio - Sobrio)

4. Einbau von temporären Futterrohren
5. Wiederholung 1.
6. Ausbau der Futterrohre
7. Wiederholung 2. - 4.
8. Mehrmalige Wiederholung von 1. - 7. bis 375 m Tiefe erreicht waren
9. Aufweitung der Bohrung Ø 12½" zur Aufnahme des Raisebohr-Gestänges
10. Anschlagen des Raisebohr-kopfes Ø 2,4 m im Tunnel
11. Raise-Bohrung

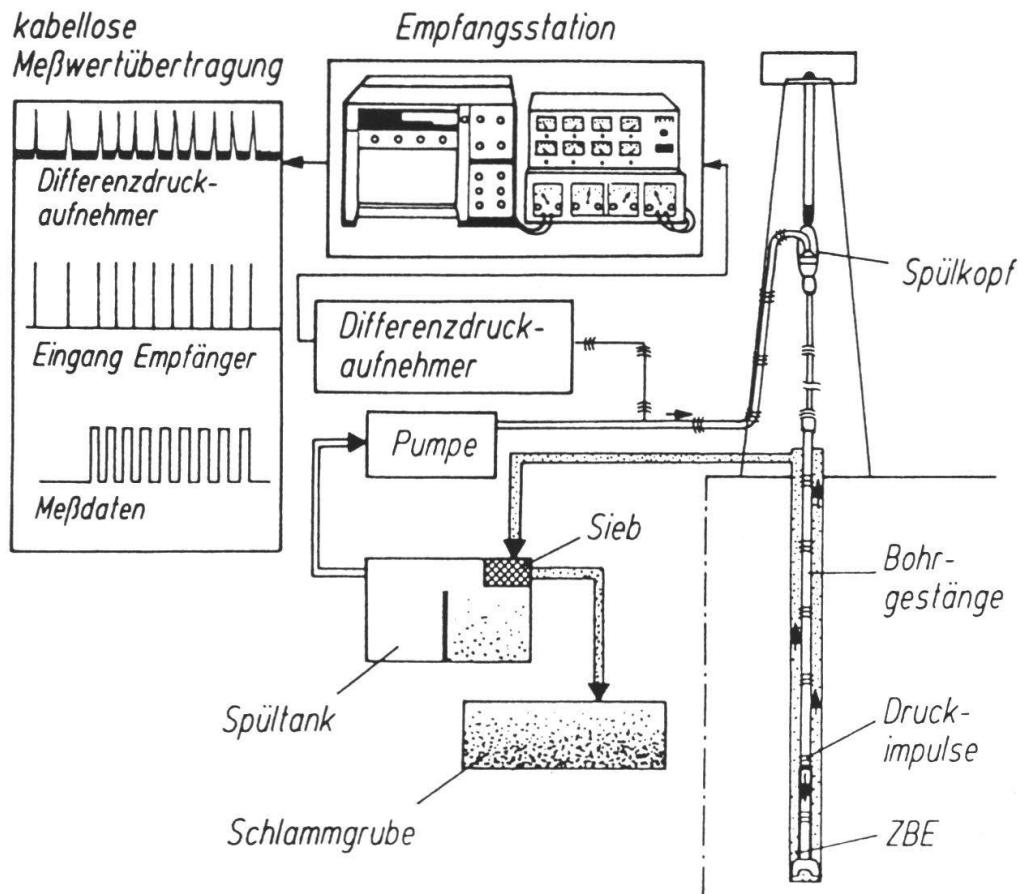


Fig. 7: Datenübertragung der selbststeuernden Zielbohrstange ZBE 3'000 über Druckimpulse im Spülungsstrom

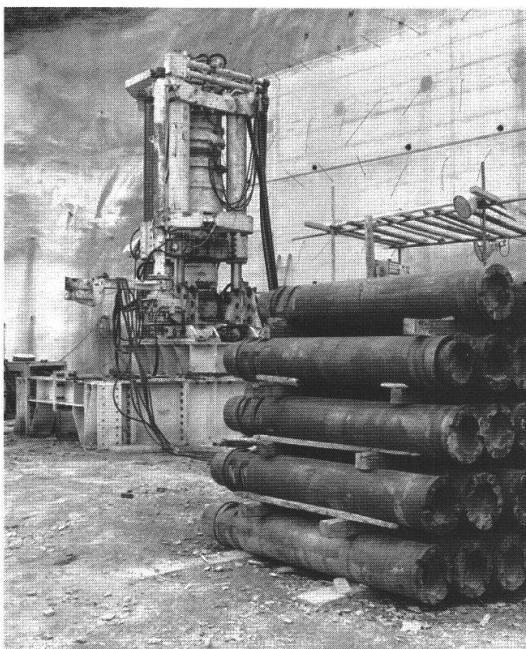


Foto 6: Raise-Bohranlage RH-71 im Einsatz für Lüftungsschacht Locarno mit Bohrgestänge Ø 10"

