

Diploma Thesis

Evaluation of performance indicators depending on soil conditions for the Kelly-drilling

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of Diplom-Ingenieur / Diplom-Ingenieurin of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

Diplomarbeit

Bestimmung von bodenabhängigen Leistungskennzahlen für das Kellybohrverfahren

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines / einer Diplom-Ingenieurs/ Diplom-Ingenieurin eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen von

Paul Süß

Matr.Nr.: 01127766

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Dietmar Adam** Dipl.-Ing. Dr.techn. **Péter Nagy**

Institut für Geotechnik Forschungsbereich Grundbau, Boden- und Felsmechanik Technische Universität Wien, Karlsplatz 13/220/2, A-1040 Wien

Wien, im April 2020

Kurzfassung

Im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit, die in enger Zusammenarbeit mit der Firma Bauer Spezialtiefbau entstanden ist, wurden die während des Kellybohrverfahrens aufgezeichneten Maschinendaten analysiert. Das übergeordnete Ziel der Arbeit war, Zusammenhänge zwischen Maschinenparametern und Untergrundverhältnissen zu erkennen.

Die betrachteten Maschinendaten werden durch diverse Sensoren, die am Großbohrgerät installiert sind, aufgezeichnet. Im Zuge der Diplomarbeit wurden an zwei ausgewählten Baustellen mit geschichteten und quasi-homogenen Untergrundverhältnissen in Deutschland und Österreich sämtliche Arbeitsschritte des Kellybohrverfahrens vor Ort messtechnisch erfasst und dokumentiert. Auf Basis dieser Dokumentation war es möglich, die einzelnen Arbeitsschritte in der Aufzeichnung der Maschinenparameter zu lokalisieren und abzugrenzen. Im Zusammenhang mit der Lokalisierung der Arbeitsschritte in der Aufzeichnung der Maschinendaten, konnten eindeutige Verhaltensmuster in den aufgezeichneten Messdaten identifiziert werden.

Im Rahmen der Auswertungen lag das Hauptaugenmerk an den Arbeitsschritten "Bohren" und "Rohrvortrieb", um in weiterer Folge die Maschinenparameter während dieser Arbeitsschritte mit bodenphysikalischen Parametern zu vergleichen. Bei dieser Gegenüberstellung wurde der Prozess "Bohren" in den Vordergrund gestellt. Die Parameter Drehmoment und Bohrgeschwindigkeit wurden je Bohrgang über die gesamte Pfahllänge dargestellt und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung gegenübergestellt. Betrachtet wurden Seeton, schluffiger Sand und Flysch. Es konnten typische Bandbreiten des Drehmomentes und der Bohrgeschwindigkeit für die untersuchten Bodenarten definiert werden.

Diese Identifizierung der Arbeitsschritte kann in Zukunft die Entwicklung einer arbeitsbegleitenden Auswertung der Maschinendaten während des Kellybohrverfahrens ermöglichen. Mit dieser Arbeit konnten Grundlagen für einen Automatismus zu einer arbeitsintegrierten Erfassung von bodenabhängigen Leistungskennzahlen aus der Aufzeichnung der Maschinendaten für diese Verfahren geschaffen werden.

Abstract

In the present master thesis, machine data recorded during the kelly-drilling was analyzed to find linkages between performance parameters and ground conditions. The investigations were conducted in cooperation with the company Bauer Spezialtiefbau GmbH.

Various sensors installed on the drilling machine recorded the performance parameters. In the scope of the current investigations, data was documented during Kelly-drilling on two selected construction sites in Germany and Austria, comprising layered and homogeneous ground conditions.

Based on the measured data, it was possible to localize individual working phases by recognizing characteristic behaviour patterns.

During the data evaluation, the main focus was set on the processes "drilling" and "set casing". Furthermore, the process parameters during the process "drilling" were compared to the ground conditions. The parameters torque and drilling rate were compared with blow numbers of Dynamic Probing Heavy tests. The investigations were performed in lacustrine clay deposits, silty sand and Flysch. It was possible to define the typical range of torque and drilling rate for the investigated soil layers.

The identification of the individual working phases enables the development of a workintegrated evaluation of the machine data. Furthermore, it is the basis for the development of a database of performance factors depending on the soil conditions during the Kelly-drilling.

Vorwort

Die vorliegende Diplomarbeit ist am Institut für Geotechnik an der Technischen Universität im Rahmen des Masterstudiums Bauingenieurwesen und in enger Zusammenarbeit mit der Firma Bauer Spezialtiefbau entstanden.

An dieser Stelle darf ich mich bei all jenen bedanken, die zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Ein großer Dank gilt Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dietmar Adam für die Ermöglichung dieser Diplomarbeit und für die tatkräftige Unterstützung bei schwierigen Fragestellungen. Bei Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Péter Nagy darf ich mich herzlich für die hervorragende Betreuung, die Bereitstellung von Arbeitsunterlagen und das kollegiale Arbeitsverhältnis bedanken.

Herrn Ing. Peter Ausserlechner gilt ein besonderer Dank, da er mein Interesse am Spezialtiefbau gefördert hat und die Verbindung zwischen mir und der Firma Bauer herstellte und dadurch die Bearbeitung dieser Diplomarbeit ermöglichte.

Für die Betreuung seitens der Firma Bauer darf ich mich bei M.Sc. Geol. Lukas Paysen-Petersen recht herzlich für die exzellente Betreuung vor allem während der Untersuchungen auf den Baustellen, die Bereitstellung von Arbeitsunterlagen und das kollegiale Arbeitsklima bedanken.

Danken möchte ich auch allen Kollegen der Firma Bauer, welche mich stets bei unterschiedlichen Fragestellungen unterstützt haben.

Ganz besonders möchte ich mich bei meinen Eltern bedanke, die mein Studium ermöglicht haben und immer hinter mir gestanden sind. Bei meiner Freundin darf ich mich für ihre Geduld, das Verständnis und die Unterstützung während meiner Studienzeit bedanken.

Inhaltsverzeichnis

1	Einl	eitung		13		
	1.1	1 Einführung in die Fragestellung				
	1.2	Zielsetzung ur	nd Gliederung der Arbeit	13		
2	Star	nd der Technik	(15		
	2.1	Großbohrpfäh	le	15		
		Unterte	ilung nach Bohrgutföderung	15		
		Arten d	er Bohrlochstützung	15		
	2.2	Kellybohrverfa	ahren	15		
		2.2.1 Großdre	ehbohrgerät	16		
		2.2.2 Bohrwe	rkzeug	18		
		2.2.2.1	Kastenbohrer	18		
		2.2.2.2	Schneckenbohrer	19		
		2.2.2.3	Kernrohre	19		
		2.2.3 Bohrrohre				
		2.2.4 Die Her	stellungsprozesse	21		
		2.2.4.1	Kellybohrverfahren ohne Verrohrung	21		
		2.2.4.2	Kellybohrverfahren suspensionsgestützt	22		
		2.2.4.3	Kellybohrverfahren mit Vollverrohrung	23		
3	Sen	sortechnik		25		
	3.1	3.1 Das B-Tronic System				
		3.1.1 Überblick				
		3.1.2 Tools in der Fahrerkabine				
		3.1.2.1	Touchscreen in der Gerätekabine	27		
		3.1.2.2	B-Activity	28		
		3.1.3 Schnitts	telle DTR-Module	28		
		3.1.4 WEB-BO	GM Server	28		
	3.2	Messtechnisch	ne Erfassung von Prozessparametern	29		
		3.2.1 Erfassu	ng maßgebender Parameter	29		
		3.2.1.1	Bohrtiefe	29		
		3.2.1.2	Hydraulikdruck	29		
		3.2.1.3	Drehmoment	29		
		3.2.1.4	Zusammenhang zwischen Drehmoment und Hydraulikdruck	30		
		3.2.1.5	Vorschubkraft			

		3.2.1.6	Vorschubtiefe	32
		3.2.1.7	Seilkraft der Haupt- und Hilfswinde	32
4	Defi	inition von Arl	peitsschritten anhand von Maschinenparametern	35
	4.1	Definition der	Aktivitäten	35
		4.1.1 Produkt	ive Arbeitsschritte	35
		4.1.2 Unprod	uktive Arbeitsschritte	38
	4.2	Anwendung d	er B-Activity in der Praxis	39
		4.2.1 Aufzeich	nnung am Gerät	39
		4.2.2 Unterst	ützung der Bauleitung	39
5	Aus	wertung von I	Messdaten ausgewählter Baustellen	41
	5.1	Baustellenbes	chreibung	41
		5.1.1 Pfahlfur	ndierung von Brückentragwerken in Hollabrunn (Niederösterreich)	41
		5.1.1.1	Geologische Verhältnisse	41
		5.1.1.2	Baugrunderkundung	42
		5.1.2 Pfahlgrü	indung des Kulturzentrums in Bad Wiessee (Bayern)	47
		5.1.2.1	Geologische Verhältnisse	47
		5.1.2.2	Baugrunderkundung	48
	5.2	Beschreibung	der Versuchsreihe	52
		5.2.1 Versuch	seinrichtung	52
		5.2.2 Versuch	sdurchführung	52
		5.2.2.1	Versuchsablauf auf beiden Baustellen	52
		5.2.2.2	Technische Details der Baustelle in Hollabrunn	53
		5.2.2.3	Technische Details der Baustelle in Bad Wiessee	54
	5.3	Auswertung d	er B-Tronic - Aufzeichnung	54
		5.3.1 Datenau	ufbereitung	55
		5.3.1.1	Auswahl der auszuwertenden Daten	55
		5.3.1.2	Unterstützendes Excel Makro	55
		5.3.1.3	Zeitlicher Zusammenhang zwischen den Datensätzen	55
		5.3.1.4	Abgrenzung des Prozesses "Bohren"	57
		5.3.1.5	Abgrenzung des Prozesses "Rohrvortrieb"	58
		5.3.2 Datenau	uswertung	59
		5.3.2.1	Grundlagen	59
		5.3.2.2	Bohrgeschwindigkeit	62
		5.3.2.3	Hydraulikdruck	64
		5.3.2.4	Drehmoment	66
	_	5.3.2.5	Vorschubkraft	68
	5.4	Erfahrungen n	nit B-Tronic Aufzeichnung	70
		5.4.1 Vereinh	eitlichung der Datenspeicherung	70
		5.4.2 Aufzeich	nnung der absoluten Tiefe	70

		5.4.3	Bezeich	nung Hydra	aulikpumpen			70
6	Geg	enübe	erstellun	g und	Interpretati	on der	Untersuchungsergebnisse	aus
	geot	techni	ischer Si	cht				71
	6.1	Dater	naufberei	tung				71
		6.1.1	Anpassu	ing der Rar	nmsondierung	an die aufg	ezeichnete Bohrtiefe	71
		6.1.2	Aufbere	itung der N	/laschinendate	n und der E	rgebnisse der Rammsondierung	gen .73
	6.2	Vergl	eich der I	Bohrgesch	vindigkeit und	der Schlagz	ahl N ₁₀	77
		6.2.1	Analyse	anhand de	er Maschinenda	aten der Ba	ustelle in Hollabrunn	77
		6.2.2	Analyse	anhand de	er Maschinenda	aten der Ba	ustelle in Bad Wiessee	80
	6.3	Vergl	eich des l	Drehmome	ents und der Sc	hlagzahl N ₁	0	84
		6.3.1	Analyse	anhand de	er Maschinenda	aten der Ba	ustelle in Hollabrunn	84
		6.3.2	Analyse	anhand de	er Maschinenda	aten der Ba	ustelle in Bad Wiessee	87
7	Erke	enntni	sse der	Datena	uswertung u	ind Anwe	endungsmöglichkeiten für	einen
	Aut	omati	smus			-		91
	7.1	Erker	nntnisse a	uf Basis de	r Maschinenda	atenauswer	tung	91
		7.1.1	Grundla	gen der M	aschinendaten	aufbereitur	ıg	91
			7.1.1.1	Abgrenzu	ıng der Aktivitä	iten und De	finition der wichtigsten Parame	ter 91
		7.1.2	Auswert	tung des Pr	ozesses "Bohre	en"		92
			7.1.2.1	Vergleich	zwischen Boh	rgeschwind	igkeit und Untergrundverhältnis	sse. 92
			7.1.2.2	Vergleich	zwischen Drei	nmoment u	nd Untergrundverhältnissen	93
		7.1.3	Auswert	tung des Pr	ozesses "Rohr	vortrieb"		94
			7.1.3.1	Erkenntn	isse bei der Pro	ozessabgrer	nzung	94
			7.1.3.2	Probleme	e bei der Tiefer	nzuweisung		95
	7.2	Anwe	endungsb	ereiche für	einen Automa	itismus zur	Maschinendatenauswertung	96
		7.2.1	Bauproz	essmanage	ement und Inte	egrale Planu	ing	96
		7.2.2	Datenar	nalyse und	Speicherung			96
		7.2.3	Autonor	mes Bohrei	٦			97
8	Zusa	amme	nfassun	g und Aus	blick			99
9	Lite	raturv	verzeichr	nis				101
10	Abb	ildung	gsverzeio	chnis				103
11	Tak	ollon	orzaiaha	hic				113
11	IdD	enenv		115				112
12	Anh	ang A	- Auswe	ertung der	Baustelle in	Hollabrun	n	115
	12.1	Bohr	gerät BG 🛛	28				115

13	Anhang B – Auswertung der Baustelle in Bad Wiessee	161
	13.1 Bohrgerät BG-39	161
	13.2 Bohrgerät BG-30	198

1 Einleitung

1.1 Einführung in die Fragestellung

Der weltweite im Laufe der letzten Jahrzehnte entstandene hohe Digitalisierungsgrad spiegelt sich auch in den unterschiedlichen Bauverfahren des Spezialtiefbaus wider. Zahlreiche Baumaschinen sind mit modernster Sensortechnik ausgestattet, mit welcher unzählige Maschinenparameter während der Bauarbeiten aufgezeichnet und gespeichert werden. Die heutzutage vorhandene enorme Rechen- und Speicherkapazität ermöglicht eine umfangreiche Registrierung von Maschinendaten.

Allerdings besteht darin die Gefahr, in der Datenflut den Überblick zu verlieren, wodurch die wesentlichen Informationen abhandenkommen. Aufgrund der verborgenen Information, die sich in den gesammelten Daten befindet, sollte es motivieren, diese zu verwerten und für Prozessoptimierung und etwa für die Sammlung von bodenabhängigen Leistungskennzahlen zu nutzen. Doch wie werden Arbeitsprozesse in den Maschinendaten am besten lokalisiert und ausgewertet? Welche Parameter spielen dabei eine Rolle und können für die Datenaufbereitung nützlich sein? Kann die Datenauswertung in Zukunft von einem Automatismus durchgeführt werden? Auf diese Fragen versucht die vorliegende Diplomarbeit beim Kellybohrverfahren Antworten zu finden.

1.2 Zielsetzung und Gliederung der Arbeit

Das zentrale Ziel dieser Diplomarbeit liegt in der Findung von Zusammenhängen zwischen Maschinenparametern und geotechnischen Parametern, um in Zukunft die Aufzeichnung der Maschinendaten für die Generierung von untergrundabhängigen Leistungskennzahlen für das Kellybohrverfahren zu nutzen. Dadurch soll eine Datenbank von Leistungskennzahlen entstehen, auf welche für die Kalkulation von zukünftigen Bauprojekten zurückgegriffen werden kann.

Kapitel 2 der Diplomarbeit gibt einen Überblick über den Stand der Technik. Dabei wird der Großbohrpfahl allgemein beschrieben und die unterschiedlichen Herstellungsarten vorgestellt. Im Speziellen wird auf das Kellybohrverfahren und dessen Herstellungsprozesse eingegangen.

Kapitel 3 befasst sich mit der Sensortechnik, welche entscheidend für die Aufzeichnung der Maschinendaten ist. Dafür wird auf die grundlegende elektronische Ausrüstung der Großbohrgeräte der Fa. Bauer eingegangen und auch die Technologie zur Datenübertragung und Speicherung erklärt. Abschließend wird die messtechnische Erfassung der Prozessparameter näher erläutert.

Im Kapitel 4 werden die Arbeitsschritte des Kellybohrverfahren anhand von Maschinenparametern definiert.

In Kapitel 5 folgt die detaillierte Auseinandersetzung mit der Datenaufbereitung der Maschinendaten. Dies beinhaltet unter anderem die Lokalisierung einzelner Prozesse des Kellybohrverfahrens und die Aufbereitung der am Prozess beteiligten Maschinenparameter sowie deren graphische Auswertung.

Kapitel 6 stellt das Herzstück der Arbeit dar und beinhaltet die Gegenüberstellung der aufbereiteten Prozessparameter mit den geotechnischen Parametern. Dabei wird die Bohrgeschwindigkeit und das Drehmoment den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung gegenübergestellt, wobei die Konsistenz und Lagerungsdichte der Schichtpakete näher betrachtet werden.

In Kapitel 7 werden die gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse der Maschinedatenaufbereitung und der Gegenüberstellung mit den geotechnischen Parametern diskutiert, wobei versucht wird, eine Verbindung zur Entwicklung eines Automatismus herzustellen und mögliche Anwendungsbereiche des Automatismus zu finden.

2 Stand der Technik

2.1 Großbohrpfähle

Zu den Großbohrpfählen zählen alle Ortbetonpfähle, die einen Durchmesser größer 30 cm aufweisen und deren Pfahlloch ausschließlich durch Bohren mit Bodenaustrag hergestellt wird. Die Unterscheidung der Bohrpfähle erfolgt nach der Art, wie der Boden gelöst wird, und nach kontinuierlicher und intermittierender Bohrgutförderung. Je nachdem, ob standfester oder gering standfester Untergrund vorliegt, muss der Bohrgang kontinuierlich gestützt werden, um einen Materialeinbruch in das Bohrloch zu verhindern. Grundsätzlich wird in Greiferbohrpfahl, Drehbohrpfahl (Kelly und Endlosschnecke) sowie Bohrpfahlherstellung mit Spülverfahren unterschieden [1], [2], [19].

Folgende Unterscheidungen der Großbohrpfähle sind möglich:

Unterteilung nach Bohrgutföderung

- Kontinuierliche Bohrgutförderung:
 - Drehbohrpfahl mit Endlosschnecke (SOB)
 - o Spülverfahren
- Intermittierende Bohrgutföderung:
 - o Greiferbohrpfahl
 - Drehbohrpfahl mit Kellybohrverfahren

Arten der Bohrlochstützung

- Bohrrohre (Verrohrung)
- Stützflüssigkeiten (Wasserauflast, diverse Suspensionen)
- Boden in Endlosschnecke (SOB-Verfahren)

2.2 Kellybohrverfahren

Sämtliche Untersuchungen, die im Zuge dieser Diplomarbeit durchgeführt wurden, basieren auf die beim Kellybohrverfahren gesammelten Daten. Im folgenden Kapitel wird auf dieses Verfahren näher eingegangen und die Unterschiede hinsichtlich der Ausführung werden erläutert. Heutzutage werden zum Großteil Drehbohrverfahren für die Ortbetonpfahlherstellung verwendet. Das Drehbohrverfahren kann entweder als Kellybohrverfahren oder mit Endlosschnecke, dem sogenannten SOB-Verfahren, ausgeführt werden. Aufgrund der stetigen Weiterentwicklung der Maschinentechnik beim Kellybohrverfahren sind mittlerweile Tiefen bis zu 150 m und Durchmesser bis zu 3,50 m möglich. Ein großer Vorteil des Kellybohrverfahrens ist die Flexibilität. Je nach vorherrschenden Bodenverhältnissen kann das Verfahren durch die Änderung des Bohrwerkzeuges angepasst werden. So ist es möglich, sämtliche Bodenarten, von Lockergestein über bindige Böden bis hin zum verwitterten Fels, zu bohren [1].

2.2.1 Großdrehbohrgerät

Wie in Abb. 2.1 erkennbar, besteht ein Großdrehbohrgerät aus einem Trägergerät, in der Regel ein Raupenbagger, auf welchem ein Mäkler montiert ist. Das Bohrwerkzeug ist an einem teleskopierbaren Bohrgestänge, an der Kellystange, montiert. Die Kellystange hängt am Hauptseil und kann durch eine Seilwinde und entsprechende Umlenkrollen nach oben und nach unten bewegt werden. Am Mäkler ist ein Fahrschlitten befestigt, der als Führung für Kelly-Stange und Bohrwerkzeug funktioniert. Der Fahrschlitten trägt den Kraftdrehkopf und kann mittels Seilsystem am Mäkler nach oben und nach unten bewegt werden. Der Kraftdrehkopf treibt die Kelly-Stange und somit das Bohrwerkzeug an, welches sich in den anstehenden Untergrund bohrt. Der Kraftdrehkopf ist zusätzlich noch mit einem Drehteller verbunden, welcher die Verrohrung nach und nach in den Boden dreht [2], [6].

Diese Bestandteile sind bei den unterschiedlichen Modellen meist gleich, mit geringen Abweichungen, die aber meistens die Steuerung bzw. die Elektronik betreffen. Die Firma Bauer Maschinen hat in der Sparte Großdrehbohrgeräte mehrere Modelle zur Auswahl, welche mit der Kurzbezeichnung BG gekennzeichnet sind. Die Bandbreite der Bohrgeräte reicht von einer BG 15 bis zu einer BG 72. Eine BG 15 besitzt ein Drehmoment von 151 kNm, eine Motorleistung von 230 kW und eine Gesamthöhe von 18 m. Im Vergleich dazu die BG 72 besitzt diese Maschine ein Drehmoment von 721 kNm, eine Motorleistung von 709 kW und eine Gesamthöhe von 38,5 m. Die BG 72 ist somit die leistungsstärkste Maschine der Firma Bauer. Die Versuche im Zuge dieser Diplomarbeit wurden an Standardmodellen, an zwei BG 30 und einer BG 39, durchgeführt.



Abb. 2.1: Großdrehbohrgerät BG 33 der Firma Bauer [7]

2.2.2 Bohrwerkzeug

Um Bohrgut aus sämtlichen Bodenschichten bzw. Bodenarten fördern zu können, wurden über die Jahre verschieden Bohrwerkzeuge entwickelt. Die Anwendungsgrenzen der Bohrwerkzeuge sind durch die Beschaffenheit des Bodens und der Grundwasserverhältnisse bestimmt. Der/die Bohrgerätefahrer/in kann das Werkzeug je Pfahlbohrung individuell anpassen, je nachdem welche Schichten gerade gebohrt werden. So flexibel der Bohrwerkzeugwechsel auch ist, künstliche Hindernisse aus Stahl, Beton oder Holz bringen in der Regel einen Bauzeitverlust mit sich. Grundsätzlich ist es von Vorteil, mehrere unterschiedliche Bohrwerkzeuge vor Ort zu haben, um eine gewisse Flexibilität in puncto anzutreffenden Bodenschichten zu haben. Nachfolgend sind die wichtigsten und heutzutage üblichen Bohrwerkzeuge genauer beschrieben.

2.2.2.1 Kastenbohrer



Abb. 2.2: Kastenbohrer der Fa. Bauer [10]

Der Kastenbohrer findet vorwiegend beim Bohren unter dem Grundwasserspiegel und bei Böden mit hohem Wassergehalt seinen Einsatz. Auch bei breiigen Böden, die mit einem Schneckenbohrer nur schwer förderbar sind, kann ein Kastenbohrer das Bohrgut wesentlich besser an die Oberfläche befördern. Im Allgemeinen sind weiche bis steife bindige Böden sowie locker bis mitteldicht gelagerte nichtbindige Böden gut förderbar [8].

Grundsätzlich schneidet sich die Räumerleiste des Kastenbohrers in den anstehenden Boden, wodurch der Hohlraum des Kastenbohrers durch die Öffnung vor der Räumerleiste mit Bohrgut gefüllt wird. Sobald der Kastenbohrer zur Gänze befüllt ist, wird die Öffnung durch Drehung in die Gegenrichtung geschlossen. Anschließend wird der Kastenbohrer aus dem Bohrloch gezogen und an der Oberfläche entleert. Beim Entleeren wird die Öffnung durch Drehung in Bohrrichtung (Rechtsdrehung) geöffnet und das Bohrgut wird entleert.

