

Diploma Thesis

Process modeling and effort calculation of execution and documentation processes for jet grouting

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

DIPLOMARBEIT

Prozessdarstellung und Aufwandswertermittlung von Ausführungs- und Dokumentationsvorgängen beim Düsenstrahlverfahren

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

von

Josef Honeder, BSc

Matr. Nr.: 01129142

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Gerald Goger**

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. **Leopold Winkler**

Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement
Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/234-1, A-1040 Wien

Wien, im November 2018

Kurzfassung

Schlagwörter: Düsenstrahlverfahren; Dokumentation; Prozessanalyse; Prozessvisualisierungen; Optimierungen; baubetriebliche Auswertung; Aufwandswerte

Die Baubranche ist geprägt durch das Ineinandergreifen der Faktoren „Kosten, Qualitäten und Termine“. Diese bestimmen einerseits die Ausführungsprozesse und andererseits haben sie zunehmenden Einfluss auf die klassischen Büro- und Dokumentationsstätigkeiten. In einer Zeit, die von steigender Geschwindigkeit und Effizienz geprägt ist, gilt es die Erfassung, Verarbeitung und Auswertung der entsprechenden Daten, so rasch als möglich sowie in einer Qualität zu erledigen, die eine lückenlose Nachverfolgung zulässt. Diese Erfassung und Darstellung ist v.a. im Spezialtiefbau ein wichtigstes Thema, da in vielen Fällen die Dokumentation als Nachweis der plangemäßen Ausführung herangezogen wird.

Aus diesen Gründen befasst sich die vorliegende Arbeit mit den Ausführungs- und Dokumentationsprozessen beim Düsenstrahlverfahren. Da der Dokumentationsvorgang ein zeitintensiver Prozess ist, welcher vom technischen Personal erfüllt wird, und es derzeit an einer formalen Beschreibung und Darstellung dieses Prozesses, sowie einer quantitativen Auswertung des Zeitaufwandes für diese Vorgänge fehlt, gilt es die entsprechenden Prozesse, sowie die Aufwandswerte für diese Tätigkeiten, zu ermitteln.

Die Grundlage dieser Arbeit bildet eine Prozessanalyse, die auf zwei ausgewählten Baustellen, in Kooperation mit einem Unternehmen, durchgeführt wurde. Aufbauend auf diesen Analysen wurden Modelle der Ist-Zustände, des Ausführungs- und Dokumentationsprozesses, mit Hilfe der Modellierungssprache „Business Process Model and Notation (BPMN)“ abgebildet. Das Modell des Dokumentationsvorganges liefert einerseits Erkenntnisse über die Art und Weise des Datenflusses während der Dokumentation und andererseits diente es als Basis für die Bestimmung des Zeitaufwandes. Die Prozessanalyse hat aufgezeigt, dass der derzeitige Dokumentationsprozess von manuellen Übertragungen und Bearbeitungen geprägt ist und die Datenaufzeichnung während der Herstellung, als einziger Bestandteil des Prozesses automatisiert ist. Mit Hilfe des modellierten Dokumentationsprozesses wurden Fehleranfälligkeiten und daraus abgeleitete Optimierungen für den Dokumentationsvorgang ermittelt.

Anhand der Dokumentation, die während der untersuchten Projekte erstellt wurde, werden Aufwandswerte und Kennzahlen für die Ausführungsprozesse berechnet. Mit diesen Aufwandswerten, sowie mit den zuvor ermittelten Werten, für den Zeitaufwand der Dokumentation, wird anschließend die Verhältnismäßigkeit von Ausführung zu Dokumentation, in Bezug zur Arbeitszeit, dargestellt. Diese Gegenüberstellung verdeutlicht, dass der derzeitige Dokumentationsprozess einen nicht zu unterschätzenden Arbeitsaufwand mit sich bringt

Abstract

Keywords: jet grouting; documentation; process analysis; process modelling; optimizations; key performance indicator, effort values

Civil Engineering is characterized by the interaction of costs, deadlines and quality. On the one hand these three factors affect the execution process and on the other hand they have an increasing influence on the traditional office and documentation operations. In a time of increasing speed and efficiency, gathering, processing and analyzing of the relevant data must be done as quickly as possible together with adequate quality that allows complete tracking. The collection and representation of all data is a major issue, especially in the field of special civil engineering, due to the fact, that in many cases the documentation is used as to proof that the work has been conducted as planned.

Based on those objectives the following thesis focuses on documentation and execution processes in the area of jet grouting. The creation of the documentation is a time-consuming process, which is performed by the technical staff at the construction site (site engineer, site manager). Since currently there is no formal description of the documentation processes and hence also no time estimates for those tasks exist, this work is putting together the necessary information to create graphics and description for the documentation processes and estimate necessary time for those.

Based on a process analyses, that was done on two distinct construction sites, in cooperation with a construction company, the status quo of the execution and documentation processes was documented with the help of „Business Process Model and Notation (BPMN)“. Building upon the model, it was possible to get a better understanding of the information flow during the documentation as well as the time necessary to do the same. This helped also in understanding sources of errors and finding potential for optimization. The process analysis has shown that the current documentation process is characterized by manual data input and edits. Just the data logging during the execution is the only automated process part.

The documentation material put together during the examined projects, is the basis for creating key performance indicators and effort values for the execution processes. With those data and the calculated effort values for the documentation process, the proportionality between those two processes is calculated. We will see that the documentation process is resulting in a work effort that shouldn't be underestimated.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	III
Abstract	V
Inhaltsverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Forschungsfragen	2
1.3 Methodik	2
1.4 Begriffe und Definitionen	3
2 Grundlagen	6
2.1 Düsenstrahlverfahren	6
2.1.1 Verfahrensarten	10
2.1.2 Herstellungsablauf	13
2.1.3 Anwendungsgebiete	14
2.1.4 Elementformen	16
2.1.5 Suspensionsausgangsstoffe.....	17
2.1.6 Geräte, Baustelleneinrichtung und Personalbedarf.....	18
2.1.7 Rückflussbehandlung	21
2.1.8 Qualitätssicherung.....	21
2.1.9 Datenaufzeichnungseinheiten	23
2.2 Stand der Technik - Normung	23
2.2.1 Normen.....	23
2.2.2 Merkblätter, Richtlinien	30
2.2.3 Standardisierte Leistungsbeschreibungen	35
2.3 Statistische Grundlagen – Deskriptive Statistik	35
2.3.1 Grundgesamtheit und Stichproben.....	36
2.3.2 Lagemaße.....	36
2.3.3 Streuungsmaße	37
2.3.4 Einfache lineare Regression.....	38
2.4 Projektgrundlagen	39
2.4.1 Projekt A	39
2.4.2 Projekt B	41
2.4.3 Verwendete Bohrgeräte.....	43
2.4.4 Eingesetzte Datenaufzeichnungssysteme	44
3 Prozessermittlung und -darstellung	45
3.1 Prozesslandkarte	46
3.2 Ausführungsprozess	48
3.2.1 Beschreibung der Gruppe - Vorbereitung/Vorarbeiten.....	51
3.2.2 Beschreibung der Gruppe - Bohrung	51
3.2.3 Beschreibung des Unterprozesses – Vorbohren.....	52
3.2.4 Beschreibung der Gruppe - Vorschneiden	53
3.2.5 Beschreibung der Gruppe – Jetten	54
3.2.6 Beschreibung der Gruppe - abschließende Tätigkeiten	54
3.2.7 Beschreibung der Gruppe – Rücklaufbehandlung	54
3.2.8 Beschreibung der Gruppe - Höhenkontrolle angrenzender Bauwerke	55
3.2.9 Beschreibung der Lane - Zugeteiltes Personal Hochdruckpumpe.....	55
3.2.10 Beschreibung des Unterprozesses - Suspensionskontrolle	57
3.3 Tradierter Dokumentationsprozess.....	57
3.3.1 Beschreibung des Hauptprozesses.....	57

3.3.2	Beschreibung des Unterprozesses – Beschaffung Jean Lutz Daten	63
4	Prozessanalyse	64
4.1	Analyse des Ausführungsprozesses	64
4.1.1	Optimierungsvorschlag für den Unterprozess Vorbohren	65
4.1.2	Optimierungsvorschlag für das Ausstecken der Bohransatzpunkte	66
4.1.3	Optimierungsvorschlag für Höhenkontrolle	67
4.2	Analyse des Dokumentationsprozesses	68
4.2.1	Dokumentationsaufwandswerte	68
4.2.2	Benötigte Dokumentationszeit - Hochrechnung	74
4.2.3	Fehleranfälligkeiten des Dokumentationsprozesses	75
4.2.4	Verbesserungspotentiale	76
5	Baubetriebliche Betrachtung – Auswertung der Herstelldaten	85
5.1	Arbeitszeiteffizienz und Gesamtbohr-/Jet-Meter	85
5.1.1	Projekt A	87
5.1.2	Projekt B	90
5.2	Tatsächliche Aufwandswerte	91
5.2.1	Projekt A	91
5.2.2	Projekt B	95
5.3	Vergleich von Ausführungs- zu Dokumentationszeit	99
6	Ergebnisse – Ausblick	104
6.1	Beantwortung der Forschungsfragen	104
6.2	Ausblick	106
7	Verzeichnisse	107
7.1	Abkürzungsverzeichnis	107
7.2	Literaturverzeichnis	108
7.2.1	Bücher, Artikel	108
7.2.2	Normen, Richtlinien und Merkblätter	108
7.2.3	Online-Quellen	109
7.3	Abbildungsverzeichnis	110
7.4	Tabellenverzeichnis	112
8	Anhang	113
8.1	Daten Zeiterfassung Dokumentationsaufwände	113
8.1.1	Übersicht Zeiterfassung Dokumentationsaufwände	113
8.1.2	Vorbereitungszeit	114
8.1.3	Übertragungs-/Abgleichzeit	114
8.2	Daten Projekt A	116
8.2.1	Produktive DSV-Arbeitszeit und hergestellte Längen	116
8.2.2	Auswertungsübersicht Aufwandswerte	121
8.3	Daten Projekt B	123
8.3.1	Auswertungsübersicht Aufwandswerte	123
8.3.2	Zusätzliche Darstellungen Aufwandswerte	125
8.4	Gegenüberstellung Ausführungs- zu Dokumentationszeit	127
8.4.1	Eingangsdaten für einfache Gegenüberstellung	127
8.4.2	Gegenüberstellung mit Personaleinsatzzeit	128
8.5	Programmcode	130

1 Einleitung

Das Düsenstrahlverfahren (DSV) hat sich in den letzten Jahren zu einem beliebten Bauverfahren der Spezialtiefbaubranche entwickelt, da es vielfältig einsetzbar und im Vergleich zu anderen Verfahren bzw. Systemen anpassungsfähiger ist. Wie der Titel der Arbeit bereits verdeutlicht, befasst sich diese mit den Prozessdarstellungen und Aufwandswertermittlungen der Ausführungs-, sowie Dokumentationsprozesse beim Düsenstrahlverfahren.

Im nachfolgenden Abschnitt wird zunächst die Motivation für die Bearbeitung der Themenstellung erläutert, die Forschungsfragen dargelegt und auf die verwendete Methodik zur Bearbeitung der Forschungsfragen eingegangen. Als Abschluss werden verwendete Begriffe und Definitionen erörtert. In Kapitel 0 werden die Grundlagen des DSV, der Normung, der angewendeten Statistik und der untersuchten Projekte erläutert. Kapitel 3 befasst sich mit den Prozessermittlungen und -darstellungen, welche im Kapitel 4 anschließend analysiert werden. Die baubetriebliche Betrachtung in Kapitel 5, bildet den Abschluss der bearbeiteten Themengebiete. Die Ergebnisse und Beantwortung der Forschungsfragen werden in Kapitel 6 angeführt.

1.1 Motivation

In Fachbüchern finden sich zahlreiche Visualisierungen des Herstellungsablaufes die auf die wesentlichen Hauptschritte vereinfacht sind. Ziel der vorliegenden Arbeit ist, den Ausführungsprozess zu analysieren und den Ist-Stand der einzelnen Produktionsschritte detailliert, sowie die aufgabenbezogene Zuordnung der Beteiligten, wiederzugeben.

Ein wichtiger Aspekt bei der Herstellung von DSV-Elementen ist die dringend notwendige Dokumentation, da die produzierten „Boden-Beton-Körper“ später größtenteils nicht (z.B. Dichtsohle) bzw. nur teilweise (z.B. einseitig freigelegte Unterfangungen) sichtbar sind. Aus diesem Grund ist für die Qualitätsdokumentation und als Nachweis für die Abrechnung, gegenüber dem Auftraggeber, eine lückenlose Aufzeichnung der DSV-Arbeiten notwendig. Da diese Dokumentation mitunter eine sehr zeitintensive Arbeit ist, die vom technischen Personal (Bautechniker, -leiter¹) erfüllt wird und eine Vielzahl an Datensätzen produziert, gilt es die Prozessvorgänge sowie die Aufwandswerte für diese Tätigkeit zu ermitteln.

In einer Zeit die von zunehmender Geschwindigkeit bzw. Automation, Kosten- und Prozessoptimierungen geprägt ist, gilt es Überschneidungen und mögliche Verbesserungsabläufe der Dokumentationsarbeiten zu ermitteln, um effizient die geforderten Unterlagen aufbereiten zu können. Aufbauend auf dieser Dokumentation findet anhand zweier Projekte,

¹ Genderhinweis: Der Autor legt großen Wert auf Diversität und Gleichbehandlung. Im Sinne einer besseren Lesbarkeit wurde jedoch oftmals entweder die maskuline oder feminine Form gewählt. Dies impliziert keinesfalls eine Benachteiligung des jeweils anderen Geschlechts.

die in Kooperation mit dem Forschungspartner ausgewählt wurden, eine nachträgliche Analyse der Herstelldaten statt. Diese Auswertung stellt die tatsächliche Ist-Leistung, eventuelle Effizienzverluste und Leistungsverschiebungen dar.

1.2 Forschungsfragen

Aus der Motivation und den daraus resultierenden Themengebieten ergeben sich folgende Forschungsfragen, die dieser vorliegenden Arbeit als Leitfaden dienen und im Anschluss an die Bearbeitung der Themengebiete in Kapitel 6.1 auf Seite 104 beantwortet werden:

◆ Frage 1:

Wie erfolgt die Dokumentation der gesammelten Gerätedaten und der gewonnenen Informationen, während des DSV-Herstellprozesses, sowie deren Nachverfolgung im Projektzyklus aus Sicht eines ausführenden Unternehmens?

◆ Frage 2:

Welchen Zeitaufwand bringt die abrechnungsrelevante sowie die für die Qualitätssicherung erforderliche Dokumentation mit sich?

◆ Frage 3:

Wie kann der Dokumentations- und Analyseprozess optimiert werden?

◆ Frage 4:

In welchem Verhältnis steht der Zeitaufwand des Dokumentationsprozesses im Bezug zum Ausführungsprozess?

1.3 Methodik

Eine Recherche facheinschlägiger Literatur ist für die Beantwortung der Forschungsfragen nicht ausreichend, da es sich größtenteils um Vorgänge, Werte und Daten handelt, die nur vor Ort auf Baustellen ermittelt werden können. Die Literaturrecherche wurde im einleitenden Teil dieser Arbeit, für die Vermittlung eines Überblickes über das Düsenstrahlverfahren und dem Stand der Technik, angewendet. Die Ermittlung der Herstellungs- und Dokumentationsabläufe wurde mittels einer Prozessanalyse auf ausgewählten Baustellen durchgeführt, bei der die verschiedenen Beteiligten, wie Bauleiter, Polier bzw. Bohrgeräteführer bei deren täglichen und routinemäßigen Arbeiten begleitet wurden. Die Bestimmung der Aufwandswerte und tatsächlichen Leistungsansätze in der Ausführung, erfolgte mit einer Analyse der Herstelldaten. Die Dokumentationsaufwandswerte wurden mittels Einzelzeitaufnahmen, d.h. mittels Zeitmessung zwischen zwei Messpunkten, durchgeführt. Die Ermittlung von Optimierungspotentialen im Dokumentationsprozess erfolgt mit einer vorgelagerten Analyse auf Fehleranfälligkeiten bzw. Überschneidungen in den Abläufen und aus daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen.

1.4 Begriffe und Definitionen

Abnahmeprüfung:

Dient zum Nachweis, dass die hergestellten Elemente die technischen Anforderungen gemäß Planung erfüllen.²

Bindemittel:

Sind anorganische (z.B. Zement, Kalk) oder organische (z.B. Bitumen, Reaktionsharze) Stoffe mit denen andere feste Stoffe (z.B. Sande, Kiese) miteinander verbunden werden. Erreicht wird dies mittels intensiver Vermischung der Bestandteile, unter möglicher Zugabe von Wasser und späterer Aushärtung des Bindemittels (Kristallisation).³

Bohr- und Düsgestänge:

Ist ein Arbeitsmittel, dass mittels eines Trägergerätes (Bohrgerät) in den Boden abgeteuft wird und zur Weiterleitung des entsprechenden Bohr- und Düsmittels dient.

Dichtwand:

Sind flächenhafte, lückenlose Bereiche mit geringer Durchlässigkeit im Untergrund, die durch eine hydraulisch erhärtende Suspension, die den anstehenden Boden ersetzt oder verbessert, erzeugt werden. Sie werden als Konstruktionselemente für die Wasserhaltung, als Sicherung gegen Unterströmung sowie zum Schutz des Grundwassers gegen Sickerströmungen aus Deponien verwendet.⁴

Düsenstrahlverfahren (DSV):

Das Düsenstrahlverfahren ist eine Technik des Spezialtiefbaues, dessen Prinzip darin besteht, den anstehenden Boden mit Hilfe eines energiereichen Wasser- oder Suspensionsstrahles, welcher aus einem abgeteuften Bohrgestänge austritt, aufzuschneiden, zum Teil auszutauschen und mit dem eingebrachten Zement-Wassergemisch (=Suspension) zu vermörteln. Infolgedessen entstehen im Untergrund durch das Abbinden des Zementes verfestigte Bodenkörper, sogenannte DSV-Elemente.

DSV-Ausfachung

Wird bei aufgelösten Bohrfahlwänden ausgeführt, indem die Zwischenräume mit DSV-Elementen geschlossen werden, um die Baugrube einerseits statisch konstruktiv zu sichern und andererseits gegen Grundwasser abzudichten.

² Vgl. [21] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM B 2279, S.5

³ Vgl. [28] Chemie.de

⁴ Vgl. [22] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM B 4452, S.2

DSV-Element:

Als DSV-Element wird jenes Gebilde (verfestigtes Bodenvolumen, „Betonkörper“) genannt, dass bei einem Arbeitsvorgang, d.h. bei einem Abteufen des Bohrgestänges, erzeugt wird.⁵

DSV-Körper:

Sind zusammenhängende oder teilweise verbundene Düsenstrahlelemente.⁵

DSV-Parameter:

Sind jene Parameter, mit denen sich die Reichweite des Düsenstrahles steuern lassen und somit der herzustellende Durchmesser bzw. die Form der DSV-Elemente.

Eignungsprüfung:

Nachweis der Tauglichkeit, sowie der Ausführbarkeit, des verwendeten Verfahrens mit den gewählten Herstellungsparametern im anstehenden Baugrund.⁶

Frischsuspension:

Ist eine Suspension (siehe Seite 5), mit jenen Eigenschaften, die diese vor dem Einbringen in den Boden im Vorratsbehälter aufweist.

Geotechnische Kategorie (GK):

Ist eine Unterteilung (GK 1-3), in die Baumaßnahmen nach ihrem geotechnischen Risiko eingeteilt werden, welche sich nach den Baugrundverhältnissen, dem Schwierigkeitsgrad der Konstruktion und der Wechselbeziehung des Bauwerks mit der Umwelt richtet. Dabei umfasst GK 1 kleine und relativ einfache Bauwerke, GK 2 konventionelle Gründungen und Bauwerke ohne außergewöhnliches Risiko oder schwierige Baugrundbedingungen und GK 3 all jene Bauwerke, die nicht in GK 1 oder 2 fallen, sprich Projekte mit hohem Schwierigkeitsgrad und Sicherheitsanspruch.⁷

Jetten, Jet-Vorgang:

Wird jener Vorgang des Düsenstrahlverfahrens genannt, bei dem das Bohrgestänge gezogen und gleichzeitig Suspension in den Boden eingebracht wird.

Monitor bzw. Düsenträger:

Ist jener Teil des Bohrgestänges, der nach dem Bohrkopf angeordnet ist und in dem die Düsen eingeschraubt sind. Durch diese Öffnungen wird die Suspension, bzw. das Wasser in den Boden eingebracht.

⁵ Vgl. [24] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM EN 12716, S.4-5

⁶ Vgl. [21] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM B 2279, S.6

⁷ Vgl. [23] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM EN 1997-1, S.26-27

Rückfluss/-lauf:

Überschüssiges Gemisch, bestehend aus in den Untergrund eingebrachter Suspension und feinen Bodenpartikeln, welches über den Ringraum des Bohrloches an die Oberfläche austritt.⁵

Suspension:

Ist ein heterogenes Stoffgemisch, dass in die Gruppe der Dispersionen eingeteilt wird. Die Bestandteile der Suspension (lat. suspendere – aufhängen, in der Schwebelage halten) bestehen aus einer Flüssigkeit, dem Dispersionsmittel (beim DSV Wasser), und den darin verteilten Feststoffen, der dispersen Phase (Bindemittel, und u.U. Zusatzstoffe und Zusatzmittel), die mittels spezieller Rührer und Mischer in der Schwebelage gehalten werden und somit eine Sedimentation verhindern.⁸

Übermaß:

Herstellungsbedingtes erforderliches Maß, um welches die planlichen Darstellungen der DSV-Elemente im Untergrund größer ausgeführt werden müssen, um an den Soll-Abmessungen die gewünschte Qualität aufweisen zu können. Betrifft einerseits den Durchmesser und andererseits die Ober- und Unterkante der hergestellten Elemente.

Viskosität:

Die Viskosität bezeichnet die Zähigkeit (innere Reibung) von Flüssigkeiten. Eine hohe Viskosität bedeutet, dass das Fluid dickflüssig ist, und daher weniger fließfähig ist.⁹

Wasser/Zementwert (W/Z-Wert):

Beschreibt das Massenmischungsverhältnis von Wasser- zu Zementgehalt in einer Charge, und beeinflusst wesentliche Eigenschaften wie Dichte, Viskosität, Festigkeit und Absetzmaß.¹⁰

Zwickel bzw. Zwickelabdichtung

Siehe DSV-Ausfachung.

