

Diplomarbeit

Untersuchung der Wirtschaftlichkeit des CopRod- Bohrsystems in kleinen und mittelgroßen Steinbrüchen

erstellt für

Atlas Copco GesmbH

Csokorgasse 11, 1110 Wien



Atlas Copco

Vorgelegt von:
Peter Schimek
M.-Nr.: 0435072

Betreuer/Gutachter:
Dipl.-Ing. Martin Wagner (Atlas Copco)
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Peter Moser

Leoben, Jänner 2010

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Datum

Unterschrift

DANKSAGUNG

Der Firma Atlas Copco GmbH möchte ich danken für die Vergabe und die Finanzierung dieser Diplomarbeit.

Im Besonderen gilt dabei mein Dank Herrn Dipl.-Ing. Martin Wagner für die Betreuung und Unterstützung während der Durchführung dieser Arbeit.

Weiters möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Peter Moser vom Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft an der Montanuniversität Leoben für die Unterstützung während der Abfassung dieser Arbeit bedanken.

Nicht zu vergessen sind die Angestellten und Arbeiter der Betriebe in denen ich die Feldmessungen durchgeführt habe. Sie haben mit Gedankenaustausch und Erfahrungsberichten sehr zur Erstellung dieser Arbeit beigetragen.

Abschließend möchte ich mich besonders bei meiner Familie bedanken, die wesentlich zu meinem bisherigen Lebensweg beigetragen und mich immer tatkräftig unterstützt hat.

Glück Auf!

Kurzfassung

Untersuchung der Wirtschaftlichkeit des CopRod-Bohrsystems in kleinen und mittelgroßen Steinbrüchen

Diese vorliegende Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Wirtschaftlichkeit des von Atlas Copco entwickelten CopRod-Bohrsystems. Bei diesem System wird die von einem Hydraulikhammer erzeugte Schlagenergie über Schlagstangen zur Bohrkronen übertragen. Entkoppelt davon wird die Rotation über die außen liegenden Bohrröhre übertragen. Dabei sollen laut Firmenangaben die Vorzüge des Außenhammers (geringer Dieserverbrauch und hohe Bohrleistung) mit jenen des Imlochhammers (hohe Bohrgenauigkeit) vereint werden.

Als Ziel der Diplomarbeit sollen die verschiedenen Bohrsysteme kritischen Betrachtungen unterworfen und die Vorteile des COPROD – Bohrsystems gegenüber herkömmlichen Außenhammer- und Imlochhammertechnologien, sowohl in wirtschaftlicher als auch in sicherheitstechnischer Hinsicht, ermittelt werden.

Im theoretischen Teil der Arbeit wurden die Gesteinskosten im Steinbruch, sowie der Einfluss der Bohrarbeit darauf, erläutert. Weiters wurden die gängigen Bohrsysteme gegenübergestellt.

Im praktischen Teil wurden Messungen in Steinbrüchen durchgeführt, die die Leistungsfähigkeit, den Dieserverbrauch und die Bohrgenauigkeit der CopRod-Maschinen nachweisen sollten. Auf Basis der erhobenen Daten wurden abschließend die gesamten Kosten der Bohrarbeit ermittelt und auf einen Bohrmeter bezogen.

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen, die allerdings in unterschiedlichen geologischen Bedingungen stattgefunden haben, hat sich herausgestellt, dass bei vergleichbaren Gerätegrößen die Nettobohrleistungen der CopRod-Bohrgeräte höher liegen als bei der Imlochhammermaschine. Allerdings hat sich auch gezeigt, dass die Bruttobohrleistungen aufgrund der kürzeren CopRod-Bohrstangen (und damit verbundenem häufigeren Stangenwechsel) im selben Bereich liegen.

Beim Dieserverbrauch pro Motorbetriebsstunde, zeigt sich, dass die CopRod-Maschinen im Vergleich zur 24-bar DTH einen um rund 30% geringeren Verbrauch aufweisen.

Die Messungen der Bohrgenauigkeit haben ergeben, dass beim CopRod-System selbst bei 20 m langen Bohrlöchern nahezu kein Verlaufen festzustellen ist.

Die Auswertung der Kosten ergibt, dass trotz höherer Bohrstaalkosten die bohrmeterbezogenen Kosten beim CopRod-System geringer sind als beim Imlochammersystem. Beim Vergleich der F9 CR2 mit der 14-bar DTH zeigt sich, dass die bohrmeterbezogenen Kosten trotz der um 50% höheren Investitionsausgaben beim CopRod-System geringer sind. Das ist auf die hohe Bohrleistung und den geringen Dieserverbrauch zurückzuführen.

Abstract

Evaluation of the technical and economical performance of the CopRod-system in small and medium sized quarries

In the frame of this Master thesis the technical and economical performance of the CopRod drilling system, developed by Atlas Copco, was analyzed.

The CopRod system is an innovative drilling system, where a hydraulic topammer generates the percussion energy which is transferred to the drill bit by inner drill rods. The rotation of the drill bit is activated by rotating outer drill tubes. With this technology the CopRod system combines the advantages of a topammer system (high drilling rates, low fuel consumption) with those of a down the hole (DTH) hammer system (better drilling accuracy).

The aim of the Master thesis was to find out where the Cop Rod drilling systems stands in comparison to topammer and DTH drilling machines when used for drilling of blast holes in typical quarries.

For that purpose measurements on CopRod and normal DTH rigs were carried out in Austria. The measurements comprised the determination of the drilling performance, the fuel consumption and the drilling accuracy. In addition for the various drilling systems analyzed, the total drilling and blasting costs were determined and compared.

The investigations, which took place in different geological conditions, showed, that for similar unit sizes the net-penetration-rates of the CopRod-drillrigs are higher than for DTH-rigs. But in terms of gross-penetration-rates (these includes the time for the drillrod handling) CopRod machines and classical DTH machines show a comparable drilling performance. The reason for this is that the CopRod drill rods are shorter than the DTH drill rods and therefore changes are more frequent.

The hourly fuel consumption of the CopRod rigs is around 30% lower than the consumption of the comparable DTH rig.

From the graphical display of the boreholes drilled with the CopRod system it can be seen that the boreholes are straight. Even in boreholes with lengths of 20 m there is nearly no deviation (drifting) recognizable.

The comparison of the F9 CR₂ and the 14-bar DTH shows in terms of capital costs that the costs of one meter drilled are despite 50% higher capital expenditure lower for the CopRod system. The reason for this is the high drilling performance and the low fuel consumption of the CopRod-system. Even the higher drill-string-costs of the CopRod system do not reduce its advantages.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG	3
1.1 PROBLEMSTELLUNG	3
1.2 ZIELSETZUNG	4
2 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE.....	5
2.1 LEISTUNGSFÄHIGKEIT	5
2.2 DIESELVERBRAUCH	6
2.3 BOHRGENAUIGKEIT	6
2.4 KOSTENERMITTLUNG	7
3 THEORETISCHE HINTERGRÜNDE.....	9
3.1 GESTEHUNGSKOSTEN IM STEINBRUCH [1], [2], [3]	9
3.1.1 Bohren.....	10
3.1.2 Sprengen.....	11
3.1.3 Wegladen.....	11
3.1.4 Transportieren.....	12
3.1.5 Zerkleinern.....	13
3.2 BOHRSYSTEME [4].....	14
3.2.1 Drehendes Bohren.....	14
3.2.2 Schlagendes Bohren.....	15
3.3 EINFLUSS DER BOHRARBEIT AUF DIE GESTEHUNGSKOSTEN	21
3.3.1 Direkte Bohrkosten.....	21
3.3.2 Bohrgenauigkeit [5],[6].....	21
3.3.3 Leistungsfähigkeit	27
3.4 EINFLUSS DER BOHRARBEIT AUF DIE KORNGRÖßENVERTEILUNG.....	28
4 FELDMESSUNGEN.....	29
4.1 LEISTUNGSFÄHIGKEIT [11].....	29
4.1.1 Jahresbruttobohrleistung	30
4.1.2 Tagesbruttobohrleistung	30
4.2 DIESELVERBRAUCH.....	31
4.3 BOHRGENAUIGKEIT	31
4.3.1 Verwendete Messsysteme	32
4.4 ERMITTLUNG DER KOSTEN	33
4.4.1 Bohren.....	33
4.4.2 Sprengen.....	35
4.5 MESSUNGEN AN ROC F7 CR [4].....	36
4.5.1 Diabas	39
4.5.2 Kalkstein.....	39
4.6 MESSUNGEN AN ROC F9 CR [4].....	40
4.6.1 Allgemeine Angaben.....	43
4.7 MESSUNGEN AN 24 BAR DTH	44

4.8	VERGLEICHSMESSUNGEN ZWISCHEN ROC F9 CR UND 14 BAR DTH	44
5	AUSWERTUNG DER DATEN.....	46
5.1	MESSUNGEN AN ROC F7 CR	46
5.1.1	<i>Diabas</i>	46
5.1.2	<i>Kalkstein</i>	52
5.1.3	<i>Ermittlung der Kosten</i>	55
5.2	MESSUNGEN AN ROC F9 CR	57
5.2.1	<i>Leistungsfähigkeit</i>	57
5.2.2	<i>Dieserverbrauch</i>	63
5.2.3	<i>Bohrgenauigkeit</i>	64
5.2.4	<i>Ermittlung der Kosten</i>	69
5.3	MESSUNGEN AN 24 BAR DTH	71
5.3.1	<i>Leistungsfähigkeit</i>	71
5.3.2	<i>Dieserverbrauch</i>	74
5.3.3	<i>Bohrgenauigkeit</i>	75
5.3.4	<i>Ermittlung der Kosten</i>	77
5.4	VERGLEICHSMESSUNGEN ZWISCHEN ROC F9 CR UND 14-BAR DTH.....	79
5.4.1	<i>Messungen an 14-bar DTH</i>	79
5.4.2	<i>Messungen an ROC F9 CR</i>	84
6	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE / SCHLUSSFOLGERUNG	89
6.1	LEISTUNGSFÄHIGKEIT	89
6.1.1	<i>Vergrößerung des Bohrlochdurchmessers</i>	91
6.2	DIESELVERBRAUCH.....	93
6.3	BOHRGENAUIGKEIT [14], [15], [16].....	94
6.3.1	<i>Absolute Abweichungen</i>	94
6.3.2	<i>Relative Abweichungen</i>	98
6.3.3	<i>Vergrößerung des Bohrrasters</i>	101
6.4	ERMITTLUNG DER KOSTEN.....	102
7	VERZEICHNISSE	109
7.1	LITERATUR.....	109
7.2	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	110
7.3	TABELLEN	110
7.4	ABBILDUNGEN	112
7.5	FORMELN	113
ANHANG.....	I

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Von der Lagerstätte bis hin zum verkaufsfähigen Produkt gibt es eine Reihe von Prozessen, welche die Kosten beeinflussen. Diese Prozesse sind somit des Weiteren auch für den Preis der Verkaufsprodukte verantwortlich, da vermutlich jedes Unternehmen die Erwirtschaftung von Gewinn als vorrangiges Geschäftsziel aufweist.

Im Tagebau sind die Kostenbestimmenden Faktoren das Bohren, das Sprengen, das Wegladen, das Transportieren und das Zerkleinern des gewonnenen Materials.

Da das Bohren an erster Stelle der Gewinnungsprozesse steht, hat es vermutlich auch Einfluss auf die Nachfolgenden. Das Sprengen, als direkte Nachfolgetätigkeit, wird augenscheinlich auch die größten Auswirkungen einer optimierten Bohrarbeit erfahren. Einerseits wird die Gefahr des Steinfluges und der Sprengerschütterungen minimiert, andererseits die Zerkleinerung des Materials und der Sprengstoffeinsatz optimiert. Dies ist allerdings nur erreichbar, wenn die abgeteuften Bohrlöcher mit dem geplanten Zustand übereinstimmen.

Vermutlich wird auch noch beim Wegladen des Hauwerks mittels Bagger oder Radlader der Einfluss einer optimierten Bohrarbeit als Kostenreduktion bemerkbar sein. Für die weitere Tätigkeit, das Transportieren des Materials zum Brecher, sind die Vorteile einer optimierten Bohr-/Sprengarbeit nur mehr schwer mittels Kennzahlen zu belegen, da in jedem Betrieb andere Gegebenheiten vorhanden sind. Diese können sich in unterschiedlichen Förderdistanzen, Rampenneigungen und Bodenbeschaffenheiten bemerkbar machen.

1.2 Zielsetzung

Die Firma Atlas Copco GmbH hat ein Bohrverfahren entwickelt, bei dem die von einem Hydraulikhammer erzeugte Schlagenergie über Schlagstangen zur Bohrkronenübertragung wird. Entkoppelt davon wird die Rotation über die außen liegenden Bohrrohre übertragen. Bei diesem System sollen laut Firmenangaben die Vorteile des Außenhammers (geringer Dieserverbrauch und hohe Bohrleistung) mit jenen des Imlochhammers (hohe Bohrgenauigkeit) vereint werden.

Im Zuge dieser vorliegenden Diplomarbeit sollen die in den österreichischen Betrieben eingesetzten Bohrsysteme kritischen Betrachtungen unterworfen und die Vorteile des COPROD – Bohrsystems gegenüber herkömmlichen Außenhammer- und Imlochhammertechologien, sowohl in wirtschaftlicher als auch in sicherheitstechnischer Hinsicht, ermittelt werden.

Die ursprünglich geplanten Messungen der unterschiedlichen Systeme unter gleichen geologischen Bedingungen (im selben Steinbruch) konnten aufgrund von diversen Umständen leider nicht durchgeführt werden.

Daher wurden Messungen am CopRod-Bohrsystem in einem Hartgesteinstagebau, in einem Kalksteinstagebau und in einem Marmortagebau durchgeführt. Weiters wurden in einem Hartgesteinstagebau Vergleichsmessungen zwischen einer Imlochhammermaschine und einer CopRod-Maschine durchgeführt. Abschließend wurden in einem Kalksteinstagebau Messungen an einer Imlochhammermaschine durchgeführt. Bei diesen Messungen wurden die Bohrgenauigkeit, die Leistungsfähigkeit und der Dieserverbrauch ermittelt.

Weiters sollen die Bohr- und Sprengkosten erhoben und gegenübergestellt werden.

Aus der Auswertung dieser Daten sollen Rückschlüsse auf die wirtschaftliche und sicherheitstechnische Situation der Bohrsysteme gemacht werden.

2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im theoretischen Teil der Arbeit wurden die Gesteungskosten im Steinbruch sowie der Einfluss der Bohrarbeit auf diese Gesteungskosten erläutert. Dabei geht aus diversen Veröffentlichungen hervor, dass die Kosten der Bohrarbeit den geringsten Teil ausmachen. Allerdings ist die Tatsache zu berücksichtigen, dass die Bohrarbeit an erster Stelle der Rohstoffgewinnung steht und somit vermutlich auch die nachfolgenden Tätigkeiten beeinflusst. Vor allem das dem Bohren direkt nachfolgende Sprengen wird die größten Auswirkungen einer optimierten Bohrarbeit erfahren. Die Beeinflussung der weiteren Prozesse wird immer geringer werden.

Im praktischen Teil wurden Messungen durchgeführt, die die Leistungsfähigkeit, den Dieselverbrauch und die Bohrgenauigkeit der CopRod-Maschinen nachweisen sollten. Auf Basis der erhobenen Daten wurden abschließend die gesamten Kosten der Bohrarbeit ermittelt und auf einen Bohrmeter sowie auf eine Tonne gewonnenes Material bezogen. Die erhaltenen Messergebnisse sind jedenfalls unter Berücksichtigung der Tatsache, dass es in unterschiedlichen geologischen Bedingungen gemessen wurde, zu interpretieren.

2.1 Leistungsfähigkeit

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen hat sich herausgestellt, dass bei vergleichbaren Gerätegrößen (F7 CR mit 90 mm Bohrlochdurchmesser, F9 CR mit 115 mm Bohrlochdurchmesser und 24 bar DTH mit 95 mm Bohrlochdurchmesser) die Nettobohrleistungen der CopRod-Bohrgeräte höher liegen als bei der Imlochhammermaschine. Auch unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Bohrlochdurchmesser (Ausbruchsvolumen pro Zeiteinheit) hat sich diese Tatsache erwiesen.

Allerdings hat sich auch gezeigt, dass die Bruttobohrleistungen aufgrund der kürzeren CopRod-Bohrstangen (3,66 m) und damit verbundenem häufigeren Stangenwechsel im Bereich der Imlochhammermaschine (5,0 m Bohrstangen) liegen.

Auch im direkten Vergleich der beiden Maschinen im Granulit-Steinbruch (F9 CR2 und 14-bar-DTH jeweils mit 95 mm Bohrlochdurchmesser) zeigt sich die deutliche Überlegenheit der CopRod-Maschine. Die CopRod-Maschine wies mehr als die 8-fache Nettobohrleistung der 14-bar-DTH auf. Die Tages-Bruttobohrleistung betrug mehr als das 4-fache der Imlochhammermaschine. Die Bohrleistungen der 14-bar

Imlochhammermaschine sind derart gering ausgefallen, da es sich dabei um eine kleinere Maschine handelt und die gemessenen Bohrungen auf der untersten Etage des Steinbruchs abgeteuft wurden, wobei in diesem Bereich das härteste Gestein ansteht. Diese Werte sind aber sehr wohl aussagekräftig, da die zukünftige Entwicklung des Steinbruchs in die Tiefe und somit in ebenfalls sehr hartem Gestein weitergeht. Im Jahresdurchschnitt wird die CopRod-Maschine ungefähr die doppelte Bruttobohrleistung der 14-bar Imlochhammermaschine aufweisen.

2.2 Dieselverbrauch

Beim Dieselverbrauch pro Motorbetriebsstunde, zeigt sich, dass die CopRod-Maschinen im Vergleich zur 24-bar Imlochhammermaschine einen um rund 30% geringeren Verbrauch aufweisen. Trotz der unterschiedlichen Bohrlochdurchmesser zeigt sich, dass die CopRod-Maschinen auf den Bohrmeter umgelegt einen Dieselverbrauch von 0.85 l/m (ROC F7 CR, 90 mm) bzw. von 1.14 l/m (ROC F9 CR₁, 115 mm) aufweisen. Im Gegensatz dazu weist die 24-bar-Imlochhammermaschine einen Verbrauch von 1.94 l/m (bei 95 mm Bohrlochdurchmesser) auf.

Die ermittelten Werte für die 14-bar-Imlochhammermaschine und die F9 CR₂ sind wie schon erwähnt direkt miteinander vergleichbar, da diese Maschinen im selben Steinbruch (Granulit) eingesetzt wurden und den selben Bohrlochdurchmesser aufweisen. Dabei zeigt sich, dass der Dieselverbrauch pro Motorbetriebsstunde bei der Imlochhammermaschine zwar geringer ist als bei der CopRod-Maschine, allerdings ist die Jahresbruttobohrleistung auch um rund die Hälfte geringer. Vor allem beim Vergleich des Dieselverbrauchs pro Bohrmeter zeigt sich die deutliche Überlegenheit der CopRod-Maschine.

2.3 Bohrgenauigkeit

Für die Messungen der Bohrgenauigkeit wurden die mittleren Neigungswinkel und Orientierungswinkel der erhaltenen Messwerte ermittelt, da nur das Verlaufen des Bohrloches auf das Bohrsystem zurückzuführen ist. Es hat sich gezeigt, dass beim CopRod-System selbst bei 20 m langen Bohrlöchern nahezu kein Verlaufen festzustellen ist.

Außerdem hat sich gezeigt, dass jene Bohrlöcher, die mit dem CopRod-Bohrsystem hergestellt wurden, eine Abweichung von der mittleren Neigung aufweisen, die in jedem Fall kleiner als 2.26 % der Bohrlochlänge ist. Dies ist auch bei Bohrlöchern mit

größerer Bohrlochlänge (19.9 bzw. 20.7 m) der Fall. Der Mittelwert der Abweichungen beträgt 1.1 % der Bohrlochlänge.

Bei Bohrlöchern, die mit dem Imlochhammersystem abgeteuft wurden, zeigt sich eine mittlere Abweichung von 2.17 % der Bohrlochlänge.

Vor allem bei Bohrlöchern mit größerer Neigung (nahezu vertikal) tritt eine erhebliche Verringerung der Bohrlochabweichung auf. So beträgt der Mittelwert der Abweichungen der Bohrlöcher mit einer Neigung größer als 80° nur 0.3 % der Bohrlochlänge. Bei Bohrlöchern mit einer Neigung von 75° beträgt die Abweichung rund 1.0 % der Bohrlochlänge und bei Bohrlöchern mit einer Neigung von 70° beträgt die Abweichung rund 2.0 % der Bohrlochlänge.

Die hohe Bohrgenauigkeit des CopRod-Systems hat die Reduzierung von sicherheitstechnischen Risiken (Steinflug, Erschütterungen) zur Folge.

Weiters hat sich gezeigt, dass aufgrund der hohen Bohrgenauigkeit der mit CopRod hergestellten Bohrlöcher eine Ausweitung des Bohrrasters möglich ist. Damit erfolgt eine Einsparung an abgeteuften Bohrmeter und somit eine Einsparung von Bohrkosten.

2.4 Kostenermittlung

Die auf die Lebensdauer-Bohrmeter (bei angenommenen 10,000 Lebensdauer-Motorbetriebsstunden) umgelegten Investitionsausgaben bei den vergleichbaren Gerätegrößen (F7 CR, F9 CR und 24-bar DTH) liegen zwischen 1.34 €/m und 1.50 €/m. Dabei weisen allerdings die CopRod-Maschinen aufgrund der geringfügig höheren Bohrleistung geringere Kosten auf.

Beim Vergleich der beiden im Granulit eingesetzten Maschinen zeigt sich, dass die F9 CR2 trotz der um 50% höheren Investitionsausgaben (im Vergleich zur 14-bar DTH) auf die Lebensdauer-Bohrmeter bezogen rund 20% geringere Kosten pro Bohrmeter ausmacht.

Bei den auf die Bohrmeter umgelegten Bohrstahlkosten zeigt sich, dass die Kosten der CopRod-Maschinen um rund 30% über den der DTH-Maschinen liegen.

Wird der Dieselverbrauch pro Motorbetriebsstunde auf die Tagesbruttobohrleistung bezogen (mit einem Preis von 1.0 €/l), dann zeigt sich, dass die CopRod-Maschinen

um rund 30% geringere Kosten als die vergleichbare Imlochhammermaschine aufweisen.

Bei den Lohnkosten pro Bohrmeter bewegen sich die vergleichbaren CopRod- und DTH-Maschinen im selben Bereich. Lediglich die kleinere 14-bar Imlochhammermaschine hat weitaus höhere bohrmeterbezogene Lohnkosten.

In Summe zeigt sich, dass die bohrmeterbezogenen Betriebskosten der CopRod-Maschinen trotz des höheren Bohrstahlverbrauchs geringer ausfallen als die der Imlochhammermaschinen. Bei den Maschinen im selben Steinbruch (F9 CR2 und 14-bar DTH) zeigt sich, dass die CopRod-Maschine trotz der höheren Bohrstahlkosten um rund 25% geringere Betriebskosten pro Bohrmeter aufweist.

Auch bei den Totalkosten (Summe aus bohrmeterbezogenen Investitionsausgaben und Betriebskosten) zeigt sich dieses Bild. Die CopRod-Maschinen weisen um zumindest 10% geringere Kosten als die Imlochhammermaschinen auf.

Die Auswertung der Kosten ergibt, dass trotz höherer Bohrstahlkosten die bohrmeterbezogenen Kosten beim CopRod-System geringer sind als beim Imlochammersystem. Beim Vergleich der F9 CR2 mit der 14-bar DTH zeigt sich, dass die bohrmeterbezogenen Kosten trotz der um 50% höheren Investitionsausgaben beim CopRod-System geringer sind. Das ist auf die hohe Bohrleistung und den geringen Dieserverbrauch zurückzuführen.

3 Theoretische Hintergründe

3.1 Gesteungskosten im Steinbruch [1], [2], [3]

Die Wertschöpfungskette im Steinbruch setzt sich aus dem Bohren der Sprenglöcher, dem Sprengen des anstehenden Gebirges, dem Wegladen des gesprengten Materials, dem Transportieren dieses Materials zum Brecher und dem anschließenden Zerkleinern zusammen.

Aus zahlreichen Veröffentlichungen geht hervor, dass eine Verallgemeinerung der prozentuellen Anteile dieser Prozesse an den Gesteungskosten recht schwierig ist. Die folgende Abbildung gibt Anhaltswerte für deren Größenordnung.

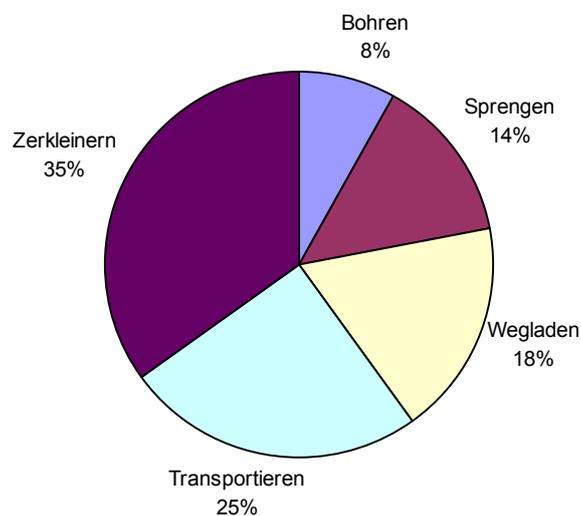


Abbildung 1: Anteile der Prozesse an den Gesteungskosten

Tabelle 1: Verteilung der Gesteungskosten

	Anteil	Kosten
Bohren	8%	€ 0.20
Sprengen	14%	€ 0.35
Wegladen	18%	€ 0.45
Transportieren	25%	€ 0.63
Zerkleinern	35%	€ 0.88

In der obigen Tabelle wird von Gesteungskosten pro Tonne gewonnenes Material in der Höhe von 2.50 €/t ausgegangen.

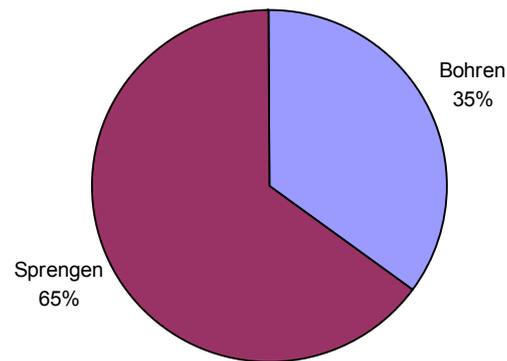


Abbildung 2: Gegenüberstellung der Bohr- und Sprengkosten

Diese obigen Werte sind von Betrieb zu Betrieb unterschiedlich und können einen Schwankungsbereich von $\pm 5-10\%$ aufweisen.

Aus zahlreichen Untersuchungen hat sich gezeigt, dass das Bohren den geringsten Anteil an den Gesteinskosten aufweist. Allerdings ist die Bohrarbeit der erste Prozess bei der Materialgewinnung. Somit werden vermutlich die nachfolgenden Tätigkeiten zu einem gewissen Teil von der Bohrarbeit beeinflusst. Das Sprengen als direkt nachfolgender Prozess wird die größte Beeinflussung einer optimierten Bohrarbeit aufweisen. Ebenso werden das Wegladen, das Transportieren und das Zerkleinern von einer optimierten Bohrarbeit profitieren. Die Abhängigkeit wird allerdings bei diesen nachfolgenden Tätigkeiten mehr und mehr abnehmen.

Bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit des CopRod-Systems im Vergleich zu den herkömmlichen Systemen wird jedoch nur auf die Bohrarbeit und das Sprengen eingegangen, da bei den nachfolgenden Tätigkeiten eine Verallgemeinerung aufgrund der unterschiedlichen betrieblichen Bedingungen nicht sinnvoll ist.

3.1.1 Bohren

Die Etagenhöhe hat einen bedeutenden Einfluss auf die Bohrkosten. Einerseits nimmt bei kleinen Etagenhöhen der Anteil für das Umsetzen und Positionieren des Bohrgerätes an der Bruttobohrzeit zu und somit steigen die Bohrkosten je m^3 gewonnenen Materials. Andererseits nimmt aber die Nettobohrgeschwindigkeit beim Bohren langer Bohrlöcher aufgrund von Schwierigkeiten ab und somit steigen ebenfalls die Bohrkosten je m^3 gewonnenen Materials. Aufgrund dieser Tatsachen gibt es aus Sicht der Bohrkosten eine optimale Etagenhöhe.

3.1.2 Sprengen

Die Sprengarbeit dient dem Lösen des Lagerstätteninhalts aus dem Gebirgsverband sowie der Vorbereitung des gesprengten Materials für die nächsten Schritte des Gewinnungsprozesses.

Vor allem die Qualität und die Menge des Verkaufsproduktes sollen durch die Sprengarbeit nicht nachteilig beeinflusst werden und die mit der Sprengarbeit verbundenen unvermeidbaren Beeinträchtigungen der Umwelt sollen minimiert werden.

Dabei sind einige Faktoren zu berücksichtigen, die wesentlichen Einfluss auf das Sprengergebnis haben:

- Lagerstätte
- Geometrie des Bohrrasters
- Art des Sprengstoffes
- Zündreihenfolge.

Die dem Sprengen nachfolgenden Tätigkeiten werden maßgeblich, wie nachfolgend beschrieben, vom Sprengergebnis beeinflusst.

3.1.3 Wegladen

Die Ladetätigkeit wird durch das Bohren und Sprengen vor allem in der Qualität der Sohle und der Korngrößenverteilung beeinflusst. Durch eine schlechte Sohlenbeschaffenheit werden die Leistungsfähigkeit und die Lebensdauer der Ladegeräte negativ beeinflusst.

Die Korngrößenverteilung beeinflusst ebenfalls die Leistungsfähigkeit der Ladegeräte. Fallen zu große Gesteinsbrocken für das Ladegerät an (siehe Formel 1 und Formel 2), dann müssen diese aufwendig zur Seite geschafft und anschließend zerkleinert werden.

Formel 1: Maximal ladbare Korngröße für einen Bagger [3]

$$K_{\max} = 950 * V^{\frac{1}{3}}$$

K_{\max} = maximal ladbare Korngröße für den Bagger [mm]

V = Baggerschaufelvolumen [m³]

Formel 2: Korngrößenkennwert [3]

$$KGBA_{\text{kenn}} = \frac{K_{\max}}{2,715}$$

$KGBA_{\text{kenn}}$ = Korngrößenkennwert für die Klappschaufel zur Beurteilung der Hauwerksbeschaffenheit

Weiters hat auch das „Ausbreitmaß“ Einfluss auf die Ladeleistung. Ein mobiler und wendiger Radlader ist bei großem Ausbreitmaß des Hauwerks besser geeignet als der wenig mobile Bagger.

3.1.4 Transportieren

Im Hinblick auf die Auswahl und Dimensionierung der Transportgeräte gibt es einige Faktoren, die berücksichtigt werden müssen. Diese Faktoren bestimmen daher auch die anfallenden Kosten und werden nachfolgend näher beschrieben.

- Beschaffenheit des Fördergutes

Hier muss man zwischen Schüttgut und Stückgut unterscheiden und somit das Fördermittel auf das Fördergut abstimmen. Weiters sollte die Korngrößenverteilung für die optimale Ausnutzung des Ladevolumens berücksichtigt werden.

- Förderleistung

Je nach Förderart ergibt sich eine unterschiedliche Förderleistung. Diese muss auf die vor- und nachgeschalteten Tätigkeiten abgestimmt sein.

- Förderrichtung

Hier wirkt sich die Förderung mit bzw. gegen die Schwerkraft erheblich auf die Kosten aus.

- Fördertrasse

Die Beschaffenheit, die Neigung, die Förderdistanz und die Kurvigkeit wirken sich auf die Förderkosten aus.

- Ladeinfrastruktur

Die Zahl der Ladestellen, sowie die Art und Zahl der Ladegeräte wirken sich auf die Kosten aus. Die Ladegeräte müssen dabei optimal auf die Transportgeräte abgestimmt sein, um mit drei bis fünf Ladespielen die Transportmenge laden zu können. Treten Probleme bei der Ladearbeit auf, kommt es unweigerlich zu Wartezeiten und entsprechenden Leerlaufkosten.

3.1.5 Zerkleinern

Beim Zerkleinern spielen der Anfall und die Vorzerkleinerung von Knäppern eine wichtige Rolle. Falls sie für die erste Brecherstufe zu groß sind, können sie diese verstopfen. Somit beeinflusst ein gut zerkleinertes Hauwerk auch die Brecherleistung und es kann ein kleinerer Brecher zum Einsatz kommen bzw. die Durchsatzrate gesteigert werden.

3.2 Bohrsysteme [4]

Für das Herstellen von Sprenglöchern werden grundsätzlich zwei Verfahren unterschieden: Einerseits ist dies das drehende Bohren und andererseits das schlagende Bohren.

Für die vorliegende Diplomarbeit ist nur das schlagende Bohren von Interesse, daher wird auf dieses Verfahren näher eingegangen.

3.2.1 Drehendes Bohren

Das drehende Bohren wird für Gebirge mit geringerer Druckfestigkeit und Abrasivität eingesetzt und arbeitet nach dem Prinzip des zerspanenden Lösens. Dabei ist die Bohrkronen in ständigem Kontakt mit der Bohrlochsohle (siehe Abbildung 3).

Aufgrund der Tatsache, dass hohe Andruckkräfte benötigt werden, sind relativ große Bohrtürme von Nöten. Diese haben den Nachteil, dass sie ziemlich unflexibel sind und zum größten Teil damit nur vertikale Bohrlöcher gebohrt werden können.

Der Abtransport des Bohrkleins wird mit dem Spülmedium Luft vollzogen.

Das Einsatzgebiet für das drehende Bohren beschränkt sich auf Bohrlöcher mit einem Durchmesser größer als 152 mm. Somit ist ein Einsatz in einem österreichischen Betrieb eher die Ausnahme.



Abbildung 3: Drehendes Bohren

3.2.2 Schlagendes Bohren

Das schlagende Bohren eignet sich für Gebirge mit höherer Druckfestigkeit und Abrasivität. Es arbeitet nach dem Prinzip des kerbenden Lösens, wobei die Bohrlochsohle kerbend-mahlend bearbeitet wird. Die Bohrkronen werden zwischen kurzem Gebirgskontakt immer wieder umgestellt und bearbeiten somit stets eine neue Gesteinsfläche. Die Zerstörungsenergie wird von einem Kolben, der entweder hydraulisch oder pneumatisch betrieben wird, erzeugt und über die Bohrkronen in das Gebirge eingeleitet.

Für dieses Verfahren gibt es neben den zwei herkömmlichen Systemen (Außenhammer- bzw. Imlochhammersystemen) seit 1992 das patentierte System CopRod der Firma Atlas Copco GmbH.

3.2.2.1 Außenhammertechnologie

Bei diesem System befindet sich der Schlagkolben am oberen Ende des Bohrgestänges (siehe Abbildung 4) und wird entweder hydraulisch oder pneumatisch betrieben. Die vom Hammer eingebrachte Schlagenergie wird über den Gestängekopf in das Gestänge eingeleitet. Die dadurch erzeugte Stoßwelle pflanzt sich im Gestänge fort und der Bohrmeißel verrichtet so die Zerstörungsarbeit (siehe Abbildung 5). Allerdings geht dabei bei jedem Rohrübergang ein gewisser Anteil (~ 3 – 6 %) der Stoßenergie verloren und wird in Wärme umgewandelt. Somit steht diese Energie nicht für die Zerkleinerung des Gesteins zur Verfügung. Dieses Phänomen wirkt sich vor allem bei großen Bohrlochteilungen im Sinne von geringem Bohrfortschritt aus.

Der Abtransport des zerkleinerten Materials von der Bohrlochsohle wird mittels Spülluft bewirkt. Diese wird in den Bohrstangen zum Bohrlochtieftesten geführt und entweicht an der Bohrkronen.

Aufgrund der im Vergleich zum Bohrlöcherdurchmesser relativ schlanken Bohrstangen besteht die Gefahr, dass sich diese aufgrund des Kolbenschlages verbiegen und somit relativ große Bohrlochabweichungen hervorrufen.

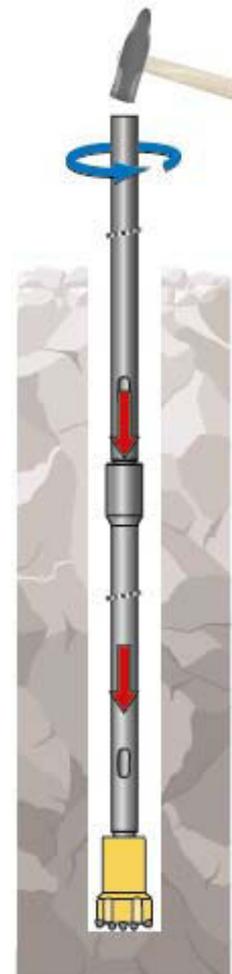


Abbildung 4: Außenhammersystem

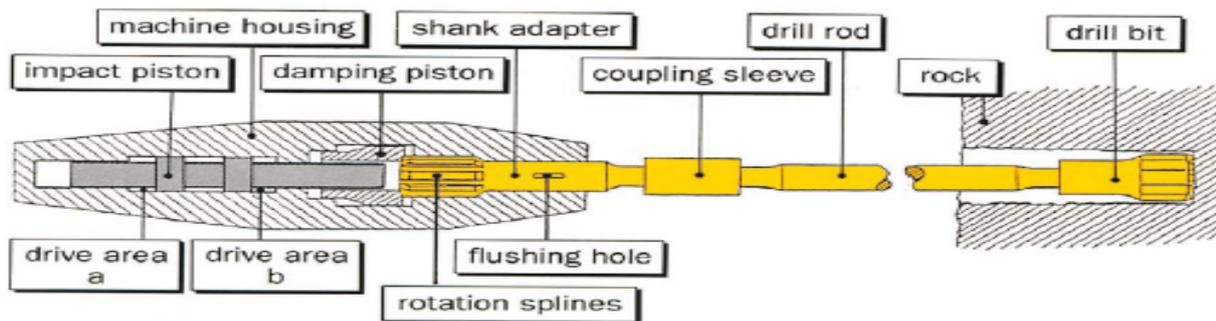


Abbildung 5: Detaildarstellung Außenhammersystem

3.2.2.2 Imlochhammertechologie

Dieses System wird ausschließlich mit Druckluft betrieben, wobei ein Kompressor die Luft über das Gestänge dem Hammer zuführt. Der Hammer sitzt direkt über der Bohrkronen (siehe Abbildung 6) und leitet daher die Schlagenergie ohne Verluste in das Gebirge ein. Dadurch ergibt sich auch bei großen Bohrloch-Vertiefungen keine Reduzierung der Bohr- geschwindigkeit. Die zur Erzeugung der Schlagenergie verwendete Luft wird anschließend zur Ausspülung des Bohrkleins verwendet.

Da der Zwischenraum zwischen Gestänge und Bohrlochwand, aufgrund des für den Imlochhammer benötigten Raumes, relativ gering ist, ergeben sich im Vergleich zum Außenhammer geringere Bohrlochabweichungen. Weiters wird dadurch eine höhere Spülgeschwindigkeit erreicht und somit die Bohrloch- wand stabilisiert.

Aufgrund der bereits beschriebenen Tatsache, dass der Hammer (siehe Abbildung 7) im Bohr- loch einen gewissen Raum benötigt, eignet sich dieses Verfahren erst ab einem Bohrlochdurchmesser von etwa 90 mm.

Ein weiterer Vorteil des Imlochhammers ist die Tatsache, dass der Hammer die Schlagenergie erst im Bohrloch erzeugt und daher die Lärmemissionen reduziert werden.