2.2.2.2 Schneckenbohrer



Abb. 2.3: Schneckenbohrer der Fa. Bauer [10]

Bei den Schneckenbohrern wird jeweils in einschneidig und zweischneidig sowie in Schneckenbohrer, Felsschneckenbohrer und Progressivschneckenbohrer unterschieden. Hinsichtlich Bodenart können steife bis feste bindige Böden sowie mitteldichte bis dicht gelagerte nichtbindige Böden gelöst werden. Bei felsigen Untergrundverhältnissen kommen der Felsschneckenbohrer sowie die Progressivschnecke zum Einsatz, hierbei kann leicht bis schwer lösbarer Fels gelöst werden. Verschleißteile wie Zähne sind bei allen Schneckenbohrern einfach wechselbar [8].

2.2.2.3 Kernrohre



Abb. 2.4: Kernrohr der Fa. Bauer [10]

Kernrohre finden generell bei schwierigen Bodenverhältnissen Anwendung, wie harter bis sehr harter Fels. Einsatz finden Kernrohre auch bei natürlichen Hindernissen, wie etwa Findlinge. Stahlbeton oder Mauerwerk; sogenannte künstlichen Hindernissen sind ebenfalls mit einem Kernrohr bohrbar. Die Ausführung der Kernrohre unterscheidet sich lediglich an der Art der Zähne. Es kommen Wechselstollen, Stiftzähne und Rundschaftmeißel, welche in Abb. 2.4 zu sehen sind, zum Einsatz. All diese Systeme sind mittels Schnellwechselsystem einfach austauschbar [8].

2.2.3 Bohrrohre



Abb. 2.5: Bohrrohr der Fa. Bauer [10]

Bei nicht standfestem Untergrund muss unter Anwendung einer Verrohrung gebohrt werden, damit der anstehende Boden nicht in das Bohrloch verbricht. Aufgrund der hohen Drehmomente beim Eindrehen der Bohrrohre in den Untergrund sind diese meist doppelwandig ausgeführt, um die hohen Drehmomente aufnehmen zu können. Die Längen der Bohrrohre reichen von 1 bis 6 m und können so auf die Bohrlochtiefe individuell angepasst und zusammengeschraubt werden.

Den Anfang jeder Verrohrung bildet der Rohrschuh, welcher mit Wechselstollen ausgestattet ist. Durch die Drehbewegung, welche von dem Kraftdrehkopf über das Drehteller auf die Verrohrung aufgebracht wird, gleitet die Verrohrung nach und nach in den Untergrund.



Abb. 2.6: Rohrschuh der Fa. Bauer [10]

2.2.4 Die Herstellungsprozesse

Besitzt der Boden eine zu geringe Standfestigkeit, muss das Bohrloch beim Kellybohrverfahren durch eine Verrohrung oder durch eine Stützflüssigkeit gegen Materialeinbruch gestützt werden. Ist die Standfestigkeit des Bodens gegeben, kann die Pfahlherstellung auch ohne Verrohrung erfolgen. Allerdings kommt dieses Herstellungsverfahren relativ selten zur Anwendung. Neben der Verwendung von Flüssigkeiten bzw. Suspensionen zur Stützung des Bohrloches kommen Flüssigkeiten auch beim sogenannten Bohren unter Auflast zum Einsatz. Es werden folgende Herstellungsprozesse unterschieden [2]:

- Kellybohrverfahren ohne Verrohrung
- Kellybohrverfahren suspensionsgestützt
- Kellybohrverfahren mit Vollverrohrung



2.2.4.1 Kellybohrverfahren ohne Verrohrung

Abb. 2.7: Bauablauf des Kellybohrverfahrens ohne Verrohrung, nur mit Rohranfänger [6]

In bindigen Böden mit ausreichender Standfestigkeit gliedert sich der Herstellungsprozess in folgende Schritte:

- 1. Der Rohranfänger bzw. das Führungsrohr wird am gekennzeichneten Pfahlansatzpunkt angesetzt und in den Boden gedreht.
- 2. Mit geeignetem Bohrwerkzeug wird bis zur Pfahlunterkante gebohrt und das Bohrgut zyklisch gefördert.
- 3. Der Bewehrungskorb wird mittels Hilfsseilwinde in das Bohrloch abgesenkt.
- 4. Der Transportmischer fährt an das Bohrloch heran und der Beton wird mittels Trichter und Schüttrohr in das Bohrloch eingebaut.

5. Der Rohranfänger wird gezogen und, falls eine Leerstrecke zwischen Geländeoberkante und Pfahloberkante besteht, wird diese aus Sicherheitsgründen mit Bodenmaterial verfüllt.



2.2.4.2 Kellybohrverfahren suspensionsgestützt

Abb. 2.8: Bauablauf beim suspensionsgestützten Kellybohrverfahren [9]

Bei nichtverrohrtem Vortrieb in Böden mit zu geringer Standfestigkeit muss das Bohrloch mittels Stützflüssigkeit, zum Beispiel mit einer Bentonitsuspension, gegen Einbruch des seitlich anstehenden Bodens gestützt werden. Folgende Arbeitsschritte sind auszuführen:

- 1. Der Rohranfänger bzw. das Führungsrohr wird am gekennzeichneten Pfahlansatzpunkt angesetzt und in den Boden gedreht.
- 2. Die Regenerierungs- und Pumpanlage müssen in der Nähe des Bohrloches eingerichtet werden. Danach kann unter Bohrlochstützung durch die Suspension bis zur Bohrendtiefe gebohrt werden, bei gleichzeitig zyklischer Förderung des Bohrguts.
- 3. Nach Erreichen der Bohrendtiefe wird die Suspension ausgetauscht, um die Feinanteile aus dem Bohrloch zu entfernen. Diese Feinanteile würden die Betonqualität enorm verschlechtern. Die Regenerierungsanlage bereitet die Suspension wieder auf, indem die Feinanteile von der Flüssigkeit getrennt werden. Die Suspension kann dadurch für weitere Bohrlöcher verwendet werden. Nach dem erfolgreichen Reinigen der Suspension wird der Bewehrungskorb in das Bohrloch gehoben.
- 4. Um das Betonieren im Kontraktorverfahren durchführen zu können, werden Trichter und Betonierrohre in das Bohrloch gestellt. Danach kann der Beton, bei

gleichzeitigem Ziehen der Betonierrohre und Abpumpen der Suspension, in das Bohrloch eingebracht werden. Dabei ist es wichtig, die Vermischung von Beton und Suspension unbedingt zu vermeiden. Dies kann gewährleistet werden, indem sich das unterste Betonierrohr immer im Frischbeton befindet. Der Beton, der zu Beginn kurzen Kontakt mit der Suspension hat und zugleich eine geringere Qualität aufweist, wird durch den nachfolgenden Beton nur Oberfläche befördert. Im Pfahlkopfbereich wird dieser qualitativ geringwertige Beton nach dem Erhärten abgeschrämmt.

 Der Rohranfänger wird gezogen und, falls eine Leerstrecke zwischen Geländeoberkante und Pfahloberkante besteht, wird diese aus Sicherheitsgründen mit Bodenmaterial verfüllt.



2.2.4.3 Kellybohrverfahren mit Vollverrohrung

Abb. 2.9: Bauablauf beim Kellybohrverfahren mit Vollverrohrung [9]

Bei Böden ohne vorherrschendes Grundwasser, mit zu geringer Standfestigkeit, gliedert sich der Herstellungsprozess in folgende Schritte:

- 1. Der Rohranfänger bzw. das Führungsrohr wird am gekennzeichneten Pfahlansatzpunkt angesetzt und in den Boden gedreht.
- Bohren und Rohrvortrieb wechseln einander ab, bis die Bohrendtiefe erreicht ist. Dabei ist wichtig, dass die Verrohrung immer einen gewissen Vorsprung gegenüber dem Bohrwerkzeug hat. Ansonsten würde durch das Vorausbohren des Bohrwerkzeuges ein mechanischer Grundbruch erzeugt werden. Das Bohrgut wird zyklisch gefördert.

- 3. Der Bewehrungskorb wird mittels Hilfsseilwinde in das Bohrloch abgesenkt.
- 4. Der Transportmischer kann an das Bohrloch heranfahren und der Beton wird mittels Trichter und Schüttrohr in das Bohrloch eingebaut.
- 5. Der Rohranfänger wird gezogen und falls eine Leerstrecke zwischen Geländeoberkante und Pfahloberkante besteht, wird diese aus Sicherheitsgründen mit Bodenmaterial verfüllen.

Sollte Grundwasser bzw. gespanntes Grundwasser im Untergrund anstehen, muss zur Vermeidung von hydraulischem Versagen (hydraulischer Grundbruch) unter Wasserauflast gebohrt werden. Dabei wird das Bohrloch bis zu einer gewissen Höhe mit Wasser gefüllt, um die Fließrichtung von außen in das Bohrloch zu unterbinden. Dadurch wird auch versucht, den Eintrag von Feinanteilen in das Bohrloch zu unterbinden. Die Wasserspiegeldifferenz zwischen dem Wasserstand im und außerhalb des Bohrloches ist für die Fließrichtung entscheidend, siehe Abb. 2.10. Sollte ein gewisser Anteil an feineren Anteilen, wie zum Beispiel Feinsand, dennoch in das Bohrloch gelangen, muss abgewartet werden, bis diese Anteile versickert sind. Erst danach kann mit dem Betoniervorgang begonnen werden.



Abb. 2.10: Prinzip Bohren unter Wasser-Auflast zur Vermeidung von hydraulischem Versagen

3 Sensortechnik

Im gesamten Bauwesen ist die Digitalisierung in den letzten Jahrzehnten immer bedeutender geworden, somit wurden auch die Arten der Datenaufzeichnung im Spezialtiefbau zunehmend weiterentwickelt. Spezialtiefbaufirmen haben großes Interesse daran, ihre Herstellungsprozesse und Leistungen digital zu erfassen und dadurch weiterentwickeln zu können. Um diese Aufzeichnung zu gewährleisten, wurden die Großgeräte, die im Spezialtiefbau zum Einsatz kommen, mit zentralen Aufzeichnungssystemen ausgestattet, welche Daten aus Sensormessungen an verschiedenen Stellen am Großgerät registrieren.

Nicht nur die Baufirmen, sondern auch immer mehr Auftraggeber setzen bestimmte Aufzeichnungen während der Bauarbeiten voraus, um später eine durchgehende Dokumentation und Protokollierung über die Qualität der Ausführung zu erhalten. Somit sind die Baufirmen gefordert, diese Aufzeichnungen darzulegen.

Die Fima Bauer hat in ihren Baumaschinen bereits vor einigen Jahren ein zentrales Aufzeichnungssystem, einen Bordcomputer, installiert, in welchem sämtliche Information während des Betriebs der Maschinen zusammenlaufen. Mit unterschiedlichen Geräten kann auf diesen Bordcomputer und die gesammelten Maschinendaten zugegriffen werden. Diese unterschiedlichen Schnittstellen werden gesammelt als B-Tronic bezeichnet.

3.1 Das B-Tronic System

3.1.1 Überblick

Unter dem Begriff B-Tronic verbirgt sich eine Fülle an elektronischen Anwendungen, die den Ablauf einer Spezialtiefbaubaustelle unterstützen und vereinfachen sollen. Das B-Tronic System ist ursprünglich als "Bordcomputer" in der Fahrerkabine eines Großgeräts, wie zum Beispiel eines Bohrgeräts oder eines Seilbaggers, installiert worden. Der/Die Geräteführer/in soll so bei seiner/ihrer Arbeit an der Maschine unterstützt werden.

Die Basis des B-Tronic Systems bildet eine große Anzahl an Sensoren. Diese sind an den relevanten Stellen eines Großgeräts angebracht und liefern so fortlaufend Daten, die in der B-Tronic zusammengefasst und am Fahrer-Display angezeigt werden. Das sind unter anderem Parameter wie Drehmoment, Vorschubkraft, Bohrtiefe oder auch Neigung des Mäklers. Hierbei gibt es verschiedene Display-Darstellungen, die vom jeweiligen Großgerät und der aktuell ausgeführten Bautechnologie abhängig sind. Die B-Tronic eines Großbohrgerät kann auf das Herstellungsverfahren angepasst werden:

- Kellybohren
- Bohren mit Endlosschnecke (SOB-Verfahren)
- Tiefenrüttelverfahren (RSV und RDV)
- Rammaufsatz (Spundwand)

Bei einem Seilbagger gibt es folgende Varianten:

- Schlitzwandgreifer
- Hydraulikgreifer
- Seilbagger im "Normalbetrieb"

Die laufende Weiterentwicklung des B-Tronic Systems hat unter anderen diverse neue Anwendungen mit sich gebracht, die den/die Geräteführer/in in der Kabine zusätzlich unterstützen. Darunter findet sich das B-Drive, das B-Activity und andere unterstützende Systeme. Nicht nur die Systeme am Gerät haben sich weiterentwickelt, sondern auch die Anwendungen rund um das Gerät und die Prozesse auf der Baustelle wurden in den Digitalisierungsprozess eingebunden. So entstanden, basierend auf der Möglichkeit der digitalen Datenübertragung sowie Speicherung, neue Technologien und Anwendungen, die in die B-Tronic eingebunden wurden.

Durch die digitale Datenübertragung kann von überall auf der Welt in Echtzeit auf die Maschinendaten der jeweiligen Geräte zugegriffen werden. Auf einem digitalen Server (WEB-BGM) werden die Maschinendaten gespeichert und können so jederzeit eingesehen und mit Auswertungstools (B-Report) anschaulich aufbereitet werden. Auch für die Bauaufsicht vor Ort auf der Baustelle besteht die Möglichkeit, mit Hilfe eines Tablets oder eines Mobiltelefons auf die Maschinendaten zuzugreifen.



Abb. 3.1: Überblick über die Funktionsweise von B-Tronic und deren Komponenten [11]

3.1.2 Tools in der Fahrerkabine

3.1.2.1 Touchscreen in der Gerätekabine

Wie bereits erwähnt, bildet das zentrale Tool der B-Tronic das Display am Bord der Kabine, auf welchem sämtliche Maschinedaten zusammengeführt und für den/die Geräteführer/in visualisiert werden. Dieser Bildschirm bietet unterschiedliche Varianten, um die maschinentechnischen Daten wie Drehmoment, Vorschubkraft, Hydraulikdrücke oder Bohrtiefe anzuzeigen. Sehr individuell und flexibel kann somit das Display bezogen auf das Herstellungsverfahren angepasst werden. Die nachfolgende Abbildung stellt eine typische Anzeige des B-Tronic Bildschirms beim Kellybohrverfahren dar.



Abb. 3.2: Bildschirmansicht B-Tronic Fahrerkabine eines Bohrgeräts [12]

Position	Beschreibung
1	Statuszeile
2	Hydraulikdruck
3	Drehmoment
4	Kelly Visualisierung: Zeigt an, ob die Kellystange verriegelt ist und wie weit die nächste Verriegelungstasche entfernt ist.
5	Menüzeile
6	Mastneigung

Tab. 3.1: Beschreibung des Bildschirms in der Fahrerkabine eines Bohrgeräts [12]

7	Verfahrensspezifische Anzeige – kann je nach Herstellungsprozess (Kellybohren, SOB-Bohren, Schlitzwandherstellung) adaptiert werden.
8	Vorschubkraft
9	Hilfswinde (Seilkraft)
10	Hauptwinde (Seilkraft)
11	Positionsanzeige

3.1.2.2 B-Activity

Seit kurzer Zeit befindet sich eine weitere Aufzeichnungsmöglichkeit an Bord der Bauer-Geräte, das Tool B-Activity. Das B-Activity wird von dem/der Geräteführer/in bedient und stellt eine Art Prozessdokumentation dar. Der/die Geräteführer/in wählt am Tablet die einzelnen Arbeitsschritte eines Bauverfahrens aus und es entsteht eine zeitliche Aufzeichnung. Diese wird, wie alle Daten des B-Tronic Systems, über ein DTM-Modul digital aufgezeichnet. Man kann auch auf diese Daten global zugreifen. Die B-Activity Daten können über das WEB-BGM gesichtet und heruntergeladen werden. Ebenso steht ein Activity-Report zur Verfügung, welcher eine anschauliche Darstellung der Daten, zum Beispiel über die Zeit, bietet.

Da das B-Activity ein wesentlicher Bestandteil der Versuche dieser Diplomarbeit ist, wird in den folgenden Kapiteln näher darauf eingegangen.

3.1.3 Schnittstelle DTR-Module

Um einen globalen Zugriff auf die Maschinendaten der Großgeräte bzw. einen digitalen Datentransfer zu gewährleisten, müssen die Bohrgeräte mit einem DTR-Modul ausgestattet sein. Dieses Modul arbeitet mit einer integrierten SIM-Karte, welche sich über das mobile Netz einwählt und die Daten an einen Server übertragen kann. Das Großgerät ist somit über das DTR-Modul mit dem WEB-BGM Server verbunden. Die Maschinendaten und B-Activity Daten werden so nach jedem Arbeitstag am zentralen Server abgespeichert.

3.1.4 WEB-BGM Server

Den zentralen Server der B-Tronic stellt das WEB-BGM dar. Auf diesem Server werden alle global gesammelten Daten gespeichert und verwaltet. Einerseits gibt der Server über ein Dashboard den jeweiligen Standort der Geräte bekannt, andererseits kann auf die Daten jedes Geräts zugegriffen werden. Auf die Prozessdaten der einzelnen Arbeitsschritte (B-Activity Daten) kann nur zugegriffen werden, sobald der/die Geräteführer/in die Aufzeichnung der Aktivitäten am Tablet startet. B-Activity sollte in naher Zukunft in den neuesten Geräten standartmäßig eingebaut werden und auch die Geräteführer/innen dementsprechend geschult werden.

Das WEB-BGM bietet die Möglichkeit, sämtliche Daten herunterzuladen und am eigenen PC mithilfe von Excel Sheets auszuwerten. Eine Online-Auswertung bzw. Sichtung der Daten ist

auch möglich. Mithilfe von sogenannten B-Reports lassen sich Maschinendaten und Prozessdaten einfach und schnell darstellen.

3.2 Messtechnische Erfassung von Prozessparametern

3.2.1 Erfassung maßgebender Parameter

3.2.1.1 Bohrtiefe

Die Bohrtiefe ist vom gesetzten Nullpunkt abhängig, welchen der/die Geräteführer/in manuell bestimmen kann. Um den Nullpunkt zu definieren, wird die Spitze des jeweiligen Bohrwerkzeuges in eine horizontale Flucht mit der Oberkante der Verrohrung gebracht und anschließend der Tiefenmesser auf null gesetzt. Nun wird das Hauptseil, an dem die Kelly-Stange und allen voran das Bohrwerkzeug befestigt ist, in das Bohrloch abgelassen. Anhand der Seillänge, die während dieses Vorgangs von der Hauptseilwinde abgespult wird, kann die Tiefe ab dem gesetzten Nullpunkt bestimmt werden. Die Genauigkeit der Bohrtiefenmessung liegt im Zentimeterbereich.

3.2.1.2 Hydraulikdruck

Die Großbohrgeräte BG 30 und BG 39, an denen die in der vorliegenden Diplomarbeit beschriebenen Versuche durchgeführt wurden, besitzen gemäß den Hydraulikplänen vier Hydraulikpumpen. Pumpe 1 und Pumpe 2 sind jeweils Hauptpumpen mit einem maximalen Druck von jeweils 300 bar. Pumpe 3 und Pumpe 4 sind als Nebenpumpen bezeichnet, wobei Pumpe 3 eine leistungsfähige Pumpe mit ebenfalls 300 bar Druck ist. Eine Kleinpumpe stellt Pumpe 4 dar, welche ca. 50 bar maximalen Druck besitzt und im Allgemeinen für eine untergeordnete Aufgabe vorgesehen ist, wie beispielsweise als Unterstützung zur Bedienung der Hilfswinde, die nicht unmittelbar am Bohrprozess beteiligt ist.

Die beiden Hauptpumpen 1 und 2 sind im Wesentlichen für die Hauptaufgabe eines Gerätes zuständig. Da zum Beispiel ein Kelly-Bohrgerät sich nicht gleichzeitig bewegen und bohren kann, sind diese Hauptaufgaben klar getrennt. Daher werden bei den beiden Aufgaben die Pumpen 1 und 2 verwendet. Die Großpumpe 3 unterstützt bei den zuvor erwähnten Hauptaufgaben die beiden Hauptpumpen, indem zusätzlicher Druck bereitgestellt wird.

Da die Pumpenbezeichnung sich von Bohrgerät zu Bohrgerät unterscheiden kann, sollte im Zuge der Messdatenauswertung unbedingt die genaue Bezeichnung und Leistung der Pumpen im Hydraulikplan kontrolliert werden. Pumpe 1 und 2 sind im Normalfall die Hauptpumpen, jedoch kann es sein, dass Pumpe 3 und 4 vertauscht sind. Somit besitzt Pumpe 4 300 bar und Pumpe 3 ist die kleine Nebenpumpe mit ca. 50 bar Maximaldruck.

3.2.1.3 Drehmoment

Für Hauptaufgaben, wie beispielsweise beim "Rohrvortrieb", sind meist die beiden Hauptpumpen mit gelegentlicher Unterstützung der großen Nebenpumpe zuständig. Das benötigte Drehmoment für diesen Vorgang entsteht über den Kraftdrehkopf, welcher wiederum mit Hydraulikdruck angetrieben wird. Der genaue Aufbau eines Kraftdrehkopfes kann an dieser Stelle aus wettbewerbstechnischen Gründen nicht im Detail beschrieben werden. Um die messtechnische Erfassung des Drehmoments jedoch zu verstehen, kann folgendes Gedankenmodell helfen. Durch den aufgezeichneten Hydraulikdruck der an der Aktivität beteiligten Pumpen resultiert eine Summe an Drücken, welche in der Einheit "bar" angegeben ist. Durch die Umrechnung von "bar" auf eine Einheit "Kraft pro Fläche" ist die Spannung bekannt. Multipliziert man die Spannung mit der zugehörigen Fläche, auf welche der Hydraulikdruck wirkt, entsteht eine Kraft. Durch die kreisförmige Bewegung des Kraftdrehkopfes resultiert aus Kraft multipliziert mit dem Radius des Kraftdrehkopfes im Grundriss das gesuchte Drehmoment.

3.2.1.4 Zusammenhang zwischen Drehmoment und Hydraulikdruck

In Abschnitt 3.2.1.2 und 3.2.1.3 wurde bereits auf den bestehenden Zusammenhang zwischen dem Hydraulikdruck und dem Parameter Drehmoment eingegangen. Die auf dem Hydraulikdruck der Pumpen 1 bis Pumpe 4 basierenden Messwerte des Drehmoments müssten aufgrund dieses Zusammenhangs einen überwiegend linearen Zusammenhang aufweisen. In Abb. 3.4 der Baustelle Bad Wiessee ist jedoch erkennbar, dass die zugehörigen Werte des Drehmoments in dem Hydraulikdruckbereich zwischen 500 bar und 800 bar stark ansteigen, wodurch der Zusammenhang von der Linearität abweicht. Diese erhöhten Werte lassen sich als Fehlmessungen in der Hydraulikdruckaufzeichnung interpretieren, die wiederrum von Bohrgerät zu Bohrgerät unterschiedlich sein können. Auf Basis der Auswertung der Messdaten der Baustelle Hollabrunn, siehe Abb. 3.3, lässt sich der lineare Zusammenhang zwischen Drehmoment und Hydraulikdruck gut beobachten. Die Anzahl der Fehlstellen ist geringer, weshalb die gelb strichlierte Linie immer mehr zur schwarz strichlierten Geraden wird, welche die theoretische Lage der Geraden ohne Fehlmessungen bildet. Dadurch besteht der lineare Zusammenhang zwischen Drehmoment und Hydraulikdruck, allerdings spielen die Fehlmessungen der Hydraulikdruckaufzeichnung, abgebildet in Abb. 3.4 und Abb. 3.3, eine wichtige Rolle. Durch die Fehlmessungen des Hydraulikdruckes kommt es zu einer Abweichung vom theoretisch linearen Zusammenhang Drehmoment Hydraulikdruck. zwischen und Fehlmessungen müssen bei der Messdatenaufbereitung identifiziert und eliminiert werden, da diese das Auswertungsergebnis verfälschen und in weiterer Folge zur inkorrekten Interpretation der Messdaten führen können.



