

# **Stand der Technik und neue Entwicklung zur online Bohrlochvermessung**

**N. Schneider**

**GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH, Berlin**

## **1 Einleitung**

Die Anforderungen an die Bohrergenauigkeit im Spezialtiefbau erhöhen sich mit den Herausforderungen bei innerstädtischen Tiefbaumaßnahmen. Die Bohrlochverläufe werden entweder über Polygonzüge aus Polar- oder aus kartesischen Koordinaten aufgebaut. Derzeit hat sich eine Vielzahl von Vermessungssystemen auf dem Markt etabliert, die entweder für vertikale Bohrungen oder für Tunnelbaumaßnahmen Anwendung finden. Speziell für die Düsenstrahltechnik wurden Kontaktkupplungen entwickelt, die das Düsenstrahlgestänge in ein Ketteninklinometer verwandeln, mit dem Vorteil, dass die Daten der Bohrlochverlaufsvermessung jederzeit in Echtzeit abgerufen werden können, was sich deutlich auf die Qualität der Düsenstrahlarbeiten auswirkt.

## **2 Erhöhte Anforderungen an Bohrungen im Spezialtiefbau**

### **2.1 Ankerbohrungen**

Kreuzende Anker an einspringenden Baugrubenecken stellen eine besondere Herausforderung dar, da sich die Anker planmäßig überlagern und bei unzulässigen Bohrabweichungen die Gefahr besteht, dass bereits gebohrte oder gespannte Anker durch die Bohrung beschädigt werden. Erst mit der Auswertung der tatsächlich erreichten Bohrlochverläufe kann eine gegenseitige Beschädigung ausgeschlossen werden. Ähnlich sind die Herausforderungen, wenn mit 20 m tiefen Bohrungen an vorhandenen U- Bahn-Linien planmäßig vorbeigebohrt werden soll.



Abb. 1: Kreuzende Anker an Baugrubenecke (Knitsch & Pandrea, 2008)

## 2.2 Vereisungsbohrungen

Bohrungen für das Bodenvereisungsverfahren erfordern höchste Präzision. Die Vereisungskörper entwickeln sich aus den Bohrungen und sollen planmäßig einen durchgängigen Frostkörper bilden. In erster Näherung muss bei einer Lageabweichung von 1 % der Bohrlänge die Messgenauigkeit bei 0,1 % liegen. Für die Baustelle U5 in Berlin wurden 95 Bohrungen mit einer Bohrlänge von 105 Metern hergestellt. Dies setzt voraus, dass die Bohrungen steuerbar sind. Die Messgeschwindigkeit spielt bei diesem Verfahren eine untergeordnete Rolle. Die Vereisung beginnt erst, wenn alle Bohrungen abgeschlossen sind.

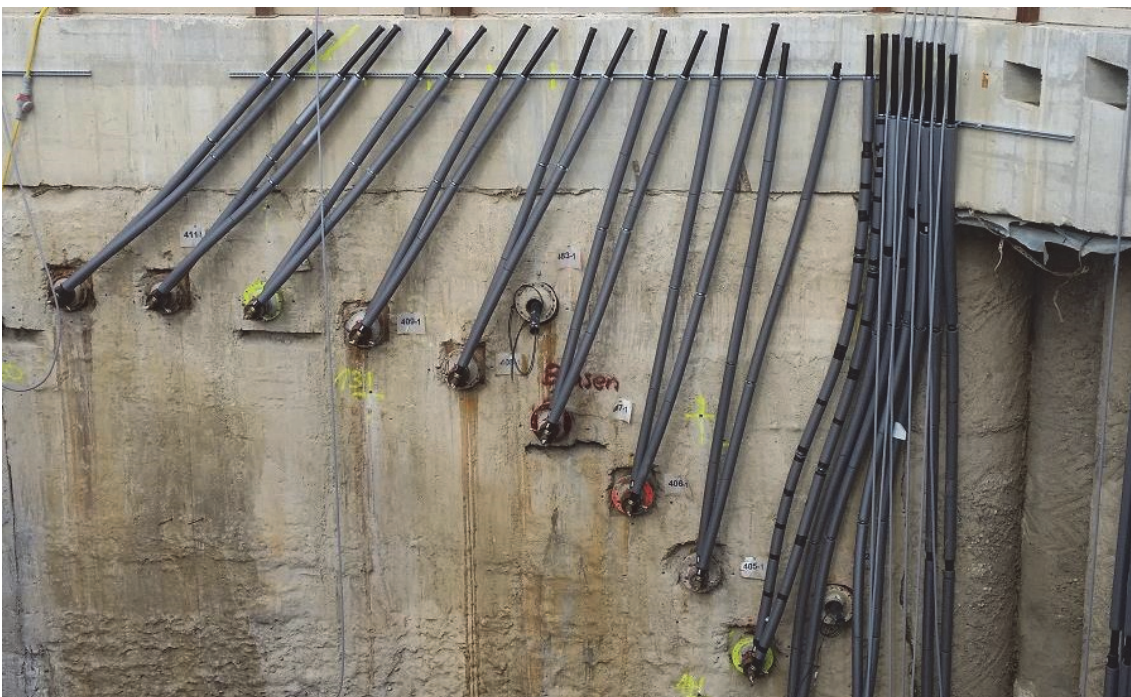


Abb. 2: Bohrungen im Bodenvereisungsverfahren (DB Netz AG, 2017)

## 2.3 Rohrschirme

Für die Erstellung eines Rohrschirmes im Tunnelbau werden viele dicht aneinander liegende Bohrungen notwendig. Die exakte Lage ist unabdingbar. Teilweise werden sehr lange Bohrungen benötigt. Das erhöht die Anforderungen zusätzlich. Bei hohen Anforderungen muss ein steuerbares Bohrverfahren verwendet werden, um auf Bohrabweichungen reagieren zu können.

So wurden bei einem Bohrverfahren in Katar Bohrtiefen bis zu 88 m erforderlich. Die ausgeschriebene Genauigkeitsanforderung wurde auf  $\pm 100$  mm in der vertikalen und  $\pm 50$  mm in der Horizontalen festgelegt. Um derart hohe Genauigkeitsanforderungen einhalten zu können, ist ein steuerbares Bohrverfahren und eine sofortige Verfügbarkeit der Messwerte auf der Baustelle notwendig. Nur so kann auf Bohrabweichungen reagiert werden.



Abb. 3: Bohrungen für Rohrschirm im Tunnelbau (Bohrtec Gesellschaft für Bohrentechnologie mbH, o.J.)

## 2.4 Düsenstrahlbohrungen

Bohrungen im Düsenstrahlverfahren erfordern eine hohe Anforderung an die Genauigkeit des Bohrlochverlaufes, da nur so wasserdichte Sohle hergestellt werden können. Nach DIN EN 12716 wird für vertikale Düsenstrahlbohrungen eine Abweichung von weniger als 2 % der Bohrtiefe vorgeschrieben.