Abbildung 6: Imlochhammersystem

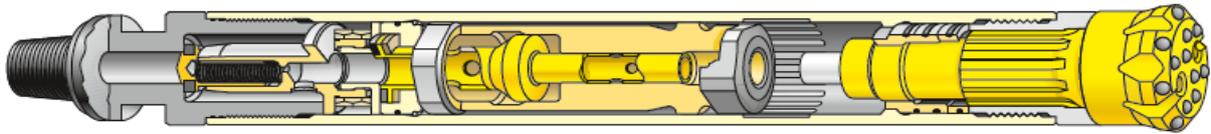


Abbildung 7: Detaildarstellung Imlochhammer

3.2.2.3 CopRod-Bohrsystem

Das patentierte CopRod-Bohrsystem (siehe Abbildung 8) wurde von der Firma Atlas Copco 1992 entwickelt und vereinigt die Vorteile des Außenhammersystems, wie etwa die hohe Bohrgeschwindigkeit und den geringen Treibstoffverbrauch, mit denen des Imlochhammers. Diese sind vor allem die hohe Bohrgenauigkeit und die Anpassung an schwierige Gebirgsverhältnisse.

Das CopRod-System besteht aus zwei ineinander liegenden Bohrstangen, die jeweils eine andere Aufgabe übernehmen (siehe Abbildung 9). Die äußeren Rohre sind die Bohrröhre und die innen liegenden Stangen sind die Schlagstangen.

Die Schlagstange ist schwimmend in den Bohrröhren gelagert und überträgt die Schlagenergie sowie die Vorschubkraft auf die Bohrkronen. Diese Stangen haben kein Gewinde und übertragen deshalb die Schlagenergie vom Hammer direkt und beinahe ohne Verluste auf die Bohrkronen.

Die Bohrröhre übertragen das Drehmoment auf die Bohrkronen und bringen zusätzlich Steifigkeit in das System. Aufgrund der Trennung der Aufgaben weisen diese Bohrstangen hohe Standzeiten und somit geringere Wartungskosten auf.



Abbildung 8: CopRod-System

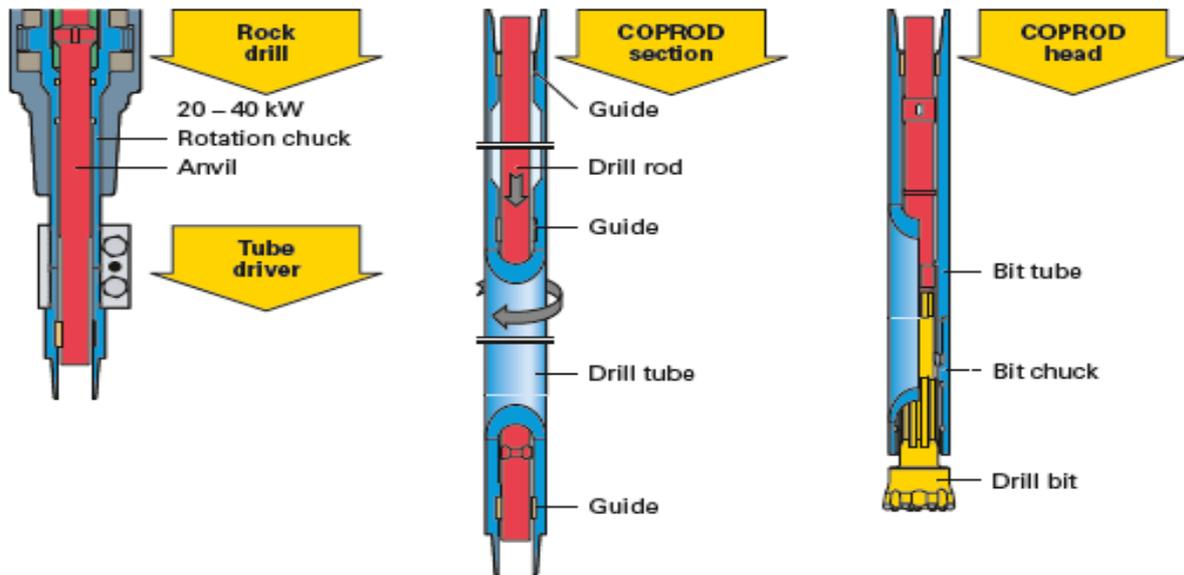


Abbildung 9: CopRod-Bohrsystem

Im Jahre 2005 wurde das CopRod-Bohrsystem weiterentwickelt und einige Verbesserungen wurden im Vergleich zum Vorgängersystem eingeführt (siehe Abbildung 10).

So wurde etwa die Wandstärke der Bohrröhre von 5.7 auf 8.8 mm gesteigert und die Gewindeverbindungen an den Endstücken wurden auch verstärkt. Das steigert die Standzeiten der Bohrröhre, verringert die Gefahr von Stangenbrüchen und reduziert zusätzlich noch Bohrlochabweichungen.

Die Länge des Endstücks wurde reduziert und besitzt nun eine stabilere Gewindeverbindung zum Bohrrohr. Zusätzlich wurde der Durchmesser der Schlagstange erhöht, um die Schlagenergie vom Hammer besser übertragen zu können. Somit wurden wiederum die Standzeiten und die Bohrleistungen erhöht.

Die Kronenstange, die der Aufnahme der Bohrkronen dient, wurde umgestaltet, somit entfällt die Stangenführung. Weiters wurden in diesem Bereich die Toleranzen reduziert um Luftverluste minimieren zu können und die Gefahr der Stangenbrüche zu eliminieren. Zusätzlich bestehen nun die Bohrkronen aus einer neuen Stahlsorte mit hoher Schlag- und Dauerfestigkeit.

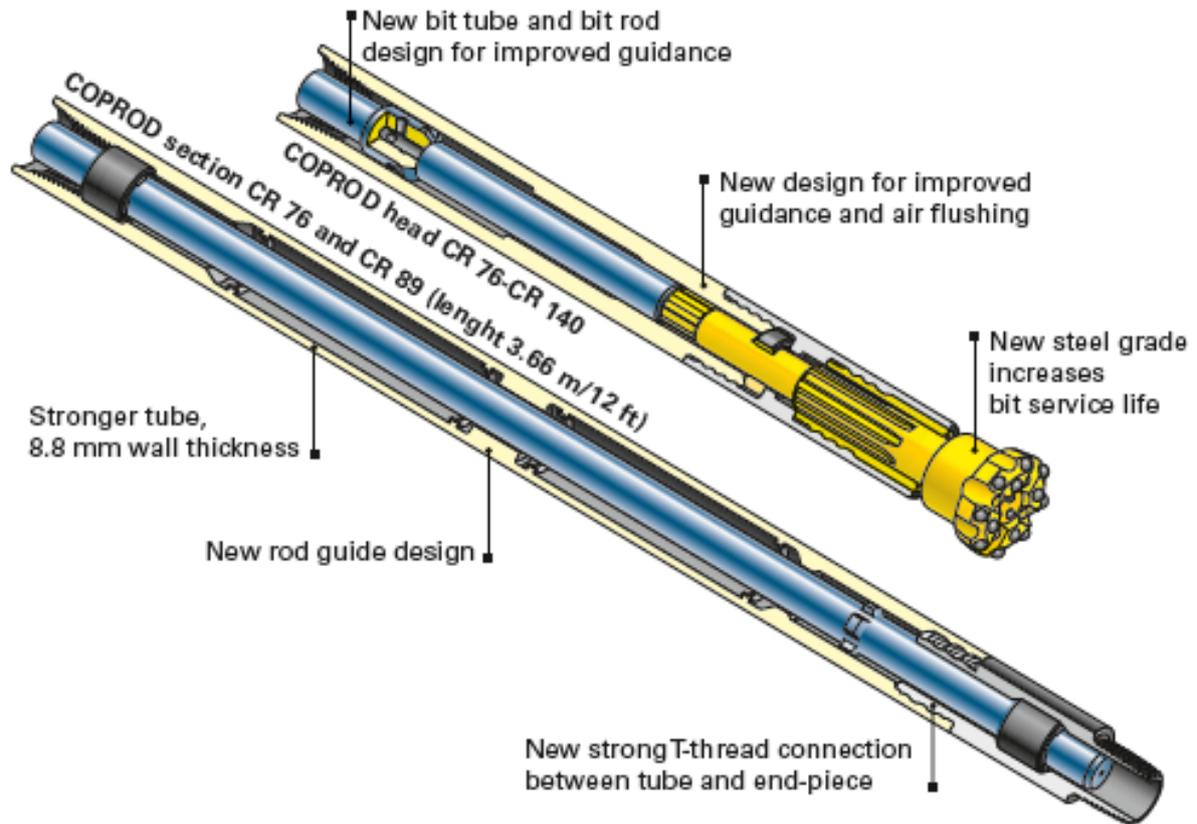


Abbildung 10: Verbesserungen am CopRod-System

Für die unterschiedlichen Bohrlöcherdurchmesser und Bohrlöchlängen stehen drei CopRod-Maschinen mit unterschiedlicher Leistungsfähigkeit zur Auswahl, wobei die Produktion der F7 CR eingestellt wurde, diese aber noch in den Betrieben eingesetzt wird.

Tabelle 2: Überblick über die CopRod-Maschinen

Maschinentyp	F7 CR	F9 CR	L7 CR
Motorleistung	186kW	224kW	328kW
Kompressorleistung	148 l/s	210 l/s	254 l/s
Hammertyp	COP 2150 CR	COP 2550 CR	COP 4050 CR
Hammerleistung	21kW	25kW	40kW
Bohrgestängedurchmesser	CR 76, CR 89	CR 76, CR 89	CR 89 -CR 140
Bohrlochdurchmesser	90 -127 mm	90 - 127 mm	105 - 180 mm
Maximale Bohrlöchtiefe	28 m	28 m	36 m

3.3 Einfluss der Bohrarbeit auf die Gesteungskosten

3.3.1 Direkte Bohrkosten

Bei den direkten Bohrkosten spielen die Investitionsausgaben für das Bohrgerät, der Treibstoffverbrauch, die Leistungsfähigkeit, die Lohnkosten für den Bohrer, die Verschleißkosten des Bohrstaahls und die Instandhaltungskosten eine Rolle. Diese Kosten werden in Kapitel 4.4 genauer beschrieben.

3.3.2 Bohrgenauigkeit [5],[6]

Bereits geringe Abweichungen von der geplanten Geometrie können schwerwiegende Folgen haben. Dies ist vor allem bei längeren Bohrlöchern der Fall, da bereits ein Neigungsfehler von 2° bei einem 15m langen Bohrloch eine Abweichung von 0.5m bedeutet. Diese Bohrungenauigkeiten werden meist durch einen hohen spezifischen Sprengstoffverbrauch bzw. durch Verringerung von Vorgabe und Seitenabstand ausgeglichen. Dadurch erhöhen sich die Bohrkosten, die Sprengstoffkosten und der Anteil an feinkörnigem Material. Dies kann in einigen Betrieben wiederum dazu führen, dass sich das Ausbringen verringert, da nur Material mit einer Mindestkorngröße weiterverarbeitet werden kann. [1]

Die Genauigkeit von Bohrlöchern setzt sich aus mehreren Faktoren zusammen (siehe Abbildung 11). Jeder dieser folgenden Faktoren führt bei Abweichung vom geplanten Zustand zu einer Ungenauigkeit des Bohrloches.

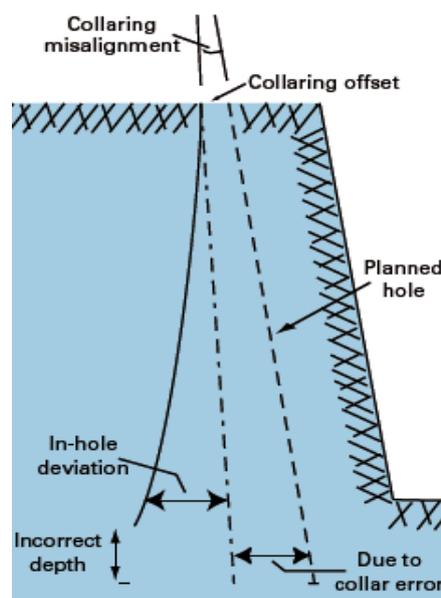


Abbildung 11: Arten von Bohrungenauigkeiten

a) Orientierung der Bohrlöcher

Bei der Einstellung des horizontalen Winkels des Bohrloches wird von den Bohristen häufig ein markanter Punkt in einiger Entfernung „angezielt“ und das Bohrgerät auf dieses Ziel ausgerichtet. Anschließend werden die Bohrlöcher gebohrt. Der Effekt dieser Methode ist, dass die Bohrlöcher nicht parallel sind, sondern jeweils auf das entfernte Zielobjekt zulaufen.

b) Bohrlochlänge

Unterschiede in der Bohrlochlänge ergeben sich vor allem, wenn der Bohrist nicht auf die Beschaffenheit der Etage achtet und etwaige Unebenheiten mit der Bohrlochlänge nicht ausgleicht.

Als Abhilfe ist bereits ein System verfügbar, das eine Ebene mit einem Laser aufspannt und jedes einzelne Bohrloch genau bis zur vorher festgelegten Tiefe bohrt. Allerdings treten bei diesem System Probleme bei sehr langen Abschlüssen und großen Höhenunterschieden innerhalb eines Abschlages auf.

c) Ansatzpunkt der Bohrlöcher (R_c)

Ein Fehler beim Ansatzpunkt des Bohrloches kann durch manuelles einmessen und markieren der Bohrlöcher auftreten. Dieser Fehler ist, unabhängig von der Länge des Bohrloches, als konstant anzusehen.

Um diesen Fehler auszumerzen gibt es verschiedene Systeme, wie etwa das Einmessen der vorher am Computer geplanten Bohrlöcher mittels GPS.

Ein weiterer Grund für diesen Fehler kann die Topographie der Sohle am geplanten Ansatzpunkt sein. Falls es dort für eine Bohrung nicht geeignet ist, wird der Bohrist daneben ein neues Bohrloch ansetzen.

d) Neigung der Bohrlöcher (R_d)

Ein Neigungsfehler des Bohrloches tritt auf, wenn der Bohrist die Neigung der Lafette falsch einstellt, oder wenn die Ausrüstung kein genaues Einstellen des Neigungswinkels zulässt. Dieser Fehler wird linear mit der Länge des Bohrloches größer.

Dieser Fehler kann mit am Bohrgerät angebrachten, automatisch einstellbaren sowie regelmäßig gewarteten Neigungsmessgeräten minimiert werden.

e) Bohrlochverlauf (R_r)

Von einem verlaufenen Bohrloch spricht man, wenn das Bohrloch von der geplanten Richtung und Neigung abweicht, diese Abweichungen allerdings erst während des Bohrens auftreten. Die Gründe dafür liegen innerhalb des Bohrloches und können wie folgt aussehen:

- Bohrlochdesign: Neigung, Orientierung, Durchmesser, Länge.
- Bohrparameter: Vorschubkraft, Drehmoment, Drehgeschwindigkeit, Bohrstahlgewicht.
- Bohrausrüstung: Bohrstangen, Bohrkronen, Kupplungen, Kolben.
- Gebirgseigenschaften: Struktur, Schichtung, Festigkeit, Kohäsion.

Beim Imlochhammer wurde schon oft das Phänomen beobachtet, dass die Bohrlöcher in Drehrichtung abweichen. Vermutlich hängt diese Tatsache mit dem relativ hohen Gewicht des Bohrstahls zusammen.

Da diese Abweichungen erst im Bohrloch auftreten, sind die Gründe dafür nur sehr schwer zu erfassen.

Die Abweichungen im Ansatzpunkt, in der Neigung und das Verlaufen der Bohrlöcher wird oftmals in einem Vektor vereint (siehe Formel 3).

Formel 3: Vektor der Bohrlochabweichung

$$R = \sqrt{R_c^2 + R_d^2 + R_r^2}$$

R = Vektor der Bohrlochabweichungen [m]

R_c = Abweichung aufgrund von Fehler beim Ansatzpunkt des Bohrloches [m]

R_d = Abweichung aufgrund von Fehler bei der Neigung des Bohrloches [m]

R_r = Abweichung aufgrund von Verlaufen des Bohrloches [m]

Untersuchungen in schwedischen Bergwerken kamen zu dem Ergebnis, dass sich diese Abweichungen mit der statistischen Normalverteilung beschreiben lassen.

3.3.2.1 Einflussfaktoren auf ungenaues Bohren

Die folgenden Faktoren üben nach allgemeiner Meinung den größten Einfluss auf die Genauigkeit der Bohrlöcher aus:

- Bohrist
- Gebirge
- Qualität und Wartung der Bohrausrüstung

3.3.2.2 Auswirkungen von ungenauen Bohrlöchern

Bohrlöcher mit großen Abweichungen vom geplanten Zustand haben vor allem Sicherheitstechnische Auswirkungen:

- Steinflug [7]

Die häufigste Steinflugursache sind verlaufene Bohrlöcher, welche mit zunehmender Bohrlochlänge von der geplanten Neigung immer weiter abweichen. Besonders wenn diese Abweichungen zur freien Fläche verlaufen, besteht die Gefahr, dass in diesem Bereich die Vorgabe für die eingebrachte Sprengstoffmenge zu gering ist und es somit zum Steinflug kommt.

Eine weitere Gefahr von verlaufenen Bohrlöchern besteht, wenn der Seitenabstand zu benachbarten Bohrlöchern zu gering wird. Somit ist in diesem Bereich die Sprengstoffkonzentration zu hoch und ebenfalls die Gefahr des Steinfluges gegeben.

Wenn die Bohrlöcher eine, im Vergleich zur Bruchwand, zu flache Neigung aufweisen besteht die Möglichkeit, dass die Vorgabe im Bohrlochtieftesten zu gering für die eingebrachte Sprengstoffmenge ist. Als Resultat daraus ergibt sich wiederum die Gefahr des Steinfluges.

- Erschütterungen

Wenn der Bohrlochverlauf weg von der freien Fläche geht, dann ist vermutlich für die gegebene Vorgabe zu wenig Sprengstoff im Bohrloch vorhanden und das Material kann nicht geworfen werden. Somit wird die Energie aus dem Sprengstoff in Erschütterungsenergie umgewandelt, welche wiederum umliegende Gebäude beschädigen kann.

Allerdings darf auf die wirtschaftlichen Auswirkungen von ungenauen Bohrlöchern auch nicht vergessen werden:

- Schlechte Zerkleinerung

Wenn der Seitenabstand aufgrund von Bohrungeunauigkeiten im Bohrlochtiefsten zu groß wird, dann besteht die Möglichkeit, dass Unebenheiten an der Sohle (sogenannte „Haxn“) auftreten, die den Abtransport des Materials behindern und eventuell mit einer zweiten Sprengung beseitigt werden müssen.

- Erhöhte Sprengstoffkosten

Wenn der geplante Bohrlochverlauf und somit geplante Vorgabe und Seitenabstand nicht eingehalten werden können, dann ist zur Erreichung des gewünschten Zerkleinerungsergebnisses mehr Sprengstoff in die Bohrlöcher einzubringen. Dies wirkt sich auf die spezifische Sprengstoffmenge und somit auf die spezifischen Kosten negativ aus.

3.3.2.3 Auswirkungen von genauen Bohrlöchern [8]

Wie bereits erwähnt, haben genaue Bohrlöcher sowohl einen sicherheitstechnischen als auch einen wirtschaftlichen Einfluss auf den Steinbruchbetrieb. Dabei gibt es zwei grundsätzliche Prinzipien, wie sich genaue Bohrlöcher auf einen Betrieb auswirken können.

Einerseits besteht die Möglichkeit, den Bohrraster auf das größtmögliche der Sprengbarkeit auszuweiten und somit Bohr- und Sprengstoffkosten zu sparen. Andererseits bleibt das bestehende Bohrraster gleich, allerdings kann die Zerkleinerung des Materials optimiert und somit die Ladekosten verringert werden.

a) Vergrößerung des Bohrrasters

Die maximal sprengbare Vorgabe hängt von der Lademeternasse und der Stärke des Sprengstoffes, dem Gebirge, dem Spannungsfaktor und dem Verhältnis Seitenabstand zu Vorgabe ab (siehe Formel 4).

Diese maximale Vorgabe muss aber um die Abweichungen des Bohrloches vom geplanten Zustand abgemindert werden (siehe Formel 5).

Wenn diese Abweichungen der Bohrlöcher gering gehalten werden können, dann kann das Bohrraster ausgeweitet werden. Somit müssen weniger Bohrlöcher hergestellt werden und Bohrkosten werden eingespart.

Formel 4: Berechnung der maximalen Vorgabe

$$B_{\max} = \sqrt{\frac{0,9 * l_m * SPR}{0,8 * c' * f * \left(\frac{S}{B}\right)}}$$

- B_{\max} = maximal mögliche Vorgabe [m]
 l_m = Lademetermasse für den Sprengstoff [kg/m]
 SPR = relative Stärke des Sprengstoffes [1]
 c' = Sprengbarkeitsparameter für das Gebirge [kg/m³]
 f = Einspannungsfaktor [1]
 S/B = Verhältnis Seitenabstand zu Vorgabe [1]

Formel 5: Berechnung der tatsächlichen Vorgabe

$$B = B_{\max} - e$$

- B = tatsächlich mögliche Vorgabe [m]
 B_{\max} = maximal mögliche Vorgabe [m]
 e = Bohrlochabweichung [m] (siehe Formel 3)

b) Optimierung der Zerkleinerung [9]

Bei gleichbleibendem Bohrraster und Sprengstoffeinsatz wird aufgrund der gesteigerten Bohrgenauigkeit der Anteil an anfallenden Knäppern verringert und die Dauer und Kosten für das Wegladen des Materials somit reduziert. Weiters werden durch das bessere Sprengergebnis die Transportkosten und die Zerkleinerungskosten abgemindert.

Eine Gegenüberstellung von Zerkleinerungsergebnis und gesamten Gewinnungskosten zeigt die Abbildung 12.

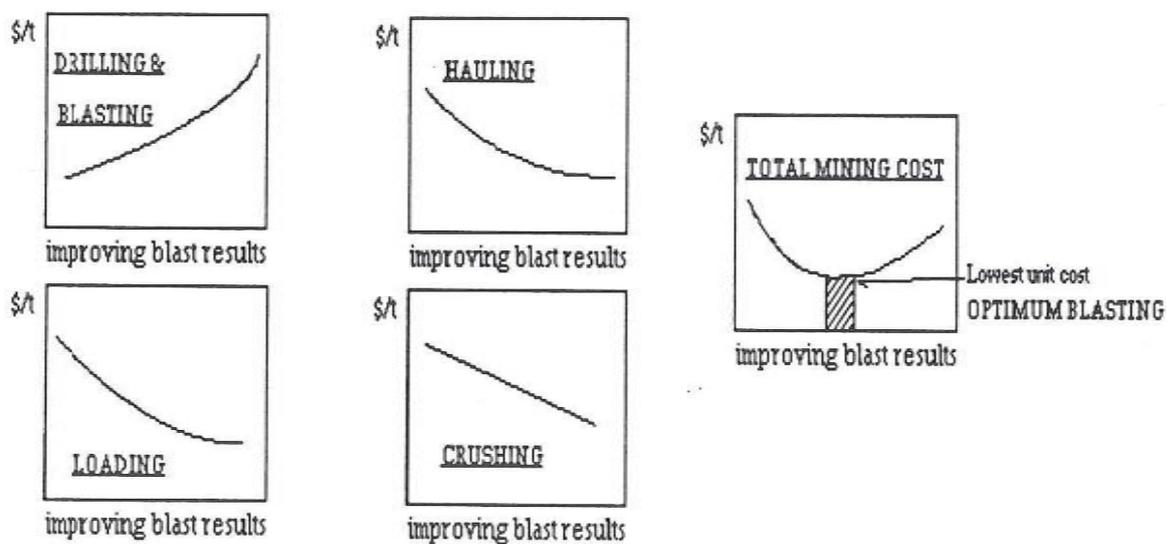


Abbildung 12: Gegenüberstellung Zerkleinerungsergebnis mit Gewinnungskosten [9]

3.3.3 Leistungsfähigkeit

Die Leistungsfähigkeit eines Bohrgerätes setzt sich aus mehreren Faktoren zusammen. So spielen vor allem die Nettobohrzeit, die Gestängezieh- und -nachsetzzeit und die Umsetzzeit eine wichtige Rolle.

Die Bruttobohrzeit vereinigt die vorher genannten Faktoren: Die Nettobohrzeit, die Gestängezieh- und -nachsetzzeit sowie die Umsetzzeit von einem Bohrloch zum nächsten (inklusive Einrichten der Lafette) werden aufsummiert und durch die Bohrmeter dividiert. Somit erhält man die Bruttobohrzeit pro Bohrmeter, die allerdings nur für die jeweiligen Gebirgsverhältnisse aussagekräftig und vergleichbar ist.

Um verschiedene Maschinentypen miteinander vergleichen zu können ist es vor allem wichtig, dass die Leistungsfähigkeit unter denselben Gebirgsverhältnissen aufgenommen wird.

Weiters ist auch der Bohrlochdurchmesser entscheidend: Bei gleichem Maschinentyp ist die Leistung bei kleinem Bohrlochdurchmesser entsprechend höher.

3.4 Einfluss der Bohrarbeit auf die Korngrößenverteilung

Je enger der Bohrraster gewählt wird, desto feinkörniger wird das Sprengergebnis ausfallen. Somit wird zwar die Gefahr von anfallenden Knäppern minimiert, allerdings wird zugleich auch der Anteil an eventuell nicht verwendbarem Feinstmaterial gesteigert.

Durch das Bohren von Bohrlöchern mit großem Durchmesser kann zwar der Bohrraster ausgeweitet werden, allerdings wird dadurch auch mehr Sprengstoff in die jeweiligen Bohrlöcher eingebracht. Somit wird das Gestein in unmittelbarer Umgebung der Bohrlöcher zu sehr zerkleinert, sodass es nicht mehr weiterverarbeitet werden kann und verhandelt werden muss.

4 Feldmessungen

Die Messungen wurden an folgenden Maschinen durchgeführt, wobei Messungen an der F7 CR in zwei Steinbrüchen erfolgten.

Tabelle 3: Überblick über die Maschinen

Maschinentyp	F7 CR _{1,2}	F9 CR ₁	24 bar DTH	F9 CR ₂	14 bar DTH
Motorleistung	186 kW	224 kW	287 kW	224 kW	146 kW
Jahresbetriebsstunden	1840 h	1440 h	1170 h	702 h	1350 h
Einsatzort	Bleiberg, Gratkorn	Kärnten	Niederösterreich	Niederösterreich	Niederösterreich
Gebirgsart	Diabas, Kalkstein	Marmor	dolom. Kalkstein	Granulit	Granulit
Jahresproduktion	1,400,000 t	2,000,000 t	1,300,000 t	600,000 t	600,000 t
Bohrmeter / Jahr	51,000 m	38,800 m	30,000 m	20,000 m	20,000 m
Bohrlochdurchmesser	90 mm	105, 115 mm	95 mm	95 mm	95 mm
Gestängedurchmesser	76 mm	89 mm	76 mm	76 mm	76 mm
Bohrraster	3.0 x 3.0 m	4.5 x 5.5 m	3.75 x 4.5 m	3.2 x 3.0 m	3.2 x 3.0 m
Bohrlochlänge	14.0 - 24.0 m	11.0 - 21.0 m	25.0 - 30.0 m	7.0 - 15.0 m	7.0 - 15.0 m

4.1 Leistungsfähigkeit [11]

Die Leistungsfähigkeit der Bohrgeräte wird mittels Stoppuhr gemessen. Dabei werden die einzelnen Abläufe, die zum Abteufen eines Bohrloches nötig sind, gemessen und dokumentiert.

Diese sind der Reihe nach:

1. Abbohren der ersten Bohrstange
2. Nachsetzen der zweiten Bohrstange
3. Abbohren der zweiten Bohrstange
4. Nachsetzen der dritten Bohrstange
5. Abbohren der dritten Bohrstange
6. ...
7. Nachsetzen der letzten Bohrstange
8. Abbohren der letzten Bohrstange bis die gewünschte Bohrlochlänge erreicht ist
9. Ziehen der einzelnen Bohrstangen in umgekehrter Reihenfolge und Verstauen dieser
10. Umsetzen der Bohrmaschine zum nächsten Bohrloch
11. Einrichten der Bohrlafette auf die richtige Neigung und Orientierung

Dieser beschriebene Bohrablauf ergibt in Summe die Bruttobohrzeit, die für die Erstellung eines Bohrloches (inklusive Umsetzen zum nächsten Bohrloch und

Einrichten der Lafette) nötig ist. Die Bruttobohrzeit ist vor allem abhängig von der Bohrlochlänge und den Abständen zwischen den einzelnen Bohrlöchern.

Die Nettobohrzeit berücksichtigt im Gegensatz dazu nur die reine Bohrzeit der einzelnen Bohrstangen.

4.1.1 Jahresbruttobohrleistung

Die Auswertung der gesamten Motorbetriebsstunden und der abgeteuften Bohrmeter der Maschine ergibt die Jahresbruttobohrleistung (Langzeitleistungsfähigkeit).

Dabei werden allerdings auch alle Probleme und Nebentätigkeiten miteinbezogen. Probleme treten vor allem aufgrund der geologischen Gegebenheiten (z.B. nachbrechende Bohrlochwand) auf. Unproduktive Nebentätigkeiten, die die Leistung abmindern, sind vor allem das händische Nachmessen der Bohrlochlängen, das Reinigen der Bohrlöcheransatzpunkte von losen Steinen, aber auch die Fahrzeiten zwischen einzelnen Bohrfeldern und die Überstellung des Bohrgerätes auf eine andere Etage bzw. in die Werkstatt.

Diese Probleme und Nebentätigkeiten sind sehr betriebsspezifisch.

4.1.2 Tagesbruttobohrleistung

Die mit der Stoppuhr ohne die Probleme und unproduktiven Nebentätigkeiten ermittelten Werte ergeben die Tagesbruttobohrleistung (Kurzzeitleistungsfähigkeit) der Maschine. Diese wird auf lange Zeit gesehen von den oben erwähnten Problemen und unproduktiven Nebentätigkeiten abgemindert.

Diese Kurzzeitwerte sind rein auf die Maschinenleistung zurückzuführen und nicht wie die Langzeitwerte beeinflusst vom Management und den Gegebenheiten des Betriebes (insbesondere die Fahrzeiten auf andere Etagen). Daher sind die Kurzzeitwerte vor allem für die Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Systemen, die nur testweise in einem Steinbruch im Einsatz sind, wichtig. Allerdings ist auch zu berücksichtigen, dass die Tagesbruttobohrzeit (mit etwa 70%) mit den gesamten unproduktiven Nebentätigkeiten und Problemen (zu etwa 30%) die Jahresbruttobohrzeit ausmacht. Somit bewirkt eine Ersparnis der Tagesbruttobohrzeit von angenommenen 30% bei der Jahresbruttobohrzeit nur eine Ersparnis von etwa 21%, da die unproduktiven Nebenzeiten als konstant anzusehen sind.

4.2 Dieselverbrauch

Der Langzeitdieselverbrauch wird durch Auswertung der betriebsinternen Tagesberichte ermittelt. Aus diesen Werten wird der Dieselverbrauch auf die Motorbetriebsstunden [l/h] und auf die Bohrmeter [l/m] bezogen. Dabei ist allerdings auch der Dieselverbrauch während des Überstellens des Bohrgerätes von einem Bohrfeld zum Nächsten, von einer Etage zum Nächsten und von Fahrten in die Werkstatt inbegriffen.

Um diese unproduktiven Tätigkeiten ausschließen zu können, wird das Bohrgerät jeweils vor und nach der Schicht vollständig aufgetankt, um mit den abgebohrten Metern auf den spezifischen Dieselverbrauch [l/m] ohne diese unproduktiven Tätigkeiten schließen zu können. Üblicherweise ist dieser Wert geringer als der Langzeitwert, da die Fahrstrecken mit der höchst-möglichen Motordrehzahl zurückgelegt werden. Der spezifische Dieselverbrauch pro Maschinenbetriebsstunde [l/h] ist dabei bei älteren Bohrgeräten wenig aussagekräftig, da erst bei neueren Geräten die Maschinenbetriebsstunden auf eine Kommastelle genau angezeigt werden.

4.3 Bohrgenauigkeit

Die Bohrgenauigkeit wird durch Vermessen der Bohrlöcher bestimmt.

Da die meisten Faktoren der Bohrgenauigkeit (siehe Kap. 3.3.2) nicht direkt auf das Bohrsystem zurückzuführen sind, wird nur das Verlaufen der Bohrlöcher berücksichtigt. Dieser Faktor wird direkt vom Bohrsystem beeinflusst und ist daher am aussagekräftigsten. Dabei werden für jedes Bohrloch der mittlere Azimutwinkel und die mittlere Neigung der Einzelmessungen (in Intervallen von 1m) als Sollwert angenommen.

Um einen aussagekräftigen Wert für die Bohrgenauigkeit zu erhalten, wird die Abweichung der Bohrlochneigung von diesem Mittelwert bestimmt und auf die Länge des Bohrloches bezogen. Diese Bohrlochabweichung ist bei geringen Teufen relativ hoch, da bereits kleine Abweichungen von wenigen Zentimetern einen großen Anteil an der Bohrlochlänge ergeben. Mit zunehmender Bohrlochlänge wird die prozentuelle Abweichung geringer.

4.3.1 Verwendete Messsysteme

4.3.1.1 Pulsar - Bohrlochvermessungssystem [12], [13]

Das Pulsar - Bohrlochvermessungssystem besteht aus einer Sonde, die einen Neigungssensor und einen Digitalkompass beinhaltet. Aus den Daten des Neigungssensors und des Digitalkompasses werden die Abweichungen der Bohrung vom Sollwert in festen, benutzerdefinierten Tiefenintervallen berechnet. Die Daten werden über ein Kabel, mit dessen Hilfe die Sonde in die Tiefe gesenkt wird, an einen Datenlogger transferiert und dort aufgezeichnet. Eine grafische Darstellung visualisiert die Abweichung zum Soll. Das Standardgerät wird mit einer Kabellänge von 33m geliefert.

Die aufgezeichneten Daten können am PC mit der Software Holedev6 weiterverarbeitet werden. So können die Daten typischerweise innerhalb von 30min prozessiert, visualisiert und ausgedruckt werden.



Abbildung 13: Pulsar – Bohrlochvermessungssystem

4.4 Ermittlung der Kosten

Bei der Ermittlung der Gestehungskosten im Steinbruch werden wie in Kapitel 3.1 beschrieben nur die Bohr- und Sprengkosten berücksichtigt.

4.4.1 Bohren

Die Bohrkosten setzen sich wie folgt zusammen:

- **Investitionsausgaben:** Anschaffungskosten für die Maschine; Diese Ausgaben werden auf die realistische Lebensdauer von 10, 000 Motorbetriebsstunden abgeschrieben. Mit der ermittelten Bohrleistung werden die in diesem Zeitraum abgeteuften Bohrmeter ermittelt. Die Investitionsausgaben werden abschließend samt kalkulatorischen Zinsen (mit angenommener Verzinsung von 8% auf eine Laufzeit von 5 Jahren) berechnet und auf diese Bohrmeter umgerechnet.
- **Instandhaltungskosten:** Kosten, die für Reparatur und Wartung der Maschine anfallen.
- **Verschleißkosten:** Kosten, die für verschlissenen Bohrstahl anfallen. Diese Kosten sind abhängig von der Abrasivität des Gebirges.
- **Treibstoffkosten:** Aufgrund des zuvor (siehe Kapitel 4.2) ermittelten Treibstoffverbrauchs und angenommenen Treibstoffkosten von 1 €/l werden diese Kosten ermittelt.
- **Schmiermittelkosten:** Kosten, die für Schmiermittel aufgewendet werden müssen. Als betrieblich realistischer Wert werden 8 % der Treibstoffkosten angesetzt.
- **Lohnkosten:** Kosten des Bohrers, die für den Betrieb anfallen (Bruttolohn inklusive aller Nebenkosten). Dabei wird von 1900 Arbeitsstunden pro Jahr ausgegangen. Diese Arbeitsstunden werden mit dem realistischen Bruttomittelohn von 24 €/h multipliziert und ergeben dadurch den jährlichen Bruttomittelohn von 45,600 €. Zur Berechnung der maschinenbezogenen Lohnkosten wird der Stundenbruttomittelohn (24 €/h) mit den Jahresmotorbetriebsstunden der Maschine multipliziert.

Aus diesen Kosten werden die jährlich anfallenden Ausgaben ermittelt. Mit den gegebenen Produktionsdaten werden anschließend folgende spezifischen Kosten pro Einheit berechnet:

- Gesamte Kosten [€/Jahr]
- Kosten pro Stunde [€/h]
- Kosten pro Bohrmeter [€/m]
- Kosten pro Tonne [€/t]
- Kosten pro m³ [€/m³]
- Kosten pro Bohrvolumen [€/dm³]

Die oben genannten Kosten werden als reine Betriebskosten (exklusive Abschreibung) sowie Totalkosten (inklusive Abschreibung) dargestellt.

Die Kosten pro Tonne gewonnenes Material und pro Kubikmeter sind abhängig vom gewählten Bohrraster und somit sehr betriebsspezifisch.

Die Darstellung der Kosten in „Kosten pro Bohrvolumen“ sind daher erforderlich, da die Bohrkosten mit dem Bohrlochdurchmesser zusammenhängen (siehe Abbildung 14).

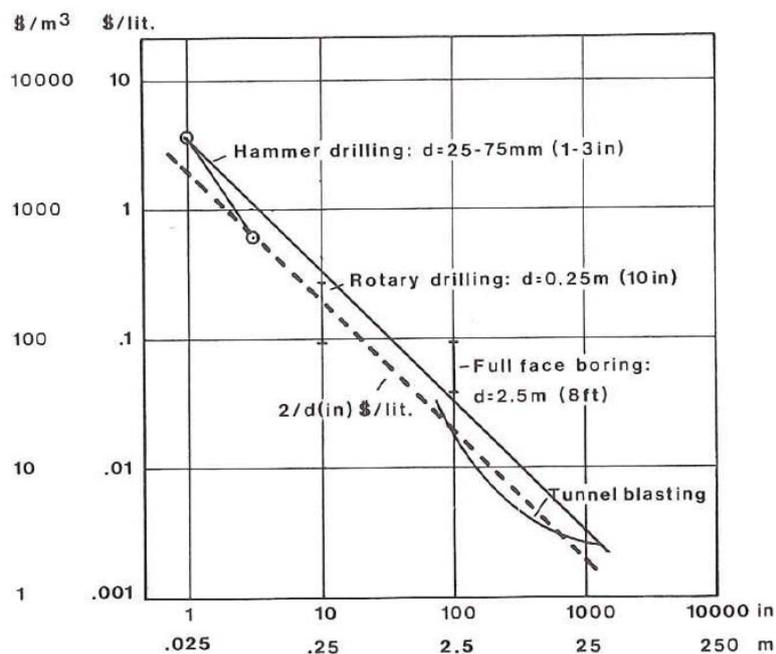


Abbildung 14: Zusammenhang zwischen Bohrkosten und Bohrlochdurchmesser [10]

4.4.2 Sprengen

Kalkulatorisch gesehen benötigt man für das Besetzen der Bohrlöcher für 1 m³ gewonnenes Material 20 Bruttoarbeitssekunden. Mit einem Bruttomittellohn von 24 €/h ergeben sich bei gegebener Abbaumenge die Lohnkosten, die für das Laden der Bohrlöcher anfallen.

Die für den Sprengstoff anfallenden Kosten ergeben sich aus den Sprengstoffkosten [€/kg] in Verbindung mit dem spezifischen Sprengstoffverbrauch [kg/m³] und der jährlichen Abbaumenge.

Die Gesamtkosten für das Sprengen setzen sich aus den Lohnkosten und den Sprengstoffkosten zusammen.