Abb. 3.3: Zusammenhang zwischen Drehmoment und Hydraulikdruck – Baustelle in Hollabrunn – Bohrgerät BG 30



Abb. 3.4: Zusammenhang zwischen Drehmoment und Hydraulikdruck – Baustelle in Bad Wiessee – Bohrgerät BG 39

3.2.1.5 Vorschubkraft

Die Vorschubkraft ist beim Setzen der Verrohrung und beim Bohrvorgang ebenfalls von Bedeutung. Hierbei wird, wie im Kapitel 3.2.1.3 bereits beschrieben, der Hydraulikdruck, der am Prozess beteiligten Pumpen, in eine Kraft umgerechnet. Die maximale Vorschubkraft nimmt bei den Großbohrgeräten BG 39 und BG 30 Werte zwischen 300 und 400 kN an. Diese Geräte wurden auf der Baustelle in Bad Wiessee eingesetzt. Beim Bohrgerät BG 30 liegen die maximalen Werte der Vorschubkraft bei in etwa 150 kN. Dieses Gerät kam auf der Baustelle in Hollabrunn zur Anwendung.

3.2.1.6 Vorschubtiefe

Die Vorschubtiefe ist jener Weg den der Schlitten entlang des Mäklers zurücklegt. Der Schlitten wird mit Hilfe eines Seiles am Mäkler nach unten und nach oben bewegt, dadurch kann die dafür benötigte Seillänge erfasst werden und daraus resultiert die Vorschubtiefe. Die Genauigkeit der Messung der Vorschubtiefe bewegt sich im Zentimeterbereich. Interessant kann diese Tiefe beim Prozess "Rohrvortrieb" sein. Dieser Prozess wird in den folgenden Kapiteln ausführlicher diskutiert.

3.2.1.7 Seilkraft der Haupt- und Hilfswinde

Wie in Abb. 3.5 erkennbar, spielt die Hauptwinde eine wichtige Rolle, da an deren Seil die Kellystange und das Bohrwerkzeug befestigt sind. Die Seilkraft wird mittels Kraftsensor ermittelt. Die Hilfswinde wird unter anderem für den Einbau des Bewehrungskorbes und beim Wechsel des Bohrwerkzeuges verwendet und die Seilkraft wird ebenfalls durch einen Kraftsensor ermittelt. Die Aufzeichnung der beiden Seilkräfte spielt im Zuge der Untersuchung der Prozesse "Bohren" und "Rohrvortrieb" nur eine untergeordnete Rolle. Während der Lokalisierung der Arbeitsprozesse in den Maschinendaten kann die Berücksichtigung der Seilkräfte jedoch hilfreich sein.



Abb. 3.5: Überblick Sensortechnik eines Bohrgerätes der Firma Bauer [7]

4 Definition von Arbeitsschritten anhand von Maschinenparametern

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, soll das Hauptaugenmerk dieser Arbeit in der Untersuchung der Maschinendaten liegen. Dabei sollen sich wiederholende Muster in den Maschinendaten identifiziert werden, welche für eine zukünftige automatische Auswertung der B-Tronic Maschinendaten herangezogen werden können. Zu diesem Zweck wurde das Kelly-Bohrverfahren in die einzelnen Arbeitsschritte unterteilt und diese mit Hilfe von B-Activity auf der Baustelle dokumentiert. Zwischen den zeitlich erfassten B-Activity Daten und B-Tronic Daten konnte dadurch ein Zusammenhang hergestellt werden, wie im Folgenden gezeigt wird.

4.1 Definition der Aktivitäten

Die Prozesse des Kelly-Bohrverfahren wurden anhand der B-Tronic Datensätze definiert. Dabei kam der online B-Report zum Einsatz, mit diesem Datenaufbereitungsprogramm konnten die einzelnen Aktivitäten im Zuge des Kelly-Bohrverfahren in den B-Tronic Datensätzen erkannt werden. Im Online B-Report lassen sich alle am Bohrgerät messtechnisch erfassten Parameter über die Zeit darstellen. Zu Beginn reichte es allerdings, drei dieser Parameter zu beobachten, um die produktiven Arbeitsschritte beim Kelly-Bohrverfahren zu erkennen. Die Parameter Drehmoment, Bohrtiefe und die Seilkraft der Hilfswinde erwiesen sich als zielführend.

4.1.1 Produktive Arbeitsschritte

Wie bereits im Kapitel 2.2.4.3 genau beschrieben, können grundsätzlich die folgenden produktiven Arbeitsschritte im Zuge des Kelly-Bohrverfahren unterschieden werden:

- Einbau Verrohrungsanfänger: Rohr holen, Rohr aufsetzen und Rohrvortrieb
- Einbau Verrohrung: Rohr holen, Rohr aufsetzen und Rohrvortrieb
- Absenken Bohrwerkzeug, Bohren, Ziehen Bohrwerkzeug und Fördern Bohrgut
- Entleeren Bohrgut
- Einbau Bewehrungskorb
- Betonieren Bohrpfahl
- Ausbau Verrohrung

Nachfolgend sind die einzelnen produktiven Arbeitsschritte anhand von Maschinendaten aus dem B-Report erklärt.

Einbau Verrohrungsanfänger sowie Einbau Verrohrung:

Die Aktivitäten "Einbau Verrohrungsanfänger" sowie "Einbau Verrohrung" beinhalten das "Rohr holen" durch das Bohrgerät und das anschließende "Rohr aufsetzen". Beim "Rohr aufsetzen" wird ein weiteres Bohrrohr auf das bereits im Boden befindliche Bohrrohr gesetzt und der/die Bohrhelfer/in verschraubt die beiden Bohrrohre miteinander.



Abb. 4.1: Zeitliche Darstellung des Prozesses "Einbau Verrohrung" [13]

Rohrvortrieb:

Die Aktivität "Rohrvortrieb" stellt das "Reindrehen" der Verrohrung in den Boden dar. Um die Aktivität "Rohrvortrieb" in den B-Tronic Datensätzen zu erkennen, muss das Drehmoment und die Bohrtiefe beobachtet werden. Die Bohrtiefe ist annähernd null und das Drehmoment ist in einem Bereich zwischen etwa 200 kNm und 400 kNm. Das Drehmoment grenzt sich betragsmäßig stark von jenem beim Prozess "Bohren" ab.



Abb. 4.2: Zeitliche Darstellung des Prozesses "Rohrvortrieb" [13]

Absenken Bohrwerkzeug, Bohren, Ziehen Bohrwerkzeug und Fördern Bohrgut sowie Entleeren Bohrgut:

Wie in Abb. 4.3 erkennbar, sind in nahezu regelmäßigen Abständen lokale Maxima in der blauen Kurve, welche die Bohrtiefe widerspiegelt, zu beobachten. Diese Stellen weisen gleichzeitig ein Drehmoment auf, wodurch sich an diesen Stellen ein Bohrvorgang identifizieren lässt. Zu Beginn jedes Bohrgangs ist in der blauen Kurve eine vergleichsweise rasche Zunahme der Bohrtiefe zu erkennen. In dieser Phase, beim "Absenken Bohrwerkzeug", wird das Bohrwerkzeug bis zur bereits gebohrten Bohrtiefe in das Bohrloch hinabgelassen. Anschließend beginnt das "Bohren", welches durch eine geringe Bohrtiefenzunahme und einem gleichzeitig wirkenden Drehmoment gekennzeichnet ist. Ist das Bohrwerkzeug mit Bohrgut gefüllt, beginnt der Prozess "Ziehen Bohrwerkzeug" Die Bereiche zwischen den einzelnen Bohrgängen identifizieren den Prozess "Entleeren Bohrgut". Gekennzeichnet sind diese durch eine geringe Bohrtiefe sowie ein kleines Drehmoment.



Abb. 4.3: Zeitliche Darstellung der Prozesse "Absenken Bohrwerkzeug", "Bohren", "Ziehen Bohrwerkzeug und Fördern Bohrgut" und "Entleeren Bohrgut" [13]

Einbau Bewehrungskorb:

Der Bewehrungskorb wird mittels Hilfswinde in das Bohrloch abgesenkt. Um den Prozess "Einbau Bewehrungskorb" in den Datensätzen lokalisieren zu können, muss der Zeitpunkt des letzten Bohrgangs bekannt sein. Auf der Baustelle wird nach Erreichen der Endtiefe der Bewehrungskorb an dem Seil der Hilfswinde befestigt und eine Kurve ist in der Parameteraufzeichnung der Hilfswinde (rope force aux winch) zu erkennen, siehe Abb. 4.4. Die Kurve in der Seilkraftaufzeichnung der Hilfswinde spiegelt die gemessene Seilkraft, gemessen in Tonnen, wider.



Abb. 4.4: Zeitliche Darstellung des Prozesses "Einbau Bewehrungskorb" [13]

Betonieren Bohrpfahl:

Nach dem Einbau des Bewehrungskorbes beginnt der Betoniervorgang. Die Aktivität "Betonieren Bohrpfahl" lässt sich anhand der Maschinendaten nicht exakt identifizieren. Das Großbohrgerät ist nicht am gesamten Prozess beteiligt, dadurch ergeben sich Lücken in der B-Tronic Aufzeichnung. Das "Betonieren Bohrpfahl" beginnt nach dem "Einbau Bewehrungskorb" und endet beim letzten Prozess "Ausbau Verrohrung". Diese beiden
Ereignisse sind in den Datensätzen eindeutig erkennbar. Allerdings kann es sein, dass es Verzögerungen bei der Betonlieferung gibt, wodurch die für das Betonieren benötigte Zeit verfälscht wird. Die Wartezeit aufgrund der Lieferverzögerung des Betons kann nur in Kombination mit der B-Activity Aufzeichnung erfolgen. Diese Zeitspanne muss der/die Geräteführer/in am Tablet händisch dokumentieren. Alternativ kann die benötigte Zeit für das Betonieren den Pfahlprotokollen entnommen werden.

Ausbau Verrohrung:

Die Verrohrung wird während des Betoniervorgangs schrittweise ausgebaut. Nachdem der Schüttrichter samt Schüttrohr in Stellung gebracht ist, beginnt der Transportmischer den Beton zu entleeren. Danach hebt das Bohrgerät die Verrohrung durch Drehbewegungen an und die Schrauben an den Anschlussstellen der Verrohrung werden entfernt. Im Anschluss bringt sich der Transportmischer erneut in Stellung und füllt den Beton in das Bohrloch. Dieser Arbeitsschritt wird je nach Pfahllänge oftmals wiederholt. In Abb. 4.5 ist "Ausbau Verrohrung" im zeitlichen Verlauf des Drehmoments durch hohe Schwankungen gekennzeichnet. Nach dem "Ausbau Verrohrungsanfänger", an welcher der Rohrschuh befestigt ist, ist der Pfahlherstellungsprozess beendet.



Abb. 4.5: Zeitliche Darstellung von "Ausbau Verrohrung" und der vorlaufenden Prozesse [13]

4.1.2 Unproduktive Arbeitsschritte

Neben den produktiven Aktivitäten sind auch unproduktiven Arbeitsschritte zu dokumentieren. Diese sind speziell für das Bauprozessmanagement von großem Interesse. Der Bauzeitverlust kann durch frühes Erkennen mit entsprechenden Maßnahmen verringert werden. Dies spart vor allem Geld, da meist hohe Pönalen in den Arbeitsverträgen vereinbart sind. Nachfolgend sind übliche Arten von unproduktiven Zeiten beim Kelly-Bohrverfahren angeführt:

- Stehzeiten
 - Warten auf Beton
 - Warten auf Bewehrung

- Warten auf Vermessung (Bohrpunkte ausstecken)
- Reparaturen
 - o Bohrgerät
 - Werkzeug
 - Hilfsgerät
- Werkzeugwechsel
 - o Bohrwerkzeug
 - o Kellystange
- Pause

Unproduktive Aktivitäten sind rein durch die Betrachtung der B-Tronic Maschinendaten nicht zu erkennen. Da bei Stehzeiten das Bohrgerät keine Daten sendet, ist es schwierig, einen Kontext herzustellen, warum das Gerät momentan nicht arbeitet. Selbiges gilt bei Reparaturen und Werkzeugwechsel. Bei einer absichtlichen Pause, wie zum Beispiel die Mittagspause, ist es allerdings möglich, diese zeitlich in den Maschinendaten zu lokalisieren.

Nach der Betrachtung der B-Tronic Maschinendaten kann davon ausgegangen werden, dass Regeln für die produktiven Arbeitsschritte zu finden sind. Um jedoch die unproduktiven Arbeitsschritte in eine gesamte automatische Auswertung einzubinden, müssen zusätzliche Informationen mit einfließen. Ein ideales Werkzeug für die Erfassung dieser fehlenden Information stellt die B-Activity Aufzeichnung dar, welche bereits auf manchen Baustellen zum Einsatz kommt. Das Ziel einer automatischen B-Tronic Auswertung könnte durch einen Algorithmus zur Auswertung der produktiven Arbeitsschritte mit zusätzlicher Information aus der B-Activity Dokumentation, die der/die Geräteführer/in erfasst, erreicht werden.

4.2 Anwendung der B-Activity in der Praxis

4.2.1 Aufzeichnung am Gerät

Das B-Activity System wird aktuell via Tablet aus der Kabine des Großgerätes bedient. Dabei ist das Tablet an einer Halterung befestigt und kann neben dem routinemäßigen Arbeitsablauf bedient werden. Dokumentiert werden produktive sowie unproduktive Aktivitäten. Die zu erfassenden Aktivitäten können, je nach Baustelle und Bauverfahren, individuell angepasst werden. Die Anwendung am Tablet ist einfach gehalten und wird dem/der Geräteführer/in im Zuge einer kurzen Einschulung vermittelt.

4.2.2 Unterstützung der Bauleitung

Die mit Hilfe des B-Activity Systems aufgezeichnete Dokumentation kann für das Bauprozessmanagement ausgewertet werden. Als Auswertungshilfe dient einerseits die einfache und schnelle Online-Version direkt im WEB-BGM oder andererseits die von der Fa. Bauer entwickelten Excel-Makros, die eine detailliertere Auswertung bieten. Die Auswertungen sind während des Baustellenbetriebs im wöchentlichen oder monatlichen Rhythmus durchzuführen und bilden, wie schon erwähnt, ein gutes Hilfsmittel zur Projektsteuerung. Die gesammelten Daten können auch hinsichtlich Leistungsfortschritt beurteilt werden. Dabei wird in Bauverfahren und Standort der Baustelle unterschieden, wodurch eine Datenbank als Basis für zukünftige Projekte geschaffen wird. Durchschnittliche Bohrleistungen aus dieser Datenbank können für Angebotsvorbereitungen dienen.

5 Auswertung von Messdaten ausgewählter Baustellen

5.1 Baustellenbeschreibung

Die Anwendung der B-Activity Aufzeichnung kam auf zwei ausgewählten Baustellen zum Einsatz. Eine Baustelle befand sich in Österreich in Hollabrunn und eine in Bayern in Bad Wiessee. Die Auswahl der Projekte erfolgte auf Grundlage der Untergrundverhältnisse, um die Untersuchungen an möglichst unterschiedlichen Baugrundverhältnissen durchzuführen.

5.1.1 Pfahlfundierung von Brückentragwerken in Hollabrunn (Niederösterreich)

5.1.1.1 Geologische Verhältnisse

Hollabrunn liegt etwa 60 km nordwestlich von Wien, im hügeligen niederösterreichischen Weinviertel. Von dort wird ein Teilabschnitt der Schnellstraße S 3 in Richtung Tschechien gebaut. Die im Zuge der Diplomarbeit ausgeführten Versuche beschränken sich auf zwei ausgewählte Brückenbauwerke im Norden von Hollabrunn, siehe Abb. 5.1. Das Projektgebiet liegt im nördlichen Teil der Molassezone, die mit tertiären Sedimenten verfüllt ist. Die Sedimente setzen sich im Wesentlichen aus Schluffen und Tonen, mit unterschiedlich mächtigen Sandlagen zusammen. Richtung Süden (Bereich Hollabrunn) befinden sich, über den dominiert schluffigen Sedimenten, vorwiegend kiesig dominierte Sedimente [4].



Abb. 5.1: Lage der Brückentragwerke nördlich der Gemeinde Hollabrunn [21]

5.1.1.2 Baugrunderkundung

Wie zuvor erwähnt, bezieht sich die Auswertung der B-Tronic-Daten auf das in Abb. 5.1 gekennzeichnete Gebiet. Im Zuge der Untergrunderschließung kamen Kernbohrungen, Schürfe, Rammsondierungen und SPT-Tests zum Einsatz. Die Erkundungen zeichneten einen Untergrundaufbau, der zum Großteil aus oberflächennahen quartären Lössen/Lehmen und darunterliegenden miozänen Schluffen und Tonen besteht, welche eine steife bis halbfeste Konsistenz aufweisen. In Abb. 5.7 sind Laborergebnisse zu Plastizitätsbereich, Fließgrenze und Zustandsform angeführt. Dazwischen kamen vereinzelt feinsandige Schichten mit lockerer bis mitteldichter Lagerung zum Vorschein. Die Festigkeit der Bodenschichten wird sehr stark von der anteilsmäßigen Zusammensetzung von Schluff und Sand beeinflusst. Im Großen und Ganzen handelte es sich um einen relativ homogenen Boden, den es in diesem Projektgebiet zu bohren galt. Aufgrund der Zusammensetzung aus Schluff und Sand wurde für weitere Untersuchungen der Maschinenparameter der Untergrund als einheitliches Schichtpaket, schluffiger Sand, betrachtet. Das erkundete Grundwasser wurde bei ca. 231,85 m ü.A. angetroffen und bestätigte sich auch in der Ausführungsphase [4], [5].

In Abb. 5.5 ist die Kornverteilung einer entnommenen Bodenprobe der Kernbohrung KB4/14 in einer Entnahmetiefe von 4,0 bis 4,5 m a dargestellt. Die Probe kann als sandiger toniger Schluff klassifiziert werden. Etwas tiefer, in einer Entnahmetiefe von 7,0 bis 7,5 m, ist eine Bodenprobe ebenfalls der Kernbohrung KB4/14 entnommen worden. Die Kornverteilung der entnommenen Bodenprobe ist in Abb. 5.6 dargestellt und lässt sich als schluffiger toniger Sand klassifizieren [5].

	Stratioraphie		Höhe	Zeichn. Darst.			Benennung u. Beschreibung	Proben	Versuche	Bohrloch-	Erañazaada	
Tiefe	0	Tiefe	absolut	GW-	Gest -	Ges	£.	der Gesteinsarten	Kern-	SPT	ausrüstung	Eintragungen
GŐK		ab GOK	240.75 m ü. A.	acht.	art	L	Bodengruppe	und des Getuges	gewinn		(Z. B. Pegel)	
0	Mutterboden				Mu 1		(astisch)	Mutterboden, Schluff, schwach feinsandig, schwach tonig, steif,nicht plastisch,bergfeucht,				
È -					Mu		Auff, gering p				•	
Ľ,		1.0	239.8		//. Mu/		SI, L (Sch				•	
E	Anschüttung						(Uprofi)	Feinsand, stark schluffig, grobkiesig, klesig, feinkiesig, schwach steinig, locker,braun, bergfeucht,			•	
F	Löss, Lösslehm	1.7	239.1			• •	Aufija	Schluff, feinsandig, schwach tionig,			<u> </u>	
2	i.a.							halbfest bis steif,richt plastisch,braun, bergfeucht,			<u></u>	
-							plastisch)				△	
Ē.							chiuft, garing				<u> </u>	
_3							811,18				<u>~</u>	
-		3.7	237.1								<u>~</u>	
_4	aufgearbeitete Grundformation							Schluff, tonig, schwach kiesig, schwach feinkiesig, schwach sandig, schwach feinsandig, steif bis halbfest,gering nastiert belthraug, bernfeucht	r		<u>~</u>	
-							Ŧ	Verhärtungen, Kalkkonkretationen,	40 45		<u>~</u>	
È.							pring plastics				~	
_5							A (Ton, ausgo					
							sfach) bis Cl.			20		
6							(Ton, mittelpla					
E							CL M					
E												
_7	Grund-Fm.	6.9	233.9		11.	-	on, leicht bis si Sa stark tfig)	Schluff, stark feinsandig, tonig, steif,sehr leicht plastisch,gelbbraun, bergfeucht,	Г			
		7.5	233.3		11.	80	CL. L-{Te plastisch} {Sand, schlu	Feinsand, stark schluffig, tonig.	7.0 3.5	8	•	
a						80 80 80 80		schwach sandig, mitteldicht,gelbbraun, feucht,			•••	
-						80 80 80					•	
Ē						80 80 80 80					••	
-		9.7	231.1	_	231.85	80 80 80						Bohraut

Abb. 5.2: Kernbohrung am Baufeld der Baustelle Hollabrunn (KB4/14-Bauteil S3.25B) [5]

	Stratigraphie		Höhe	Zeichn. Darst.			Benennuna u. Beschreibuna	Proben	Versuche	Bohrloch-	Fražazende	
Tiefe		Tiefe	absolut	GW-	Geet -	Gest		der Gesteinsarten	Kern-	SPT	ausrüstung	Eintragungen
GOK		ab	240.75	beob-	art	L K	Bodengruppe	und des Gefüges	gewinn		(z. B. Pegel)	
9	Grund-Fm.	OOK	m u. A.	ann.	/	9 Z	34	Feinsand, stark schluffig, tonig,				Bohrgut
I-					1.12	00 00	Line de la compañía de	schwach sandig, mitteldicht.gelbbraun, feucht,				
IL					1.1	99 90	nd so fulfig			10	\triangle	
IF					1.1	00 00	5 8 8 8 8				••	
lF .		9.7	231.1		1. 17		5 A					
10		10.0	230.8		230.75		Si L (Schluff, gering blactisch)	Schuff, stark teinsandig, tonig, steif,sehr leicht plastisch,gelbbraun, bergfeucht,			•	
		10.0		Ť	1 1	00	~	Feinsand, stark schluffig, tonig,				
-					1.17	88	d, sta	mitteldicht,gelbbraun, feucht,			•	
-					14	88	12BM				•	
_					· . ,	80	- Ei				\triangle	
					1. 3	00	24 QU 44					
-					. 1	00	naise *					
-"					1. 8	80	and				•.	
╟╴					1.19	80	8					
IL .		11.4	229.4		·	80	'8'					
IL					11:		Ð	schluff, stark tensandig, tonig, halbfest,sehr leicht				
IL					17		88	plastisch,gelbbraun, bergfeucht,				
					1%		Schild				• .	
12					11.		Si L &					
_		12.2	228.6		11.			Palasand and add the tools			\triangle	
					1. Y.	00	Sand, Sand, Muffig	Feinsand, stark schluffig, tonig, schwach sandig,				
-		12.0	228.2		1. 1.	88 88	and Sales	mitteldicht.gelbbraun, feucht, BG si Sa teils schwach schluffig,				
-		12.0	220.2	1	1.1.	**	2044	Schluff, stark feinsandig, tonig,			•.	
-					11.			halbfest,sehr leicht plastisch,gelbbraun, bergfeucht,				
_13					11		(too)	fließende Übergänge zwischen sandigen und schlierigen Lagen,				
					17:		seld					
					12		i i					
					1%.		ann.				•.	
ŀ					11%		L (S					
IL-					11:		vi -					
_14		14.0	226.8		10							
]	<u>_</u> ^.			Schluff, Ton, stark feinsandig, fest,ausgeprägt plastisch,blaugrau,				
-					イン			trocken, teils fetter Ton (riecht t/w. bituminös bis stark organisch) teils			•.	
-					7%			Sandlagen /-schlieren,				
-					7-3						↔	
_					7						•	
15					14.							
					17		8					
IF					1%		asfac					
⊩					7->		d the				•	
ll-					7-1		dafisr					
L					-1:		e to				\triangle	
16					22		LAU					
					1%.		1k 0					
-					77		tisch				•	
-					7-1		alda					
_					-41		the state					
					1- 1-		50					
					1%.		3					
-''					77						•	
⊩					73						•	
IL .					-41						\triangle	
					1							
					1%.							
		48.5	000.0		アン						• .	