Die technische Aufgabenstellung für dichte Düsenstrahlsohlen erhöht sich dadurch, dass der tatsächlich erreichte Durchmesser einer DSV-Säule nur geschätzt wird und nicht planmäßig gemessen. Bedingt durch die hohe Säulenanzahl wirkt sich die Messdauer für die Bohrungen auf die Bauzeit und den Kosten aus.

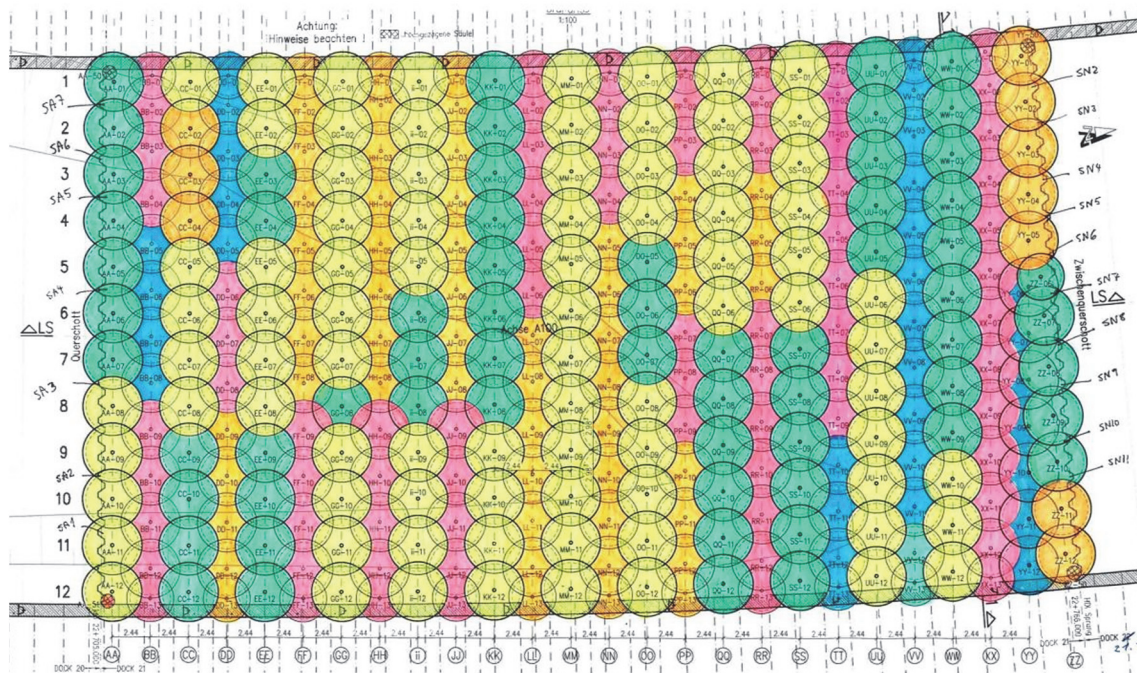


Abb. 4: Lageplan von Düsenstrahlsäulen für eine Dichtsohle

## 2.5 Injektionsbohrungen

Injektionsbohrungen werden in der Regel so ausgelegt, dass sich durch die Überlagerung der Injektionskörper zusammengesetzte Funktionselemente ergeben, wie Dichtsohlen oder Zwickelinjektionen. Für den Mosul-Damm im Irak werden derzeit Abdichtungsinjektionen durchgeführt, mit Bohrlängen in Teilbereichen von mehr als 100 Metern. Entscheidend für einen technischen Erfolg der Dammsanierungsmaßnahmen ist die Kenntnis der Bohrabweichungen gegenüber den planmäßigen Bohrlochverläufen, sodass Injektionsparameter wie Druck und Menge planungskonform eingesetzt werden können.

## 2.6 Hebungsbohrungen

Für Hebungsinjektionen müssen die Lage der Öffnungen der Injektionsventile genau bekannt sein, um gemessene Setzungen exakt ausgleichen zu können. Die Abstände der Bohrungen betragen etwa 2 - 4 m. Oftmals werden große Bohrlängen benötigt, da die Bohransatzpunkte durch die bestehende Randbebauung eingeschränkt sind und Sparten und die Achse der Vortriebsmaschine die Bohrrichtung beeinflussen.

# 3 Grundlagen der Bohrlochvermessung

Die Bohrlochverläufe können entweder während der Bohrung oder nach der Bohrung vermessen werden. Die nachträgliche Vermessung setzt eine Stützung der

Bohrung durch eine Verrohrung oder Stützsuspension voraus. Am häufigsten wird die Bohrung durch einen Polygonzug erfasst. Dabei werden häufig die **Inklination** (Winkel zwischen Bohrlochachse und Richtung der Gravitationskraft) und der **Azimut** (Winkel zwischen Nordrichtung und Bohrlochachse) gemessen. Alternativ ist bei vertikalen Bohrungen die Bestimmung auch mit Messungen der Inklination in zwei zueinander senkrechten Achsen möglich. Die Vermessung erfolgt schrittweise, in Relation zum vorherigen Messpunkt meist unter Referenz zum Bohransatzpunkt, der exakt einzumessen ist. Messfehler addieren sich auf und damit ist die Messgenauigkeit von der Bohrtiefe abhängig.