⁸ Vgl. [2] Blumenthal, Linke, Vieth, 2006, S. 26-27

⁹ Vgl. [29] Chemie.de

¹⁰ Vgl. [25] Beuth Baulexikon Online

2 Grundlagen

Im folgenden Kapitel wird ein allgemeiner Überblick über das Düsenstrahlverfahren gegeben, um die Arbeitsabläufe und die später angeführten Prozessdarstellungen (siehe Kapitel 3) verständlicher zu machen. Eine Zusammenfassung der wichtigsten Normen und Richtlinien spiegelt den Stand der Technik wieder. Zuletzt wird auf statistische und projektspezifische Grundlagen eingegangen, die während der Bearbeitung der vorliegenden Arbeit verwendet bzw. eingeflossen sind, sowie als Basis dafür gedient haben.

2.1 Düsenstrahlverfahren

Das Düsenstrahlverfahren, ebenfalls unter den Synonymen Hochdruckbodenvermörtelung (HDBV, hpts. in Österreich), Jetting bzw. Jetten (hpts. in der Schweiz), Jet-Grouting (internationale Bezeichnung) ist ein Bauverfahren des Spezialtiefbaues.¹¹ Ursprünglich stammt das Verfahren aus Japan, wo bereits 1970 ein entsprechendes Patent angemeldet wurde. In Europa wurde es erstmals 1974 in Italien und fünf Jahre später in Deutschland angewendet.¹² Heutzutage ist es ein in ganz Europa verbreitetes Verfahren, das unter folgenden Herstellerbezeichnungen und -eigennamen verwendet wird:

- ◆ Hochdruckinjektion (HDI) – Firma Bauer Spezialtiefbau GmbH
- ◆ Rodinjet – Firma Rodio Geotechnik AG
- ◆ Soilcrete-Verfahren – Firma Keller Grundbau GmbH
- ◆ Soil-Jet – Züblin Spezialtiefbau GmbH
- ◆ Stump-Jetting – Firma Stump Spezialtiefbau GmbH
- ◆ Trevi-Jet – Firma Trevi S.p.A.

Das Prinzip des DSV besteht darin, die vorhandene Bodenstruktur mit Hilfe eines energiereichen Wasser- oder Suspensionsstrahles (Drücke bis 600 bar, Austrittsgeschwindigkeiten > 100 m/s), welcher rechtwinkelig aus einem abgeteuften hohlen Bohrgestänge austritt, aufzuschneiden bzw. aufzulösen, zum Teil auszutauschen und mit dem eingebrachten Zement-Wassergemisch in-situ zu vermörteln bzw. zu ersetzen. Im Untergrund entstehen durch das Abbinden des Zementes in der Suspension verfestigte Bodenkörper, sogenannte DSV-Elemente (siehe Abb. 2.1, hier wurde bei einer aufgelösten Bohrpfahlwand ein DSV-Zwickel zur Abdichtung hergestellt). Das Gestänge wird während des Jet-Vorganges nach oben gezogen und um die Bohrachse gedreht, geschwenkt oder nicht bewegt. Je nach Bewegung entstehen so kreis-, segment- oder lamellenförmig Körper, die sich gegenseitig zur Bildung größerer Kubaturen überschneiden können (siehe Abb. 2.2, hier wurde ein

¹¹ Vgl. [7] Buja, Katzenbach, 2015, S. 707

¹² Vgl. [13] Möller, 2013, S. 63

DSV-Block aus sich überschneidenden Säulen hergestellt, gut ersichtlich ist die Grenze zum nicht behandelten Boden).



Abb. 2.1: DSV-Zwickel zwischen Bohrpfählen¹³



Abb. 2.2: DSV-Block und unbehandelter Boden¹³

Die Herstellung der Bohrlöcher kann mit verschiedenen Bohrverfahren erfolgen. Die gängigsten sind Spülbohrungen, mit Wasser oder Zementsuspension als Spülmedium, und Im-Loch-Hammer-Bohrungen, Luft oder Wasser getrieben. Erforderlichenfalls kann die Bohrung verrohrt ausgeführt werden. Der Baugrund sollte jedenfalls vor Beginn der Bohrarbeiten immer auf Kampfmittelfreiheit überprüft werden, da dies in Österreich noch immer ein wesentliches Thema ist.

Das bearbeitete Bodenmaterial, welches teilweise ausgetauscht bzw. ausgespült wird, wird mit dem überschüssigen Suspensionsgut, als sogenannter Rückfluss, an die Baugrundoberfläche gefördert. Der Durchmesser der Bohrkronen muss daher größer als der des Bohrgestänges gewählt werden, um einen Ringraum zwischen Gestänge und Bohrlochwandung herzustellen. Der so entstandene Freiraum sollte ausreichend groß dimensioniert sein, damit der Rückfluss frei nach oben zum Bohrlochmund austreten kann und es zu keinen Verstopfungen kommt. Buja und Katzenbach¹⁴ empfehlen ein Mindestmaß von 2,0 cm, um welches die Bohrkronen größer sein sollte als das Gestänge. In der Praxis werden Bohrkronen verwendet, die einen wesentlich größeren Ringraum erzeugen, um ausreichend Material zur Oberfläche fördern zu können. Treten Stopfer während der Produktion auf, kann dies

¹³ Quelle: Eigenaufnahme Honeder

¹⁴ Vgl. [7] Buja, Katzenbach, 2015, S. 714

zu Hebungen des Bodens oder angrenzender Bauwerke führen, da keine Druckentlastung mehr gegeben ist und sich der Druck anderwärtig im Boden abbauen muss.

Das DSV im Vergleich zu herkömmlichen Zement- oder Chemikalieninjektionen in sämtlichen Lockergesteinen einsetzbar und kann zum Teil im mäßig festen Gestein ebenfalls verwendet werden (siehe Abb. 2.3). Die Variation der folgenden DSV-Parameter:

- ◆ Drücke und Durchflussraten der Flüssigkeiten,
- ◆ Dreh- und Ziehgeschwindigkeit bzw. Haltedauer und Stufenhöhe des Gestänges
- ◆ Düsenanzahl und -durchmesser,
- ◆ mit oder ohne Vorschneiden, sowie
- ◆ Zusammensetzung der Suspension (W/Z-Wert)

ermöglicht eine Anpassung des Verfahrens an die jeweiligen vorgefundenen Bodenverhältnisse und die Herstellung der gewünschten Elemente, mit den entsprechenden Abmessungen, im Untergrund.¹⁵ Die Abmessungen und Festigkeiten sind, bei Verwendung der gleichen Parameter, in Böden mit hoher Kohäsion (Ton, toniger Schluff) stets geringer als im Vergleich zu nicht bindigen Böden. In bindigen Böden steigt der Material- und Energieaufwand an.¹⁶ Für die Herstellung durchgehend konstanter Elementabmessungen, muss entweder die Einwirkungsdauer oder der Energieeintrag in der Tiefe höher sein als nahe an der Oberfläche, da der Erdwiderstand (Auflast) mit der Tiefe zunimmt.¹⁷

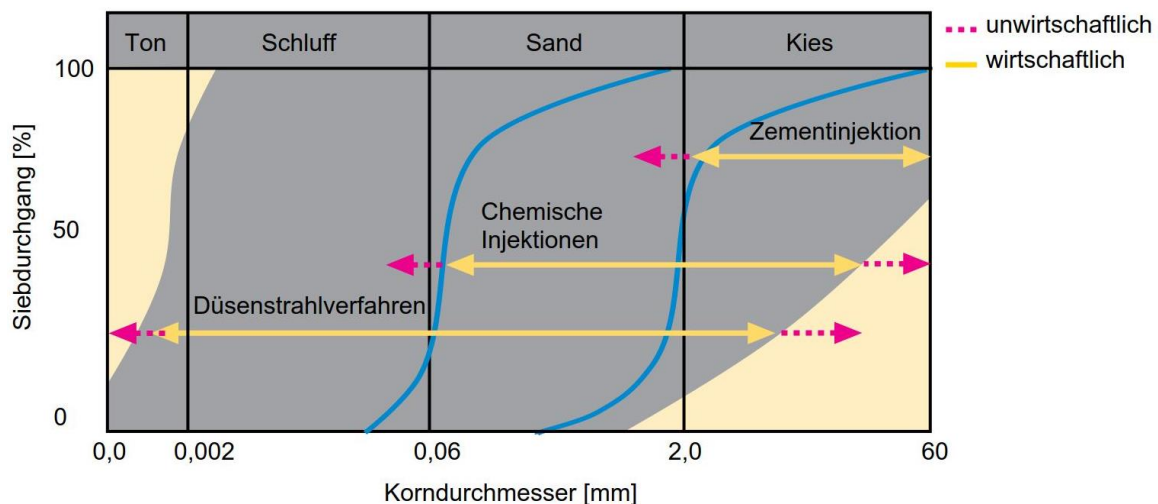


Abb. 2.3: Anwendungsbreite DSV¹⁸

¹⁵ Vgl. [13] Möller, 2013, S. 63

¹⁶ Vgl. [6] Buja, 2014, S. 955

¹⁷ Vgl. [7] Buja, Katzenbach, 2015, S. 290

¹⁸ Adaptiert, Quelle: [35] Trevi S.p.A., Jet Grouting Broschüre, S. 3

Die zu erzielende Festigkeit hängt vom antreffenden Boden sowie vom Zementanteil in der Suspension ab. Weitere Einflussfaktoren sind die Durchmischung von Suspension und Boden, sowie die Homogenität der DSV-Elemente. In Tonen und Schluffen kann mit Werten von 2 – 10 N/mm² und in Sanden bzw. Kiesen mit 10 – 25 N/mm² gerechnet werden.¹⁹

Im Vergleich zu Niederdruck- oder Auffüllinjektionen ist das DSV weitgehendst unabhängig vom vorhandenen Porenanteil und der antreffenden Porengröße im Untergrund. In tonigen und schluffigen Böden wird ein Vorschneiden, für die bessere Auflösung des Bodengefüges, empfohlen. Der Vorgang des Vorschneidens besteht darin, den Boden vor Einbringung der Suspension mit einem Hochdruck-Wasserstrahl aufzuschneiden bzw. auszuspülen und kann, je nach gewählten Verfahren (siehe Kap. 2.1.1), im selben oder einem zusätzlichen Arbeitsschritt erfolgen.

Wird das DSV in bindigen Böden angewendet, so wird das Bodenmaterial annähernd vollständig ausgespült und durch die Suspension ersetzt (siehe Abb. 2.2). In nicht bindigen Böden werden nur Feinkornanteile nach oben zum Bohrlochmund transportiert und Grobkornanteile im Untergrund mit der Suspension vermischt. Diese dienen als Zuschlagstoff und verbleiben im erhärtenden DSV-Element im Untergrund.²⁰

Unerlässlich beim DSV ist eine sorgfältige Baugrunduntersuchung/-erkundung, da die Ausführung aufgrund der geotechnischen Eigenschaften des Untergrundes geplant wird. Besonders zu beachtende geotechnische Verhältnisse sind:²¹

- ◆ Feste oder steife bindige Schichten und Linsen
- ◆ Quellende Böden – sensitive Tone
- ◆ Verfestigte oder verkittete Schichten oder Linsen (Konglomerat, Brekzie)
- ◆ Steine/Blöcke/Geschiebe im Untergrund
- ◆ Aggressive Böden und Wässer
- ◆ Lage des Grundwasserspiegels, sowie des hydraulischen Gefälles

Der Umweltschutz steht bei der Herstellung ebenfalls im Vordergrund. In der ÖNORM EN 12716²² werden zur besseren Abschätzung und Berücksichtigung der Einflüsse auf die Umwelt, folgende Risiken genannt:

- ◆ Verunreinigung der Oberflächen- und Grundwasser
- ◆ Unzulässige Veränderungen der natürlichen Grundwasserströmungen
- ◆ Luftverschmutzung sowie Lärm bei der Herstellung
- ◆ Bewegungen im Baugrund sowie an angrenzenden Gebäuden

¹⁹ Vgl. [5] Buja, 2004, S. 64

²⁰ Vgl. [15] Zilch, Diederichs, Katzenbach, Beckmann, 2013, S. 1589

²¹ Vgl. [24] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM EN 12716, S. 13

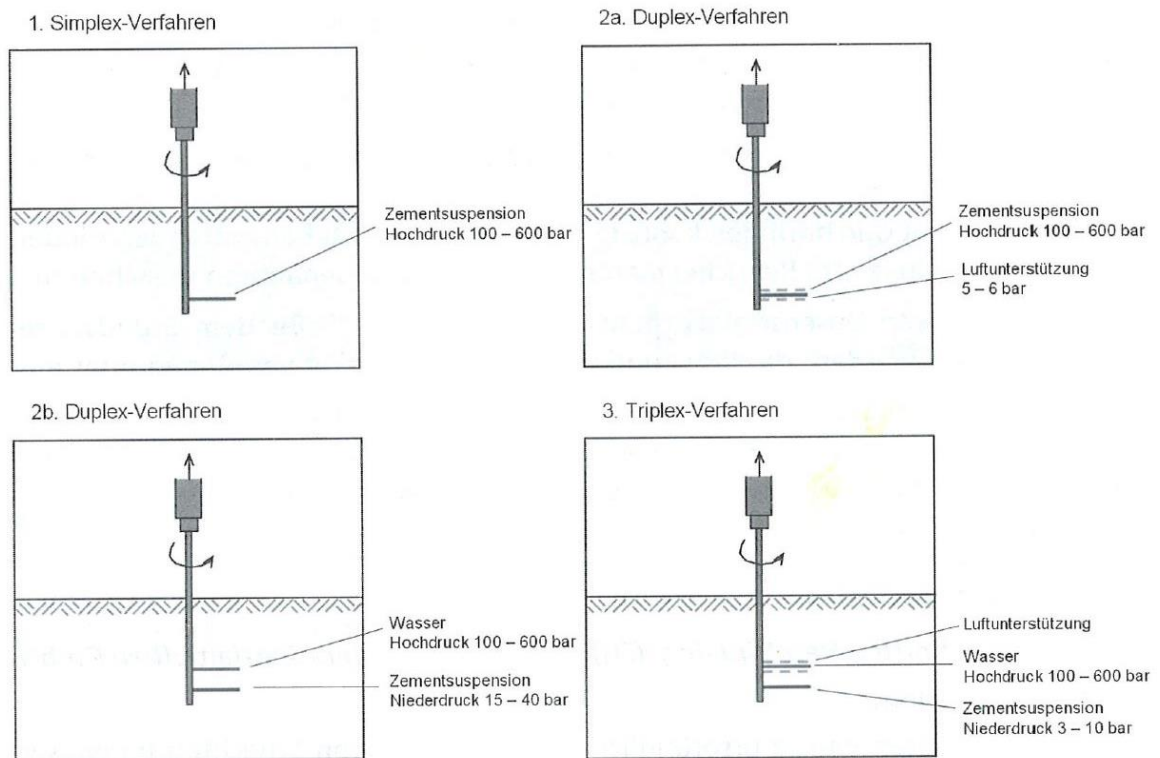
²² Vgl. [24] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM EN 12716, S. 27

2.1.1 Verfahrensarten

Zur Auswahl stehen, je nach technischen Anforderungen (z.B. erforderliche Durchmessergröße), den vorliegenden Bodenverhältnissen und des ausführenden Bauunternehmens, vier Verfahrensarten zur Verfügung (siehe Abb. 2.4). Der Unterschied dieser besteht in den verwendeten Bohrgestängen und Medien, sowie der Anordnung und Anzahl der Düsen am Monitor. So kann eine Düse oder mehrere, welche auf den Umfang gleich verteilt und entweder auf derselben oder auf verschiedenen Höhen angeordnet sind, verwendet werden. Folgende Verfahren werden unterschieden:

- ◆ Einphasensystem – Simplexverfahren:
Verwendete Phase: Suspension
Bindemiteleintrag über eine oder mehrere kreisförmige Düsen, d.h. nur Suspensionsschneidestrahle.
- ◆ Zweiphasensystem – Duplexverfahren:
 - Duplex Variante 1:
Verwendete Phasen: Suspension und Luft
Suspensionseintrag in Kombination mit Luft, über eine oder mehrere Doppeldüsen (siehe Abb. 2.12), für die Erzeugung eines luftummantelten Suspensionsschneidestrahles. Die Luftummantelung bildet einen Ring um die Suspension und vergrößert so die kinetische Wirkung des Düsenstrahles und infolgedessen die Reichweite.
 - Duplex Variante 2:
Verwendete Phasen: Wasser und Suspension
Wasserstrahl zum Vorschneiden und darunter angeordnete Düse für Suspensionseintrag mit niedrigerem Druck.
- ◆ Dreiphasensystem – Triplexverfahren:
Verwendete Phasen: Wasser, Luft und Suspension
Luftummantelter Wasserstrahl zum Vorschneiden aus einer oder mehrerer Doppeldüsen und darunter angeordnete Düse für Suspensionseintrag mit niedrigerem Druck in vorerodierten Boden.

Der Vorteil des Duplex-2- und Triplexverfahrens ist, dass der geringere Druck des Suspensionsschneidestrahles das Gerät und hier besonders die Düsen am Monitor geringer abnützt als das unter Hochdruck eingebrachte Wasser. Im Vergleich dazu werden beim Simplex- und Duplex-1-Verfahren die Düsen durch die Zementteilchen in der Suspension regelrecht ausgeschliffen, deren Durchmesser so erhöht und die Energiewirkung reduziert.

Abb. 2.4: Verfahrensarten²³

Je nach dem welches Verfahren, welche DSV-Parameter (siehe Seite 8 oben) verwendet werden und welche Bodenverhältnisse vorhanden sind, insbesondere ist hier die Lagerungsdichte bzw. die Konsistenz ausschlaggebend, können Säulendurchmesser von 0,60 m bis 4,00 m hergestellt werden.²⁴ Unter Verwendung von speziellen Düsen und höheren Drücken und Durchflussmengen, können Säulen mit einem Durchmesser von bis zu 5,0 m, von einigen wenigen Unternehmen hergestellt werden.²⁵ Übliche standardmäßige Durchmesser bewegen sich im Bereich von 1,0 – 2,2 m.

Düsenstrahlparameter		Verfahrensart			
Phase	Einheit	Simplex	Duplex 1 (Suspension+Luft)	Duplex 2 (Wasser+Suspension)	Triplex
Pumpdruck der Zementsuspension	[bar]	200 – 600	300 – 500	> 20	> 20
Durchflussrate der Zementsuspension	[l/min]	30 – 450	50 – 450	50 – 200	50 – 200
Wasserdruck	[bar]	-	-	300 – 600	300 – 600
Durchflussrate des Wassers	[l/min]	-	-	50 – 150	50 – 150
Luftdruck	[bar]	-	2 – 17	-	2 – 17
Durchflussrate der Luft	[m ³ /min]	-	3 – 12	-	3 – 12

Tab. 2.1: Bandbreiten der Düsenstrahlparameter²⁶

²³ Quelle: [7] Buja, Katzenbach, 2015, S. 601

²⁴ Vgl. [19] ÖBV – Merkblatt Baugrubensicherung, 2014, S. 33

²⁵ Vgl. [3] Boley, 2012, S. 497

²⁶ Adaptiert, Quelle: [24] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM EN 12716, S. 29

Mit steigender Festigkeit des Untergrundes muss der Energieeintrag des Düsenstrahles erhöht werden. Beeinflussbar ist dies über den Druck, die Bearbeitungsdauer und die Austrittsgeschwindigkeit des Strahles an der Düse, welche vom Düsendurchmesser abhängt. Mögliche Bandbreiten der Druckverhältnisse sowie der Durchflussraten können der Tab. 2.1 entnommen werden. Bei wechselnden Bodenschichten ist jene Schicht, mit den größten angetroffenen physikalischen Eigenschaften (Lagerungsdichte, Konsistenz), maßgebend für die Wahl der Parameter. Größere Elementdurchmesser lassen sich durch einen höheren Energieeintrag und/oder durch eine längere Bearbeitungsdauer, d.h. geringere Zieh- und Rotationsgeschwindigkeit, erzielen. Eine weitere Möglichkeit ist, den Untergrund mittels eines zusätzlichen Arbeitsganges vorzuschneiden, um so den Boden besser zu lösen, die Durchmischung zu erhöhen und daraus resultierend einen größeren Säulendurchmesser herstellen zu können.²⁷

Bei verschiedenen Bodenschichten, ist jene mit der größten Festigkeit für die Wahl der Parameter maßgebend. Dadurch kann es bei heterogenen Böden zu Überdimensionierungen des DSV-Säulendurchmessers in den „weicheren“ Schichten kommen. Zur Verhinderung dieses Problems, wurde das sogenannte Cross-Jet-Verfahren entwickelt, welches eine Modifikation des Triplexverfahrens darstellt. In Abb. 2.5 ist das Prinzip dieses Verfahrens ersichtlich. Es besteht darin, dass sich zwei luftummantelte Wasserstrahlen, die aus zwei in verschiedenen Höhen am Monitor befindlichen Düsen austreten, in einer gewissen Entfernung vom Bohrgestänge schneiden. Durch die Kreuzung der Strahlen, verlieren diese ihre kinetische Energie und der geplante Säulendurchmesser kann in allen Schichten eingehalten werden.²⁸

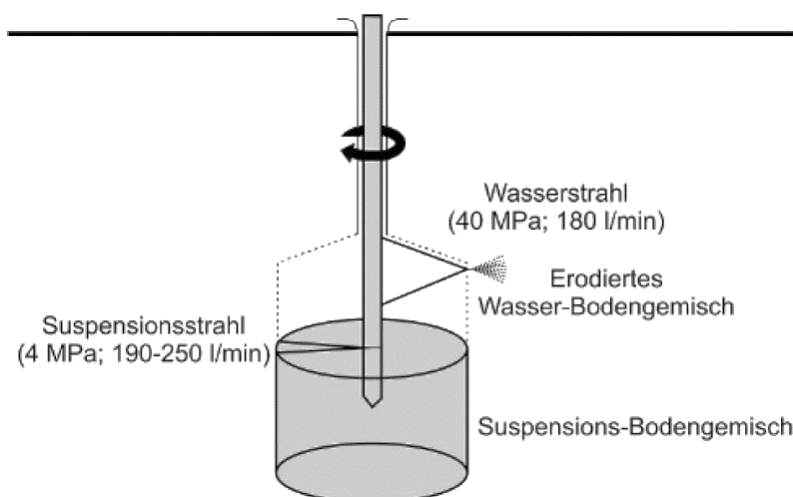


Abb. 2.5: Prinzipskizze Cross-Jet-Verfahren²⁹

²⁷ Vgl. [7] Buja, Katzenbach, 2015, S. 290, 710

²⁸ Vgl. [14] Witt, 2018, S. 214

²⁹ Quelle: [14] Witt, 2018, S. 215

2.1.2 Herstellungsablauf

Das DSV wird, wie in Abbildung 2.6 zu sehen, in folgende Arbeitsschritte unterteilt:

- 1) Anfahren und Einrichten des Bohrgerätes sowie anschließendes Abteufen des Bohrgestänges bis Solltiefe.
- 2) Beginn des Jet-Vorganges und gleichzeitiges Ziehen, sowie falls gewünscht, Drehen des Gestänges.
- 3) Herstellung bzw. Fertigstellung des DSV-Elementes in der gewünschten Form
- 4) Wiederholung des Vorganges an der nächsten Stelle, eventuell mit Überschneidung oder Aneinanderreihung, damit ein DSV-Körper entsteht.