4.5 Messungen an ROC F7 CR [4]

Die Messungen wurden einerseits in einem Diabas-Hartgesteinstagebau und andererseits in einem Kalkstein-Tagebau durchgeführt.

Dabei kam das Bohrgestänge CopRod 76 und die 90 mm Bohrkronen zum Einsatz.



Abbildung 15: ROC F7 CR

a) Allgemeine Maschinendaten:

Tabelle 4: Maschinendaten ROC F7 CR

Recommended hole range		
CR76, CR89	90-127 mm	3½" - 5"
Hole depth	28 m	approx. 92'
Hydraulic rock drill		
COP 2150CR		
Impact power	21 kW	28.1 HP
Atlas Copco XAH2 screw compressor		
Working pressure	10.5 bar	152 psi
FAD	148 l/s	314 cfm
Engine		
Caterpillar Diesel		
Rating at 2000 rpm	CAT 3126B	186 kW
Boom variants		
single boom		
Fuel tank		
Capacity	400 l	100 US gal.
Feed		
Feed length, total	8100 mm	26'7"
Travel length	4770 mm	15'8"
Feed rate max.	0.92 m/s	180 ft/min
Feed force, max.	20 kN	4500 lbf
Tramming		
Travel speed, max.	3.6 km/h	2.2 mph
Traction force	112 kN	25200 lbf
Hill climbing ability, without winch	20°	20°
Hill climbing ability, with winch	35°	35°
Track oscillation	± 10°	± 10°
Ground clearance	405 mm	16"
Transport dimensions		
Length	12300 mm	40'4"
Width	2490 mm	8'2"
Height	3200 mm	10'6"
Weight, optional equipment excl.	15800 kg	34800 lb

b) Hammer

Tabelle 5: Hammerdaten COP 2150CR

	COP 2150CR
Weight, (incl. adapter)	242 kg
Length, (with adapter)	1661 mm
Impact power, max	21 kW
Impact rate	36 Hz
Hydraulic pressure, max	210 bar
Rotation speed range, max	0-100 rpm
Rotation pressure, max	200 bar
Rotation motor size (OMS 315)	2x -10
Drill steel torque, max	4000 Nm
Flushing air pressure	12 bar
Lubricating air	3 bar



Abbildung 16: COP 2150CR

c) Gestänge

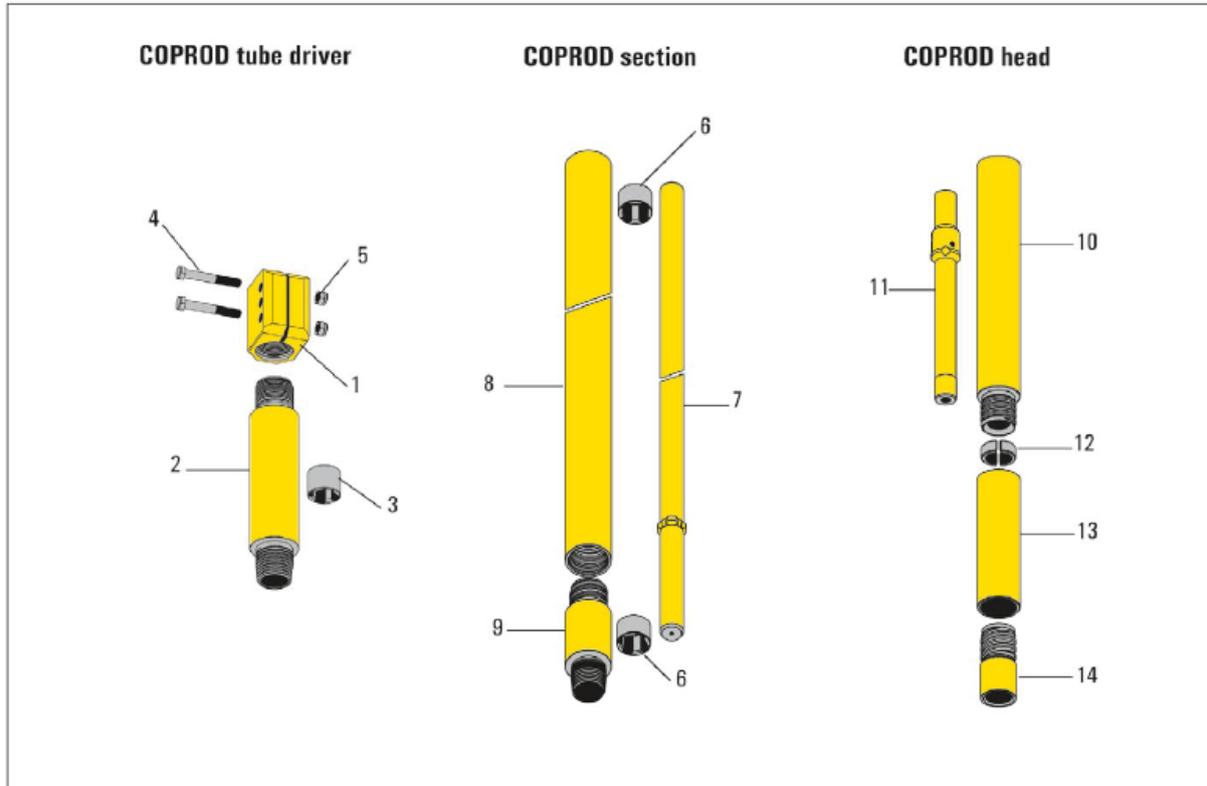


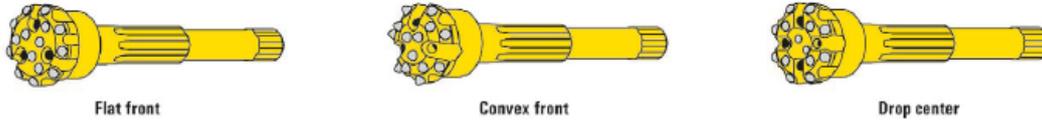
Abbildung 17: Gestänge CopRod 76

Tabelle 6: Gestänge CopRod 76

Part description	COP 1838CR, 1850CR, 2150CR, 2550CR COPROD® 76	
	Product code	Weight approx. kg
COPROD® tube driver		
1 Coupling	7970-8928-80	6.3
1 Coupling, for TED	7970-8929-80	13.7
2 Tube adapter, for TED, length 350 mm (1' 1 3/4")	7970-7637-80	7.3
2 Tube adapter, length 350 mm (1' 1 3/4")	7970-7635-80	7.3
2 Tube adapter, length 807 mm (2' 3/4")	7970-7633-80	17.3
3 Rod guide	7970-8912-00	0.2
4 Bolt (2 pcs) M 16x110 (M 16 x 150 for TED)	-	-
5 Nut (2 pcs) M 16	-	-
COPROD® section 3,66 m (12')	7970-7690-80	100
6 Rod guide	7970-8912-00	0.2
7 Rod 3660 mm (12')	7970-7691-00	44
8 Tube 3660 mm (12')	7970-7692-80	52
9 End piece	7970-7693-80	4.1
COPROD® head	7970-7682-80	22
10 Bit tube	7970-7681-00	12.3
11 Bit rod	7970-7682-00	4.4
12 Stop ring	7970-7604-00	0.2
13 Bit chuck	7970-7683-00	3.8
14 Bit driver	7970-7674-00	1.9

d) Bohrkronen

Tabelle 7: Bohrkronen für CopRod 76



Drill bit	Diameter		Product code Front design	Buttons × Button diameter (mm)			Gauge buttons angle°		Flushing holes No. × size mm	Weight approx. kg
	mm	inch		Gauge outer	Gauge inner	Centre	Outer	Inner		
COPROD® 76 for COP 1838CR COP 1850CR COP 2150CR COP 2550CR	90	3 ⁷ / ₁₆	Flat front, HD, Spherical 7976-1090-40,10-20	9×11		7×11	35°		3×8	5.8
	95	3 ⁷ / ₁₆	7976-1095-40,10-20	9×12.7		7×11	35°		3×8	6.0
	105	4 ¹ / ₈	7976-1105-40,10-20	9×12.7		7×12.7	35°		4×10	6.4
			Convex front, Ballistic							
	90	3 ⁷ / ₁₆	7976-2090-66,10-20	7×12.7	4×12.7	2×12.7	40°	20°	2×10	5.6
	95	3 ⁷ / ₁₆	7976-2095-66,10-20	7×12.7	3×12.7	2×12.7	45°	30°	3×8	5.6
	105	4 ¹ / ₈	7976-2105-66,10-20	9×12.7	3×12.7	4×12.7	45°	30°	3×10	6.2
			Drop Center, Spherical							
	90	3 ⁷ / ₁₆	7976-3090-40,10-20	8×13	4×11	2×11	35°		4×8	5.8
	95	3 ⁷ / ₁₆	7976-3095-40,10-20	8×11	4×11	2×11	35°		4×8	5.7
	105	4 ¹ / ₈	7976-3105-40,10-20	8×12.7	4×12.7	2×11	35°		4×10	6.2

4.5.1 Diabas

Tabelle 8: Allgemeine Angaben Diabas

Bohrlochdurchmesser	90 [mm]
Bohrlochlänge	14.8 [m]
Seitenabstand	2.5 [m]
Vorgabe	2.5 [m]
Bohrlochneigung	80 [°]
Gestängelänge	3.66 [m]
Bohrlochvolumen	94.15 [dm ³]

4.5.2 Kalkstein

Tabelle 9: Allgemeine Angaben Kalkstein

Bohrlochdurchmesser	90 [mm]
Bohrlochlänge	21 [m]
Seitenabstand	3 [m]
Bohrlochneigung	75 [°]
Gestängelänge	3.66 [m]
Bohrlochvolumen	133.60 [dm ³]

4.6 Messungen an ROC F9 CR [4]

Die Messungen wurden in einem Marmor-Tagebau durchgeführt.

Dabei kam das Bohrgestänge CopRod 89 zum Einsatz.

Üblicherweise wird mit einem Bohrllochdurchmesser von 115 mm gebohrt, allerdings wird, um die Endböschung nicht durch große Erschütterungen zu gefährden, hier die Trennung mit einem geringeren Bohrllochdurchmesser (105 mm) und nur 1 m Seitenabstand gebohrt.



Abbildung 18: ROC F9 CR

a) Allgemeine Maschinendaten:

Tabelle 10: Maschinendaten ROC F9 CR

Recommended hole range		
CR76, CR89	90-127 mm	3½"-5"
Hole depth	28 m	92'
Hydraulic rock drill		
COP 2550CR		
Impact power, max.	25 kW	33.5 HP
Atlas Copco screw compressor		
Working pressure	12 bar	175 psi
FAD	210 l/s	450 cfm
Engine		
Caterpillar Diesel Stage 3/Tier III	CAT C9	
Rating at 2000 rpm	224 kW	304 HP
Boom variants		
Single boom		
Fuel tank		
Capacity	400 l	106 US gal.
Feed		
Feed length, total	8100 mm	26'7"
Travel length	4770 mm	15'8"
Feed extension	1300 mm	4'3"
Feed rate max.	0.92 m/s	180 ft/min
Feed force, max.	20 kN	4500 lbf
Tramming		
Tramming speed, max.	3.6 km/h	2.2 mph
Traction force	112 kN	25200 lbf
Hill climbing ability,	20° without winch	
Track oscillation	± 10°	
Ground clearance	405 mm	16'
Transport dimensions		
Weight, excl. options	17300 kg	38100 lb
Width	2490 mm	8'2"
Length	12300 mm	40'4"
Height	3200 mm	10'6"

b) Hammer

Tabelle 11: Hammerdaten COP 2550CR

	COP 2550CR
Weight, (incl. adapter)	242 kg
Length, (with adapter)	1661 mm
Impact power, max	25 kW
Impact rate	44 Hz
Hydraulic pressure, max	230 bar
Rotation speed range, max	0-100 rpm
Rotation pressure, max	200 bar
Rotation motor size (OMS 315)	2x -10
Drill steel torque, max	4000 Nm
Flushing air pressure	12 bar
Lubricating air	6 bar



Abbildung 19: COP 2550CR

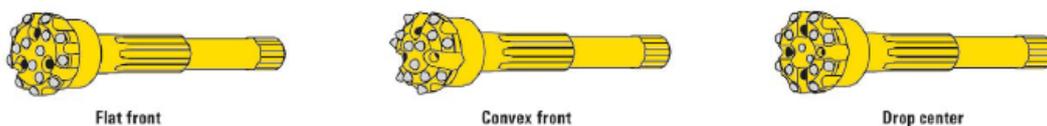
c) Gestänge

Part description	COP 1838CR, 1850CR, 2150CR, 2550CR COPROD® 89	
	Product code	Weight approx. kg
COPROD® tube driver		
1 Coupling	7970-8928-80	6.3
1 Coupling, for TED	7970-8929-80	13.7
2 Tube adapter, for TED, length 350 mm (1' 1 ³ / ₄ ")	7970-8937-80	11.6
2 Tube adapter, length 350 mm (1' 1 ³ / ₄ ")	7970-8946-80	11.1
2 Tube adapter, length 807 mm (2' 3 ³ / ₄ ")	7970-8943-80	27.1
3 Rod guide	7970-8912-00	0.2
4 Bolt (2 pcs) M 16x110 (M 16 x 150 for TED)	-	-
5 Nut (2 pcs) M 16	-	-
COPROD® section 3,66 m (12')	7970-8990-80	118
6 Rod guide	7970-8902-00	0.2
7 Rod 3660 mm (12')	7970-8991-00	46
8 Tube 3660 mm (12')	7970-8992-80	66
9 End piece	7970-8993-80	6.1
COPROD® head	7970-8982-80	33
10 Bit tube	7970-8981-00	18.2
11 Bit rod	7970-8982-00	5.6
12 Stop ring	7970-8904-00	0.2
13 Bit chuck	7970-8983-00	5.8
14 Bit driver	7970-8984-00	2.0

Abbildung 20: Gestänge CopRod 89

d) Bohrkronen

Tabelle 12: Bohrkronen für CopRod 89



Drill bit	Diameter		Product code Front design	Buttons × Button diameter (mm)			Gauge buttons angle°		Flushing holes No. × size mm	Weight approx. kg
	mm	inch		Gauge outer	Gauge inner	Centre	Outer	Inner		
COPROD® 89 for										
COP 1838CR	105	4 ¹ / ₈	Flat front, HD, Spherical 7989-1105-40,10-20	9×12.7		7×12.7	35°		3×13	9.1
COP 1850CR	110	4 ⁵ / ₁₆	7989-1110-40,10-20	9×14.5		6×14.5	35°		3×13	9.5
COP 2150CR	115	4 ⁷ / ₁₆	7989-1115-40,10-20	9×14.5		6×14.5	35°		3×13	9.7
COP 2550CR	127	5	7989-1127-40,10-20	9×14.5		7×14.5	35°		3×13	10.6
COP 4050CR			Convex front, Ballistic							
	105	4 ¹ / ₈	7989-2105-66,10-20	9×12.7	3×12.7	4×12.7	45°	30°	3×13	8.8
	110	4 ⁵ / ₁₆	7989-2110-66,10-20	9×12.7	6×12.7	4×12.7	45°	30°	3×13	9.2
	115	4 ⁷ / ₁₆	7989-2115-66,10-20	7×14.5	4×14.5	3×14.5	45°	30°	3×13	9.2
	127	5	7989-2127-66,10-20	9×14.5	6×14.5	4×14.5	45°	30°	3×13	10.1
			Drop Center, Spherical							
	105	4 ¹ / ₈	7989-3105-40,10-20	8×12.7	4×12.7	2×11	35°		4×13	8.9
	115	4 ⁷ / ₁₆	7989-3115-40,10-20	8×14.5	4×14.5	2×11	35°		4×13	9.5
	127	5	7989-3127-40,10-20	8×14.5	4×14.5	4×11	35°		4×13	10.3

4.6.1 Allgemeine Angaben

Tabelle 13: Allgemeine Angaben

Bohrlochdurchmesser	115 [mm]
Bohrlochlänge	12 [m]
Seitenabstand	4.5 [m]
Vorgabe	5.5 [m]
Bohrlochneigung	70 [°]
Gestängelänge	3.66 [m]
Bohrlochvolumen	124.64 [dm ³]

Tabelle 14: Allgemeine Angaben für Bohren der Trennung bei 11 m Bohrlochlänge

Bohrlochdurchmesser	105 [mm]
Bohrlochlänge	11.3 [m]
Seitenabstand	1 [m]
Bohrlochneigung	80 [°]
Gestängelänge	3.66 [m]
Bohrlochvolumen	97.85 [dm ³]

Tabelle 15: Allgemeine Angaben für Bohren der Trennung bei 20 m Bohrlochlänge

Bohrlochdurchmesser	105 [mm]
Bohrlochlänge	20.1 [m]
Seitenabstand	1 [m]
Bohrlochneigung	80 [°]
Gestängelänge	3.66 [m]
Bohrlochvolumen	174.05 [dm ³]

4.7 Messungen an 24 bar DTH

Diese Messungen wurden in einem Kalkstein-Tagebau durchgeführt.

Dabei kam das Bohrgestänge 76 und die 95 mm Bohrkronen zum Einsatz.

Tabelle 16: Allgemeine Angaben Messung 1

Bohrlochdurchmesser	95 [mm]
Bohrlochlänge	31 [m]
Seitenabstand	3.75 [m]
Vorgabe	4.5 [m]
Bohrlochneigung	80 [°]
Gestängelänge	5 [m]
Bohrlochvolumen	219.73 [dm ³]

Tabelle 17: Allgemeine Angaben Messung 2

Bohrlochdurchmesser	95 [mm]
Bohrlochlänge	25 [m]
Seitenabstand	3.75 [m]
Vorgabe	4.5 [m]
Bohrlochneigung	70 [°]
Gestängelänge	5 [m]
Bohrlochvolumen	177.21 [dm ³]

4.8 Vergleichsmessungen zwischen ROC F9 CR und 14 bar DTH

Diese Messungen wurden in einem Hartgesteinstagebau durchgeführt. In diesem Tagebau wird Granulit gefördert.

Die Bohrkronen- (95 mm) und die Gestängedurchmesser (76 mm) der beiden Maschinen waren dabei ident.

Bei der Imlochhammermaschine kam der Hammer vom Typ DTH.Rock ROK3L.API 2 3/8" REG. BOX der Firma Rockmore und die Bohrkronen vom Typ ST 95 LH 78 ZD, freigedreht, außen: semiballistisch, innen ballistisch der Fa. Gotthard Knödseder Bohrtechnik GmbH zur Anwendung.

Die Bohrfelder der beiden Maschinen waren auf der ersten Sohle (zur Zeit der Messungen unterste Etage des Abbaus). Das dort vorkommende Gestein hat eine derart hohe Festigkeit, dass die Bohrleistung der 14-bar-Imlochhammermaschine für

die zur Verfügungs-Stellung des benötigten Materials nicht mehr ausreicht. Laut Angaben des Bohristen war die Bohrleistung der Imlochhammermaschine im oberen Bereich des Abbaugebietes ausreichend, allerdings wird sich die zukünftige Entwicklung des Steinbruchs in die Tiefe fortsetzen. Somit ist härteres Gestein zu erwarten und die Imlochhammermaschine wäre nicht dafür geeignet. Aus diesem Grund wurde eine ROC F9 CR angeschafft und Vergleichsmessungen durchgeführt.



Abbildung 21: ROC F9 CR

Tabelle 18: Allgemeine Angaben

Bohrlochdurchmesser	95 [mm]
Bohrlochlänge	8.2 [m]
Seitenabstand	3.2 [m]
Vorgabe	3 [m]
Bohrlochneigung	75 [°]
Gestängellänge	3.66 [m]
Bohrlochvolumen	58.12 [dm ³]

5 Auswertung der Daten

5.1 Messungen an ROC F7 CR

5.1.1 Diabas

5.1.1.1 Leistungsfähigkeit

Jahresbruttobohrleistung

Bohrlochdurchmesser	90 [mm]
Gesamte Bohrmeter	38295.00 [m]
Motorstunden	1284.90 [h]
Hammerstunden	571.30 [h]
Bruttobohrleistung	29.80 [m/h]
	52.67 [cm ³ /sec]
Nettobohrleistung	67.03 [m/h]
	118.45 [cm ³ /sec]

Tagesbruttobohrleistung

Messung 1

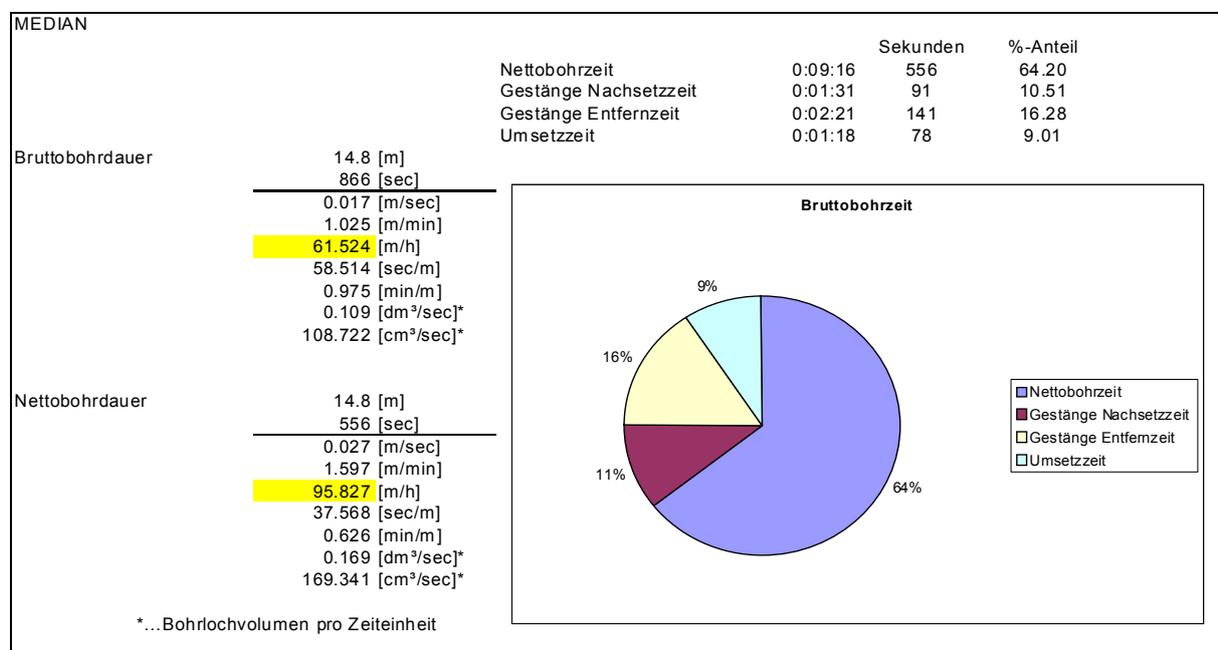


Abbildung 22: Maximale Bohrleistung ROC F7 CR

Der Anteil der Nettobohrzeit an der Bruttobohrzeit beträgt 64%.

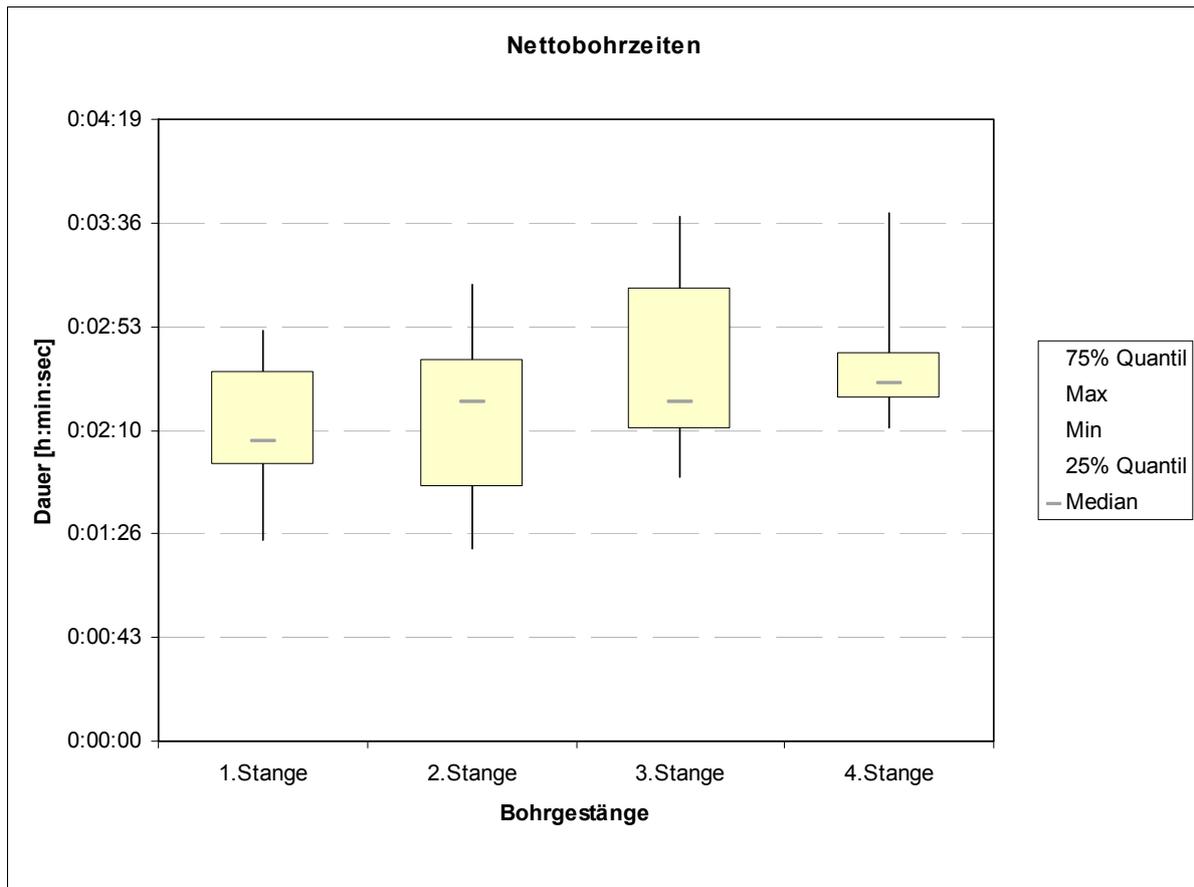


Abbildung 23: Nettobohrzeiten ROC F7 CR

Der Median der Nettobohrzeiten der vier abgeteuften Bohrstangen ist annähernd gleich groß. Somit zeigt sich, dass die Energieverluste an den Übergängen der einzelnen Schlagstangen vernachlässigbar sind.

Messung 2

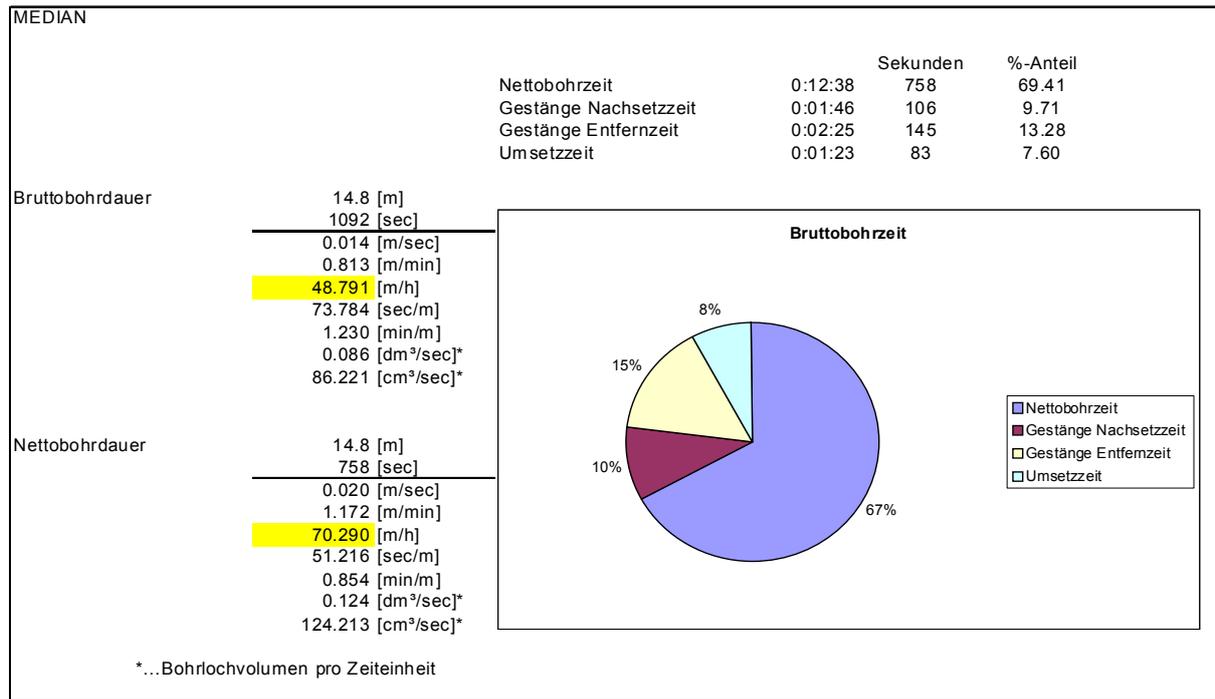


Abbildung 24: Maximale Bohrleistung ROC F7 CR

Der Anteil der Nettoboehrzeit an der Bruttoboehrzeit beträgt 67%.

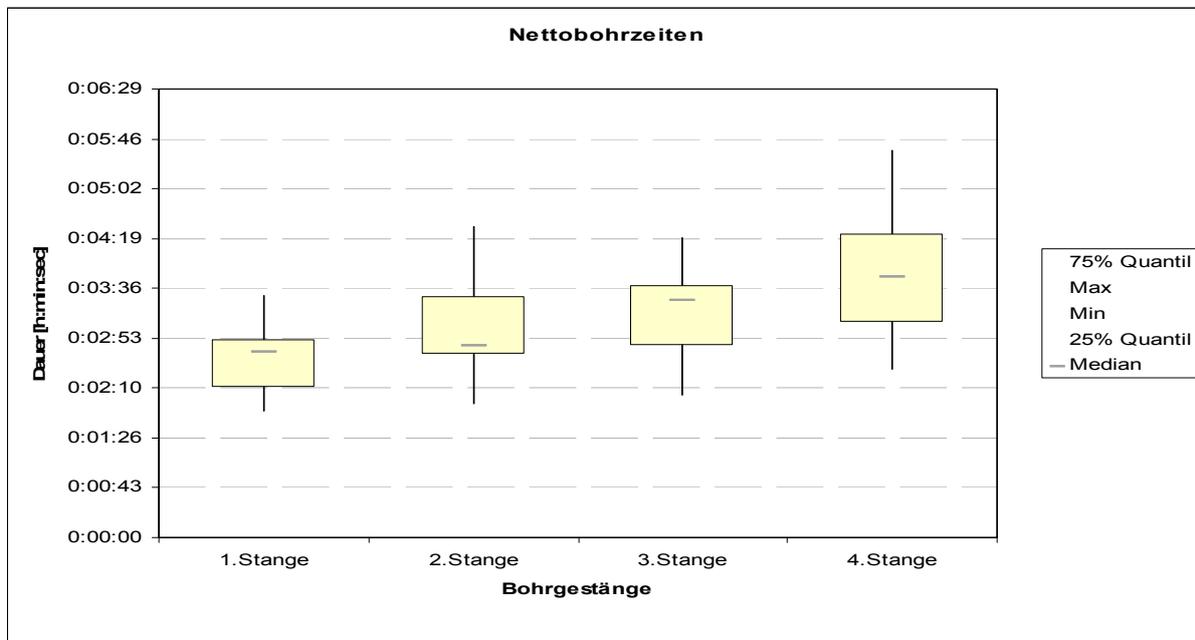


Abbildung 25: Nettoboehrzeiten ROC F7 CR

Der Median der Nettoboehrzeit der vierten Bohrstange ist um rund 40% höher als die Nettoboehrzeit der ersten Bohrstange.

5.1.1.2 Dieserverbrauch

Tabelle 19: Dieserverbrauch Messung 1

Bohrmeter	330 [m]
Diesel	196 [l]
Verbrauch	0.59 [l/m]

Der spezifische Dieserverbrauch betrug 0.59 l/m (Liter pro Bohrmeter).

Tabelle 20: Dieserverbrauch Messung 2

Bohrmeter	285 [m]
Diesel	174 [l]
Verbrauch	0.61 [l/m]

Der spezifische Dieserverbrauch betrug 0.61 l/m (Liter pro Bohrmeter).

Der Langzeit-Dieserverbrauch inklusive der Fahrstrecken von einer Etage auf die nächste, aber auch inklusive der verbrauchsintensiveren Kleinbaustellen beträgt 0.85 l/m (Liter pro Bohrmeter) bzw. 22.43 l/h (Liter pro Betriebsstunde).

Die Kurzzeitwerte des Dieserverbrauchs (0.61 bzw. 0.59 l/m) sind erwartungsgemäß niedriger als die Langzeitwerte. Dies ist der Fall, da die Fahrstrecken zwischen den Bohrfeldern, auf andere Etagen und in die Werkstatt mit der höchstmöglichen Motordrehzahl zurückgelegt werden.

5.1.1.3 Bohrgenauigkeit

Messung 1

Tabelle 21: Bohrgenauigkeit der ROC F7 CR

Bohrloch- nummer	geplante Neigung [°]	mittlere Neigung [°]	mittlerer Azimut [°]	Bohrloch- länge [m]	Abweichung von gepl. Neigung [m]	% der Bohrloch- länge [%]	Abweichung von mittlerer Neigung [m]	% der Bohrloch- länge [%]
1	10	12.2	48.7	13.3	0.55	4.14	0.06	0.45
2	10	12.2	50.4	14.2	0.58	4.08	0.06	0.42
3	10	11.1	41.3	13.5	0.29	2.15	0.04	0.30
4	10	13.5	45.5	14.5	0.93	6.41	0.08	0.55
5	10	13.3	47.5	13.3	0.80	6.02	0.07	0.53
6	10	16.6	23.5	13.5	1.61	11.93	0.17	1.26
7	10	17.6	26.9	14.2	1.93	13.59	0.19	1.34
8	10	17.1	24.4	13.1	1.65	12.60	0.14	1.07
9	10	17.2	22.4	14.5	1.87	12.90	0.18	1.24
Mittelwert		14.53	36.73	13.79	1.13	8.20	0.11	0.80
Median		13.50	41.30	13.50	0.93	6.41	0.08	0.55

Die dritte und vierte Spalte von rechts beziehen sich auf die Abweichungen von der geplanten Neigung (und mittlerem Azimut aus den Messwerten im 1m-Intervall). Im Gegensatz dazu beziehen sich die letzten beiden Spalten auf die Abweichung vom Mittelwert der Neigungen (aus den Messwerten im 1m-Intervall) (siehe Kapitel 4.3).

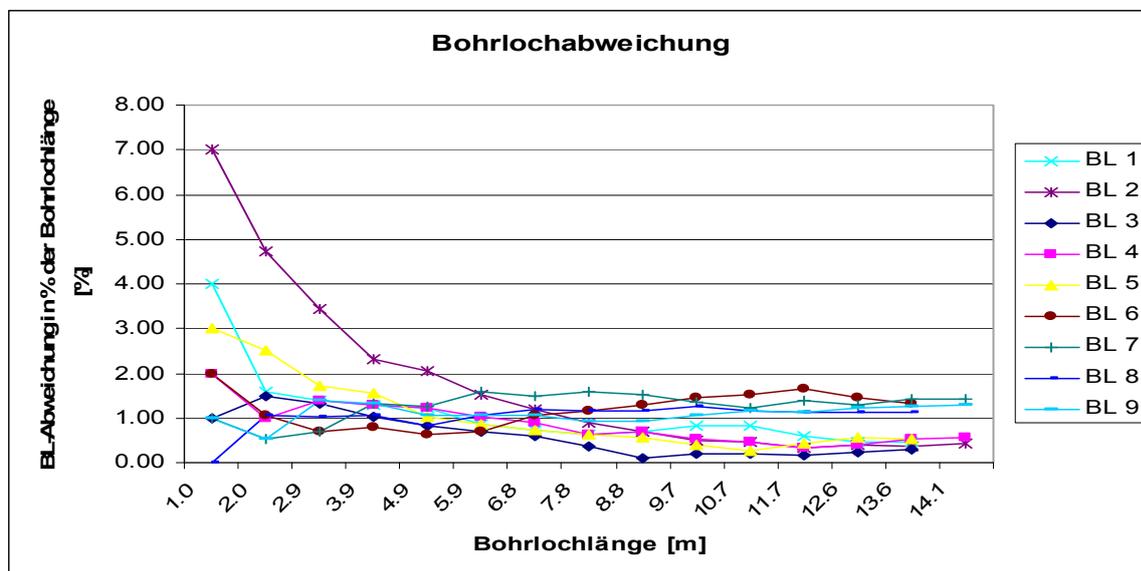


Abbildung 26: Bohrgenauigkeit der ROC F7 CR

Die in Prozent der Bohrlochlänge angegebene Bohrlochabweichung ist bei geringen Teufen relativ hoch, da bereits kleine Abweichungen von wenigen Zentimetern einen großen Anteil an der Bohrlochlänge ergeben. Mit zunehmender Bohrlochlänge wird die prozentuelle Abweichung geringer.

Messung 2

Tabelle 22: Bohrgenauigkeit der ROC F7 CR

Bohrloch- nummer	geplante Neigung [°]	mittlere Neigung [°]	mittlerer Azimut [°]	Bohrloch- länge [m]	Abweichung von gepl. Neigung [m]	% der Bohrloch- länge [%]	Abweichung von mittlerer Neigung [m]	% der Bohrloch- länge [%]
1	10	18.0	42.4	8.0	1.11	13.88	0.08	1.00
2	10	18.9	39.6	13.0	2.04	15.69	0.19	1.46
3	10	19.2	39.7	12.7	2.09	16.46	0.23	1.81
4	10	18.9	38.0	13.7	2.18	15.91	0.23	1.68
5	10	18.3	40.3	13.3	1.99	14.96	0.22	1.65
6	10	17.0	38.0	13.2	1.67	12.65	0.17	1.29
7	10	17.4	31.4	13.8	1.67	12.10	0.17	1.23
8	10	16.6	20.7	14.5	1.73	11.93	0.18	1.24
9	10	17.6	29.5	13.0	1.78	13.69	0.19	1.46
10	10	17.8	31.0	13.4	1.89	14.10	0.21	1.57
11	10	16.5	29.4	14.5	1.71	11.79	0.18	1.24
12	10	16.6	28.3	14.4	1.71	11.88	0.16	1.11
13	10	16.3	26.7	13.0	1.46	11.23	0.13	1.00
14	10	17.1	23.8	14.4	1.67	11.60	0.17	1.18
17	10	17.6	31.4	13.9	1.89	13.60	0.19	1.37
18	10	16.2	25.3	14.7	1.65	11.22	0.16	1.09
19	10	15.9	26.9	14.7	1.58	10.75	0.16	1.09
20	10	16.1	31.0	14.7	1.61	10.95	0.15	1.02
21	10	16.3	31.6	14.7	1.73	11.77	0.18	1.22
25	10	17.2	26.9	14.6	1.90	13.01	0.20	1.37
26	10	17.6	28.2	14.7	2.00	13.61	0.19	1.29
27	10	16.4	29.4	14.7	1.71	11.63	0.17	1.16
28	10	17.0	34.4	14.8	1.89	12.77	0.19	1.28
Mittelwert		17.24	31.47	13.76	1.77	12.92	0.18	1.30
Median		17.10	31.00	14.40	1.73	12.65	0.18	1.24

Die dritte und vierte Spalte von rechts beziehen sich auf die Abweichungen von der geplanten Neigung (und mittlerem Azimut aus den Messwerten im 1m-Intervall). Im Gegensatz dazu beziehen sich die letzten beiden Spalten auf die Abweichung vom Mittelwert der Neigungen (aus den Messwerten im 1m-Intervall) (siehe Kapitel 4.3).