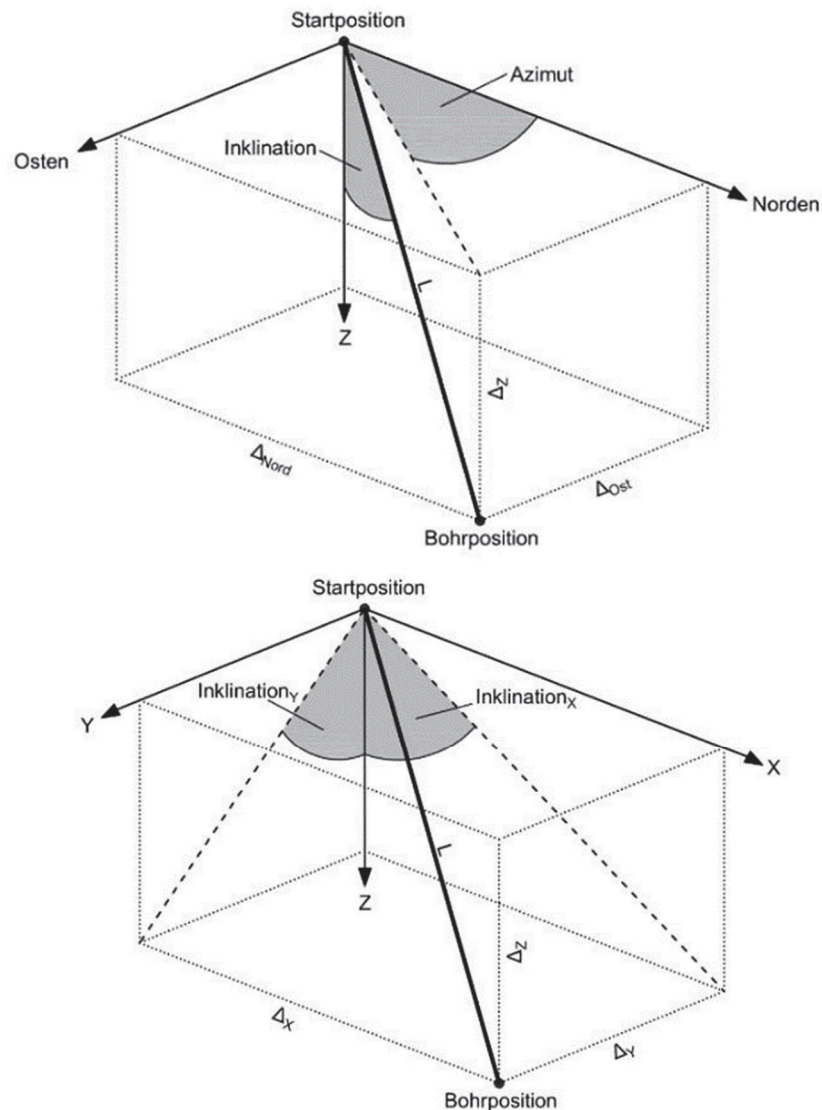


Abb. 5: Winkelbestimmung zur Bohrlochvermessung

Die Messung der **Inklination** erfolgt durch Neigungs- oder Beschleunigungssensoren. Neigungssensoren erfassen die gespeicherte elektrische Ladung, die sich mit der Neigung des Sensors proportional ändert. Beschleunigungssensoren verfügen über integrierte Mikrochips, die eine träge Masse verwenden, welche frei schwingend gelagert ist. Ändert sich die Neigung des Chips, so geht das einher mit

einer Änderung der Kapazität. Diese Chips sind nicht größer als eine 20 Cent Münze und lassen sich sehr gut in ein Gestänge einbauen.

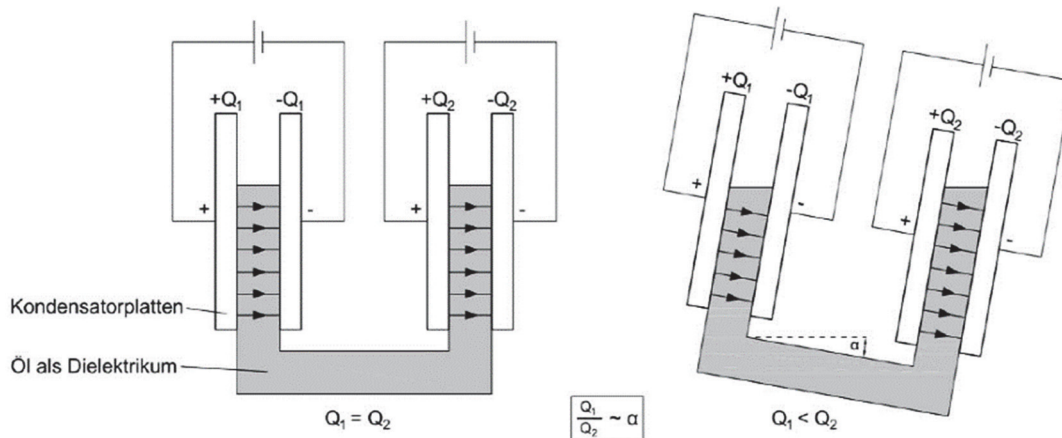


Abb. 6: Funktionsprinzip des kapazitiven Inklinometers

Der **Azimet** lässt sich entweder durch Magnetometer oder durch Kreiselssysteme bestimmen. Magnetometer bestehen aus zwei parallel angeordneten Primärspulen, die mit einem weichmagnetischen Kern ausgestattet sind. Die Spulen verlaufen gegensinnig, damit sich die induzierten Spannungen aufheben. Je parallel die Kerne zum Totalenvektor des Erdmagnetfeldes liegen, desto stärker sind die induzierten Spannungen. Die Spannungsstärke ist proportional zum Winkel des Totalenvektors. Damit kann die Neigung des Magnetometers bestimmt werden. Magnetometer unterliegen einer hohen Fehleranfälligkeit, weil Störeinflüsse wie metallische Gegenstände im Umfeld der Sonde die Messergebnisse verfälschen können, z. B. Bewehrungskörbe, Spundwände, Stromleitungen oder das metallische Bohrgestänge selbst.

Kreiselssysteme basieren auf der Positionsbestimmung durch Gravitationskraft und Erdrotation. Neben den klassischen, mechanischen Kreiseln, die nach dem Prinzip der Drehimpulserhaltung arbeiten, haben sich Kreisel mit MEMS-Technologie und optische Kreisel durchgesetzt. Die Kreisel mit MEMS-Technologie besitzen eine in zwei Achsen schwingend gelagerte Prüfmasse, die in Rotation gebracht wird. Durch Erdanziehung, Erdrotation und Corioliskraft wird eine Kapazitätsänderung erzeugt, die den Rückschluss auf die Ausrichtung des Systems zulässt. Optische Kreisel dagegen bestehen aus zwei Glasfaserspulen, die gegenseitig gewickelt sind. Ein Lichtstrahl wird durch die beiden Spulen geschickt. In den Spulen sind die Lichtwellen den äußeren Kräften der Gravitation und der Erdrotation ausgesetzt. Eine Lichtwelle, die sich mit der Erdrotation bewegt hat eine minimale Phasenverschiebung gegenüber einer Welle, die sich entgegen der Erdrotation bewegt. Über diese Phasenverschiebung lässt sich die Ausrichtung des Kreisels bestimmen.

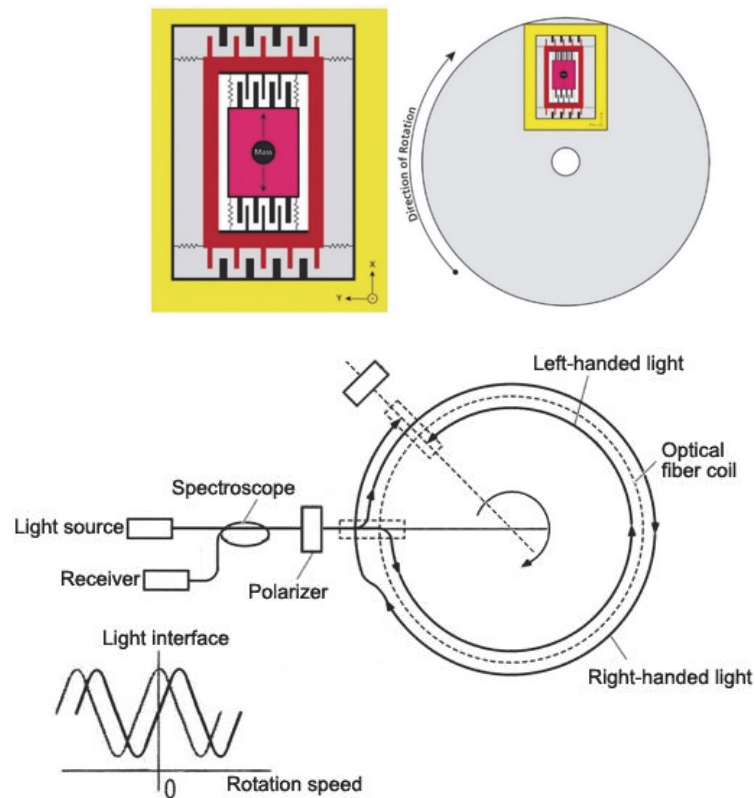


Abb. 7: Funktionsprinzip MEMS-Kreisel (oben) (Sieber, 2014),  
Optischer Kreisel (unten) (Neubrex Co. Ltd., 2007)