Eine genaue Prozessdarstellung, sowie explizite Beschreibung der einzelnen Arbeitsschritte wird in Kapitel 3.2 ab Seite 48 behandelt.

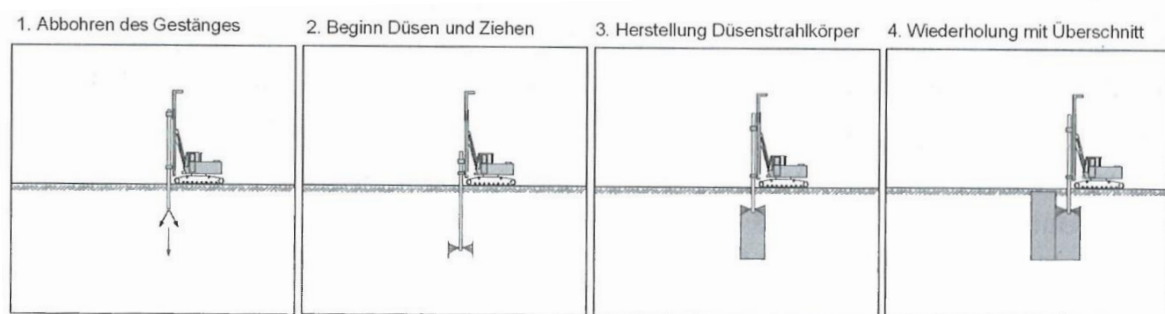
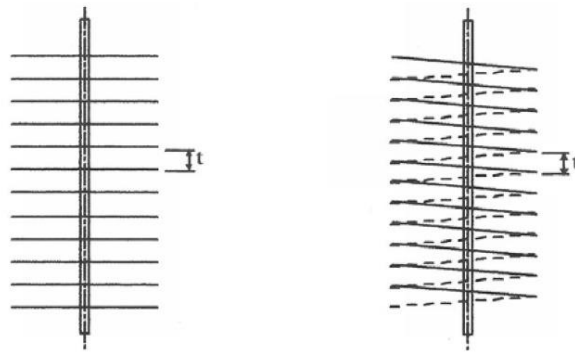


Abb. 2.6: Herstellungsablauf³⁰

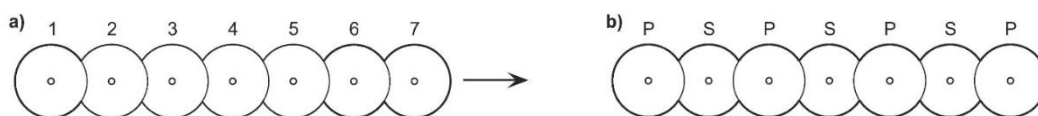
Beim Zurückziehen des Bohrgestänges, während des Jet-Vorganges, können zwei Methoden unterschieden werden. Einerseits kann das Gestänge kontinuierlich gezogen werden, d.h. es wird eine Art Spirale im Untergrund hergestellt (siehe Abb. 2.7 rechts). Andererseits kann es stufenweise zurückgezogen werden (siehe Abb. 2.7 links). Das schrittweise Zurückziehen des Gestänges, wird mit Intervallen von 5 – 10 cm empfohlen, jedoch können aufgrund von bestimmten Untergrundverhältnissen Abstände von nur 2 – 3 cm erforderlich sein. Beim kontinuierlichen Ziehen, müssen als Parameter die Umdrehungsgeschwindigkeit und die Ziehgeschwindigkeit festgelegt werden. Bei Intervallmethode müssen neben der Rotationsgeschwindigkeit, die Haltedauer pro Stufe sowie deren Höhen festgelegt werden.³¹

³⁰ Quelle: [7] Buja, Katzenbach, 2015, S. 602

³¹ Vgl. [3] Boley, 2012, S. 497

Abb. 2.7: Zieharten des Gestänges³²

Bei der Herstellung aneinandergereihte DSV-Elemente, können bei der Ausführung zwei Arbeitsabfolgen eingesetzt werden. Werden die einzelnen Elemente nacheinander hergestellt, ohne auf das (leichte) Erhärten der angrenzenden Elemente abzuwarten, so wird diese Variante „frisch-in-frisch“ genannt (siehe Abb. 2.8, a). Die zweite Abfolge ist das Pilgerschrittverfahren, bei diesem werden zuerst sogenannte Primärelemente (P) produziert und im Anschluss, nach einer gewissen Erhärungszeit, die Sekundärelemente (S) in den Zwischenräumen hergestellt (siehe Abb. 2.8, b).

Abb. 2.8: mögliche Herstellungsabfolge, a) frisch-in-frisch, b) Pilgerschrittverfahren³³

2.1.3 Anwendungsgebiete

Die gute Anpassungsfähigkeit des DSV an die entsprechenden Bodenverhältnisse, sowie die Möglichkeit die Bohrungen lotrecht, waagrecht oder in jedem beliebigen Winkel herzustellen, beschert dem Verfahren ein vielseitiges Anwendungsgebiet im Spezialtiefbau (siehe Abbildung 2.9). Die Herstellung der DSV-Elemente erfolgt aus einem Niveau (Arbeitsplanum) oberhalb des GW-Spiegels. DSV-Elemente können statische sowie abdichtende Funktionen erfüllen, die man in folgende Anwendungsgebiete zusammenfassen kann:³⁴

- ◆ Unterfangungen, Nachgründungen, Gründungsverstärkungen und -sanierungen
- ◆ Tief- und hochliegende Dichtsohlen

Werden Dichtsohlen hergestellt, muss immer die vertikale Verbauwand zuerst ausgeführt und bis in die Tiefe der späteren Sohle geführt werden. Die Sicherung gegen Auftrieb erfolgt bei hochliegenden Sohlen entweder durch Rückverankerungen oder durch die Ausbildung eines Gewölbes in der Sohle und infolgedessen

³² Quelle: [3] Boley, 2012, S. 497

³³ Quelle: [13] Möller, 2013, S. 64

³⁴ Vgl. [13] Möller, 2013, S. 66-67

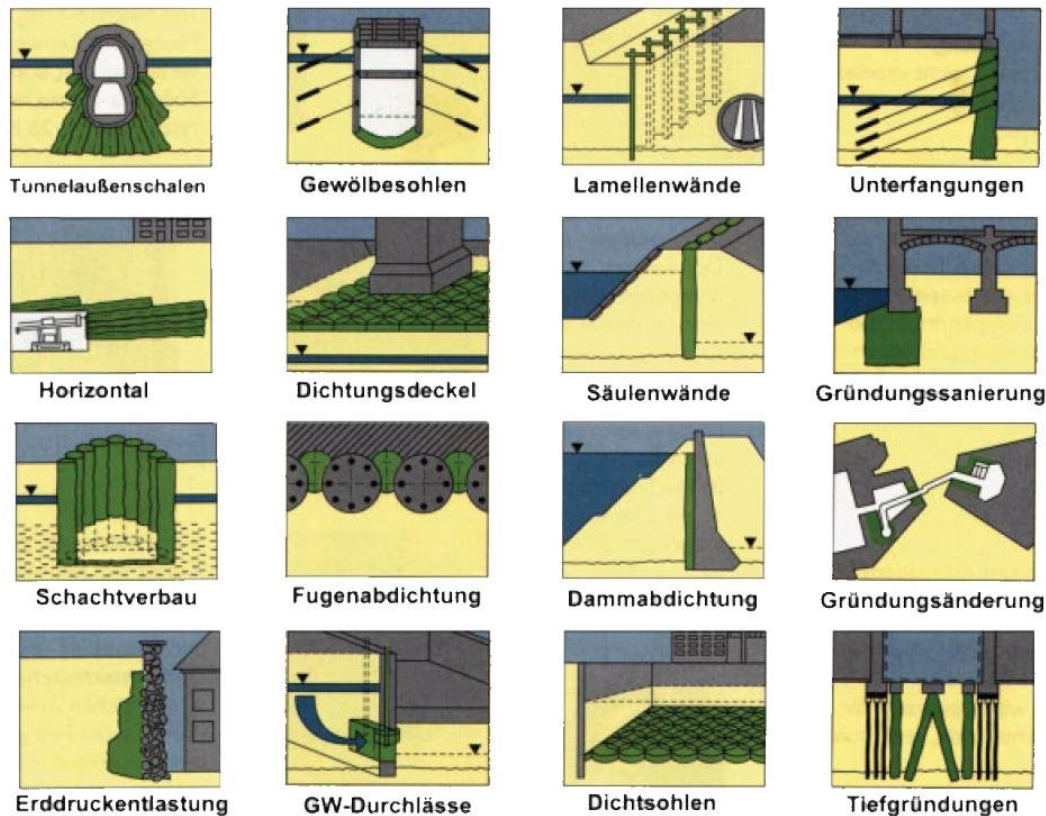
durch Kraftübertragung in der Fuge zur Verbauwand. Bei tiefliegenden Sohlen dient das Gewicht des Erdreiches, zwischen der Dichtsohle und der Baugrubensohle, als Auftriebssicherheit. Die Bohrgenauigkeit und die gewählten Parameter sind bei (tiefliegender) Dichtsohlen von wesentlicher Bedeutung, da nur so eine ausreichende Überschneidung der einzelnen Säulen erreicht und so die Dichtheit gewährleistet werden kann.³⁵

- ◆ Vertikale Dichtwände (Lamellenwand)
- ◆ Baugrubenumschließungen (Wände aus überschrittenen Säulen)
Die statische Wirkung von DSV-Elemente ist begrenzt, da diese nur geringe bis keine Biegespannungen aufnehmen können und größtenteils unbewehrt ausgeführt werden.
- ◆ Schirminjektionen sowie Abdichtungsmaßnahmen im Tunnelbau
- ◆ Bodenverbesserungen
Die Baugrundverbesserung bzw. -verfestigung wird durch die Erhöhung der Scherfestigkeit erreicht.³⁶
- ◆ Ergänzendes Systembestandteil bei anderen Systemen (z.B. Zwickelabdichtung, Lückenschluss bei Einbauten durch Baugrubenverbauten)
DSV-Zwickelabdichtungen, bzw. DSV-Ausfachungen genannt, werden bei aufgelösten Bohrpfahlwänden ausgeführt, um Baugruben gegen Grundwasser abzudichten sowie den Zwischenraum konstruktiv zu sichern.
- ◆ Schachtherstellung
- ◆ Tiefliegender Aussteifungshorizont für Baugrubenwände

DSV-Elemente können durch verschiedene Möglichkeiten (GEWI-, Anker- oder Bewehrungsstäbe, Stahlrohre bzw. -träger) bewehrt werden, die unmittelbar nach der Herstellung der Elemente bzw. nach nochmaligen Aufbohren eingebracht werden. Das Problem beim Einbringen der Bewehrung unmittelbar nach dem Jetten ist, dass eine zentrische Positionierung in der Ausführung herausfordernd und zum Teil schwierig ist, die Bewehrung bis auf Solltiefe einzubringen. Daher kann das DSV-Element nach leichtem Aushärten nochmals durchörtert, die Bewehrung eingebracht und der verbleibende Hohlraum mit Suspension vergossen werden.

³⁵ Vgl. [19] ÖBV – Merkblatt Baugrubensicherung, 2014, S. 22

³⁶ Vgl. [15] Zilch, Diederichs, Katzenbach, Beckmann, 2013, S. 1586

Abb. 2.9: Anwendungsgebiete³⁷

2.1.4 Elementformen

Das Aussehen der einzelnen Elemente wird durch die Düsenanordnung am Monitor sowie durch die Bewegung bzw. Drehung des Gestänges bestimmt. Wird das Gestänge kontinuierlich 360° während des Jetvorganges gedreht, entstehen Vollsäulen. Wird der Monitor mit einer Düse nur jeweils um 180° oszillierend geschwenkt, werden Halbsäulen erstellt. Bei Schwenkung des Gestänges bei einem Winkel kleiner als 90° werden Segmentsäulen erstellt. Wird das Bohrgestänge während des Jet-Vorgang nicht gedreht, sondern nur vertikal nach oben gezogen, werden im Boden wandartige Lamellen bzw. Scheiben erzeugt, je nach Düsenanzahl entweder ein- oder beidseitig. Werden diese Elemente mit entsprechend geringen Bohrabständen geplant, sodass sich diese überschneiden, können flächenhafte Körper im Boden produziert werden (siehe Abbildung 2.10). Bei der Herstellung solcher Lamellenwände ist die Ausrichtung der Düsen im Untergrund durch entsprechende Maßnahmen sorgfältig zu kontrollieren. Benachbarte Lamellen sollten, wie in Abbildung 2.10 zu sehen, unter einem bestimmten Winkel zueinander verschnitten werden, um die Kontinuität der Wand zu garantieren.

³⁷ Quelle: [5] Buja, 2004, S. 64

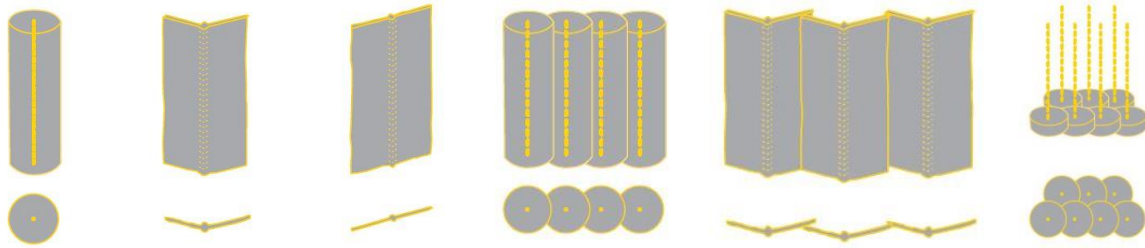


Abb. 2.10: mögliche Elementformen³⁸

Ein Problem bei der Herstellung von DSV-Elementen, welches indirekt mit der geometrischen Form verbunden ist, ist die Thematik der „Düsschatten“ bzw. „Verschattung“. Dieses Phänomen kann auftreten, wenn durch natürliche (z.B. Gesteinsbrocken) oder künstliche Hindernisse (z.B. alte Fundamente, Pfähle im Boden, bei Anbohren einer bereits erhärteten Nachbarsäule) die Erosionswirkung des Düsenstrahles behindert wird und es zu Fehlstellen hinter dem Hindernis kommt.³⁹

2.1.5 Suspensionsausgangsstoffe

Die Ausgangsstoffe der Suspension können in folgende Baustoffe und -produkte unterteilt werden:

- ◆ Bindemittel
- ◆ Zugabewasser
- ◆ Zusatzstoffe
- ◆ Zusatzmittel

Im Allgemeinen wird als Bindemittel Zement verwendet, jedoch können andere hydraulische Bindemittel ebenfalls eingesetzt werden. Wird Zement als Bestandteil der Suspension verwendet, sollte der Wasser/Zementwert (W/Z-Wert) zwischen 0,5 und 1,5 liegen, i. d. R. werden W/Z-Werte von 0,8 – 1,0 verwendet. Je nach Erfordernis können der Suspension verschiedene Zusatzstoffe, z.B. Flugasche, Bentonit, Füller bzw. Gesteinsmehl, etc., sowie chemische Zusatzmittel (< 5 Massen-%), die wasserreduzierende, -abdichtende, stabilisierende, und andere Funktionen besitzen, zugegeben werden, um die Eigenschaften der flüssigen Suspension und/oder des erhärtenden Bodenvermörtelungskörpers zu beeinflussen. Alle Ausgangsstoffe haben die geforderten Eigenschaften der entsprechenden europäischen Normen einzuhalten, sofern vertraglich nichts anderes festgelegt wurde. Ein wichtiger Aspekt, der bei den Ausgangsmaterialien zu berücksichtigen ist, ist die Partikelgröße, da zu große Teilchen die Düsen des Monitors verstopfen können und somit ein erheblicher Arbeitsaufwand bei der Behebung dieses Problems entsteht.⁴⁰

³⁸ Quelle: [35] Trevi S.p.A., Jet Grouting Broschüre, S. 11

³⁹ Vgl. [19] ÖBV – Merkblatt Baugrubensicherung, 2014, S. 14

⁴⁰ Vgl. [24] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM EN 12716, S.13-14

2.1.6 Geräte, Baustelleneinrichtung und Personalbedarf

Die Baustelleneinrichtung besteht im Wesentlichen aus folgenden Arbeitsmitteln, Containern und Komponenten (grafische Darstellung siehe Abb. 2.11):

- ◆ Bohrgerät mit Kraftdrehkopf und dazu passenden Bohrgestänge sowie entsprechenden Düsenträger/Monitor
- ◆ Mischanlage für Suspension, inklusive Dosiereinrichtung
- ◆ Rührwerk bzw. Vorratsbehälter für Suspension
- ◆ Vorratsbehälter für Wasser
- ◆ Vorratsbehälter/Silo für Zement
- ◆ Hochdruck-Pumpe (HD-Pumpe) für Suspension bzw. Wasser
- ◆ Verfüllpumpe für Suspension (nur bei Duplex-2- und Triplexverfahren)
- ◆ Druckluftkompressor (evtl. mit Druckluft-Vorratsbehälter; nur bei Duplex-1- und Triplexverfahren)
- ◆ Rückfluss-/Schlammpumpe
- ◆ Hochdruckleitungen
- ◆ Werkzeug- und Lagercontainer
- ◆ Mannschaftscontainer
- ◆ Pumpensumpf
- ◆ Absetzbecken bzw. LKW-Mulden (abhängig von Rücklaufentsorgungsmethode)
- ◆ Raupenbagger

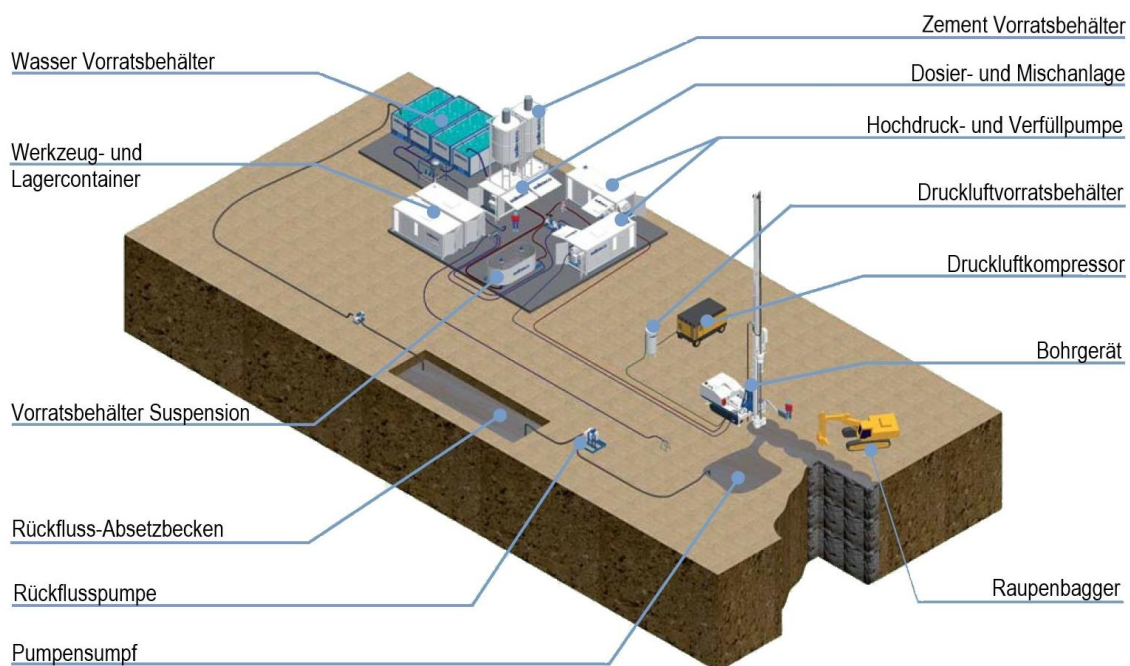


Abb. 2.11: Übersicht Baustelleneinrichtung⁴¹

⁴¹ Adaptiert, Quelle: [35] Trevi S.p.A, Jet Grouting Broschüre, S. 7

Bevor mir den DSV-Arbeiten begonnen wird, muss ein standfestes und trockenes Arbeitsplanum vorhanden sein, damit das Bohrgerät entsprechend bewegt und die Sicherheit des Personals gewährleistet werden kann. Die Größe des Bohrgerätes ist abhängig vom Einsatzort, dem antreffenden Boden und der geometrischen Abmessungen der herzustellen- den Elemente. So können im Gebäudeinneren nur Kleingeräte mit einem Gewicht von un- gefähr 1,0 – 2,0 Tonnen, auf freien Bauflächen ohne Höhenbeschränkung Bohrgeräte mit einer Maße von 5,0 – 35 Tonnen eingesetzt werden. Die Höhe des Bohrmastes (mit evtl. Gittermastverlängerung) und die Länge des Bohrgestänges sollte der planmäßigen Bohr- tiefe entsprechen bzw. diese um ein gewisses Maß überschreiten. Ist es durch beengte Platzverhältnisse (z.B. in Gebäuden, unter Aussteifungshorizonten) oder durch große Bohr- tiefen erforderlich, das Gestänge in mehrere Abschnitte zu unterteilen, so sollte dies, zur Reduktion der benötigten Bohrstangenwechsel, mit möglichst langen Bohrgestängeschüs- sen erfolgen. Diese Vorgehensweise hilft dabei, den Jet-Vorgang so selten wie möglich unterbrechen zu müssen und somit den Verschleiß der Gewinde und Klemmbacken gering zu halten. In der Regel können Bohrtiefen von bis zu 30 m, mit dem entsprechenden Bohr- geräte in einem ununterbrochenen Arbeitsgang hergestellt werden. Die verwendeten Bohr- gestänge haben üblicherweise einen Durchmesser von 88,9 mm (3,5 Zoll) bzw. 114,3 mm (4,5 Zoll) und die einzelnen Bohrstangen werden über Gewindeverbindungen miteinander verbunden. Je nach Verfahren wird ein Ein-, Zwei- oder Dreifachgestänge (ebenfalls Zwei- kanal- und Dreikanal-Bohrgestänge genannt), zur separaten Zuleitung des jeweiligen Me- diums zum Düsenträger, verwendet. In Abb. 2.13 ist ein Zweifachgestänge für das Duplex Verfahren zu sehen.