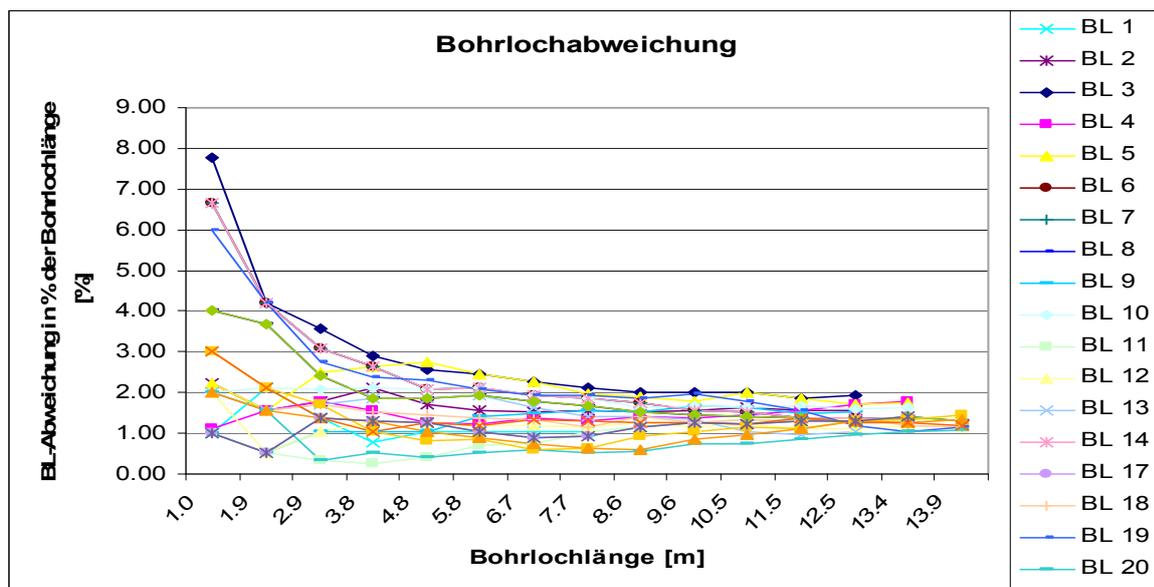


Abbildung 27: Bohrgenauigkeit der ROC F7 CR

5.1.2 Kalkstein

5.1.2.1 Leistungsfähigkeit

Jahresbruttobohrleistung

Bohrlochdurchmesser	90 [mm]
Gesamte Bohrmeter	33956.50 [m]
Motorstunden	1100.50 [h]
Hammerstunden	455.50 [h]
Bruttobohrleistung	30.86 [m/h]
	54.53 [cm ³ /sec]
Nettobohrleistung	74.55 [m/h]
	131.74 [cm ³ /sec]

Tagesbruttobohrleistung

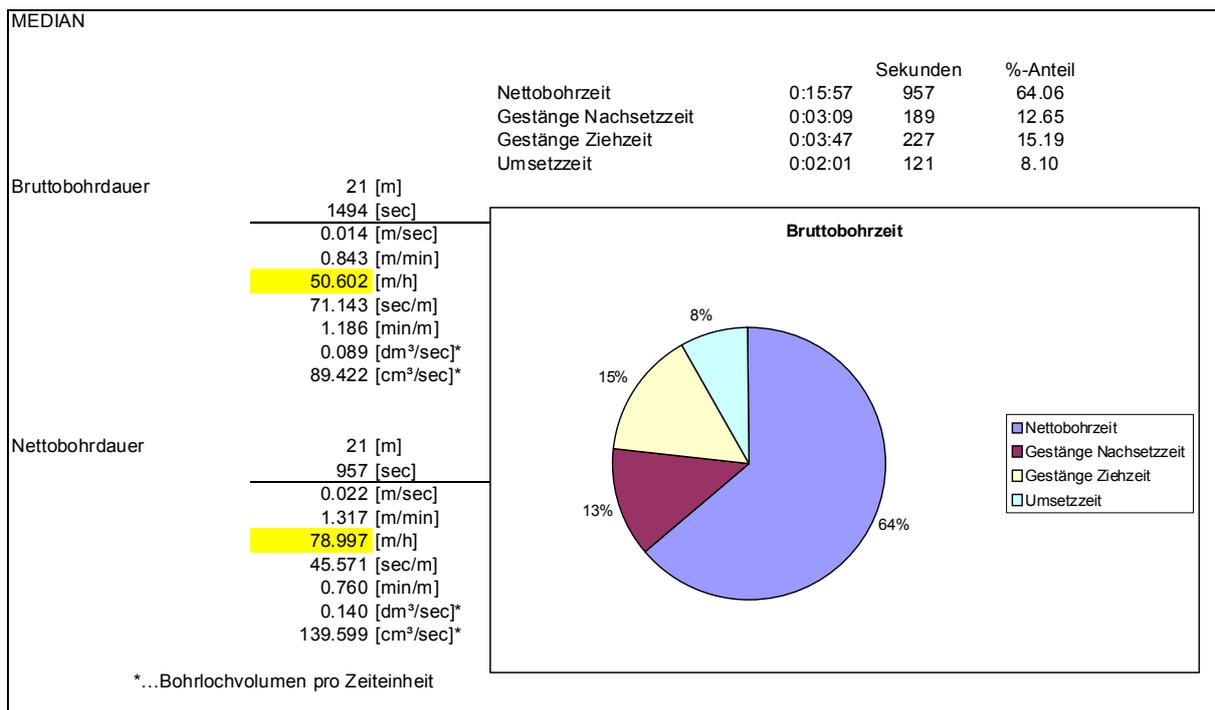


Abbildung 28: Maximale Bohrleistung ROC F7 CR

Der Anteil der Nettobohrzeit an der Bruttobohrzeit beträgt 64%.

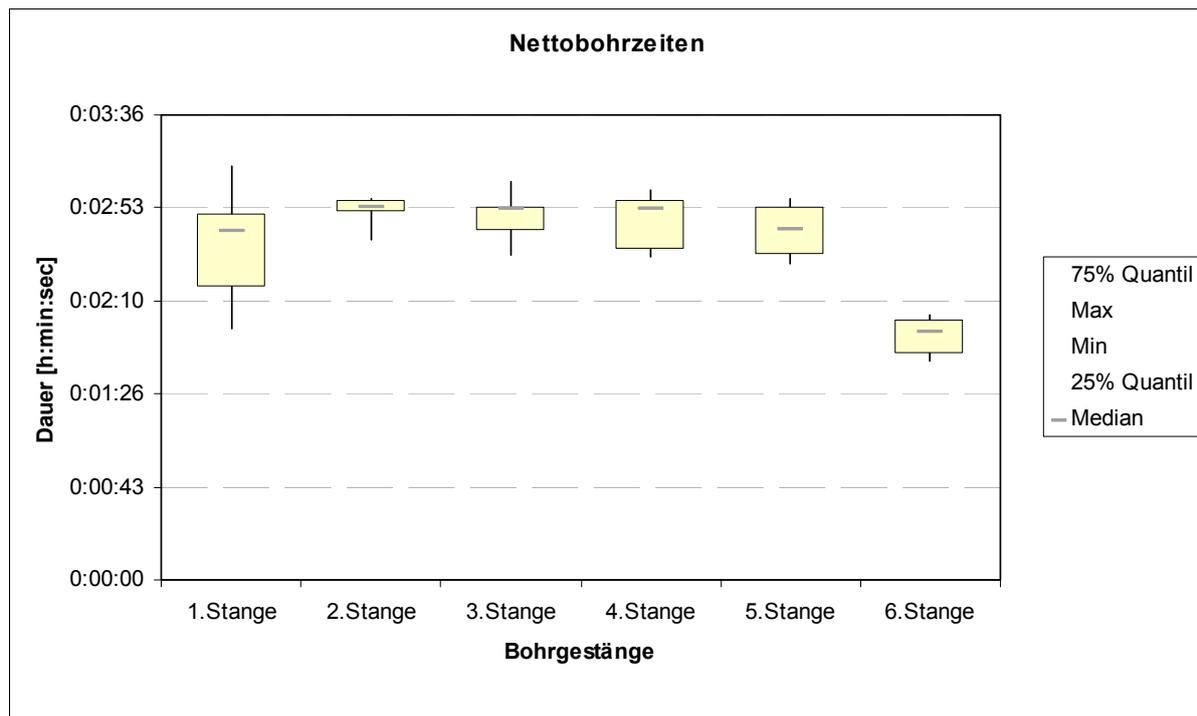


Abbildung 29: Nettobohrzeiten ROC F7 CR

Der Median der Nettobohrzeiten der ersten fünf abgeteuften Bohrstangen ist annähernd gleich groß. Somit zeigt sich, dass die Energieverluste an den Übergängen der einzelnen Schlagstangen vernachlässigbar sind.

Die Nettobohrzeit der sechsten Bohrstange ist deshalb geringer, da diese nur zu rund 270 cm abgeteuft wurde.

5.1.2.2 Dieserverbrauch

Tabelle 23: Dieserverbrauch ROC F7 CR

Bohrmeter	290 [m]
Diesel	212 [l]
Verbrauch	0.73 [l/m]

Der Langzeit-Dieserverbrauch inklusive der Fahrstrecken von einer Etage auf die nächste, aber auch inklusive der verbrauchsintensiveren Kleinbaustellen beträgt 0.85 l/m (Liter pro Bohrmeter) bzw. 22.43 l/h (Liter pro Betriebsstunde). Der Kurzzeitwert von 0.73 l/m (Liter pro Bohrmeter) ist erwartungsgemäß niedriger.

5.1.2.3 Bohrgenauigkeit

Tabelle 24: Bohrgenauigkeit der ROC F7 CR

Bohrloch- nummer	geplante Neigung	mittlere Neigung	mittlerer Azimut	Bohrloch- länge [m]	Abweichung von gepl. Neigung [m]	% der Bohrloch- länge [%]	Abweichung von mittlerer Neigung [m]	% der Bohrloch- länge [%]
	[°]	[°]	[°]					
1	15	18.8	236.1	20.7	1.58	7.63	0.34	1.64
2	15	16.7	236.7	20.8	0.84	4.04	0.27	1.30
3	15	16.8	236.5	21.1	0.89	4.22	0.28	1.33
4	15	15.9	234.6	19.6	0.50	2.55	0.21	1.07
5	15	15.7	231.6	20.8	0.45	2.16	0.22	1.06
6	15	15.5	231.9	20.8	0.36	1.73	0.19	0.91
7	15	14.8	235.1	20.7	0.11	0.53	0.17	0.82
8	15	14.6	229.4	20.7	0.05	0.24	0.18	0.87
9	15	15.4	229.6	20.3	0.32	1.58	0.19	0.94
10	15	14.4	233.6	20.3	0.09	0.44	0.13	0.64
11	15	14.8	232.6	20.8	0.12	0.58	0.18	0.87
12	15	16.1	220.5	20.3	0.59	2.91	0.22	1.08
13	15	17.2	218.9	19.8	0.95	4.80	0.25	1.26
14	15	15.8	216.3	20.4	0.48	2.35	0.22	1.08
15	15	14.5	217.8	20.6	0.01	0.05	0.18	0.87
16	15	15.4	215.5	20.6	0.33	1.60	0.19	0.92
17	15	16.7	216.6	20.8	0.83	3.99	0.26	1.25
18	15	14.4	212.5	20.5	0.05	0.24	0.15	0.73
19	15	15.5	208.5	20.7	0.38	1.84	0.21	1.01
Mittelwert		15.74	226.02	20.54	0.47	2.29	0.21	1.03
Median		15.50	229.60	20.70	0.38	1.84	0.21	1.01

Die dritte und vierte Spalte von rechts beziehen sich auf die Abweichungen von der geplanten Neigung (und mittlerem Azimut aus den Messwerten im 1m-Intervall). Im Gegensatz dazu beziehen sich die letzten beiden Spalten auf die Abweichung vom Mittelwert der Neigungen (aus den Messwerten im 1m-Intervall) (siehe Kapitel 4.3).

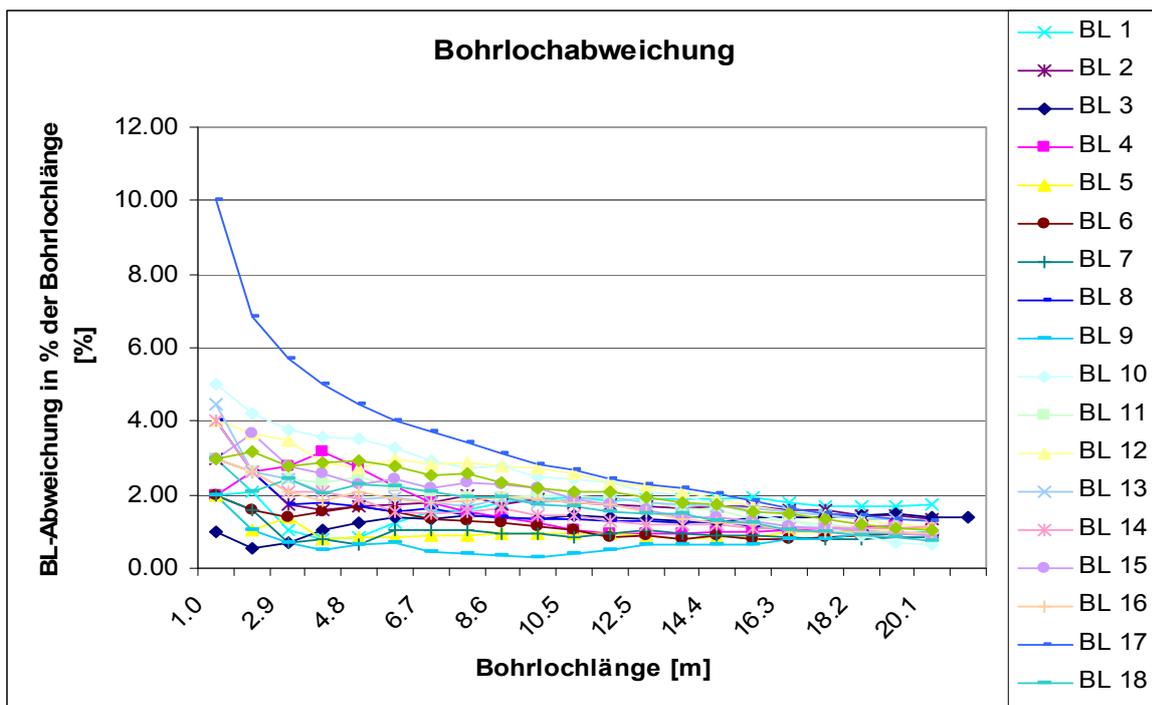


Abbildung 30: Bohrgenauigkeit der ROC F7 CR

5.1.3 Ermittlung der Kosten

5.1.3.1 Bohren

Tabelle 25: Berechnung der Bohrkosten

	Investitionsausgaben	310000 [€]
	Gesamte Lebensdauer	10000 [Bh]
Abschreibung	Bruttobohrleistung	27.7 [m/h]
	tats Bohrmeter	51000.00 [m/Jahr]
	Jahresbetriebsstunden	1841.16 [h/Jahr]
	Lebensdauer	5.43 [Jahre]
	Gesamte Bohrmeter	277000 [m]
	Zinssatz	8 [%]
	Kalkulatorische Zinsen	12400 [€/Jahr]
	Verzinsungsjahre	5 [Jahre]
	Summe Zinskosten	62000 [€]
	Summe Investition	372000 [€]
	Abschreibung pro Jahr	68490.97 [€/Jahr]
Bohrmeterkosten		1.34 [€/m]
Instandhaltung	Reparatur	12000 [€/Jahr]
	Bohrmeterkosten 0.24 [€/m]	
Verschleiß	Bohrstahl	33000 [€/Jahr]
	Bohrmeterkosten 0.65 [€/m]	
Treibstoff	Diesel pro Bohrmeter	0.85 [l/Bm]
	Dieselpreis	1 [€/l]
	Bohrmeterkosten 0.85 [€/m]	
Schmiermittel	Schmierstoffe	8.00 [%] von Treibstoff
	Bohrmeterkosten 0.07 [€/m]	
Lohnkosten	Arbeitsstunden ges	1900 [h/Jahr]
	Bruttomittelohn	24.00 [€/h]
	Bruttolohn gesamt	45600 [€/Jahr]
	Bruttolohn bezogen auf Bh	44187.73 [€/Jahr]
	Bohrmeterkosten 0.87 [€/m]	

Die Bruttobohrleistung von 27.7 m/h wurde aus betriebsinternen Aufzeichnungen ermittelt und ist deshalb niedriger als die in den Kapiteln 5.1.1.1 und 5.1.2.1 ermittelten Werte, da diese Maschine auch auf Kleinbaustellen mit dementsprechend geringerer Bohrleistung im Einsatz ist.

Tabelle 26: Überblick über die Produktionsrate

Bohrkrone	90 [mm]
Dichte des Gesteins	2.70 [t/m ³]
Jahresproduktion	1400000.00 [t/Jahr]
Jahresproduktion	518518.52 [m ³ /Jahr]
Bohrlochfläche	0.64 [dm ²]
Bohrlochvolumen	324447.98 [dm ³ /Jahr]

Tabelle 27: Aufspaltung der Bohrkosten pro Einheit

	Betriebskosten	Totalkosten
Gesamte Kosten	136005.73	204496.70 [€/Jahr]
Kosten pro Stunde	73.87	111.07 [€/h]
Kosten pro Bohrmeter	2.67	4.01 [€/m]
Kosten pro Tonne	0.10	0.15 [€/t]
Kosten pro m ³	0.26	0.39 [€/m ³]
Kosten / Bohrvolumen	0.42	0.63 [€/dm ³]

5.1.3.2 Sprengen

Kalkulatorisch gesehen benötigt man für das Besetzen der Bohrlöcher für 1 m³ gewonnenes Material 20 Bruttoarbeitssekunden. Mit einem Bruttomittellohn von 24 €/h ergeben sich bei gegebener Abbaumenge (siehe Tabelle 26) und spezifischem Sprengstoffverbrauch folgende Gesamtkosten.

Tabelle 28: Überblick über die jährlichen Sprengkosten

Ladezeit	2880.66 [h/Jahr]
Bruttomittelohn	24 [€/h]
Lohnkosten	69135.80 [€/Jahr]
Sprengstoffkosten	1.50 [€/kg]
Sprengstoffverbrauch	0.30 [kg/m ³]
Sprengstoffkosten ges	233333.33 [€/Jahr]
Gesamtkosten	302469.14 [€/Jahr]
Kosten pro Tonne	0.22 [€/t]
Kosten pro m ³	0.58 [€/m ³]

5.2 Messungen an ROC F9 CR

5.2.1 Leistungsfähigkeit

Jahresbruttobohrleistung

Bohrlochdurchmesser	115 [mm]
Gesamte Bohrmeter	115013 [m]
Motorstunden	4264 [h]
Hammerstunden	1647 [h]
Bruttobohrleistung	26.97 [m/h]
	77.82 [cm ³ /sec]
Nettobohrleistung	69.83 [m/h]
	201.48 [cm ³ /sec]

Tagesbruttobohrleistung

Messung 1

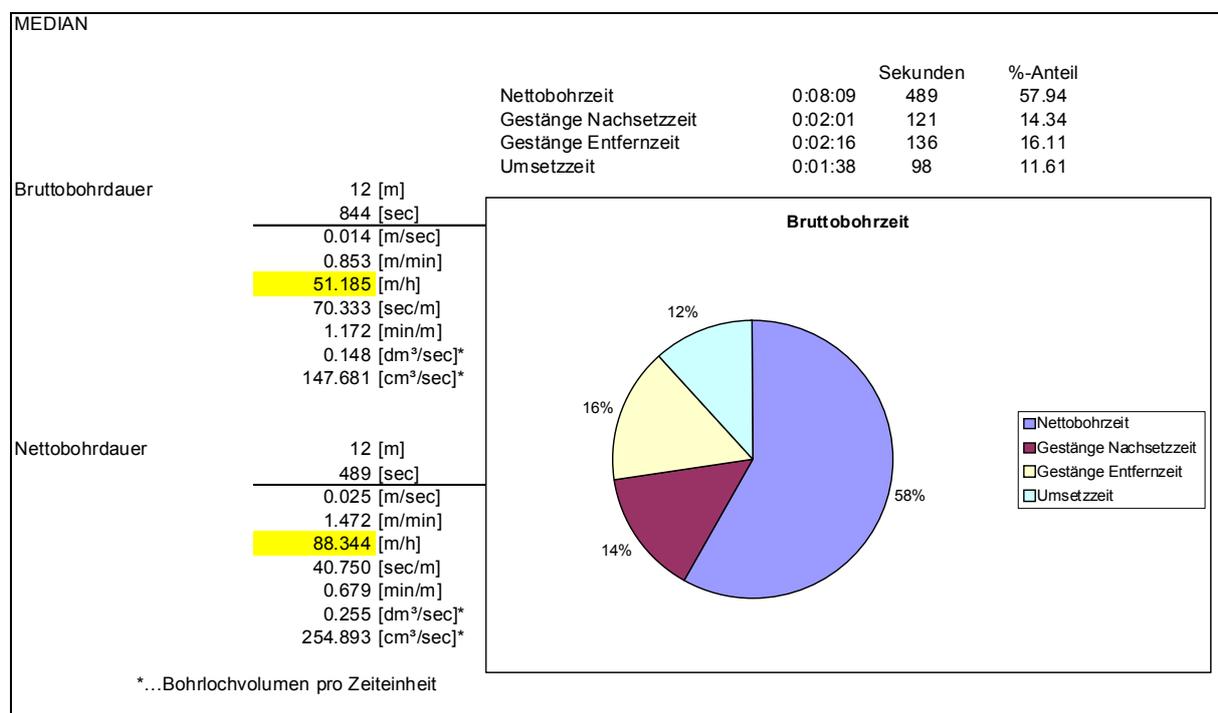


Abbildung 31: Maximale Bohrleistung ROC F9 CR

Der Anteil der Nettobohrzeit an der Bruttobohrzeit beträgt 58%.

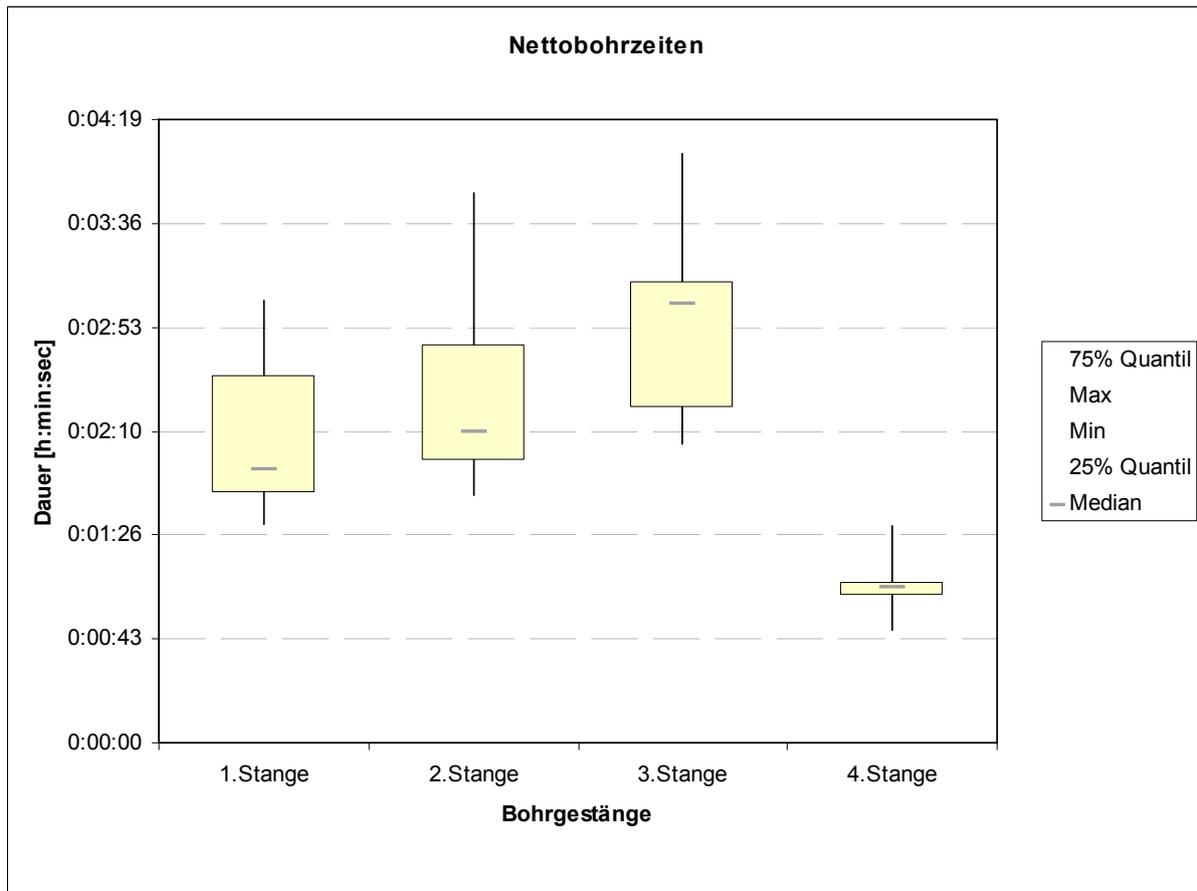


Abbildung 32: Nettobohrzeiten ROC F9 CR

Der Median der Nettobohrzeit der dritten Bohrstange ist um rund 62% höher als die Nettobohrzeit der ersten Bohrstange.

Die geringe Bohrdauer der vierten Bohrstange lässt sich mit der Tatsache erklären, dass diese Bohrstange nur etwa 100 cm abgebohrt wurde.

Messung 2

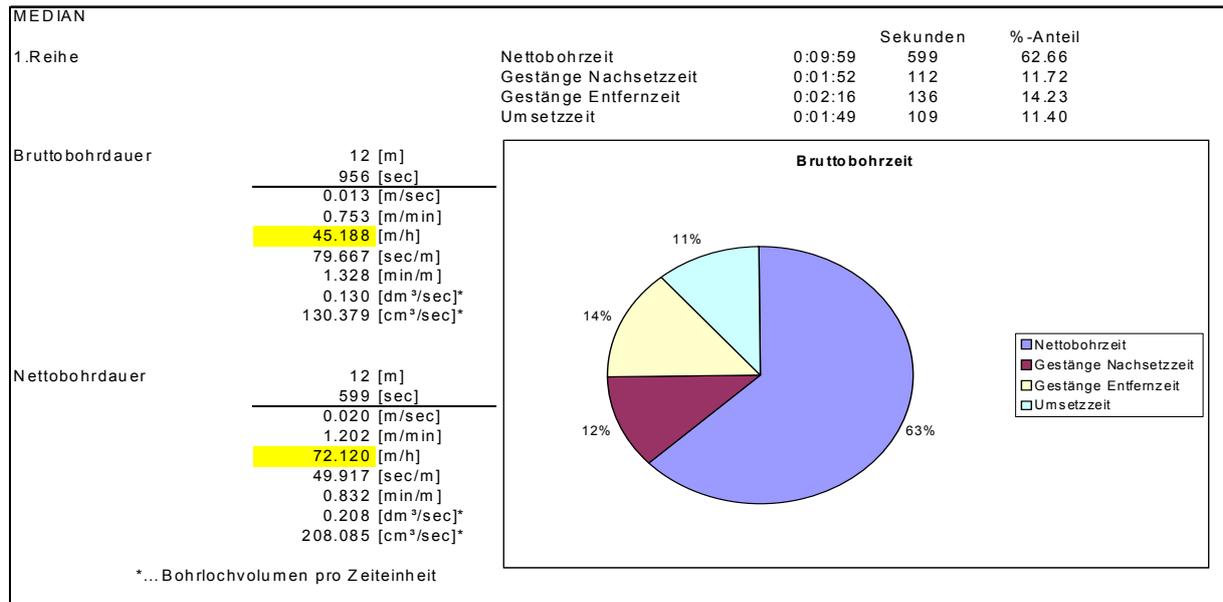


Abbildung 33: Maximale Bohrleistung ROC F9 CR

Der Anteil der Nettobohrzeit an der Bruttobohrzeit beträgt 63%.

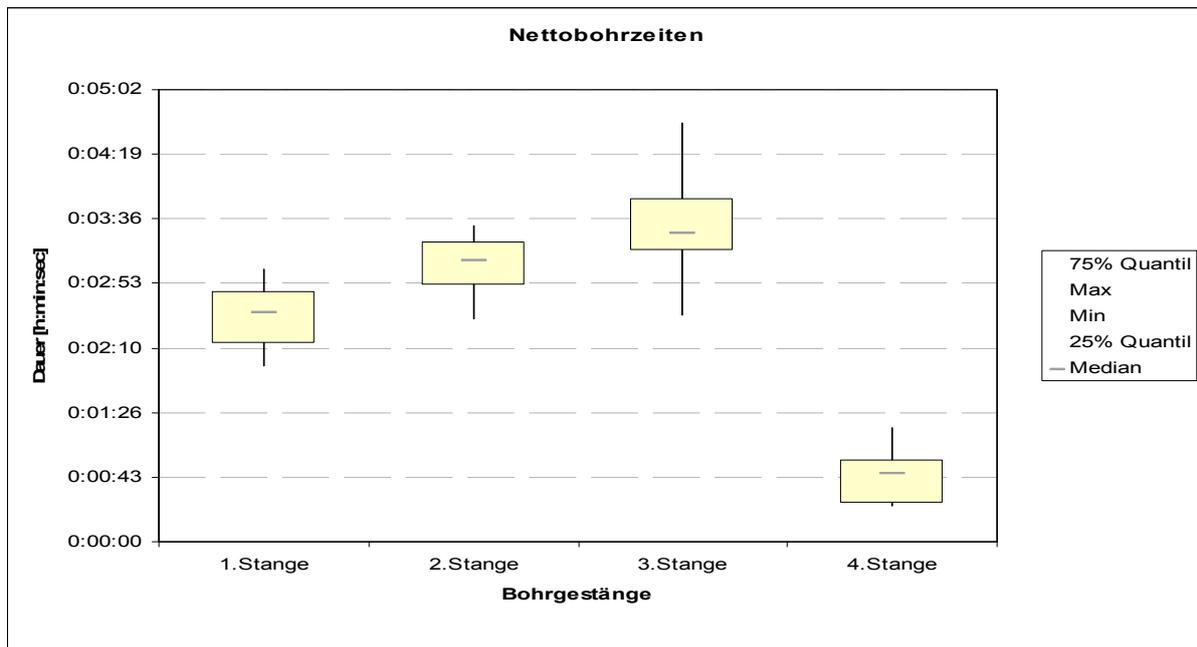


Abbildung 34: Nettobohrzeiten ROC F9 CR

Der Median der Nettobohrzeit der dritten Bohrstange ist um rund 35% höher als die Nettobohrzeit der ersten Bohrstange.

Die geringe Bohrdauer der vierten Bohrstange lässt sich mit der Tatsache erklären, dass diese Bohrstange nur etwa 100 cm abgebohrt wurde.

Messung 3

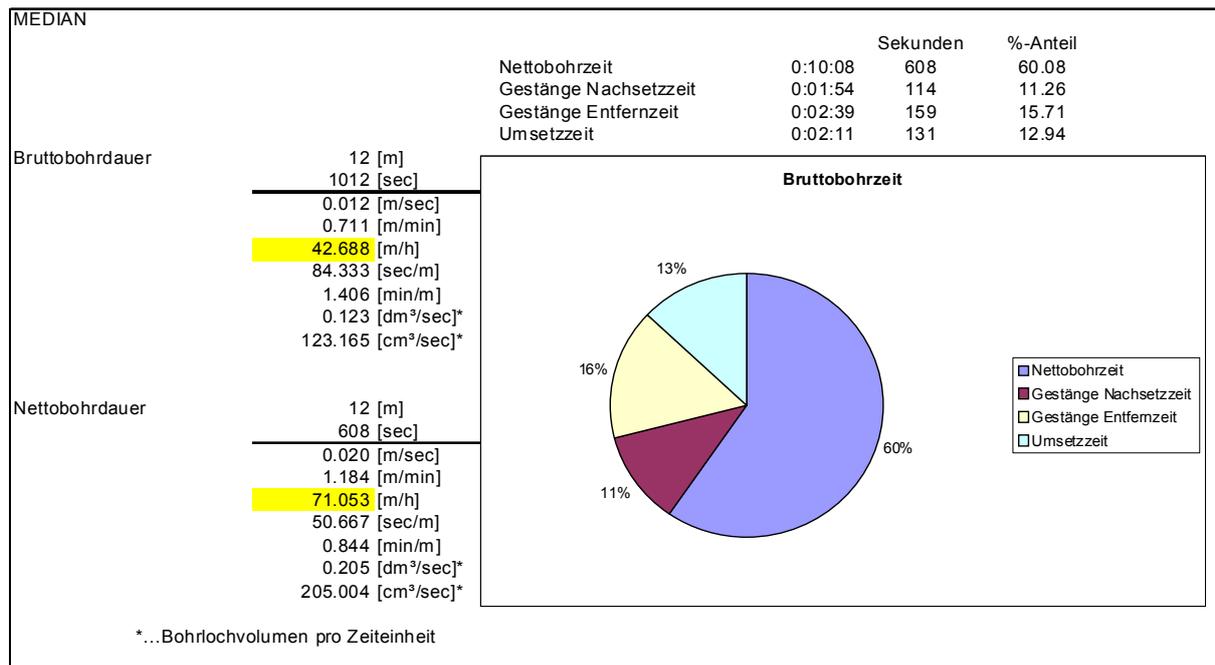


Abbildung 35: Maximale Bohrleistung ROC F9 CR

Der Anteil der Nettobohrzeit an der Bruttobohrzeit beträgt 60%.

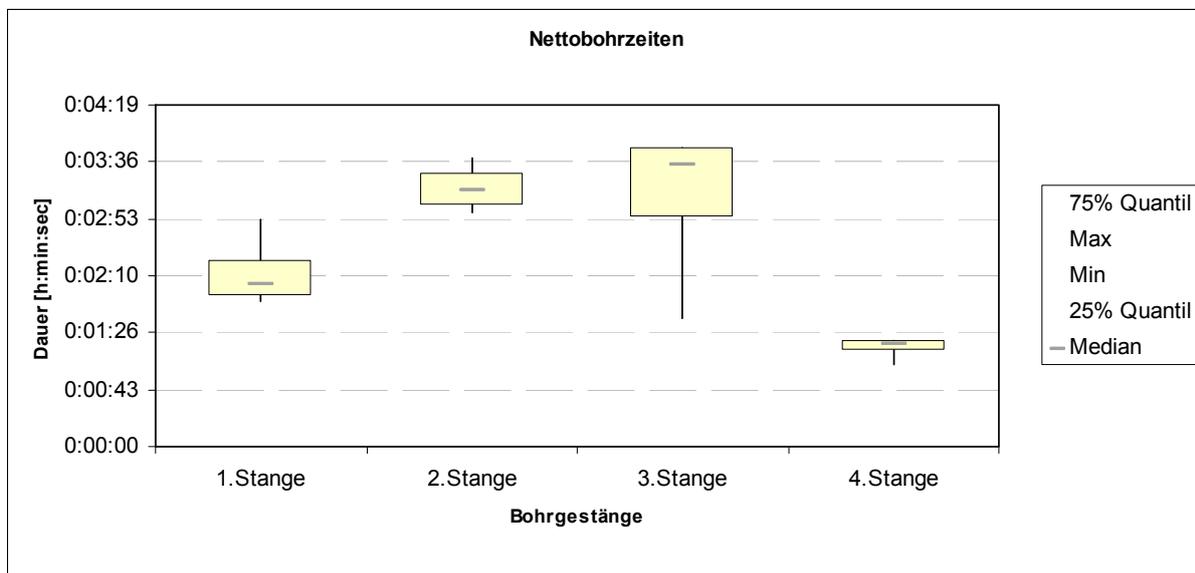


Abbildung 36: Nettobohrzeiten ROC F9 CR

Der Median der Nettobohrzeit der dritten Bohrstange ist um rund 75% höher als die Nettobohrzeit der ersten Bohrstange.

Die geringe Bohrdauer der vierten Bohrstange lässt sich mit der Tatsache erklären, dass diese Bohrstange nur etwa 100 cm abgebohrt wurde.

Messung 4: Bohrlochdurchmesser 105 mm, Seitenabstand 1 m

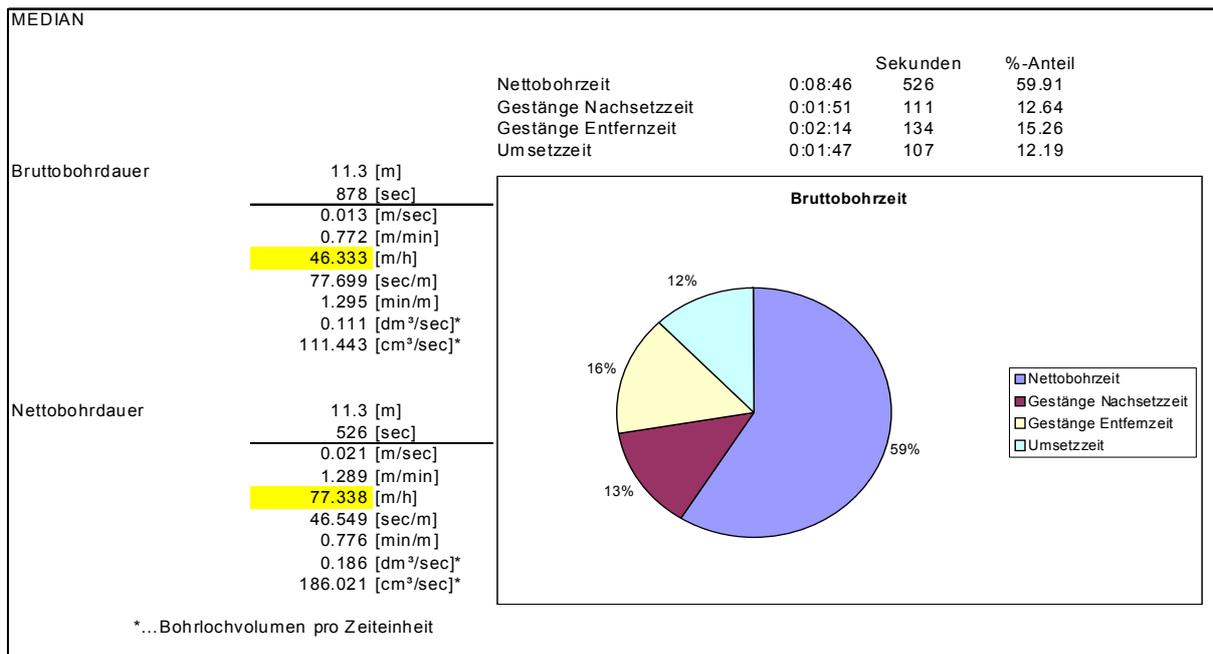


Abbildung 37: Maximale Bohrleistung ROC F9 CR

Der Anteil der Nettobohrzeit an der Bruttobohrzeit beträgt 59%.