Mechanische Kreisel sind für ruhende Messungen sehr genau und erreichen eine Genauigkeit von  $\pm 0,5$  Grad zur Bestimmung des Azimuts. Kreisel mit der MEMS Technologie sind, ähnlich wie mechanischen Kreisel, sehr empfindlich gegenüber Erschütterungen und erreichen eine vergleichbare Genauigkeit zur Bestimmung des Azimuts. Faserkreisel dagegen erlauben eine wesentlich höhere Auflösung und können die Ausrichtung zum Azimut um eine Zehnerpotenz genauer bestimmen als Kreisel der MEMS Technologie. Dies ist der Fall bei dem später beschriebenen Inertialsystem Drill-Pilot NG von Northrop Grumman LITEF.

## 4 Messsysteme für vertikale Bohrungen

### 4.1 Inklinometersonden

- **Einfache Sonde**

Ein etabliertes Verfahren zur Bestimmung von Bohrabweichungen ist die Vermessung mit Inklinometersonden. Zur Messung wird die Sonde nachträglich in das Bohrloch eingeführt, um die Abweichungen in einer vorher definierten Achse zu messen. Die Sonden verfügen über entweder ein oder zwei um 90 Grad versetzte Inklinometer. Es werden spezielle Messrohre verwendet, die das Verdrehen der Sonde verhindern. Alternativ kann die Messsonde

an einem torsionssteifen Gestänge geführt werden. Die Messungen werden inkrementell durchgeführt und pro Messabschnitt abgespeichert.

- **Ketteninklinometer**

Werden mehrere Inklinometersonden in diskreten Abständen zusammen eingebaut, dann spricht man von Ketteninklinometer. Diese Ketteninklinometer eröffnen den Vorteil, dass das Bohrloch nicht inkrementell abgefahren werden muss, sondern durch einen Messvorgang aufgenommen werden kann. Auch hier gilt, dass der systemimmanente Messfehler durch eine Umschlagsmessung eliminiert werden muss.

Der kanadische Hersteller Measurand hat einen Typ von Ketteninklinometer entwickelt, der den Übergang von diskreten Sonden in durchgehende Sonden vollzogen hat. Damit kann der Bohrlochverlauf durchgehend erfasst werden. Außerdem lässt sich der Messstrang auf einen Träger aufrollen und damit von oben in das Bohrloch einführen.

- **Im Bohrgestänge integrierte Inklinometer**

Der Einbau von Inklinometersonden in das Bohrgestänge bedarf einer feinen mechanischen Abstimmung zwischen dem Bohrgestängehersteller und dem Sondenlieferanten. Die Systeme müssen so aufeinander abgestimmt sein, dass die Bohrspülung durch die Sonde geführt werden kann und Durchmesser von Sonde und Gestänge aufeinander abgestimmt sind. Als vorteilhaft erweist sich, dass die Erfassung der Messdaten bereits beim Abbohrvorgang möglich ist und damit ein zusätzlicher Messvorgang mit Einführen der Sonde in das Gestänge entfallen kann. Entscheidend sind die Messpausen beim Abbohren, die das Aufmessen der Bohrung inkrementell ermöglichen.

Die Sonde wird in der Regel vorne unmittelbar hinter der Bohrkronen platziert. Eine Datenübertragung im Gestänge findet nicht statt und damit können die Messdaten erst dann ausgewertet werden, wenn das Bohrgestänge wieder gezogen worden ist. In der Regel erfolgt das Auslesen der Daten induktiv quer zur Bohrlängsachse. Der Zeitaufwand ist durchaus ausfahrungsrelevant, weil die Daten jeder Bohrung ausgelesen werden und sich damit die Zeitspannen zur operativen Herstellung addieren.

Da die Positionierung der Messsonde unmittelbar vor der Bohrkronen ohne Richtungsreferenz erfolgt, muss der Bohrlochverlauf sich über die Tiefe, die Neigung und das Magnetfeld ausrichten. Zur Entkopplung der Messdaten von Messfehlern aus ferromagnetischen Einflüssen kann die Messsonde durch antimagnetische Übergangsstücke versehen werden. Die Firma Jean Lutz SA mit der Sonde TIGOR ist ein bekannter Hersteller für Messsonden, die im Bohrgestänge integriert sind.

## 4.2 Optische Verfahren

Ergänzend zu Lasermesssystemen, die vor allem bei geradlinigen Bohrtrassen mit großen Durchmessern zum Einsatz kommen, findet das optische Deflektometer REFLEX MAXIBOR II bei relativ kleinen Bohrdurchmessern Anwendung. Eine Vermessung von vertikalen Bohrungen ist nicht möglich. Der erforderliche Mindestdurchmesser liegt bei 44 mm. Die Messergebnisse sind unabhängig von äußeren Einflüssen wie Erddrehrate und Magnetismus. Die Messsonde wird in eine verrohrte Bohrung eingeführt. In der Sonde ist eine Kamera integriert, welche die Verschiebung zweier davor angeordneter Ringe aufzeichnet und so die Krümmung der Sonde ermittelt. Zusätzlich werden die Verrollung und die Inklination der Sonde gemessen. So kann bei Kenntnis des Vorschubs die exakte Abweichung des Bohrlochverlaufes durch Integration der Einzelabweichungen ermittelt werden.

Die Genauigkeit der Messungen liegt bei 0.1 % der Bohrlochlänge.

