

Deutsche Schachtbau- und Tiefbohrgesellschaft

Postfach 13 60
4450 Lingen

Das Konzept für die Bohranlage (Neubau)

DST Deutsche Schachtbau- und Tiefbohrgesellschaft mbH
ITAG Internationale Tiefbohr-GmbH & Co Kg
SMAG Salzgitter Maschinenbau GmbH
WIRTH Maschinen- und Bohrgeräte-Fabrik GmbH

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung.....	370
2. Aufgabenstellung.....	370
3. Ergebnis der Studie.....	371
3.1 Bohrturm.....	373
3.2 Hebewerk.....	374
3.3 Pipehandling.....	375
3.4 Energieversorgung.....	376
3.5 Spülungsanlage.....	377
3.6 Meßtechnik und Datenerfassung.....	378
3.7 Technische Daten der KTB-Bohranlage.....	378
4. Vergleich der KTB-Bohranlage mit einer Standard-Bohranlage.....	380
4.1 Vergleich der KTB-Bohranlage mit einer Standard-Bohranlage anhand wichtiger Kriterien.....	381
4.2 Vergleich der KTB-Bohranlage mit einer Standard-Bohranlage anhand wichtiger Anlagenkomponenten.....	382

DST, ITAG, SMAG, WIRTH: Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland - Das Konzept für die Bohranlage

1. Einleitung

Im Februar 1985 begann offiziell die Planung für das vom Bundesminister für Forschung und Entwicklung finanzierte erste deutsche geowissenschaftliche Großforschungsprojekt, das "Kontinentale Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland" (KTB.)

Im Mittelpunkt steht die Durchführung einer 14.000 m tiefen Bohrung im kristallinen Hartgestein mit dem Ziel, die physikalischen und chemischen Bedingungen und Prozesse in der tieferen kontinentalen Erdkruste zu erforschen.

Diese Teufe wurde bisher weltweit noch nicht erreicht, ist aber technisch realisierbar. Der außergewöhnliche Umfang dieses Projekts erfordert eine Studie zur Auslegung der Bohranlage. In dieser Studie wird das Konzept für die Tiefbohranlage vorgestellt, mit der die Bohrung im Rahmen des kontinentalen Tiefbohrprogramms abgeteuft werden soll.

Nach Aufstellung des Anforderungsprofils wird die Ausführung einer neuen, genau auf das Bohrprojekt zugeschnittenen Tiefbohranlage vorgestellt. Das Konzept wird mit einem alternativen Konzept verglichen.

Zur Auslegung und Zusammenstellung der Bohranlage wurden umfangreiche Untersuchungen der Einzelkomponenten und Systeme durchgeführt.

2. Aufgabenstellung

Aufgabe dieser Studie ist es, das Konzept für Bau und Betrieb einer Tiefbohranlage anhand vorgegebener Eckdaten zu erarbeiten, mit der die KTB-Hauptbohrung abgeteuft werden kann. Dabei ist die Tiefbohranlage nach Kriterien auszulegen, die sich teilweise grundlegend von denen unterscheiden, die an schwere konventionelle Bohranlagen für die Aufsuchung von Kohlenwasserstoffen gestellt werden.

Die KTB-Tiefbohrung dient allein geowissenschaftlichen Forschungszwecken und wird voraussichtlich nach Abschluß der Bohrarbeiten als Tiefenlabor eingerichtet. Die Gewinnung wissenschaftlicher Meßdaten und die Durchführung wissenschaftlicher Arbeiten müssen uneingeschränkt durchführbar sein. Sie

dürfen weder durch die Bohrtätigkeit noch durch Umwelteinflüsse behindert werden.

Aus bohrtechnischer Sicht stellt die KTB-Bohrung ein Novum dar. Die geplante Endteufe wurde bisher weltweit nicht erreicht. Bohrerfahrungen aus kristallinen Formationen liegen bei diesen Teufen und Durchmessern nicht vor. Es sind extreme Bohrbedingungen zu erwarten, die zu Weiter- und Neuentwicklungen von Bohrwerkzeugen und Bohranlagenkomponenten sowie Spülungssystemen zwingen. Besonders hervorzuheben sind:

- hohe Drücke und Temperaturen im Bohrloch
- geringe Bohrfortschritte
- geringe Standlänge der Bohrwerkzeuge mit häufigem Ein- und Ausbau des Bohrstrangs
- große Lasten
- lange Kernstrecken

Die Bohranlage muß den bergamtlichen und baurechtlichen Bestimmungen entsprechen. Störungen, Belästigungen und Verunreinigungen der Umwelt beim Betrieb der Bohranlage müssen bereits vom Bohranlagenkonzept her ausgeschlossen sein.

Alle genannten Auslegungskriterien sind bei der Erarbeitung des Konzeptes für die KTB-Tiefbohranlage zu beachten. Dabei muß die Bohranlage eine möglichst wirtschaftliche Durchführbarkeit des Projekts sicherstellen. Die Bohranlage muß zuverlässig und betriebssicher arbeiten, damit das Risiko des Forschungsprogramms niedrig gehalten und der Umfang der wissenschaftlichen Ausbeute in keiner Phase gefährdet wird.

3. Ergebnis der Studie

Im folgenden wird das Ergebnis der Studie, das Konzept einer neuen KTB-Tiefbohranlage, die weitgehend aus Komponenten deutscher Hersteller zusammengestellt ist, vorgestellt. Sie unterscheidet sich wesentlich von vorhandenen schweren Bohranlagen. Nach Aufzeigen der wichtigsten Anlagenbauteile sind tabellarische Auflistungen angefügt. Mit ihrer Hilfe wird die für das KTB-Projekt vorgesehene Tiefbohranlage mit einer schweren Standardbohranlage verglichen. Der Vergleich bezieht sich auf allgemeine Beurteilungskriterien und auf die wichtigsten Bohranlagenkomponenten.

Nach unseren Untersuchungen entspricht die Belastung der Bohranlage bei der KTB-Bohrung einer Beanspruchung, die eine schwere Bohranlage insgesamt beim Abteufen von rd. 30 Bohrungen à 5.000 m erfährt.

Durch Realisierung aller für die KTB-Bohranlage geplanten technischen Neuerungen gegenüber einer Standardbohranlage ist eine Zeiteinsparung von 323 Tagen zu erreichen. Diese zeitliche Ersparnis bedeutet eine Kosteneinsparung von 9,7 Mio bis 16,2 Mio DM bei einem angenommenen Tagessatz von 30.000 bis 50.000 DM.