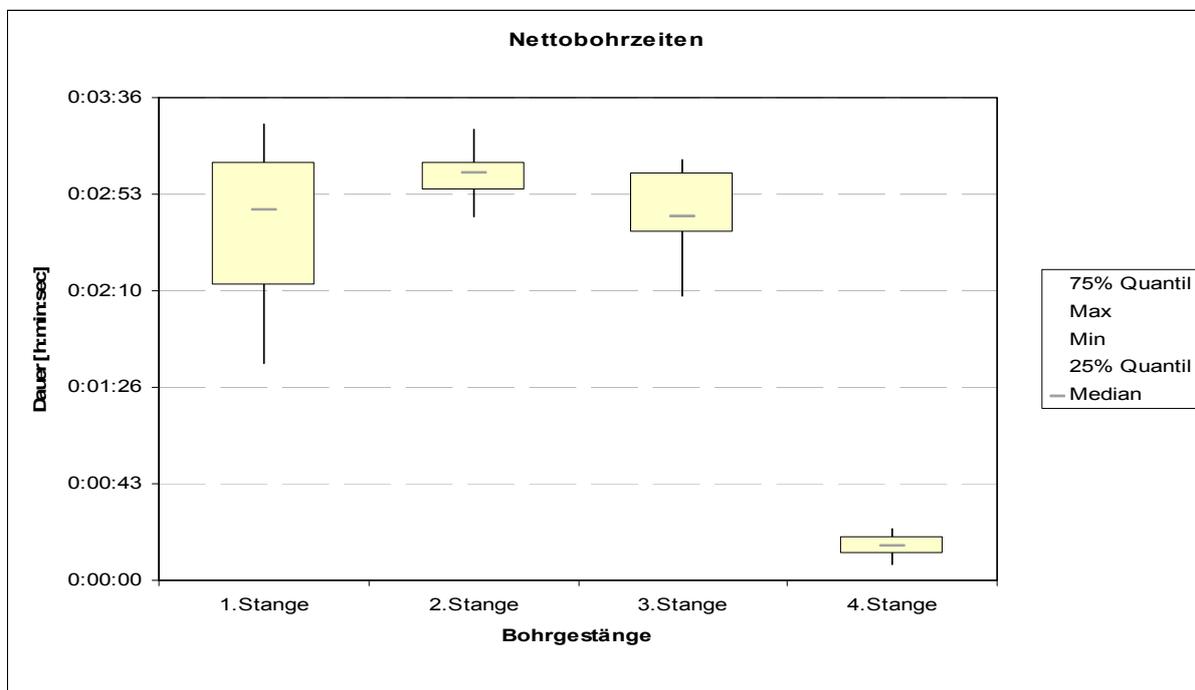


Abbildung 38: Nettobohrzeiten ROC F9 CR

Die geringe Bohrdauer der vierten Bohrsta nge lässt s ich mit der Tatsache erklären, dass diese Bohrstange nur etwa 40 cm abgebohrt wurde.

Messung 5: Bohrlochdurchmesser 105 mm, Seitenabstand 1 m

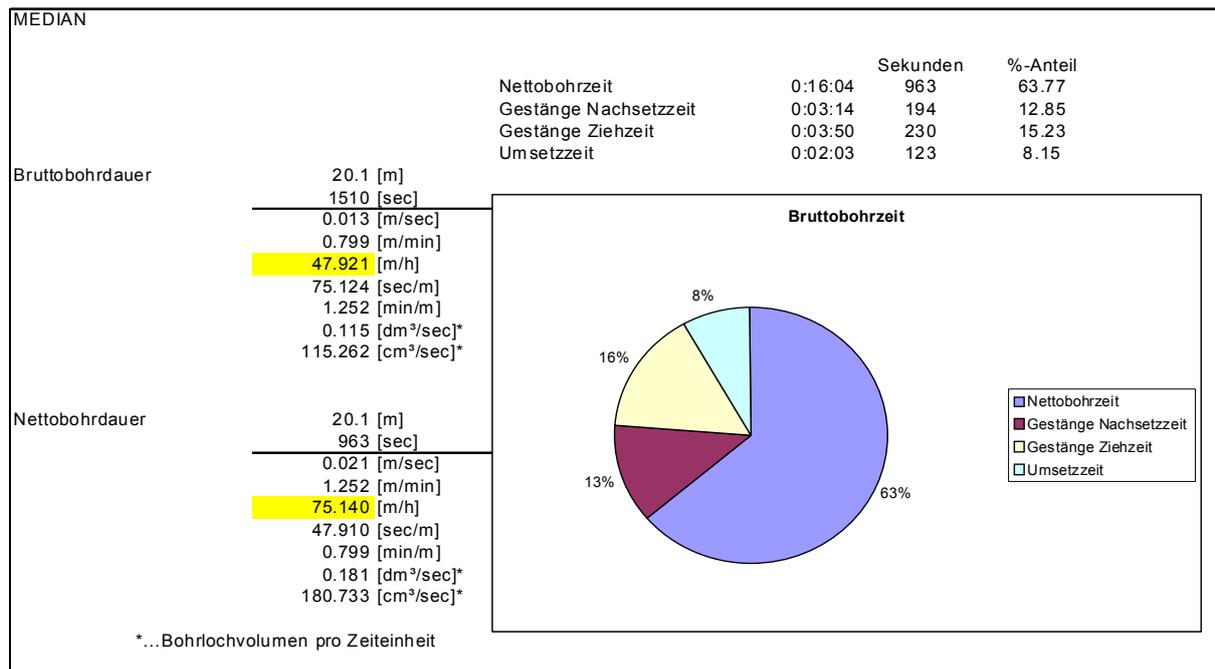


Abbildung 39: Maximale Bohrleistung ROC F9 CR

Der Anteil der Nettobohrzeit an der Bruttobohrzeit beträgt 63%.

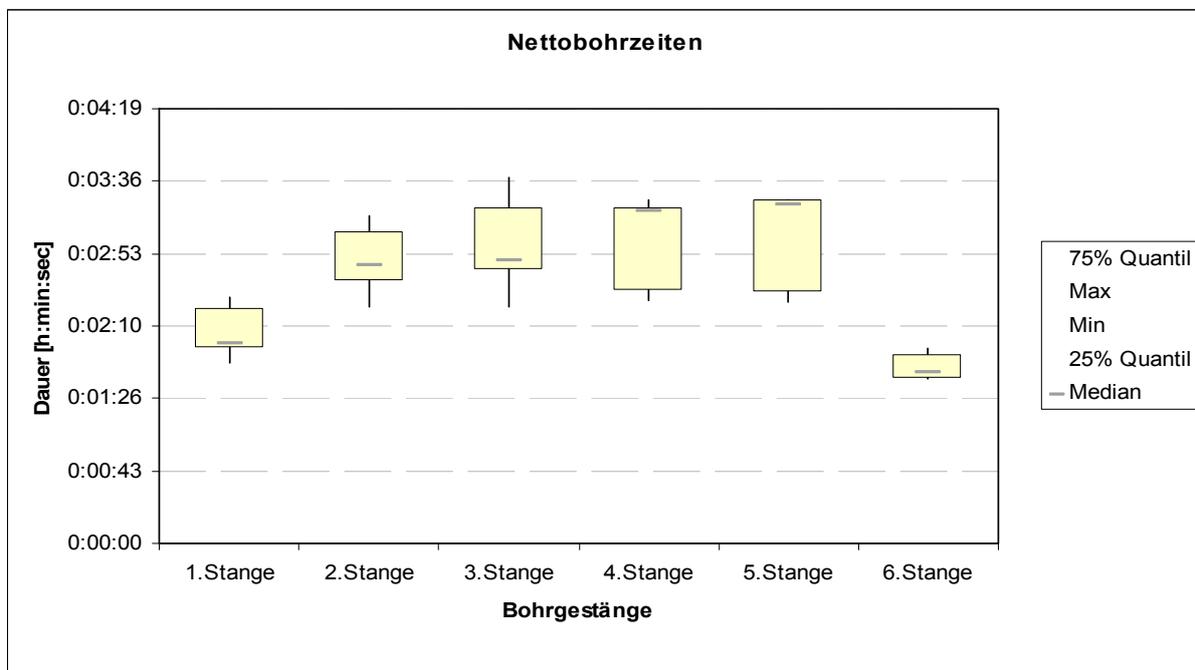


Abbildung 40: Nettobohrzeiten ROC F9 CR

Die geringe Bohrdauer der sechsten Bohrstange lässt sich mit der Tatsache erklären, dass diese Bohrstange nur etwa 200 cm abgebohrt wurde.

5.2.2 Dieserverbrauch

Der Dieserverbrauch wurde aus betriebsinternen Langzeitaufzeichnungen ermittelt (siehe folgende Tabelle). Dabei sind natürlich auch die Fahrzeiten durch Überstellungen von einem Bohrfeld zum Nächsten, von einer Etage zur nächsten und in die Werkstatt.

Tabelle 29: Dieserverbrauch ROC F9 CR

Jahr	Dieserverbrauch / Motorbetriebs- stunde [l/h]	Dieserverbrauch / Bohrmeter [l/m]
2006	30.25	1.18
2007	31.06	1.07
2008	32.63	1.18
Mittelwert	31.31	1.14

Zusätzlich wurde die verbrauchte Menge an Treibstoff während einer Schicht ermittelt. Die dabei erhaltenen Werte wurden bei einem Bohrlochdurchmesser von 105 mm gemessen und sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 30: Dieserverbrauch ROC F9 CR mit 105 mm Bohrlochdurchmesser

Bohrmeter	200 [m]
Diesel	210 [l]
Verbrauch	1.05 [l/m]

Der Kurzzeitwert des Dieserverbrauchs (1.05 l/m) ist erwartungsgemäß niedriger als der Langzeitwert. Dies ist der Fall, da die Fahrstrecken zwischen den Bohrfeldern, auf andere Etagen und in die Werkstatt mit der höchst möglichen Motordrehzahl zurückgelegt werden.

5.2.3 Bohrgenauigkeit

Messung 1

Tabelle 31: Bohrgenauigkeit der ROC F9 CR

Bohrloch- nummer	geplante Neigung	mittlere Neigung	mittlerer Azimut	Bohrloch- länge	Abweichung von gepl. Neigung	% der Bohrloch- länge	Abweichung von mittlerer Neigung	% der Bohrloch- länge
	[°]	[°]	[°]					
1	20	21.7	223.6	8.0	0.40	5.00	0.20	2.50
2	20	21.3	243.2	12.0	0.56	4.67	0.32	2.67
3	20	22.6	241.5	11.9	0.80	6.72	0.34	2.86
4	20	20.5	243.0	12.1	0.35	2.89	0.25	2.07
5	20	22.7	244.0	12.2	0.86	7.05	0.36	2.95
6	20	22.3	245.0	12.2	0.75	6.15	0.33	2.70
7	20	20.1	247.1	12.1	0.25	2.07	0.23	1.90
8	20	20.2	241.4	12.1	0.32	2.64	0.28	2.31
9	20	20.0	247.0	12.1	0.25	2.07	0.25	2.07
10	20	20.8	241.8	11.0	0.42	3.82	0.29	2.64
111	20	20.6	242.5	11.0	0.36	3.27	0.26	2.36
12	20	21.6	241.1	12.4	0.60	4.84	0.31	2.50
13	20	19.8	248.4	12.3	0.23	1.87	0.27	2.20
14	20	19.8	237.1	11.5	0.18	1.57	0.22	1.91
15	20	19.1	242.5	11.7	0.05	0.43	0.20	1.71
16	20	21.2	243.3	12.2	0.50	4.10	0.27	2.21
17	20	21.1	244.3	12.4	0.47	3.79	0.27	2.18
18	20	20.6	252.8	12.2	0.39	3.20	0.27	2.21
Mittelwert		20.89	242.76	11.74	0.43	3.67	0.27	2.33
Median		20.70	243.10	12.10	0.40	3.53	0.27	2.26

Die dritte und vierte Spalte von rechts beziehen sich auf die Abweichungen von der geplanten Neigung (und mittlerem Azimut aus den Messwerten im 1m-Intervall). Im Gegensatz dazu beziehen sich die letzten beiden Spalten auf die Abweichung vom Mittelwert der Neigungen (aus den Messwerten im 1m-Intervall) (siehe Kapitel 4.3).

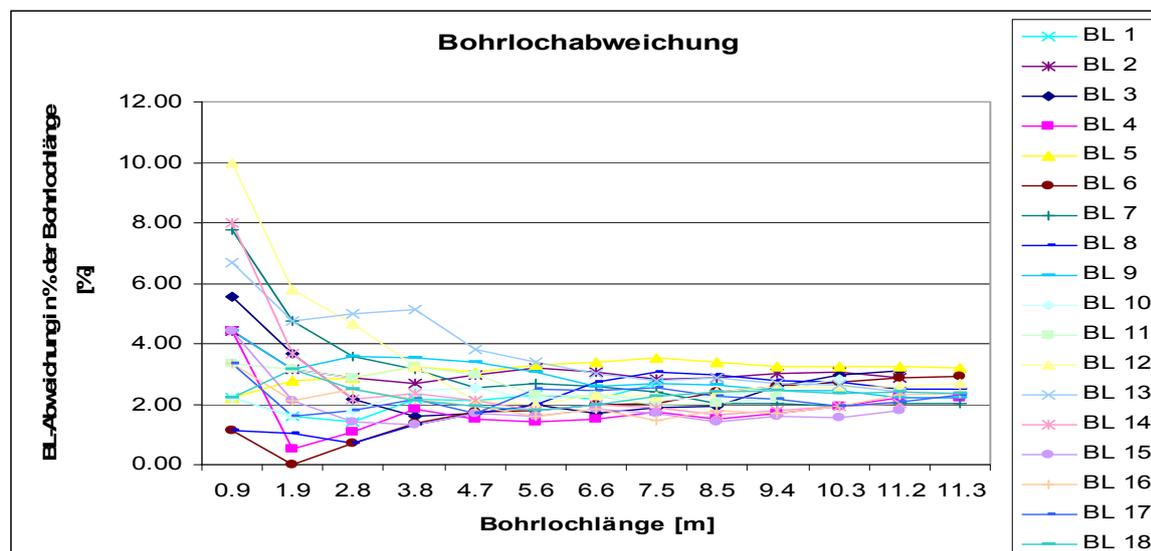


Abbildung 41: Bohrgenauigkeit der ROC F9 CR

Die in Prozent der Bohrlöchlänge angegebene Bohrlöchabweichung ist bei geringen Teufen relativ hoch, da bereits kleine Abweichungen von wenigen Zentimetern einen großen Anteil an der Bohrlöchlänge ergeben. Mit zunehmender Bohrlöchlänge wird die prozentuale Abweichung geringer.

Messung 2

Tabelle 32: Bohrgenauigkeit der ROC F9 CR

Bohrloch- nummer	geplante Neigung [°]	mittlere Neigung [°]	mittlerer Azimut [°]	Bohrloch- länge [m]	Abweichung von gepl. Neigung [m]	% der Bohrloch- länge [%]	Abweichung von mittlerer Neigung [m]	% der Bohrloch- länge [%]
101	8	13.2	195.6	10.1	0.90	8.96	0.25	2.49
2	20	19.9	244.2	11.8	0.22	1.86	0.23	1.95
3	8	9.1	246.1	11.5	0.22	1.91	0.02	0.17
4	20	20.4	246.3	12.2	0.34	2.79	0.26	2.13
5	8	8.7	252.8	11.0	0.15	1.37	0.02	0.18
6	20	21.3	241.4	12.0	0.52	4.35	0.29	2.43
7	8	9.0	245.6	11.2	0.18	1.61	0.02	0.18
8	20	20.4	244.0	12.2	0.34	2.79	0.27	2.21
9	8	9.5	248.8	11.1	0.27	2.43	0.01	0.09
10	20	19.9	242.5	12.2	0.22	1.80	0.24	1.97
111	8	9.3	236.4	10.9	0.25	2.29	0.01	0.09
12	20	18.7	245.1	12.2	0.05	0.41	0.21	1.72
13	8	5.7	246.0	11.1	0.41	3.69	0.04	0.36
14	20	20.1	239.7	12.3	0.26	2.11	0.24	1.95
15	8	9.2	247.6	11.1	0.25	2.25	0.03	0.27
Mittelwerte	1.Reihe	20.10	243.31	12.12	0.28	2.30	0.25	2.05
	2.Reihe	8.64	246.19	11.12	0.25	2.22	0.02	0.19
Median	1.Reihe	20.10	244.00	12.20	0.26	2.11	0.24	1.97
	2.Reihe	9.10	246.10	11.10	0.25	2.25	0.02	0.18

... Abweichungen ohne BL 1

Das erste Bohrloch wird nicht berücksichtigt, da dieses in zwei Richtungen geneigt gebohrt wurde.

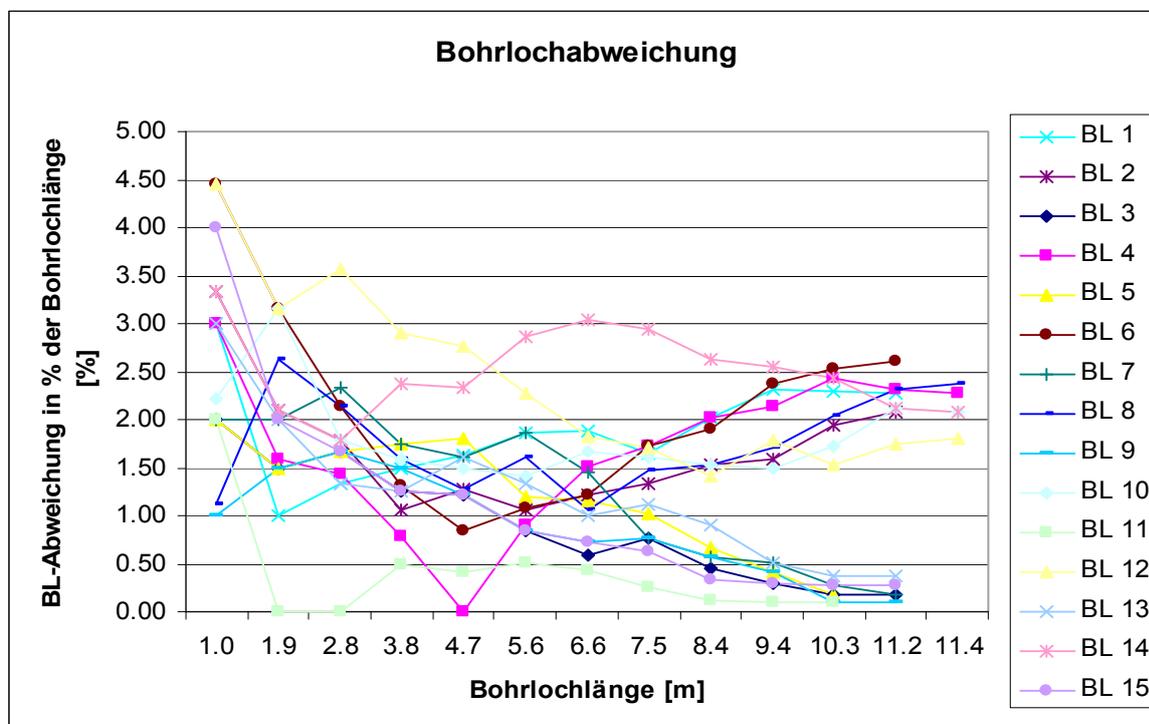


Abbildung 42: Bohrgenauigkeit der ROC F9 CR

Messung 3

Tabelle 33: Bohrgenauigkeit der ROC F9 CR

Bohrloch- nummer	geplante Neigung	mittlere Neigung	mittlerer Azimut	Bohrloch- länge	Abweichung von gepl Neigung	% der Bohrloch- länge	Abweichung von mittlerer Neigung	% der Bohrloch- länge
	[°]	[°]	[°]		[m]	[m]	[m]	[%]
1	20	18.8	157.3	11.8	0.57	4.83	0.21	1.78
2	20	21.4	205.6	12.1	0.01	0.08	0.31	2.56
3	20	20.4	209.7	12.1	0.34	2.81	0.26	2.15
4	20	18.0	209.7	12.1	0.25	2.07	0.20	1.66
5	20	19.4	205.8	11.7	0.14	1.20	0.22	1.88
Mittelwert		19.60	197.62	11.95	0.26	2.20	0.24	2.01
Median		19.40	205.80	12.05	0.25	2.07	0.22	1.88

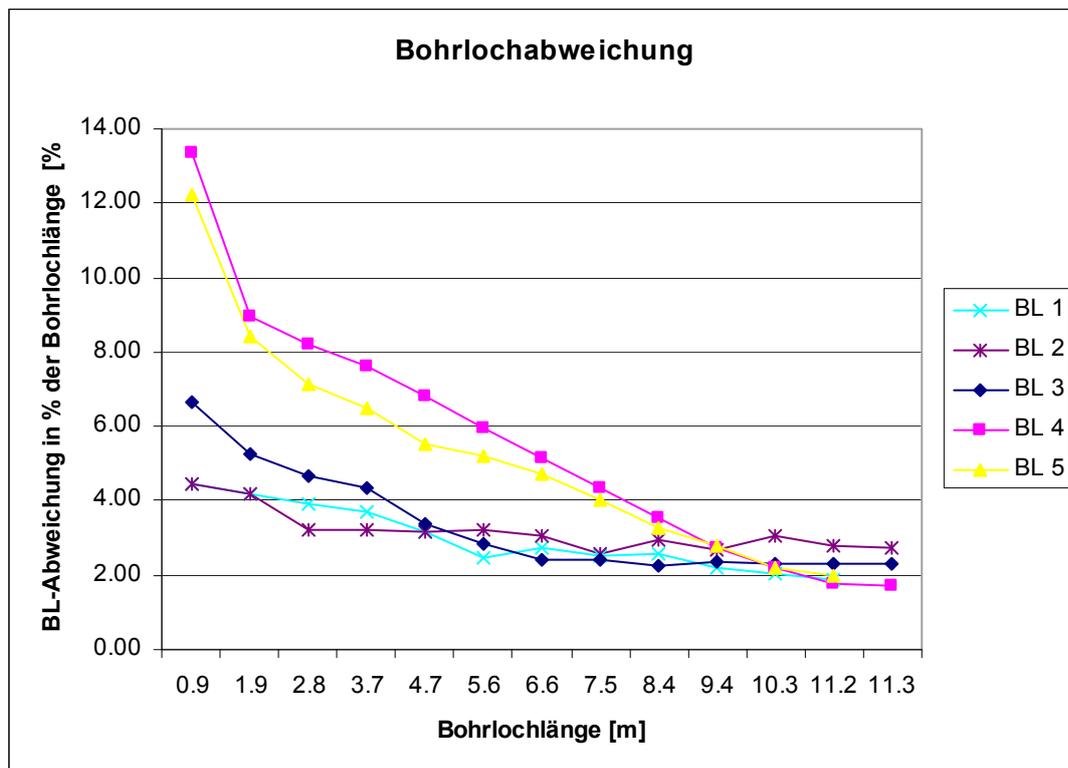


Abbildung 43: Bohrgenauigkeit der ROC F9 CR

Messung 4: Bohrlochdurchmesser 105 mm, Seitenabstand 1 m

Tabelle 34: Bohrgenauigkeit der ROC F9 CR

Bohrloch- nummer	geplante Neigung	mittlere Neigung	mittlerer Azimut	Bohrloch- länge	Abweichung von gepl Neigung	% der Bohrloch- länge	Abweichung von mittlerer Neigung	% der Bohrloch- länge
	[°]	[°]	[°]		[m]	[m]	[%]	[m]
1	10	8.9	273.2	10.1	0.17	1.68	0.02	0.20
2	10	10.0	276.2	11.3	0.04	0.35	0.04	0.35
3	10	9.4	275.7	11.3	0.09	0.80	0.03	0.27
4	10	11.1	270.5	8.0	0.17	2.14	0.06	0.75
5	10	9.2	268.3	11.6	0.15	1.29	0.01	0.09
6	10	8.7	275.2	11.5	0.22	1.91	0.04	0.35
7	10	9.6	269.2	11.4	0.07	0.61	0.03	0.26
8	10	9.2	272.8	11.2	0.16	1.43	0.04	0.36
9	10	9.5	273.9	11.4	0.10	0.88	0.04	0.35
10	10	9.5	273.2	11.5	0.08	0.70	0.02	0.17
11	10	9.3	264.2	10.9	0.10	0.92	0.03	0.28
12	10	9.3	275.4	11.3	0.11	0.97	0.03	0.27
13	10	9.8	266.3	11.3	0.03	0.27	0.03	0.27
14	10	10.1	261.9	11.2	0.05	0.45	0.03	0.27
15	10	10.4	262.8	10.9	0.11	1.01	0.05	0.46
16	10	10.2	265.5	11.5	0.08	0.70	0.04	0.35
17	10	8.5	269.0	11.2	0.30	2.68	0.07	0.63
Mittelwerte		9.57	270.19	11.03	0.12	1.10	0.04	0.33
Median		9.50	270.50	11.30	0.10	0.92	0.03	0.28

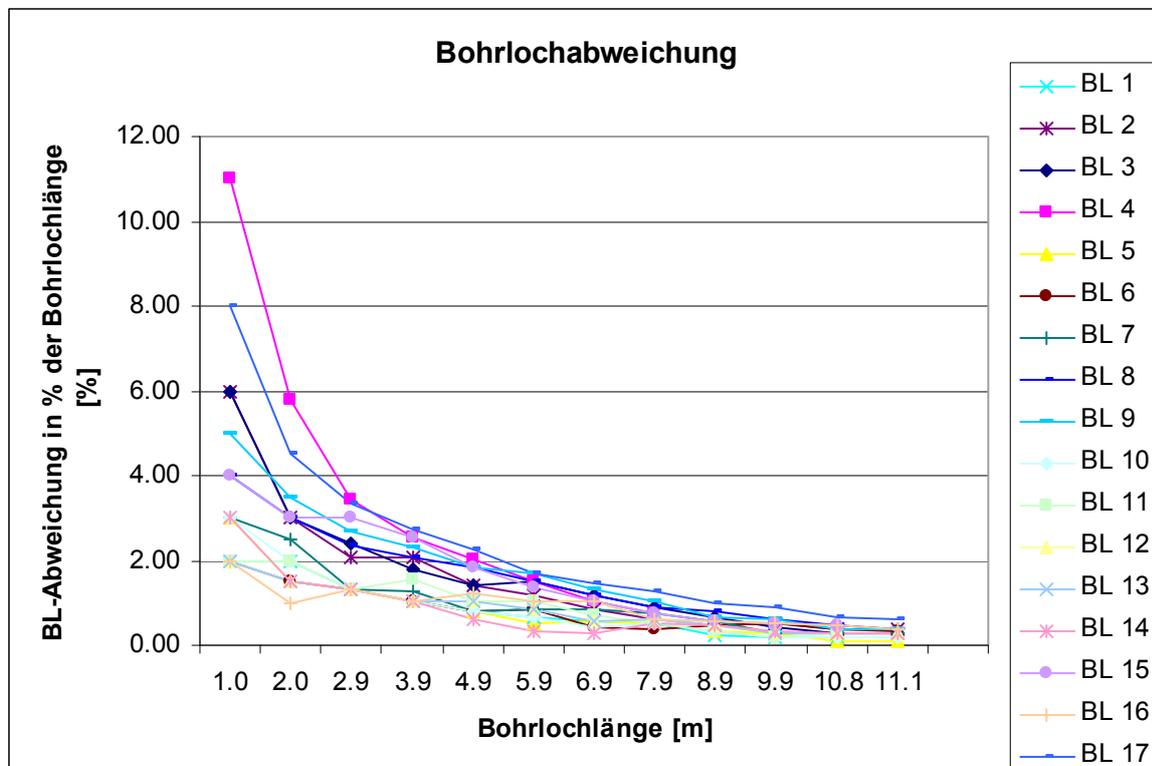


Abbildung 44: Bohrgenauigkeit der ROC F9 CR

Messung 5: Bohrlochdurchmesser 105 mm, Seitenabstand 1 m

Tabelle 35: Bohrgenauigkeit der ROC F9 CR

Bohrloch- nummer	geplante Neigung	mittlere Neigung	mittlerer Azimut	Bohrloch- länge [m]	Abweichung von gepl Neigung	% der Bohrloch- länge	Abweichung von mittlerer Neigung	% der Bohrloch- länge
	[°]	[°]	[°]		[m]	[m]	[%]	[m]
1	10	11.1	222.8	17.7	0.40	2.26	0.09	0.51
2	10	11.2	223.0	20.5	0.48	2.34	0.09	0.44
3	10	10.6	223.2	20.2	0.22	1.09	0.02	0.10
4	10	10.4	221.8	19.8	0.18	0.91	0.07	0.35
5	10	11.2	224.2	19.9	0.46	2.31	0.07	0.35
6	10	10.3	228.8	20.3	0.15	0.74	0.07	0.34
7	10	11.3	234.7	20.3	0.47	2.32	0.07	0.34
8	10	10.9	230.7	19.8	0.35	1.77	0.06	0.30
9	10	12.8	239.3	19.8	0.98	4.95	0.06	0.30
10	10	13.5	233.6	19.9	1.27	6.38	0.11	0.55
Mittelwert		11.33	228.21	19.82	0.50	2.51	0.07	0.36
Median		11.15	226.50	19.90	0.43	2.29	0.07	0.35

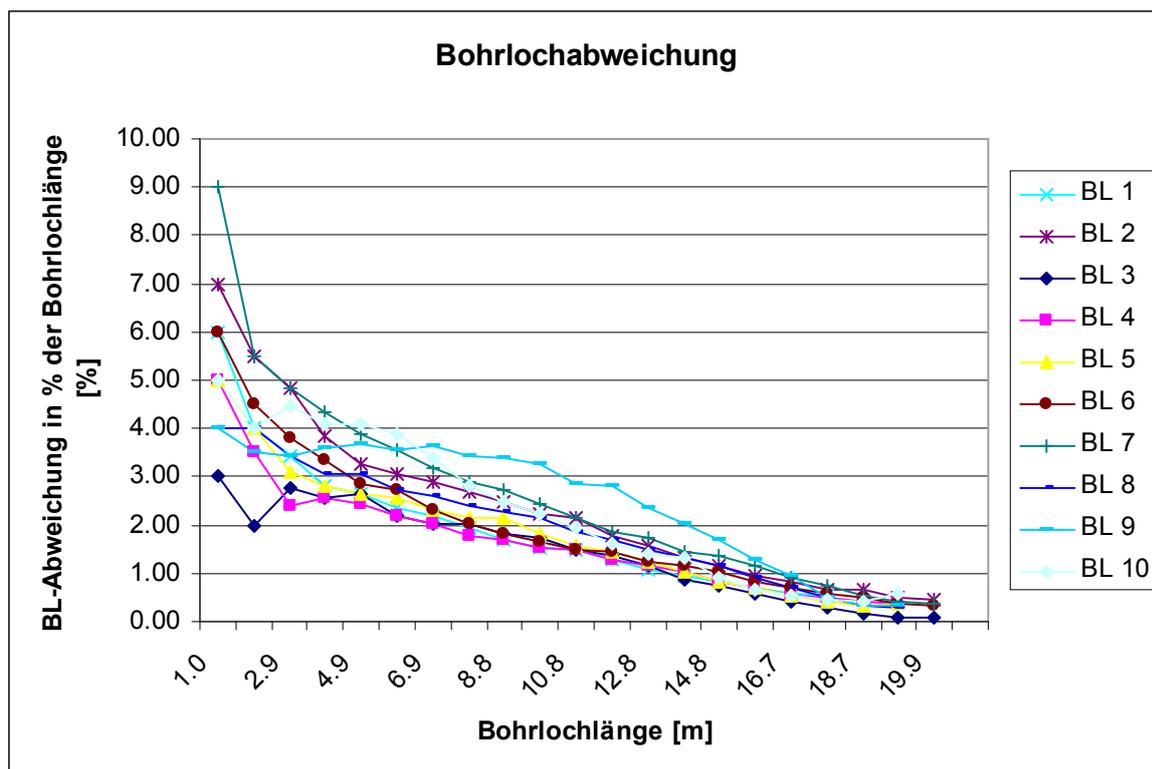


Abbildung 45: Bohrgenauigkeit der ROC F9 CR

5.2.4 Ermittlung der Kosten

5.2.4.1 Bohren

Tabelle 36: Berechnung der Bohrkosten

	Investitionsausgaben	330000 [€]
	Gesamte Lebensdauer	10000 [Bh]
Abschreibung	Bruttobohrleistung	26.97 [m/h]
	tats Bohrmeter	38800.00 [m/Jahr]
	Jahresbetriebsstunden	1438.64 [h/Jahr]
	Lebensdauer	6.95 [Jahre]
	Gesamte Bohrmeter	269700 [m]
	Zinssatz	8 [%]
	Kalkulatorische Zinsen	13200 [€/Jahr]
	Verzinsungsjahre	5 [Jahre]
	Summe Zinskosten	66000 [€]
	Summe Investition	396000 [€]
	Abschreibung pro Jahr	56969.97 [€/Jahr]
Bohrmeterkosten		1.47 [€/m]
Instandhaltung	Reparatur	12000 [€/Jahr]
	Bohrmeterkosten 0.31 [€/m]	
Verschleiß	Bohrstahl	25000 [€/Jahr]
	Bohrmeterkosten 0.64 [€/m]	
Treibstoff	Diesel pro Bohrmeter	1.14 [l/Bm]
	Dieselpreis	1 [€/l]
	Bohrmeterkosten 1.14 [€/m]	
Schmiermittel	Schmierstoffe	8.00 [%] von Treibstoff
	Bohrmeterkosten 0.09 [€/m]	
Lohnkosten	Arbeitsstunden ges	1900 [h/Jahr]
	Bruttomittelohn	24.00 [€/h]
	Bruttolohn gesamt	45600 [€/Jahr]
	Bruttolohn bezogen auf Bh	34527.25 [€/Jahr]
	Bohrmeterkosten 0.89 [€/m]	

Tabelle 37: Überblick über die Produktionsrate

Bohrkrone	115 [mm]
Dichte des Gesteins	2.70 [t/m ³]
Jahresproduktion	2000000.00 [t/Jahr]
Jahresproduktion	740740.74 [m ³ /Jahr]
Bohrlochfläche	1.04 [dm ²]
Bohrlochvolumen	403011.36 [dm ³ /Jahr]

Tabelle 38: Aufspaltung der Bohrkosten pro Einheit

	Betriebskosten	Totalkosten
Gesamte Kosten	119297.81	176267.78 [€/Jahr]
Kosten pro Stunde	82.92	122.52 [€/h]
Kosten pro Bohrmeter	3.07	4.54 [€/m]
Kosten pro Tonne	0.06	0.09 [€/t]
Kosten pro m ³	0.16	0.24 [€/m ³]
Kosten / Bohrvolumen	0.30	0.44 [€/dm ³]

5.2.4.2 Sprengen

Kalkulatorisch gesehen benötigt man für das Besetzen der Bohrlöcher für 1 m³ gewonnenes Material 20 Bruttoarbeitssekunden. Mit einem Bruttomittelohn von 24 €/h ergeben sich bei gegebener Abbaumenge (siehe Tabelle 37) und spezifischem Sprengstoffverbrauch folgende Gesamtkosten.

Tabelle 39: Überblick über die jährlichen Sprengkosten

Ladezeit	4115.23 [h/Jahr]
Bruttomittelohn	24 [€/h]
Lohnkosten	98765.43 [€/Jahr]
Sprengstoffkosten	1.50 [€/kg]
Sprengstoffverbrauch	0.30 [kg/m ³]
Sprengstoffkosten ges	333333.33 [€/Jahr]
Gesamtkosten	432098.77 [€/Jahr]
Kosten pro Tonne	0.22 [€/t]
Kosten pro m ³	0.58 [€/m ³]

5.3 Messungen an 24 bar DTH

5.3.1 Leistungsfähigkeit

Jahresbruttobohrleistung

Bohrlochdurchmesser	95 [mm]
Bruttobohrleistung (Median)	25.56 [m/h] 50.32 [cm³/sec]

Tagesbruttobohrleistung

Messung 1

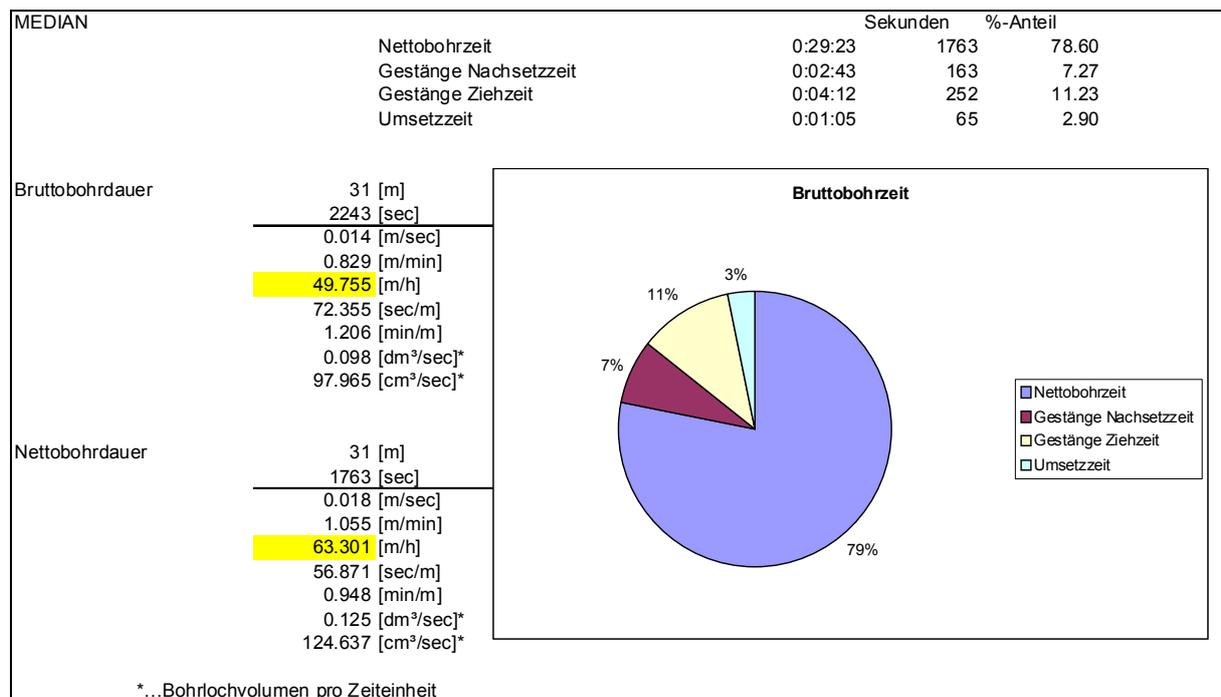


Abbildung 46: Maximale Bohrleistung 24-bar DTH

Der Anteil der Nettobohrzeit an der Bruttobohrzeit beträgt 79%.

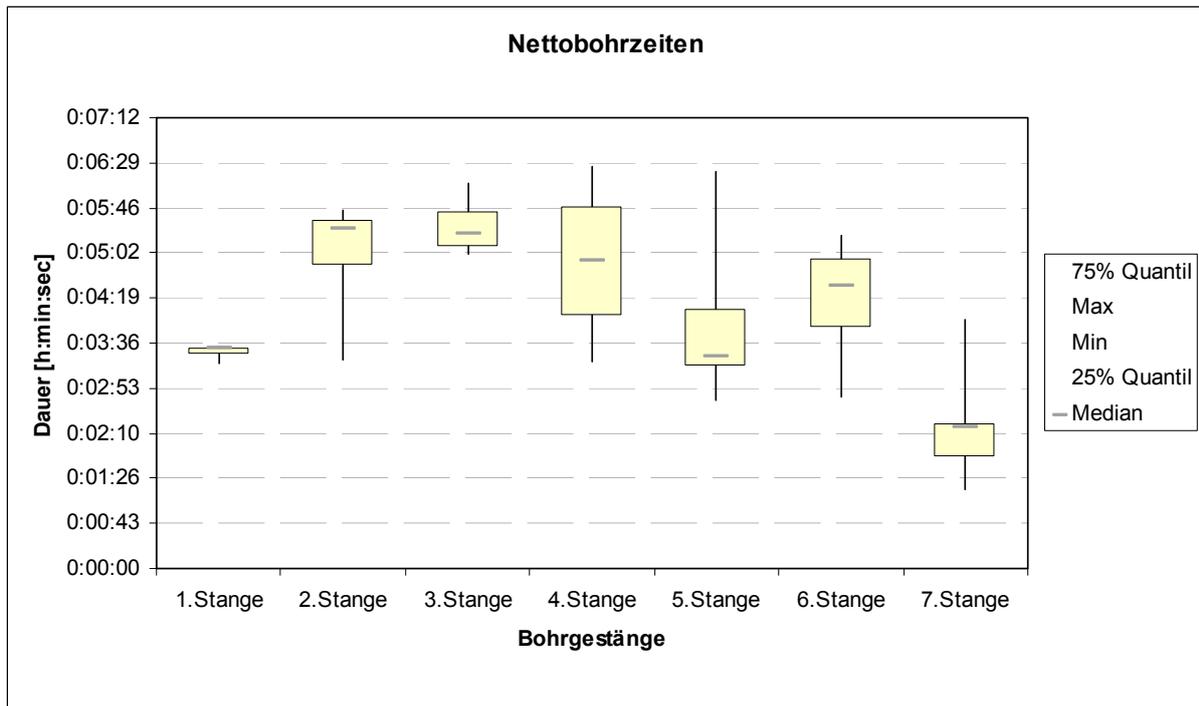


Abbildung 47: Nettobohrzeiten 24-bar DTH

Die geringe Bohrdauer der dritten Bohrstange lässt sich mit der Tatsache erklären, dass diese Bohrstange nur etwa 100 cm abgebohrt wurde.