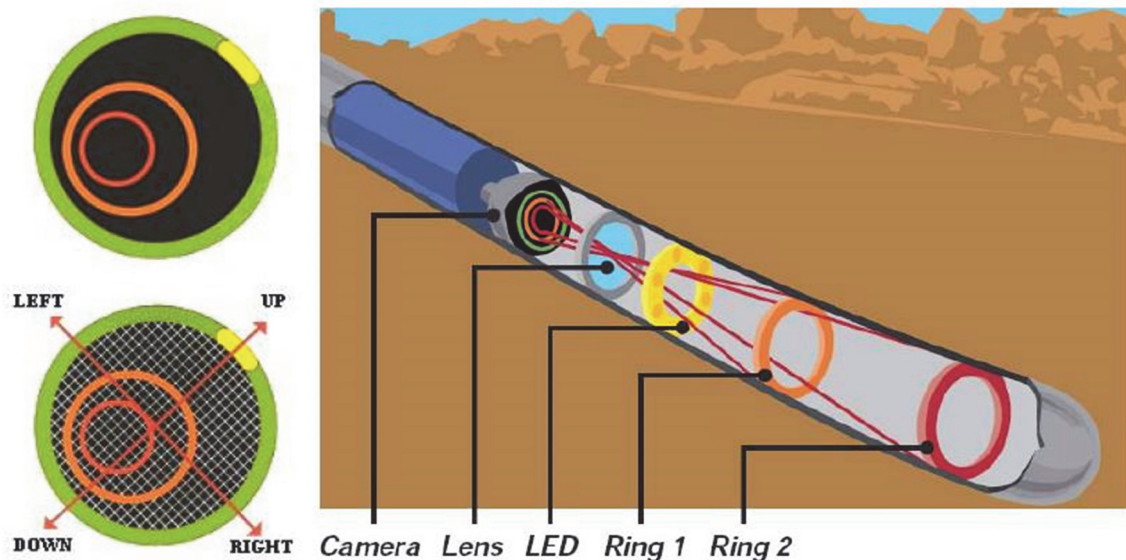


Abb. 8: System Reflex-Maxibor (Knitsch & Pandrea, 2008)

## 4.3 Inertiale Systeme

Northrop Grumman ist ein führender, amerikanischer Hersteller von Rüstungstechnik für die Schiff-, Luft- und Raumfahrt. Im Geschäftsbereich der Luft- und Raumfahrt werden inertielle Navigationssysteme entwickelt, die sowohl in der Lenkwaffensteuerung von Interkontinentalraketen als auch in der Fernsteuerung von Drohnen Anwendung finden. Die Technologie zur Positionsbestimmung von Lenkwaffen wurde von Northrop Grumman auch für die Kleinbohrtechnik zur Verfügung gestellt, in Form eines Bohrpiloten, der in das Bohrgestänge eingesetzt werden kann.

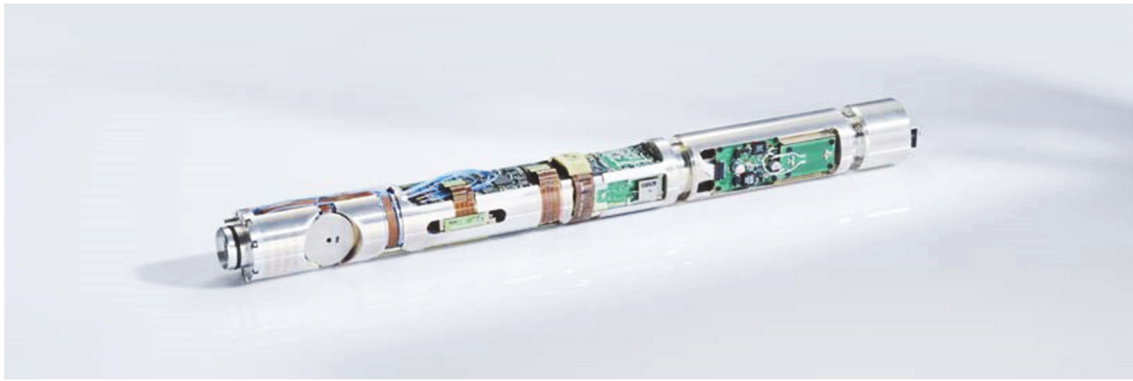


Abb. 9: Drill-Pilot NG (Northrop Grumman LITEF, 2017)

Die Anwendung ist so ausgelegt, dass der Drill Pilot unmittelbar hinter dem Bohrkopf positioniert wird und während des Bohrens die relevanten Positionen aufnimmt und die Daten im Bohrgestänge an die Oberfläche überträgt. Die Abmessung mit einem Durchmesser von 76 mm und einer Länge von 750 mm erlaubt die Integration in ein typisches Ankergestänge. Die Durchleitung der Bohrspülung zur Bohrkronen bedarf besonderer technischer Lösungen, da die Funktionseinheiten im Grundkörper der Inertialsonde unveränderlich zueinander angeordnet sind. Entweder werden die Daten im Gestänge nach oben übertragen, was eine auf den Typ des Bohrgestänges zugeschnittene Sonderlösung voraussetzt oder die Auslesung der Bohrdaten erfolgt nach der Bohrung, was dem System aber die Steuerungsmöglichkeit des Bohrkopfes nimmt, weil keine Echtzeit-Auslesung erfolgt. Die Messgenauigkeit nimmt mit der Bohrtiefe ab und liegt in erster Näherung bei 1 % der Bohrtiefe.

Kennzeichen dieser Inertialsonde ist der sehr hohe Anschaffungswert von ca. 200.000 Euro.

## 4.4 Richtbohrverfahren

Mit dem Richtbohrverfahren lassen sich Bohrungen gezielt steuern, um Erdölvorkommen horizontal zu erschließen. Die Methodik beruht auf dem Prinzip eines Bohrmotors. Die Rotation des Bohrmeißels wird nicht über das Gestänge übertragen, sondern durch einen Motor im Bohrkopf erzeugt. Dieser Motor wird durch den Durchfluss der Spülflüssigkeit angetrieben. So kann der Bohrmeißel rotieren, ohne dass sich der Bohrstrang drehen muss. Der Bohrstrang besitzt hinter dem Bohrkopf einen Knick. Der ermöglicht es, mit der Bohrung eine gezielte Kurve zu durchlaufen. Der Bohrkopf wird in die gewünschte Richtung ausgerichtet. In dieser Richtung bewegt er sich dann auch fort. Zur Steuerung müssen die Ausrichtung des Bohrkopfes und seine Position bekannt sein.

Die Daten werden durch Druckwellen in der Bohrspülung übertragen, wobei eine Übertragung sowohl von unten nach oben als auch eine Steuerung von oben nach unten an den Bohrkopf erfolgen kann. Die Kommunikation erfolgt über einen

„Morse-Code“, der an ein Bypass-Ventil übertragen wird, das die Geschwindigkeit der Spülung reguliert.



Abb. 10: Steuerbarer Bohrkopf

Am unteren Ende befindet sich eine Stromturbine. Bei hoher Spülungsgeschwindigkeit erzeugt sie viel Strom, bei geringer Geschwindigkeit entsprechend weniger. Diese Stromschwankungen werden am Bohrkopf registriert und damit die im Code enthaltenen Befehle.

Wenn die Bohrung ohne Richtungsabweichung fortgeführt werden soll, wird der Bohrstrang in Rotation versetzt. Die Richtungsabweichungen gleichen sich aus, sodass im Endeffekt eine gerade Bohrung ausgeführt wird.