Abb. 5.3: Kernbohrung am Baufeld der Baustelle Hollabrunn (KB4/14-Bauteil S3.25B) [5]



Abb. 5.4: Rammsondierung am Baufeld der Baustelle Hollabrunn (B-RS04/14-Bauteil S3.25B) [5]



Abb. 5.5: Kornverteilung einer entnommenen Probe (4,0-4,5 m Tiefe) am Baufeld der Baustelle Hollabrunn (KB4/14-GT1 - Bauteil S3.25B) [5]



Abb. 5.6: Kornverteilung einer entnommenen Probe (7,0-7,5 m Tiefe) am Baufeld der Baustelle Hollabrunn (KB4/14-GT2 - Bauteil S3.25B) [5]



Abb. 5.7: Fließgrenze und Plastizitätsbereich einer entnommenen Probe (7,0-7,5 m Tiefe) am Baufeld der Baustelle Hollabrunn (KB4/14-GT2 - Bauteil S3.25B) [5]

5.1.2 Pfahlgründung des Kulturzentrums in Bad Wiessee (Bayern)

5.1.2.1 Geologische Verhältnisse

Bad Wiessee liegt etwa 50 km südlich von München, am westlichen Ufer des Tegernsees. Ein neues Kurzentrum wird in Ufernähe errichtet (siehe Abb. 5.8). Geologisch gesehen liegt Bad Wiessee im Nord-Süd verlaufendem Taleinschnitt des Tegernsee. In diesem Bereich erstreckt sich die Flyschzone, einem Ausläufer der umliegenden Nordalpen. Der Untergrund besteht überwiegend aus quartären Sedimenten und im Bereich von Bad Wiessee aus den Ablagerungen des Breitenbaches, einem jungquartären Schwemmkegel. Die Mächtigkeit der sedimentären Lockergesteine, darunter sind auch bindige Schwemmsedimente (Seetone), variiert sehr stark. Darunter stehen die Festgesteine der Flyschzone an, welche sich aus Sandsteinen und Kieselkalken zusammensetzen [14].



Abb. 5.8: Lage der Baustelle in Bad Wiessee am Tegernsee [23]

5.1.2.2 Baugrunderkundung

Laut dem Gutachten der Firma Blasy + Mader GmbH [14] sind mehrere Kernbohrungen sowie Schwere Rammsondierungen (DPH), verteilt über das Baufeld, abgeteuft worden. Der bereits im vorherigen Absatz beschriebene geologische Aufbau ließ sich durch die Aufschlüsse bestätigen. Die Schichten von Geländeoberkante bis zum anstehenden Fels bilden hauptsächlich bindige Schwemmsedimente, die sogenannten Seetone, welche eine weiche bis breiige Konsistenz aufweisen. Vereinzelt tretten auch sandige bis kiesige sedimentäre Lockergesteine mit mitteldichter Lagerung auf. Unter diesen sedimentären Schichten befindet sich das anstehende, überwiegend sehr schwer zu bohrende Festgestein. Die Mächtigkeit der Sedimentschichten über das gesamte Baufeld schwankt stark, der Felshorizont verläuft auch nicht horizontal. Dieser fällt von Südwesten nach Nordosten und liegt in etwa 4-6 m sowie in 12-16 m Tiefe unter der Geländeoberkante. Der Grundwasserstand bewegt sich laut temporären Pegeln zwischen 1,5 m bis 2,0 m unter der Geländeoberkante. Die wasserführenden Schichten haben eine sehr geringe Durchlässigkeit, wodurch die Messung des Grundwasserstandes im Kernbohrloch verfälscht wurde und somit temporäre Pegelmessungen zum Einsatz kamen [14]. Die Festgesteinsschicht wurde laut [14] mit Flysch bezeichnet, allerdings wurde das Gestein nicht näher untersucht. Im Zuge der Bauausführung wurde jedoch ein weiterer Gutachter beauftragt, um genauere Untersuchungen durchzuführen. Dabei wurde unter anderem die Druckfestigkeit anhand von einaxialen Druckversuchen bestimmt und das Gestein als Kalkstein identifiziert. Eine detaillierte Beschreibung der Versuchsergebnisse findet sich in Kapitel 6.1.1. Im Allgemeinen wurde für die weiterführende Untersuchung der Maschinenparamter für die Baustelle in Bad Wiessee ein geschichteter Untergrund mit den Schichtpaketen Seeton und Festgestein (Kalkstein) festgelegt. In den Abb. 5.9 bis Abb. 5.12 sind die Ergebnisse aus einer Kernbohrung, Rammsondierung und Laborversuchen an entnommen Bodenproben abgebildet, welche für den späteren Vergleich mit Maschinenparametern herangezogen werden.

8627 - B 1 / DPH 1



Abb. 5.9: Kernbohrung am Baufeld der Baustelle in Bad Wiessee (8627-B1) [14]



8627 - V-TF.5 - DPH 2

Abb. 5.10: Rammsondierung am Baufeld der Baustelle in Bad Wiessee (8627-V-TF.5-DPH 2) [15]



Abb. 5.11: Kornverteilung einer entnommenen Probe (4,3-6,0 m Tiefe) am Baufeld der Baustelle Bad Wiessee (8627-B1) [14]



Abb. 5.12: Fließgrenze und Plastizitätsbereich einer entnommenen Probe (8,8-13,0 m Tiefe) am Baufeld der Baustelle Bad Wiessee (8627-B2) [14]

5.2 Beschreibung der Versuchsreihe

Im Zuge der experimentellen Untersuchungen kam das B-Activity System zur Anwendung, um in den Maschinendaten zu erkennen, welche Parameter sich bei gewissen Arbeitsschritten ändern, vgl. Kapitel 3.1.2.2. Somit war es zu Beginn der Versuche die Aufgabe, alle Arbeitsschritte eines gesamten Arbeitstages möglichst genau zu dokumentieren. Zu diesem Zweck wurden die produktiven Arbeiten noch durch "Rohr holen" und "Rohr aufsetzen" ergänzt. Unerwartete Ereignisse wie beispielsweise Arbeitsabbruch durch Schlechtwetter wurden unter "Sonstiges" dokumentiert. Zwei wichtige Ereignisse in der B-Activity sind "Inbetriebnahme" und "Feierabend", dadurch wurden die einzelnen Arbeitstage eindeutig getrennt, was für die spätere Auswertung von Vorteil war.

5.2.1 Versuchseinrichtung

Damit ein reibungsloser Einsatz der B-Activity Aufzeichnung auf der Baustelle vonstattengeht, muss ein DTR-Modul im Bohrgerät eingebaut und mit einer Sim-Karte ausgestattet sein, siehe Kapitel 3.1.3. Sind ältere Bohrgeräte im Einsatz, werden diese mit dementsprechender Technik nachgerüstet. Bei neueren Bohrgerät-Modellen gehört das DTR-Modul schon zur Standard-Ausstattung.

Für die Bedienung der B-Activity wird vorzugsweise ein Tablet verwendet. Es kann auch ein Mobiltelefon verwendet werden, jedoch ist der kleinere Bildschirm im Vergleich zum Tablet ein Nachteil. Für jede Baustelle wurden die zu dokumentierenden Arbeitsschritte individuell angepasst. Das zentrale Element bildete der Server WEB-BGM. Der Zugang war mit entsprechenden Zugangsdaten über alle herkömmlichen Internetbrowser möglich. Im WEB-BGM lassen sich für jedes einzelne Bohrgerät die Prozesse definieren. Hierbei konnte aus einem Archiv an Arbeitsschritten gewählt werden. Waren gewünschte Prozesse im Archiv nicht verfügbar, bestand auch die Möglichkeit neue Tätigkeiten anzulegen.

Waren für das Bauvorhaben alle benötigten Prozesse angelegt, wurden die zwölf am meist verwendeten als Favoriten am Hauptbildschirm gespeichert. Danach übermittelt das WEB-BGM via DTR-Modul die angelegten Prozesse an das Bohrgerät. In der Nähe des Bohrgeräts, stellte das Tablet über WLAN mit dem Bohrgerät eine Verbindung her und die festgelegten Arbeitsschritte waren am Tablet zu sehen.

5.2.2 Versuchsdurchführung

5.2.2.1 Versuchsablauf auf beiden Baustellen

Durchgeführt wurde die B-Activity Aufzeichnung auf der Baustelle in Hollabrunn, im Zeitraum zwischen 24. und 30.04.2019 sowie am Montag den 06.05.2019. Die Versuche in Bad Wiessee fanden innerhalb von zwei Wochen zwischen 13. und 24.05.2019 statt. An beiden Baustellen war die grundsätzliche Vorgangsweise dieselbe. Die Aufzeichnung startete beim "Ansetzen" an einem neuen Bohrpunkt und ging bis zum letzten, an diesem Tag fertig betonierten Pfahl. Dazwischen wurden sämtliche Arbeitsschritte lückenlos über den ganzen Tag aufgezeichnet.

Die Dokumentation fand mit persönlicher Schutzausrüstung in einem entsprechenden Sicherheitsabstand zum Bohrgerät statt, und zwar in Sichtweite des Poliers sowie des Geräteführers, damit ein leichter Informationsaustausch wie beispielsweise die Dokumentation der Pfahlnummer der jeweiligen Pfähle möglich war. Die Pfahlnummer musste vor Beginn eines neuen Pfahls ebenfalls dokumentiert werden. So waren die einzelnen Pfähle, die über einen Arbeitstag entstanden, im Zuge der Auswertung eindeutig zuordenbar. Im Zuge der Versuche wurden an beiden Baustellen die Aktivitäten von insgesamt 42 Bohrpfählen dokumentiert. In der nachfolgenden Abbildung ist eine typische Anordnung der auszuwählenden Prozesse zu sehen. Ist ein Button blau hinterlegt, so ist dieser Prozess gerade aktiv und wird bis zum Aktivieren des nachfolgenden erfasst. Unter dem Button "Mehr…" können die restlichen Arbeitsschritte, welche nicht am Favoritenbildschirm aufgelistet sind, ausgewählt werden.



Abb. 5.13: Favoritenbildschirm am Tablet bei der Verwendung von B-Activity

5.2.2.2 Technische Details der Baustelle in Hollabrunn

In Hollabrunn kam ein Bauer Bohrgerät BG 30, mit Erkennungsnummer 3915, zum Einsatz. Die Arbeit bestand darin, verrohrte Gründungspfähle mit einem Durchmesser von 90 cm

herzustellen. Die Pfahllängen bewegten sich zwischen 16 m und 18 m. Da kein gespanntes Grundwasser vorgefunden wurde, bestand kein Grund unter Wasserauflast zu bohren. Bei jenen Pfählen, die während der Versuche dokumentiert wurden, kam überall ein Schneckenbohrer als Bohrwerkzeug zum Einsatz. Verrohrung und Rohrschuh mit Wechselstollen waren die üblichen Standardprodukte der Firma Bauer.

5.2.2.3 Technische Details der Baustelle in Bad Wiessee

Auf der Baustelle in Bad Wiessee waren drei Großbohrgeräten im Einsatz. Jedoch standen wegen fehlenden DTR-Moduls nur zwei Bohrgeräte für die B-Activity Aufzeichnung zur Verfügung. Die Arbeiten einer Bauer BG 30 (3921) und einer Bauer BG 39 (3640) konnten in Bad Wiessee dokumentiert werden. Die BG 30 arbeitete während der Versuchsreihe im südwestlichen Bereich der Baustelle und stellte Gründungspfähle mit Durchmesser 90 cm und Pfahllängen von 6 m bis 9 m her. Wie schon bei den Baugrundverhältnissen geschildert, liegt in diesem Bereich der Baustelle der Felshorizont zwischen 5 m bis 7 m unter der Geländeoberkante. Ein deutlich erschwertes Bohren war die Folge. Im Bereich bis zum Felshorizont konnte der Seeton mittels Kastenbohrer gelöst werden. Ab dem Festgestein musste auf eine Felsschnecke gewechselt werden. Die restliche Bohrausrüstung waren bei beiden Maschinen Bauer Standardrohre und -rohrschuhe mit Wechselstollen.

Das Großbohrgerät BG 39 (3640) arbeitete während der Versuchszeit im nördlichen Bereich der Baustelle, stellte dort Gründungspfähle mit Durchmesser 90 cm und 120 cm, mit Pfahllängen von ca. 12 m bis 14 m her. Da der Felshorizont von Südwesten nach Nordwest abfiel, konnte im Bereich der BG 39 eine längere Strecke mit dem Kastenbohrer gebohrt werden. Ab dem Festgestein wurde wieder auf eine Felsschnecke gewechselt.

Unter Wasserauflast bohren war auf der Baustelle nicht erforderlich, da kein gespanntes Grundwasser erkundet wurde. Durch Fertigstellung der Baugrubenumschließung durch eine überschnittene Bohrpfahlwand und nachträglicher Grundwasserabsenkung, war kein Bohren unter dem Grundwasserspiegel nötig.

5.3 Auswertung der B-Tronic - Aufzeichnung

Die auf den Baustellen zeitlich erfassten Aktivitäten durch das B-Activity System dienten bei der Auswertung der B-Tronic Maschinendaten als Interpretationshilfe. Durch die Gegenüberstellung dieser beiden Aufzeichnungen wird eine zeitliche Verbindung hergestellt, die einzelne Prozesse des Kelly-Bohrverfahren identifizieren sollen. Die im Kapitel 4.1 vorgestellte Interpretation einzelner Maschinendaten und Prozesse kann durch diese Gegenüberstellung validiert werden. Auf Basis dieser Auswertung sollen Grundlagen für Algorithmen bzw. Auswertungsmuster geschaffen werden, die in der Zukunft einer automatischen Auswertung der B-Tronic Maschinendaten dienen.

5.3.1 Datenaufbereitung

5.3.1.1 Auswahl der auszuwertenden Daten

Über den Server WEB-BGM ist ein Zugang auf die B-Tronic sowie die B-Activity Datenaufzeichnung möglich. Mit Hilfe der Identifikationsnummer des Bohrgeräts und dem Zeitraum der Aufzeichnung werden die Daten gefiltert und können im Anschluss auf einem lokalen Server gespeichert werden. Die B-Tronic Daten sind in unterschiedlicher Auflistung verfügbar, sortiert nach Zeit (@time data) oder Tiefe (@depth data). Für diese, im Zuge der Diplomarbeit ausgearbeitete Auswertungsmethode, müssen die B-Tronic Daten zeitlich strukturiert sein. Das sind jene Werte der unterschiedlichen Parameter, die im Sekundentakt gespeichert wurden.

5.3.1.2 Unterstützendes Excel Makro

Die über den Datenserver heruntergeladenen Dateien sind Excel-Tabellen mit immer gleicher Struktur. Es lag nahe, ein Excel-Makro für die Auswahl der zu untersuchenden Sensordaten zu programmieren. Die relevanten Maschinendaten waren Drehmoment, Bohrtiefe, Vorschubkraft, Vorschubtiefe und die hydraulischen Drücke der Pumpen 1 bis Pumpe 4. Mit Hilfe des programmierten Excel-Makros ließ sich der Aufwand für die Datensortierung bzw. für die Datenauswahl erheblich minimieren. Ein Beispiel dieser Excel-Maske, in der die Daten geladen werden, ist in Abb. 5.14 dargestellt.

@TIME data Tiefe (m)	Drehmoment [%]	Drehmoment [kNm]	Vorschub-Kraft [t]	Pumpe 1+2+3+4	Vorschubtiefe [m]	Uhrzeit	ہد Prozess		B-Tro	nic laden	
1,63	15	65	0	232	0,19	08:39:37	Bohren	Korrektur	1,63	0	0
1,63	20	78	0	360	0,19	08:39:38	Bohren			0	1,8
1,66	17	68	-3,7	327	0,19	08:39:39	Bohren			0,03	3
1,71	26	96	-25,5	479	0,25	08:39:40	Bohren			0,08	5,4
1,8	26	110	0	472	0,34	08:39:41	Bohren			0,17	1,8
1,83	21	86	-1,7	385	0,34	08:39:42	Bohren			0,2	1,2
1,85	23	109	-24,6	427	0,39	08:39:43	Bohren			0,22	3,6
1,91	28	115	23,7	521	0,48	08:39:44	Bohren			0,28	4,8
1,99	27	111	-21,1	478	0,5	08:39:45	Bohren			0,36	1,2
2,01	33	139	-25,1	590	0,58	08:39:46	Bohren			0,38	4,2
2,08	35	119	0	563	0,61	08:39:47	Bohren			0,45	2,4

Abb. 5.14: Maske des Excel-Makros

5.3.1.3 Zeitlicher Zusammenhang zwischen den Datensätzen

Um den durch das Makro geladenen Maschinensätzen eine zeitliche Referenz zu zuordnen, muss der Startzeitpunkt der B-Tronic Aufzeichnung bekannt sein. Das Excel Makro übernimmt diese Aufgabe und lädt das richtige Datum sowie den Startzeitpunkt der Datenaufzeichnung. Die sekündlich aufgezeichneten Maschinendaten erhalten dadurch eine absolute Zeitzuordnung, siehe Abb. 5.15.

	T	B-Tron	ic laden	
Uhrzeit	Prozess			
08:06:38		Startpfahl	GP?	
08:06:39		Datum	14.05.2019	
08:06:40		Startzeit	08:06:38	乙
08:06:41		Intervall	00:00:01	
08:06:42				

Abb. 5.15: Zeitlichen Bezug herstellen

Da es jedoch Unterschiede in der Art der Speicherung von Maschinendaten gibt, ist unbedingt zu überprüfen, ob in einer geladenen B-Tronic Datei ein oder mehrere Arbeitstage gespeichert sind. Dies lässt sich am besten online, im B-Report überprüfen. Der B-Report zeigt die in einer B-Tronic Datei gespeicherten Datensätze über die Zeit an. Falls, wie in Abb. 5.16 gezeigt, mehrere Arbeitstage in einer Datei zusammengefasst sind, ist dies in der Zeitstrahlgrafik des **B-Reports** deutlich erkennbar. Im Vergleich dazu. ist in Abb. 5.17 die Maschinendatenaufzeichnung über einen einzigen Tag zu sehen. Über die einzelnen aufgezeichneten Parameter lässt sich nun der Beginn und das Ende eines Arbeitstages in den geladenen Excel-Daten lokalisieren und die richtige Uhrzeit eintragen. Das heißt, die bereits durch das Makro erstellten Uhrzeiten müssen bei wichtigen Meilensteinen richtiggestellt werden. Das Bohrgerät sendet nämlich nur Daten, wenn der Motor des Bohrgeräts in Betrieb ist. Wichtige Meilensteine, bei denen das Bohrgerät nicht in Betrieb ist, sind längere Pausen wie etwa die Mittagspause, oder eventuelle Nachtzeiten. Nachtzeiten sind jene Zeiten zwischen Feierabend und Arbeitsbeginn des nächstfolgenden Tages.



Abb. 5.16: B-Tronic Datei mit mehreren Arbeitstagen [13]



Abb. 5.17: B-Tronic Datei mit einem Arbeitstag [13]

Wie in den Abbildungen Abb. 5.16 und Abb. 5.17 zu erkennen ist, berücksichtigt der B-Report bereits die Pausen. In den heruntergeladenen B-Tronic Datensätzen werden jedoch die Pausen nicht eingerechnet. Dadurch musste auf die Berücksichtigung der Pausen eingegangen werden, da die Datenauswertung auf den B-Tronic Daten basiert. Bei allen nachfolgenden Pfahlauswertungen ist die Richtigkeit und Plausibilität der zeitlichen Aufbereitung der Daten überprüft worden.

An dieser Stelle sollte noch erwähnt sein, dass während der Auswertung der Daten der Baustelle Hollabrunn eine weitere Art der Datenspeicherung erprobt wurde. Bei dieser Variante wird ein Arbeitstag in mehrere einzelne Datensätze aufgeteilt. Da der Geräteführer bei jedem neuen Pfahl die Pfahlbezeichnung ins System eingetragen hatte, erfolgte eine Datensatzspeicherung je Pfahl. Ein möglicher Lösungsansatz wäre die Vereinheitlichung der Datenspeicherung. Dieses Thema wird in Kapitel 5.4 näher diskutiert.

5.3.1.4 Abgrenzung des Prozesses "Bohren"

Nach Synchronisierung der Messdaten konnte mit der Lokalisierung der einzelnen Prozesse "Bohren" im Zuge einer Pfahlherstellung begonnen werden. Durch die Erkenntnisse aus der anschaulichen Betrachtung der Datensätze in Kapitel 4.1, ist bekannt, dass der Bohrprozess anhand der Parameteraufzeichnung von Bohrtiefe und Drehmoment lokalisiert werden kann. Der Prozess "Bohren" liegt vor, sobald die Bohrtiefe stetig steigt oder vereinzelt stagniert und das Drehmoment in einem Bereich kleiner als 150 kNm liegt. Der in diesem Fall gewählte Drehmomentbereich wurde auf Basis der ausgewerteten Pfähle gewählt und hängt dadurch von den jeweiligen Untergrundverhältnissen ab. Der Drehmomentbereich für den Prozess "Bohren" muss für jedes Projekt neu definiert werden. Mit diesen Informationen bezüglich Bohrtiefe und Drehmoment konnten alle Prozesse "Bohren", die im Zuge der Pfahlherstellung notwendig sind, lokalisiert werden.

@TIME data Tiefe [m]	Drehmoment [kNm]	Uhrzeit	B-Tronic laden				
1,87	0	08:38:25	-		[m]	Abs Tiefe	Bohrgeschw.
1,63	65	08:39:37	Bohren	Korrektur	1,63	0	0
1,63	78	08:39:38	Bohren			0	1,8
1,66	68	08:39:39	Bohren			0,03	3
1,71	96	08:39:40	Bohren			0,08	5,4
1,8	110	08:39:41	Bohren			0,17	1,8
1,83	86	08:39:42	Bohren			0,2	1,2
1,85	109	08:39:43	Bohren			0,22	3,6
1,91	115	08:39:44	Bohren			0,28	4,8
1,99	111	08:39:45	Bohren			0,36	1,2
2,01	139	08:39:46	Bohren			0,38	4,2
2,08	119	08:39:47	Bohren			0,45	2,4
2,12	136	08:39:48	Bohren			0,49	1,8
2,15	131	08:39:49	Bohren			0,52	1,8
2,18	132	08:39:50	Bohren			0,55	1,8
2,21	134	08:39:51	Bohren			0,58	1,2

Abb. 5.18: Abgrenzung eines Prozesses "Bohren" in den aufgezeichneten B-Tronic Maschinendaten

Eine wichtige Erkenntnis über die Bohrtiefe wurde im Zuge der Auswertung gewonnen. Da der/die Geräteführer/in den Bohrtiefen-Nullpunkt an der Oberkante der Verrohrung definiert, ist die Tiefe in der linken Spalte in Abb. 5.18 die relative Bohrtiefe. Um allerdings im späteren

Verlauf der Untersuchungen die Parameterdaten mit Rammsondierung vergleichen zu können, ist die Ermittlung der absoluten Bohrtiefe unumgänglich. Dadurch musste eine Korrektur der relativen Bohrtiefen vorgenommen werden, um die absoluten Bohrtiefen, d.h. die Tiefen ab der Geländeoberkante zu erhalten. Hierfür war es notwendig, den Verrohrungsüberstand bezogen auf die Geländeoberkante zu definieren. Wie in Abb. 5.19 dargestellt, resultiert die absolute Bohrtiefe aus der relativen Bohrtiefe abzüglich des Verrohrungsüberstandes. Diese Erkenntnis war zum Zeitpunkt der Feldversuche noch nicht bekannt, wodurch der Rohrüberstand nicht bei jedem neuen Aufsetzen eines Bohrrohrs gemessen wurde. Durch die Tatsache, dass der/die Geräteführer/in, um die Bohr-Endtiefe zu überprüfen, den Bohrtiefen-Nullpunkt an der Geländeoberkante setzte, wurde die absolute Bohrtiefe in der B-Tronic Aufzeichnung festgehalten. Dadurch konnten von dieser gemessenen absoluten Endtiefe ausgehend die Rohrüberstände bei den einzelnen Bohrgängen rückwirkend definiert werden, wodurch die absolute Bohrtiefe für alle Bohrgänge errechnet werden konnte.



Abb. 5.19: Unterschied zwischen relativer und absoluter Bohrtiefe

Für die Aktivität "Bohren" war nun die Dauer, die absolute Bohrtiefe und das zugehörige Drehmoment für jeden Bohrgang bekannt.

5.3.1.5 Abgrenzung des Prozesses "Rohrvortrieb"

Der Prozess "Rohrvortrieb" konnte ebenfalls anhand der aufgezeichneten Parameter in den Datensätzen lokalisiert werden (siehe Kapitel 4.1.1). Dabei spielten wiederum die Parameter Bohrtiefe und Drehmoment die entscheidende Rolle. Die Lokalisierung der Aktivität in den Datensätzen ist im Wesentlichen ähnlich zur Aktivität "Bohren", jedoch ist der Bereich, indem sich das Drehmoment bewegt, betragsmäßig deutlich größer. Wie in Abb. 5.20 zu erkennen ist, sind die aufgezeichneten Werte des Drehmoments großteils über 300 kNm. Auf Basis des maximalen Drehmoments aus dem Prozess "Bohren", wurde die unterste Schwelle des Drehmoments für die Aktivität "Rohrvortrieb" mit 150 kNm festgelegt. Allerdings gilt diese Annahme nur für die beiden untersuchten Projekte. Der Bereich des Drehmoments muss bei jedem neuen Projekt anhand der Untergrundverhältnissen neu gewählt werden.