Durch konsequenten Einsatz neuer Techniken wird das Bohrpersoneal um ca. 30 % reduziert. Es ergeben sich dadurch Einsparungen von 7,2 Mio DM.

Bei der Erarbeitung des Anlagenkonzeptes wurde neben der geowissenschaftlichen Forschungsaufgabe dem Umwelt- und Landschaftsschutz wegen der langen Projektdauer besonders Rechnung getragen.

Die überwiegende Anzahl von Arbeitsbereichen und Einrichtungen ist in geschlossenen Gebäuden untergebracht. Kontaminierung von Spülung und Spülungschemikalien mit Regenwasser sind weitgehend ausgeschlossen. Durch die witterungsgeschützte Anordnung der Arbeitsbereiche in Gebäuden werden unabhängig von Jahres- und Tageszeit optimale Arbeitsplatzbedingungen geschaffen. Der Schutz der maschinellen Einrichtungen führt zu einem geringen Wartungsaufwand. Der gesamte Gebäudekomplex wird architektonisch der Umgebung angepaßt. Die Arbeitsbereiche und Einrichtungen der Bohrtechnik werden funktionell und räumlich von denen der Geowissenschaften getrennt, um eine gegenseitige Behinderung und sich daraus ergebende Gefährdungen zu vermeiden.

Die klare Gliederung der Gesamtanlage bietet eine räumliche Trennung von Bohrturm, Bohrgestänge- und Futterrohrlager, Spülungsanlage und Energieversorgung. Neben der guten Zugänglichkeit wird dadurch die Möglichkeit für Erweiterungen und Umrüstungen geschaffen, die sich angesichts des schwierigen Projektzieles später als notwendig erweisen können. Technische Entwicklungen, die sich während der langen Projektdauer ergeben, können leicht integriert werden.

Das erarbeitete Konzept vermindert Wartezeiten und führt damit zu einem effektiven Einsatz der Bohranlage. Die KTB-Anlage besteht aus den Hauptkomponenten:

- Bohrturm mit allen zum Bohren und zur Handhabung von Bohrstrang und Futterrohren notwendigen Einrichtungen wie Drehtisch, Hebewerk, Pipehandling-Maschine mit Ver- und Entschraubeinrichtung, Preventeraufbau, Hilfsaggregaten, Fahrstand und Doghouses (Arbeits- und Aufenthaltsräume in unmittelbarer Nähe der Arbeitsbühne).
- Bohrgestängelager mit Liftsystem und Bohrstrang-Prüfbereich sowie zusätzlichem Rohrlager.
- Spülungsanlage mit Spülpumpen, Auslaufrinne, Spülsaufbereitung, Tankanlage für Aktivspülung, für Reservespülung und für Spülung zu Meßzwecken, Spülfabrikation und Spülrückkühlung.
- Energieversorgung mit Transformatoren, Blindstromkompensation, Gleichstrom- und Drehstromteil sowie Steuer- und Schaltzentrum.

3.1 Bohrturm

Der Bohrturm ist als stationäres Bauwerk für eine Hakenregellast von 5.500 kN und eine Hakenausnahmelast von 8.000 kN ausgelegt. Dem Bohrturm sind getrennte Bohrgestänge- und Rohrlager zugeordnet. Die Gesamthöhe des Bohrturms beträgt 75 m, die freie Höhe zwischen Drehtisch und Rollenlager 60 m. Der Bohrturm ist für einen Betrieb mit maximal 40 m-Bohrgestängezügen auch bei Einsatz eines Kraftdrehkopfes (top drive) ausgelegt. Mit 36,5 m-Bohrgestängezügen beträgt die Zeiteinsparung gegenüber dem Einsatz von üblichen 27,4 m-Bohrgestängezügen beim geplanten Roundtrip-Umfang 65 Tage.

Der Bohrturm bietet durch seine großzügige Dimensionierung genügend Raum, um störende Beeinflussungen der verschiedenen Arbeitsgruppen untereinander zu vermeiden. Durch aufeinander abgestimmte und gleichzeitig ablaufende Arbeitsvorgänge lassen sich erhebliche Zeiteinsparungen bei der Projektdurchführung verwirklichen.

Durch die Vollverkleidung des gesamten Bohrturms und die Unterbringung von Ausrüstungskomponenten in geschlossenen Räumen wird eine Belastung der Umwelt vermieden. Die Gebäude werden dem Landschaftsbild angepaßt. Die Vollverkleidung bietet Wetterschutz für das bohrtechnische und wissenschaftliche Personal. Heizungs- und Lüftungsmöglichkeiten verbessern die Arbeitsplatzbedingungen. Wichtige Anlagenkomponenten werden geschützt und Schallemissionen reduziert.

Der Platz im Bohrgerüst ist ausreichend, um gleichzeitig zwei 5"-Bohrstränge für 14.000 m Teufe abzustellen. Für die Bohrstrang- und Futterrohrhandhabung ist eine Pipehandling-Maschine vorgesehen. Sie wird auf der Arbeitsbühne und der Fingerbühne geführt. Für Montage-, Wartungs- und Meßarbeiten sind im Bohrgerüst Umlaufbühnen angeordnet, die über Leitern und einen Personenaufzug erreichbar sind. Die untere Bühne kann für Besucher genutzt werden. Im Bohrgerüst sind Schienen zur Führung des Haken-Retraktor-Systems angebracht. Die Schienen können gleichzeitig zur Führung eines Kraftdrehkopfes eingesetzt werden.

Die Arbeitsbühne hat eine Fläche von 12,5 x 12,5 m. Sie ist in zwei Bereiche unterteilt. Der eine Bereich ist für das Abstellen der Bohrgestängezüge vorgesehen. Hier sind auch die Pipehandling-Maschine und das Liftsystem installiert. Der andere Bereich dient zur ungestörten Handhabung von Kernrohren und Meßgeräten. Auch vorformierte Futterrohrzüge oder Kühlstränge können hier abgestellt werden. An die Arbeitsbühne sind zwei Doghouses angeordnet. Ein Doghouse ist dem technisch-wissenschaftlich-operativen Stab zugeordnet, das andere dient der Bohrtechnik. Vor dem Doghouse der Bohrtechnik ist - in einer verglasten Kanzel - der Fahrstand installiert. Der Unterbau ist für eine Abstelllast von 5.500 kN bei gleichzeitiger Drehtischträgerlast von 8.000 kN ausgelegt. Die Konzep-

tion läßt bei einer Abstelllast von $2 \times 5.500 \text{ kN}$ noch eine Drehtischträgerlast von 6.000 kN zu. Der Unterbau hat eine freie Höhe von $9,6 \text{ m}$. In ihm sind neben dem Hebewerk alle zum Betrieb der Einrichtungen im Bohrturm notwendigen Aggregate untergebracht. Montagehilfen für das Hebewerk, den Preventer-aufbau und die übrigen Komponenten im Unterbau sind vorgesehen.