Um die Reibungskräfte zu reduzieren die beim Durchlaufen einer Krümmung entstehen wurde das Prinzip der Drehsteuerung entwickelt (Rotary Steerable System - RSS). Das Bohrgestänge hat keinen Knick, sondern lässt sich über hydraulisch gesteuerte Rippen ausrichten. Diese können gezielt ausgefahren werden, drücken gegen die Bohrlochwandung und steuern die Bohrung damit in die entgegengesetzte Richtung. Die Steuerrippen sitzen auf einer Hülse, deren Rotation vom Bohrgestänge entkoppelt ist. Das Gestänge kann weiterhin rotieren während es die Steuerrippen nicht tun. Das eröffnet den Vorteil beim horizontalen Bohren, dass sich der Bohrstrang nicht auf der Bohrlochsohle festsetzen kann.



Abb. 11: Rotary Steerable System

## 4.5 Funkdatenübertragung im Bohrgestänge

In der Praxis des Spezialtiefbaus haben sich Gestängesysteme durchgesetzt, die 2-3 m lang sind und über Vater- und Mutterteil verschraubt werden. Sowohl die hydraulischen Drehbohranlagen als auch die unterstützenden Servicegeräte sind auf diesen Gestängetyp und Gestängelängen ausgelegt. Inhalt von derzeit laufenden Forschungsprojekten ist die Datenübertragung in den jeweiligen Gestängeschüssen als vorgefertigte Einheit, unter Ansatz von konzentrisch laufenden Bohrröhren.

Um einer Wireline-Lösung, d. h. einer Kabellösung im Zentrum des Bohrgestänges, möglichst nahe zu kommen, laufen derzeit in wissenschaftlichen Forschungszentren Grundsatzversuche, um Funkbrücken zwischen den 2-3 m langen Gestängeeinheiten zu erzeugen. Ziel ist weiterhin die Verschraubung der Gestängeeinheiten zueinander, unterstützt im Verschraubungsbereich durch eine kurze Funkstrecke. Damit soll die Datenübertragung im Bohrstrang aus einer Kombination von Kabel- und Funkbereichen aufgebaut werden. Ausgelesen werden

Neigungsaufnehmer in jedem Bohrstrang, die zusammensetzt den Bohrlochverlauf ergeben.

Die geometrischen Vorgaben, nämlich die Funk- und Empfangseinheiten in die Lichtraummasse einzubauen, stellen eine besondere Herausforderung dar, sowie die Energieversorgung der einzelnen Funktionskomponenten. Weiterer Untersuchungsschwerpunkt sind Stabilität gegen die auftretenden Beschleunigungen beim Bohrvorgang auf die Elektronikkomponenten und das Auslesen der Daten aus dem Bohrgestänge.

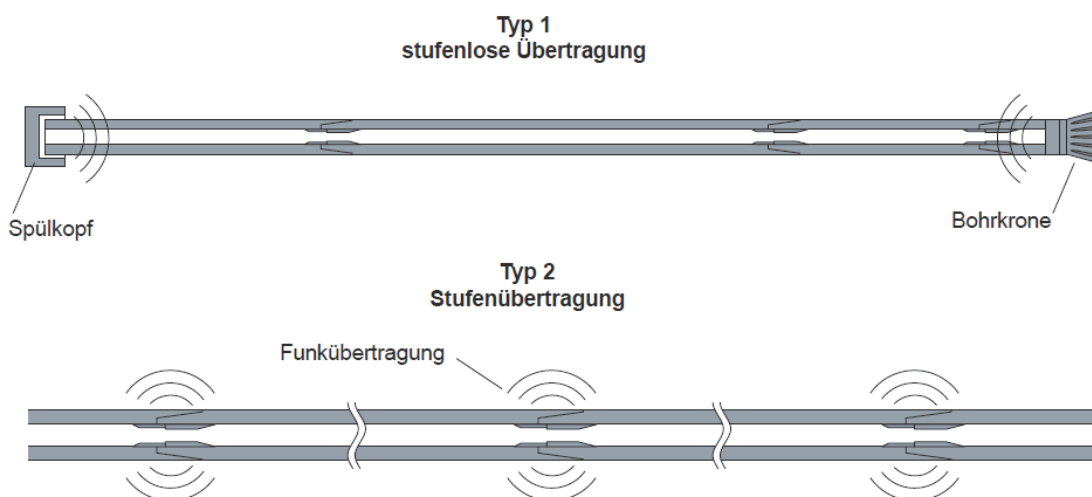


Abb. 12: Prinzip der Funkdatenübertragung im Bohrgestänge

## 5 Ausblick auf gesteuerte, horizontale Bohrungen

### 5.1 Steuerung durch künstliche Magnetfelder

Um Störungen des natürlichen Magnetfeldes zu umgehen, werden in der Horizontalbohrtechnik künstliche Magnetfelder angelegt. Diese sind signifikant stärker als das natürliche Erdmagnetfeld. Um die geplante Bohrtrasse wird ein stromführendes Kabel in einem Rechteck verlegt und so ein Magnetfeld induziert. Wichtig ist, dass die längeren Seiten des Rechtecks parallel zu der geplanten Bohrtrasse verlaufen und das genaue Lageaufmaß des Kabels. Abhängig vom Hersteller können die Systeme mit Gleich- oder Wechselstrom betrieben werden. Zur Ortung der Bohrung wird hinter dem Bohrkopf eine Sonde angebracht, welche das induzierte Magnetfeld empfängt und dessen Feldstärke misst. Abgeleitet aus dem spezifischen Widerstand des Bodens kann der geradlinige Abstand von Sonde zu Leiterkabel ermittelt werden. Da die Position des Leiterkabels durch die vorherige Vermessung bekannt ist, kann daraus die Position der Sonde abgeleitet werden.

Alternativ zur Magnetfelderzeugung durch Kabel haben sich auch Elektromagneten bewährt, die mit Wechselstrom in Betrieb genommen werden, der durch 2 Spulen läuft und damit ebenfalls ein Magnetfeld erzeugt. Die maximale Entfernung zur Ortungssonde liegt hier bei etwa 100 m.

Grundsätzlich liegt die Genauigkeit von gesteuerten Bohrungen bei ca. 2 % der Tiefe des Senders unter der Geländeoberkante. Weitere Einflussfaktoren sind der Abstand der Sonde zum Zentrum des künstlichen Magnetfeldes und die Genauigkeit der Baugrunderkundung mit den daraus ermittelten Baugrundparametern.