@TIME data	Drehmoment [kNm]	Uhrzeit	B-Tronic laden			
1,97	113	08:38:10	Rohrvortrieb			
1,97	390	08:38:11	Rohrvortrieb			
1,97	365	08:38:12	Rohrvortrieb			
1,97	336	08:38:13	Rohrvortrieb			
1,97	182	08:38:14	Rohrvortrieb			
1,89	208	08:38:15	Rohrvortrieb			
1,88	352	08:38:16	Rohrvortrieb			
1,87	356	08:38:17	Rohrvortrieb			
1,87	367	08:38:18	Rohrvortrieb			
1,87	357	08:38:19	Rohrvortrieb			
1,87	365	08:38:20	Rohrvortrieb			
1,87	345	08:38:21	Rohrvortrieb			
1,87	0	08:38:22	Rohrvortrieb			
1,87	335	08:38:23	Rohrvortrieb			
1,87	355	08:38:24	Rohrvortrieb			



Wie bereits beim Prozess "Bohren" beschrieben, muss die absolute Bohrtiefe bestimmt werden, um in weiterer Folge die Bohrdaten mit den Ergebnissen der Rammsondierungen in Bezug auf die Geländeoberkante vergleichen zu können. Beim Prozess "Rohrvortrieb" erwies sich die Ermittlung der absoluten Rohrvortriebstiefe als nicht zielführend, da es an relevanten Parametern für die Bestimmung der Tiefe mangelte. Zu Beginn der Auswertungen wurde versucht, die Rohrvortriebstiefe anhand der Vorschubtiefen zu ermitteln. Im Zuge der Auswertung wurden die Maximalwerte der Vorschubtiefen der einzelnen Schritte des Rohrvortriebs ermittelt und addiert. Das Ergebnis dieser Summation hätte in etwa die Bohrendtiefe ergeben müssen. Das Ergebnis weichte jedoch von der Bohrendtiefe maßgeblich ab. Folglich ist die Ermittlung der Tiefe beim Rohrvortrieb als unzuverlässig anzusehen. Aus diesem Grund konnten die Zusammenhänge zwischen Maschinendaten und Daten aus Bodenerkundungen beim Prozess "Rohrvortrieb" nicht untersucht werden.

5.3.2 Datenauswertung

5.3.2.1 Grundlagen

Durch die Erkenntnisse aus der Datenaufbereitung, dass ein Zusammenhang zwischen der Rohrvortriebstiefe und den einzelnen Maschinensätzen der Rohrvortriebe nicht herstellbar ist, begrenzen sich die nachfolgenden Auswertungen der Maschinenparameter nur auf die Aktivität "Bohren". In Folge dessen wurden die Parameter Drehmoment, Vorschubkraft, Hydraulikdrücke sowie die Bohrgeschwindigkeit über die Bohrtiefe ausgewertet und grafisch dargestellt. Für die grafische Aufbereitung der zu untersuchenden Maschinenparameter wurde exemplarisch ein Bohrpfahl der Baustelle in Hollabrunn und ein Bohrpfahl der Baustelle in Bad Wiessee gewählt.

Die wichtigsten Merkmale der grafischen Auswertung sind in folgender Auflistung der Maschinenparameter jeweils kurz beschrieben:

Bohrgeschwindigkeit:

Die Bohrgeschwindigkeit wurde auf Basis des zeitlichen Verlaufs der Bohrtiefe errechnet und in m/min ausgedrückt. Die Bohrgeschwindigkeit ließ sich in weiterer Folge über die gesamte Bohrtiefe grafisch darstellen. Für eine spätere Gegenüberstellung war es notwendig den Mittelwert der sekündlich aufgezeichneten Bohrgeschwindigkeiten je "Bohren" zu bilden. Wie in Abb. 5.21 zu erkennen ist, bewegt sich die Bohrgeschwindigkeiten der Baustelle in Hollabrunn zwischen 5 m/s und 10 m/s. Die unterschiedlichen Bohrgeschwindigkeiten über die Tiefe sind wahrscheinlich auf die Zusammensetzung der Bodenschichten und damit auf die Lagerungsdichte bzw. Konsistenz zurückzuführen. Bei der Baustelle in Bad Wiessee musste auf logischen Überlegungen basierend ein deutlicher Unterschied der Bohrgeschwindigkeiten zwischen Seeton und Festgestein bestehen. Diese Annahme wurde durch die grafische Aufbereitung der Bohrgeschwindigkeiten über die Tiefe in Abb. 5.22 bestätigt.

Hydraulikdruck:

Um das Zusammenwirken der Pumpen 1 bis 4 ermitteln zu können, musste der Hydraulikplan der Bohrgeräte betrachtet werden. Dadurch konnte bestimmt werden, welche Pumpen am Bohrprozess beteiligt sind. Diese Information ist für die weiterführende Auswertung von Bedeutung. Die Pumpenkapazität und die Beteiligung am Bohrprozess wurden bereits in Kapitel 3.2.1.2 erläutert. Jedoch sind während der grafischen Aufbereitung der Pumpendrücke Widersprüche gegenüber dem Hydraulikplan aufgetreten. Laut Hydraulikplan ist die Pumpe 4 eine kleinere Pumpe mit ca. 50 bar Maximaldruck. Die Parameterauswertung ergab allerdings einen Maximaldruck von etwa 200 bar. Demnach ergaben sich zwei Szenarien, bei welchen einerseits die Pumpenbezeichnungen von Pumpe 3 und Pumpe 4 vertauscht sind. Des Weiteren ist die Datenerfassung mittels Sensortechnik etwas ungenau und die maximalen Werte von Pumpe 1 und Pumpe 2 beinhalten Fehlmessungen in der Aufzeichnung. Auffallend bei der Betrachtung der Maximalwerte der Pumpen sind die annähernd gleichen Werte von Pumpe 1 und 2 sowie Pumpe 3 und 4. Anhand dieser Erkenntnis zeichnete sich folgendes Bild der am Bohrprozess beteiligten Pumpen: Die Pumpen 1 und 2 sind in erster Linie für die Bereitstellung des Hydraulikdrucks für den Bohrvorgang zuständig. Unterstützt werden diese von Pumpe 3 und Pumpe 4 und zwar im gleichen Ausmaß. Auf dieser Tatsache basierend wurden die Pumpendrücke aller vier Pumpen addiert und für die weiterführenden Korrelationen verwendet. Durch den Zusammenhang zwischen Hydraulikdruck und Drehmoment ist ein ähnliches Verhalten der beiden Parameter zu beobachten. Beim Vergleich von Abb. 5.23 und Abb. 5.25 der Parameter Hydraulikdruck und Drehmoment der Baustelle in Hollabrunn wird das ähnliche Verhalten sichtbar.

Neben dem Zusammenhang zwischen Hydraulikdruck und Drehmoment ist die Schichtgrenze der Baustelle in Bad Wiessee zwischen Seeton und Festgestein in Abb. 5.24, der Darstellung

des Hydraulikdrucks über die Tiefe, eindeutig erkennbar. Ab einer Tiefe von etwa 16 m ist ein stark ansteigender Hydraulikdruck im Vergleich zum Bereich Seeton feststellbar.

Drehmoment:

In Abb. 5.25 sind die aufgezeichneten Drehmomente je Aktivität "Bohren" über die Tiefe dargestellt und als Bohrgang mit fortlaufender Nummer farblich gekennzeichnet. Je Bodenschicht wurde ein durchschnittliches Drehmoment berechnet und mit vertikaler Linie im Diagramm gekennzeichnet. Auf der Baustelle in Hollabrunn wurde aufgrund der Untergrundverhältnisse ein durchschnittliches Drehmoment für das Schichtpaket schluffiger Sand dargestellt. Wie in Abb. 5.25 zu erkennen ist, wurde das Schichtpaket mit durchaus konstantem Drehmoment aufgeschlossen.

Die Drehmomentdarstellung in Abb. 5.26 der Baustelle in Bad Wiessee zeigt eine gewisse Überlappung einzelner Bohrgänge. Zurückzuführen ist dies auf die Tatsache, dass beim Ziehen des Bohrwerkzeugs ein kleiner Anteil des Bohrgutes im Bohrloch zurückbleibt, wodurch beim darauffolgenden "Bohren" von einer geringeren Tiefe begonnen wird zu bohren. Ein lokal sehr stark ansteigendes Drehmoment ist in einer Bohrtiefe von etwa 16 m zu beobachten, wodurch die Schichtgrenze zwischen Seeton und Festgestein erkennbar ist.

Vorschubkraft:

Wie in Abb. 5.27 zu erkennen ist, wurde auch die Vorschubkraft je "Bohren" über die Bohrtiefe dargestellt. Negative Werte der Vorschubkraft entsprechen Druckkräften und Positive Zugkräften. Das Auftreten von positiver Vorschubkraft während eines Bohrgangs lässt sich auf die Arbeitsweise des/der Geräteführer/in zurückführen. Positive Werte entstehen durch das kurzzeitige Anheben des Bohrwerkzeuges während eines Bohrgangs. Ansonsten überwiegen beim Bohrvorgang die negativen Werte, die Druckkräfte. Auf der Baustelle in Hollabrunn ist eine durchwegs regelmäßige Vorschubkraft erkennbar.

In Abb. 5.28, der Aufzeichnung der Vorschubkraft der Baustelle in Bad Wiessee, sind große Schwankungen der Vorschubkraft zu beobachten. Ein auffälliger lokaler Anstieg der Vorschubkraft ist bei der grafischen Darstellung nicht zu beobachten, dadurch lässt sich ein Wechsel der Untergrundverhältnisse bzw. eine Schichtgrenze nicht feststellen. Zudem ist auch der zeitliche Verlauf der Vorschubkraft durchaus oszillierend und in weiterer Folge nur schwer mit geotechnischen Parametern zu vergleichen. Aus diesem Grund wurde die Vorschubkraft für weiterführende Untersuchungen nicht verwendet. Die grafische Darstellung der Vorschubkraft über die Tiefe, wie in Abb. 5.27 und Abb. 5.28 zu sehen, wurde jedoch für sämtliche aufgezeichnete Pfähle beider Baustellen durchgeführt.





Abb. 5.21: Bohrgeschwindigkeit über die Bohrtiefe am Beispiel des Bohrpfahls BP-034 – Baustelle Hollabrunn



Abb. 5.22: Bohrgeschwindigkeit über die Bohrtiefe am Beispiel des Bohrpfahls GP-046 – Baustelle Bad Wiessee

5.3.2.3 Hydraulikdruck



Abb. 5.23: Hydraulikdruck über die Bohrtiefe am Beispiel des Bohrpfahls BP-034 – Baustelle Hollabrunn



Abb. 5.24: Hydraulikdruck über die Bohrtiefe am Beispiel des Bohrpfahls GP-046 – Baustelle Bad Wiessee



5.3.2.4 Drehmoment

Abb. 5.25: Drehmoment über die Bohrtiefe am Beispiel des Bohrpfahls BP-034 – Baustelle Hollabrunn



Abb. 5.26: Drehmoment über die Bohrtiefe am Beispiel des Bohrpfahls GP-046 – Baustelle Bad Wiessee





Abb. 5.27: Vorschubkraft über die Bohrtiefe am Beispiel des Bohrpfahls BP-034 – Baustelle Hollabrunn



Abb. 5.28: Vorschubkraft über die Bohrtiefe am Beispiel des Bohrpfahls GP-046 – Baustelle Bad Wiessee

5.4 Erfahrungen mit B-Tronic Aufzeichnung

Anhand der bis zum jetzigen Zeitpunkt durchgeführten Datenaufbereitung und Datenauswertung von B-Tronic Datensätzen konnten Erfahrungen gewonnen werden. Nachfolgend wird auf die Erkenntnisse eingegangen und manche Funktionsweisen der B-Tronic etwas genauer unter die Lupe genommen.

5.4.1 Vereinheitlichung der Datenspeicherung

Die unterschiedlichen Arten der Datenspeicherung sind zu Beginn dieses Kapitels schon aufgelistet worden. Um in Zukunft B-Tronic Datenaufzeichnungen vermehrt nutzen zu können, ist eine einheitliche Datenspeicherung aller Datensätze essentiell. Die Datenspeicherung je Arbeitstag oder je Bohrpfahl erscheinen die besten Möglichkeiten zu sein. Die Datenspeicherung sollte auf die Programme abgestimmt sein, die für die Datenverarbeitung eingesetzt werden. Aus den Erfahrungen im Zuge dieser Arbeit kristallisierte sich die Speicherung je Arbeitstag als die günstigere Variante heraus.

5.4.2 Aufzeichnung der absoluten Tiefe

Um tiefenbezogene Bohrdaten und Daten aus geotechnischen Aufschlussmethode vergleichen zu können, muss ein gemeinsamer Höhenbezug Voraussetzung sein. Dies konnte im Zuge dieser Arbeit mit einem Korrekturfaktor gewährleistet werden, damit sich die Bohrdaten auf die Geländeoberkante beziehen. Zukünftig sollte eine automatische Umrechnung von relativer auf absolute Bohrtiefe möglich sein. Nach Rücksprache mit Vertretern der Fa. Bauer Maschinen ist ein solcher Aufsatz für die B-Tronic der Bohrgeräte bereits entwickelt, jedoch steht diese Parameteraufzeichnung nur bei neueren Geräten zur Verfügung. Die Aufzeichnung der absoluten Bohrtiefe wird in Zukunft einen leichteren Umgang mit den tiefenbezogenen Maschinendaten schaffen.

Ein System zur absoluten Tiefenaufzeichnung wäre auch für die Aktivität "Rohrvortrieb" hilfreich. Zum derzeitigen Stand der Datenaufzeichnung war es nicht möglich, einen Bezug zwischen Geländeoberkante und Verrohrungstiefe herzustellen. Eventuell könnte eine separate Tiefenaufzeichnung für die Verrohrung zum Ziel führen. Sowie bei der Bohrtiefenaufzeichnung setzt der/die Geräteführer/in den Startpunkt der Tiefenaufzeichnung. Im Fall der Verrohrung würde der Startpunkt beim Ansetzen der Verrohrung gesetzt werden. Anschließend könnte die jeweilige Verrohrungstiefe aufgrund der Vorschubtiefen berechnet werden.

5.4.3 Bezeichnung Hydraulikpumpen

Ob und welche Rolle die Hydraulikdruckaufzeichnung bei einer zukünftigen automatischen Prozesserkennung spielt, kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht beantwortet werden. Nichts desto trotz sollte die Nummerierung der Pumpen in der Datenerfassung dieselbe sein wie im Hydraulikplan des Bohrgerätes. Somit ist klar definiert welche Pumpe wieviel Druck erzeugen kann.

6 Gegenüberstellung und Interpretation der Untersuchungsergebnisse aus geotechnischer Sicht

Anhand der Auswertung eines ausgewählten Datensatzes der Baustellen in Hollabrunn und in Bad Wiessee werden nachfolgend diverse Zusammenhänge zwischen Maschinenparametern und Untergrundeigenschaften aufgezeigt und diskutiert. Dafür werden die relevanten Maschinendaten, die Bohrgeschwindigkeit und das Drehmoment, herangezogen und diese mit Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH) verglichen.

6.1 Datenaufbereitung

6.1.1 Anpassung der Rammsondierung an die aufgezeichnete Bohrtiefe

Die bereits aus der Datenauswertung bekannten Informationen zu den einzelnen Maschinendaten konnten für die gegenständliche Gegenüberstellung verwendet werden. Die Parameter Drehmoment, Hydraulikdruck und Bohrgeschwindigkeit sind über die gesamte Pfahllänge bekannt. Wie in Abb. 6.3 und Abb. 6.2 zu sehen, wurden für beide Baustellen sämtliche Parameter den einzelnen Bohrgängen zugeordnet.

Im ersten Schritt musste ein Höhenbezug zwischen den einzelnen Bohrgängen und den Schlagzahlen aus den Rammsondierungen hergestellt werden. Basierend auf den Informationen aus den Gutachten der beiden Baustellen konnten die Schlagzahlen aus den Rammsondierungen den Bohrgängen zugewiesen und je Bohrgang gemittelt werden. Dabei wurde für jede Pfahlauswertung immer die nächstgelegene Rammsondierung verwendet. Um den Höhenbezug zwischen Schlagzahlen und Bohrtiefe richtig herzustellen, musste die Ansatzhöhe der Pfahlbohrung und der Rammsondierung verglichen werden. Befand sich das Arbeitsplanum zum Zeitpunkt der Bauausführung unterhalb der Ansatzhöhe der Rammsondierung, waren sämtliche Schlagzahlen bekannt und konnten der Bohrtiefe zugeordnet werden. Lag die Ansatzhöhe zum Zeitpunkt der Voruntersuchung durch die Schwere Rammsondierung allerdings unter der Höhe des Arbeitsplanums während der Pfahlherstellung, fehlte die Information über die Schlagzahlen für diesen Bereich des Höhenunterschieds. Dadurch konnten keine Schlagzahlen für den Vergleich herangezogen werden.

Aufgrund der Tatsache, dass Rammsondierungen nur im Lockergestein möglich sind, konnten keine Schlagzahlen für die Festgesteinsschicht der Baustelle in Bad Wiessee ermittelt werden. Es musste anderwärtig ein Bezug zwischen Festgestein und Schlagzahlen der Schweren

Rammsondierung geschaffen werden, um in weiterer Folge den Vergleich von Boden und Festgestein gewährleisten zu können. Die Grundlage für den Bezug zwischen Festgestein und Schlagzahlen bildete die einaxiale Druckfestigkeit von Festgesteinsproben. Aufgrund der erheblichen Erschwernisse beim Bohren der Festgesteinsschicht auf der Baustelle in Bad wurde eine hohe Festigkeit des Festgesteins vermutet. Um die Wiessee Festigkeitseigenschaften des Gesteins zu bestimmen, wurde das Karlsruher Institut für Technologie [20] beauftragt, einaxiale Druckversuche an entnommenen (KIT) Festgesteinsproben durchzuführen. In Abbildung Abb. 6.1 ist das σ - ϵ - Diagramm eines einaxialen Druckversuchs abgebildet, wodurch ein guter Eindruck entsteht, in welchem Festigkeitsbereich sich die Druckfestigkeit der Festgesteinsschicht der Baustelle in Bad Wiessee bewegt. Die Gesteinsart wurde laut Bodengutachten [14] als Flysch bezeichnet, wohingegen im Zuge der näheren Untersuchungen des Karlsruher Instituts für Technologie das Festgestein als Kalkstein bestimmt wurde [20].



Abb. 6.1: Beispiel eines Versuchsprotokolls des Einaxialen Druckversuchs an einer entnommen Kalksteinprobe der Baustelle in Bad Wiessee [20]

Laut Versuchsbericht wurden an 25 unterschiedlichen Gesteinsproben Druckversuche zur Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit durchgeführt. Daraus lässt sich eine mittlere Druckfestigkeit des Kalksteins von 200 MPa errechnen [20]. Diese Druckfestigkeit ist mit Granit vergleichbar, welcher beim einaxialen Druckversuch eine Druckfestigkeit von in etwa 210 MPa erreichen kann. Ein herkömmlicher Stahlbeton der Betonsorte C25/30 weist im Vergleich eine einaxiale Zylinderdruckfestigkeit von 25 MPa auf [3]. Aufgrund der einaxialen Druckfestigkeit von 200 MPa kann die Kalksteinschicht der Baustelle in Bad Wiessee als eine Gesteinsschicht mit hoher Festigkeit nach [16] angesehen werden.

Tabelle Tab. 6.1 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Zustand von bindigen und nichtbindigen Böden sowie Schlagzahlen der Schweren Rammsonde nach [24]. Die empirischen Zusammenhänge zwischen Bodenverhältnissen und Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung in Tab. 6.1 wurden aus einer Vielzahl an Versuchsergebnissen abgeleitet. Derartige Zusammenhänge zwischen Sondierergebnissen und Bodeneigenschaften sind beispielsweise in den Regelwerken EN 1997-2 [18], ÖNORM B 4419 [22], DIN 4094 [17] und in der Fachliteratur zu finden. Dabei ist für sehr dicht gelagerte nichtbindige Böden und für feste bindige Böden eine Schlagzahl $N_{10} > 30$ angeführt. Aufgrund der oben beschriebenen hohen Festigkeit der Felsschicht wurde der Kalksteinschicht der Baustelle in Bad Wiessee ein rein theoretischer N_{10} -Wert von ≥ 30 Schlägen zugewiesen, obwohl klar ist, dass die Sondenspitze definitiv nicht in die Festgesteinsformation eindringen kann Diese Annahme dient dazu, um den Vergleich zwischen Seeton und Fels grafisch überhaupt erst darstellen zu können.

Bodenzustan	ld	Schwere Rammsonde	Relative Dichte	
Nichtbindiger Boden und geschütteter bindiger Boden	Gewachsener bindiger Boden	DPH N ₁₀ , [-]	D _{Pr} [%]	
sehr locker	weich	≤ 2	≤ 90	
locker	steif	2 - 7	90 - 95	
		7 – 12	95 – 97	
milleidicht	halbfest	12 - 15	97 - 98	
dicht		15 – 30	98 – 100	
sehr dicht	fest	> 30	> 100	

Tab. 6.1: Zusammenhang zwischen Lagerungsdichte bzw. Konsistenz von Böden und denSchlagzahlen der Schweren Rammsondierung [24]

6.1.2 Aufbereitung der Maschinendaten und der Ergebnisse der Rammsondierungen

Vorerst wurden je Bohrgang die Mittelwerte für Bohrgeschwindigkeit, Drehmoment und Hydraulikdruck gebildet. Dadurch ließ sich die Gegenüberstellung der Maschinendaten mit den Daten der Rammsondierung einfacher gestalten. Aufgrund der vorherrschenden Untergrundverhältnisse auf der Baustelle Hollabrunn wurde eine Bodenschicht definiert. Anhand der Informationen aus den Aufschlussbohrungen wurde ein Schichtparket mit der Bezeichnung schluffiger Sand festgelegt [4], [5]. Für die Parameter Bohrgeschwindigkeit und
Drehmoment wurden in weiterer Folge die Maximalwerte jedes Bohrgangs bestimmt, um die Veränderung der Werte über die einzelnen Aktivitäten "Bohren" charakterisieren zu können. In Abb. 6.2 sind diese Parameter für einen ausgewählten Bohrpfahl angeführt.

Die Maschinenparameter der Baustelle in Bad Wiessee wurden in gleicher Weise aufbereitet, jedoch wurden aufgrund der vorherrschenden Untergrundverhältnisse die Prozesse "Bohren" jedes Bohrpfahls nach Seeton und Festgestein unterschieden. Eine Parameterauswertung je Bohrgang ist für die Baustelle in Bad Wiessee in Abb. 6.3 für einen Bohrpfahl angeführt.