3.2 Hebewerk

Als Hebewerk wird der Typ GH 4000 E der Fa. Wirth eingesetzt. Das Hebewerk wurde aus dem Typ GH 3000 E weiterentwickelt und modifiziert, ohne auf bewährte Standardkomponenten zu verzichten. Zum einen wurde die Leistung auf 4.000 PS (2.940 kW) angehoben, zum anderen wurde die Fahrseilkapazität der Seiltrommel erhöht und damit ein Betrieb mit bis zu 40 m -Bohrgestängezügen ermöglicht. Die Leistungserhöhung führt zu einer 24tägigen Verkürzung der Zeiten für die angenommenen 800 Roundtrips .

Die Installation des Hebwerks auf einem Fundament im Unterbau stellt auf der Arbeitsbühne zusätzlichen Platz zur Verfügung, reduziert die Schallerregung und verbessert die Möglichkeiten zur Schall- und Schwingungsdämpfung. Wartungsarbeiten am Hebewerk sind leichter durchführbar.

Die auf $2,30 \text{ m}$ verlängerte Seiltrommel hat in vier Wickellagen eine Kapazität von $660 \text{ m } 1 \frac{3}{4}'' \text{ EIPS-Fahrseil}$. Die maximale Zugkraft an der Seiltrommel beträgt in der 2. Wickellage 828 kN . Das $1 \frac{3}{4}'' \text{ EIPS-Seil}$ wurde gewählt, weil es neben dem $1 \frac{7}{8}'' \text{ Seil}$ der einzige Standard-Fahrseiltyp ist, mit dem die vorgegebenen Hakenlasten noch bei 16facher Einscherung (bzw. 14fach bei zukünftiger Änderung der Seilsicherheitsfaktoren nach BVOT) gezogen werden können. Das Fahrseil wird in vergrößerten Seilgebinden angeliefert, um die Verschnittlängen zu verkleinern.

Das Hebewerk wird von vier Gleichstromnebenschlußmotoren, die in der Zündschutzart "Überdruckkapselung" ausgeführt sind, angetrieben. Die Motoren werden über steuerbare Gleichrichter im 4-Quadrantenbetrieb gefahren. Dadurch werden ein generatorisches Bremsen mit Energierückspeisung und beim Abfahren des leeren Bohrhakens eine kontrollierte Unterstützung der Beschleunigung von Hebewerks- und Seilmassen erreicht. Zur Motorkühlung sind Umluft-/Wasserkühler mit Umluftfiltern vorgesehen. Diese Kühlart gewährleistet einen wartungsarmen Betrieb.

Die Hauptbremse des Hebwerks ist eine Verbundbandbremse, die über ein pneumatisch-hydraulisches Servosystem fernbedient wird. Sie ermöglicht ein Abbremsen der maximalen Hakenlast mit dem vorgeschriebenen Sicherheitsfaktor und wirkt gleichzeitig als Notbremse.

Als Zusatzbremse arbeiten die Gleichstrommotoren bei generatorischer Fahrweise oder die Wirbelstrombremse direkt auf der Fahrseiltrommelwelle.

Die installierte Nachlaßvorrichtung wirkt formschlüssig auf die Seiltrommel und wird zum Regeln der Senkgeschwindigkeit des Bohrstrangs eingesetzt. Im Notfall kann mit der Nachlaßvorrichtung der Bohrstrang von Sohle gezogen werden.

Die Steuerung des Hebwerks erfolgt teilautomatisiert. Beschleunigungen oder Verzögerungen werden in Abhängigkeit von Hakenlast, Geschwindigkeit, Bohrlochkriterien und Stromaufnahme geregelt. Rechnergestützte Sicherungen gegen das Fahren des Klobens unter das Rollenlager oder auf den Drehtisch sind vorgesehen.

Die Leistungsübertragung der Antriebsmotoren erfolgt über zwei Vorgelegewellen auf die Hebewerkstrommelwelle. Vier Gangstufen sind schaltbar. Damit ist eine maximale Fahrseilgeschwindigkeit von 20,17 m/s und eine maximale Seilzugkraft in der 4. Seillage von 715 kN erreichbar. Durch die Möglichkeit der kurzzeitigen Momentenüberhöhung der Antriebsmotoren wird eine Annäherung der mechanischen Gangabstufung an die 4.000 PS-Leistungshyperbel erreicht.

3.3 Pipehandling

Bei der Tiefbohranlage kommen umfangreiche maschinelle Einrichtungen für das Pipehandling zum Einsatz.

Mit dem Haken-Retraktor-System wird eine Überlappung von Arbeitsgängen beim Ein- und Ausbau des Bohrgestänges dadurch erreicht, daß Haken und Kloben bei Auf- oder Abfahrt ohne Hakenlast außerhalb der Bohrlochachse gefahren werden. Beim Fahren mit Last lenkt das Haken-Retraktor-System wieder in die Bohrlochachse ein. Für die Gesamtzahl aller geplanten Roundtrips ergibt sich hiermit bei Einsatz von 36,5 m-Bohrgestängezügen eine Zeiteinsparung von ca. 100 Tagen (25 %) gegenüber dem konventionellen System.

Die Pipehandling-Maschine mit Ver- und Entschraubeinrichtung führt alle Bohrgestänge- oder Futterrohrtransporte zwischen Liftsystem, Abstellflächen und Bohrloch durch. Mit der Ver- und Entschraubeinrichtung werden die Gewindeverbindungen des Bohrstrangs ver- und entschraubt und gekontert bzw. gebrochen.