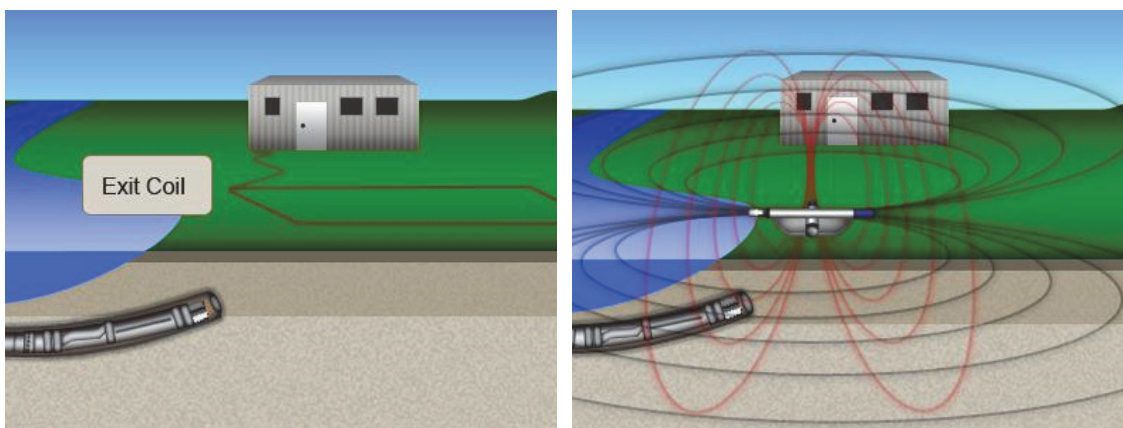


Abb. 13: Bohrung gesteuert durch verlegte Kabel (links), Elektromagneten (rechts) (Vector Magnetis LLC, 2015)

## 5.2 Walk-Over Verfahren

Beim Walk-Over Verfahren emittiert ein unmittelbar hinter dem Bohrkopf platzierter Sender elektromagnetische Signale, die von einem Empfänger an der Oberfläche geortet werden. Daraus werden Tiefenlage und Position des Bohrkopfes bestimmt. Wesentlich ist die Zugänglichkeit der Oberfläche während der Messung. Auf diese Weise können Bohrungen bis zu 20 m Tiefe vermessen werden. Magnetfelder können das Signal des Senders schwächen oder blockieren, ebenso Stromleitungen, Hochspannungsleitungen von Eisenbahnen oder magnetische Materialien im Boden. Kritisch sind auch Stahlrohre oder Bewehrungseisen.

Die Genauigkeit für Messungen im Walk-Over Verfahren ist abhängig von der Überdeckung des Senders zur Oberfläche und der daraus resultierenden Schwächung des Signals. Als Richtwert der Genauigkeit haben sich für Tiefen von 5 m unter Geländeoberkante ca.  $\pm 5$  cm etabliert.

## 6 Technische Beschreibung des Magnetpunktgestänges

Speziell für die Düsenstrahltechnik wurde von der GuD Consult GmbH ein Gestänge entwickelt und auf der Baustelle getestet, das die Bohrlochverlaufsvermessung online zur Verfügung stellt, ohne die Bohrung für die Messdatenerfassung anzuhalten. Durch besondere Kontaktkupplungen werden die Gestängeeinheiten miteinander verbunden. Durch die Regelverschraubung der Gestänge zueinander entsteht eine leitfähige Verbindung, die durch Triggern der Stromverbindung neben Energie auch Daten übertragen kann.

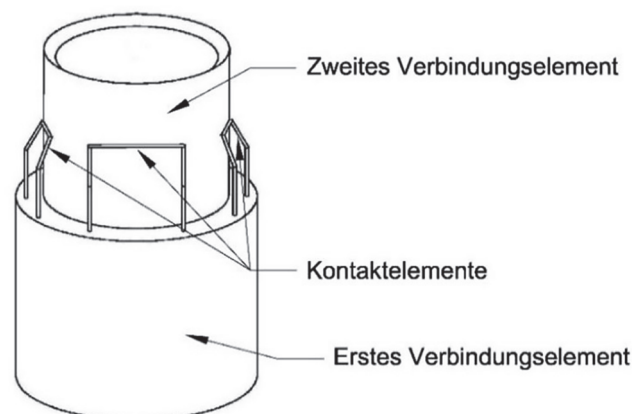


Abb. 14: Kontaktkupplung

Durch die Installation von MEMS-basierten Inklinometern in den Kupplungen wird ein Ketteninklinometer generiert, das jederzeit ausgelesen werden kann.

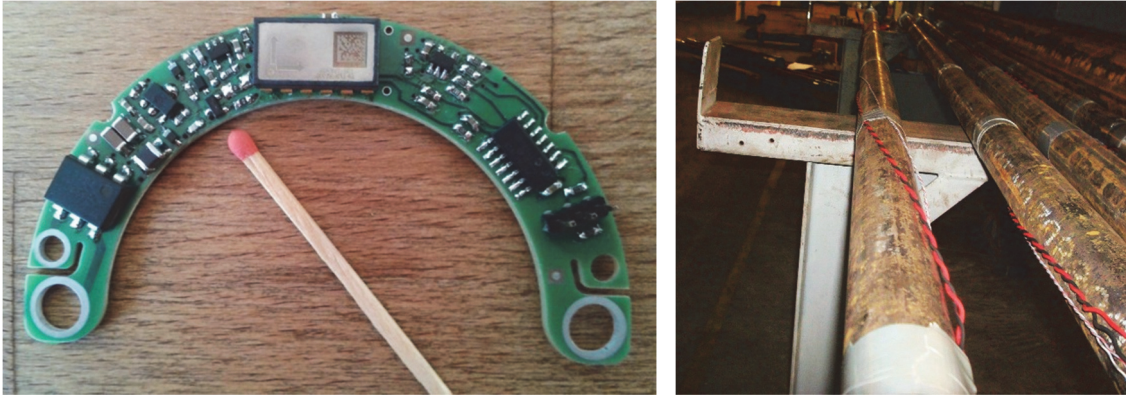


Abb. 15: Bild des Neigungschips (links), Kabel in der Luftleitung (rechts)

Die Datenübertragung in den Gestängeeinheiten erfolgt im Luftkanal mit einem Kabel, über die Kupplungen hinweg funktionieren die Kontaktmechanismen. Damit entsteht ein durchgehender Datenkanal, der jederzeit ausgelesen werden kann.

Der Polygonzug wird nicht sukzessiv beim Abbohren aufgebaut, sondern simultan, immer dann, wenn der Bohrlochverlauf abgefragt wird, durch Abfrage der Inklinometer in den Kupplungen. Diese Simultanabfrage der Neigungsdaten macht den Messvorgang schnell. Er setzt sich nicht aus der sukzessiven Neigungsermittlung beim Abbohren und der induktiven Übertragung nach dem Ziehen des Bohrgestänges zusammen, sondern aus der Einmalabfrage der Inklinometer nach Erreichen der Endtiefe.