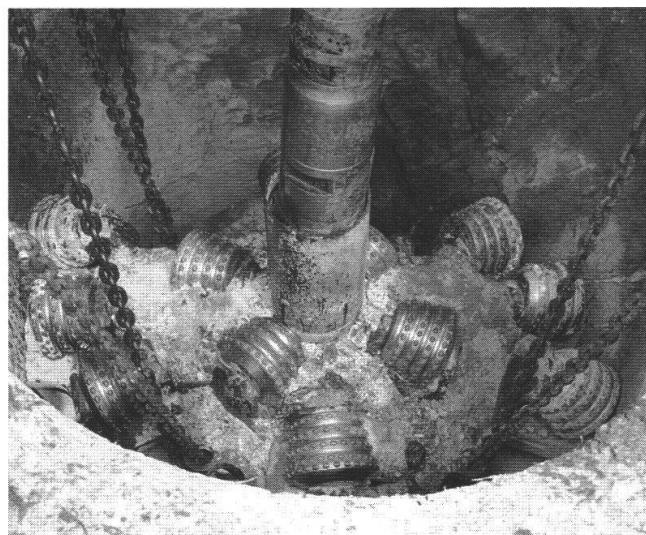


Foto 7: Raise-Bohrkopf Ø 2,4 m nach Fertigstellung der Schachtvorbohrung für Lüftungsschacht Locarno

6. Ausblick: Slimhole-Bohrtechnik

Kleinkalibrige Bohrungen und damit verbunden verringerte Verrohrungsdurchmesser bringen beträchtliche Kosteneinsparungen mit sich. Zu diesem Schluss sind viele Oelgesellschaften in aller Welt gekommen und es haben eifrige Entwicklungen eingesetzt, diese vorerst in Anlehnung an die Explorationsbohrungen im Bergbau übernommenen Technologien auch auf grössere Tiefen (> 2000 m) einzusetzen. Aufgrund der negativen Erfahrungen in der geothermischen Exploration in der Schweiz, die bislang immer mit sehr grossen Bohrdurchmessern - und somit entsprechend teuer - operiert hat, wird auch hier die Tendenz in Richtung Slimhole-Bohrungen gehen, damit der Geothermie überhaupt noch eine Chance zugeschrieben werden kann.

Slimhole kann folgendermassen "definiert" werden:

Produktionsbohrungen

Explorationsbohrungen

Ein Bohrlochdurchmesser
kleiner als normal

Zwei Bohrlochdurchmesser
kleiner als normal

Während heute schon mancherorts Produktionsliner von Ø 5" im Trägerbereich eingebaut werden, spricht man jedoch erst ab 4 ¾" - 3 ½" von einem Slimhole. Der entscheidende Unterschied zu konventionellen Bohrungen liegt aber darin, dass Slimholes Ringraum durchmesser weniger als 1" aufweisen.