Erst durch die Kombination mit der Pipehandling-Maschine ist eine optimale Ausnutzung des Haken-Retraktor-Systems gegeben. Zusätzlich zwingen weitere technische, sicherheitliche und wirtschaftliche Gründe wie Materialschonung, Personaleinsparung und physische und psychische Beanspruchung der Bohrmannschaft zum Einsatz eines solchen Systems.

Der Bohrstrang wird mit fernbedienten Keilen abgefangen. In großen Teufen wird die Last nicht in Keilen abgefangen, sondern mit einem neu entwickelten Doppelevator-System. Dieses System ermöglicht zwar nur eine geringe Zeitersparnis, ist jedoch aus

Gründen der Materialschonung und des sicheren Betriebs bei großen Bohrstrang-Absetzlasten unbedingt notwendig.

Das Liftsystem wird während des Bohrens für den zugweisen Transport von Bohrgestänge zwischen Bohrgestängelager und Bohrturm eingesetzt. In Kombination mit einem Bohrstrang-Prüfzentrum und einer horizontalen Ver- und Entschraubvorrichtung im Bereich des Bohrgestängelagers können damit Bohrstranginspektionen rationell durchgeführt werden, ohne den Bohrbetrieb oder die wissenschaftlichen Arbeiten im Bohrloch zu behindern. Die dadurch erreichbare Zeiteinsparung beträgt ca. 120 Tage. Als zusätzliche maschinelle Einrichtungen können ggf. ein Kraftdrehkopf oder eine verlängerte Kellystange eingesetzt werden.

3.4 Energieversorgung

Die Verwendung der elektrischen Energie aus dem öffentlichen Netz gewährleistet einen wirtschaftlichen Energieeinsatz. Gegenüber einem dieselelektrischen Antrieb werden die Energiekosten um ca. 40 % gesenkt. Emissionen (Lärm, Abgase) wie bei dieselelektrischen Bohranlagen werden ausgeschlossen.

Die zum Betrieb erforderliche installierte elektrische Leistung beträgt ca. 8 MW. Davon entfallen ca. zwei Drittel auf die Versorgung der Hauptantriebe und ein Drittel auf die Nebenantriebe. Durch die beiden Diesellaggregate ist eine Notstromversorgung geschaffen, die schnell zur Verfügung steht und ein begrenztes Weiterarbeiten der Bohranlage und ihrer Hilfsantriebe erlaubt. Die Auslegung der Generatoren stellt sicher, daß auch der unter bestimmten Lastbedingungen große Blindleistungsanfall der Elektroantriebe gedeckt werden kann.

Die eingesetzten Gießharztransformatoren sind wartungsfrei, feuchtesicher, schwer brennbar und selbstverlöschend. Außerdem können sich bei Lichtbogeneinwirkung keine toxischen Gase bilden.

Die dynamische Kompensationsanlage, die direkt an die Mittelspannungsschaltanlage angeschlossen ist, reagiert sehr schnell auf Veränderungen der induktiven Blindleistung und garantiert damit eine Stabilisierung der Netzspannung und eine Verminderung von Spannungsverzerrungen. Der Einsatz von Gleichstromnebenschlußmotoren, die über Thyristorstromrichter an das Drehstromnetz angeschlossen werden, hat gegenüber frequenzgeregelten Drehstrommotoren große wirtschaftliche Vorteile. Mit der gewählten Antriebsart finden ausgereifte Motoren Verwendung, die in standardisierter Form seit langem in der Bohrinindustrie eingesetzt werden. Die Wahl der Motorkühlung mit geschlossenen Luft-/Wasserkühlern und Filtern stellt eine effektive Kühlart dar, die die Verschmutzungsgefahr reduziert und einen einfachen Explosionsschutz in der Zündschutzart "Überdruckkapselung" ermöglicht.

Beim Antrieb des Hebewerks ist durch Einsatz eines 4-Quadranten-Betriebs eine bremsende und treibende Fahrweise in beiden Fahrrichtungen gegeben. Damit können von der elektrischen Anlage Bremsenergien in das Netz zurückgespeist werden. Die unterbrechungsfreie Stromversorgung läßt den Anschluß von Niederspannungssystemen, deren Stromversorgung gesichert sein muß, zu. Der Anschluß von Datenspeicher- und kontinuierlichen Meßsystemen ist damit ermöglicht.

3.5 Spülungsanlage

Die Spülungsanlage ist speziell auf die Erfordernisse der KTB-Tiefbohrung zugeschnitten. Sie wird von einer zentralen Warte mit angeschlossenem Labor überwacht.

Der Auslauf der Spülung aus dem Bohrloch und die Auslaufrinne können offen oder geschlossen betrieben werden. Der Auslauf ist durch eine Stopfbuchse abgedichtet, um das Entweichen von Gasen zu verhindern. Die Auslaufrinne vom Bohrlochkopf zur Spülsaufbereitung ist über beidseitig angeordnete Laufstege zugänglich. Die Rinne wird aus zusammengeflanschten, austauschbaren Segmenten mit Meßwertaufnehmern gebildet. An die Auslaufrinne ist ein System zur verdampfungsfreien Rückkühlung der Spülung angeschlossen. Es arbeitet als indirektes Kühlsystem mit zwei Wärmetauschern, die alternierend betrieben werden. Als Kühlmedium wird Wasser verwendet. Die Rückkühlung des Kühlmediums erfolgt über Luftkühler. Der bei der Rückkühlung anfallende Wärmestrom wird zu Heizzwecken genutzt.

Die Tankanlage für Aktivspülung besteht aus dem Tank mit den Einrichtungen zur Spülsaufbereitung, dem Zwischentank und dem Saugtank. Zur Spülsaufbereitung sind zwei Tandem-Doppeldeck-Schüttelsiebe mit Sandabsetzkammern, ein Vakuumentgaser, ein Entsander und ein Entsilberer vorgesehen.

Der Zwischen- und der Saugtank weisen zusammen ein Volumen von 150 m³ auf. In den Saugtank ist der Piltank integriert.

Alle Tanks für Aktivspülung sind auf Beton-Schwellenfundamente aufgesetzt, mit Unter- und Überläufen versehen und über eine Spülungsrinne verbunden. Die Sauganschlüsse der Spülpumpen werden in den Tankboden verlegt. Damit ist eine variable Führung der Aktivspülung mit Umgehung einzelner Aufbereitungsstufen möglich.