Der verwendete Düsendurchmesser bewegt sich im Bereich von 3 bis 10 mm.⁴² Buja und Katzenbach⁴³ definieren den möglichen Durchmesser der Düsen mit 1,5 – 6,0 mm. Je nach Verfahren kommen entweder einfache Suspensionsdüsen oder kombinierte Düsen zur An- wendung. In Abb. 2.12 ist eine kombinierte Düse zu sehen, bei der in der Mitte die Fluiddüse (je nach Verfahren entweder Suspensions- oder Wasserdüse) und ringförmig um diese die Luftdüse angeordnet ist. Zur Vermeidung eines zusätzlichen Arbeitsschrittes ist es üblich, dass das Bohrgestänge zugleich die Düse(n) trägt und daher sowohl für die Bohr- sowie die Düsarbeiten verwendet wird. Die Düse(n) befinden sich am Monitor, welcher mit dem Bohrkopf kombiniert ist und unmittelbar nach der Bohrkrone angeordnet ist (siehe Abb. 2.14). Die verwendete HD-Pumpe und eventuelle Verfüllpumpe ist so zu wählen, dass diese die notwendigen Druck- und Förderleistungen (Bandbreiten siehe Tab. 2.1) erreichen kön- nen. Die Vorratsbehälter für Wasser und insbesondere der für Zement sollte groß genug

⁴² Vgl. [3] Boley, 2012, S. 498

⁴³ Vgl. [7] Buja, Katzenbach, 2015, S. 709

dimensioniert sein, um einen reibungslosen Herstellungsprozess ohne Stillstandszeiten, aufgrund von Zementknappheiten, gewährleisten zu können.



Abb. 2.12: Düse⁴⁴



Abb. 2.13: Zweifachbohrgestänge⁴⁴



Abb. 2.14: Bohrkrone für Spülbohrungen (gelb) und Monitor (grün)⁴⁴

Der Personalbedarf ist abhängig von der Größe der Baustelle und vom Arbeitsablauf der herzustellenden DSV-Elemente (z.B. Bohrstangentausch). In der Regel kann von folgendem Personal vor Ort ausgegangen werden:

- ◆ 1 Bauleiter
- ◆ 1 Polier
- ◆ 1 Anlagentechniker für die HD-Pumpe und Mischanlage
- ◆ 1 Bohrgerätefahrer pro Bohrgeräte
- ◆ 1 – 2 Helfer pro Bohrgerät

⁴⁴ Quelle: Eigenaufnahme Honeder

2.1.7 Rückflussbehandlung

Der Rückfluss ist nach dem Abbinden ein alkalischer Reststoff mit geringer Festigkeit und kann bis zu 100% des eingebrachten Suspensionsvolumens betragen. Aus diesem Grund kommt dessen Behandlung auf der Baustelle und späteren Entsorgung eine besondere Bedeutung hinzu.⁴⁵ Möller⁴⁶ definiert den möglichen Rückfluss sogar mit dem 1,1- bis 2,5-fachen des herzustellenden Elementvolumens. Die Sammlung und Entsorgung des Rücklaufmaterials können mit verschiedenen Methoden erfolgen. Als erster Schritt wird mittels Abflussgrabens bzw. Rücklaufsammelrinne der Rückfluss zu einem Pumpensumpf geleitet, von wo er mittels Schlammpumpe entweder in eine Mulde oder ein Absetzbecken zur Sammlung befördert wird. Die Entsorgung erfolgt im Anschluss daran durch folgende drei Möglichkeiten:

- ◆ Abtransport der befüllten Mulden mittels LKW.
- ◆ Verladen des Materials vom Absetzbecken auf LKWs mit Bagger und Abtransport.
- ◆ Absaugen der Suspension mittels Saugwagen und Abtransport in diesem.

Die Beseitigung hat unter minimalen Umwelteinflüssen und Reduzierung der ungünstigen Auswirkungen auf die Umgebung zu erfolgen, dazu zählen folgende Schritte auf und nach der Baustelle:⁴⁷

- ◆ Sammlung am Bohrlochmund und Weiterleitung
- ◆ Temporäre Zwischenlagerung
- ◆ Bestmögliche Vorbehandlung
- ◆ Endgültige Entsorgung

2.1.8 Qualitätssicherung

Die Herstellung der DSV-Elemente erfolgt verfahrensbedingt im Untergrund, ohne eine derzeit kontinuierliche Kontrollmöglichkeit der Reichweite des Hochdruckstrahles und der daraus erzielbaren Abmessungen. Aus diesem Grund sind als Mindestanforderung die DSV-Parameter kontinuierlich aufzuzeichnen. Weiters empfiehlt es sich vor Beginn der Arbeiten Probesäulen auszuführen und diese zu kontrollieren, sowie während der Herstellung stichporenartig fertiggestellte Elemente zu überprüfen.⁴⁸ Nähere Bestimmungen über die Aufzeichnung von Daten und die Herstellung von Probesäulen werden im Kapitel 2.2 behandelt.

⁴⁵ Vgl. [10] Kolymbas, 2016, S. 376

⁴⁶ Vgl. [13] Möller, 2013, S.64

⁴⁷ Vgl. [24] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM EN 12716, S. 27

⁴⁸ Vgl. [19] ÖBV – Merkblatt Baugrubensicherung, 2014, S. 33

Zur Kontrolle des hergestellten Säulendurchmessers, können folgende Methoden bzw. entwickelte Verfahren verwendet werden^{49,50}:

- ◆ Freilegen der DSV-Säule
Das Ausgraben und die anschließende Sichtprüfung stellen die sichersten und, je nach Tiefenlage abhängig, die einfachsten Verfahren dar.
- ◆ Sondierbohrungen
Nach dem Erhärten der Elemente können mittels Bohrungen, parallel (für Länge) bzw. geneigt zur Achse (für Durchmesser) der hergestellten Säulen, die Abmessungen bestimmt werden. Werden diese als Kernbohrungen ausgeführt, ist zeitgleich eine Entnahme von Bohrkernen für mechanische Überprüfungen möglich. Die Bohrlöcher sind nach fertiggestellter Vermessung mit geeigneten Material wieder zu verfüllen.
- ◆ Tastsonden und Tastschirme
Unmittelbar nach der Herstellung der Säulen wird an das Bohrgestänge die Messseinrichtung im eingeklappten Zustand montiert und in die noch flüssige Suspension im Boden eingebracht. Anschließend werden die Tastarme des Messschirmes ausgeklappt um so die Grenze zum unvermörtelten Boden zu bestimmen.
- ◆ Pegelrohre und Pegelstangen
Vor Herstellung der DSV-Säule werden Bohrungen in unterschiedlichen Abständen parallel zur geplanten Bohrachse hergestellt. Anschließend werden in diese die Pegelrohre (perforierte PVC-Rohre) bzw. die Pegelstangen (lackierte Stahlstäbe) eingebracht. Der erreichte Durchmesser wird bei Pegelrohren durch den Austritt der Suspension beim jeweiligen Rohr ersichtlich. Bei Pegelstangen wird die DSV-Säule fertig hergestellt, anschließend die Stahlstangen ausgebaut, die Erosion des Lackes begutachtet und so auf die Reichweite des Suspensionsstrahles rückgeschlossen.
- ◆ Hydrophonverfahren
Parallel zur Bohrachse werden eine oder mehrere Lanzen (in unterschiedlichen Entfernungen) mit Wasserfüllung und Hydrophonen eingebracht sowie in ihrer Lage vermessen. Beim Jet-Vorgang werden die Mikrophone anschließend mit dem Monitor höhengleich mitgezogen. Der Düsenstrahl erzeugt im Untergrund in unterschiedlichen Distanzen ungleiche Schalldrücke. Durch die Analyse dieses Signals, welches die Hydrophone aufzeichnen, kann auf den Durchmesser geschlossen werden.

⁴⁹ Vgl. [7] Buja, Katzenbach, 2015, S. 719-121

⁵⁰ Vgl. [20] ÖBV – Merkblatt Qualitätssicherung für Bodenvermöertelung, 2012, S. 5-8

- ◆ Thermische Methode

Analyse der Temperaturentwicklung während des Hydratationsprozesses durch eingebrachte Temperaturfühler in der DSV-Säule und Rückschluss auf den Durchmesser.

2.1.9 Datenaufzeichnungseinheiten

Die eingesetzten Bohrgeräte, auf den untersuchten Baustellen für diese Diplomarbeit, waren mit dem Datenaufzeichnungssystem der Firma Jean Lutz⁵¹ ausgestattet. Weitere Systeme und eine genauere Beschreibung der Messeinrichtungen und des Datenmonitorings beim DSV können der Diplomarbeit von Paula Lengauer⁵² entnommen werden. Eine Übersicht der verwendeten Bohrgeräte sowie der entsprechenden Jean Lutz Systeme werden in Kapitel 2.4 erläutert.

2.2 Stand der Technik - Normung

In den folgenden Absätzen wird ein Überblick über die derzeit gültigen Normen und Richtlinien für DSV-Arbeiten gegeben. Es wird auf bestimmte Anforderungen und Empfehlungen dieser Richtlinien in Zusammenhang mit dem gesamten Bauablauf eingegangen. Zum Abschluss werden noch standardisierte Leitungsbeschreibungen für DSV-Arbeiten behandelt.

2.2.1 Normen

Die wichtigste Norm betreffend der Planung, Ausführung, Überwachung und Prüfung von DSV-Arbeiten ist die ÖNORM EN 12716 (Ausgabe 2002) „Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Düsenstrahlverfahren (Hochdruckinjektion, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting)“. Bei der Ausführung von Dichtwänden mit dem DSV ist die ÖNORM B 4452 (Ausgabe 1998) „Erd- und Grundbau. Dichtwände im Untergrund“ zu berücksichtigen. Die Werkvertragsnorm ist die ÖNORM B 2279 (Ausgabe 2006) „Spezialtiefbauarbeiten. Aufschluss-, Brunnen- und Grundbauarbeiten“, auf die im Kapitel 2.2.3, im Zuge der standardisierten Leitungsbeschreibung, eingegangen wird.

ÖNORM EN 12716 – Anforderungen und Empfehlungen:

Die ÖNORM EN 12716 ist das umfangreichste und wichtigste Normenwerk, da es annähernd alle Phasen des Projektzyklus beschreibt bzw. normiert. So sind unter anderem die verschiedenen Verfahrensarten, die Ausführung sowie die dazu nötigen Baustoffe, die Verfahrensüberwachung und welche Aufzeichnungen für diese zu erstellen sind, geregelt bzw. erläutert. Diese Festlegungen der Norm sind in fünf verschiedene Verbindlichkeitsgrade

⁵¹ Jean Lutz SA, <http://www.jeanlutzsa.fr>, Die Firma Jean Lutz SA ist in der Herstellung sowie Entwicklung von Mess- und Steuergeräten (Bohr- u. Injektionsdatenerfassung) für den Spezialtiefbau spezialisiert.

⁵² Lengauer, P.: Datenmonitoring beim Düsenstrahlverfahren, Diplomarbeit, TU Wien, 2017.

unterteilt, es wird zwischen Anforderungen (RQ), Empfehlungen (RC), Möglichkeiten (PO), Erlaubnissen (PE) und Aussagen (ST) unterschieden. Im Anschluss werden die wichtigsten Punkte der ersten beiden Kategorien behandelt, um aufzuzeigen, welche Arbeiten, Überprüfungen und Unterlagen vor, während und nach den DSV-Arbeiten durchzuführen bzw. zu erstellen sind. Diese Anforderungen finden sich in den Prozessdarstellungen in den Kapiteln 3.2 und 3.3 wieder.

1) Planungsphase und Projektvorbereitung:

Vor Beginn der Planungs- und Ausführungsarbeiten müssen folgende notwendige Angaben bezüglich des Baustellenareals vorhanden sein:⁵³

- ◆ Geotechnisches Gutachten – ausführliche Beschreibung des Untergrundaufbaues. Eine ausführliche Baugrunduntersuchung (gem. ÖNORM EN 1997-1⁵⁴) ist wichtig (insbesondere bei den geotechnischen Kategorien (GK) 2 und 3), da das DSV auf Basis der anzutreffenden geotechnischen Eigenschaften des Baugrundes zu planen ist. Folgende Bodenkenngrößen und Eigenschaften müssen durch entsprechende Versuche ermittelt werden:
 - Korngrößenverteilung
 - Wassergehalt
 - Atterberg'sche-Grenzen
 - Dichte bzw. Lagerungsdichte
 - Scherfestigkeit

und falls zutreffend

- ◆ Hydrogeologische Bedingungen – Grundwasserströmungen, -spiegel, -stauer, hydraulisches Gefälle, etc.
- ◆ Randbedingungen – benachbarte Gebäude, unterirdische Bauwerke/Einbauten, Freileitungen sowie andere Ausführungsbehinderungen, Zugänglichkeiten.
- ◆ Umweltanforderungen – besonderes in Anbetracht des auftretenden Rückflusses (Zwischenlagerung, Versickerung des Überschusswassers, Entsorgung).
- ◆ Zulässige Verformungen der zu unterfangenden oder benachbarter Bauwerke – Grenzwerte für Setzungen, Hebungen, Schiefstellungen.

Sind für bestimmte Untergrundverhältnisse keine Erfahrungswerte vorhanden, so sind Probeelemente in diesen Böden und Tiefen, unter Verwendung der Ausrüstung und des Verfahrens, welche für die spätere Ausführung vorgesehen sind, herzustellen. Generell sollten

⁵³ Vgl. [24] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM EN 12716, S.11-13

⁵⁴ Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM EN 1997-1, Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik. Teil 1: Allgemeine Regeln

vor Beginn der tatsächlichen Arbeiten Probesäulen hergestellt werden, um einerseits das geeignetste System (Verfahren, Parameter) zu finden und andererseits zu überprüfen, dass die Anforderungen der Planung mit den gewählten DSV-Parametern eingehalten werden können. Ist ein Freilegen dieser Probeelemente möglich, sollten (RC) deren Abmessungen durch Sichtprüfungen (siehe Abbildung 2.15) und die mechanischen Eigenschaften durch Laborversuche an Probekörpern festgestellt werden. Ist andererseits ein Freilegen nicht möglich, sollten (RC) die geometrischen Eigenschaften mittels Kernbohrungen bei ausgehärteten Elementen bzw. mit indirekten Prüfmethoden bestimmt werden.⁵⁵ Wurden Probesäulen hergestellt, ist darüber ein ausführlicher Bericht mit allen relevanten Ergebnissen zu erstellen.⁵⁶ Können die Resultate der DSV-Arbeiten nur durch indirekte Prüfungen kontrolliert und abgenommen werden, sind während der Planung Abnahmekriterien (z.B. Messung und Aufzeichnung der Düsparameter) festzulegen.⁵⁷



Abb. 2.15: Freigelegte „frische“ Probesäule (bestehend aus zwei nebeneinander gejeteten Säulen)⁶⁰

2) Ausführungsvorbereitung

Für Projekte der geotechnische Kategorie 3, ist eine Verfahrensbeschreibung vor Beginn der DSV-Arbeiten anzufertigen. Bei GK-1 und 2 ist dies zu empfehlen. Nähere Beschreibungen sollten darin zu folgenden Punkten gemacht werden:

- ◆ Bodeneigenschaften
- ◆ Verwendetes DSV-System, Ausrüstung und Gerät, DSV-Parameter, Arbeitsablauf
- ◆ Rückflussbehandlung
- ◆ Maßnahmen zur Qualitätskontrolle und Sicherstellung der Bohrgenauigkeit
- ◆ Prüfmethoden und Dokumentation der Arbeiten⁵⁸

⁵⁵ Vgl. [24] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM EN 12716, S.15, 23-26

⁵⁶ Vgl. ebenda, S. 26

⁵⁷ Vgl. ebenda, S. 17

⁵⁸ Vgl. [24] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM EN 12716, S. 18-19

Die Ansatzpunkte müssen in ihrer Lage exakt eingemessen sowie entsprechend markiert werden, damit der Bohrgerätefahrer diese genau anfährt und alle Punkte ausführt.⁵⁹ Erledigt werden kann dies mit einem selbstnivellierenden Absteckgerät für die 1-Mann-Bedienung (in Abb. 2.16 ist das entsprechende Bedientablet dafür zu sehen), einer Totalstation oder einer sonstigen Absteckmethode. Die Markierung der Ansatzpunkte kann mit kurzen Stahlstangen und entsprechender Nummerierung erfolgen (siehe Abb. 2.17). Des Weiteren ermöglichen moderne Bohrgeräte mit GPS Sensorik ein automatisches Anfahren der Ansatzpunkte (siehe 4.1.2).



Abb. 2.16: Tablet des Absteckgerätes⁶⁰



Abb. 2.17: Ausgesteckter Ansatzpunkt⁶⁰

3) Ausführung

Folgende Toleranzen sind während der Ausführung zulässig, sollten bereits in der Planungsphase berücksichtigt und in den Plänen dargestellt werden:

- ◆ Der Bohransatzpunkt darf maximal 5 cm von der theoretischen Lage abweichen.
- ◆ Die Bohrachse darf max. 2% der Bohrtiefe (gültig bis 20 m), von der geplanten Lage abweichen. Für größere Tiefen und bei horizontalen Bohrungen können andere Toleranzen vertraglich festgelegt werden.⁶¹

Gemäß ÖNORM EN 12716 müssen (RQ) bzw. sollten (RC) folgende Daten bei der Herstellung von DSV-Elementen bei allen Punkten aufgezeichnet werden:

- ◆ RQ – Beobachtung des Rückflusses (Menge und Merkmale)

⁵⁹ Vgl. ebenda, S. 21

⁶⁰ Quelle: Eigenaufnahme Honeder

⁶¹ Vgl. [24] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM EN 12716, S.21

(siehe Abbildung 2.18). Werden diese Berichte verwendet, müssen die Daten (z.B. Druck, Volumen, Mischungskontrollen, etc.) händisch vom Baustellenpersonal eingetragen werden. Die Norm schreibt bei Projekten mit GK 2 und 3 (trifft bei DSV-Arbeiten oft zu), eine kontinuierliche Aufzeichnung der Parameter vor. Aus diesem Grund ist es unerlässlich die Bohrgeräte mit einer entsprechenden Technik (Datenaufzeichnungseinheit) auszurüsten und die entsprechenden Daten elektronisch, während der Ausführung, aufzuzeichnen.

4) Überwachung und Verfahrensüberprüfungen

Folgende Überprüfungen müssen (RQ) vor, während und nach den DSV-Arbeiten durchgeführt werden:

- ◆ Kalibrierung der Messgeräte und Manometer vor Beginn der Arbeiten.
- ◆ Überprüfung der Neigung des Gestänges vor und während des Bohrens.
- ◆ Besteht ein hohes Risiko bzgl. unzulässiger Verformungen an angrenzenden Bauwerken, müssen entsprechende Überwachungs- und Alarmsysteme (z.B. automatische Tachymeterstationen mit SMS-Warnsystem) installiert werden.

Folgende Überprüfungen sollten (RC) vor, während und nach den DSV-Arbeiten durchgeführt werden:

- ◆ Regelmäßige Bestimmung und Protokollierung der Dichte des Rückflusses.
- ◆ Rückstellproben des Rückflusses nehmen, für spätere Druckversuche.
- ◆ Frischsuspensionsprüfungen:
 - Als Vorversuche: Dichte, Absetzmaß, Marsh-Viskosität, Abbindezeit, einaxiale Druckfestigkeit (an zylindrischen Proben)
 - Während der Arbeit: Dichte (mind. zweimal pro Schicht), Marsh-Viskosität (täglich), Absetzmaß (täglich)
- ◆ Bei Unterfangungen sollten wiederholte Höhenvermessungen am betroffenen Bauwerk als Kontrolle durchgeführt werden.

In der EN 12716 werden des Weiteren noch nähere Bestimmungen über die Ausführung von Kernbohrungen, zur Beurteilung der Abmessungen von DSV-Elementen, sowie zur Probengewinnung, welche für mechanische Test und Durchlässigkeits-Überprüfungen herangezogen werden, gemacht.

ÖNORM B 4452 – Anforderungen und Empfehlungen:

Dichtwände die mit dem DSV hergestellt werden, unterliegen zusätzlich zur ÖNORM EN 12716 der ÖNORM B 4452. In den ersten beiden Abschnitten, „Verfahren“ und „Dichtwandmaterial“, werden allgemeine verfahrensrelevante Punkte behandelt, die bereits in Kapitel 2.1 beschrieben wurden. Im Teil „Planung und Entwurf“ werden Planungsgrundsätze

sowie Anforderungen an die Dichtwandmaterialien angeführt. Wichtige Bemerkungen und Erläuterungen für die Überwachung und -prüfung, sind in den letzten zwei Kapiteln, „Ausführung“ und „Prüfungen“, der Norm angeordnet.

Die Ausführungsarbeiten sind einer laufenden Überwachung zu unterziehen, die aus einer möglichst vollständigen Erfassung und Dokumentation der Ausführungsdaten, während der einzelnen Herstellungsschritte, bestehen sollte. Diese Beobachtungen sind mit den Entwurfsdaten und Annahmen auf Übereinstimmung zu vergleichen und dienen als Grundlage für eine Anpassung an eventuelle neue Gegebenheiten. Die Überwachung der Ausführung hat folgende Punkte zu umfassen:⁶⁵

- ◆ Überwachung der Aufbereitung von Dichtwandmischungen
 - Vergleich der Ist- mit den Soll-Werten (Kenngrößen der Eignungsprüfung)
- ◆ Überwachung/Dokumentation beim Einbringen der Dichtwandmischung
 - Verbrauch
 - Druckverhältnisse
 - Ausführungsgeschwindigkeit
- ◆ Dokumentation der Daten beim Dichtwand herstellen
 - Verfahrensschritte und zeitlicher Ablauf
 - Untergrund- und Grundwasserdaten
 - Gerätespezifische Daten
- ◆ Überwachung/Dokumentation der geometrischen Daten des Entwurfes
 - Linienführung der Wand
 - Vertikalität und Tiefe der Wand
 - Schrittweite, Bohrlochabstand
 - Überlappung der Elemente

Nähere Bestimmungen, ob diese Überwachung kontinuierlich und/oder elektronisch zu erfolgen hat, werden in der ÖNORM B 4452 nicht gemacht.