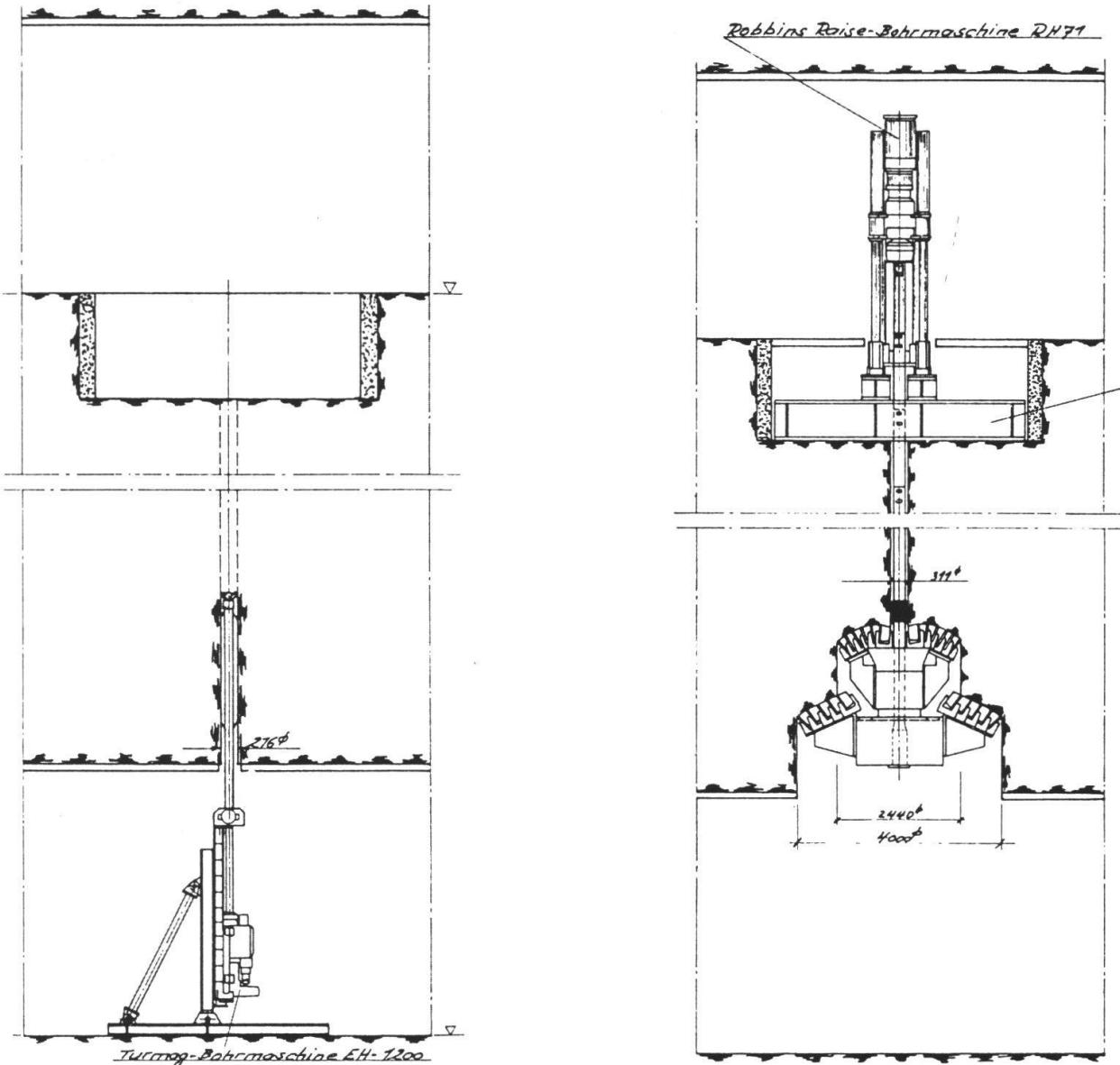


Fig. 8: Vorbohrung für Schachtbauten
 a) Zielbohrung mit Zielbohrstange oder Turbine
 b) Aufweitung der Zielbohrung im Raise- Bohr-Verfahren

Entsprechend hohe Anforderungen werden an eine exakte Planung und Arbeit vor Ort sowie in grossem Masse an die Spülungstechnik gestellt.

Kosteneinsparungen von bis zu 50 % der Slimhole-Technik bei sehr tiefen Bohrungen sind sogar in schwierigen Bohrgebieten möglich. Bei Bohrungen in unzugänglichem Gebiet, wo der Transport der Bohreinrichtung der Hauptkostenfaktor ist, können die Einsparungen noch signifikanter sein, weil beim Slimhole-Rig weniger Equipment und geringere Lasten zu transportieren sind.

Ein Vergleich zwischen konventioneller und Slimhole-Technik bezüglich der Einsparungen an Kosten, Material, Mannschaft, Energie u.a. zeigt nachstehende Tabelle:

| | Slimhole-Rig | konventionelle Bohranlage |
|--------------------------------------|--------------|------------------------------|
| Bohrungskosten, % | 50 | 100 |
| Kraftstoff, % | 25 | 100 |
| Bohrplatzfläche, % | 25 - 30 | 100 |
| Spülungskosten, % | 20 | 100 |
| Bohrteufe, m | 4300 | 4300 |
| Bohrlochdurchmesser, in. | 4 | 8.1/2 |
| Bohranlagengewicht, t | 187 | 1550 |
| Helikopterlifts je 2,5 t | 150 | 500 |
| LKW Ladungen | 18 | 55 |
| Mannschaft, Pers./Schicht | 3 - 4 | 6 |
| Campgrösse, Pers. | 30 | 80 |
| install. Leistung, kW | 1350 | 4000 |
| Bohrstranggewicht, t | 37 | 150 |
| Spülpumpenleistung, kW | 240 | 2350 |
| aktives Spülungsvol., m ³ | 8 | 24 |