Messung 2

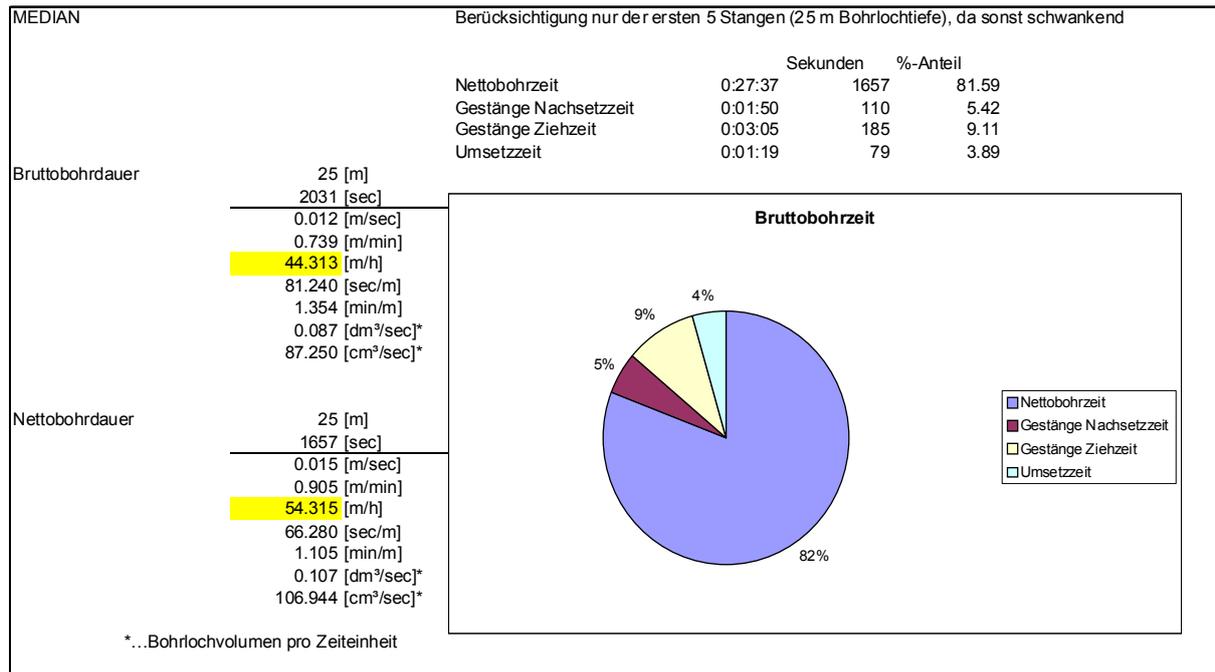


Abbildung 48: Maximale Bohrleistung 24-bar DTH

Der Anteil der Nettobohrzeit an der Bruttobohrzeit beträgt 82%.

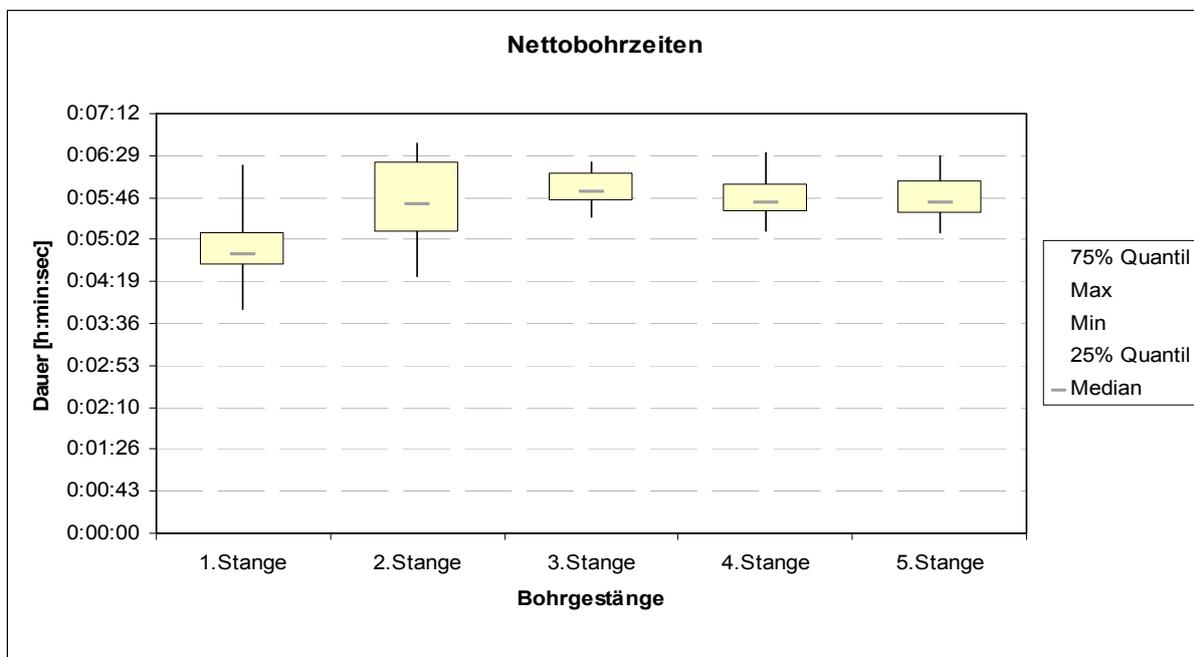


Abbildung 49: Nettobohrzeiten 24-bar DTH

Die Nettobohrzeiten der zweiten bis zur fünften Bohrstange sind annähernd gleich groß.

5.3.2 Dieselverbrauch

Tabelle 40: Dieselverbrauch 24-bar DTH

Datum	Motorbetriebsstunden			Bohrmeter [m]	Dieselverbrauch [l]	Dieselverbrauch	
	Anfang [h]	Ende [h]	Differenz [h]			pro Bh [l/h]	pro Bm [l/m]
25.8.	3914	3923	9	240	460	51.11	1.92
26.8.	3929	3932	3	135	340	113.33	2.52
27.8.	3932	3941	9	270	510	56.67	1.89
28.8.	3941	3946	5	135	330	66.00	2.44
31.8.	3946	3956	10	270	440	44.00	1.63
2.9.	3958	3967	9	240	500	55.56	2.08
3.9.	3967	3973	6	180	442	73.67	2.46
8.9.	3981	3990	9	260	490	54.44	1.88
					Median	56.11	2.00

Der spezifische Dieselverbrauch betrug 2.0 l/m (Liter pro Bohrmeter) bzw. 56.11 l/h (Liter pro Motorbetriebsstunde).

Der Langzeit-Dieselverbrauch inklusive den Fahrstrecken von einer Etage auf die nächste, beträgt 1.94 l/m (Liter pro Bohrmeter) bzw. 47.47 l/h (Liter pro Motorbetriebsstunde).

5.3.3 Bohrgenauigkeit

Messung 1

Tabelle 41: Bohrgenauigkeit 24-bar DTH

Bohrloch- nummer	geplante Neigung	mittlere Neigung	mittlerer Azimut	Bohrloch- länge	Abweichung von gepl. Neigung	% der Bohrloch- länge	Abweichung von mittlerer Neigung	% der Bohrloch- länge
	[°]	[°]	[°]		[m]	[m]	[%]	[m]
1	20	22.4	337.3	31.8	2.05	6.45	0.91	2.86
2	20	19.1	329.0	31.3	0.12	0.38	0.56	1.79
3	20	19.5	332.2	31.5	0.34	1.08	0.58	1.84
4	20	21.0	333.0	31.5	1.20	3.81	0.72	2.29
5	20	19.3	334.7	31.1	0.28	0.90	0.62	1.99
6	20	20.2	344.6	31.5	0.75	2.38	0.65	2.06
7	20	22.2	341.1	31.1	1.87	6.01	0.84	2.70
8	20	19.2	334.3	31.4	0.11	0.35	0.49	1.56
9	20	19.8	337.3	31.3	0.52	1.66	0.61	1.95
10	20	19.8	334.0	31.0	0.48	1.55	0.57	1.84
11	20	19.9	336.6	31.5	0.55	1.75	0.60	1.90
12	20	21.9	342.3	31.3	1.72	5.50	0.83	2.65
13	20	24.3	339.4	31.0	3.07	9.92	1.11	3.59
14	20	25.0	339.5	31.5	3.46	10.98	1.17	3.71
15	20	18.6	332.5	31.3	0.18	0.58	0.52	1.66
16	20	21.1	331.4	31.5	1.28	4.06	0.75	2.38
17	20	20.7	335.3	31.2	1.06	3.40	0.73	2.34
Mittelwert		20.82	336.15	31.34	1.12	3.57	0.72	2.30
Median		20.20	335.30	31.30	0.75	2.38	0.65	2.06

Die dritte und vierte Spalte von rechts beziehen sich auf die Abweichungen von der geplanten Neigung (und mittlerem Azimut aus den Messwerten im 1m-Intervall). Im Gegensatz dazu beziehen sich die letzten beiden Spalten auf die Abweichung vom Mittelwert der Neigungen (aus den Messwerten im 1m-Intervall) (siehe Kapitel 4.3).

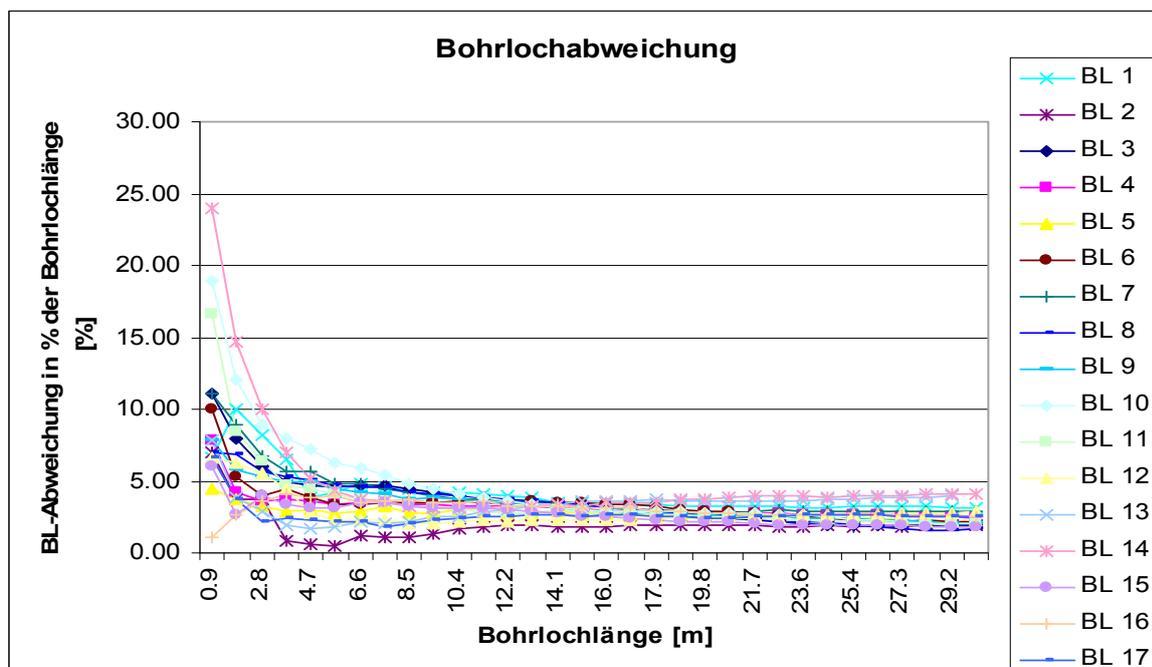


Abbildung 50: Bohrgenauigkeit 24-bar DTH

Messung 2

Tabelle 42: Bohrgenauigkeit 24-bar DTH

Bohrloch- nummer	geplante Neigung	mittlere Neigung	mittlerer Azimut	Bohrloch- länge	Abweichung von gepl Neigung	% der Bohrloch- länge	Abweichung von mittlerer Neigung	% der Bohrloch- länge
	[°]	[°]	[°]		[m]	[m]	[%]	[m]
1	20	25.4	40.0	23.4	2.81	12.01	0.98	4.19
2	20	25.0	41.3	23.7	2.66	11.22	0.93	3.92
3	20	21.9	41.3	23.5	1.33	5.66	0.65	2.77
4	20	23.4	49.1	24.7	2.05	8.30	0.80	3.24
5	20	23.9	38.8	24.1	2.23	9.25	0.84	3.49
6	20	24.4	38.5	23.8	2.43	10.21	0.89	3.74
Mittelwert		24.00	41.50	23.87	2.25	9.44	0.85	3.56
Median		24.15	40.65	23.75	2.33	9.73	0.87	3.61

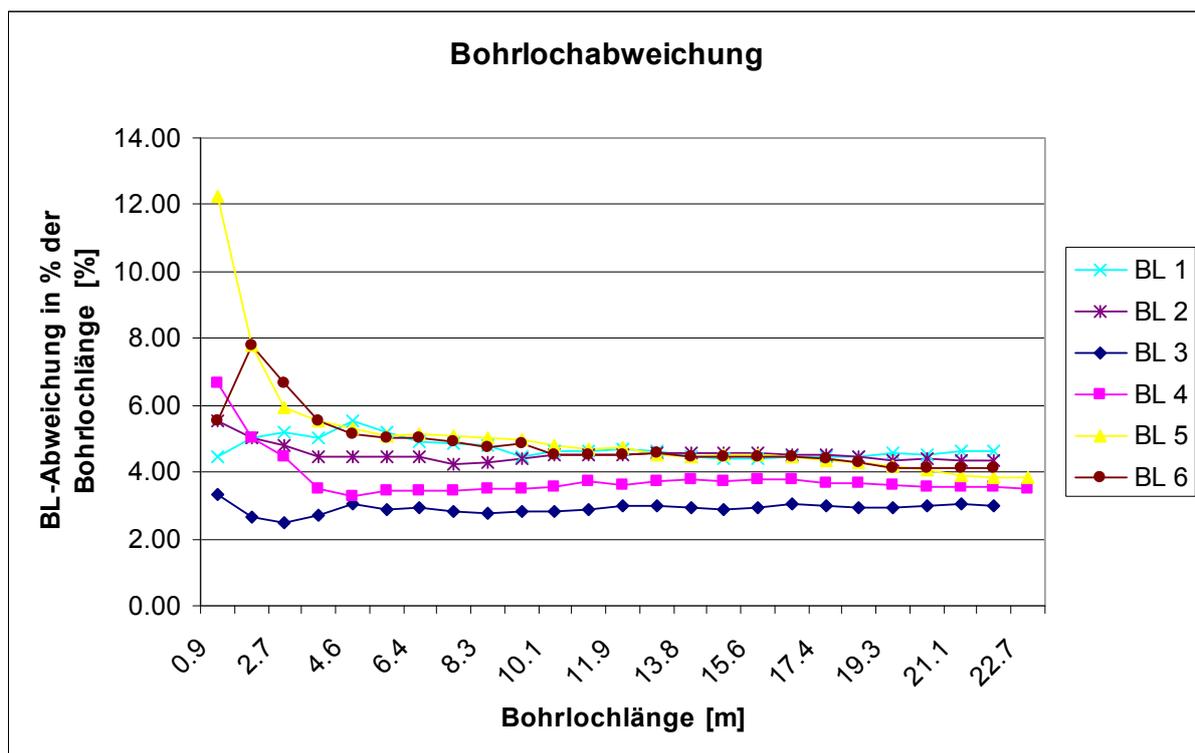


Abbildung 51: Bohrgenauigkeit 24-bar DTH

Die in Prozent der Bohrlochlänge angegebene Bohrlochabweichung ist bei geringen Teufen relativ hoch, da bereits kleine Abweichungen von wenigen Zentimetern einen großen Anteil an der Bohrlochlänge ergeben. Mit zunehmender Bohrlochlänge wird die prozentuale Abweichung geringer.

5.3.4 Ermittlung der Kosten

5.3.4.1 Bohren

Tabelle 43: Berechnung der Bohrkosten

	Investitionsausgaben	320000 [€]
	Gesamte Lebensdauer	10000 [Bh]
Abschreibung	Bruttobohrleistung	25.56 [m/h]
	tats Bohrmeter	30000.00 [m/Jahr]
	Jahresbetriebsstunden	1173.71 [h/Jahr]
	Lebensdauer	8.52 [Jahre]
	Gesamte Bohrmeter	255600 [m]
	Zinssatz	8 [%]
	Kalkulatorische Zinsen	12800 [€/Jahr]
	Verzinsungsjahre	5 [Jahre]
	Summe Zinskosten	64000 [€]
	Summe Investition	384000 [€]
	Abschreibung pro Jahr	45070.42 [€/Jahr]
	Bohrmeterkosten	1.50 [€/m]
Instandhaltung	Reparatur	13374.48 [€/Jahr]
	Bohrmeterkosten	0.45 [€/m]
Verschleiß	Bohrstahl	15000 [€/Jahr]
	Bohrmeterkosten	0.50 [€/m]
Treibstoff	Diesel pro Bohrmeter	1.94 [l/Bm]
	Dieselpreis	1 [€/l]
	Bohrmeterkosten	1.94 [€/m]
Schmiermittel	Schmierstoffe	268.20 [€/Jahr]
	Bohrmeterkosten	0.01 [€/m]
Lohnkosten	Arbeitsstunden ges	1900 [h/Jahr]
	Bruttomittelohn	24.00 [€/h]
	Bruttolohn gesamt	45600 [€/Jahr]
	Bruttolohn bezogen auf Bh	28169.01 [€/Jahr]
	Bohrmeterkosten	0.94 [€/m]

Tabelle 44: Überblick über die Produktionsrate

Bohrkrone	95 [mm]
Dichte des Gesteins	2.80 [t/m ³]
Jahresproduktion	1300000.00 [t/Jahr]
Jahresproduktion	464285.71 [m ³ /Jahr]
Bohrfläche	0.71 [dm ²]
Bohrlochvolumen	212646.55 [dm ³ /Jahr]

Tabelle 45: Aufspaltung der Bohrkosten pro Einheit

	Betriebskosten	Totalkosten
Gesamte Kosten	115011.69	160082.12 [€/Jahr]
Kosten pro Stunde	97.99	136.39 [€/h]
Kosten pro Bohrmeter	3.83	5.34 [€/m]
Kosten pro Tonne	0.09	0.12 [€/t]
Kosten pro m ³	0.25	0.34 [€/m ³]
Kosten / Bohrvolumen	0.54	0.75 [€/dm ³]

5.3.4.2 Sprengen

Kalkulatorisch gesehen benötigt man für das Besetzen der Bohrlöcher für 1 m³ gewonnenes Material 20 Bruttoarbeitssekunden. Mit einem Bruttomittellohn von 24 €/h ergeben sich bei gegebener Abbaumenge (siehe Tabelle 37) und spezifischem Sprengstoffverbrauch folgende Gesamtkosten.

Tabelle 46: Überblick über die jährlichen Sprengkosten

Ladezeit	2579.37 [h/Jahr]
Bruttomittelohn	24 [€/h]
Lohnkosten	61904.76 [€/Jahr]
Sprengstoffkosten	1.50 [€/kg]
Sprengstoffverbrauch	0.30 [kg/m ³]
Sprengstoffkosten ges	208928.57 [€/Jahr]
Gesamtkosten	270833.33 [€/Jahr]
Kosten pro Tonne	0.21 [€/t]
Kosten pro m ³	0.58 [€/m ³]

5.4 Vergleichsmessungen zwischen ROC F9 CR und 14-bar DTH

5.4.1 Messungen an 14-bar DTH

5.4.1.1 Leistungsfähigkeit

Jahresbruttobohrleistung

Bohrlochdurchmesser	95 [mm]
Gesamte Bohrmeter	40039 [m]
Motorstunden 27	02 [h]
Hammerstunden 18	51 [h]
Bruttobohrleistung	14.82 [m/h] 29.18 [cm³/sec]
Nettobohrleistung	21.63 [m/h] 42.59 [cm³/sec]

Tagesbruttobohrleistung

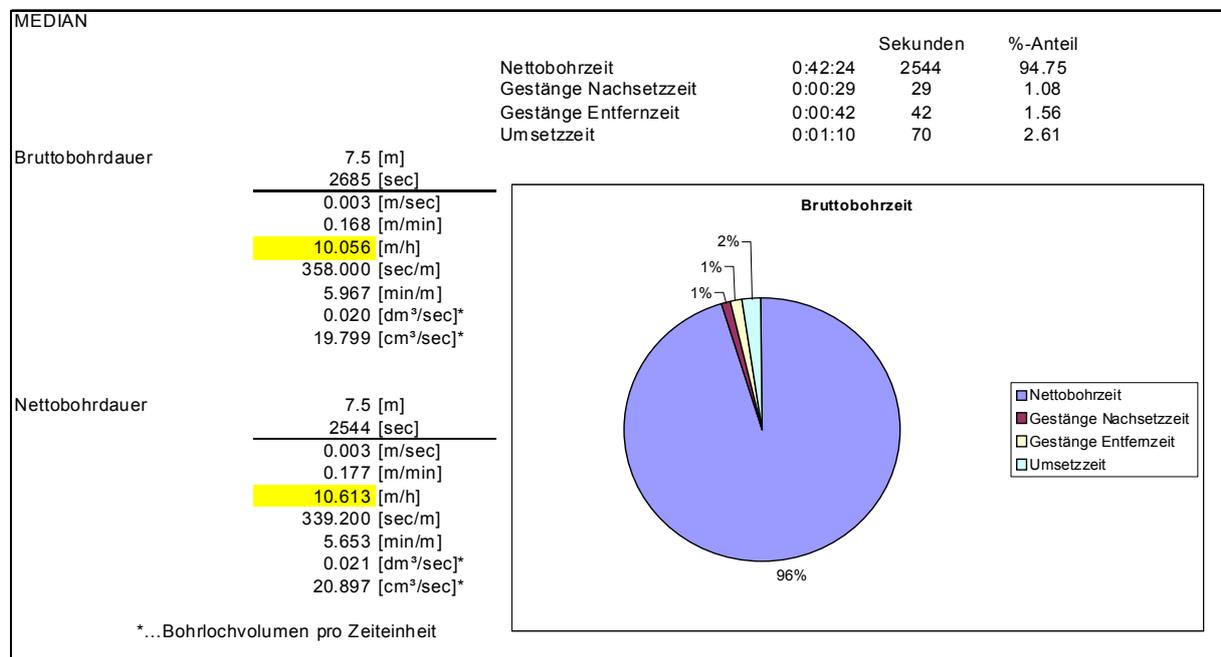


Abbildung 52: Maximale Bohrleistung 14-bar DTH

Der Anteil der Nettobohrzeit an der Bruttobohrzeit beträgt 96%.

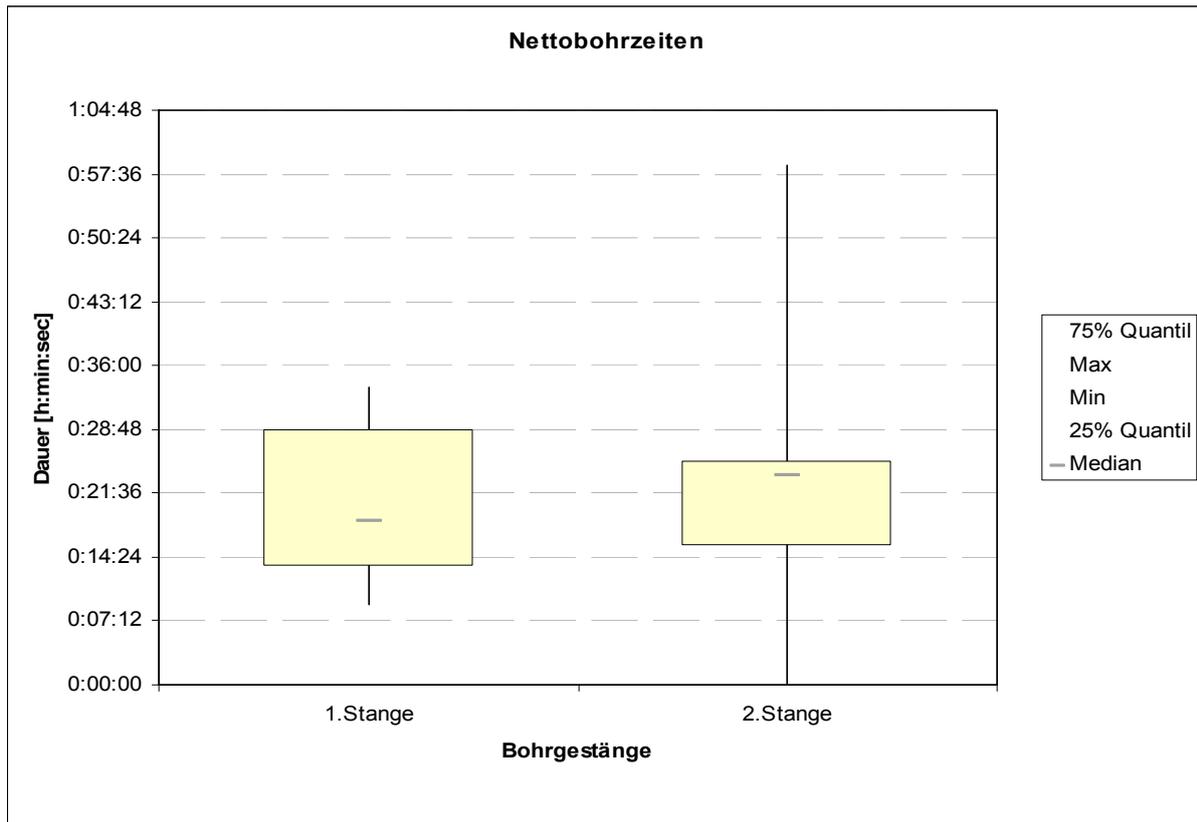


Abbildung 53: Nettobohrzeiten 14-bar DTH

5.4.1.2 Dieserverbrauch

Tabelle 47: Dieserverbrauch 14-bar DTH

Motorstunden	10 [h]
Hammerstunden	10 [h]
Bohrmeter	78 [m]
Diesel	260 [l]
Verbrauch	3.33 [l/m]
	26 [l/h]

Der spezifische Dieserverbrauch betrug 3.33 l/m (Liter pro Bohrmeter) bzw. 26 l/h (Liter pro Betriebsstunde).

5.4.1.3 Bohrgenauigkeit

Tabelle 48: Bohrgenauigkeit 14-bar DTH

Bohrloch- nummer	geplante Neigung	mittlere Neigung	mittlerer Azimut	Bohrloch- länge [m]	Abweichung von gepl. Neigung [m]	% der Bohrloch- länge [%]	Abweichung von mittlerer Neigung [m]	% der Bohrloch- länge [%]
	[°]	[°]	[°]		[m]	[m]	[m]	[m]
1	15	17.6	3.4	6.5	0.36	5.54	0.09	1.38
2	15	15.8	356.1	5.95	0.36	6.05	0.09	1.51
3	15	14.1	2.3	6.5	0.05	0.77	0.05	0.77
4	15	12.8	1.4	6.7	0.21	3.13	0.04	0.60
5	15	13.7	15.8	6.8	0.11	1.62	0.04	0.59
6	15	12.5	5.4	7.5	0.28	3.73	0.03	0.40
7	15	15.2	359.6	7.4	0.08	1.08	0.06	0.81
8	15	16	352.6	7.1	0.19	2.68	0.08	1.13
9	15	14.8	6.2	6.8	0.04	0.59	0.06	0.88
10	15	16	356.0	6.7	0.17	2.54	0.07	1.04
Mittelwert		14.85	145.88	6.80	0.19	2.77	0.06	0.91
Median		15.00	11.00	6.75	0.18	2.61	0.06	0.85

Die dritte und vierte Spalte von rechts beziehen sich auf die Abweichungen von der geplanten Neigung (und mittlerem Azimut aus den Messwerten im 1m-Intervall). Im Gegensatz dazu beziehen sich die letzten beiden Spalten auf die Abweichung vom Mittelwert der Neigungen (aus den Messwerten im 1m-Intervall) (siehe Kapitel 4.3).

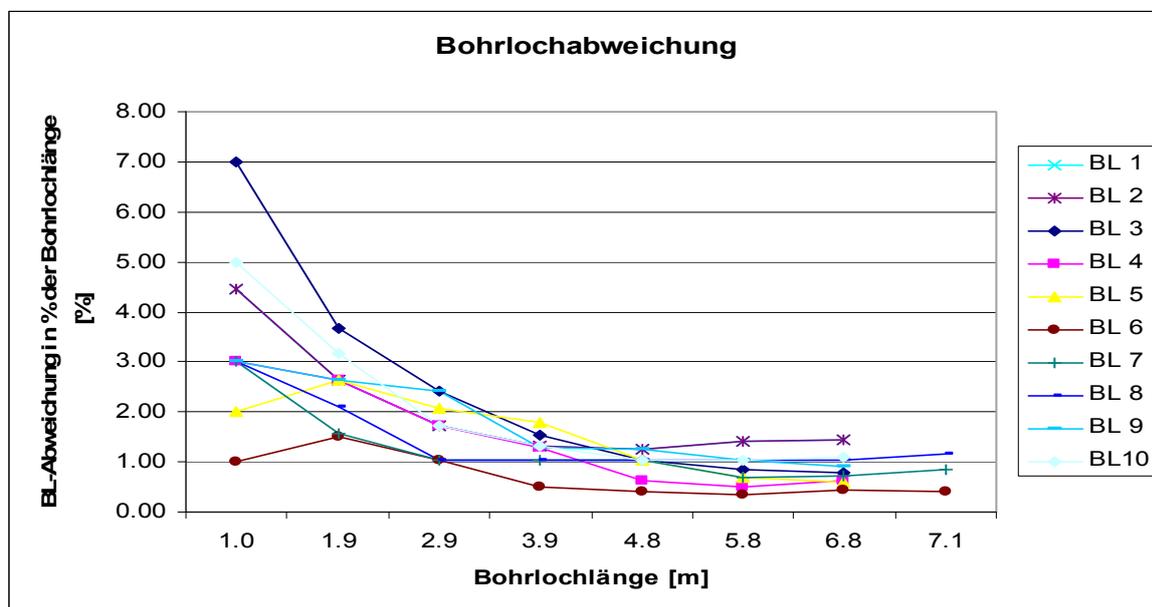


Abbildung 54: Bohrgenauigkeit 14-bar DTH

Die in Prozent der Bohrlochlänge angegebene Bohrlochabweichung ist bei geringen Teufen relativ hoch, da bereits kleine Abweichungen von wenigen Zentimetern einen großen Anteil an der Bohrlochlänge ergeben. Mit zunehmender Bohrlochlänge wird die prozentuelle Abweichung geringer.

5.4.1.4 Ermittlung der Kosten

5.4.1.4.1 Bohren

Tabelle 49: Berechnung der Bohrkosten

	Investitionsausgaben	220000 [€]	
	Gesamte Lebensdauer	10000 [Bh]	
Abschreibung	Bruttobohrleistung	14.82 [m/h]	
	tats Bohrmeter	20000.00 [m/Jahr]	
	Jahresbetriebsstunden	1349.53 [h/Jahr]	
	Lebensdauer	7.41 [Jahre]	
	Gesamte Bohrmeter	148200 [m]	
	Zinssatz	8 [%]	
	Kalkulatorische Zinsen	8800 [€/Jahr]	
	Verzinsungsjahre	5 [Jahre]	
	Summe Zinskosten	44000 [€]	
	Summe Investition	264000 [€]	
	Abschreibung pro Jahr	35627.53 [€/Jahr]	
	Bohrmeterkosten		1.78 [€/m]
	Instandhaltung	Reparatur	7100 [€/Jahr]
Bohrmeterkosten 0.36 [€/m]			
Verschleiß	Bohrstahl	15000 [€/Jahr]	
	Bohrmeterkosten 0.75 [€/m]		
Treibstoff	Diesel pro Bohrmeter	1.75 [l/Bm]	
	Dieselpreis	1 [€/l]	
	Bohrmeterkosten 1.75 [€/m]		
Schmiermittel	Schmierstoffe	8.00 [%] von Treibstoff	
	Bohrmeterkosten 0.14 [€/m]		
Lohnkosten	Arbeitsstunden ges	1900 [h/Jahr]	
	Bruttomittellohn	24.00 [€/h]	
	Bruttolohn gesamt	45600 [€/Jahr]	
	Bruttolohn bezogen auf Bh	32388.66 [€/Jahr]	
	Bohrmeterkosten 1.62 [€/m]		

Tabelle 50: Überblick über die Produktionsrate

Bohrkrone	95 [mm]
Dichte des Gesteins	2.70 [t/m ³]
Jahresproduktion	600000.00 [t/Jahr]
Jahresproduktion	222222.22 [m ³ /Jahr]
Bohrlochfläche	0.71 [dm ²]
Bohrlochvolumen	141764.37 [dm ³ /Jahr]

Tabelle 51: Aufsplittung der Bohrkosten pro Einheit

	Betriebskosten	Totalkosten
Gesamte Kosten	92288.66	127916.19 [€/Jahr]
Kosten pro Stunde	68.39	94.79 [€/h]
Kosten pro Bohrmeter	4.61	6.40 [€/m]
Kosten pro Tonne	0.15	0.21 [€/t]
Kosten pro m ³	0.42	0.58 [€/m ³]
Kosten / Bohrvolumen	0.65	0.90 [€/dm ³]

5.4.1.4.2 Sprengen

Kalkulatorisch gesehen benötigt man für das Besetzen der Bohrlöcher für 1 m³ gewonnenes Material 20 Bruttoarbeitssekunden. Mit einem Bruttomittellohn von 24 €/h ergeben sich bei gegebener Abbaumenge (siehe Tabelle 37) und spezifischem Sprengstoffverbrauch folgende Gesamtkosten.

Tabelle 52: Überblick über die jährlichen Sprengkosten

Ladezeit	1234.57 [h/Jahr]
Bruttomittelohn	24 [€/h]
Lohnkosten	29629.63 [€/Jahr]
Sprengstoffkosten	1.50 [€/kg]
Sprengstoffverbrauch	0.30 [kg/m ³]
Sprengstoffkosten ges	100000.00 [€/Jahr]
Gesamtkosten	129629.63 [€/Jahr]
Kosten pro Tonne	0.22 [€/t]
Kosten pro m ³	0.58 [€/m ³]

5.4.2 Messungen an ROC F9 CR

5.4.2.1 Leistungsfähigkeit

Jahresbruttobohrleistung

Da die ROC F9 CR erst seit kurzem in diesem Steinbruch im Einsatz ist, kann dies er Wert noch nicht eruiert werden. Daher wird unter Berücksichtigung der Tagesbruttobohrleistung eine Jahresbruttobohrleistung von 28.5 m/h angenommen.

Tagesbruttobohrleistung

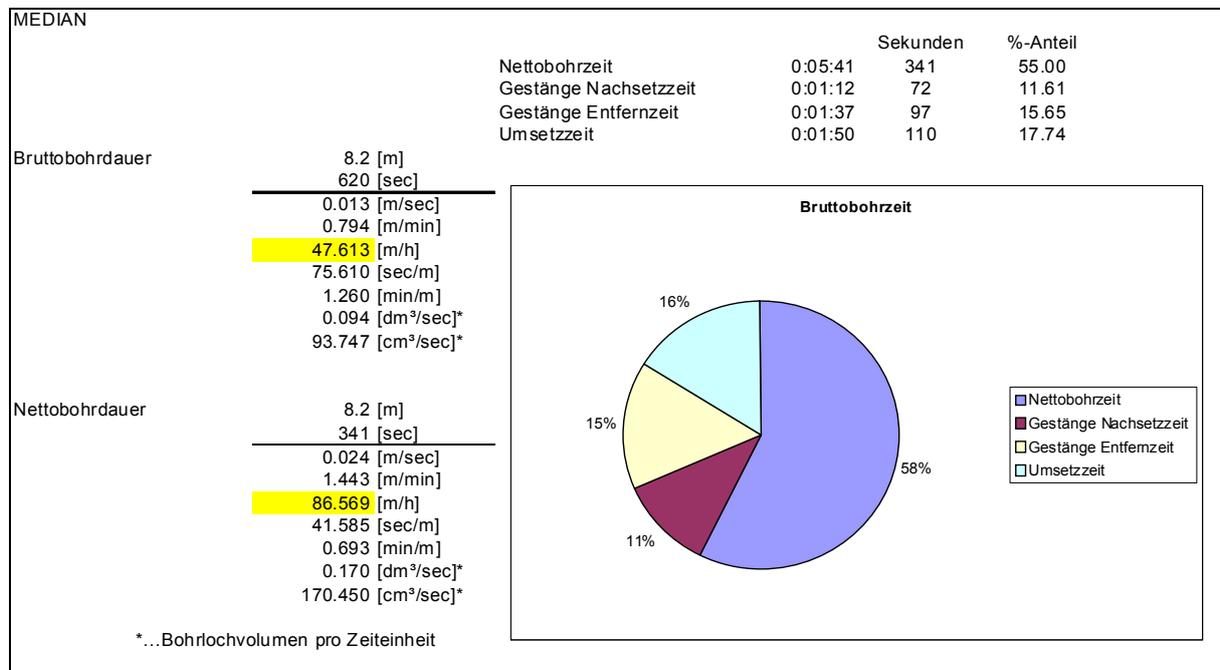


Abbildung 55: Maximale Bohrleistung ROC F9 CR

Der Anteil der Nettobohrzeit an der Bruttobohrzeit beträgt 58%.