Die Tankanlage für Reservespülung hat ein Nutzvolumen von 250 m³. Sie wird aus drei ebenfalls auf Betonschwellen aufgesetzten Einzeltanks gebildet. Die Tanks für Reservespülung sind wie die Tanks für Aktivspülung mit Rührwerken und Niederdruck-Unterflur-Spülungswirblern ausgestattet. Zusätzlich ist eine aus zwei Beton-Rundtanks à 700 m³ Inhalt bestehende Tankanlage für Spülung zu Meßzwecken vorgesehen. Die Tanks sind frostsicher ins Erdreich eingelassen. Einer der Tanks dient zur Speicherung einer feststofffreien Spülung zu Meßzwecken. Der andere

nimmt beim Einzirkulieren der Meßspülung in das Bohrloch die austretende Spülung auf. Eine Vermischung beider Spülungen wird ausgeschlossen und ein kontinuierlicher Betrieb erreicht. Die Rundtanks sind mit Rührwerken ausgestattet. Die Befüllung erfolgt über ein Rinnensystem, die Entleerung mit Transferpumpen. Die Spülungsfabrikation der Spülungsanlage besteht aus Lagerbehältern für pulverförmige und flüssige Zuschlagsstoffe und Additive, Dosier- und Transporteinrichtungen und einem runden Mischtank. Bei entsprechend vorgegebenen Rezepturen erfolgt das Anmischen von Spülung rechnergestützt.

Die hydraulische Leistung wird von zwei 1.600 PS-Triplex-Spülpumpen erbracht. Sie sind mit 350 bar-Standard-Wasserkörpern ausgerüstet. 500 bar-Hochdruck-Wasserkörper in Plunger-Ausführung sind beigelegt. Die Spülpumpen saugen bei geringen Hubzahlen direkt aus dem Saugtank. Bei größeren Hubzahlen wird der Saugvorgang durch Ladepumpen unterstützt. Für das Kernbohren kann eine weitere spezielle Spülpumpe installiert werden. Alle Einrichtungen der Spülungsanlage sind, mit Ausnahme der Tanks für die Spülung zu Meßzwecken und der vier Außensilos für Spülmittel, in einem dreiteiligen Gebäude untergebracht. Die Spülmittelaufbereitung steht unter einem Schleppdach. Durch die Überdachung der Spülungsanlage wird eine Kontamination mit Regenwasser ausgeschlossen, und die Arbeitsplatzbedingungen im Bereich der Spülungsanlage werden verbessert.

3.6 Meßtechnik und Datenerfassung

In das Konzept der Tiefbohranlage sind umfangreiche Meß- und Datenerfassungssysteme integriert. Die Systeme arbeiten rechnergestützt. Bohr- und anlagentechnische Daten werden ebenso wie wissenschaftliche Daten mit Meßwertaufnehmern ermittelt und über einen Zentralrechner weiterverarbeitet, d. h. angezeigt, gespeichert oder zur Analyse genutzt.

3.7 Technische Daten der KTB-Bohranlage

Bohrturm

Gesamthöhe	75,0 m
Freie Höhe über Arbeitsbühne	60,0 m
Höhe der Arbeitsbühne	11,0 m
Freie Unterbauhöhe	9,6 m
Hakenregellast	5.500 kN
Hakenausnahmelast	8.000 kN
Drehtischträgerlast	8.000 kN
Abstelllast	8.000 kN + 5.500 kN oder
(gleichzeitig wirkend)	6.000 kN + 2 x 5.500 kN

Hebewerk

Eingangsleistung	2.940 kW (4.000 PS)
Anzahl der Antriebsmotoren	4
Anzahl der Gänge	4

Seil	1 3/4"-EIPS
Fassungsvermögen der Seiltrommel	660 m
Anzahl der Wickellagen	4
Breite der Seiltrommel	2,3 m
Seilzugkraft in der 2. Wickellage	828 kN
Max. Fahrgeschwindigkeit	20,17 m/s

Drehtisch

Drehtischlast	5.500 kN
Drehtischlast (nach oben)	2.500 kN
Eingangsleistung, max.	550 kW
Drehzahl	0 - 330 U/min.
Drehmoment, max.	40.000 Nm
Drehtischdurchgang	27 1/2"

Pipehandling

Pipehandling-Maschine	Handhabung von bis zu 40 m langen Bohrgestängezügen
Ver- und Entschraubungsvorrichtung Liftsystem	im Bohrturm und auf dem Ge- stängelager für den Trans- port von bis zu 8 Bohrge- stängezügen zwischen Gestän- gelager und Bohrturm

Energieversorgung

Installierte Leistung	8 MW, elektrisch aus dem öffentlichen Netz
Leistung für Notbetrieb	1.600 kW (Dieselgeneratoren)

Spülungsanlage

Spülpumpen-Typ	TRIPLEX TPK 7" x 12"
Anzahl der Spülpumpen	2 (3)
Max. Eingangsleistung je Pumpe	1.193 kW
Hydraulische Leistung der Spülpumpen mit 350-bar- Wasserkörpern	254 bar; 5.066 l/min.
Hydraulische Leistung der Spülpumpen mit 500-bar- Wasserkörpern	513 bar; 2.508 l/min.
Volumen der Tankanlage für Aktivspülung	150 m ³
Volumen der Tankanlage für Reservespülung	250 m ³
Volumen der Tankanlage für Spülung zu Meßzwecken	2 x 700 m ³
Volumen des Pilltanks	8 m ³
Volumen des Triptanks	8 m ³
Fläche des Schüttelsiebes	6 m ²
Kapazität des Vakuumentgasers	3.800 l/min.
Kapazität des Entsanders	5.700 l/min.
Kapazität des Entsilfers	4.500 l/min.

4. Vergleich der KTB-Bohranlage mit einer Standard-Bohranlage

Um die Besonderheiten der KTB-Bohranlage mit einer für die Aufsuchung von Kohlenwasserstoffen üblichen Bohranlage zu vergleichen, wurde eine Gegenüberstellung ausgearbeitet. In ihr sind die wichtigsten Kriterien für die Beurteilung einer Bohranlage angeführt. Ein Vergleich der Bohranlagenkomponenten schließt sich an. Zusätzlich sind im tabellarischen Vergleich die Auswirkungen der Neuerungen bei der KTB-Konzeption hervorgehoben. Die Auswirkungen werden teilweise durch Zeit- oder Kosteneinsparungen quantifiziert. Im einzelnen ergeben sich im Vergleich zu einer Standard-Bohranlage durch reduzierten Personaleinsatz Einsparungen von ca. DM 7,2 Mio DM. Weiterhin lassen sich bei

Roundtrips	65 Tage
Bohrstranginspektionen sowie durch höhere Hebewerksleistung	120 Tage
Haken-Retraktor-System	24 Tage
bis zu 80-t-Seilgebinde	100 Tage
insgesamt	<u>14 Tage</u> 323 Tage

einsparen.