Im Kapitel „Prüfungen“ wird näher beschrieben welche Abnahmen durchgeführt werden müssen und wie diese auszusehen haben. Unterschieden wird zwischen Grundsatzprüfung (für nicht erprobte Mischungen; darauf wird im Folgenden nicht näher eingegangen), Eignungsprüfung und Güteüberwachungen. Die Eignungsprüfung dient zum projektbezogenen Qualitätsnachweis, dass die in der Projektplanung festgelegten Anforderungen mit dem anstehenden Baugrund, erfüllt werden können. Sie wird an Probekörpern durchgeführt, die

⁶⁵ Vgl. [22] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM B 4452, S. 13-16

von DSV-Probeelement vor Ort entnommen werden. Die Eignungsprüfung sollte die Bestimmung der Werte bzw. Eigenschaften gemäß Tabelle 2.2 umfassen.⁶⁶

erforderlich:	bei Bedarf:
Dichte	Marsh-Zeit
Festigkeit	Erosionsbeständigkeit
Verformbarkeit	chem. Widerstandsfähigkeit
Dichtheit	Verarbeitbarkeit

Tab. 2.2: Prüfumfang Eignungsprüfung

Die Güteüberwachung wird in Kontrollprüfungen (für die Qualitätsüberwachung während der Ausführung, vom AN durchgeführt) und Abnahmeprüfungen (für den Nachweis der Einhaltung der Qualitätskriterien, vom AG ausgeführt) unterteilt. Generell sind bei der Güteüberwachung, für eventuelle spätere Überprüfungen und zur Beweissicherung, Rückstellproben der angelieferten Ausgangsstoffe, sowie der Suspension, zu nehmen. Der Umfang der Kontrollprüfungen sollte die Ausgangsstoffe (Zugabewasser, Bindemittel, etc.) sowie die Suspension (bei welcher mindestens täglich das Mischungsverhältnis, die Dichte und die Marsh-Zeit kontrolliert werden muss) umfassen und die Prüfergebnisse sind anschließend mit den Werten der Eignungsprüfung zu vergleichen.⁶⁷

2.2.2 Merkblätter, Richtlinien

Folgende Merkblätter und Richtlinien behandeln das DSV und sind unter bestimmten Umständen zu berücksichtigen:

- ◆ ÖBV Merkblatt – Qualitätssicherung für Bodenvermörtelung
- ◆ ÖBV Merkblatt – Baugrubensicherung
- ◆ RVS 08.21.05 – Düsenstrahlverfahren
- ◆ Magistrat der Stadt Wien, MA28 Straßenverwaltung und Straßenbau – Merkblatt für Baugrubensicherungen

Die Merkblätter der Österreichischen Bautechnik Vereinigung (ÖBV) stellen keine verbindlichen Richtlinien dar. Sie werden jedoch der Anwendung und Berücksichtigung bei Bauvorhaben empfohlen, da diese bisher vorhandene Lücken innerhalb der technischen Regelwerke im Bereich der speziellen Gründungstechniken schließen. Weiters bilden diese Merkblätter, so wie Normen, den Stand der Technik ab, da diese von Vertretern von Auftraggebern, ausführenden Firmen, Planern, sowie Vertretern von Forschung und Lehre ausgearbeitet wurden.

⁶⁶ Vgl. [22] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM B 4452, S. 16-17

⁶⁷ Vgl. [22] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM B 4452, S. 17-19

ÖBV Merkblatt – Qualitätssicherung für Bodenvermörtelung:

Mit diesem Dokument wurden Methoden, Anweisungen und Maßnahmen für die Qualitätssicherung (z.B. für die Probengewinnung und Ermittlung der Materialkenngrößen) von Bodenvermörtelungsarbeiten erarbeitet, da diese in der EN 12716 nur mangelhaft geregelt sind. Aus diesem Grund wurde, zur Festlegung einer einheitlichen Vorgehensweise und zur Vermeidung von Konflikten, das Merkblatt von Vertretern der AG- und AN-Seite im Einvernehmen verfasst. Das vorliegende Dokument ist im Wesentlichen in zwei Abschnitte geteilt, einerseits in „Überwachung der Ausführung, Baustellendokumentation“ und andererseits in „Nachweisführung der Materialkenngrößen und planungsspezifischen Anforderungen“.

Im ersten Kapitel werden Maßnahmen zur Qualitätssicherung während der Ausführung behandelt, die wie folgt gegliedert sind:

- ◆ Frischsuspension
Überprüfung und Protokollierung der Eigenschaften (Dichte, Marsh-Zeit, Viskosität, Absetzmaß, einaxiale Druckfestigkeit an erhärteten Proben).
- ◆ Rückstellprobe Bindemittel
Entnahme einer Rückstellprobe bei der Anlieferung des Bindemittels.
- ◆ Bohrdatenerfassung
Manuelle oder automatische Erfassung.
- ◆ Bohrabweichung
Überprüfung der Bohrabweichungen, bestehend aus der Bohransatzpunktlage, der Tiefe und Neigung der Bohrung, je nach Anforderungen, mittels Inklinometer bzw. integrierter Messsonde.
- ◆ Abmessungen der hergestellten DSV-Elemente
Überprüfung der Abmessungen mit zur Verfügung stehenden Methoden (eine Erläuterung der Verfahren befindet sich in Kapitel 0).⁶⁸

Diese Punkte werden bereits größtenteils in der ÖNORM EN 12716 geregelt, daher werden diese im Merkblatt selbst nur oberflächlich behandelt. Anders ist dies bei den Maßnahmen und Verfahren zur Bestimmung der Abmessungen der DSV-Elemente, diese werden exakter beschrieben, da diese ansonsten in keinem Dokument geregelt bzw. erläutert sind.

Das zweite Kapitel, „Nachweisführung der Materialkenngrößen und planungsspezifischen Anforderungen“, wird unterteilt in die drei Abschnitte Probengewinnung, -behandlung und Nachweisführung der Materialkenngrößen mittels Laborprüfungen.

⁶⁸ Vgl. [20] ÖBV – Merkblatt Qualitätssicherung für Bodenvermörtelung, 2012, S. 5

Die Probengewinnung kann mit folgenden Verfahren durchgeführt werden:

- ◆ Kernbohrungen
Möglichkeit zur Gewinnung von ungestörten, durchgehenden Proben über die Tiefe, jedoch ist dies stark von der Qualität des Bohrvorganges abhängig. Bohrung kann erst nach Erreichen einer empfohlenen Mindestdruckfestigkeit von 5 N/mm² erfolgen.
- ◆ Einfach- und Doppellinerrohre
Werden unmittelbar nach dem Jet-Vorgang in den frischen Vermörtelungskörper eingebracht und nach kurzer Erhärtungszeit wird das Innenrohr, samt Probekörper, wieder gezogen.
- ◆ Frischmörtelentnahme
Mit einem speziellen Behälter wird nach dem Jet-Vorgang eine Frischmörtelprobe aus gewünschter Tiefe entnommen und anschließend in Probeformen gefüllt.
- ◆ Rückflussprobenentnahme
Ist eine Methode zur raschen und kostengünstigen Probenentnahme. Während des Jet-Vorganges wird eine Probe des austretenden Rückflusses direkt vom Bohrlochmund genommen. Dient i.A. als Werkzeug für die laufende Qualitätskontrolle (Dichte, Absetzmaß) des ausführenden Unternehmens und liefert einen Anhaltswert, für die erzielten Druckfestigkeiten nach dem Erhärten.
- ◆ Laborproben mit in situ Bodenproben
Im Labor werden vor Beginn der Ausführungsarbeiten Proben mit entnommenen Bodenmaterial hergestellt und werden für Eignungsprüfungen oder gezielte Untersuchungen herangezogen.⁶⁹

Zur Erzielung repräsentativer Ergebnisse während der Laborprüfungen, müssen die gewonnen Proben eine gewisse Qualität aufweisen. Das Merkblatt definiert für diesen Zweck vier Güteklassen (Güteklasse A – D), wobei A die beste Güte (homogener Prüfkörper) und D die schlechteste Qualität (kein prüffähiges Probeelement) widerspiegelt. Je nach Probengewinnungsmethode kann eine unterschiedliche Probegüteklasse erreicht werden, eine Übersicht über diese Abhängigkeit ist in Tabelle 2.3 ersichtlich. Die Proben müssen des Weiteren einer speziellen Probenbehandlung, welche den Transport, die Lagerung sowie die Herstellung der Prüffähigkeit beinhaltet, unterzogen werden.⁷⁰

Für die Laborprüfungen sind Probenentnahmen mittels Kernbohrungen oder Linerverfahren zu bevorzugen, da diese die Realität am besten widerspiegeln. Grundsätzlich sind mindestens fünf Probekörper, welche die Güteklasse A oder B aufweisen sollten, aus einem

⁶⁹ Vgl. [20] ÖBV – Merkblatt Qualitätssicherung für Bodenvermörtelung, 2012, S. 9-12

⁷⁰ Vgl. ebenda, S. 13-16

homogenen Bereich zur Überprüfung der Materialkenngrößen heranzuziehen. Werden Auswertungen mit Proben der Güteklasse C erstellt, sollten diese nur als Diskussionsgrundlage verwendet werden. Bezüglich der Laborprüfungen werden im Merkblatt die Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit, Durchlässigkeit und Erosionsbeständigkeit erläutert, wobei für ersteres eine Arbeitsanweisung angeführt ist und für die letzten beiden Versuche auf die entsprechenden Normen verwiesen wird.⁷¹

Verfahren zur Probengewinnung	Ort	Güteklasse				Anmerkungen
		A	B	C	D	
Kernbohrung	in situ	X	X	X	X	Kein Einfluss auf Größtkorn möglich, Erhärtung in situ
Linerrohr	in situ	X	X			Einschränkung des Größtkorns möglich
Frismörtelentnahme	in situ	X	X			Absieben des Größtkorn möglich
Rückflusssentnahme	in situ	X	X			Absieben des Größtkorn möglich
Labormischung	Labor	X				Nicht als Abnahmeprüfung geeignet

Tab. 2.3: Güteklasse in Abhängigkeit der Probengewinnung⁷²

ÖBV Merkblatt – Baugrubensicherung:

Das Merkblatt behandelt alle gängigen Baugrubensicherungssysteme, einschließlich dem DSV. Im Wesentlichen ist das Dokument in die drei Themenbereiche „Systeme für Baugrubensicherungen“, „Ergänzende Systembestandteile“ und „Verfahren zur Herstellung“ unterteilt. Zusätzlich wird zu Beginn des Merkblattes auf zu beachtende Besonderheiten, wie wasserrechtliche Bewilligungen, Sondergenehmigungen (Transport, Lärmemissionen, Schwingungen, etc.), natürliche Erdgaszutritte in Baugruben, usw. eingegangen. Im Wesentlichen erläutert das Merkblatt die Themenbereiche, Anwendungsgebiete, Verfahrensarten, Bauablauf, etc., die bereits in Kap. 2.1 behandelt wurden. Erwähnenswert sind die Anmerkungen des Merkblattes, welche die Ausführung von DSV-Sohlen betrifft. So sind die wichtigsten Herstellungsparameter, wie Bohrgenauigkeit, Säulendurchmesser, Überschneidung der Säulen, sowie deren Höhenlage und Dicke, mit dafür geeigneten Methoden im erforderlichen Umfang zu überprüfen, um eine dichte Sohle zu garantieren. Werden tief liegende Dichtsohlen hergestellt, ist dem Parameter der Bohrgenauigkeit, aufgrund der längeren Bohrstrecke, eine erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken. Vor Beginn der Arbeiten, ist mindestens eine Probesäule zu produzieren, um die in der Planung vorausgesetzten Herstellungsparameter nachweisen zu können.⁷³

⁷¹ Vgl. ebenda, S. 16-19

⁷² Quelle: ebenda, S.14

⁷³ Vgl. [19] ÖBV – Merkblatt Baugrubensicherung, 2014, S. 3 ff.

RVS 08.21.05 – Düsenstrahlverfahren

Werden DSV-Arbeiten im Bereich von Bundesstraßen ausgeführt, so ist als technische Vertragsbedingung die Richtlinie und Vorschrift für das Straßenwesen (RVS) 08.21.05 – Düsenstrahlverfahren (Ausgabe Oktober 2013) der österreichischen Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV) zu berücksichtigen. Die RVS verweist in vielen Teilen auf die ÖNORM EN 12716 und andere Richtlinien, so unter anderem bei folgenden Punkten:

- ◆ Protokollführung
- ◆ Behandlung des Rückflussmaterials
- ◆ Prüfungen und Zustand der Frischsuspension sowie des Rückflusses (Verweis auf ÖBV Merkblatt – Qualitätssicherung für Bodenvermörtelung)
- ◆ Kontinuierliche Überwachung der Bohr- und Düsparameter
- ◆ Toleranzen (Bohransatzpunkt, Bohrachse)
- ◆ Suspensionsausgangsstoffe (Verweis auf entsprechende Zulassungsnormen)

Erwähnenswerte und zu beachtende Punkte der RVS sind:

- ◆ Werden abweichende Untergrundverhältnisse, als im geotechnischen Bericht bekannt waren, vorgefunden, ist der Auftraggeber (AG) unverzüglich zu informieren.
- ◆ Ein gewisses Unter- und Überjetten der geplanten Abmessungen ist erforderlich bzw. zulässig, damit auf den Soll-Höhen die geforderte Qualität vorgefunden wird.
- ◆ Vor und während der DSV-Arbeiten sind angrenzende Bauwerke und Anlagen mittels Nivellement zu beobachten, um Verformungen feststellen zu können.
- ◆ Abnahme der hergestellten Elemente erfolgt durch den AG in Anwesenheit des Auftragnehmers (AN). Sämtliche Protokolle (Bohr- und Düsparameter, Prüfungen Frischsuspension und Rückfluss, Höhennivellement) sind vorzulegen.⁷⁴

Magistrat der Stadt Wien – Merkblatt für Baugrubensicherungen:

In diesem Merkblatt sind allgemeine verfahrensrechtliche Bestimmungen festgelegt, die vor Beginn der Arbeiten auf öffentlichen Verkehrsflächen bzw. angrenzend an diese erfüllt werden müssen.

Erwähnenswerte Punkte sind, dass das Säulenübermaß, welches herstellungsbedingt erforderlich ist, im Ausführungsplan dargestellt werden muss und die Anordnung der DSV-Elemente so geplant wird, dass diese nur auf Eigengrund hergestellt werden, inklusive des Übermaßes. In Ausnahmefällen kann die Baulinie bis zu 20 cm überschritten werden, jedoch ist hierfür die Zustimmung der MA28 erforderlich.⁷⁵

⁷⁴ Vgl. [16] FSV, RVS 08.21.05 – Düsenstrahlverfahren, 2013, S. 2-3

⁷⁵ Vgl. [18] Magistrat der Stadt Wien – Merkblatt für Baugrubensicherungen, 2011, S.1-2

2.2.3 Standardisierte Leistungsbeschreibungen

Standardisierte Leistungsbeschreibungen sollten verwendet werden, da diese vordefinierte Positionen für verschiedenste Materialien und Bautypen beinhalten. Werden mit diesen Positionen Leistungsverzeichnisse erstellt, ermöglicht dies den Bauunternehmen eine schnellere sowie einfachere Kalkulation, da die Positionen von standardisierten Leistungsbeschreibungen bekannt sind und somit bei einem neuen Projekt nicht jede Position vor vorne ausgearbeitet werden muss. Der Bereich des Speziali Tiefbaues, wird mit der „standardisierten Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur (LB-VI)“, herausgegeben von der FSV, abgedeckt. In dieser wird in der Unter-Leistungsgruppe (ULG) 2005 das Düsenstrahlverfahren behandelt.⁷⁶

Wird das Thema der Leistungsbeschreibung behandelt, ist die entsprechende Werkvertragsnorm ebenfalls zu berücksichtigen, welche Verfahrens- und Vertragsbestimmungen für die Erstellung von Ausschreibungen und die Ausführung beinhaltet. Das DSV betreffend, ist dies die ÖNORM B 2279 (Ausgabe 2006) „Spezialtiefbauarbeiten. Aufschluss-, Brunnen- und Grundbauarbeiten“. In der Werkvertragsnorm werden keine technischen Anforderungen, Prüfanweisungen o. dgl. beschrieben, sondern zu berücksichtigende besondere Angaben in der Ausschreibung, einzukalkulierende Nebenleistungen, sowie der Prozess der Aufmaßfeststellung und die Abrechnung werden dabei standardisiert.⁷⁷

2.3 Statistische Grundlagen – Deskriptive Statistik

Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgt mit Mittel der deskriptiven (beschreibende) Statistik und explorativen Datenanalyse. Dieses Teilgebiet der Statistik befasst sich mit Verfahren, mit deren Hilfe sich, durch Beschreibung von Daten einer Grundgesamtheit, Informationen gewinnen, sowie grundlegende Eigenschaften und Auffälligkeiten bestimmen lassen. Zu diesen Verfahren bzw. Methoden zählen vor allem die Berechnung von Kennzahlen und Parameter, im speziellen Lage- und Streuungsmaße (z.B. arithmetischer Mittelwert und empirische Standardabweichung), sowie die Erstellung von Tabellen und Grafiken (z.B. Histogramme). Aussagen, Schlüsse oder Zusammenhänge über den vorliegenden Datensatz hinaus werden nicht getroffen, da dies bereits ein Teil der induktiven (schließenden) Statistik ist und in der vorliegenden Arbeit nicht behandelt wird.

⁷⁶ Vgl. [17] FSV, LB-VI, 2015, S.953-965

⁷⁷ Vgl. [21] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM B 2279

2.3.1 Grundgesamtheit und Stichproben

Die zentralen Begriffe der Statistik sind die Grundgesamtheit und Stichprobe. Der erste Arbeitsschritt bei einer statistischen Datenermittlung ist die klare Abgrenzung der Grundgesamtheit der Untersuchung, welche für die spätere Bewertung als Grundlage dient. Die Begriffe der Grundgesamtheit und der Stichprobe werden wie folgt definiert:

Grundgesamtheit:

Die Menge G aller möglichen (Untersuchungs-)Einheiten (man sagt auch Individuen oder Fälle), die einer statistischen Untersuchung zugrundeliegen und von Interesse sind, nennt man die Grundgesamtheit einer statistischen Untersuchung.⁷⁸

Stichprobe:

Jede endliche Teilmenge $S \subset G$, die aus einer Grundgesamtheit G ausgewählt wird, heißt Stichprobe von G . Die Mächtigkeit $|S| = n$, $n \in \mathbb{N}$, nennt man den (Stichproben-)Umfang von S . Man nennt eine Stichprobe vom Umfang n eine einfache Zufallsstichprobe, falls durch die Auswahlmethodik sichergestellt ist, dass die Wahrscheinlichkeit für alle $S \subset G$ mit $|S| = n$ als Stichprobe ausgewählt zu werden, identisch ist.⁷⁸

2.3.2 Lagemaße

Zur Ermittlung der Aufwandswerte, wird jeweils für einen einzelnen Arbeitsvorgang das arithmetische Mittel und der Median berechnet. Während ersteres den Schwerpunkt der Stichprobenwerte als Lagemaß in der Grundgesamtheit beschreibt, bildet der Median die zentrale Lage einer Stichprobe als empirisches 50%-Quantil ab. Die Definition der beiden Parameter lässt sich wie folgt darstellen:

Arithmetisches Mittel:

Im Folgenden sei $x = (x_1, \dots, x_n)^T$ eine Stichprobe eines Merkmals X und $A = a_1, \dots, a_m$ die Menge aller Ausprägungen in der Stichprobe. Ist X ein metrisches Merkmal, dann heißt

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.1)$$

das arithmetische Mittel (oder auch empirischer Mittelwert) der Stichprobe x .⁷⁹

⁷⁸ [1] Becker, Herrmann, Sandor, Schäfer, Wellisch, 2016, S. 30

⁷⁹ [1] Becker, Herrmann, Sandor, Schäfer, Wellisch, 2016, S. 54

Median:

Der Median ist der Wert, bei dem der nach der Größe geordnete Datensatz in zwei gleich große Hälften geteilt wird. Genau 50 Prozent der Werte sind kleiner und 50 Prozent der Werte sind größer als der Median.^{80,81}

Quantil:

Das empirische p -Quantil x_p (man sagt auch: $p \cdot 100$ %-Quantil) einer Stichprobe x besitzt die grundlegende Eigenschaft, dass mindestens ein Anteil von $p \cdot 100\%$ der Stichprobenwerte kleiner oder gleich als x_p ist und mindestens ein Anteil von $(1 - p) \cdot 100\%$ der Stichprobenwerte größer oder gleich x_p ist.⁸²

Quantile werden bei der Auswertung der Daten genutzt, um Ausreißer bei der Mittelwertbildung zu vernachlässigen, da nur Werte herangezogen werden, die z.B. unter dem 95 %-Quantil liegen.

2.3.3 Streuungsmaße

Das arithmetische Mittel hat ohne Angabe der Streuung der Stichproben eine geringe Aussagekraft, daher wird bei jedem berechneten Mittelwert, die empirische Standardabweichung angegeben. Diese ist ein Maß für die Streuung von Werten bezüglich ihres arithmetischen Mittels.