	Absoluttiefe	N10	Progress-rate	Drehmoment	Hydraulikdruck	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	max Progress-	max	a a b a d
Donrgang	[müA]	[Schläge/10cm]	[m/min]	[kNm]	[bar]	Progress-rate	Drehmoment	Hydraulikdruck	rate	Drehmoment	DOGEN
GOK	0,00	•				-		-	-		-
1 BG	-1,81	2,00	9,56	60,20	556,57	8,12	40,57	463,61	12,60	127,00	schluffiger Sand
2 BG	-2,92	4,06	5,52	40,59	480,22	8,12	40,57	463,61	8,40	53,00	schluffiger Sand
3 BG	-4,27	3,44	7,77	31,41	430,08	8,12	40,57	463,61	11,40	54,00	schluffiger Sand
4 BG	-5,66	3,33	6,66	29,23	368,87	8,12	40,57	463,61	10,80	42,00	schluffiger Sand
5 BG	-7,50	5,35	6,56	33,03	410,70	8,12	40,57	463,61	9,60	49,00	schluffiger Sand
6 BG	-9,54	6,00	7,61	46,33	509,11	8,12	40,57	463,61	10,20	130,00	schluffiger Sand
7 BG	-12,16	8,15	11,68	48,61	518,47	8,12	40,57	463,61	18,00	127,00	schluffiger Sand
8 BG	-14,22	14,62	11,33	34,07	459,67	8,12	40,57	463,61	16,80	55,00	schluffiger Sand
9 BG	-17,23	22,30	8,12	45,57	459,93	8,12	40,57	463,61	12,60	126,00	schluffiger Sand
10 BG	-18,98	24,59	6,40	36,62	442,44	8,12	40,57	463,61	9,00	56,00	schluffiger Sand

Abb. 6.2: Parameterauswertung der einzelnen Bohrgänge einer Pfahlherstellung – Hollabrunn – Bohrpfahl BP-034

Pahasas	Absoluttiefe	N10	Bohrgeschw.	Drehmoment	Hydraulikdruck	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Max	Max	andra
DOILIGAILE	[müNN]	[Schläge/10cm]	[m/min]	[kNm]	[bar]	Bohrgeschw.	Drehmoment	Hydraulikdruck	Bohrgeschw.	Drehmoment	DOUELL
GOK	0	-	-	-			-	-			
1 BG	-1,43	1,33	2,08	128,25	447,76	3,92	90,20	346,80	5,40	151,00	Seeton
2 BG	-1,97	2,82	5,39	91,63	169,34	3,92	90,20	346,80	9,60	107,00	Seeton
3 BG	-3,09	1,42	4,29	77,69	324,19	3,92	90,20	346,80	10,80	108,00	Seeton
4 BG	-3,93	1,83	3,18	88,12	392,92	3,92	90,20	346,80	6,60	117,00	Seeton
5 BG	-4,89	1,33	4,51	101,82	376,50	3,92	90,20	346,80	13,80	333,00	Seeton
6 BG	-5,71	1,86	4,30	98,28	397,21	3,92	90,20	346,80	00'6	119,00	Seeton
7 BG	-6,57	2,11	4,44	72,53	293,76	3,92	90,20	346,80	10,80	84,00	Seeton
8 BG	-7,48	2,20	4,38	84,54	381,79	3,92	90,20	346,80	6,60	115,00	Seeton
9 BG	-8,51	2,91	3,73	89,11	382,73	3,92	90,20	346,80	7,20	105,00	Seeton
10 BG	-9,63	2,25	4,30	80,93	347,04	3,92	90,20	346,80	7,20	00'66	Seeton
11 BG	-10,76	5,11	5,25	72,90	274,23	3,92	90,20	346,80	10,80	85,00	Seeton
12 BG	-11,72	2,00	3,19	66,12	271,34	3,92	90,20	346,80	7,20	76,00	Seeton
13 BG	-12,95	9,50	2,81	67,25	295,58	3,92	90,20	346,80	6,60	90,00	Seeton
14 BG	-15,33	12,64	3,08	84,67	352,67	3,92	90,20	346,80	7,20	173,00	Seeton
15 BG	-16,43	14,75	3,84	149,14	495,00	3,92	90,20	346,80	9,60	372,00	Seeton
16 BG	-16,83	30,00	0,84	288,57	573,44	1,53	219,10	448,94	2,40	390,00	Fels
17 BG	-17,69	30,00	1,71	184,28	532,22	1,53	219,10	448,94	3,60	390,00	Fels
18 BG	-18,56	30,00	2,02	173,24	465,66	1,53	219,10	448,94	7,20	377,00	Fels
19 BG	-19,32	30,00	1,52	302,84	253,97	1,53	219,10	448,94	4,20	390,00	Fels
20 BG	-19,46	30,00	1,57	146,59	419,42	1,53	219,10	448,94	3,00	390,00	Fels

Abb. 6.3: Parameterauswertung der einzelnen Bohrgänge einer Pfahlherstellung – Bad Wiessee – Bohrpfahl GP-046

6.2 Vergleich der Bohrgeschwindigkeit und der Schlagzahl N₁₀



6.2.1 Analyse anhand der Maschinendaten der Baustelle in Hollabrunn

Abb. 6.4: Vergleich der Bohrgeschwindigkeit über die Bohrtiefe mit den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS04/14) – Bohrpfahl BP-034 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)

In Abb. 6.4 werden die Bohrgeschwindigkeiten über die Bohrtiefe der Baustelle in Hollabrunn dargestellt und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung gegenübergestellt. Die Schlagzahlen nehmen tendenziell über die Bohrtiefe zu. Vereinzelt sind Stellen mit erhöhten Schlagzahlen zu finden. Dabei könnte es sich um lokale Hindernisse oder um wechselnde Bodenverhältnisse handeln. Auffällig sind die deutlich höheren Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang im Vergleich zum Schichtpaket Seeton der Baustelle in Bad Wiessee im Kapitel 6.2.2. Auch die Schwankungen der Bohrgeschwindigkeit der einzelnen Bohrgänge sind über die Tiefe, bis auf einzelne Ausnahmen, etwa gleich groß.

Die mittlere Bohrgeschwindigkeit des Schichtpaketes schluffiger Sand wird in Abb. 6.4 gut ersichtlich dargestellt und liegt in etwa bei 8 m/min. Die Bohrgeschwindigkeit im Seeton beträgt im Vergleich etwa 4 m/min. Damit ist die mittlere Bohrgeschwindigkeit des Schichtpaketes etwa doppelt so hoch wie im Schichtpaket Seeton der Baustelle in Bad Wiessee (BG 39). Wie bereits aus Kapitel 5.1.1.2 bekannt ist, setzt sich der Untergrund auf der Baustelle in Hollabrunn vor allem aus miozänen Schluffen und Tonen, mit gelegentlichen sandigen/kiesigen Schichten zusammen, wodurch ein relativ homogenes Schichtpaket vorliegt, wobei die Konsistenz und Lagerungsdichte laut Bodengutachten auf die anteilsmäßige Zusammensetzung aus Schluff und Sand zurückzuführen sind. Bei hohem Schluffanteil besitzt der Boden eine steife bis halbfeste Konsistenz und bei hohem Sandanteil eine lockere bis mitteldichte Lagerungsdichte [4][5], für eine detaillierte Bodenbeschreibung siehe Kapitel 5.1.1. Aufgrund dieser geotechnischen Überlegungen können die Bohrgeschwindigkeiten der einzelnen Bohrgänge besser interpretiert werden. In Abb. 6.5 zeigt sich, dass die Schwankungen der Bohrgeschwindigkeit der einzelnen Bohrgänge unabhängig von den Schlagzahlen durchaus konstant sind, bis auf die Ausnahmen Bohrgang 7 und Bohrgang 8. Bei diesen beiden Bohrgängen ist neben dem höheren Unterschied zwischen Mittelwert je Bohrgang und Maximum je Bohrgang eine durchaus höhere mittlere Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang im Vergleich zu den restlichen Bohrgängen zu beobachten. Die Ursache ist in der Bodenzusammensetzung zu vermuten und damit auf die Konsistenz bzw. Lagerungsdichte der Bodenschichten zurückzuführen. Dies müsste sich wiederum in den Schlagzahlen widerspiegeln, allerdings befindet sich die nächstgelegene Rammsondierung ca. 3,0 m neben der Pfahlbohrung. Somit kann die anteilsmäßige Zusammensetzung aus Sand und Schluff eine wichtige Rolle spielen. Bodenschichten mit hohem Schluffanteil weisen eine steife bis halbfeste Konsistenz auf. Diese weisen im Vergleich zu Bodenschichten mit hohem Sandanteil, mit mitteldichter bis lockerer Lagerungsdichte, einen höheren Sondier- bzw. Bohrwiderstand auf und dadurch lässt sich eine niedrigere Bohrgeschwindigkeit vermuten. Dadurch kann dem Bohrgang 7 und im Bohrgang 8 eine Bodenschicht mit mehrheitlichem Anteil an Sand zugeordnet werden. Diese Hypothese beruht auf den unterschiedlichen Sondier- bzw. Bohrwiderständen von Böden und wurde im Zuge der Bohrgeschwindigkeitsauswertung der Baustelle in Bad Wiessee im Kapitel 6.2.2 erarbeitet. Kompaktere Bodenschichten mit höherem Eindringwiderstand können eine geringe mittlere Bohrgeschwindigkeit und eine geringere Schwankungsbreite, im Vergleich zu Böden mit geringerem Eindringwiderstand, aufweisen.

In der Gesamtheit betrachtet ist das Schichtpaket schluffiger Sand der Baustelle in Hollabrunn, bis auf vereinzelte Stellen mit wechselnden Bodenverhältnissen, mit einer annähernd gleichen Bohrgeschwindigkeit gebohrt worden.



Abb. 6.5: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS04/14) – Bohrpfahl BP-034 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



6.2.2 Analyse anhand der Maschinendaten der Baustelle in Bad Wiessee

Abb. 6.6: Vergleich der Bohrgeschwindigkeit über die Bohrtiefe mit den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-2) – Bohrpfahl GP-046 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein

Das linke Diagramm in Abb. 6.6 ist bereits aus dem Kapitel 5.3.2.2 bekannt. Dieses zeigt die errechneten Bohrgeschwindigkeiten über die Tiefe und dazu die Mittelwerte jedes Bohrgangs. Im rechten Bereich der Abbildung wurden die Schläge aus der zugehörigen Rammsondierung grafisch dargestellt und den Bohrgeschwindigkeiten gegenübergestellt. Bis in eine Tiefe von etwa 1,5 m unter dem Arbeitsplanum sind die Schlagzahlen aufgrund des Höhenunterschiedes zwischen der Ansatzhöhe von Pfahlbohrung und Rammsondierung nicht bekannt. Über die Tiefe nehmen die Schlagzahlen kontinuierlich zu und ab der Schichtgrenze wurden diese, wie bereits in Kapitel 6.1.1 erläutert, theoretisch mit ≥30 Schlägen je 10 cm Eindringtiefe definiert, obwohl klar ist, dass die Sondenspitze definitiv nicht in die Festgesteinsformation eindringen kann.

In der grafischen Darstellung der Bohrgeschwindigkeiten ist im Bereich des Seetons eine hohe Schwankung der Geschwindigkeiten zu beobachten, wohingegen im Festgestein der Verlauf der Bohrgeschwindigkeit über die Tiefe gleichmäßiger ist. Im Bereich der fehlenden Schlagzahlen, unmittelbar unterhalb der Geländeoberfläche, ist eine deutlich niedrigere Bohrgeschwindigkeit festzustellen. Die Ursache könnte auf eine erhöhte oberflächennahe Verdichtung durch Baumaschinen zurückzuführen. Denn im Zuge der Herstellung des Arbeitsplanums und während der Bauphase wird das Arbeitsplanum ständig durch Baumaschinen befahren, wodurch eine hohe Verdichtung des oberflächennahen Bodens entsteht.

Im Bohrgeschwindigkeitsverlauf über die Tiefe sind mitunter negative Bohrgeschwindigkeiten zu finden, welche von der Arbeitsweise des/der Geräteführers/in abhängig sind. Aufgrund von lokalen Hindernissen, wie beispielsweise kleinere Findlinge, versucht der/die Geräteführer/in durch mehrmaliges kurzeitiges Ziehen des Bohrwerkzeuges diese zu durchörtern. Infolgedessen sind die negativen Bohrgeschwindigkeiten von den Untergrundverhältnissen abhängig und durchaus relevant für die Auswertung. Ein weiter Grund für negative Bohrgeschwindigkeiten könnte am Zusammenspiel zwischen anstehendem Untergrund und dem Bohrwerkzeug liegen. Wird das Bohrwerkzeug beim "Bohren" in der natürlichen Bewegung durch etwaige Hindernisse gestört, könnte das Bohrwerkzeug durch die gehinderte Rotationsbewegung eine Kraft in Richtung Geländeoberkante entwickeln, wodurch sich das Bohrwerkzeug kurzzeitig abhebt. Vergleichbar mit dem Bohrvorgang eines herkömmlichen Schlagschraubers.

In Abb. 6.7 wird der Zusammenhang von Bohrgeschwindigkeit und Schlagzahlen veranschaulicht, wobei die Bohrgeschwindigkeit über die Schlagzahl dargestellt wird. Im Bereich der geringen Schlagzahlen wird der Seeton und im Bereich der hohen Schlagzahlen das Festgestein gebohrt. Abgebildet sind die Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeiten je Bohrgang in Abhängigkeit von den zugehörigen Mittelwerten der Schlagzahlen je Bohrgang. Die zuvor erwähnte Schwankung der Bohrgeschwindigkeiten wird gut veranschaulicht, wenn zu den mittleren Bohrgeschwindigkeiten der Maximalwert je Bohrgang dargestellt wird.

Die unterschiedlichen Abweichungen der Bohrgeschwindigkeit in den beiden Untergrundschichten sind in Abb. 6.7 deutlich zu erkennen. Dabei könnte die Konsistenz des bindigen Seetons und die Festigkeit des Festgesteins eine wichtige Rolle spielen. Laut dem Gutachten der Firma Blasy + Mader GmbH [14] besitzt der Seeton eine Konsistenz von weich bis breiig. Für das Festgestein liegen die Untersuchungsergebnisse für die einaxiale Druckfestigkeit des Karlsruher Instituts für Technologie vor [20]. Aufgrund der Ergebnisse aus den einaxialen Druckversuchen besitzt das Festgestein eine hohe Festigkeit nach [16] und ist ein durchaus kompaktes, schwer zu bohrendes Medium. Die resultierenden Bohrgeschwindigkeiten im Festgestein sind demzufolge relativ konstant mit sehr geringen Schwankungen.

Der grundsätzlich recht homogene Seeton weist vereinzelt ausgeprägte Feinsand- bzw. Schluff/Tonschichten mit unterschiedlicher Lagerungsdichte bzw. Konsistenz auf, wodurch eine deutlich höhere Schwankungsbreite der Bohrgeschwindigkeit im Vergleich zum Schichtpaket Festgestein auftritt.



Abb. 6.7: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-2) – Bohrpfahl GP-046 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein

6.3 Vergleich des Drehmoments und der Schlagzahl N10



6.3.1 Analyse anhand der Maschinendaten der Baustelle in Hollabrunn

Abb. 6.8: Vergleich des Drehmoments über die Bohrtiefe mit den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS04/14) – Bohrpfahl BP-034 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)

Die Drehmomente je Bohrgang sind in Abb. 6.8 den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung über die Bohrtiefe gegenübergestellt. Die Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der daraus gebildete Mittelwert des gesamten Schichtpaketes schluffiger Sand wurden ebenfalls in das Diagramm eingetragen. Dabei wird auf den ersten Blick die geringe Abweichung der Mittelwerte je Bohrgang zum Mittelwert des Schichtpaketes sichtbar, wodurch sich ein relativ konstanter Drehmomentbereich für den schluffigen Sand einstellt. Anhand der Gegenüberstellung von Schlägen der Rammsondierung und der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang ist kein Zusammenhang zu beobachten. Jedoch können die im Kapitel 6.3.2 angedachten Hypothesen bezüglich des Verhaltens des Drehmoments bei homogenen Bodenschichten der Abb. 6.8 gegenübergestellt werden. Die Annahmen behaupten, dass homogene Schichten mit durchwegs gleichen Eigenschaften, sich mit relativ konstantem Drehmoment aufschließen lassen und zusätzlich eine geringe Schwankung im Drehmoment zeigen. Das Schichtpaket schluffiger Sand kann ebenfalls als vorwiegend homogene Bodenschicht angesehen werden und die Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang sind konstant über die Bohrtiefe. Somit haben die beiden Schichtpakete Seeton und schluffiger Sand ein ähnliches Verhalten des Drehmomentes.

Die geringe Schwankung im Drehmoment ist in Abb. 6.9 ebenso ersichtlich, denn die Schwankungsbreiten im Drehmoment, die Abstände zwischen Mittelwert und Maximum je Bohrgang sind annähernd gleich groß. Jedoch sind vier auffällige Maximalwerte in den Bohrgängen Nr. 1, 6, 7 und 9 zu beobachten. Dabei könnte es sich um das Antreffen von lokalen Hindernissen handeln, welche einen Drehmomentanstieg verursachen würden. Die lokalen Maxima je Bohrgang wurden allerdings immer am Ende eines Bohrgangs aufgezeichnet, siehe entsprechende Bohrgänge in Abb. 6.8, womit die lokalen Hindernisse ebenfalls ausnahmslos am Ende der Bohrgänge anzutreffen wären, dies kann jedoch als eher unwahrscheinlich angesehen werden. Die schlagartige Erhöhung des Drehmoments könnte in Zusammenhang mit dem Bohrwerkzeug stehen. Ein Bohrwerkzeug kann bis zu einer gewissen Menge Bohrgut aufnehmen. Sobald dieser Zeitpunkt erreicht ist, ist aufgrund des erhöhten Widerstandes ein höheres Drehmoment nötig, um das Bohrwerkzeug zu bewegen. Dies würde den schlagartigen Anstieg des Drehmoments begründen. Dennoch ist eine Fehlmessung in der Aufzeichnung des Hydraulikdruckes nicht auszuschließen.

Beim durchwegs homogenen Schichtpaket schluffiger Sand konnte ein relativ konstanter Drehmomentverlauf beobachtet werden und ist somit mit dem Schichtpaket Seeton der Baustelle in Bad Wiessee vergleichbar. Das mittlere Drehmoment im schluffigen Sand ist allerdings etwa halb so niedrig im Vergleich zum Seeton der Baustelle in Bad Wiessee (BG 39).



Abb. 6.9: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS04/14) – Bohrpfahl BP-034 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



6.3.2 Analyse anhand der Maschinendaten der Baustelle in Bad Wiessee

Abb. 6.10: Vergleich des Drehmoments über die Bohrtiefe mit den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-2) – Bohrpfahl GP-046 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein

In Abb. 6.10 ist das Drehmoment über die Tiefe dargestellt und den Schlagzahlen aus der Rammsondierung gegenübergestellt. Der Schichtübergang ist bei ca. 16 m Tiefe im Anstieg des Drehmomentes gut erkennbar. Dieser Anstieg wird zugleich in den Schlagzahlen der Rammsondierung bestätigt. Diese Tendenz zeigt sich in sämtlichen Auswertungsergebnissen, siehe Kapitel 12 und 13, wodurch der von der Horizontalen abweichende Festgesteinshorizont (siehe Kapitel 5.1.2.2) bestätigt wurde. Schichtgrenzen sind durch die Darstellung des Drehmoments über die Tiefe eindeutig erkennbar. Im Bereich des Seetons sind die Drehmomente je Bohrgang vergleichsweise konstant, wobei vereinzelt erhöhte Maximalwerte ersichtlich sind, beispielsweise in Abb. 6.10 im fünften Bohrgang. Diese Extremstelle könnte durch ein lokales Hindernis, wie beispielsweise einen Findling verursacht worden sein, wobei eine Fehlmessung des Hydraulikdruckes nicht auszuschließen ist.

Die geringe Schwankungsbreite, der Abstand zwischen Mittelwert je Bohrgang und Maximum je Bohrgang, im Bereich des Seetones ist in Abb. 6.11 gut erkennbar. Im Übergangsbereich zwischen Seeton und Festgestein ist der Anstieg der Schwankung zu beobachten. Beim Bohrgang 14 beginnt das lokale Maximum deutlich vom Mittelwert abzuweichen und im Bohrgang 15 befindet sich die Bohrung bereits im Übergangsbereich zwischen Seeton und Fels. Der Bohrgang 15 wurde allerdings aufgrund der niedrigen Schlagzahl dem Seeton zugeordnet. Der Übergang ist auf Basis der Auswertung des Drehmoments über die Tiefe zwischen Bohrgang 14 und Bohrgang 15 anzunehmen. Im Bereich des Festgesteins ist neben der betragsmäßigen Erhöhung der Drehmomentwerte die deutlich höhere Schwankungsbreite, der Abstand zwischen Mittelwert des Drehmoments je Bohrgang und Maxima je Bohrgang, zu erkennen. Beim Bohrgang 20, beim letzten Bohrgang bei dieser Pfahlbohrung, ist allerdings ein unterdurchschnittlicher Wert für das Drehmoment zu erkennen. Beim letzten Bohrgang der Pfahlherstellung, war die Endtiefe im Regelfall bereits erreicht. Es wurde lediglich versucht, vor dem Einheben des Bewehrungskorbes die Reste vom bereits gelösten Bohrgut zu entfernen. Damit lässt sich das niedrige Drehmoment erklären. Dieses Verhalten wurde auch bei den restlichen Pfahlauswertungen bestätigt.

Der Grund für die deutlich höhere Schwankungsbreite des Drehmomentes im Festgestein im Vergleich zum Seeton könnte an der Festigkeit und der Zusammensetzung der Untergrundschichten liegen. Der Seeton ist, siehe Kapitel 5.1.2, bis auf einige wenige lokale Stellen, überwiegend homogen, wodurch in weiterer Folge auch die Lagerungsdichte bzw. Konsistenz annähernd gleich ist. Aus diesem Grund ist eine geringere Schwankung der Drehmomente zu beobachten. Homogene Schichten mit durchwegs gleicher Festigkeit lassen sich mit relativ konstantem Drehmoment aufschließen. Für das Festgestein kann über die Zusammensetzung keine direkte Aussage getroffen werden. Jedoch besitzt der Kalkstein laut [20] und [16] eine hohe Festigkeit, wodurch sich auf ein kompaktes Festgestein schließen lässt. Die hohen Schwankungen im Drehmoment des Festgesteins lassen sich daher nicht auf Inhomogenitäten zurückführen. Die Hypothese, dass sich homogene Untergrundschichten mit annähernd gleicher Lagerungsdichte bzw. Konsistenz, mit relativ konstantem Drehmoment bohren lassen, gilt somit nur für Lockergestein. Der Grund für die hohen Drehmomentschwankungen im Kalkstein könnte somit auf den Zusammenhang zwischen hoher Festigkeit und der mechanischen Abtragung durch das Bohrwerkzeug zurückzuführen sein. Die hohe Festigkeit des Festgesteins erschwert die mechanische Abtragung des Gesteins

erheblich, wodurch es zu einer unregelmäßigen Abtragung durch die Stollen der Felsschnecke kommt. Durch die unregelmäßige Oberfläche des Festgesteins wird an manchen Stellen mehr Drehmoment zur Abtragung benötigt, als bei anderen. Dadurch erklären sich die hohen Schwankungen des Drehmoments und die stark sprunghafte Drehmomentaufzeichnung. Diese Überlegung konnte auf der Baustelle in Bad Wiessee visuell durch eine unregelmäßig stockende Rotationsbewegung der Kellystange und akustisch durch laute sich wiederholende Schrammgeräusche beobachtet werden.

Die in den Kapiteln 6.2 und 6.3 erarbeiteten Hypothesen über den Zusammenhang zwischen Maschinendaten und Untergrundverhältnisse sind lediglich anhand des Vergleichs von je einer Rammsondierung je Baustelle entstanden. Die Annahmen sollen als Denkanstoß für weiterführende Untersuchungen dienen. Um die Hypothesen zu bestätigen und weitreichende Aussagen über den Zusammenhang zwischen Maschinenparametern und Untergrundverhältnissen treffen zu können, verlangt es einer detaillierten Untersuchung der in Kapitel 12 und 13 angeführten Daten.



Abb. 6.11: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-2) – Bohrpfahl GP-046 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein

7 Erkenntnisse der Datenauswertung und Anwendungsmöglichkeiten für einen Automatismus

Auf Basis der Gegenüberstellung von aufbereiteten Maschinendaten bei Anwendung des Kellybohrverfahrens zur Herstellung von Pfählen in verschiedenen Untergrundverhältnissen und den bestimmten geotechnischen Parametern in Kapitel 6 konnten Erkenntnisse über das Verhalten von Bohrgeschwindigkeit und Drehmoment abhängig von der Bodenart gewonnen werden. Um in Zukunft die gewonnenen Informationen aus der Gegenüberstellung für diverse Anwendungsmöglichkeiten nutzen zu können, soll ein Automatismus die im Zuge dieser Diplomarbeit durchgeführte zeitaufwändige händische Maschinendatenauswertung ersetzen. Im vorliegenden Kapitel wird daher versucht, einen Überblick über die gewonnenen Erkenntnisse und einen Ausblick über Anwendungsmöglichkeiten für die automatische Maschinendatenauswertung zu geben.