Einschließlich der geringeren Personalkosten führt dies im Vergleich zu einer Standard-Bohranlage bei einem angenommenen Tagessatz von 30.000 bis 50.000 DM zu Betriebskosteneinsparungen zwischen 16,9 Mio und 23,4 Mio DM.

4.1 Vergleich der KTB-Bohranlage mit einer Standard-Bohranlage anhand wichtiger Kriterien

Kriterium	KTB-Konzeption	Standardausführung	Vorteile der KTB-Konzeption
Bohranlage	konzipiert für stationären Forschungsbetrieb	konzipiert für Kurzeiteinsatz und häufige Umbauten. Einsatz für das Abteufen von Bohrungen zum Aufsuchen und Gewinnen von Kohlenwasserstoffen	<ul style="list-style-type: none"> - funktionelle und räumliche Trennung zwischen Geowissenschaft und Bohrtechnik - optimal für die Gewinnung von Bohrkernen und die Durchführung von Bohrlochmessungen - Führung von Besuchergruppen ohne Beeinträchtigung des laufenden Betriebs
Gebäude	Einrichtungen in Gebäuden untergebracht	Einrichtungen im Freien oder in Containern untergebracht	<ul style="list-style-type: none"> - geringe Umweltbelastungen durch Vermeidung von Emissionen und Verunreinigung von Regenwasser - besserer Schallschutz - bessere und sicherere Arbeitsplatzbedingungen - Einpassung in das Landschaftsbild besser möglich - Schutz der Einrichtungen, dadurch geringere Instandhaltungskosten - erhöhte Frostsicherheit
Teufenkapazität	15.000 m	6.000 - 9.000 m	- Die KTB-Anlage ist speziell für dieses Projekt konzipiert.
Betriebsdauer	8 Jahre Weiter Nutzung als Tiefenlabor	1 bis 2 Jahre pro Bohrung	<ul style="list-style-type: none"> - feste Einrichtungen möglich, Gebäude - optimaler Witterungsschutz - auf das Projekt abgestimmte Arbeitsplatzbedingungen
Personalbedarf	22 Personen	31 Personen	- Einsparung von ca. 7,2 Mio DM

4.2 Vergleich der KTB-Bohranlage mit einer Standard-Bohranlage anhand wichtiger Anlagenkomponenten

Komponente	KTB-Konzeption	Standardausführung	Vorteile der KTB-Konzeption
Bohrturm	stationärer Bohrturm, verschraubte Konstruktion, vollverkleidet	transportabler Bohrmast, verbolzte Konstruktion, Verkleidung nur im Bereich der Arbeitsbühne	<ul style="list-style-type: none"> - stationärer Bohrturm ermöglicht großzügige bauliche Anpassung an Erfordernisse der Wissenschaft und der Bohrtechnik, transportable Ausführung zwingt zu Kompromissen - kein Verschleiß, da geschraubte und geschweißte Verbindungen (Bolzenverbindungen neigen zum Ausschlagen) - Vollverkleidung bietet optimalen Witterungs-, Umwelt- und Schallschutz
Bohrgerüst	freie Gerüsthöhe 60 m, geeignet für 40 m-Bohrgestängezüge und Kraftdrehkopf	freie Masthöhe ca. 45 m, geeignet für 27,4 m-Bohrgestängezüge, bedingt für Kraftdrehkopf geeignet	<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz längerer Züge und damit für die vorgegebenen Roundtrips Zeiteinsparungen von 65 d (entsprechen bei einer Tagesrate von 30.000-50.000 DM einer Einsparung von 2-3,3 Mio DM) - Kraftdrehkopf gestattet kontinuierliches und sicheres Bohren
	Personenaufzug	Unterbautreppe/Mastleiter	<ul style="list-style-type: none"> - schneller, sicherer Aufstieg, keine Ermüdung des Personals - gefahrlose Führung von Besuchergruppen möglich
	Zwei 40 m hohe Öffnungen mit fernbetätigten Schiebetoren	eine Mastöffnung, manuell zu betätigende Tore	<ul style="list-style-type: none"> - auch bei Einsatz einer Pipehandling-Maschine ist der freie Zugang durch die zweite Öffnung gegeben - Kernrohrtransport ist jederzeit ungehindert möglich - sicheres Öffnen und Schließen der Tore
	Basismaß 12,5 x 12,5 m, steht bis über Fingerbühne zur Verfügung	Basismaß 10 x 10 m, nach oben verjüngt	<ul style="list-style-type: none"> - 50 % mehr Raum im Bohrgerüst - zwei Fingerbühnen mit Umlaufbühnen finden Platz - Eckstiele des KTB-Bohrgerüsts geben die gesamte Fläche der Arbeitsbühne zur Nutzung frei
Unterbau	Stationärer Unterbau als verschraubte Konstruktion vollverkleidet, frei zugängliche Bauweise	transportabler Unterbau, als verbolzte offene Konstruktion für den Auf-, Abbau und Transport konzipierte, verschachtelte Bauweise	<ul style="list-style-type: none"> - einfache, wirtschaftliche Bauweise, kein Ausschlagen der Bolzenverbindungen während des Betriebes - Installation des Hebewerks im Unterbau möglich - im Unterbau lassen sich in geschütztem Raum Spülrückkühlung, Triptank, Arbeitsbühnen für Preventeraufbau etc. unterbringen - sichere Handhabung der Preventer