Empirische Standardabweichung und Varianz:

Durch die Quadrierung der negativen und positiven Abweichungen entstehen nur Werte mit positivem Vorzeichen. Die Quadratwerte werden danach addiert und durch die Anzahl der Beobachtungen geteilt. Der Streuungsparameter, der hierdurch entsteht, wird empirische Varianz (engl.: variance) genannt und stellt den wohl wichtigsten Streuungsparameter in der empirischen Forschung dar.⁸³

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.2)$$

Die empirische Standardabweichung wird anschließend durch Ziehen der Quadratwurzel aus der empirischen Varianz berechnet:

$$s = \sqrt{s^2} \quad (2.3)$$

⁸⁰ [8] Cleff, 2015, S. 47

⁸¹ Dies gilt strenggenommen nur für den Fall, dass der Median zwischen zwei Realisationen liegt also bei einer geraden Anzahl an Beobachtungen. Fällt der Median genau auf eine Beobachtung – also im Fall einer ungeraden Anzahl an Beobachtungen – sind 50% von $(n-1)$ Beobachtungen kleiner und 50% von $(n-1)$ Beobachtungen größer als der Median.

⁸² [1] Becker, Herrmann, Sandor, Schäfer, Wellisch, 2016, S. 49

⁸³ [8] Cleff, 2015, S. 56

2.3.4 Einfache lineare Regression

Für bestimmte Auswertungen, bei denen eine reine Mittelwertbildung, aufgrund der Proportionalisierung der Werte, nicht zielführend wäre, wird die einfache lineare Regression verwendet. Die Regressionsanalyse ist ein klassisches Instrument der statistischen Analyseverfahren, deren Ziel es ist, „eine abhängige Zufallsvariable Y (synonym: Responsevariable) durch eine oder mehrere Kovariaten (synonym: Kovariablen, Regressoren, Faktoren) x_1, \dots, x_m zu erklären“.⁸⁴ Bei der einfachen linearen Regression wird eine abhängige Variable (Zielgröße), nur durch eine unabhängige Variable (Einflussgröße) definiert. Dieser Zusammenhang wird, bei Vorhandensein von diskreten Messerwerten in einem Streudiagramm, mittels Regressionsgeraden (Geradengleichung) beschrieben (siehe Abb. 2.19). Um jene Regressionsgerade zu finden, die am besten zu den Datenpunkten passt, werden die quadrierten Abstände zwischen den Datenpunkten und der Regressionsgeraden (siehe Abb. 2.19, rote Linien) minimiert. Die Anpassungsgüte dieser Regressionsgerade an die Beobachtungen wird durch das Bestimmtheitsmaß R^2 bestimmt. Dieses dimensionslose Maß liegt zwischen 0 und 1, wobei die Anpassung umso besser ist, je näher der Wert bei 1 liegt, d.h. die Streuung der Punkte von der Geraden nimmt ab. Das Bestimmtheitsmaß R^2 ist durch folgende Formel definiert:

$$R^2 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2.4)$$

Wobei im Nenner die Gesamtvarianz von Y (siehe Formel (2.2)) und im Zähler die „erklärte Varianz von Y “, welche die quadrierte Abweichung zwischen Vorhersagewert (\hat{y}) und Mittelwert definiert, dargestellt ist.^{85,86}

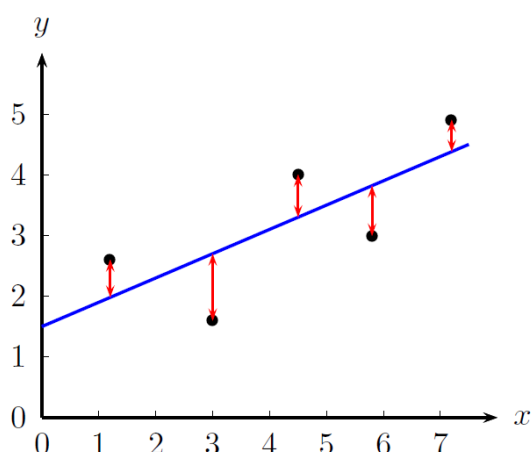


Abb. 2.19: Streudiagramm mit Regressionsgerade

⁸⁴ [1] Becker, Herrmann, Sandor, Schäfer, Wellisch, 2016, S. 285

⁸⁵ Vgl. [1] Becker, Herrmann, Sandor, Schäfer, Wellisch, 2016, S. 285 ff.

⁸⁶ Vgl. [8] Cleff, 2015, S. 145 ff.

2.4 Projektgrundlagen

Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über die Ausgangssituationen der untersuchten und zur Auswertung herangezogenen Baustellen, sowie der verwendeten Bohrgeräte. Die Arbeitsabläufe dieser Projekte dienen als Grundlage für die Prozessdarstellungen und Aufwandswertermittlung.

2.4.1 Projekt A

Die Ausgangssituation bei diesem Projekt war eine rechteckige Baugrube (21,5 x 45,0 m, mit zwei kleinen Ausbuchtungen) mit ca. 1.000 m² Sohlfläche und rund 140 Laufmetern Umfang hergestellt (siehe Abb. 2.20). Der Baustellenbereich befindet sich in einem ausgedehnten Grundwasservorkommen, aus diesem Grund musste die Baugrube sowohl vertikal als auch horizontal gegen Wassereintritt abgedichtet werden. Eine an die Baugrube direkt angrenzende Nachbarbebauung war nicht vorhanden. Die lotrechte Baugrubenumschließung erfolgte mit einer aufgelösten Bohrpfahlwand und in den Zwischenräumen ausgeführten DSV-Zwickel, in Summe 126 Stück. Diese weisen einen Durchmesser von 60 cm als Voll- bzw. 110 cm als Voll- sowie Halbsäule auf und die Längen der Zwickel sind im Bereich von 8,75 bis 12,95 m. Zur horizontalen Abdichtung der Baugrube wurde eine DSV-Dichtsohle mit rund 537 Sohlsäulen, mit einem Durchmesser von 2,0 m ausgeführt. Die Höhe dieser Elemente bewegte sich zwischen 1,5 (rund 86% aller Elemente) und 5,10 m, die Länge der Leerbohrung von Oberkante (OK) Säule bis zum Arbeitsplanum (= 264,7 m ü. A.) beträgt 8,2 bis 11,8 m, da die Sohle mit mehreren Höhengsprüngen ausgeführt wurde (siehe Schnitt in Abb. 2.20).

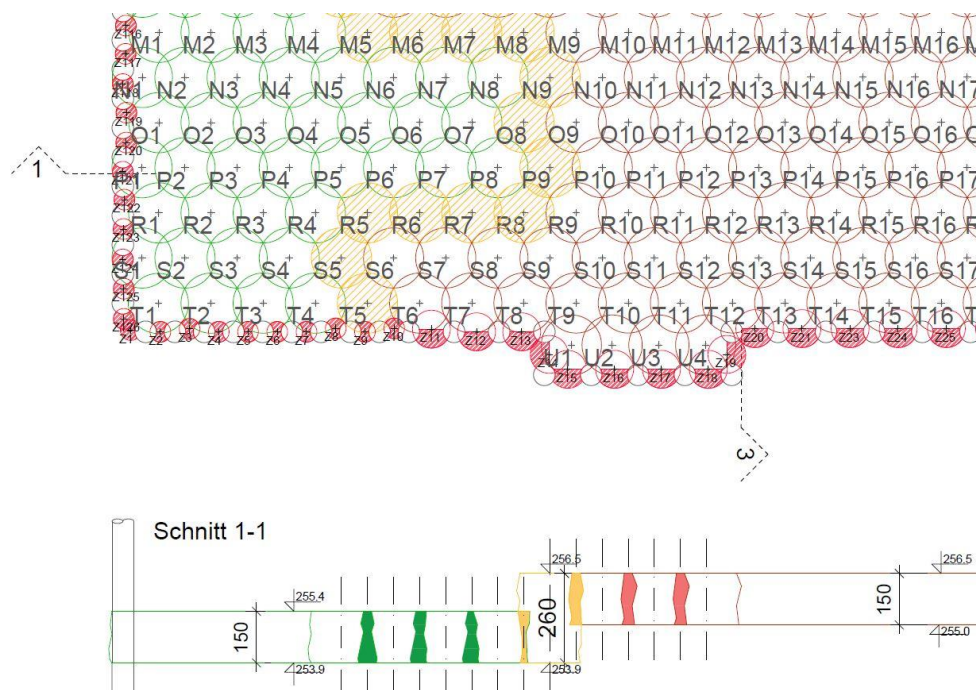


Abb. 2.20: Planausschnitt Baustelle A

Das Baufeld befindet sich aus geologischer Sicht gesehen, gem. geologischer Karte der Republik Österreich, Maßstab 1:50.000, Blattnummer 76 – Wiener Neustadt, im Gebiet des Oeynhausener Schotter, welcher ein quartärer Terrassenschotter ist, der aus sandigen Kiesen und Mittelkiesen besteht. Wie der Abb. 2.21, einen Aufschluss mittels Kernbohrung, entnommen werden kann, lässt sich der Aufbau in folgende Schichten unterteilen:

A) Anthropogene Anschüttungen

Bodenkennwerte: $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, $\gamma' = 9 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 30^\circ$, $c = 0 \text{ kN/m}^2$

B) Oeynhausener Schotter, nicht bindig,

Bodenkennwerte: $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 32,5 - 35^\circ$, $c = 0 \text{ kN/m}^2$

C) Oeynhausener Schotter, bindig – verschlufft

Bodenkennwerte: $\gamma = 20,5 \text{ kN/m}^3$, $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 30^\circ$, $c = 5 \text{ kN/m}^2$

Das Grundwasser wurde in einer Tiefe von -6,50 (260 m ü. A.) und -7,27 m (259,23 m ü. A.) gemessen von der Geländeoberkante (GOK) angetroffen. Die Unterkanten (UK) der tiefsten liegenden Elemente beträgt 251,4 m ü. A., welche somit bis zu 8,6 m unter dem Grundwasserhorizont liegen.

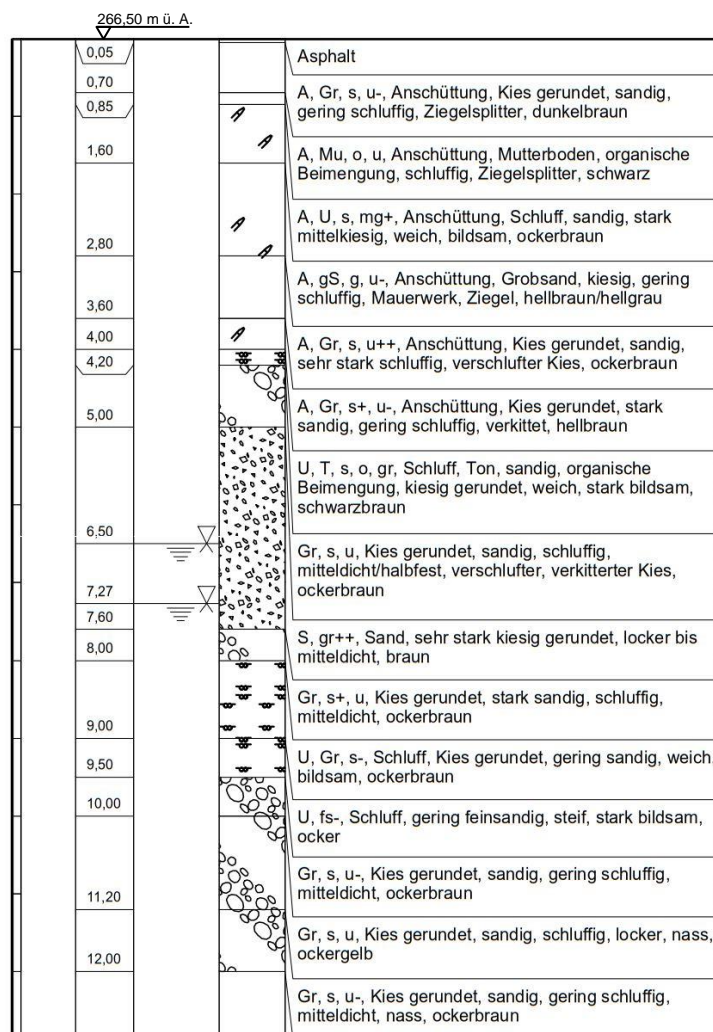


Abb. 2.21: Geologischer Aufbau Projektareal A

2.4.2 Projekt B

Die Ausgangssituation bei Baustelle B war eine L-förmige Baugrube mit einer Fläche von rund 2.350 m² und einem Umfang von 235 m. Die Baugrube musste in Folge von vorhandenem Grundwasser abgedichtet werden. Die vertikale Umschließung erfolgte mit einer aufgelösten Bohrpfahlwand mit dazwischen liegenden DSV-Zwickeln bzw. Spritzbetonbögen im freigelegten Baugrubenbereich. Die Durchmesser der 127 Stück hergestellten Zwickel wurden mit 80 bis 160 cm und deren Länge mit 6,0 bis 7,0 m projektiert. Die Längen der Leerbohrungen bewegten sich im Bereich von 1,0 und 7,0 m, da das Arbeitsplanum auf 58,0 m WN (Meter über Wiener Null⁸⁷) und später auf 52,0 m WN angelegt wurde. Eine horizontale Dichtsohle musste nicht ausgeführt werden, da die lotrechte Baugrubensicherung in eine wasserundurchlässige Bodenschicht eingebunden werden konnte. Im Gegensatz zu Projekt A, hier die Baugrube an drei Seiten direkt angrenzend an ein Bestandsobjekt errichtet und ein DSV-Block, mit zwölf überschnittenen Säulen mit einem Durchmesser von 1,6 m und Längen von 8,5 bis 12,5 m, zur Unterfangung einer Rohrbrücke (siehe Abb. 2.20 rote Umrandung) hergestellt. An einer Seite war die Baugrubensicherung bereits vorhanden (siehe blauer Bereich in Abb. 2.20) und musste an dieser Stelle nicht mehr ausgeführt werden.

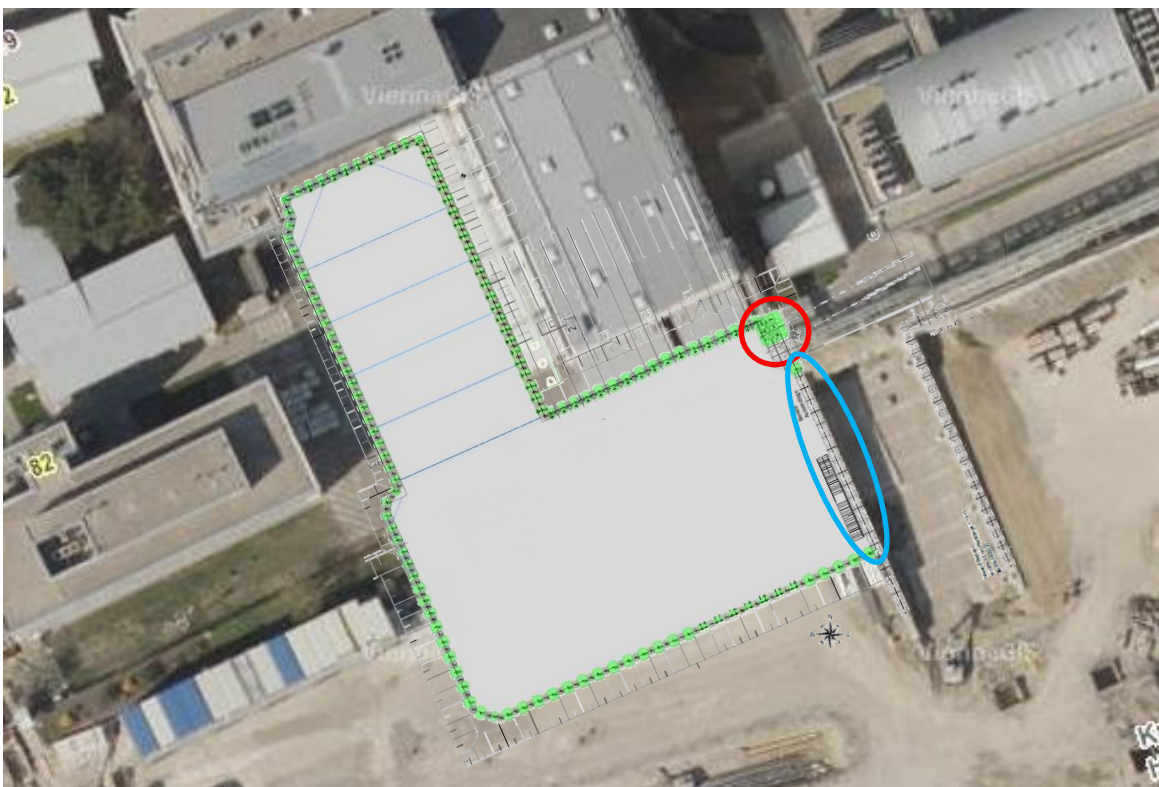


Abb. 2.22: Übersicht Projekt B⁸⁸

⁸⁷ Wiener Null entspricht einer Höhe von +156,68 m ü.A.

⁸⁸ Quelle Luftbild: [32] Magistrat der Stadt Wien, Online Stadtplan

Das Projektareal befindet sich aus geologischer Sicht gesehen, gemäß geologischer Karte der Republik Österreich, Maßstab 1:50.000, Blattnummer 58 – Baden, im Gebiet des Wiener Beckens, dessen Kennzeichen die Sedimente des Unterpannoniums (Miozän) sind. Die Baugrundaufschlüsse (siehe Abb. 2.23) wurden mit sechs Kernbohrungen (KB) durchgeführt und der Aufbau des Untergrundes lässt sich dadurch in folgende Schichten, mit den angegebenen physikalischen Eigenschaften, unterteilen:

A) Anthropogene Anschüttungen

Bodenkennwerte: $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 30^\circ$, $c = 0 \text{ kN/m}^2$

B) Sande, Schluffe, Tone

Bodenkennwerte: $\gamma = 19,5 \text{ kN/m}^3$, $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 25 - 30^\circ$, $c = 3 - 15 \text{ kN/m}^2$

C) Kiese (Nur bei einer KB wurde Konglomerat angetroffen, siehe Abb. 2.23)

Bodenkennwerte: $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$, $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 35^\circ$, $c = 0 \text{ kN/m}^2$

D) Schluffe – Tone (Miozän), u.a. „Wiener Tegel“ genannt

Bodenkennwerte: $\gamma = 20,5 \text{ kN/m}^3$, $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 20^\circ$, $c = 20 - 50 \text{ kN/m}^2$

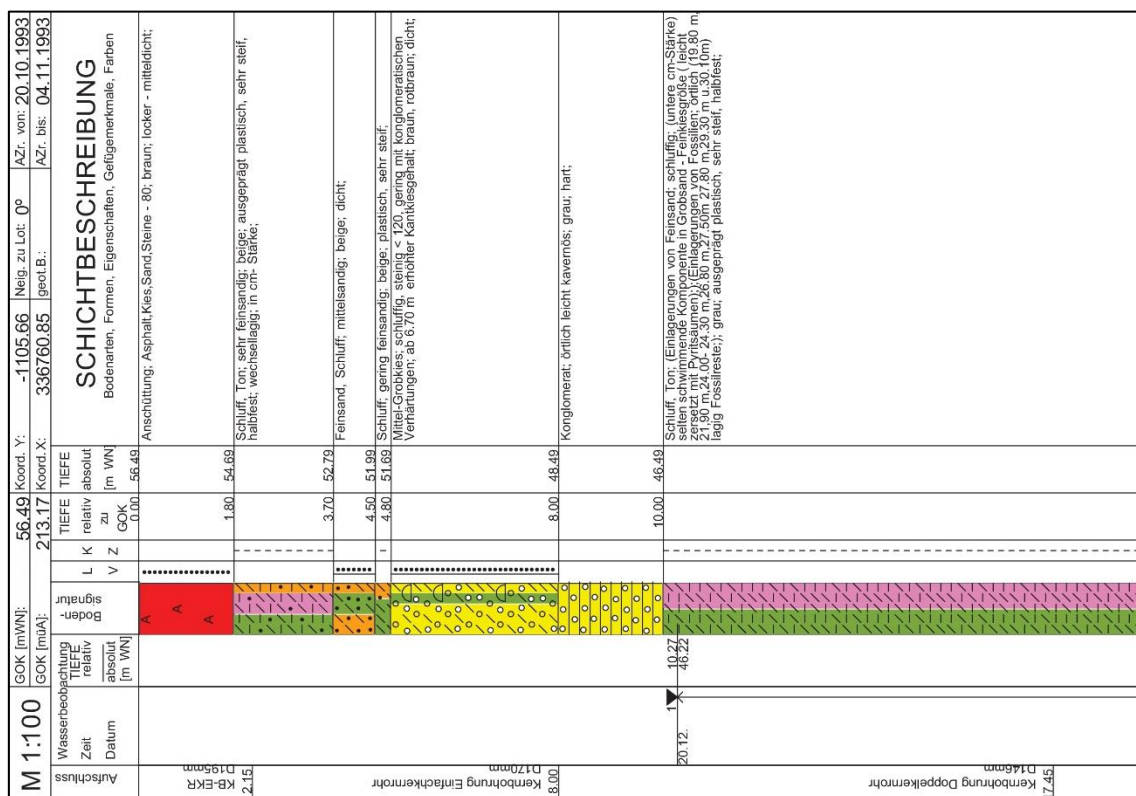


Abb. 2.23: Geologischer Aufbau Projektareal B⁸⁹

Das Grundwasser wurde in einer mittleren Tiefe von -7,90 m unter GOK angetroffen, dies entspricht einer absoluten Höhe von 49,1 m WN. Die Unterkanten (UK) der tiefsten liegenden Elemente beträgt 44,0 m WN, welche somit bis zu 5,1 m unter dem Grundwasserhorizont liegen.

⁸⁹ Quelle: [31] Magistrat der Stadt Wien, Baugrunderkennung der Magistratsabteilung 29 - Brückenbau und Grundbau

2.4.3 Verwendete Bohrgeräte

Während der Ausführungsarbeiten kamen folgende drei DSV-Bohrgeräte (siehe Abb. 2.24) bei den in Kapitel 2.4.1 und 2.4.2 angeführten Projekten zum Einsatz:

- ◆ Casagrande⁹⁰ C5XP – (A)
- ◆ Comacchio⁹¹ MC15P – (B)
- ◆ Soilmec⁹² SM-21 – (C)



Abb. 2.24: Größenvergleich der Bohrgeräte, links: C5XP⁹³, Mitte: MC15P⁹⁴, rechts: SM-21⁹⁵

Die technischen Spezifikationen der einzelnen Bohrgeräte können der Tab. 2.4 entnommen werden. Die Unterschiede von Bohrgerät B und C sind, wie in der Tabelle und Abb. 2.24 ersichtlich, vernachlässigbar, im Gegensatz dazu ist Bohrgerät A wesentlich kleiner.