7.1 Erkenntnisse auf Basis der Maschinendatenauswertung

7.1.1 Grundlagen der Maschinendatenaufbereitung

7.1.1.1 Abgrenzung der Aktivitäten und Definition der wichtigsten Parameter

Bei der Entwicklung eines Automatismus zur Maschinendatenauswertung sollte das Hauptaugenmerk in erste Linie auf die richtige Abgrenzung der Maschinenparameter der einzelnen Arbeitsschritte gelegt werden. Dazu müssen Regeln definiert werden, mit welchen der Automatismus die einzelnen Arbeitsschritte in der Maschinendatenaufzeichnung erkennt und abgrenzt. Die Arbeitsprozesse werden allerdings durch mehrere Maschinenparameter definiert, wodurch sich die Regelfindung als äußerst komplex darstellt. Welche Maschinenparameter für die Lokalisierung der Prozesse "Bohren" und "Rohrvortrieb" entscheidend sind, konnte jedoch im Zuge dieser Diplomarbeit definiert werden und kann bei der Entwicklung eines Automatismus hilfreich sein.

Zu Beginn der Datenauswertung mussten die einzelnen Arbeitsschritte des Kellybohrverfahren in der Maschinendatenaufzeichnung lokalisiert werden. Dazu wurden auf den Baustellen in Bad Wiessee und in Hollabrunn sämtliche Arbeitsschritte über mehrere Arbeitstage dokumentiert. Durch die zeitliche Gegenüberstellung der Dokumentation an Ort und Stelle auf den Baustellen und der Maschinendatenaufzeichnung der Großdrehbohrgeräte konnten die einzelnen Arbeitsschritte in den Maschinendaten lokalisiert und eingegrenzt werden. Eine Maschinendatenaufzeichnung setzt sich aus einzelnen Aufzeichnungen von Maschinenparametern wie Bohrtiefe, Drehmoment, Vorschubkraft, Vorschubtiefe und Hydraulikdruck zusammen. Aufgrund der Zielsetzung der Diplomarbeit, Zusammenhänge zwischen Maschinendaten und geotechnischen Parametern zu identifizieren, waren vor allem die Prozesse "Bohren" und "Rohrvortrieb" von Bedeutung. Zum besseren Vergleich zwischen

Maschinendaten und den vorherrschenden Untergrundverhältnissen wurde auf Basis der Bodengutachten Schichtpakete definiert. Für die Baustelle in Bad Wiessee wurde ein geschichtetes Untergrundmodell, bestehend aus den Schichtpaketen Seeton und Festgestein und für die Baustelle in Hollabrunn vereinfachend ein homogener Aufbau, mit einem Schichtpaket schluffiger Sand, gewählt.

7.1.2 Auswertung des Prozesses "Bohren"

Mit Hilfe der Abgrenzung und Lokalisierung des Prozesses "Bohren" wurden die einzelnen Bohrgänge je Bohrpfahlherstellung definiert und ein Höhenbezug zur Geländeoberkante hergestellt. Aufgrund des Höhenbezugs der einzelnen Bohrgänge konnten die Parameter Drehmoment, Vorschubkraft und Hydraulikdruck über die Bohrtiefe dargestellt und im Detail untersucht werden. Aus der Darstellung der Vorschubkraft konnten keine relevanten Informationen gewonnen werden, wodurch nur das Drehmoment und der Hydraulikdruck für die detaillierte Gegenüberstellung mit geotechnischen Parametern herangezogen wurden. Für die Gegenüberstellung wurde zusätzlich noch die Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang berechnet, welche aus den Parametern Bohrtiefe und Zeitdauer besteht. Der Hydraulikdruck konnte nicht zum direkten Vergleich mit geotechnischen Parametern herangezogen werden, jedoch wurde der Zusammenhang zwischen Hydraulikdruck und dem daraus resultierenden Drehmoment untersucht und dargestellt. Schlussendlich wurden die Parameter Bohrgeschwindigkeit und Drehmoment je Bohrgang den geotechnischen Parametern gegenübergestellt.

7.1.2.1 Vergleich zwischen Bohrgeschwindigkeit und Untergrundverhältnisse

Grundsätzlich wurde in den Schichtpaketen Seeton und schluffiger Sand eine hohe Bohrgeschwindigkeit mit einer großen Schwankung beobachtet. Im Schichtpaket Festgestein wurde im Vergleich eine geringere relativ konstante Bohrgeschwindigkeit angetroffen. Daraus lässt sich schließen, dass die Festigkeit beziehungsweise die Zusammensetzung des Schichtpaketes eine wichtige Rolle spielt. Dies wurde durch den genauen Vergleich mit Konsistenz und Lagerungsdichte der Schichtpakete Seeton und schluffiger Sand sowie mit der Druckfestigkeit des Festgesteins versucht zu überprüfen. Kompaktere Bodenschichten mit einer höheren Festigkeit weisen eine geringe mittlere Bohrgeschwindigkeit und eine geringere Schwankungsbreite im Vergleich zu Böden mit geringerem Eindringwiderstand auf. In Tabelle Tab. 7.1 sind zusammenfassend untergrundabhängige Bohrgeschwindigkeitsbereiche der untersuchten Schichtpakete für das Kellybohrverfahren mit dem auf den Baustellen in Hollabrunn und Bad Wiessee eingesetzten Geräte BG 30 (Hollabrunn), BG 30 und BG 39 (Bad Wiessee) angeführt. Die Geräte wurden von drei unterschiedlichen Geräteführern bedient. Dieser Umstand kann die Bohrgeschwindigkeit beeinflussen.

Im Kapitel 6.3 wurde das Verhalten der Bohrgeschwindigkeit im Vergleich zu den Untergrundverhältnissen näher betrachtet und auf Basis einer Pfahlauswertung je Baustelle, Hypothesen über bodenabhängiges Verhalten von Maschinenparameter erarbeitet. Zur Bestätigung dieser Hypothesen müssen allerdings weitreichendere und detailliertere Untersuchung stattfinden.

In Tab. 7.1 konnten untergrundabhängige Parameterangaben zur Bohrgeschwindigkeit der eingesetzten Bohrgeräte gesammelt werden. Als Basis dienten die in Kapitel 12 und 13

angeführten Pfahlauswertungen. Auffällig ist die fast idente mittlere Bohrgeschwindigkeit der Bohrgeräte BG 30 im Schichtpaket Schluff/Ton und im Seeton. Im Seeton ist zu beobachten, dass die beiden eingesetzten Bohrgeräte (BG 30 und BG 39) durchaus voneinander abweichende mittlere Bohrgeschwindigkeiten aufweisen. Beim näheren Vergleich der mittleren Schlagzahlen sowie der maximalen und minimalen Schlagzahlen der beiden Bohrgeräte sind beim Bohrgerät BG 39 höhere mittlere Schlagzahlen zu finden. Dies könnte aus der deutlich höheren Mächtigkeit der Seetonschicht im Arbeitsbereich der BG 39 resultieren. Nicht auszuschließen ist jedoch die Fahrweise der unterschiedlichen Geräteführer, welche die Bohrgeschwindigkeit wesentlich beeinflussen kann. Im Festgestein ist zwischen den mittleren Bohrgeschwindigkeiten der beiden eingesetzten Geräte nur ein geringer Unterschied festzustellen. Dieser Unterschied ist wahrscheinlich ebenfalls auf die Fahrweise der Geräteführer zurückzuführen.

Tab. 7.1: Untergrundabhängige Parameterangaben der Bohrgeschwindigkeit und Schlagzahlenbeim Prozess "Bohren" für das Kellybohrverfahren mit den eingesetzten Geräten BG 30, BG 30und BG 39

Bodenart/Gerät	Mittelwert Bohrgeschwindigkeit [m/min]	V _{max} [m/min]	V _{min} [m/min]	Mittelwert N ₁₀	max N ₁₀	min N ₁₀
Sand/Schluff						
BG 30	8,70	12,11	4,11	12,9	30,6	1,2
Seeton						
BG 30	8,71	10,82	6,69	1,5	2,2	1,1
BG 39	4,96	7,40	2,50	4,8	10,8	1,3
Festgestein						
BG 30	3,58	6,90	1,25	≥30	≥30	≥30
BG 39	2,65	3,88	1,48	≥30	≥30	≥30

7.1.2.2 Vergleich zwischen Drehmoment und Untergrundverhältnissen

Bei den Schichtpaketen aus Lockergestein, Seeton und schluffigem Sand, wurde ein geringes Drehmoment mit einer ebenso geringen Schwankungsbreite festgestellt, im Vergleich dazu betragsmäßig deutlich höhere Drehmomente mit größerer Schwankung im Schichtpaket Festgestein. Dadurch sind die Drehmomente auf die Zusammensetzung und Festigkeit der Untergrundschichten zurückzuführen. Schlussfolgernd sind durchwegs homogene Schichten aus Lockergestein, wie die Schichtpakete Seeton und schluffiger Sand, mit geringerem konstantem Drehmoment lösbar. Beim Festgestein kommt es aufgrund der hohen Festigkeit und der damit verbundenen schwierigen Lösbarkeit zu großen Drehmomenten mit hoher Tab. 7.2 sprunghafter Schwankung. In Tabelle wurden untergrundabhängige Drehmomentbereiche auf Basis der untersuchten Schichtpakete für das Kellybohrverfahren mit dem auf den Baustellen in Hollabrunn und Bad Wiessee eingesetzten Geräte BG 30 (Hollabrunn), BG 30 und BG 39 (Bad Wiessee) zusammengefasst.

Im Kapitel 6.3 wurde das Verhalten von Drehmoment im Vergleich zu den Untergrundverhältnissen näher betrachtet und auf Basis einer Pfahlauswertung je Baustelle Hypothesen über bodenabhängiges Verhalten von Maschinenparameter erarbeitet. Zur Bestätigung dieser Hypothesen müssen allerdings in Zukunft noch weitreichendere und detailliertere Untersuchung durchgeführt werden.

In Tab. 7.2 konnten untergrundabhängige Parameterangaben zum Drehmoment der eingesetzten Bohrgeräte gesammelt werden. Als Basis dienten die in Kapitel 12 und 13 angeführten Pfahlauswertungen. Beim Vergleich der beiden Bohrgeräte BG 30 ist zu erkennen, dass sowohl im Schichtpaket Schluff/Ton als auch im Seeton annähernd gleiche Mittelwerte des Drehmoments zu beobachten sind. Der bereits in Tab. 7.1 festgestellte Unterschied der Bohrgeschwindigkeit im Seeton der beiden Bohrgeräte BG 30 und BG 39 ist in den Mittelwerten des Drehmoments ebenfalls zu erkennen. Dabei könnte wiederum die unterschiedliche Mächtigkeit der Seetonschicht am Baufeld der Baustelle in Bad Wiessee ausschlaggebend sein. Im Festgestein ist ein deutlicher Unterschied im Mittelwert des Drehmoments der eingesetzten Bohrgeräte zu erkennen. Die Ursache kann in der unterschiedlichen Leistungsstärke der beiden Bohrgeräte sowie in der unterschiedlichen Fahrweise der Geräteführer vermutet werden. Das leistungsstärkere Bohrgerät BG 30 auf.

Bodenart/Gerät	Mittelwert Drehmoment [kNm]	M _{max} [kNm]	M _{min} [kNm]	Mittelwert N ₁₀	max N ₁₀	min N ₁₀
Sand/Schluff						
BG 30	35,66	50,32	24,84	12,9	30,6	1,2
Seeton						
BG 30	31,49	37,82	26,35	1,5	2,2	1,1
BG 39	69,58	106,10	51,63	4,8	10,8	1,3
Festgestein						
BG 30	90,98	149,26	50,77	≥30	≥30	≥30
BG 39	161,25	218,27	106,6	≥30	≥30	≥30

Tab. 7.2: Untergrundabhängige Parameterangaben zu Drehmoment und Schlagzahlen beim Prozess "Bohren" für das Kellybohrverfahren mit den eingesetzten Geräten BG 30, BG 30 und

BG 39

7.1.3 Auswertung des Prozesses "Rohrvortrieb"

7.1.3.1 Erkenntnisse bei der Prozessabgrenzung

Für die Abgrenzung des Prozesses "Rohrvortrieb" waren die Parameter Drehmoment, Vorschubtiefe und Bohrtiefe entscheidend. Durch die Beobachtung dieser drei Parameter und mit Hilfe der zeitlichen Dokumentation der Arbeitsschritte vor Ort auf den Baustellen konnte der Prozess erkannt und lokalisiert werden. Der Prozess "Rohrvortrieb" kann aufgrund der betragsmäßig hohen Drehmomentwerte, einer stetig steigende Vorschubtiefe und einer stagnierenden Bohrtiefe in der Maschinenparameteraufzeichnung erkannt und lokalisiert werden. Speziell die sehr hohen Drehmomente im Vergleich zum Prozess "Bohren" waren ein eindeutiges Erkennungsmerkmal.

In Tab. 7.3 sind Mittelwerte von Drehmomenten aufgelistet, welche während des Prozesses "Rohrvortrieb" beobachtet wurden. Wie zu erkennen ist, sind die Drehmomente überwiegend vom Bohrgerät abhängig. Leistungsstarke Geräte, wie beispielsweise die BG 39, können ein höheres Drehmoment aufbringen im Vergleich zu einer BG 30. Es sei an dieser Stelle erneut angemerkt, dass jedes Bohrgerät von unterschiedlichen Geräteführern bedient wurde, wodurch die Fahrweise des Geräteführers einen großen Einfluss hat.

Bodenart/Gerät	Mittelwert Drehmoment [kNm]
Sand/Schluff	
BG 30	ca. 230
Seeton	
BG 30	ca. 160
BG 39	ca. 300
Festgestein	
BG 30	ca. 250
BG 39	ca. 360

Tab. 7.3: Untergrundbezogene Parameterangaben zu Drehmoment beim Prozess "Rohrvortrieb"für das Kellybohrverfahren mit den eingesetzten Geräten BG 30, BG 30 und BG 39

7.1.3.2 Probleme bei der Tiefenzuweisung

Grundsätzlich konnte im Zuge der Datenaufbereitung der Prozess "Rohrvortrieb" in der Aufzeichnung der Maschinendaten identifiziert werden, vergleiche Kapitel 5.3.1.5. Jedoch konnten die Maschinenparameter, welche am Prozess beteiligt sind, nicht für die Gegenüberstellung mit den geotechnischen Parametern verwendet werden. Es konnte kein eindeutiger Höhenbezug der einzelnen Rohrvortriebe zur Geländeoberkante hergestellt werden, wodurch ein Vergleich mit den Bodenparametern der Schichtpakete unmöglich war.

7.2 Anwendungsbereiche für einen Automatismus zur Maschinendatenauswertung

7.2.1 Bauprozessmanagement und Integrale Planung

Durch eine automatische Auswertung der Maschinendaten würden enorme Vorteile für das Bauprozessmanagement entstehen. Die Vorteile sind vor allem im Zeitmanagement zu finden, da sämtliche Arbeitsschritte automatisch anhand der Maschinendaten erfasst und ausgewertet werden können. Dadurch wird eine Echtzeitüberwachung des Leistungsfortschrittes möglich und es können frühzeitig die Ursachen einer Zeitverzögerung erkannt und sofort dementsprechende Gegenmaßnahmen gesetzt werden. Neben der Kontrolle des zeitlichen Bauablaufs könnte der Automatismus verwendet werden, um die Qualität der Herstellung zu überprüfen. Eine automatische Auswertung der Maschinendaten könnte beispielsweise die hergestellten Pfahllängen kontrollieren und mit den Planvorgaben abgleichen.

Die Integrale Planung spielt heutzutage im Bauwesen eine immer bedeutendere Rolle, wodurch das Bauprozessmanagement sowie das Bauzeitmanagement branchenübergreifend arbeiten müssen. Der Automatismus, welcher in diesem Fall für die Bauverfahren im Spezialtiefbau entwickelt wird, kann in weiterer Folge für die Bauzeitplanung von Baustellen wichtige Informationen liefern. Dabei spielt das BIM-Modell eine wichtige Rolle, welches beispielsweise im Hochbau bei größeren Baustellen schon seit einigen Jahren verwendet wird. In dieses BIM-Modell könnten die durch den Automatismus erfassten Leistungen einfließen und somit den Tiefbau in das Hochbau-Zeitplanmodell einbinden. Dadurch würde sich die Integrale Planung einen weiteren Schritt weiterentwickeln und branchenübergreifend arbeiten.

7.2.2 Datenanalyse und Speicherung

In den letzten Jahrzehnten haben unter anderem die immer höheren Rechen- und Speicherkapazitäten zur Digitalisierung beigetragen. Aufgrund der steigenden Kapazitäten kann die Datenaufzeichnung und Datenverarbeitung immer mehr ausgebaut werden, wodurch ein Automatismus die Effizient enorm steigern kann. Im Spezialtiefbau kann dieser Automatismus helfen, die Maschinendatenauswertung zu beschleunigen und mit diesen Daten eine geografisch bezogene Datenbank aufbauen. In dieser Datenbank werden sämtliche ausgewertete Daten zusammengeführt und geografisch nach Baustellen und Gewerken des Spezialtiefbaus abgelegt. Diese Inhalte der Datenbank können für zukünftige Projekte schnell und einfach abgefragt werden, wie beispielsweise Leistungskennzahlen, die als Kalkulationsansätze für die Ausarbeitung von Angeboten dienen können. Durch die geografisch bezogene Maschinendatenspeicherung entsteht eine breite Palette an bodenabhängigen Leistungskennzahlen unterschiedlichen Bauverfahren der im Spezialtiefbau. Jedoch sollten die bodenabhängigen Leistungskennzahlen stets kritisch hinterfragt werden. Untergrundverhältnisse können lokal sehr stark variieren, wodurch unter alleiniger Verwendung von Daten einer geografisch bezogenen Datenbank enorme Fehleinschätzungen entstehen können. Im Zuge einer Kalkulationsphase sollten daher

bodenabhängige Kennzahlen immer in Kombination mit Kenntnissen aus Bodengutachten für das jeweilige Baufeld verwendet werden.

7.2.3 Autonomes Bohren

Vor ein paar Jahrzehnten wären selbstfahrende Planierraupen oder andere führerlose Baumaschinen Inhalte aus einem Science-Fiction Film gewesen. Doch die enormen Weiterentwicklungen im Bereich Digitalisierung lassen diese Vorstellung in nicht allzu weite rücken. Ferne Wenn es bald gelingen sollte, den Automatismus zur Maschinendatenauswertung in eine künstliche Intelligenz zu überführen, könnte diese bei diversen Bohrverfahren im Spezialtiefbau Anwendung finden. Mit der Kombination aus künstlicher Intelligenz und Bohrgeräte, die per Satellit gesteuert werden können, wäre ein autonomes Bohren denkbar. Allerdings wird dieses Thema noch einige Jahre an Entwicklung und Forschung in Anspruch nehmen. Entscheidend wird auch sein, welche Rolle der/die Geräteführer/in in der Entwicklung des autonomen Bohrens spielen wird. Das Feingefühl, welches der/die Geräteführer/in beim Bedienen eines Großbohrgerätes an den Tag legen muss, kann alleine durch eine Maschine schwer ersetzt werden. In weiterer Folge müssen auch die wirtschaftlichen Vorteile durch das autonome Bohren eingeschätzt werden. Kann die künstliche Intelligenz das Bohrgerät auch unter schwierigen Bedingungen effizienter steuern als ein Mensch, oder wird es am Ende des Tages eine Kombination aus beiden sein? - Die Steuerung des Bohrgerätes durch die künstliche Intelligenz und der Mensch als eine Art Kontrollorgan, welches jederzeit eingreifen kann.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit, die in enger Zusammenarbeit mit der Firma Bauer Spezialtiefbau entstanden ist, konnten wesentliche Erkenntnisse im Bereich der Auswertung von prozessbegleitenden Messdatenerfassung beim Kellybohrverfahren erlangt werden. Durch eine manuelle Arbeitsprozesserfassung auf zwei ausgewählten Baustellen in Niederösterreich und Bayern konnten wesentliche Arbeitsschritte, die am Kellybohrverfahren beteiligt sind, in den automatisch aufgezeichneten Maschinendaten identifiziert werden. Dabei lag das Hauptaugenmerk auf den Prozessen "Bohren" und "Rohrvortrieb", wobei in weiterer Folge der Prozess "Bohren" näher untersucht wurde. Die Parameter Drehmoment und Bohrgeschwindigkeit wurden den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung gegenübergestellt. Anhand der detaillierten Untersuchung der Maschinenparameter und der Gegenüberstellung mit geotechnischen Parametern konnten wesentliche Erkenntnisse über die Untergrundabhängigkeiten der Maschinenparameter Drehmoment und Bohrgeschwindigkeit gewonnen werden. Darüber hinaus konnten eindeutige Verhaltensmuster in den Parameteraufzeichnungen während der Prozesse "Bohren" und "Rohrvortrieb" festgestellt werden. Diese Erkenntnisse können in weiterer Folge zur Entwicklung eines Systems zur arbeitsintegrierten Auswertung der Maschinendaten herangezogen werden. Zu beachten sind jedoch die geräte- und anwendungsspezifischen Parameter, im gegenständlichen Fall wurden nur zwei Gerätetypen eingesetzt. Ob die Übertragung auf andere Gerätetypen möglich ist, ist Gegenstand weiterführender Untersuchungen.

Ein derartiges System zur schnellen und effizienten Auswertung und Verarbeitung von Maschinendaten kann mit der bereits bestehenden messtechnischen Erfassung von Prozessparametern der Bohrgeräte verknüpft werden. Die dadurch gewonnenen Informationen über das Kellybohrverfahren während der Ausführung können gegebenenfalls in weiterer Folge Anwendung in verschiedenen Bereichen des Spezialtiefbaus finden. Einerseits kann die Dokumentation der Arbeitsprozesse für das Bauprozessmanagement genutzt werden. Dadurch können beispielsweise die Ursachen einer Zeitverzögerung frühzeitig erkannt und sofort dementsprechende Gegenmaßnahmen gesetzt werden. Andererseits kann dieser Automatismus helfen, die Maschinendatenauswertung zu beschleunigen und mit diesen Daten eine geografisch bezogene Datenbank aufzubauen. Die Inhalte der Datenbank können für zukünftige Projekte schnell und einfach abgefragt werden, wie beispielsweise Leistungskennzahlen, die als Kalkulationsansätze für die Ausarbeitung von Angeboten dienen können.

Gelingt es in Zukunft, den Automatismus zur Maschinendatenauswertung in eine künstliche Intelligenz zu überführen, könnte diese bei diversen Bohrverfahren im Spezialtiefbau Anwendung finden. Mit der Kombination aus künstlicher Intelligenz und Bohrgeräte, die per Satellit gesteuert werden können, wäre sogar ein autonomes Bohren denkbar.

9 Literaturverzeichnis

- [1] Adam, D. (2010): *Skriptum zur Vorlesung Grundbau und Bodenmechanik;* Technische Universität Wien.
- [2] Adam D., Pigisch N. (2003): *Gründungen auf nicht ausreichend tragfähigem Untergrund*; Technische Universität Wien.
- [3] Adam D. (2011): *Grundlagen der Felsmechanik*; Technische Universität Wien; 4.Auflage, 2011.
- [4] ASFINAG Baumanagement GmbH. (2016): S3-Weinviertler Schnellstraße Hollabrunn-Guntersdorf – Geotechnischer Gesamtbericht.
- [5] ASFINAG Baumanagement GmbH. (2016): S3-Weinviertler Schnellstraße Hollabrunn-Guntersdorf – Geotechnischer Gesamtbericht Objekt S3.25B.
- [6] Bauer Spezialtiefbau GmbH. (2019): *Bohrpfähle Firmenbroschüre 02/2019*.
- [7] Bauer Spezialtiefbau GmbH. (2019): *Bauer BG 33 Firmenbroschüre 03/2019*.
- [8] Bauer Spezialtiefbau GmbH. (2016): *Bohrwerkzeuge und Bohrrohre Firmenbroschüre 03/2016.*
- [9] Bauer AG Marketingabteilung. (2019): Skizzen Herstellungsverfahren.
- [10] Bauer AG. (2019): *Produkte*. Abgerufen am 20.11.2019 von https://www.bauer.de/bma/Produkte/uebersicht-zubehoer-fuerdrehbohrgraete/Drehbohrwerkzeuge/
- [11] Bauer Maschinen GmbH. (2018): BAUER B-Tronic Firmenbroschüre 06/2018.
- [12] Bauer Maschinen GmbH. (2018): *Bedienungsanleitung BG30 #3915 B-Tronic 08/2018.*
- [13] Bauer WEB-BGM (2020): *Online B-Report;* Interne Unterlagen der Bauer AG.
- [14] Blasy + Mader GmbH. (2017): *Baugrundgutachten Bauvorhaben SME Bad Wiessee; Eiching am Ammersee.*
- [15] Blasy + Mader GmbH. (2019): Nachuntersuchungen-Rammsondierungen Bauvorhaben SME Bad Wiessee; Eiching am Ammersee.
- [16] Deere, D.U. und Miller, R.P. (1966): *Engineering classification and index properties for intact rock. Tech. Rept. No. AFWL-TR-65-116;* Air Force Weapons Lab., Kirtland Air Force Base, New Mexico.