Komponente	KTB-Konzeption	Standardausführung	Vorteile der KTB-Konzeption
Arbeitsbühne	156 m ² Arbeitsfläche	100 m ² Arbeitsfläche	<ul style="list-style-type: none"> - 50 % mehr Fläche auf der Arbeitsbühne - Abstellkapazität für zwei komplette Bohrstränge - keine Einschränkung der Arbeitsbereiche für wissenschaftliche und bohrtechnische Aktivitäten - gegenseitige Beeinträchtigungen und Gefährdungen werden vermieden
	Hebewerk im Unterbau	Hebewerk auf Arbeitsbühne	<ul style="list-style-type: none"> - keine Verringerung der Arbeitsbühnenfläche durch Hebewerk - geschützte Unterbringung des Hebewerks - geringerer Schallpegel auf der Arbeitsbühne - geringere Lärmbelastigung der Umwelt und weniger Körperschall durch Schallabsorption im Erdreich
	zwei Doghouses	ein Doghouse	<ul style="list-style-type: none"> - großzügige Platzverhältnisse für Wissenschaft und Bohrtechnik
	Anordnung der Fahrerkanzel mit direktem Blick auf Haken, Drehtisch, Fingerbühnen und Pipehandling-Maschine	Fahrseil und Haken seitlich neben Fahrstand	<ul style="list-style-type: none"> - gute Übersicht
Hebewerk	Hebwerksleistung 4.000 PS	Hebwerksleistung 3.000 PS	<ul style="list-style-type: none"> - Zeiteinsparungen ca. 24 Tage (entsprechen bei einer Tagesrate von 30.000 - 50.000 DM einer Einsparung von 0,7 - 1,2 Mio DM) durch bessere Beschleunigungen und höhere Hakengeschwindigkeiten unter Last
	Hebewerk ferngesteuert	Hebewerk direkt gesteuert	<ul style="list-style-type: none"> - Fernsteuerung gewährleistet Feinfühligkeit bei Servowirkung - Servowirkung ermöglicht auch bei Abrieb der Reibbeläge die erforderlichen Bremskräfte der Haltebremse
	Steuerung teilautomatisiert und rechnergestützt	Steuerung manuell	<ul style="list-style-type: none"> - günstige Beschleunigungs- und Verzögerungswerte auch bei häufigen und langen Roundtrips - Zeit- und Sicherheitsgewinn - Begrenzungen der Stromspitzen möglich
	Nachlaßvorrichtung formschlüssig	Nachlaßvorrichtung reibschlüssig	<ul style="list-style-type: none"> - die formschlüssige Nachlaßvorrichtung ermöglicht geräuscharmen Betrieb - im Notbetrieb Heben der Hakenregellast möglich

Komponente	KTB-Konzeption	Standardausführung	Vorteile der KTB-Konzeption
Hebewerk	Zusatzbremse durch generatorischen Betrieb der Antriebsmotoren	kein generatorischer Betrieb, da im allgemeinen von Dieselaggregaten angetrieben	<ul style="list-style-type: none"> - Zusatzbremse wirkt energiesparend - neben der generatorischen steht eine zweite Zusatzbremse zur Verfügung und erhöht somit die Sicherheit
	Notbremse	nicht üblich	<ul style="list-style-type: none"> - federbelastete Notbremse erhöht die Sicherheit
	Fahrseiltrommelbreite ca. 2.300 mm	Fahrseiltrommelbreite ca. 1.570 mm	<ul style="list-style-type: none"> - bei Verwendung von 36,5 m-Bohrgestängezügen erhöht sich die eingesicherte Seillänge gegenüber 27,4 m-Zügen um ein Drittel. Die verlängerte Fahrseiltrommel erhöht das Fassungsvermögen um 46 % und ermöglicht den Betrieb in einer wirtschaftlichen Seillage - hohe Zugkraft durch niedrige Seillage
	Antrieb reversierbar	nicht üblich	<ul style="list-style-type: none"> - motorisches Beschleunigen der Massen begünstigt die Abfahrt des leeren Hakens (Zeiteinsparung)
Hebesystem	Klobenführung mit Haken-Retraktor-System	freier Kloben	<ul style="list-style-type: none"> - Haken-Retraktor-System ermöglicht für 36,5 m-Züge 100 Tage Zeiteinsparung für alle Roundtrips (entsprechen bei einer Tagesrate von 30.000 - 50.000 DM einer Einsparung von 3 - 5 Mio DM)
	Fahrseil 1 3/4" in bis zu 80 t-Gebinden	1 1/2" - 1 5/8" als ca. 20 t-Gebinde	<ul style="list-style-type: none"> - Reduzierung der totalen Verschnittlänge, dickeres Seil muß weniger häufig nachgenommen und gekürzt werden, dadurch Zeiteinsparungen bis zu 14 Tagen (entsprechen bei einer Tagesrate von 30.000 - 50.000 DM einer Einsparung von 0,4 - 0,7 Mio DM)
Drehtisch	Standardausführung, API-Anforderungen übertreffend	Standardausführung API gemäß	<ul style="list-style-type: none"> - erhöhte zulässige Drehtischlast von 5.500 kN - Beanspruchung von unten möglich mit 2.500 kN - geräuscharmer Betrieb durch Bogenverzahnung
Pipehandling-Maschine	Einsatz einer Pipehandling-Maschine in beiden Abstellbereichen möglich, Pipehandling-Maschine mit Ver- und Entschraubeinrichtung, Be- und Entladen des Liftsystems möglich	nicht üblich	<ul style="list-style-type: none"> - Materialschonung, automatische Kontrolle der eingegebenen Verschraubmomente, Entlastung des Personals, Handhabung auch von 40 m-Bohrgestängezügen, Personaleinsparung - Entlastung des Bohrlochs von Nebenarbeiten - erhöhte Arbeitssicherheit