Daten	EH	C5XP ⁹³	MC15P ⁹⁴	SM-21 ⁹⁵
Gewicht	t	8,5	17,0	22,0
Motorleistung	kW	85	168	176
Hydraulische Leistung	kW	70	k.A.	121
Masthöhe	m	14,9	24,0	23,8
max. Bohrtiefe in einem Schuss	m	12	19	20
Max. Drehmoment	Nm	7.200 – 12.170*	10.000 – 30.000*	20.000 – 37.000*

* Variert je nach verwendeten Kraftdrehkopf

Tab. 2.4: Gegenüberstellung der Bohrgeräte

⁹⁰ Casagrande S.p.A., <http://www.casagrandegroup.com/>

⁹¹ Comacchio s.r.l., <http://www.comacchio.com/en>

⁹² Soilmec S.p.A., <http://www.soilmec.com>

Alle drei Firmen haben ihren Stammsitz in Italien und haben sich auf den Bau von Spezialtiefbaugeräten spezialisiert.

⁹³ Quelle: [26] Casagrande S.p.A. <http://www.casagrandegroup.com/>

⁹⁴ Quelle: [27] Comacchio s.r.l.

⁹⁵ Quelle: [34] Soilmec S.p.A.

2.4.4 Eingesetzte Datenaufzeichnungssysteme

Alle drei eingesetzten Bohrgeräte sind mit Datenaufzeichnungssystemen der Firma Jean Lutz ausgerüstet. Folgende zwei Systemvarianten sind zum Einsatz gekommen:

- ◆ LT3n – im Folgenden „System alt“ genannt
Eingabe der DSV-Parameter und Punktnummer über ein Bediengerät mit physischen Tasten (siehe Abb. 2.25). Speicherung der Daten auf einem „Memobloc“ (spezielle Speicherkarte), welcher zur Auswertung und Übertragung der Daten auf einem Computer, ein spezielles Lesegerät benötigt (siehe Abb. 2.27).
- ◆ Dialog MX – im Folgenden „System neu“ genannt
Dateneingabe über ein Bediengerät mit Touchscreen und Echtzeitanzeige (siehe Abb. 2.26). Speicherung der Daten intern im Systemspeicher, welche mittels USB-Stick zum Computer transferiert werden können.

Die Auswertung der Daten erfolgt in beiden Fällen mit dem PC-Programm „EXJTC“, das ebenfalls von Jean Lutz erzeugt wird. Mit diesem Programm können, je nach Anforderungen, die verschiedenen aufgezeichneten Parameter ausgewählt, angezeigt und als PDF-Datei, als DSV-Bericht, exportiert werden. Die Aufzeichnung der Bohrdaten erfolgt bei beiden Systemen gleich, sodass am Ende dieselben Berichte erzeugt werden können.



Abb. 2.25: System LT3n⁹⁶



Abb. 2.26: System Dialog MX⁹⁶








Abb. 2.27: Memobloc und entsprechendes Lesegerät⁹⁶

⁹⁶ Quelle: Eigenaufnahme Honeder

3 Prozessermittlung und -darstellung

Die Prozessabläufe werden mit der Modellierungssprache „Business Process Model and Notation (BPMN)“, in der Version 2.0, abgebildet. BPMN 2.0 wurde 2011 von der Object Management Group (OMG)⁹⁷ erarbeitet und von der International Organization for Standardization (ISO)⁹⁸, mit Norm ISO/IEC 19510:2013, als internationaler Standard festgelegt. Mit BPMN lassen sich Geschäftsprozesse und Arbeitsabläufe, mit vorgegebenen Notationselementen, erfassen, modellieren und simulieren.⁹⁹

Die BPMN-Modellierung wurde mit Hilfe des webbasierten Geschäftsprozessmodellierungswerkzeuges „Signavio Process Manager“¹⁰⁰ durchgeführt. Aufgrund der zahlreichen vorgegebenen Symbole (=Notationselemente) werden in Tab. 3.1 die verwendeten Elemente dargestellt und erläutert. Im Wesentlichen beschreiben Rechtecke Aktivitäten, Kreise verschiedene Ereignisse, Rauten stellen Entscheidungen dar und Linien bzw. Kanten spezifizieren Sequenz-, Nachrichtenflüsse und Assoziationen. Die Möglichkeit der Unterscheidung von Nachrichten- und Sequenzflüssen erlaubt es, Prozessausführungen darzustellen und nötige Nachrichtenflüsse, erforderlichenfalls über Organisationsgrenzen hinweg, zu modellieren. Des Weiteren wurden speziell für diese Arbeit Notationen betreffend der Datenobjekte eingeführt. Der Status der Datenobjekte wird mit einer eckigen Klammer ([...]) und einer textlichen Bemerkung ergänzt, wie z.B. erzeugt, ungeprüft, geprüft und abgelegt. Geschwungene Klammern ({...}) und ein Text zeigen das Dateiformat, z.B. Excel-Arbeitsblatt, bzw. die analoge Form des Datenobjektes, z.B. Handzettel, Kopie, Ausdruck, etc., an.













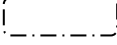
Symbol	Bezeichnung	Beschreibung
	Aktivität – Vorgang	Eine Aktivität ist eine Arbeitseinheit. Sie repräsentiert die Aufgabe, die zu tun ist.
	Zugeklappter Unterprozess	Ein zugeklappter Unterprozess ist eine verfeinerbare Aktivität. Er ist mit einem anderen Prozessdiagramm verknüpft.
	Startereignis	Hier beginnt der Prozessfluss durch eine nicht näher beschriebene Auslösebedingung.
	Nachrichten-Startereignis	Eine Prozessinstanz wird genau dann gestartet, wenn eine Nachricht eintrifft.
	Zwischenereignis	Dieses Ereignis markiert das Erreichen eines definierten Zustandes im Prozess. Die Prozessausführung wird durch das Ereignis nicht verzögert.

⁹⁷ Die OMG ist ein 1989 gegründeter internationaler, gemeinnütziger Zusammenschluss von Unternehmen, zur Entwicklung von Technologiestandards. <https://www.omg.org>

⁹⁸ Die ISO ist ein internationales Konsortium von Normungsorganisationen zur Erarbeitung internationaler Normen. <https://www.iso.org>

⁹⁹ Vgl. [9] Gadatsch, 2017, S. 112

¹⁰⁰ Signavio GmbH, <https://www.signavio.com/>

	Zeit-Zwischenereignis	Im Laufe der Prozessausführung muss für eine festgelegte Dauer bzw. auf das Eintreten eines Zeitpunktes gewartet werden, bevor die Ausführung fortgesetzt werden kann.
	Endereignis	Ein Endereignis markiert ein standardmäßiges Ende eines Prozesses.
	Fehlerendereignis	Der Prozess endet in einem Fehlerzustand.
	Paralleles Gateway	Wird der Sequenzfluss verzweigt, werden alle ausgehenden Kanten simultan aktiviert. Bei der Zusammenführung wird auf alle eingehenden Kanten gewartet, bevor der Prozessfluss fortgesetzt wird.
	Exklusives Gateway	Bei einer Verzweigung wird der Fluss abhängig von Verzweigungsbedingungen zu genau einer ausgehenden Kante geleitet. Bei einer Zusammenführung wird auf eine der eingehenden Kanten gewartet, bevor der Prozessfluss fortgesetzt wird.
	Sequenz-/Kontrollfluss	Ein Sequenzfluss definiert die Ausführungsreihenfolge von Aktivitäten.
	Assoziation	Eine gerichtete Assoziation zeigt einen Informationsfluss, sie verknüpft Datenobjekte mit Aktivitäten und Prozessen. Ausgehende Kanten zeigen Schreiben, eingehende Lesen an.
	Nachrichtenfluss	Ein Nachrichtenfluss symbolisiert einen Informationsaustausch. Nachrichtenflüsse können an Pools, Aktivitäten und Nachrichtenergebnisse andocken.
	Datenobjekt	Ein Datenobjekt repräsentiert Informationen, die durch den Prozess fließen bzw. entstehen, wie z.B. Dokumente, Emails, Datensätze, etc.
	IT-System	Ein IT-System kann mittels Assoziation mit einer Aktivität verbunden werden. Es handelt sich um ein System oder eine Software-Applikation, die im Laufe der Aktivität verwendet wird.
	Datenspeicher	Ein Datenspeicher ist ein Ort, wo der Prozess Daten lesen und schreiben kann, z.B. eine Datenbank oder ein Aktenschrank.
	Pool und Lanes	Pools und Lanes repräsentieren Verantwortlichkeiten für Aktivitäten. Ein Pool oder eine Lane können eine Organisation, eine Rolle (Prozessbeteiligte) oder ein System sein. Lanes unterteilen Pools in verschiedene Verantwortlichkeiten bzw. interne Organisationseinheiten.
	Gruppe	Mehrere Objekte, die logisch in Verbindung stehen, können in einer Gruppe zusammengefasst werden.

Tab. 3.1: Notationselemente für die Prozessdarstellung nach BPMN 2.0

3.1 Prozesslandkarte

Eine Prozesslandkarte (Ebene 1) und ein Prozessbereich (Ebene 2) wird herangezogen, damit eine übersichtlichere Darstellung und Nachvollziehbarkeit, der behandelten Prozesse gegeben ist. Prozesslandkarten dienen zur Darstellung der Geschäftsprozesse eines Unternehmens und geben einen Überblick über die Arbeitsbereiche. Unterteilt werden diese

Prozessübersichten, so wie Gadatsch¹⁰¹ anführt, gewöhnlich in Steuerungs- (bzw. Management-), Kern- und Unterstützungsprozesse (bzw. Supportprozesse). Zu den Steuerungsprozessen werden u.a. Controlling, operative Führung, Unternehmensplanung, etc. zugeteilt und zu den Unterstützungsprozessen, Personalwesen, Finanzbuchhaltung, Verwaltung, usw.. Die Kerngeschäftsprozesse, welche noch in Prozessbereiche unterteilt werden können, sind für die Wertschöpfung innerhalb eines Unternehmens verantwortlich, im Gegensatz dazu haben Supportprozesse keinen bzw. nur einen geringen Wertschöpfungsanteil.

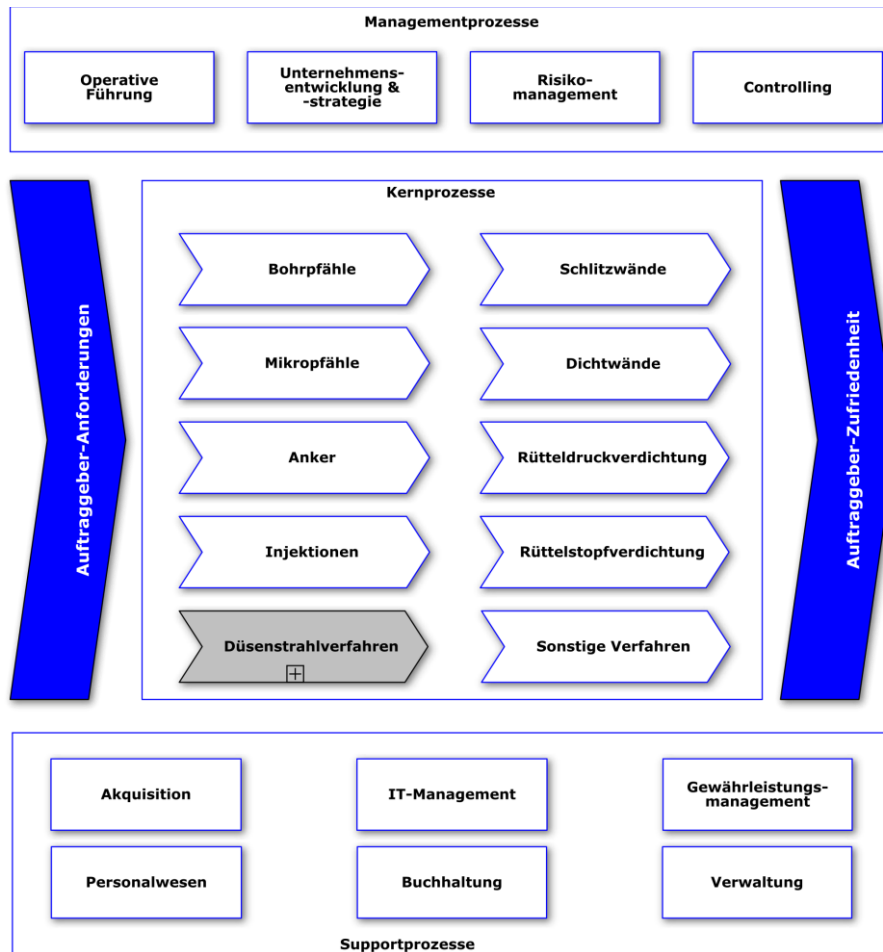


Abb. 3.1: Ebene 1 - Prozesslandkarte ausführendes Unternehmen

In Abb. 3.1 ist die Prozesslandkarte (Ebene 1) eines Spezialtiefbauunternehmens zu sehen, wobei nur der Kernprozess „Düsenstrahlverfahren“ (grau hinterlegt) als Prozessbereich der zweiten Ebene in Abb. 3.2 weiter behandelt und mit den einzelnen Unterprozessen genauer dargestellt wird. Für die weitere Bearbeitung sind wiederum nur die grau hinterlegten Prozesse, „Ausführung“ und „Dokumentation“, von Bedeutung, da für diese die genaue Prozessdarstellung in den folgenden Kapiteln durchgeführt wurde.

¹⁰¹ Vgl. [9] Gadatsch, 2017, S. 84

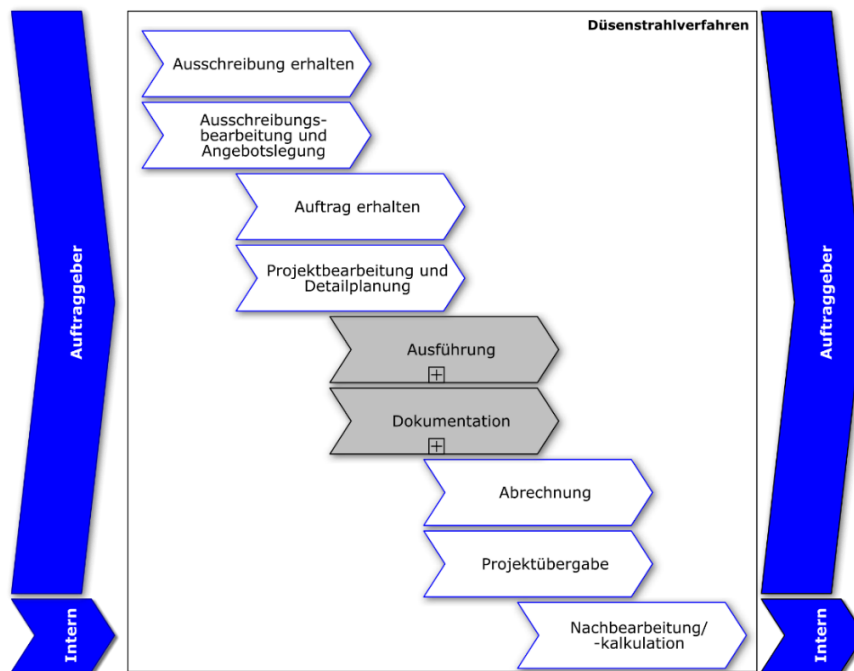


Abb. 3.2: Ebene 2 - Prozessbereich Düsenstrahlverfahren

3.2 Ausführungsprozess

Die Ermittlung des Ausführungsprozesses (siehe Abb. 3.3) erfolgte, wie bereits zu Beginn erwähnt, mittels Analyse der beiden untersuchten Projekte (siehe Kapitel 2.4), bei denen die Verfahrensart „Duplex – Variante 1“ (Suspension + Luft) angewendet wurde. Die beteiligten Personen, u.a. Bauleiter, Techniker, Polier, Bohrgerätefahrer, Pumpenmaschinist, wurden bei deren täglichen und routinemäßigen Arbeit begleitet, um so die einzelnen Arbeitsschritte zu ermitteln. Es wurde der ideale Prozessablauf, ohne mögliche Störungen, Probleme und Ausfälle, abgebildet. Die Einbeziehung dieser Thematik hätte die Prozessdarstellung vergrößert sowie unlesbar gemacht. Vor jedem Prozess hätte, aufgrund der möglichen Störungen, eine Verzweigung eingefügt werden müssen.

Die vorliegende Prozessdarstellung in Abb. 3.3 spiegelt die Abläufe der analysierten Projekte wieder, jedoch wurde die Darstellung so allgemein wie möglich gestaltet, um einen generellen Arbeitsablauf darzustellen. Es kann kein Anspruch daraus abgeleitet, dass der Ablauf bei anderen Projekten 100-prozentig gleich ausgeführt wird, da geänderte Rahmenbedingungen die Ausführung in einzelnen Schritten abändern kann. Zur besseren Übersicht wurden die zwei Unterprozesse, Vorbohren (siehe Abb. 3.4) und Suspensionskontrolle (siehe Abb. 3.5), in ergänzenden Grafiken dargestellt. Eine genaue Prozessbeschreibung der einzelnen Grafiken und Arbeitsschritte folgt in Anschluss an Abb. 3.3. Die in blau gehaltenen Aktivitäten, die mit den farblich gekennzeichneten Sequenzflüssen verbunden sind, zeigen die wesentlichen Prozessschritte bei der Herstellung von DSV-Elementen. Für die meisten dieser Vorgänge wird in Kapitel 5 anschließend eine Auswertung der Herstellungsdaten, sowie Ermittlung der Aufwandswerte durchgeführt.

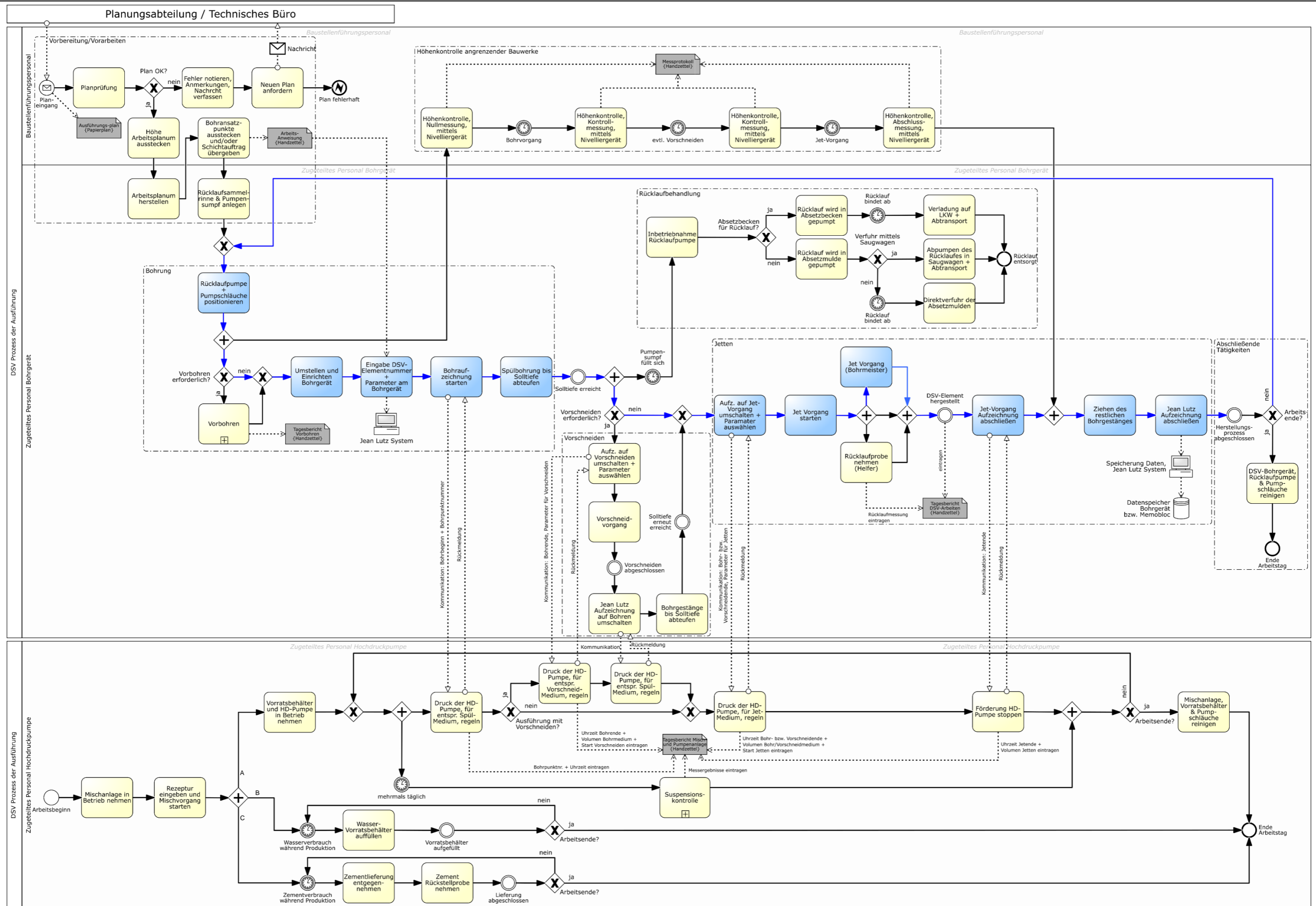


Abb. 3.3: Prozess – DSV-Ausführung

3.2.1 Beschreibung der Gruppe - Vorbereitung/Vorarbeiten

Der Herstellungsprozess beginnt mit dem Erhalt des Ausführungsplanes, welcher von einer firmeninternen Planungsabteilung oder vom Auftraggeber, bzw. von ihm beauftragten technischen Büro, erstellt wird. Dieser ist gemäß der Prüf- und Warnpflicht (siehe ÖNORM B 2110 Kapitel 6.2.4¹⁰²) auf erkennbare Mängel und Planungsfehler vom Baustellenführungspersonal, welches den Polier, Techniker und Bauleiter umfasst, zu überprüfen. Treten Bedenken auf, bzw. werden Fehler gefunden, so sind darüber schriftlich Anmerkungen zu verfassen und mit der Forderung zur Überarbeitung, den entsprechenden Personen zu übermitteln. Diese Prozessschritte treten normalerweise nur zu Beginn eines Projektes auf, jedoch ist nicht auszuschließen, dass es zu Planwechseln während der Ausführung kommen kann. Wurde der Ausführungsplan bei der Überprüfung, als in Ordnung eingestuft, kann mit den tatsächlichen Arbeiten begonnen werden. Dazu wird vom Polier das entsprechende Arbeitsplanum der Höhe nach markiert und anschließend vom ausführenden Personal hergestellt. Als nächsten Schritt werden die entsprechenden Bohransatzpunkte ausgesteckt und/oder die Arbeitsanweisung (Schichtauftrag), welche i.d.R. ein, mit den zu erstellenden Elementen, vorausgefüllter Tagesbericht ist, vom Polier an den Bohrgerätefahrer übergeben. Das Ausstecken der Bohransatzpunkte ist bei der Herstellung einer DSV-Dichtsohle unerlässlich, da nur so die Lagegenauigkeit der Elemente und infolgedessen die Dichtheit der Sohle gewährleistet werden kann. Bei der Ausführung von DSV-Zwickeln zwischen Bohrpfählen kann das Ausstecken entfallen, da die Ansatzpunkte zwischen den überstehenden Bohrpfählköpfen für gewöhnlich vorgegeben sind. Das anschließende Anlegen der Rücklaufsammelrinne und des Pumpensumpfes wird vom ausführenden Personal durchgeführt und sollte so erfolgen, dass möglichst viele DSV-Elemente ausgeführt werden können.