- [17] DIN 4094: 1990-12 (1990): *Baugrund Erkundung durch Sondierung;* Deutsches Institut für Normung e.V..
- [18] DIN EN 1997-2: 2010-10 (2010): Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds; Deutsche Fassung EN 1997-2:2007 + AC:2010; Deutsches Institut für Normung e.V..
- [19] Girmscheid, G. (2013): *Skriptum zur Vorlesung Bauverfahren des Spezialtiefbaus*; Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement ETH Zürich.
- [20] Karlsruher Institut für Technologie. (2019): *Einaxialer Druckversuch SME Bad Wiessee*.
- [21] NÖ Atlas. (2020): *Karte Hollabrunn*. Abgerufen am 27.01.2020 von http://www.atlas.noe.gv.at
- [22] ÖNORM B 4419: 2006-12 (2006): *Geotechnik Besondere Rammsondierverfahren;* Austrian Standards Institute.
- [23] Umwelt Atlas Bayern. (2020): *Karte Bad Wiessee*. Abgerufen am 27.01.2020 von http://www.umweltatlas.bayern.de
- [24] Yanulova,D. (2015): *Impulsverdichtung Auswertung und Interpretation zur Erfassung des Verdichtungserfolgs;* Diplomarbeit Institut für Geotechnik TU Wien.

10 Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Großdrehbohrgerät BG 33 der Firma Bauer [7]	17
Abb. 2.2: Kastenbohrer der Fa. Bauer [10]	18
Abb. 2.3: Schneckenbohrer der Fa. Bauer [10]	19
Abb. 2.4: Kernrohr der Fa. Bauer [10]	19
Abb. 2.5: Bohrrohr der Fa. Bauer [10]	20
Abb. 2.6: Rohrschuh der Fa. Bauer [10]	20
Abb. 2.7: Bauablauf des Kellybohrverfahrens ohne Verrohrung, nur mit Rohranfänger [6]	21
Abb. 2.8: Bauablauf beim suspensionsgestützten Kellybohrverfahren [9]	22
Abb. 2.9: Bauablauf beim Kellybohrverfahren mit Vollverrohrung [9]	23
Abb. 2.10: Prinzip Bohren unter Wasser-Auflast zur Vermeidung von hydraulischem Versagen	24
Abb. 3.1: Überblick über die Funktionsweise von B-Tronic und deren Komponenten [11]	26
Abb. 3.2: Bildschirmansicht B-Tronic Fahrerkabine eines Bohrgeräts [12]	27
Abb. 3.3: Zusammenhang zwischen Drehmoment und Hydraulikdruck – Baustelle in Hollabrunn	_
Bohrgerät BG 30	31
Abb. 3.4: Zusammenhang zwischen Drehmoment und Hydraulikdruck – Baustelle in Bad Wiesse	e
– Bohrgerät BG 39	31
Abb. 3.5: Überblick Sensortechnik eines Bohrgerätes der Firma Bauer [7]	33
Abb. 4.1: Zeitliche Darstellung des Prozesses "Einbau Verrohrung" [13]	36
Abb. 4.2: Zeitliche Darstellung des Prozesses "Rohrvortrieb" [13]	36
Abb. 4.3: Zeitliche Darstellung der Prozesse "Absenken Bohrwerkzeug", "Bohren", "Ziehen	
Bohrwerkzeug und Fördern Bohrgut" und "Entleeren Bohrgut" [13]	37
Abb. 4.4: Zeitliche Darstellung des Prozesses "Einbau Bewehrungskorb" [13]	37
Abb. 4.5: Zeitliche Darstellung von "Ausbau Verrohrung" und der vorlaufenden Prozesse [13]	38
Abb. 5.1: Lage der Brückentragwerke nördlich der Gemeinde Hollabrunn [21]	41
Abb. 5.2: Kernbohrung am Baufeld der Baustelle Hollabrunn (KB4/14-Bauteil S3.25B) [5]	43
Abb. 5.3: Kernbohrung am Baufeld der Baustelle Hollabrunn (KB4/14-Bauteil S3.25B) [5]	44
Abb. 5.4: Rammsondierung am Baufeld der Baustelle Hollabrunn (B-RS04/14-Bauteil S3.25B) [5]45
Abb. 5.4: Rammsondierung am Baufeld der Baustelle Hollabrunn (B-RS04/14-Bauteil S3.25B) [5 Abb. 5.5: Kornverteilung einer entnommenen Probe (4,0-4,5 m Tiefe) am Baufeld der Baustelle]45
 Abb. 5.4: Rammsondierung am Baufeld der Baustelle Hollabrunn (B-RS04/14-Bauteil S3.25B) [5 Abb. 5.5: Kornverteilung einer entnommenen Probe (4,0-4,5 m Tiefe) am Baufeld der Baustelle Hollabrunn (KB4/14-GT1 - Bauteil S3.25B) [5]]45 46
 Abb. 5.4: Rammsondierung am Baufeld der Baustelle Hollabrunn (B-RS04/14-Bauteil S3.25B) [5 Abb. 5.5: Kornverteilung einer entnommenen Probe (4,0-4,5 m Tiefe) am Baufeld der Baustelle Hollabrunn (KB4/14-GT1 - Bauteil S3.25B) [5] Abb. 5.6: Kornverteilung einer entnommenen Probe (7,0-7,5 m Tiefe) am Baufeld der Baustelle]45 46

Abb	. 5.7: Fließgrenze und Plastizitätsbereich einer entnommenen Probe (7,0-7,5 m Tiefe) am	
	Baufeld der Baustelle Hollabrunn (KB4/14-GT2 - Bauteil S3.25B) [5]	47
Abb	. 5.8: Lage der Baustelle in Bad Wiessee am Tegernsee [23]	48
Abb	. 5.9: Kernbohrung am Baufeld der Baustelle in Bad Wiessee (8627-B1) [14]	49
Abb	. 5.10: Rammsondierung am Baufeld der Baustelle in Bad Wiessee (8627-V-TF.5-DPH 2) [15]	50
Abb	. 5.11: Kornverteilung einer entnommenen Probe (4,3-6,0 m Tiefe) am Baufeld der Baustelle	!
	Bad Wiessee (8627-B1) [14]	51
Abb	. 5.12: Fließgrenze und Plastizitätsbereich einer entnommenen Probe (8,8-13,0 m Tiefe) am	
	Baufeld der Baustelle Bad Wiessee (8627-B2) [14]	51
Abb	. 5.13: Favoritenbildschirm am Tablet bei der Verwendung von B-Activity	53
Abb	. 5.14 : Maske des Excel-Makros	55
Abb	5.15 : Zeitlichen Bezug herstellen	56
Abb	. 5.16: B-Tronic Datei mit mehreren Arbeitstagen [13]	56
Abb	5.17 : B-Tronic Datei mit einem Arbeitstag [13]	56
Abb	. 5.18: Abgrenzung eines Prozesses "Bohren" in den aufgezeichneten B-Tronic	
	Maschinendaten	57
Abb	. 5.19: Unterschied zwischen relativer und absoluter Bohrtiefe	58
Abb	. 5.20: Abgrenzung einer Aktivität "Rohrvortrieb" in den aufgezeichneten B-Tronic	
	Maschinendaten	59
Abb	. 5.21: Bohrgeschwindigkeit über die Bohrtiefe am Beispiel des Bohrpfahls BP-034 – Baustell	e
	Hollabrunn	52
Abb	. 5.22: Bohrgeschwindigkeit über die Bohrtiefe am Beispiel des Bohrpfahls GP-046 – Baustell	е
	Bad Wiessee	53
Abb	. 5.23: Hydraulikdruck über die Bohrtiefe am Beispiel des Bohrpfahls BP-034 – Baustelle	
	Hollabrunn	54
Abb	. 5.24: Hydraulikdruck über die Bohrtiefe am Beispiel des Bohrpfahls GP-046 – Baustelle Bad	
	Wiessee	<u> 55</u>
Abb	. 5.25: Drehmoment über die Bohrtiefe am Beispiel des Bohrpfahls BP-034 – Baustelle	
	Hollabrunn	56
Abb	. 5.26: Drehmoment über die Bohrtiefe am Beispiel des Bohrpfahls GP-046 – Baustelle Bad	
	Wiessee	57
Abb	. 5.27: Vorschubkraft über die Bohrtiefe am Beispiel des Bohrpfahls BP-034 – Baustelle	
	Hollabrunn	58
Abb	5.28 : Vorschubkraft über die Bohrtiefe am Beispiel des Bohrpfahls GP-046 – Baustelle Bad	
	Wiessee	59
Abb	. 6.1: Beispiel eines Versuchsprotokolls des Einaxialen Druckversuchs an einer entnommen	
	Kalksteinprobe der Baustelle in Bad Wiessee [20]	72
Abb	. 6.2: Parameterauswertung der einzelnen Bohrgänge einer Pfahlherstellung – Hollabrunn –	
	Bohrpfahl BP-034	75

Abb. 6.3: Parameterauswertung der einzelnen Bohrgänge einer Pfahlherstellung – Bad Wiessee –
Bohrpfahl GP-046
Abb. 6.4: Vergleich der Bohrgeschwindigkeit über die Bohrtiefe mit den Schlagzahlen der
Schweren Rammsondierung (RS04/14) – Bohrpfahl BP-034 – Baustelle Hollabrunn (BG 30). 77
Abb. 6.5: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS04/14) – Bohrpfahl BP-034 – Baustelle
Hollabrunn (BG 30)
Abb. 6.6: Vergleich der Bohrgeschwindigkeit über die Bohrtiefe mit den Schlagzahlen der
Schweren Rammsondierung (DPH-2) – Bohrpfahl GP-046 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) –
theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 6.7: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-2) – Bohrpfahl GP-046 – Baustelle Bad
Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 6.8: Vergleich des Drehmoments über die Bohrtiefe mit den Schlagzahlen der Schweren
Rammsondierung (RS04/14) – Bohrpfahl BP-034 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb. 6.9: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS04/14) – Bohrpfahl BP-034 – Baustelle
Hollabrunn (BG 30)
Abb. 6.10: Vergleich des Drehmoments über die Bohrtiefe mit den Schlagzahlen der Schweren
Rammsondierung (DPH-2) – Bohrpfahl GP-046 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) –
theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 6.11: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-2) – Bohrpfahl GP-046 – Baustelle Bad
Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 12.1: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der
Schweren Rammsondierung (RS 04/14) – Bohrpfahl BP-034 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb. 12.2: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren
Rammsondierung (RS 04/14) – Bohrpfahl BP-034 – Baustelle Hollabrunn (BG 30) 117
Abb. 12.3: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 04/14) – Bohrpfahl BP-034 – Baustelle
Hollabrunn (BG 30)118
Abb. 12.4: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 04/14) – Bohrpfahl BP-034 – Baustelle
Hollabrunn (BG 30)119
Abb. 12.5: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der
Schweren Rammsondierung (RS 04/14) – Bohrpfahl BP-035 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)

Abb. Abb.	 12.6: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 04/14) – Bohrpfahl BP-035 – Baustelle Hollabrunn (BG 30) 121 12.7: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 04/14) – Bohrpfahl BP-035 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb.	 12.8: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 04/14) – Bohrpfahl BP-035 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb.	 12.9: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-011 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb.	 12.10: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-011 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb.	 12.11: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-011 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb.	12.12 : Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-011 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb.	12.13 : Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-013 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb.	12.14 : Variante : Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-013 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb.	 12.15: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-013 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb.	 12.16: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-013 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb.	12.17 : Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-014 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb.	 12.18: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-014 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)

Abb	. 12.19: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der
	Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-014 – Baustelle
	Hollabrunn (BG 30)
Abb	. 12.20: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der
	Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-014 – Baustelle
	Hollabrunn (BG 30)
Abb	. 12.21: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der
	Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-016 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb	. 12.22 : Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der
	Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-016 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb	. 12.23 : Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der
	Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-016 – Baustelle
	Hollabrunn (BG 30)
Abb	. 12.24 : Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der
	Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-016 – Baustelle
	Hollabrunn (BG 30)
Abb	. 12.25 : Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit ie Bohrgang und den Schlagzahlen der
	Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrofahl CP-018 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
	140
Abb	12.26 : Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der
	Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-018 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb	. 12.27 : Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der
	Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-018 – Baustelle
	Hollabrunn (BG 30)
Abb	. 12.28 : Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente ie Bohrgang und der
	Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-018 – Baustelle
	Hollabrunn (BG 30)
Abb	. 12.29 : Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit ie Bohrgang und den Schlagzahlen der
	Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-023 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
	144
Abb	. 12.30 : Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der
	Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-023 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb	. 12.31 : Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit ie Bohrgang und der
	Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-023 – Baustelle
	Hollabrunn (BG 30)
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

Abb	 12.32: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-023 – Baustelle
	Hollabrunn (BG 30)
ADD	. 12.33: Gegenüberstellung der Bonrgeschwindigkeit je Bonrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-024 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb	. 12.34 : Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der
	Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-024 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb	. 12.35: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der
	Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-024 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb	. 12.36: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der
	Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-024 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb	. 12.37: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der
	Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-027 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb	. 12.38: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der
	Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-027 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb	. 12.39: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der
	Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-027 – Baustelle
	Hollabrunn (BG 30)154
Abb	. 12.40: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der
	Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-027 – Baustelle
8 h h	Hollabrunn (BG 30)
ADD	Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-028 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb	12.42 : Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der
	Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-028 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)
Abb	. 12.43 : Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der
	Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-028 – Baustelle
	Hollabrunn (BG 30)158
Abb	. 12.44: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der
	Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-028 – Baustelle
	Hollabrunn (BG 30)159

Abb. 13.1: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der	
Schweren Rammsondierung (DPH-6) – Bohrpfahl GP-004 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) –	
theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein10	52
Abb. 13.2: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schwere	en
Rammsondierung (DPH-6) – Bohrpfahl GP-004 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) –	
theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein10	63
Abb. 13.3: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der	
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-6) – Bohrpfahl GP-004 – Baustelle Bad	
Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein	64
Abb. 13.4: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der	
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-6) – Bohrpfahl GP-004 – Baustelle Bad	
Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein	65
Abb. 13.5: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der	
Schweren Rammsondierung (DPH-6) – Bohrpfahl GP-010 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) –	
theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein16	66
Abb. 13.6: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schwere	en
Rammsondierung (DPH-6) – Bohrpfahl GP-010 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) –	
theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein16	67
Abb. 13.7: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der	
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-6) – Bohrpfahl GP-010 – Baustelle Bad	
Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein	58
Abb. 13.8: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der	
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-6) – Bohrpfahl GP-010 – Baustelle Bad	
Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein	69
Abb. 13.9: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der	
Schweren Rammsondierung (DPH-1) – Bohrpfahl GP-016 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) –	
theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein1	70
Abb. 13.10: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der	
Schweren Rammsondierung (DPH-1) – Bohrpfahl GP-016 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) –	
theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein1	71
Abb. 13.11: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der	
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-1) – Bohrpfahl GP-016 – Baustelle Bad	
Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein	72
Abb. 13.12: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der	
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-1) – Bohrpfahl GP-016 – Baustelle Bad	
Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein	73
Abb. 13.13: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der	
Schweren Rammsondierung (DPH-2) – Bohrpfahl GP-046 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) –	
theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein1	74
Abb	. 13.14: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der
-----	---
	Schweren Rammsondierung (DPH-2) – Bohrpfahl GP-046 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) –
	theoretischer N ₁₀ -Wert (≥30 Schläge) für Festgestein175
Abb	. 13.15: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der
	Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-2) – Bohrpfahl GP-046 – Baustelle Bad
	Wiessee (BG 39) – theoretischer N ₁₀ -Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb	. 13.16: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der
	Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-2) – Bohrpfahl GP-046 – Baustelle Bad
	Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb	. 13.17: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der
	Schweren Rammsondierung (DPH-3) – Bohrpfahl GP-050 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) –
	theoretischer N ₁₀ -Wert (≥30 Schläge) für Festgestein178
Abb	. 13.18: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der
	Schweren Rammsondierung (DPH-3) – Bohrpfahl GP-050 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) –
	theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb	. 13.19: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der
	Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-3) – Bohrpfahl GP-050 – Baustelle Bad
	Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb	. 13.20: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der
	Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-3) – Bohrpfahl GP-050 – Baustelle Bad
	Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb	. 13.21: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der
	Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-053 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) –
	theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb	. 13.22: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der
	Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-053 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) –
	theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb	. 13.23: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der
	Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-053 – Baustelle Bad
	Wiessee (BG 39) – theoretischer N ₁₀ -Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb	. 13.24: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der
	Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-053 – Baustelle Bad
	Wiessee (BG 39) – theoretischer N ₁₀ -Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb	. 13.25: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der
	Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-054 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) –
	theoretischer N ₁₀ -Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb	. 13.26: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der
	Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-054 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) –
	theoretischer N ₁₀ -Wert (≥30 Schläge) für Festgestein

Abb. 13.27: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-054 – Baustelle Bad
Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.28: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-054 – Baustelle Bad
Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.29: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der
Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-058 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) –
theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.30: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der
Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-058 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) –
theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.31: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-058 – Baustelle Bad
Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.32: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-058 – Baustelle Bad
Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.33: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der
Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-059 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) –
theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.34: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der
Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-059 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) –
theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.35: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-059 – Baustelle Bad
Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.36: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-059 – Baustelle Bad
Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.37: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der
Schweren Rammsondierung (DPH-9) – Bohrpfahl GP-118 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) –
theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.38: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der
Schweren Rammsondierung (DPH-9) – Bohrpfahl GP-118 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) –
theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.39: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-9) – Bohrpfahl GP-118 – Baustelle Bad
Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein

Abb. 13.40: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-9) – Bohrpfahl GP-118 – Baustelle Bad
Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.41: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der
Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-123 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) –
theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.42: Variante: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen
der Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-123 – Baustelle Bad Wiessee
(BG 30) – theoretischer N10-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.43: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-123 – Baustelle Bad
Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.44: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-123 – Baustelle Bad
Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.45: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der
Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-124 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) –
theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.46: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der
Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-124 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) –
theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.47: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-124 – Baustelle Bad
Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.48: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-124 – Baustelle Bad
Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.49: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der
Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-127 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) –
theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.50: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der
Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-127 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) –
theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.51: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-127 – Baustelle Bad
Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein
Abb. 13.52: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der
Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-127 – Baustelle Bad
Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein

11 Tabellenverzeichnis

Tab.	3.1: Beschreibung des Bildschirms in der Fahrerkabine eines Bohrgeräts [12] 27
Tab.	6.1: Zusammenhang zwischen Lagerungsdichte bzw. Konsistenz von Böden und den
	Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung [24]73
Tab.	7.1: Untergrundabhängige Parameterangaben der Bohrgeschwindigkeit und Schlagzahlen
	beim Prozess "Bohren" für das Kellybohrverfahren mit den eingesetzten Geräten BG 30,
	BG 30 und BG 39
Tab.	7.2: Untergrundabhängige Parameterangaben zu Drehmoment und Schlagzahlen beim
	Prozess "Bohren" für das Kellybohrverfahren mit den eingesetzten Geräten BG 30, BG 30 und
	BG 39
Tab.	7.3: Untergrundbezogene Parameterangaben zu Drehmoment beim Prozess "Rohrvortrieb"
	für das Kellybohrverfahren mit den eingesetzten Geräten BG 30, BG 30 und BG 39

12 Anhang A - Auswertung der Baustelle in Hollabrunn

12.1 Bohrgerät BG 28



Abb. 12.1: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 04/14) – Bohrpfahl BP-034 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.2: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 04/14) – Bohrpfahl BP-034 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.3: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 04/14) – Bohrpfahl BP-034 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.4: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 04/14) – Bohrpfahl BP-034 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)

Drehmoment [kNm]

60,00

80,00

40,00

20,00

0,00

00'0

140,00

120,00

100,00



Abb. 12.5: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 04/14) – Bohrpfahl BP-035 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.6: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 04/14) – Bohrpfahl BP-035 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.7: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 04/14) – Bohrpfahl BP-035 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.8: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 04/14) – Bohrpfahl BP-035 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.9: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-011 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.10: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-011 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.11: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-011 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)





Abb. 12.12: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-011 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)

35,00

30,00

25,00

20,00



Abb. 12.13: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-013 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.14: Variante: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-013 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.15: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-013 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.16: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-013 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.17: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-014 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.18: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-014 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.19: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-014 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.20: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-014 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.21: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-016 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.22: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-016 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.23: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-016 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.24: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-016 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.25: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-018 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.26: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-018 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.27: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-018 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.28: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-018 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.29: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-023 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.30: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-023 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)


Abb. 12.31: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-023 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.32: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-023 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.33: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-024 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.34: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-024 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.35: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-024 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.36: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 05/14) – Bohrpfahl CP-024 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.37: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-027 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.38: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-027 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.39: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-027 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.40: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-027 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.41: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-028 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.42: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-028 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.43: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-028 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)



Abb. 12.44: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (RS 06/14) – Bohrpfahl CP-028 – Baustelle Hollabrunn (BG 30)

13 Anhang B – Auswertung der Baustelle in Bad Wiessee

13.1 Bohrgerät BG-39



Abb. 13.1: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-6) – Bohrpfahl GP-004 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.2: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-6) – Bohrpfahl GP-004 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein

			 Mittelwert Schichtpaket Fels Mittelwert je Bohrgang Seeton 	 Mittelwert je Bohrgang Fels × Lokales Maximum je Bohrgang See × Lokales Maximum je Bohrgang Fels 				000
2			- 21 BG	× 19 BG	× × × 20 BG	- 22 BG	● 19 BG ● 18 BG 22 BG	30,00 35
					17 BG	17 BG		25,00
					×	•		20,00
					× 16 BG × 15 BG		15 BG	0 15,00
		9 BG	11 BG 13 BG	- 12 BG × 14 BG	9 BG	• 10 BG		5,00 10,00
	× 3 BG	× × ×	9 g g	× 7 8G × 7 8G × 8 8G	7 BG • 5 BG	• 1 BG	× 2 BG	00

Abb. 13.3: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-6) – Bohrpfahl GP-004 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.4: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-6) – Bohrpfahl GP-004 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.5: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-6) – Bohrpfahl GP-010 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.6: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-6) – Bohrpfahl GP-010 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.7: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-6) – Bohrpfahl GP-010 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.8: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-6) – Bohrpfahl GP-010 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.9: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-1) – Bohrpfahl GP-016 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.10: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-1) – Bohrpfahl GP-016 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.11: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-1) – Bohrpfahl GP-016 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.12: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-1) – Bohrpfahl GP-016 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.13: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-2) – Bohrpfahl GP-046 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.14: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-2) – Bohrpfahl GP-046 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.15: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-2) – Bohrpfahl GP-046 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein





Abb. 13.16: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-2) – Bohrpfahl GP-046 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N10-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.17: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-3) – Bohrpfahl GP-050 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.18: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-3) – Bohrpfahl GP-050 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.19: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-3) – Bohrpfahl GP-050 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.20: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-3) – Bohrpfahl GP-050 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein


Abb. 13.21: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-053 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.22: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-053 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.23: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-053 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.24: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-053 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.25: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-054 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.26: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-054 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.27: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-054 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.28: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-054 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.29: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-058 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.30: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-058 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.31: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-058 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.32: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-058 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.33: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-059 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.34: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-059 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.35: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-059 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.36: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-4) – Bohrpfahl GP-059 – Baustelle Bad Wiessee (BG 39) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein

13.2 Bohrgerät BG-30



Abb. 13.37: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-9) – Bohrpfahl GP-118 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.38: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-9) – Bohrpfahl GP-118 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.39: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-9) – Bohrpfahl GP-118 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.40: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-9) – Bohrpfahl GP-118 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.41: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-123 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.42: Variante: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-123 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.43: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-123 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.44: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-123 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.45: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-124 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.46: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-124 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.47: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-124 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.48: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-124 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.49: Gegenüberstellung der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-127 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.50: Gegenüberstellung der Drehmomente je Bohrgang und den Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-127 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.51: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Bohrgeschwindigkeit je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-127 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein



Abb. 13.52: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehmomente je Bohrgang und der Schlagzahlen der Schweren Rammsondierung (DPH-10) – Bohrpfahl GP-127 – Baustelle Bad Wiessee (BG 30) – theoretischer N₁₀-Wert (≥30 Schläge) für Festgestein