Um die Neigungen der zusammengeschaubten Gestänge in der richtigen Orientierung zu addieren, wurde ein Magnetpunkt in die einzelnen Gestänge platziert, der quasi als Referenzpunkt dient. Damit kann der tatsächliche Verschraubungswinkel gemessen und für die weitere Bohrlochverlaufsvermessung herangezogen werden. Vermessungstechnisch ist nicht der Azimutwinkel relevant, sondern es kann eine Referenzierung auf eine definierte Nullrichtung erfolgen, die vorher festgelegt wird.

Wichtig ist, dass das Gestänge nach der Verschraubung mit dem Magnetpunkt über den Orientierungssensor gezogen wird. Damit kann der Versatz der Bohrgestänge gemessen und zutreffend in die Auswertung der Inklinometermessungen aufgenommen werden. Wichtig ist auch eine selbstständige Erfassung der Bohrtiefe durch einen unabhängigen Distanzmesser. Damit ist es möglich die Magnetpunktvermessung an jedes Bohrgerät zu montieren, unabhängig von den bereits installierten Vermessungskomponenten.

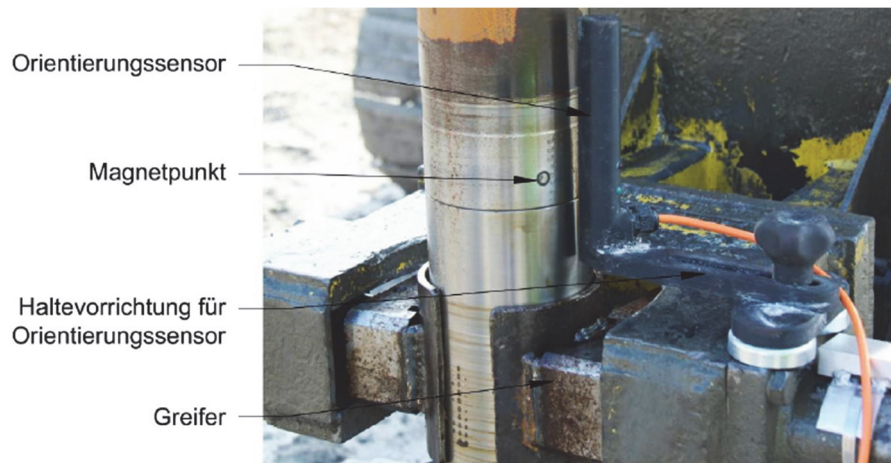


Abb. 16: Magnetpunktorientierung am installierten Gestänge

Die Anforderungen der Bauausführung wurden bei der Entwicklung des Magnetpunktgestänges dahingehen berücksichtigt, dass der Durchmesser des Düsenstrahlgestänges bei 114 mm liegt. Der Innenkanal hat einen Durchmesser von 42 mm.

Zukünftig werden die Daten vom Bohrgerät per UMTS auf einen Projektserver übertragen, der die Bohrlochverläufe strukturiert erfasst und den Projektbeteiligten zur Verfügung stellen. Die Genauigkeit dieser Bohrlochverlaufserfassung wird zukünftig auch Einfluss auf die Qualitätsüberwachung der Düsenstrahlarbeiten nehmen, insbesondere für anspruchsvolle Dichtsohlen, hochliegend oder tieflegend.

## 7 Ausblick

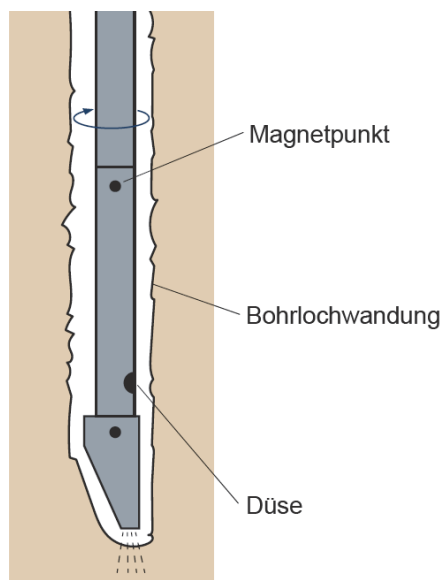


Abb. 17: Asymmetrische Bohrkronen

Die funktionale Hochrüstung des Düsenstrahlgestänges in ein Ketteninklinometer das jederzeit ausgelesen werden kann, eröffnet noch einen weiteren Vorteil des Magnetpunktgestänges. Die Datenbereitstellung während der Bohrung erlaubt es,

Einfluss auf den Verlauf der Bohrung zu nehmen und damit die Bohrung zu steuern. Unter der Voraussetzung, dass eine asymmetrische Bohrkronen verwendet wird, können Bohrabweichungen sofort erfasst und durch entsprechende Stellung der Bohrkronen korrigiert werden. Die Ausrichtung der Bohrkronen ist durch die Magnetpunktorientierung bekannt. Die Stellung kann planmäßig ausgerichtet werden und der Verlauf unmittelbar verifiziert werden. Insbesondere für große Bohrtiefen erweist sich die Steuerung von großem Vorteil, weil dann die planmäßigen Rasterabstände in der Düsebene erreicht werden können.

## 8 Literatur

- Bohrtec Gesellschaft für Bohrtechnologie mbH, o.J.. *Katar*. [Online]  
Available at: <https://www.bohrtec.com/de/baustellen/katar.html>  
[Zugriff am 17 06 2017].
- DB Netz AG, 2017. *Tunnel Rastatt: Vereisung im Bereich Niederbühl*. [Online]  
Available at: <https://www.karlsruhe-basel.de/aktuelles/tunnel-rastatt-vereisung-im-bereich-niederbuehl.html>  
[Zugriff am 29 08 2017].
- Jean Lutz SA, o.J.. *TIGOR: Bohrstange für die Messung der Bohrlochabweichung - Verfahrensbeschreibung*.
- Knitsch, H. & Pandrea, P., 2008. *Bohrlochabweichung und Bohrlochvermessung. Vortrag anlässlich 15. Darmstädter Geotechnik-Kolloquium*. Offenbach, GeTec Ingenieurgesellschaft mbH.
- Korp, S., 2017. *Methoden zur Bestimmung des Bohrlochverlaufs im Spezialtiefbau*. Berlin: Masterarbeit TU Berlin.
- Neubrex Co. Ltd., 2007. *Fiber Optic Gyroscope development*. [Online]  
Available at: <http://www.neubrex.com/htm/applications/gyro-principle.htm>  
[Zugriff am 26 08 2017].
- Northrop Grumman LITEF GmbH, 2017. *Drill-Pilot® NG - Inertial Navigation MWD System (Produktdatenblatt)*.
- Sieber, M., 2014. Gyroskop-/Neigungssensoren für mobile Anwendungen. *Sensor Magazin*, Issue 4, pp. 9-11.
- Vector Magnetics LLC, 2015. *Tracking and Ranging Products & Services for Directional Drillers*. [Online]  
Available at: <http://www.vectormagnetics.com/horizontal-directional-drilling/products>  
[Zugriff am 10 07 2017].