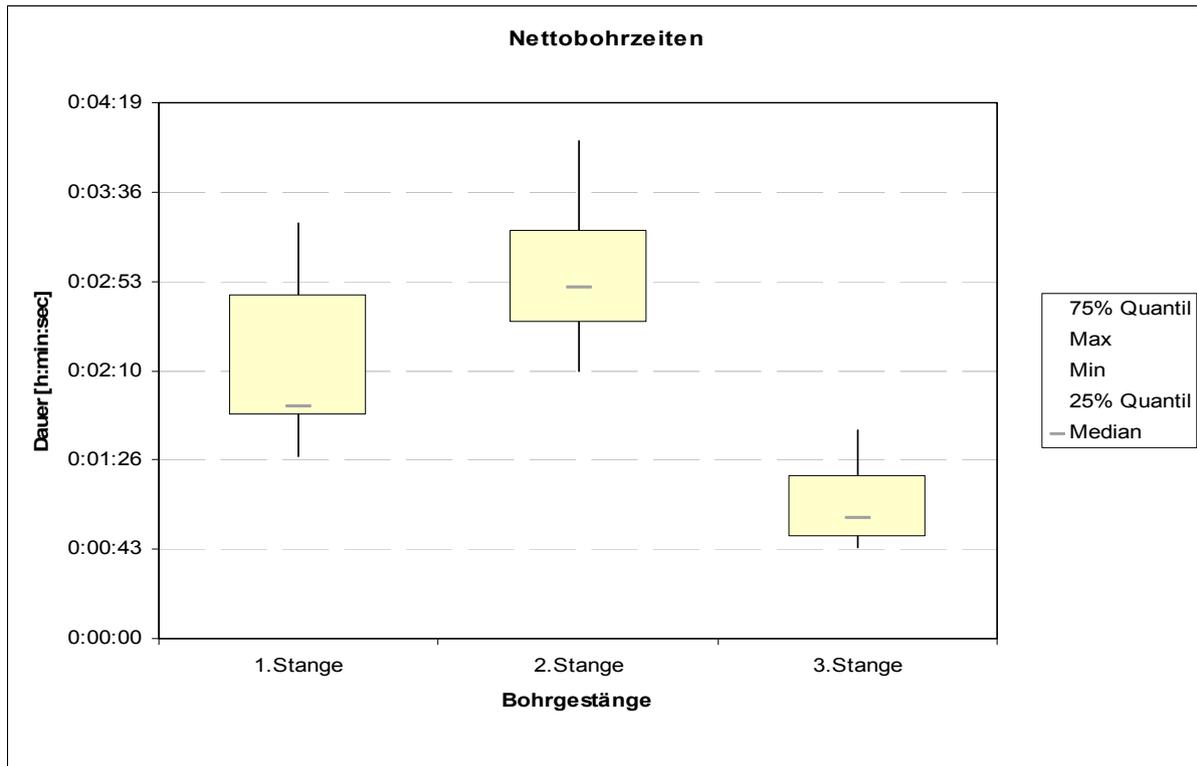


Abbildung 56: Nettobohrzeiten ROC F9 CR

Der Median der Nettobohrzeit der zweiten Bohrstange ist um rund 50% höher als die Nettobohrzeit der ersten Bohrstange.

Die geringe Bohrdauer der dritten Bohrstange lässt sich mit der Tatsache erklären, dass diese Bohrstange nur etwa 60 cm abgebohrt wurde.

5.4.2.2 Dieserverbrauch

Tabelle 53: Dieserverbrauch ROC F9 CR

Motorstunden	6.7 [h]
Hammerstunden	3.4 [h]
Bohrmeter	215 [m]
Diesel	230 [l]
<hr/>	
Verbrauch	1.07 [l/m]
	34.33 [l/h]

Der spezifische Dieserverbrauch betrug 1.07 l/m (Liter pro Bohrmeter) bzw. 34.33 l/h (Liter pro Betriebsstunde).

5.4.2.3 Bohrgenauigkeit

Tabelle 54: Bohrgenauigkeit ROC F9 CR

Bohrloch- nummer	geplante Neigung [°]	mittlere Neigung [°]	mittlerer Azimut [°]	Bohrloch- länge [m]	Abweichung von gepl Neigung [m]	% der Bohrloch- länge [%]	Abweichung von mittlerer Neigung [m]	% der Bohrloch- länge [%]
1	15	15.6	355.8	8.05	0.16	1.99	0.16	1.99
2	15	14.7	355.1	8.1	0.02	0.25	0.06	0.74
3	15	16	3.8	8.1	0.21	2.59	0.08	0.99
4	15	17	1.5	8.05	0.36	4.47	0.10	1.24
5	15	15	0.7	8.1	0.05	0.62	0.05	0.62
Mittelwert		15.66	143.38	8.08	0.16	1.98	0.09	1.12
Median		15.60	3.80	8.10	0.16	1.99	0.08	0.99

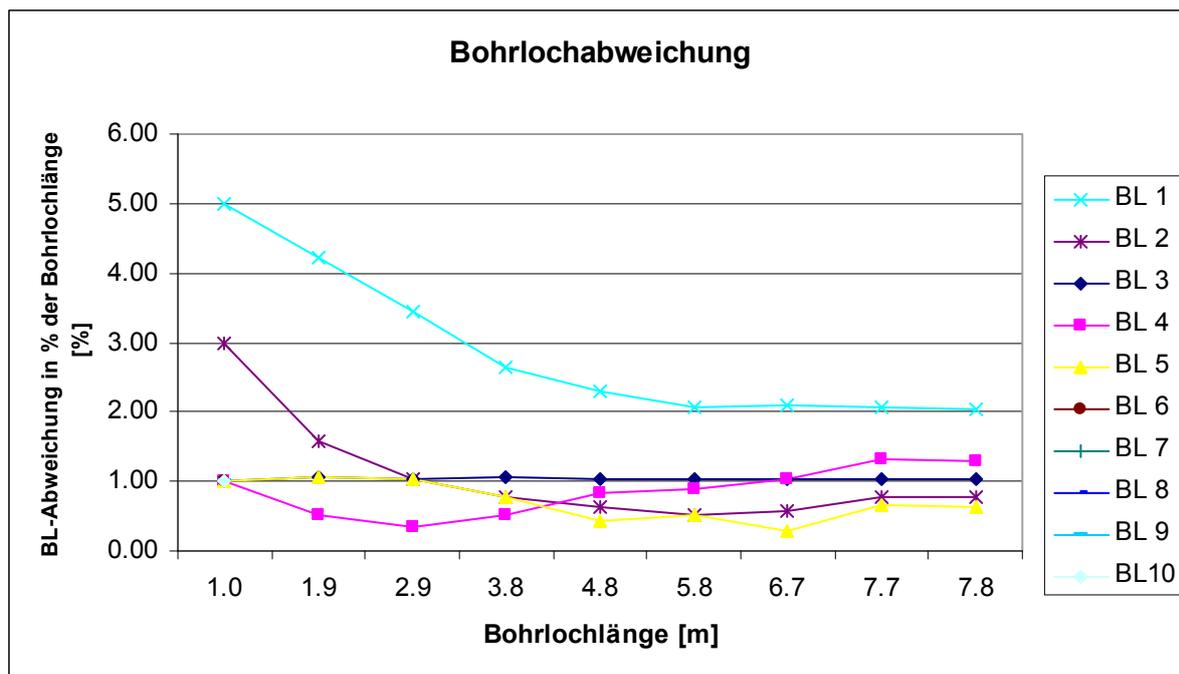


Abbildung 57: Bohrgenauigkeit ROC F9 CR

5.4.2.4 Ermittlung der Kosten

5.4.2.4.1 Bohren

Tabelle 55: Berechnung der Bohrkosten

	Investitionsausgaben	330000 [€]	
	Gesamte Lebensdauer	10000 [Bh]	
Abschreibung	Bruttobohrleistung	28.5 [m/h]	
	tats Bohrmeter	20000.00 [m/Jahr]	
	Jahresbetriebsstunden	701.75 [h/Jahr]	
	Lebensdauer	14.25 [Jahre]	
	Gesamte Bohrmeter	285000 [m]	
	Zinssatz	8 [%]	
	Kalkulatorische Zinsen	13200 [€/Jahr]	
	Verzinsungsjahre	5 [Jahre]	
	Summe Zinskosten	66000 [€]	
	Summe Investition	396000 [€]	
	Abschreibung pro Jahr	27789.47 [€/Jahr]	
	Bohrmeterkosten		1.39 [€/m]
	Instandhaltung	Reparatur	8100 [€/Jahr]
Bohrmeterkosten		0.41 [€/m]	
Verschleiß	Bohrstahl	20000 [€/Jahr]	
	Bohrmeterkosten		1.00 [€/m]
Treibstoff	Diesel pro Bohrmeter	1.07 [l/Bm]	
	Dieselpreis	1 [€/l]	
	Bohrmeterkosten		1.07 [€/m]
Schmiermittel	Schmierstoffe	8.00 [%] von Treibstoff	
	Bohrmeterkosten		0.09 [€/m]
Lohnkosten	Arbeitsstunden ges	1900 [h/Jahr]	
	Bruttomittellohn	24.00 [€/h]	
	Bruttolohn gesamt	45600 [€/Jahr]	
	Bruttolohn bezogen auf Bh	16842.11 [€/Jahr]	
	Bohrmeterkosten		0.84 [€/m]

Tabelle 56: Überblick über die Produktionsrate

Bohrkrone	95 [mm]
Dichte des Gesteins	2.70 [t/m ³]
Jahresproduktion	600000.00 [t/Jahr]
Jahresproduktion	222222.22 [m ³ /Jahr]
Bohrlochfläche	0.71 [dm ²]
Bohrlochvolumen	141764.37 [dm ³ /Jahr]

Tabelle 57: Aufspaltung der Bohrkosten pro Einheit

	Betriebskosten	Totalkosten
Gesamte Kosten	68054.11	95843.58 [€/Jahr]
Kosten pro Stunde	96.98	136.58 [€/h]
Kosten pro Bohrmeter	3.40	4.79 [€/m]
Kosten pro Tonne	0.11	0.16 [€/t]
Kosten pro m ³	0.31	0.43 [€/m ³]
Kosten / Bohrvolumen	0.48	0.68 [€/dm ³]

5.4.2.4.2 Sprengen

Kalkulatorisch gesehen benötigt man für das Besetzen der Bohrlöcher für 1 m³ gewonnenes Material 20 Bruttoarbeitssekunden. Mit einem Bruttomittelohn von 24 €/h ergeben sich bei gegebener Abbaumenge (siehe Tabelle 37) und spezifischem Sprengstoffverbrauch folgende Gesamtkosten.

Tabelle 58: Überblick über die jährlichen Sprengkosten

Ladezeit	1234.57 [h/Jahr]
Bruttomittelohn	24 [€/h]
Lohnkosten	29629.63 [€/Jahr]
Sprengstoffkosten	1.50 [€/kg]
Sprengstoffverbrauch	0.30 [kg/m ³]
Sprengstoffkosten ges	100000.00 [€/Jahr]
Gesamtkosten	129629.63 [€/Jahr]
Kosten pro Tonne	0.22 [€/t]
Kosten pro m ³	0.58 [€/m ³]

6 Zusammenfassung der Ergebnisse / Schlussfolgerung

6.1 Leistungsfähigkeit

Beim Vergleich der Bohrleistungen ist die Tatsache zu berücksichtigen, dass die Messergebnisse der aufgelisteten Maschinen unter unterschiedlichen geologischen Bedingungen erhoben wurden und die Maschinen auch unterschiedliche Bohrlochdurchmesser aufwiesen (siehe Tabelle 59). Lediglich die F9 CR₂ und die 14-bar-Imlochhammermaschine waren im selben Steinbruch (Granulit) im Einsatz und hatten jeweils mit 95 mm denselben Bohrlochdurchmesser. Diese Ergebnisse können unter Berücksichtigung der Tatsache, dass es sich dabei um unterschiedliche Maschinengrößen handelt, direkt verglichen werden.

Tabelle 59: Gegenüberstellung der Leistungsfähigkeit

Maschinentyp	F7 CR _{1,2}	F9 CR ₁	24 bar DTH	F9 CR ₂	14 bar DTH
Gebirgsart	Diabas, Kalkstein	Marmor	dolom. Kalkstein	Granulit	Granulit
Motorleistung	186 kW	224 kW	287 kW	224 kW	146 kW
Bohrlochdurchmesser	90 mm	105, 115 mm	95 mm	95 mm	95 mm
Bohrmeter / Jahr	51,000 m	38,800 m	30,000 m	20,000 m	20,000 m

Leistung

Tages-Nettobohrleistung	81.70 m/h	76.8 m/h	58.80 m/h	86.57 m/h	10.61 m/h
Tages-Nettobohrleistung	144.38 cm ³ /sec	206.54 cm ³ /sec	115.79 cm ³ /sec	170.45 cm ³ /sec	20.90 cm ³ /sec
Tages-Bruttobohrleistung	53.64 m/h	46.66 m/h	47.05 m/h	47.61 m/h	10.16 m/h
Jahres-Bruttobohrleistung	27.70 m/h	26.97 m/h	25.56 m/h	28.50 m/h	14.82 m/h

Beim Vergleich der Tages-Nettobohrleistungen zeigt sich, dass bei vergleichbaren Gerätegrößen (F7 CR, F9 CR und 24 bar DTH) die CopRod-Bohrgeräte höhere Stundenbohrleistungen als die Imlochhammermaschine aufweisen. Auch unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Bohrlochdurchmesser (Ausbruchsvolumen pro Zeiteinheit) zeigt sich die höhere Bohrleistung der CopRod-Maschinen.

Im direkten Vergleich der beiden Maschinen im Granulit-Steinbruch (F9 CR₂ und 14-bar-DTH) zeigt sich die deutliche Überlegenheit der CopRod-Maschine. Die CopRod-Maschine wies mehr als die 8-fache Nettobohrleistung der 14-bar-DTH auf. Die Tages-Bruttobohrleistung betrug mehr als das 4-fache der Imlochhammermaschine. Die Bohrleistungen der 14-bar Imlochhammermaschine sind derart gering ausgefallen, da es sich dabei um eine kleinere Maschine handelt und die gemessenen Bohrungen auf der untersten Etage des Steinbruchs abgeteuft wurden, wobei in diesem Bereich das härteste Gestein ansteht. Diese Werte sind aber sehr

wohl aussagekräftig, da die zukünftige Entwicklung des Steinbruchs in die Tiefe und somit in ebenfalls sehr hartem Gestein weitergeht. Im Jahresdurchschnitt wird die CopRod-Maschine ungefähr die doppelte Bruttobohrleistung der 14-bar Imlochhammermaschine aufweisen.

Im Gegensatz zur Tages-Nettobohrleistung ist die Tages-Bruttobohrleistung der 24-bar-Imlochhammermaschine im selben Größenordnungsbereich wie die der vergleichbaren CopRod-Maschinen. Das ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass die CopRod-Maschinen im Bezug auf die Länge des Bohrgestänges einen Nachteil aufweisen. Das Gestänge der 24-bar-Imlochhammermaschine ist 5.0 m lang und das CopRod-Bohrgestänge nur 3.66 m. Dadurch ergibt sich die Tatsache, dass bei ungünstiger Bohrlochlänge beim CopRod-System noch eine zusätzliche Bohrstange nachgesetzt und nach dem Bohren somit auch wieder entfernt werden muss. Vor allem im Marmorsteinbruch mit 12 m langen Bohrlöchern tritt dieser Fall ein: Die CopRod-Maschine muss noch eine vierte Bohrstange nachsetzen, während bei einer 24-bar-Imlochhammermaschine drei Bohrstangen genügen würden.

Die folgende Tabelle gibt einen groben Überblick über die Dauer des Nachsetzens und des Ziehens einer zusätzlich benötigten CopRod-Bohrstange in Bezug auf die Bruttobohrdauer.

Tabelle 60: Darstellung des zusätzlichen Zeitaufwandes aufgrund zusätzlicher Bohrstangen

Bohrlochlänge	Stangenanzahl	Dauer Nachsetzen und Ziehen pro Bohrstange in % der Bruttobohrdauer
11.0 - 14.6 m	4	8 - 10 %
14.7 - 18.3 m	5	6 - 8 %
18.4 - 22.0 m	6	5 - 6 %

Bei der CopRod-Maschine F9 CR₁ im Marmorsteinbruch wird üblicherweise mit einem Bohrlochdurchmesser von 115 mm gebohrt. Allerdings wird, um die Endböschung nicht durch große Erschütterungen zu gefährden, die Trennung mit einem geringeren Bohrlochdurchmesser (105 mm) und nur 1 m Seitenabstand gebohrt. In Tabelle 61 kann man erkennen, dass die Nettobohrleistung dabei nur unwesentlich höher ist als beim Bohrlochdurchmesser von 115 mm. Die geringeren Seitenabstände haben einen nicht allzu großen Einfluss auf die Bruttobohrzeit (siehe Abbildung 37 und Abbildung 39 im Gegensatz zu Abbildung 31, Abbildung 33 und Abbildung 35).

Tabelle 61: Bohrleistungen bei unterschiedlichem Bohrl Lochdurchmesser

Bohrloch- durchmesser [mm]	Tagesnetto- bohrleistung [m/h]	Flächen- zunahme [%]	Leistungs- abnahme [%]
105	76.2		
115	71.6	20.0	-6.0

6.1.1 Vergrößerung des Bohrl Lochdurchmessers

Aufgrund der Tatsache, dass eine Erhöhung des Bohrl Lochdurchmessers um 10 mm eine Steigerung der Bohrl Lochfläche (und somit auch des Bohrl Lochvolumens) von 20% ergibt, allerdings die Bohrleistung dabei, wie bei den Messungen im Marmorsteinbruch gezeigt, nur um 6% abnimmt (siehe Tabelle 61), wird für die F9 CR₂ mit Einsatz im Granulit eine Erhöhung des Bohrl Lochdurchmessers von 95 mm auf 105 mm empfohlen. Beim eingesetzten Bohrgestänge CopRod 76 kann maximal ein Bohrl Lochdurchmesser von 105 mm gebohrt werden (siehe Tabelle 7). Somit kann die Erhöhung des Bohrl Lochdurchmessers ganz einfach durch Wechsel der Bohrkronen erfolgen.

Tabelle 62: Vergrößerung der Bohrl Lochfläche

Bohrloch- durchmesser [mm]	Bohrloch- fläche [cm ²]	Prozent [%]
95	70.9	100.0
105	86.6	122.2

Aufgrund der Tatsache, dass der Bohrl Lochdurchmesser von 95 mm auf 105 mm vergrößert wird, steht um 22% mehr Bohrl Lochvolumen zur Aufnahme des Sprengstoffes zur Verfügung. Somit kann bei gleichem spezifischem Sprengstoffeinsatz der Bohrraster um 22% ausgeweitet werden.

Die Ausweitung des Bohrrasters wird im folgenden Teil berechnet.

Tabelle 63: Allgemeine Angaben

Bohrlochlänge	15.0 [m]
Dichte _{Gestein}	2.7 [t/m ³]
Abbaumenge	600000.0 [t/Jahr]
	222222.2 [m ³ /Jahr]

Bei realistischen Bohrmeterkosten von 3.0 €/m ergeben sich folgende Einsparungen.

Tabelle 64: Einsparungspotential aufgrund des größeren Bohrlochdurchmessers

	Seitenabstand	Vorgabe	Zugeordnetes Gesteins- volumen pro Bohrloch	Erforderliche Bohrlöcher für Abbau- volumen	Erforderliche Bohrmeter für Abbau- volumen	Einsparung an Bohrmetern	Einsparung an Kosten
	[m]	[m]	[m ³]	[1]	[m/Jahr]	[m/Jahr]	[€/Jahr]
Bohrraster alt	3.1	3.1	144.2	1541.6	23124.1	-	-
Bohrraster neu	3.4	3.4	176.1	1261.9	18929.2	4194.8	12584.5

Tabelle 65: Mehrkosten aufgrund der geringeren Bohrleistung

Bohrloch- durchmesser	Bohrdauer	Bohrdauer	Mehrkosten
[mm]	[%]	[h]	[€]
95	100.0	702.0	-
105	106.0	744.1	1010.9

Aufgrund der Erhöhung des Bohrlochdurchmessers von 95 mm auf 105 mm können bei gleichbleibendem spezifischem Sprengstoffeinsatz rund 4200 Bohrmeter pro Jahr eingespart werden. Bei Bohrmeterkosten von 3.0 €/m ergibt sich somit ein Einsparungspotential von etwa 12600 € pro Jahr. Diese sind allerdings um die Mehrkosten aufgrund der geringeren Bohrleistung abzumindern (siehe Tabelle 65).

In Summe ergibt sich somit ein Einsparungspotential von rund 11570 € pro Jahr.

Ob die Bohrleistungen bei größerem Bohrlochdurchmesser den Erwartungen entsprechen, sollte in mehreren Versuchen erhoben werden, da auch anderslautende Berichte vorliegen (siehe [17]).

Ob das Sprengergebnis bei diesem Bohrraster weiterhin zufriedenstellend ist, sollte ebenfalls in mehreren Versuchen erhoben werden.

6.2 Dieselverbrauch

Beim Vergleich des Dieselverbrauchs ist ebenfalls die Tatsache zu berücksichtigen, dass die Messergebnisse unter unterschiedlichen geologischen Bedingungen erhoben wurden und die Maschinen auch unterschiedliche Bohrl Lochdurchmesser aufwiesen (siehe Tabelle 66). Lediglich die F9 CR₂ und die 14-bar-Imlochhammermaschine waren im selben Steinbruch (Granulit) im Einsatz und hatten jeweils mit 95 mm denselben Bohrl Lochdurchmesser. Diese Ergebnisse können unter Berücksichtigung der Tatsache, dass es sich dabei um unterschiedliche Maschinengrößen handelt, direkt verglichen werden.

Tabelle 66: Gegenüberstellung des Dieselverbrauchs

Maschinentyp	F7 CR _{1,2}	F9 CR ₁	24 bar DTH	F9 CR ₂	14 bar DTH
Gebirgsart	Diabas, Kalkstein	Marmor	dolom. Kalkstein	Granulit	Granulit
Motorleistung	186 kW	224 kW	287 kW	224 kW	146 kW
Bohrlochdurchmesser	90 mm	105, 115 mm	95 mm	95 mm	95 mm
Bohrmeter / Jahr	51,000 m	38,800 m	30,000 m	20,000 m	20,000 m
Dieselverbrauch	22.4 l/h	31.3 l/h	47.5 l/h	34.3 l/h	26.0 l/h
Spez. Dieselverbrauch	0.85 l/m	1.14 l/m	1.94 l/m	1.07 l/m	3.33 l/m

Beim Dieselverbrauch pro Motorbetriebsstunde, zeigt sich, dass die CopRod-Maschinen im Vergleich zur 24-bar-Imlochhammermaschine einen um rund 30% geringeren Verbrauch aufweisen. Trotz der unterschiedlichen Bohrl Lochdurchmesser zeigt sich, dass die CopRod-Maschinen auf den Bohrmeter umgelegt einen Dieselverbrauch von 0.85 l/m (ROC F7 CR, 90 mm) bzw. von 1.14 l/m (ROC F9 CR₁, 115 mm) aufweisen. Im Gegensatz dazu weist die 24-bar-Imlochhammermaschine einen Verbrauch von 1.94 l/m (bei 95 mm Bohrl Lochdurchmesser) auf.

Die ermittelten Werte für die 14-bar-Imlochhammermaschine und die F9 CR₂ sind wie schon erwähnt direkt miteinander vergleichbar, da diese Maschinen im selben Steinbruch (Granulit) eingesetzt wurden und den selben Bohrl Lochdurchmesser aufweisen. Dabei zeigt sich, dass der Dieselverbrauch pro Motorbetriebsstunde bei der Imlochhammermaschine zwar geringer ist als bei der CopRod-Maschine, allerdings ist die Jahresbruttobohrleistung auch um rund die Hälfte geringer. Vor allem beim Vergleich des Dieselverbrauchs pro Bohrmeter zeigt sich die deutliche Überlegenheit der CopRod-Maschine.

6.3 Bohrgenauigkeit [14], [15], [16]

Beim Vergleich der Bohrgenauigkeiten ist die Tatsache zu berücksichtigen, dass die Messergebnisse unter unterschiedlichen geologischen Bedingungen erhoben wurden.

6.3.1 Absolute Abweichungen

Die absoluten Abweichungen des Bohrlochverlaufes beziehen sich auf den geplanten Neigungs- und Azimutwinkel des Bohrloches (siehe Kapitel 3.3.2).

Anhand eines Bohrfeldes wird die absolute Abweichung erläutert.

Tabelle 67: Auflistung der Bohrlochabweichungen

Bohrloch- nummer	geplante Neigung [°]	mittlere Neigung [°]	mittlerer Azimut [°]	Bohrloch- länge [m]	Abweichung von gepl. Neigung [m]	% der Bohrloch- länge [%]
1	15	18.8	236.1	20.7	1.58	7.63
2	15	16.7	236.7	20.8	0.84	4.04
3	15	16.8	236.5	21.1	0.89	4.22
4	15	15.9	234.6	19.6	0.50	2.55
5	15	15.7	231.6	20.8	0.45	2.16
6	15	15.5	231.9	20.8	0.36	1.73
7	15	14.8	235.1	20.7	0.11	0.53
8	15	14.6	229.4	20.7	0.05	0.24
9	15	15.4	229.6	20.3	0.32	1.58
10	15	14.4	233.6	20.3	0.09	0.44
11	15	14.8	232.6	20.8	0.12	0.58
12	15	16.1	220.5	20.3	0.59	2.91
13	15	17.2	218.9	19.8	0.95	4.80
14	15	15.8	216.3	20.4	0.48	2.35
15	15	14.5	217.8	20.6	0.01	0.05
16	15	15.4	215.5	20.6	0.33	1.60
17	15	16.7	216.6	20.8	0.83	3.99
18	15	14.4	212.5	20.5	0.05	0.24
19	15	15.5	208.5	20.7	0.38	1.84
Mittelwert		15.74	226.02	20.54	0.47	2.29
Median		15.50	229.60	20.70	0.38	1.84

In der obigen Tabelle sind die Bohrlochabweichungen eines Bohrfeldes mit rund 20 m Bohrlochlänge dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Bohrlochabweichungen bis auf wenige Ausnahmen geringer als 3% der Bohrlochlänge sind. Der Mittelwert der Abweichungen beträgt rund 2.3% der Bohrlochlänge.

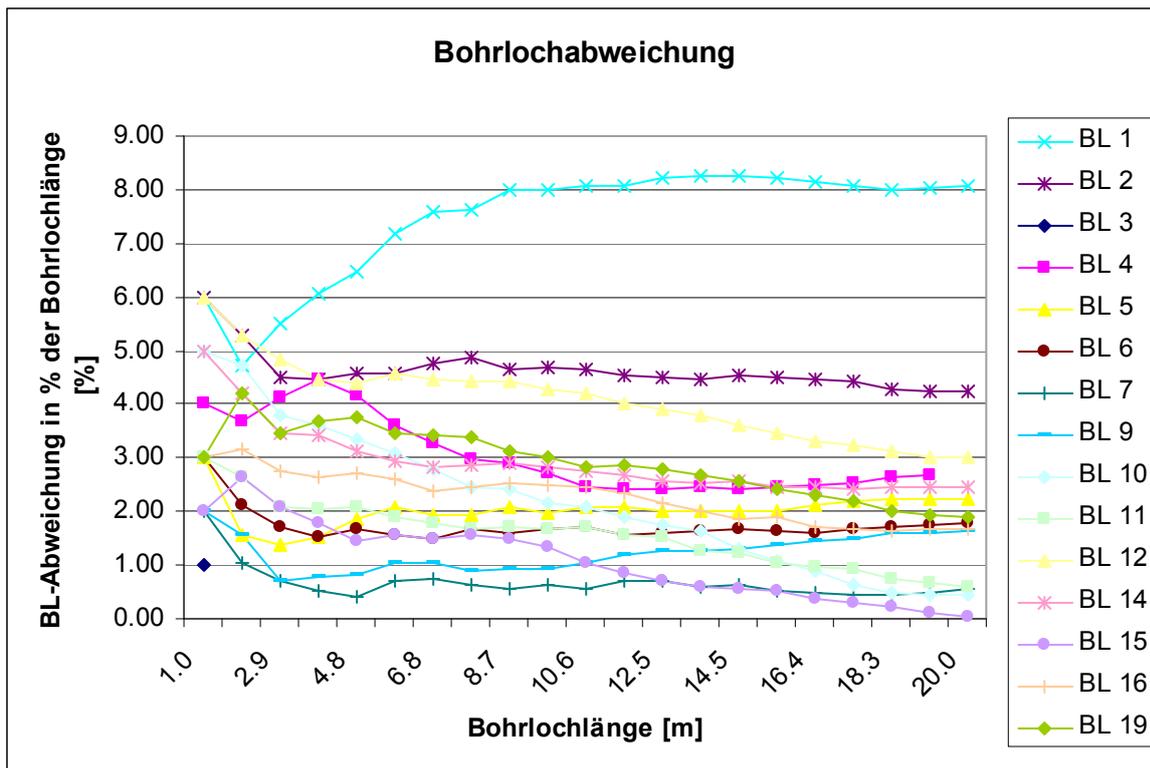


Abbildung 58: Bohrlochabweichungen vom geplanten Zustand

Die obige Abbildung zeigt den Verlauf der Abweichungen der Bohrlöcher von der geplanten Neigung und vom geplanten Orientierungswinkel (Azimut). Da es sich bei diesem Fehler der Lafettenneigung um einen linear mit der Bohrlochlänge anwachsenden Fehler handelt, bleibt der Anteil des Fehlers an der Bohrlochlänge nahezu konstant.

Die nachfolgende Darstellung des Grundrisses eines Bohrfeldes gibt Aufschluss über die Problematik des Unterschiedes zwischen geplantem Bohrloch und dem tatsächlich gebohrten Bohrloch. Die strichlierte Linie stellt den geplanten Verlauf dar. Die durchgezogene Linie ist der tatsächliche Verlauf der Bohrlöcher. Es ist ersichtlich, dass die Bohrlöcher relativ geradlinig gebohrt wurden. Die Abweichungen vom geplanten Zustand sind somit ein Fehler in der horizontalen Ausrichtung (Azimutwinkel) der Lafette und damit nicht auf das Bohrsystem zurückzuführen. Dieser Fehler tritt, wie in Kapitel 3 beschrieben, aufgrund des Anvisierens eines entfernten Punktes auf.

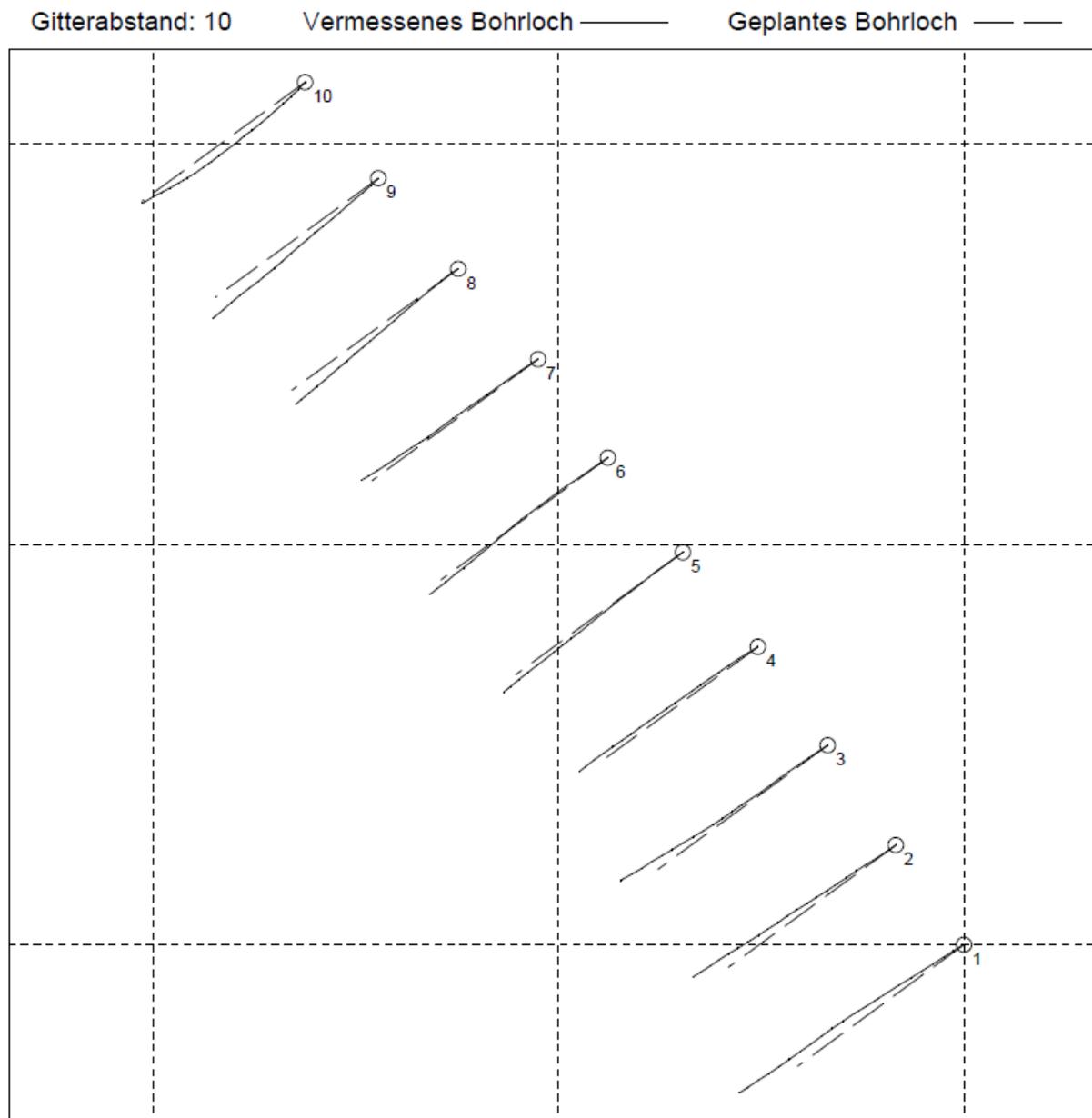


Abbildung 59: Grundriss eines mit CopRod hergestellten Bohrfeldes

In der nachfolgenden Darstellung der Frontansicht eines Bohrfeldes ist zu erkennen, dass die mit CopRod hergestellten Bohrlöcher selbst bei einer Bohrlöchlänge von 20 m ziemlich geradlinig sind. Die Abweichungen vom geplanten Seitenabstand treten aufgrund falsch eingestellter Lafetteneinrichtungen ein und sind nicht auf das Bohrsystem selbst zurückzuführen.

	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
0.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
-1.0	3.0	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
-2.0	3.0	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
-3.0	3.0	2.9	3.0	3.0	3.0	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0
-4.0	3.0	2.9	2.9	3.0	3.0	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0
-5.0	3.0	2.9	2.9	3.0	3.1	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0
-6.0	3.0	2.9	2.9	3.0	3.1	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0
-7.0	3.0	2.9	2.9	3.0	3.1	2.9	3.0	2.9	2.9	2.9
-8.0	3.0	2.9	2.8	3.0	3.1	2.9	3.0	2.9	2.9	3.0
-9.0	3.0	2.9	2.8	3.0	3.1	2.9	3.0	2.9	2.9	3.0
-10.0	3.0	2.9	2.8	3.0	3.1	2.8	3.0	2.9	2.9	3.0
-11.0	3.0	2.9	2.8	3.1	3.1	2.8	3.0	2.9	2.9	3.0
-12.0	3.0	2.9	2.8	3.1	3.1	2.8	3.0	2.9	2.9	3.0
-13.0	3.1	2.9	2.7	3.1	3.1	2.8	3.0	2.9	2.9	3.0
-14.0	3.1	2.9	2.7	3.1	3.0	2.8	3.0	2.9	2.9	3.0
-15.0	3.1	2.9	2.7	3.2	3.0	2.8	3.0	2.9	2.9	3.1
-16.0	3.2	3.0	2.6	3.2	3.0	2.7	2.9	2.9	2.9	3.1
-17.0	3.2	3.0	2.6	3.2	3.0	2.7	2.9	3.0	3.0	3.1
-18.0	3.3	3.0	2.6	3.2	3.0	2.7	2.9	3.0	3.0	3.1
-19.0	3.3	3.0	2.5	3.3	3.0			3.0	3.0	3.1
-20.0			2.5	3.3	3.0					

Abbildung 60: Frontansicht eines mit CopRod hergestellten Bohrfeldes

In der nachfolgenden Abbildung der Seitenansicht des Bohrloches 1 wird die fehlerhafte Einstellung der Lafettenneigung deutlich dargestellt.

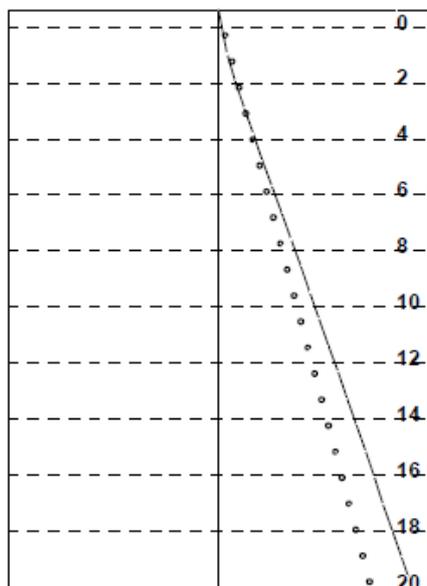


Abbildung 61: Seitenansicht des Bohrloches 1

6.3.2 Relative Abweichungen

Da nur das Verlaufen des Bohrloches auf das Bohrsystem zurückzuführen ist, beziehen sich die relativen Abweichungen des Bohrloches (im Gegensatz zu den absoluten Abweichungen) auf die Mittelwerte der in 1 m Intervallen erhaltenen Messwerte des Azimut- und des Neigungswinkels (siehe Kapitel 3.3.2 und 4.3). Diese Mittelwerte wurden als Sollwerte definiert und die vom Messsystem erfassten Abweichungen von diesen mittleren Winkeln wurden mit der Bohrlochlänge in Verhältnis gesetzt.

Tabelle 68: Gegenüberstellung der Bohrlochabweichungen

	Gestänge- durch- messer	Bohrloch- durch- messer	Bohrloch- länge	Soll- neigung	Istneigung	Absolutwert der Abweichung [m]	Abweichung in % der Bohrlochlänge
F7 CR	76 mm	90 mm	13.5 m	80°	76.5°	0.07	0.55%
F7 CR	76 mm	90 mm	14.4 m	80°	72.9°	0.18	1.24%
F7 CR	76 mm	90 mm	20.7 m	75°	74.5°	0.21	1.01%
F9 CR	89 mm	115 mm	12.1 m	70°	69.3°	0.27	2.26%
F9 CR	89 mm	115 mm	12.2 m	70°	69.9°	0.24	1.97%
F9 CR	89 mm	115 mm	11.1 m	82°	80.9°	0.02	0.18%
F9 CR	89 mm	115 mm	12.0 m	70°	70.6°	0.23	1.88%
F9 CR	89 mm	105 mm	11.3 m	80°	80.5°	0.03	0.28%
F9 CR	89 mm	105 mm	19.9 m	80°	78.9°	0.07	0.35%
F9 CR	76 mm	95 mm	8.1 m	75°	74.4°	0.08	0.99%
DTH	76 mm	95 mm	6.8 m	75°	75.0°	0.06	0.85%
DTH	76 mm	95 mm	31.3 m	70°	69.8°	0.64	2.06%
DTH	76 mm	95 mm	23.8 m	70°	65.9°	0.86	3.61%

Es ist ersichtlich, dass jene Bohrlöcher, die mit dem CopRod-Bohrsystem hergestellt wurden, eine Abweichung von der mittleren Neigung aufweisen, die in jedem Fall kleiner als 2.26 % der Bohrlochlänge ist. Dies ist auch bei Bohrlöchern mit größerer Bohrlochlänge (19.9 bzw. 20.7 m) der Fall. Der Mittelwert der Abweichungen beträgt 1.1 % der Bohrlochlänge.