Komponente	KTB-Konzeption	Standardausführung	Vorteile der KTB-Konzeption
Rohr- und Gestängelager	Separates Rohr- und Gestängelager mit Rutschen	gemeinsames Rohr-/ Gestängelager mit Rutsche	<ul style="list-style-type: none"> - größere Kapazität und Flexibilität für den Transport zwischen Turm und Lager - Separates Rohrlager vermeidet Blockierung des Gestängelagers vor und während des Rohreinbaus
	Gestängelager mit Ver- und Entschraubeinrichtung	nicht üblich	<ul style="list-style-type: none"> - Züge werden auf dem Lager formiert und nicht im Bohrloch - keine Blockierung des Bohrlochs - Zeiteinsparung für Bohrstranginspektionen ca. 120 Tage (entsprechen bei einer Tagesrate von 30.000 bis 50.000 DM einer Einsparung von 3,6 - 6 Mio DM)
	Bohrstrang-Prüfzentrum	nicht üblich	<ul style="list-style-type: none"> - witterungsgeschützter Arbeitsplatz, sicheres Prüfergebnis
<hr/> Liftsystem	Transport zwischen Gestängelager und Bohrgerüst mit Liftsystem für 40 m-Bohrstränge	Transport mit Seilwinden über Rutsche	<ul style="list-style-type: none"> - Liftsystem ermöglicht den Transport ganzer Bohrsträngezüge zwischen Turm und Lager - rationelle Bohrstranginspektion ohne Beeinträchtigung der Bohr-, Kern- und Meßtätigkeit
<hr/> Doppel-Elevator-System	Doppelelevatoren bei hohen Stranglasten in Verbindung mit Dualschulter-Bohrsträngeverbindern	Wechselelevatoren bei hohen Stranglasten	<ul style="list-style-type: none"> - erhöhte Arbeitssicherheit - kein Wechsel und Umschlagen der Elevatorbügel erforderlich - Zeitersparnis - Fernbetätigung der Elevatoren problemlos möglich - gedämpftes Abfangen des Bohrstrangs
<hr/> Energieversorgung	Direktanschluß an 20 kV-Mittelspannungsnetz mit dyn. Blindstromkompensation und Energierückspeisung Rechnerüberwachung zur Vermeidung von Stromspitzen	dieselektrischer Antrieb	<ul style="list-style-type: none"> - 40%ige Energiekosteneinsparung durch Bezug aus öffentlichem Netz - Ausschaltung von Emissionen (Lärm, Abgase) - geringere Investitionen und Wartungskosten
	Unterbrechungsfreie Stromversorgung	nicht üblich	<ul style="list-style-type: none"> - gesicherter Betrieb von Datenspeichern und Meßgeräten
<hr/> Spülungsanlage	geschlossener Auslauf, geschlossene Auslaufrinne sektionweise austauschbar, mit zwei Begleitlaufstegen in geschlossener Brücke	offener Auslauf, offene Auslaufrinne oder geschlossenes Auslaufrohr	<ul style="list-style-type: none"> - geschlossener Auslauf ermöglicht Probenahme ohne Luftzutritt - Begleitstege in geschlossener, überdachter Brücke ermöglichen Zugang zu den Meßeinrichtungen in der Auslaufrinne

Komponente	KTB-Konzeption	Standardausführung	Vorteile der KTB-Konzeption
Spülungsanlage	Spülrückkühlung mit Wärmetauschern	nicht üblich	<ul style="list-style-type: none"> - Spülrückkühlung kontinuierlich, verdampfungsfrei möglich - Nutzung der Abwärme zu Heizzwecken
	Triptank im Unterbau	Triptank neben Unterbau	<ul style="list-style-type: none"> - geschützte, frostsichere Anordnung
	Tankanlage in Halle untergebracht, Halle belüft- und beheizbar	offene Tankanlage im Freien	<ul style="list-style-type: none"> - Schutz vor Umwelteinflüssen ist gegeben - Verschmutzung der Umwelt wird vermieden - keine Kontaminierung des Regenwassers - frostsicher - keine Verdünnung der Spülung durch Regenwasser
	Tanks für stationären Einsatz mit glatten Böden auf Schwellenfundamenten gelagert, Leitungsführung außerhalb des Tanks	mobile Tanks mit Ölfeldschlitten auf Fundamentplatte, Leitungsführung weitgehend innerhalb der Tanks	<ul style="list-style-type: none"> - Aufstellung und glatte Böden ermöglichen Zusatzkühlung durch bessere Umströmungen und gestatten die Installation der Sauganschlüsse in den Boden, dadurch Nutzung des max. Tankvolumens, verbesserte Zugänglichkeit, bessere Reinigungsmöglichkeit, wartungsfreundlicher - keine Behinderung der Verwirbelung durch Einbauten
	Spülsaufbereitungsanlage auf separatem Tank	Spülsaufbereitung auf Tanks	<ul style="list-style-type: none"> - gesonderte Anordnung ergibt größere Flexibilität für den Einsatz von Spülsaufbereitungsaggregaten
	Siebfläche mehr als 6 m ² , zwei Absetzkammern	Siebfläche kleiner, einfache Absetzkammer	<ul style="list-style-type: none"> - große Siebfläche ermöglicht feinere Abscheidung, zwei Absetzkammern gewährleisten kontinuierlichen Betrieb
	Zusatztankanlage für feststofffreie Flüssigkeit zu Meßzwecken als Erdtanks	nicht üblich	<ul style="list-style-type: none"> - Austausch der Spülung gegen eine feststofffreie Flüssigkeit ohne gegenseitige Vermischung möglich - erhöhte Frostsicherheit
	Spülfabrikation mit Misch tanks, teilautomatisierten Dosiereinrichtungen in Spülungshalle, Silos an der Spülungshalle, zentrale Mischstation und Spülungswarte mit Labor	einfache Spülfabrikation im Freien	<ul style="list-style-type: none"> - staubfreie Handhabung - Belastung der Umwelt und des Personals wird vermieden - gesonderter Mischtank erhöht die Effizienz und ermöglicht schnelles Anmischen großer und kleiner Mengen - Personalbedarf gering - Integration Spülungsüberwachung/Labor und Fabrikation

Komponente	KTB-Konzeption	Standardausführung	Vorteile der KTB-Konzeption
Spülpumpen	Triplex-Ausführung mit Standardwasserkörpern bis 350 bar und Hochdruck-Wasserkörpern bis 500 bar, Steigleitung und Spülkopf für 500 bar, zentrales Kühlsystem für Zylinderbuchsen	Triplex- oder Duplex-Ausführung mit Standardwasserkörpern, Steigleitungen und Spülkopf für max. 350 bar, jede Pumpe separates Kühlsystem	<ul style="list-style-type: none"> - Druckstufe 500 bar erreichbar - bessere Kühlung durch Filter und größere Wassermenge, geringerer Verbrauch von Zylinderbuchsen und Kolbenmanschetten
Meßtechnik	Datenerfassung und -verarbeitung rechnergestützt	Datenerfassung nicht rechnergestützt, Datenverarbeitung nur begrenzt möglich	<ul style="list-style-type: none"> - erhöhte Betriebssicherheit - zentrale Erfassung aller Daten - Rechnerunterstützung verbessert die Auswertbarkeit und Dokumentation der Meßwerte und Daten - bessere Datenüberwachung - Datenfernübertragung wird vereinfacht - Früherkennung von veränderten Bohrlochbedingungen