Die hier genannten Einsparungen wurden anhand einer in Wyoming abgeteuften Tiefbohrung von Nabors erzielt. Vergleichende Ausarbeitungen für ein Schweizer Geothermieprojekt unter Einbezug eines gerichteten Bohrlochverlaufs mittels Turbinen ergab auch hier - obwohl konventionell nicht nach den strengen Oel-Bohrnormen gearbeitet wird - bei einer 1'800 m tiefen Bohrung Einsparungsmöglichkeiten von mehr als 30 % gegenüber den vergangenen Projekten. Angesichts der nachgewiesenen Kostenreduzierung von bis zu 50 % hat die Slimhole-Bohrtechnik durchaus eine Chance, besonders in der Explorationsbohrtechnik als Alternative zu gelten.

Die folgenden Entwicklungen werden dabei die Verbreitung der Slimhole-Technik unterstützen:

- Hochleistungs-Drag Bits (spanabhebend arbeitend)
- Slimhole Logging
- Slimhole MWD Tools
- Seilkernen, weil Kerne mehr und bessere Aussagen über das Gebirge liefern als elektrische Bohrlochmessverfahren
- Bohrlochkontrollsysteme
- kleinere und damit kostengünstigere Bohranlagen mit allen bereits erwähnten Vorteilen und niedrigeren Tagesraten.

Sinkende Tagesraten bei konventionellen Bohranlagen und ein Ueberangebot an konventionellen Bohranlagen haben die Weiterentwicklung von speziellen Slimhole-Bohranlagen sowie deren Einsatz zunächst gebremst. Auch müssen in der Slimhole-Technik noch entsprechende Lernprozesse durchlaufen werden, denn Slimhole heisst nochmehr als bei konventionellen Bohrungen, Regeln zu beachten und nicht zu basteln!

Besonders in schwierig zu erreichenden Gegenden wird sich jedoch die Slimhole-Technik in Zukunft ein immer grösseres Einsatzgebiet erobern.

Trotzdem muss festgehalten werden, dass die Slimhole Technik nicht nur kostengünstiger ist als die konventionelle Bohrtechnik, sondern dass sie auch eine grössere Umweltfreundlichkeit in sich birgt. Und schliesslich bietet sich diese Technik besonders beim Horizontalbohren in der Geothermie an, wo die grössere Länge der Drainagestrecke gegenüber der Vertikalbohrung kleinere Durchmesser bei gleicher Produktivität gestattet. Die Slimhole Technik als solches hat inzwischen einen Stand erreicht, wo ihre wirtschaftliche Anwendung durchaus gegeben ist. Es liegt jetzt an Bauherren und Bauleitung, diese Technik auch anzuwenden. Intensiver Erfahrungsaustausch zwischen Schweizer Unternehmungen und an Forschungsprojekten mitarbeitenden ausländischen Tiefbohrunternehmungen sowie eine spezifische Weiterentwicklung dieser Technik und qualifizierte Personalschulung können dem Slim-Hole-Verfahren mit all seinen Vorteilen auch in der Schweiz zum Durchbruch verhelfen.

Literaturverzeichnis

- ARNOLD W. (1993): Flachbohrtechnik - Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig - Stuttgart
- PETERSON G. (1986): Zielgenaues Kernbohren - NOBEL-HEFTE Nr. 2/3 .
- PINGEL R. & BERLI: ST. (1992): Foralith AG - eine junge Schweizer Unternehmung - Zeitschrift "Unser Betrieb" Nr. 56, p. 15 - 17, Deilmann-Haniel GmbH, Dortmund .
- PINGEL R. & BERLI ST. (1992): Foralith bohrt am Gotthard - Zeitschrift "Unser Betrieb" Nr. 60, p. 19 - 21, Deilmann-Haniel GmbH, Dortmund.
- SCHAUMBERG G. (1993): Slimhole-Bohren - Deutsche Bohrmeisterschule , Celle .