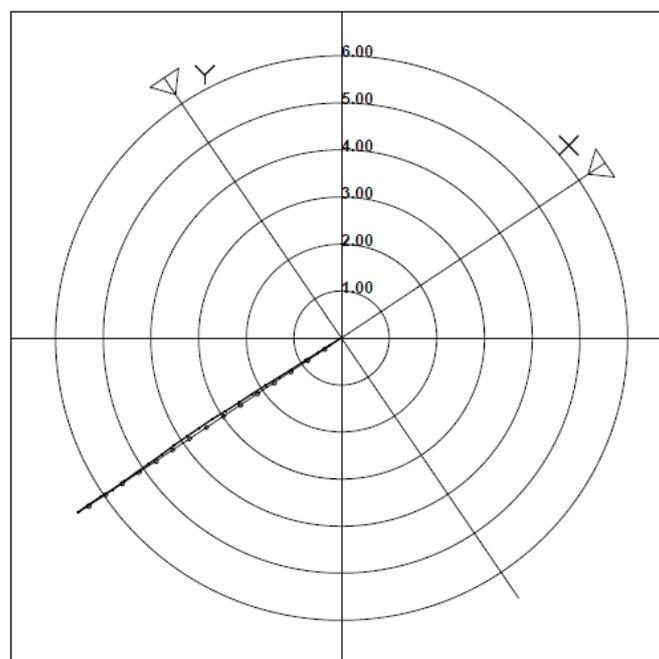
Bei Bohrlöchern, die mit dem Imlochhammersystem abgeteuft wurden, zeigt sich eine mittlere Abweichung von 2.17 % der Bohrlochlänge.

Es ist vor allem erkennbar, dass bei Bohrlöchern mit größerer Neigung (nahezu vertikal) eine erhebliche Verringerung der Bohrlochabweichung auftritt (siehe Tabelle 69). So beträgt der Mittelwert der Abweichungen der Bohrlöcher mit einer Neigung größer als 80° nur 0.3 % der Bohrlochlänge. Bei Bohrlöchern mit einer Neigung von 75° beträgt die Abweichung rund 1.0 % der Bohrlochlänge und bei Bohrlöchern mit einer Neigung von 70° beträgt die Abweichung rund 2.0 % der Bohrlochlänge.

Tabelle 69: Bohrlochabweichungen bei unterschiedlichen Bohrlochneigungen

Neigung	CR	DTH
80°	0.30%	
75°	1.00%	0.85%
70°	2.00%	2.80%

Aus den graphischen Darstellungen der mit dem CopRod-System hergestellten Bohrlöcher (siehe Abbildung 62, Abbildung 63 und Anhang) ist ein geradliniger Verlauf ersichtlich. Selbst bei Bohrlochlängen von 20 m ist nahezu kein Verlaufen des Bohrloches festzustellen. Die durchgezogene Linie ist dabei der tatsächliche Bohrlochverlauf und die punktierte Linie ist der geplante Verlauf (Mittelwert der Messwerte von Azimutwinkel und Neigungswinkel).

**Abbildung 62: Grundriss des Bohrloches**

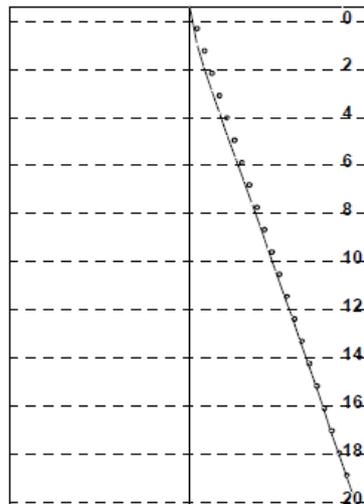


Abbildung 63: Seitenansicht des Bohrloches

Die in Tabelle 68 und Tabelle 69 dargestellten Bohrlochabweichungen lassen den Schluss zu, dass mit dem CopRod-Bohrsystem geradlinige Bohrlöcher hergestellt werden können. Dabei ist allerdings zu beachten, dass sich die tatsächlichen Bohrlochneigungen von den geplanten Bohrlochneigungen sehr wohl in großem Maße unterscheiden können. Diese Abweichungen sind dann allerdings nicht auf das Bohrsystem selbst zurückzuführen, sondern eher auf die ungenaue Einstellungsmöglichkeit der Maschinen.

Bei der Orientierung (Azimutwinkel) der Bohrlöcher verhält es sich ähnlich wie bei den Bohrlochneigungen. Auch hier sind vor allem bei älteren Maschinen die Einstellungsmöglichkeiten sehr beschränkt und garantieren keinen parallelen Verlauf der Bohrlöcher.

Aber nicht nur die Bohrgeräte sind für die Abweichung der Bohrlöcher vom geplanten Zustand verantwortlich. Vor allem das Gebirge kann auch einen großen Einfluss auf die Bohrgenauigkeit haben. Dies kann sich vor allem bei ungünstigen Schichteinfällen negativ auswirken und darf daher nicht außer Acht gelassen werden.

Nicht zuletzt ist natürlich auch der Bohrer verantwortlich für das Abteufen der Bohrlöcher nach den geplanten Vorgaben.

Allerdings sollte auch auf die Tatsache hingewiesen werden, dass je steiler die Bohrlöcher gebohrt werden, desto kleiner die Abweichungen der tatsächlichen Neigung von der geplanten Neigung sind.

Die im Kapitel 3.3.2.2 beschriebenen sicherheitstechnischen Risiken können somit mit dem CopRod-System minimiert werden.

Das die hohe Bohrgenauigkeit nicht nur sicherheitstechnische, sondern auch wirtschaftliche Auswirkungen haben kann, wird im nachfolgenden Abschnitt verdeutlicht.

6.3.3 Vergrößerung des Bohrrasters

Aufgrund der in Kapitel 3.3.2.3 erläuterten Tatsachen, kann sich die Bohrgenauigkeit wie in folgendem Beispiel berechnet auswirken. Die angenommene Bohrlochabweichung des CopRod-Bohrsystems von 1.1 % der Bohrlochlänge bezieht sich auf die Tabelle 68. Dieser Wert wurde als Abweichung vom mittleren Azimut und von der mittleren Bohrlöcheneigung ermittelt. Die weiteren Bohrlochabweichungen (von 2.0 % bis 4.0 % der Bohrlochlänge) wurden zur anschaulichen Darstellung des Kosteneinsparungspotentials herangezogen. Dabei wurde ein realistischer Bohrmeterpreis von 3.0 €/m angenommen.

Tabelle 70: Allgemeine Angaben

Bohrlochlänge	20.0 [m]
B_{\max}	4.0 [m]
Dichte _{Gestein}	2.7 [t/m ³]
Abbaumenge	1000000.0 [t/Jahr]
	370370.4 [m ³ /Jahr]

Tabelle 71: Einsparungspotential gegenüber verschiedenen Bohrgenauigkeiten

	Bohrlochabweichung in % der Bohrlochlänge	Bohrlochabweichung im Bohrlöchtiefsten	Resultierende Vorgabe aufgrund der Abweichung	Zugeordnete Fläche pro Bohrloch	Zugeordnete Kubatur pro Bohrloch	Erforderliche Bohrlöcher für Abbauvolumen	Erforderliche Bohrmeter für Abbauvolumen	Zusätzliche Bohrmeter gegenüber CopRod	Zusatzkosten gegenüber CopRod
	[%]	[m]	[m]	[m ²]	[m ³]	[1]	[m/Jahr]	[m/Jahr]	[€/Jahr]
CopRod	1.10	0.2	3.8	14.29	285.8	1296.1	25921.1	-	-
DTH / TH	2.00	0.4	3.6	12.96	259.2	1428.9	28578.0	2656.9	7970.7
DTH / TH	2.50	0.5	3.5	12.25	245.0	1511.7	30234.3	4313.3	12939.8
DTH / TH	3.00	0.6	3.4	11.56	231.2	1601.9	32039.0	6117.9	18353.7
DTH / TH	3.50	0.7	3.3	10.89	217.8	1700.5	34010.1	8089.1	24267.2
DTH / TH	4.00	0.8	3.2	10.24	204.8	1808.4	36169.0	10247.9	30743.8

Die letzte Spalte der Tabelle 71 zeigt das enorme Einsparungspotential der hohen Bohrgenauigkeit. Aufgrund der Ausweitung des Bohrrasters und der damit verbundenen Einsparung an Bohrmeter kann einiges an Kosten gespart werden.

6.4 Ermittlung der Kosten

Tabelle 72: Gegenüberstellung der Bohr- und Sprengkosten

	ROC F7 CR	ROC F9 CR	DTH 24 bar	ROC F9 CR	DTH 14 bar	
Bohrkosten	40.34	28.97	37.15	42.51	49.67	[%]
Sprengkosten	59.66	71.03	62.85	57.49	50.33	[%]

Wie in Kapitel 3.1 beschrieben schwanken die Verteilungen der Bohr- und Sprengkosten von Betrieb zu Betrieb recht beträchtlich. Bei den durchgeführten Berechnungen hat sich gezeigt, dass die Bohrkosten dabei im Schnitt einen Anteil von rund 35% und die Sprengkosten rund 65% ausmachen. Nur bei der 14-bar Imlochhammermaschine hat sich gezeigt, dass die Bohrkosten einen erhöhten Anteil ausmachen. Das ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass diese Maschine für die vorliegende Abbaumenge zu klein ist.

Tabelle 73: Gegenüberstellung der Investitionsausgaben und der jährlichen Kosten

Maschinentyp	F7 CR _{1,2}	F9 CR ₁	24 bar DTH	F9 CR ₂	14 bar DTH
Gebirgsart	Diabas, Kalkstein	Marmor	dolom. Kalkstein	Granulit	Granulit
Motorleistung	186 kW	224 kW	287 kW	224kW	146 kW
Bohrlochdurchmesser	90 mm	105, 115 mm	95 mm	95 mm	95 mm
Bohrmeter / Jahr	51,000 m	38,800 m	30,000 m	20,000 m	20,000 m
Maschineninvestition	372,000 €	396,000 €	384,000 €	396,000 €	264,000 €
<small>Verkaufswert inkl. Verz. 8% auf 5 Jahre</small>					
Betriebskosten pro Jahr					
Reparatur, Ersatzteile und Schmiermittel	15,468 €	15,539 €	13,642 €	10,000 €	10,000 €
Bohrstahlverbrauch	33,000 €	25,000 €	15,000 €	20,000 €	15,000 €
Dieserverbrauch	22.4 l/h	31.3 l/h	47.5 l/h	34.3 l/h	26.0 l/h
Lohnkosten	44,188 €	34,527 €	28,169 €	16,842 €	32,389 €

Die Investitionsausgaben werden wie in Kapitel 4.4.1 beschrieben aus den Anschaffungskosten und den kalkulatorischen Zinsen (mit einer Verzinsung von 8% auf 5 Jahre Laufzeit) ermittelt. Dabei zeigt sich, dass sowohl die F7 CR, als auch die F9 CR in derselben Größenordnung wie die 24-bar Imlochhammermaschine liegen. Lediglich die 14-bar Imlochhammermaschine liegt dabei deutlich unter diesen Werten, allerdings ist zu berücksichtigen, dass es sich dabei um eine kleinere Maschine handelt.

Die Reparatur- und Ersatzteilkosten der F7 CR und der F9 CR₁ betragen pro Jahr 12000€. Zuzüglich der Schmiermittelkosten (8% der Treibstoffkosten) ergeben sich

somit die Instandhaltungskosten. Die Instandhaltungskosten der 24-bar-DTH liegen geringfügig unter den Werten für die F7 CR und die F9 CR₁.

Die Instandhaltungskosten der beiden im Granulit eingesetzten Maschinen wurden gleich hoch angenommen, obwohl die F9 CR₂ aufgrund der höheren Bohrleistung vermutlich weniger Motorbetriebsstunden pro Jahr leisten wird.

Der durchschnittliche Bohrstahlverbrauch beträgt für die F7 CR und die F9 CR₁ 25000€ für 40000 abgeteufte Bohrmeter. Daher ergeben sich bei der F7 CR Bohrstahlkosten in der Höhe von 33000€ und bei der F9 CR₁ in der Höhe von 25000€ pro Jahr. Die 24-bar Imlochhammermaschine hat erwartungsgemäß geringere Bohrstahlkosten als die CopRod-Maschinen aufzuweisen.

Die Bohrstahlkosten der beiden im Granulit tätigen Maschinen wurden vergleichsweise höher angenommen, da es sich dabei um sehr abrasives Material handelt. Auch dabei liegt die CopRod-Maschine wiederum über den Kosten der Imlochhammermaschine.

Die Lohnkosten wurden durch Multiplikation der jährlichen Motorbetriebsstunden mit dem Bruttostundenmittlehn (24 €/h) ermittelt und sind daher bei der F7 CR am höchsten. Beim Vergleich der beiden im Granulit eingesetzten Maschinen sind die Lohnkosten der F9 CR₂ mit der Bohrleistung aus den Messungen ermittelt worden. Dabei zeigt sich, dass aufgrund der beinahe doppelten Bohrgeschwindigkeit der F9 CR₂ im Vergleich zur 14-bar DTH eine Einsparung von rund 15500 € pro Jahr zu erwarten ist.

In der nachfolgenden Tabelle werden die Kosten aus Tabelle 73 unter Berücksichtigung der Tagesbruttobohrleistung auf einen Bohrmeter bezogen.

Tabelle 74 : Gegenüberstellung der Bohrmeterkosten und der Kosten je Tonne gewonnenes Material unter Berücksichtigung der Tagesbruttobohrleistung

Maschinentyp		F7 CR _{1,2}	F9 CR ₁	24 bar DTH	F9 CR ₂	14 bar DTH
Investition [€/m]	Maschineninvestition Bm mit 10.000 Betriebsstunden	1.34	1.47	1.50	1.39	1.78
Betriebskosten						
Reparatur , Ersatzteile, Schmiermittel [€/m]	Jahresersatzteilkosten Gesamtbohrmeter pro Jahr	0.31	0.40	0.46	0.50	0.50
Bohrstahlverbrauch [€/m]	Jahresbohrstahlkosten Gesamtbohrmeter pro Jahr	0.65	0.64	0.50	1.00	0.75
Dieserverbrauch [€/m]	langfristiger Verbrauch in l/h Tagesbruttobohrleistung	0.42	0.67	1.01	0.72	1.75
Lohnkosten [€/m]	Bruttomittelohn €/h Tagebruttobohrleistung (m/h)	0.45	0.52	0.51	0.50	1.62
Betriebskosten / Tagesbruttobohrleistung [€/m]		1.83	2.23	2.48	2.72	4.62
Totalkosten / Tagesbruttobohrleistung [€/m]		3.17	3.70	3.98	4.11	6.40
Totalkosten / Tagesbruttobohrleistung [€/t]		0.13	0.06	0.09	0.16	0.25

Tabelle 75 zeigt die Bohrkosten unter Berücksichtigung der Jahresbruttobohrleistung.

Tabelle 75 : Gegenüberstellung der Bohrmeterkosten und der Kosten je Tonne gewonnenes Material unter Berücksichtigung der Jahresbruttobohrleistung

Maschinentyp		F7 CR _{1,2}	F9 CR ₁	24 bar DTH	F9 CR ₂	14 bar DTH
Investition [€/m]	Maschineninvestition Bm mit 10.000 Betriebsstunden	1.34	1.47	1.50	1.39	1.78
Betriebskosten						
Reparatur , Ersatzteile, Schmiermittel [€/m]	Jahresersatzteilkosten Gesamtbohrmeter pro Jahr	0.31	0.40	0.46	0.50	0.50
Bohrstahlverbrauch [€/m]	Jahresbohrstahlkosten Gesamtbohrmeter pro Jahr	0.65	0.64	0.50	1.00	0.75
Dieserverbrauch [€/m]	langfristiger Verbrauch in l/h Jahresbruttobohrleistung	0.85	1.14	1.94	1.07	1.75
Lohnkosten [€/m]	Bruttomittelohn €/h Jahresbruttobohrleistung (m/h)	0.87	0.89	0.94	0.84	1.62
Betriebskosten / Jahresbruttobohrleistung [€/m]		2.68	3.07	3.84	3.41	4.62
Totalkosten / Jahresbruttobohrleistung [€/m]		4.02	4.54	5.34	4.80	6.40
Totalkosten / Jahresbruttobohrleistung [€/t]		0.15	0.09	0.12	0.16	0.21
Totalkosten / Jahresbruttobohrleistung [€/dm ³ Bohrvol.]		0.63	0.44	0.75	0.68	0.90

Die mit der Tagesbruttobohrleistung ermittelten Bohrmeterkosten sind rein auf die Maschinenleistung (ohne unproduktive Nebenzeiten) zurückzuführen.

Die Bohrmeterkosten unter Berücksichtigung der Jahresbruttobohrleistung sind abhängig von der Organisation und den Gegebenheiten des Betriebes und beziehen daher auch unproduktive Nebenzeiten mit ein. Im Jahresdurchschnitt sind diese Kosten für einen Betrieb aussergewöhnlich gering, da sich im Laufe eines Jahres die unproduktiven Nebenzeiten nicht vermeiden lassen.

Die folgenden Erkenntnisse beziehen sich auf die Tabelle 74:

Die Lebensdauer der Maschinen wird, wie in Kapitel 4.4.1 beschrieben, mit 10000 Motorbetriebsstunden angenommen. Unter Berücksichtigung der Jahresbruttobohrleistung werden die in dieser Zeit abgeteuften Bohrmeter ermittelt. Die Investitionsausgaben werden daraufhin auf diese Bohrmeter umgelegt.

Die auf den Bohrmeter umgelegten Investitionsausgaben liegen bei den vergleichbaren Gerätegrößen (F7 CR, F9 CR und 24-bar DTH) zwischen 1,34 €/m und 1,50 €/m. Dabei weisen allerdings die CopRod-Maschinen aufgrund der geringfügig höheren Bohrleistung geringere Kosten auf.

Beim Vergleich der beiden im Granulit eingesetzten Maschinen zeigt sich, dass die F9 CR₂ trotz der um 50% höheren Investitionsausgaben (im Vergleich zur 14-bar DTH) auf die Lebensdauer-Bohrmeter bezogen rund 20% geringere Kosten pro Bohrmeter ausmacht.

Bei den auf die Bohrmeter umgelegten Bohrstahlkosten zeigt sich, dass die Kosten der CopRod-Maschinen über den der DTH-Maschinen liegen. Die hohen Werte der beiden Maschinen im Granulit im Vergleich zu den anderen Maschinen sind auf die hohe Abrasivität des Materials zurückzuführen.

Wird der Dieselverbrauch pro Motorbetriebsstunde auf die Tagesbruttobohrleistung bezogen (mit einem Preis von 1.0 €/l), dann zeigt sich, dass die CopRod-Maschinen um rund 30% geringere Kosten als die vergleichbare Imlochhammermaschine aufweisen.

Bei den Lohnkosten pro Bohrmeter bewegen sich die vergleichbaren CopRod- und DTH-Maschinen im selben Bereich. Lediglich die kleinere 14-bar Imlochhammermaschine hat weitaus höhere bohrmeterbezogene Lohnkosten.

In Summe zeigt sich bei den bohrmeterbezogenen Betriebskosten, dass sowohl die F7 CR als auch die F9 CR geringere Kosten als die 24-bar Imlochhammermaschine

aufweisen. Lediglich die F9 CR₂ im Granulit hat aufgrund der hohen Abrasivität des Gesteins und des damit verbundenen höheren Bohrstahlverbrauchs höhere Betriebskosten pro Bohrmeter als die 24-bar Imlochhammermaschine.

Beim Vergleich mit der 14-bar DTH zeigt sich, dass die F9 CR₂ um rund 40 % geringere bohrmeterbezogene Betriebskosten aufweist.

Vergleicht man die bohrmeterbezogenen Totalkosten (Investitionsausgaben + Betriebskosten), so zeigt sich dasselbe Bild wie bei den Betriebskosten. Dabei ist bemerkenswert, dass die F9 CR₂ im Vergleich zur 14-bar Imlochhammermaschine trotz deutlich höherer Investitionsausgaben rund 35% geringere Bohrmeterkosten verursacht.

Werden die Bohrkosten umgewälzt auf die Tonnage gewonnenes Material, zeigt sich, dass die spezifischen Kosten zu einem großen Anteil von den betrieblichen Bedingungen abhängig sind. Bei einem engen Bohrraster muss der Betrieb im Vergleich zu einem weiten Bohrraster für dieselbe Menge gewonnenes Material mehr Bohrlöcher abteufen. Somit werden auch die Kosten pro Tonne höher. Daher sind lediglich die Werte der beiden im Granulit eingesetzten Maschinen (F9 CR₂ und 14-bar-DTH) direkt miteinander vergleichbar, da beide Maschinen dasselbe Bohrraster gebohrt haben. Dabei zeigt sich, dass die F9 CR um rund 35% geringere Kosten verursacht.

In Tabelle 75 zeigt sich, dass die bohrmeterbezogenen Kosten der drei CopRod-Maschinen geringer sind als bei den Imlochhammermaschinen. Das ist vor allem auf den geringeren Dieserverbrauch der CopRod-Maschinen zurückzuführen.

Die folgende Darstellung soll die geringeren bohrmeterbezogenen Kosten der CopRod-Maschinen im Vergleich zu den Imlochhammermaschinen verdeutlichen:

- F9 CR₁ 4.02 €/m (100 %)
- F7 CR 4.54 €/m (113 %)
- F9 CR₂ 4.80 €/m (119 %)
- DTH 24 5.34 €/m (133 %)
- DTH 14 6.40 €/m (159 %)

Die letzte Zeile der Tabelle 75 bezieht sich auf die Kosten pro Bohrvolumen. Diese Darstellung ist erforderlich, da die Durchmesser der abgeteufte Bohrlöcher unterschiedlich sind. Dabei zeigt sich folgendes Bild:

- F9 CR₁ 0.44 €/dm³ (100%)
- F7 CR 0.63 €/dm³ (143 %)
- F9 CR₂ 0.68 €/dm³ (155 %)
- DTH 24 0.75 €/dm³ (170%)
- DTH 14 0.90 €/dm³ (205%)

Es ist ersichtlich, dass die Bohrkosten pro gebohrtes Volumen bei den CopRod-Maschinen am geringsten sind. Die Kombination F9 CR mit dem Bohrlochdurchmesser von 105/115 mm weist die geringsten Kosten auf.

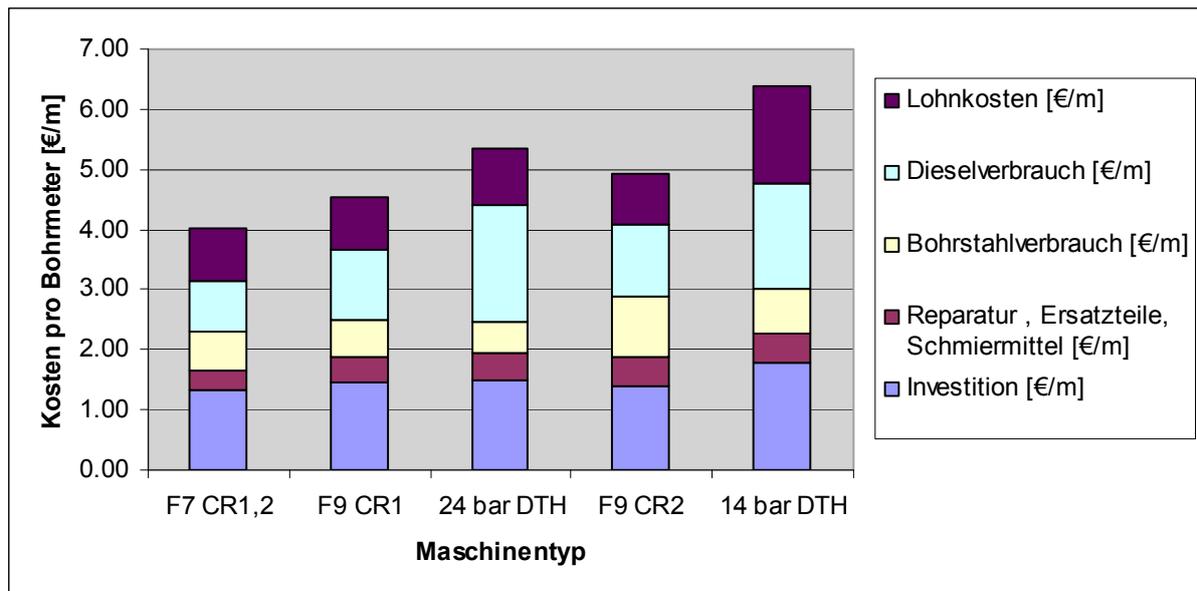


Abbildung 64: Anteile an den Bohrmeterkosten unter Berücksichtigung der Jahresbruttabohrleistung

In der obigen Abbildung ist recht deutlich zu erkennen, dass die auf den Bohrmeter umgelegten Investitionsausgaben einen erheblichen Anteil (rund 30%) der Bohrmeterkosten ausmachen.

Die Instandhaltungskosten (Reparatur, Ersatzteile und Schmiermittel) bewegen sich im Vergleich der unterschiedlichen Maschinen in einem ähnlichen Größenordnungsbereich.

Bei den bohrmeterbezogenen Bohrstahlkosten ist recht deutlich zu erkennen, dass die Kosten für die CopRod-Maschinen höher liegen als jene der Imlochhammermaschinen.

Einen ebenfalls erheblichen Anteil an den Bohrmeterkosten macht der Dieserverbrauch aus. Dabei zeigt sich, dass die CopRod-Maschinen einen deutlichen Vorteil gegenüber den Imlochhammermaschinen aufweisen.

Die auf den Bohrmeter umgelegten Lohnkosten bewegen sich, wie schon erwähnt, bei vergleichbaren Gerätegrößen im selben Bereich. Lediglich die kleinere 14-bar Imlochhammermaschine weist einen deutlich höheren Wert auf.

7 V erzeichnisse

7.1 Literatur

- [1] Wagner, H.: Wirtschaftliche Bedeutung der Sprengarbeit; Universitätslehrgang Sprengingenieurwesen, 2007.
- [2] Neu, T.; Hettrich, V.; Chavez, R.: Einsatz wissensbasierter Planungsinstrumente zur Optimierung von Bohr- und Sprenganlagen in Steinbrüchen, Glückauf 139, 2003.
- [3] Moser, P.: Unterlagen zur Vorlesung Bergtechnische Grundverfahren; WS 2007/2008.
- [4] Atlas Copco.: Surface Drilling in Quarry and Construction; Third Edition 2006; Örebro, Sweden: Atlas Copco Rock Drills AB, 2006.
- [5] Almgren, G.; Klippmark, K.: Economic aspects on hole deviation in sublevel stoping; Lulea University of Technology, LKAB Kiruna, 1989.
- [6] Sinkala, Thomson.: Hole Deviations in Percussion Drilling and Control Measures, Theoretical and Field Studies; Doctoral Thesis; Lulea University of Technology, 1989.
- [7] Goldhahn, J.: Reduzierung der Steinfluggefahr bei Gewinnungssprengungen, Nobelhefte 12/2005, 71. Jahrgang.
- [8] Langefors, U.; Kihlström, B.: The Modern Technique of Rock Blasting; Second Edition; Schweden, 1967.
- [9] Mairena, Hector: New techniques for planning and cost estimation concerning mechanized mining in narrow orebodies; Licentiate thesis; Lulea Tekniska Högskolan, 1991.
- [10] Persson, Per-Anders; Holmberg, Roger ; Lee, Jaimin: Rock blasting and explosives engineering; Boca Raton, Fla. [u.a.], 1994.
- [11] Schimek, P.: Leistungsmessung und -beurteilung einer Imlochhammermaschine im Auftrag der Atlas Copco GmbH im Steinbruch der Holzlitzer Baustoffwerke GmbH; Montanuniversität Leoben, 2009.
- [12] Geo-Konzept GmbH.:
http://www.sprengplanung.de/docs/products/h_vermessungssys/Pulsar_Probe; 27.06.2009.
- [13] Geo-Konzept GmbH.: Quarry Pocket; Version 1.2.0.7; Bedienungsanleitung; Revision vom 24.04.2008.
- [14] Reichholf, Gerhard; Moser, Peter: Erfassung und Beurteilung der Qualität von Sprengbohrlöchern als zusätzliche Entscheidungsgrundlage für die Anschaffung eines neuen Bohrgerätes; Bericht über Bohrlochvermessungen durchgeführt am 13.09.2001; Montanuniversität Leoben, Institut für Bergbaukunde, 2001.

- [15]Theiss, Johannes; Moser, Peter : Erfahrung und Beurteilung der Qualität von Sprengbohrlöchern als zusätzliche Entscheidungsgrundlage für die Anschaffung eines neuen Bohrgerätes; Bericht über Bohrlochvermessungen durchgeführt am 25.04.2002; Montanuniversität Leoben, Institut für Bergbaukunde, 2002.
- [16]Theiss, Johannes: Erfahrung und Beurteilung der Qualität der Bohrarbeit in den Steinbrüchen Leoben, Peggau und Wietersdorf der Wietersdorder & Peggauer Zementwerke; Bergbaukundliche Meldearbeit; Montanuniversität Leoben, Institut für Bergbaukunde, 2001.
- [17]Siefert, M.; Paulitsch, C.: Maßnahmen bei der Einführung von Heavy ANFO im Marmorbergbau Gummern; BHM, 153. Jg., Heft 2, 2008.

7.2 Abkürzungsverzeichnis

DTH	Down the Hole (Imlochhammer)
TH	Top Hammer (Außenhammer)
CR CopRod	- Bohrsystem

7.3 Tabellen

Tabelle 1: Verteilung der Gesteinskosten	9
Tabelle 2: Überblick über die CopRod-Maschinen.....	19
Tabelle 3: Überblick über die Maschinen	29
Tabelle 4: Maschinendaten ROC F7 CR.....	37
Tabelle 5: Hammerdaten COP 2150CR.....	37
Tabelle 6: Gestänge CopRod 76.....	38
Tabelle 7: Bohrkronen für CopRod 76	39
Tabelle 8: Allgemeine Angaben Diabas.....	39
Tabelle 9: Allgemeine Angaben Kalkstein	39
Tabelle 10: Maschinendaten ROC F9 CR.....	41
Tabelle 11: Hammerdaten COP 2550CR.....	41
Tabelle 12: Bohrkronen für CopRod 89	42
Tabelle 13: Allgemeine Angaben	43
Tabelle 14: Allgemeine Angaben für Bohren der Trennung bei 11 m Bohrlochlänge.....	43
Tabelle 15: Allgemeine Angaben für Bohren der Trennung bei 20 m Bohrlochlänge.....	43
Tabelle 16: Allgemeine Angaben Messung 1	44
Tabelle 17: Allgemeine Angaben Messung 2	44
Tabelle 18: Allgemeine Angaben	45

Tabelle 19: Dieserverbrauch Messung 1.....	49
Tabelle 20: Dieserverbrauch Messung 2.....	49
Tabelle 21: Bohrgenauigkeit der ROC F7 CR.....	50
Tabelle 22: Bohrgenauigkeit der ROC F7 CR.....	51
Tabelle 23: Dieserverbrauch ROC F7 CR.....	53
Tabelle 24: Bohrgenauigkeit der ROC F7 CR.....	54
Tabelle 25: Berechnung der Bohrkosten.....	55
Tabelle 26: Überblick über die Produktionsrate.....	56
Tabelle 27: Aufspaltung der Bohrkosten pro Einheit.....	56
Tabelle 28: Überblick über die jährlichen Sprengkosten.....	56
Tabelle 29: Dieserverbrauch ROC F9 CR.....	63
Tabelle 30: Dieserverbrauch ROC F9 CR mit 105 mm Bohrlochdurchmesser.....	63
Tabelle 31: Bohrgenauigkeit der ROC F9 CR.....	64
Tabelle 32: Bohrgenauigkeit der ROC F9 CR.....	65
Tabelle 33: Bohrgenauigkeit der ROC F9 CR.....	66
Tabelle 34: Bohrgenauigkeit der ROC F9 CR.....	67
Tabelle 35: Bohrgenauigkeit der ROC F9 CR.....	68
Tabelle 36: Berechnung der Bohrkosten.....	69
Tabelle 37: Überblick über die Produktionsrate.....	70
Tabelle 38: Aufspaltung der Bohrkosten pro Einheit.....	70
Tabelle 39: Überblick über die jährlichen Sprengkosten.....	70
Tabelle 40: Dieserverbrauch 24-bar DTH.....	74
Tabelle 41: Bohrgenauigkeit 24-bar DTH.....	75
Tabelle 42: Bohrgenauigkeit 24-bar DTH.....	76
Tabelle 43: Berechnung der Bohrkosten.....	77
Tabelle 44: Überblick über die Produktionsrate.....	78
Tabelle 45: Aufspaltung der Bohrkosten pro Einheit.....	78
Tabelle 46: Überblick über die jährlichen Sprengkosten.....	78
Tabelle 47: Dieserverbrauch 14-bar DTH.....	80
Tabelle 48: Bohrgenauigkeit 14-bar DTH.....	81
Tabelle 49: Berechnung der Bohrkosten.....	82
Tabelle 50: Überblick über die Produktionsrate.....	83
Tabelle 51: Aufspaltung der Bohrkosten pro Einheit.....	83
Tabelle 52: Überblick über die jährlichen Sprengkosten.....	83
Tabelle 53: Dieserverbrauch ROC F9 CR.....	85
Tabelle 54: Bohrgenauigkeit ROC F9 CR.....	86
Tabelle 55: Berechnung der Bohrkosten.....	87
Tabelle 56: Überblick über die Produktionsrate.....	88
Tabelle 57: Aufspaltung der Bohrkosten pro Einheit.....	88
Tabelle 58: Überblick über die jährlichen Sprengkosten.....	88
Tabelle 59: Gegenüberstellung der Leistungsfähigkeit.....	89
Tabelle 60: Darstellung des zusätzlichen Zeitaufwandes aufgrund zusätzlicher Bohrstangen.....	90
Tabelle 61: Bohrleistungen bei unterschiedlichem Bohrlochdurchmesser.....	91
Tabelle 62: Vergrößerung der Bohrlochfläche.....	91
Tabelle 63: Allgemeine Angaben.....	92
Tabelle 64: Einsparungspotential aufgrund des größeren Bohrlochdurchmessers.....	92
Tabelle 65: Mehrkosten aufgrund der geringeren Bohrleistung.....	92

Tabelle 66: Gegenüberstellung des Dieserverbrauchs.....	93
Tabelle 67: Auflistung der Bohrlochabweichungen	94
Tabelle 68: Gegenüberstellung der Bohrlochabweichungen.....	98
Tabelle 69: Bohrlochabweichungen bei unterschiedlichen Bohrlochneigungen.....	99
Tabelle 70: Allgemeine Angaben	101
Tabelle 71: Einsparungspotential gegenüber verschiedenen Bohrernaugigkeiten	101
Tabelle 72: Gegenüberstellung der Bohr- und Sprengkosten	102
Tabelle 73: Gegenüberstellung der Investitionsausgaben und der jährlichen Kosten.....	102
Tabelle 74: Gegenüberstellung der Bohrmeterkosten und der Kosten je Tonne gewonnenes Material unter Berücksichtigung der Tagesbruttophormleistung	104
Tabelle 75: Gegenüberstellung der Bohrmeterkosten und der Kosten je Tonne gewonnenes Material unter Berücksichtigung der Jahresbruttophormleistung.....	104

7.4 Abbildungen

Abbildung 1: Anteile der Prozesse an den Gesteinskosten.....	9
Abbildung 2: Gegenüberstellung der Bohr- und Sprengkosten.....	10
Abbildung 3: Drehendes Bohren	14
Abbildung 4: Außenhammersystem.....	15
Abbildung 5: Detaildarstellung Außenhammersystem.....	16
Abbildung 6: Imlochhammersystem	16
Abbildung 7: Detaildarstellung Imlochhammer	17
Abbildung 8: CopRod-System	17
Abbildung 9: CopRod-Bohrsystem.....	18
Abbildung 10: Verbesserungen am CopRod-System.....	19
Abbildung 11: Arten von Bohrernaugigkeiten	21
Abbildung 12: Gegenüberstellung Zerkleinerungsergebnis mit Gewinnungskosten [9]	27
Abbildung 13: Pulsar – Bohrlochvermessungssystem	32
Abbildung 14: Zusammenhang zwischen Bohrkosten und Bohrlochdurchmesser [10]	34
Abbildung 15: ROC F7 CR.....	36
Abbildung 16: COP 2150CR.....	37
Abbildung 17: Gestänge CopRod 76	38
Abbildung 18: ROC F9 CR.....	40
Abbildung 19: COP 2550CR.....	41
Abbildung 20: Gestänge CopRod 89	42
Abbildung 21: ROC F9 CR.....	45
Abbildung 22: Maximale Bohrleistung ROC F7 CR	46
Abbildung 23: Nettobohrzeiten ROC F7 CR.....	47
Abbildung 24: Maximale Bohrleistung ROC F7 CR	48
Abbildung 25: Nettobohrzeiten ROC F7 CR.....	48
Abbildung 26: Bohrernaugigkeit der ROC F7 CR.....	50
Abbildung 27: Bohrernaugigkeit der ROC F7 CR.....	51
Abbildung 28: Maximale Bohrleistung ROC F7 CR	52
Abbildung 29: Nettobohrzeiten ROC F7 CR.....	53
Abbildung 30: Bohrernaugigkeit der ROC F7 CR.....	54

Abbildung 31: Maximale Bohrleistung ROC F9 CR	57
Abbildung 32: Nettobohrzeiten ROC F9 CR.....	58
Abbildung 33: Maximale Bohrleistung ROC F9 CR	59
Abbildung 34: Nettobohrzeiten ROC F9 CR.....	59
Abbildung 35: Maximale Bohrleistung ROC F9 CR	60
Abbildung 36: Nettobohrzeiten ROC F9 CR.....	60
Abbildung 37: Maximale Bohrleistung ROC F9 CR	61
Abbildung 38: Nettobohrzeiten ROC F9 CR.....	61
Abbildung 39: Maximale Bohrleistung ROC F9 CR	62
Abbildung 40: Nettobohrzeiten ROC F9 CR.....	62
Abbildung 41: Bohrgenauigkeit der ROC F9 CR	64
Abbildung 42: Bohrgenauigkeit der ROC F9 CR.....	65
Abbildung 43: Bohrgenauigkeit der ROC F9 CR	66
Abbildung 44: Bohrgenauigkeit der ROC F9 CR.....	67
Abbildung 45: Bohrgenauigkeit der ROC F9 CR	68
Abbildung 46: Maximale Bohrleistung 24-bar DTH	71
Abbildung 47: Nettobohrzeiten 24-bar DTH.....	72
Abbildung 48: Maximale Bohrleistung 24-bar DTH	73
Abbildung 49: Nettobohrzeiten 24-bar DTH.....	73
Abbildung 50: Bohrgenauigkeit 24-bar DTH.....	75
Abbildung 51: Bohrgenauigkeit 24-bar DTH.....	76
Abbildung 52: Maximale Bohrleistung 14-bar DTH	79
Abbildung 53: Nettobohrzeiten 14-bar DTH.....	80
Abbildung 54: Bohrgenauigkeit 14-bar DTH.....	81
Abbildung 55: Maximale Bohrleistung ROC F9 CR	84
Abbildung 56: Nettobohrzeiten ROC F9 CR.....	85
Abbildung 57: Bohrgenauigkeit ROC F9 CR.....	86
Abbildung 58: Bohrlochabweichungen vom geplanten Zustand	95
Abbildung 59: Grundriss eines mit CopRod hergestellten Bohrfeldes.....	96
Abbildung 60: Frontansicht eines mit CopRod hergestellten Bohrfeldes	97
Abbildung 61: Seitenansicht des Bohrloches 1	97
Abbildung 62: Grundriss des Bohrloches	99
Abbildung 63: Seitenansicht des Bohrloches	100
Abbildung 64: Anteile an den Bohrmeterkosten unter Berücksichtigung der Jahresbruttobohrleistung 108	

7.5 Formeln

Formel 1: Maximal ladbare Korngröße für einen Bagger [3].....	12
Formel 2: Korngrößenkennwert [3]	12
Formel 3: Vektor der Bohrlochabweichung	23
Formel 4: Berechnung der maximalen Vorgabe	26
Formel 5: Berechnung der tatsächlichen Vorgabe.....	26

Anhang

Der Anhang befindet sich in elektronischer Form auf der beiliegenden CD.