3.2.2 Beschreibung der Gruppe - Bohrung

Die Positionierung der Rücklaufpumpe und Pumpschläuche ist die erste Tätigkeit vor Beginn der Bohrarbeiten. Abhängig vom anstehenden Boden wird entweder eine Vorbohrung (Beschreibung siehe nächsten Absatz S. 52) oder die Bohrung mit einem Spülbohrkopf samt dahinter angeordneten Monitor hergestellt. Erfolgt die Herstellung nach der letzteren genannten Methode, kann im selben Arbeitsgang mit den weiteren Schritten, entweder Jetten oder Vorschneiden (wie in Kap. 2.1.2 und 2.1.6 beschrieben), begonnen werden kann. Bevor die Bohrung abgeteuft wird, muss das Bohrgerät zum Ansatzpunkt bewegt und das Bohrgestänge auf die gewünschte Bohrachse eingerichtet werden. Das Einrichten ist durch den hydraulisch bewegbaren Bohrmast möglich. Der Bohrgerätefahrer gibt anschließend

¹⁰² Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM B 2110:2013, Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen, Werkvertragsnorm

die entsprechende Elementnummer sowie die DSV-Parameter gemäß Arbeitsanweisung am Bediengerät ein, speichert diese im Jean Lutz System ab und startet die Bohraufzeichnung mittels Taste am Bohrgerät. Gleichzeitig bzw. unmittelbar danach nimmt der Gerätefahrer Kontakt per Funk mit dem Anlagetechniker der HD-Pumpe auf und übermittelt diesem die Bohrpunktnummer sowie den Start des Bohrvorganges. Nach Rückmeldung und Bestätigung durch den Anlagetechniker wird die Bohrung bis zur Solltiefe hergestellt. Die Solltiefe ist jene Tiefe, bis zu derer die Bohrkronenspitze abgeteuft werden muss. Sie setzt sich ausfolgenden Längen bzw. Bestandteilen zusammen:

- ◆ Länge von GOK bis zur Unterkante des DSV-Elementes gem. Plan.
- ◆ Abstand von Bohrkronenspitze bis zu den Düsen am Monitor (siehe Abb. 2.14; i.d.R. 0,3 - 1,0 m, abhängig vom verwendetet Monitor).
- ◆ 10 - 30 cm, für die Ausführung einer gewissen Überlänge (siehe RVS S. 34).

Die Überlänge, bzw. das Unterjetten der UK gem. Plan, wird ausgeführt, damit auf der Solltiefe die gewünschte Qualität vorhanden ist und der Übergangsbereich mit mäßiger Vermischung bzw. Festigkeit tiefer liegt.

3.2.3 Beschreibung des Unterprozesses – Vorbohren

Harte Bodenschichten (z.B. Konglomerat) können ein Vorbohren als zusätzlichen Arbeitsschritt erforderlich machen. Der Unterprozess des Vorbohrens (siehe Abb. 3.4) beginnt mit der Entscheidung, ob dieser Arbeitsvorgang mit einem zusätzlichen Bohrgerät ausgeführt wird oder nicht. Wird mit nur einem Gerät gearbeitet, so muss in den meisten Fällen die Drehbohrkrone und der Monitor, welche für das Spülbohrverfahren verwendet werden, auf einen Im-Loch-Hammer gewechselt werden, um die harten Bodenschichten effizienter durchdringen zu können (bei der Ausführung mit einem zweiten Gerät entfällt dies, da auf diesem bereits der entsprechende Bohrkopf montiert ist). Danach wird das Bohrgerät zum Ansatzpunkt bewegt, eingerichtet und die Bohrpunktnummer im Jean Lutz System eingegeben. Im Anschluss wird die Bohrdatenaufzeichnung gestartet, die Bohrung bis in die entsprechende Tiefe abgeteuft und nach dem Erreichen dieser, die Bohrerfassung abgeschlossen. Das Bohrgestänge wird anschließend vollständig zurück nach oben gezogen und die Jean Lutz Aufzeichnung (JL-Aufzeichnung) endgültig abgeschlossen. Dieser Schritt ist erforderlich, damit am Protokoll, welches später mittels Jean Lutz Software erstellt wird, die Ziehzeit mitberücksichtigt wird und das Weg-Zeit-Diagramm vollständig ist (in Abb. 3.8 (blaue Linie) ist dies nicht der Fall). Die Speicherung der Daten erfolgt, je nach System, entweder direkt im Systemspeicher des Jean Lutz Systems oder auf einem Memobloc. Diese Arbeitsschritte laufen bei Ausführung mit einem zusätzlichen Bohrgerät gleich ab, lediglich der Tausch der Bohrkrone entfällt. Wurde die Bohrung fertig hergestellt, wird als

letzter Arbeitsschritt der Tagesbericht für das Vorbohren (Handzettel), mit der entsprechenden Bohrpunktnummer und Tiefe ausgefüllt.

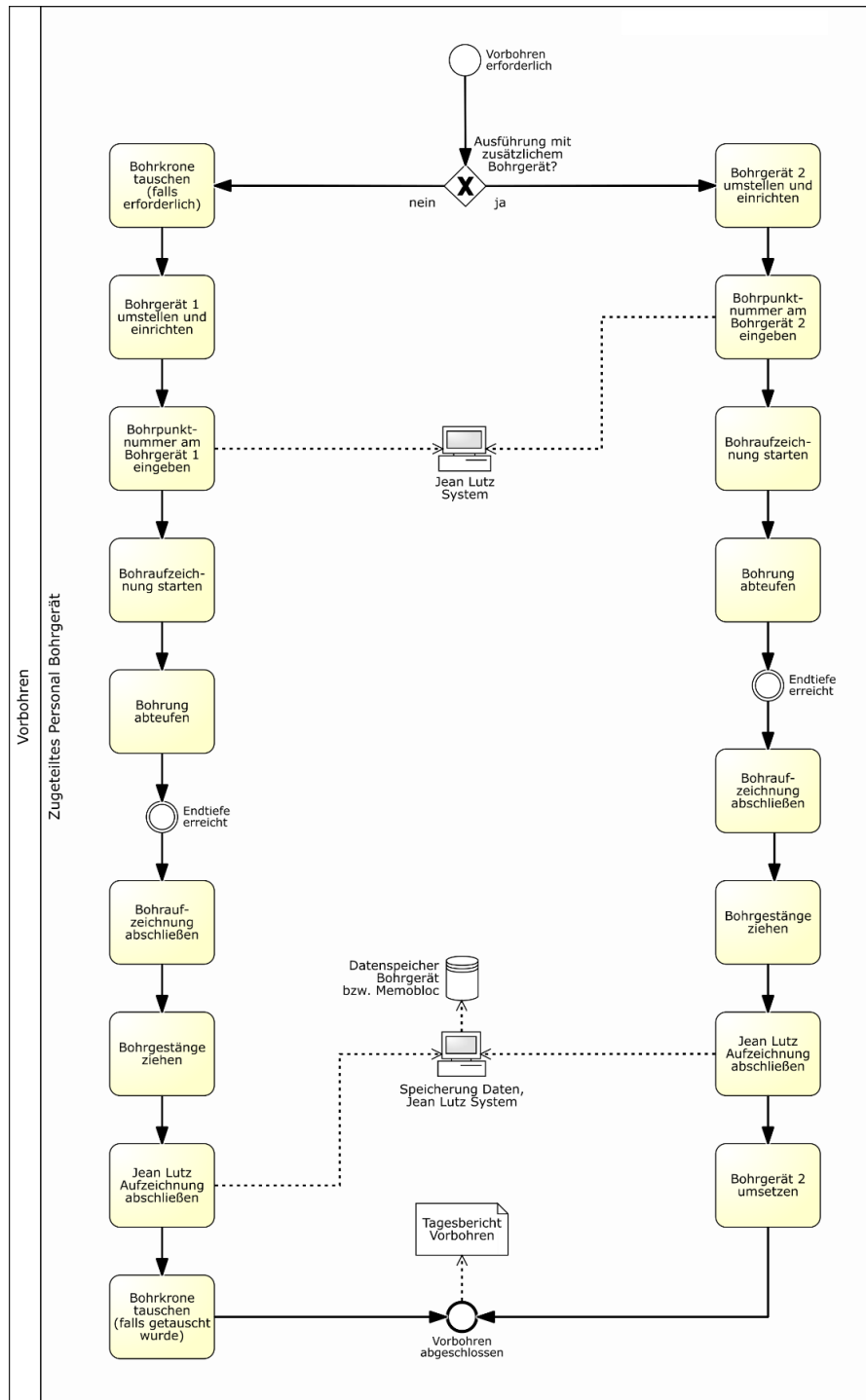


Abb. 3.4: Unterprozess – Vorbohren

3.2.4 Beschreibung der Gruppe - Vorschneiden

Je nach vorhanden Bodenverhältnissen, kann ein Vorschneiden als separater Arbeitsschritt erforderlich sein. Der erste Handgriff ist, die Aufzeichnung vom Bohren auf das Vorschneiden umzuschalten und die entsprechenden Parameter für den Vorschneidvorgang zu wählen. Gleichzeitig nimmt der Gerätefahrer erneut Kontakt per Funk mit dem Anlagetechniker

der HD-Pumpe auf, übermittelt ihm das Bohrende sowie die gewünschten Parameter (Druck, Medium) für das Vorschneiden. Nach Rückmeldung wird der Vorschneidvorgang gestartet und das Düsgestänge bis zur gewünschten Stelle, unter gleichzeitigen vorerodieren des Bodens, zurückgezogen. Ist der Boden bis zur gewünschten Stelle vorgeschritten, wird die JL-Aufzeichnung wieder auf Bohren eingestellt, der Abschluss des Vorschneidens sowie der erneute Start des Abbohrens an den HD-Pumpen Anlagentechniker übermittelt und das Bohrgestänge abermals bis Solltiefe abgeteuft.

3.2.5 Beschreibung der Gruppe – Jetten

Der erste Arbeitsschritt in dieser Gruppe ist, die JL-Aufzeichnung vom Bohren auf den Jet-Vorgang umzuschalten und den entsprechenden Parameter auszuwählen. Parallel dazu nimmt der Bohrgerätefahrer erneut Kontakt mit dem Anlagentechniker der HD-Pumpe auf, übermittelt diesem den Start des Jet-Vorganges und die gewünschten Parameter. Nach der Rückmeldung und Bestätigung durch den Anlagentechniker wird der Jet-Vorgang gestartet. Während der Bohrmeister den Jet-Vorgang überwacht und steuert, nimmt der Bohrhelfer eine Rücklaufprobe für die Bestimmung der Dichte und zur Befüllung eines Probebehältnisses, für spätere Laborversuche. Der ermittelte Wert wird in den Tagesbericht „DSV-Arbeiten“ eingetragen. Ist das DSV-Element fertig hergestellt, trägt der Bohrgerätefahrer die entsprechenden Werte (Punktnummer, Bohrhindernisse, Tiefe, etc.) in den Tagesbericht ein, schließt die Jet-Vorgang Aufzeichnung ab und übermittelt den Anlagentechniker der Pumpe per Funk das Ende des Jettens. Nach der Rückmeldung und Beendigung der Förderung des Jet-Mediums durch diesen, wird das restliche Gestänge zur Oberfläche zurückgezogen. Ist dieser Schritt abgeschlossen, wird die JL-Aufzeichnung endgültig für diesen Punkt beendet, im System abgespeichert und der Herstellungsprozess des jeweiligen DSV-Elementes ist abgeschlossen.

3.2.6 Beschreibung der Gruppe - abschließende Tätigkeiten

Am Ende eines Arbeitstages wird das gesamte Equipment durch den Bohrgerätefahrer und -helfer gereinigt und gewartet, um Ablagerungen, bzw. infolgedessen Verstopfungen beim nächsten Einsatz, zu verhindern. Ist der Arbeitstag noch nicht zu Ende, beginnt der Herstellungsprozess von vorne zu laufen, zuerst mit dem Positionieren der Rücklaufpumpe und Pumpschläuche sowie den weiteren Schritten gemäß Abb. 3.3.

3.2.7 Beschreibung der Gruppe – Rücklaufbehandlung

Während des Bohr-, Vorschneid- bzw. Jet-Vorganges füllt sich der angelegte Pumpensumpf mit Rücklaufmaterial. Bevor dieser überläuft, wird vom Bohrhelfer die Rücklauf-

pumpe in Betrieb genommen. Das überschüssige Material wird anschließend, je nach gewählter Rücklaufbehandlung/-entsorgung, in ein Absetzbecken oder in LKW-Mulden zur Zwischenlagerung gepumpt. Wird die Variante mit Absetzbecken gewählt, muss bis zur stichfesten Erhärtung des Materials gewartet werden, bevor dieses mittels Bagger auf LKW verladen und abtransportiert werden kann. Bei der Verwendung von Mulden, kann der Rücklauf einerseits mittels Saugwagen im frischen Zustand abgesaugt oder andererseits samt Mulde mittels LKW, nach stichfesten erhärten, abtransportiert werden.

3.2.8 Beschreibung der Gruppe - Höhenkontrolle angrenzender Bauwerke

Die Überwachung angrenzender Bauwerke stellt eine wichtige Aufgabe bei der Ausführung des DSV dar. Diese Arbeit wird i.d.R. vom Polier mit einem Nivelliergerät ausgeführt und beginnt mit der „Nullmessung“ vor Beginn der Bohrarbeiten. Anschließend sollte in einem regelmäßigen Abstand, mindestens jedoch nach bzw. während jedem Arbeitsgang, eine Kontrollmessung zur Überprüfung, dass keine Verformungen am Bauwerk auftreten, durchgeführt werden. Nach Abschluss des Jet-Vorganges wird eine Abschlussmessung durchgeführt. Die ermittelten Werte aller Messungen werden in ein Messprotokoll zur Dokumentation eingetragen.

3.2.9 Beschreibung der Lane - Zugeteiltes Personal Hochdruckpumpe

Die Lane „Zugeteiltes Personal Hochdruckpumpe“ spiegelt die täglichen Arbeitsvorgänge des Anlagentechnikers wieder. Dessen Arbeitstag beginnt mit der Inbetriebnahme der Mischanlage und Eingabe der Rezeptur für die gewünschte Suspension. Anschließend laufen drei Prozesszweige (A, B und C) parallel ab. Im folgenden Absatz wird Zweig A, im nächsten die verbleibenden zwei erläutert.

Der oberste Zweig (A) stellt im Wesentlichen die Tätigkeiten des Anlagentechnikers während der Herstellung von DSV-Elementen dar. Ein Teil davon ist die Suspensionskontrolle, die im übernächsten Absatz erläutert wird. Nach Fertigstellung der ersten Charge in der Mischanlage, wird der Vorratsbehälter sowie die HD-Pumpe in Betrieb genommen. Teilt der Bohrergerätfahrer mit, dass mit dem Bohren begonnen wird, erhöht der Anlagentechniker die Drehzahl der HD-Pumpe, um so den Förderdruck zu steigern, leitet das entsprechende Bohrmedium in die Pumpe und diese es wiederum weiter zum Bohrergerät. Nach Abschluss dieser Schritte, wird eine Rückmeldung per Funk an den Bohrergerätfahrer übermittelt und die Bohrpunktnummer sowie die Uhrzeit des Bohrbeginns im Tagesbericht der Misch- und Pumpenanlage (MA & HDP) eingetragen. Ist der Bohrvorgang abgeschlossen, folgt je nach gewähltem Ablauf entweder der Vorschneid- oder Jet-Prozess. Wird ein Vorschneiden aus-

geführt, so teilt der Bohrgerätefahrer das Bohrende mit und gibt die gewünschten Parameter bekannt. Der Anlagentechniker regelt erneut den Druck und leitet das entsprechende Medium in die Pumpe. Nach der Rückmeldung per Funk, werden im Tagesbericht der MA & HDP die Uhrzeit des Bohrendes, das Volumen des Bohrmediums sowie die Startzeit des Vorschneidvorganges eingetragen. Ist der Vorschneidvorgang zu Ende, erfolgt erneut eine Kommunikation der beiden beteiligten Personen und es werden wieder die gewünschten Parameter, zum erneuten Abteufen des Gestänges, eingestellt. Wurde die Solltiefe wieder erreicht, teilt der Bohrgerätefahrer das Ende des Abbohrens sowie die gewünschten Parameter für das nachfolgende Jetten mit. Wird kein Vorschneiden ausgeführt, werden die Jet-Parameter nach dem erstmaligen Abbohren durchgegeben. Der Anlagentechniker trägt die Uhrzeit des Bohr- bzw. Vorschneidendes, das Volumen des Bohr- bzw. Vorschneidmediums, abhängig vom gewählten Ablauf, sowie den Startzeitpunkt des Jettens in den Tagesbericht der MA & HDP ein. Nach der Rückmeldung wird erneut die Drehzahl der HD-Pumpe für den gewünschten Förderdruck geregelt und Suspension zum Bohrgerät geleitet. Während des Jetvorganges muss der Anlagentechniker darauf achten, dass die HD-Pumpe den Druck konstant beibehält und genügend Suspension im Vorratsbehälter ist, um den Herstellvorgang nicht unterbrechen zu müssen. Ist die Oberkante des DSV-Elementes erreicht, teilt der Bohrgerätefahrer den Pumpenmaschinisten das Ende des Jettens mit. Dieser drosselt die Drehzahl der Pumpe und stoppt die Förderung zum Bohrgerät. Parallel dazu gibt er eine Rückmeldung an den Pumpenfahrer und trägt die Uhrzeit des Jet-Endes sowie das Volumen des Jet-Mediums in den Tagesbericht ein. Werden anschließend weitere DSV-Elemente hergestellt, so beginnt der Prozesslauf von vorne, mit der Übermittlung der neuen Bohrpunktnummer durch den Bohrgerätefahrer. Die letzte Arbeit des Anlagentechnikers bei Tagesende ist, die gesamte Vorrichtung und HD-Schläuche zu reinigen sowie die Anlage außer Betrieb zu nehmen.

Die unteren beiden Zweige (B und C) stellen die Auffüllung der Vorratsbehälter dar. Während der Produktion werden Wasser sowie Zement verbraucht, aus diesem Grund muss der Anlagentechniker die Vorratsbehälter regelmäßig überprüfen und bei Bedarf den entsprechenden Baustoff auffüllen. Wird Zement entgegengenommen, so muss von der jeweiligen Liefercharge eine Rückstellprobe, in einem mit Datum und Lieferscheinnummer beschrifteten vorgesehenen Probebehälter (für spätere Analysen) genommen werden. Ist das Arbeitsende eines Tages nicht erreicht, so beginnen diese Prozesse wieder von vorne zu laufen und enden erst mit Schichtende.

3.2.10 Beschreibung des Unterprozesses - Suspensionskontrolle

Die Suspensionskontrolle (siehe Abb. 3.5) ist mehrmals täglich durchzuführen, um die Qualität der Suspension zu gewährleisten. Hierfür wird Suspension mittels eines Schöpfgefäßes aus dem Vorratsbehälter entnommen und die drei Werte, Dichte, Marsh-Zeit und Absetzmaß, bestimmt. Für die Durchführung dieser Untersuchungen werden eine Spülmwaage, ein Marsh-Trichter, eine Stoppuhr und ein Messzylinder benötigt. Des Weiteren wird ein Probebehältnis mit der entnommenen Suspension befüllt, um spätere Laborversuche durchführen zu können. Als Abschluss der Suspensionskontrolle werden die ermittelten Werte im Tagesbericht der Misch- und Pumpenanlage eingetragen.

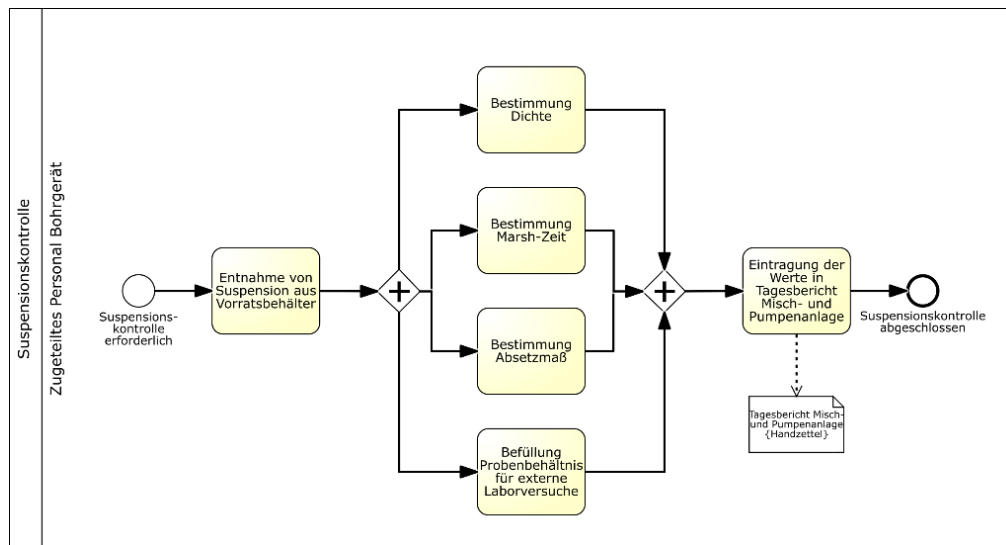


Abb. 3.5: Unterprozess – Suspensionskontrolle

3.3 Tradiertes Dokumentationsprozess

Die Eruierung des tradierten Dokumentationsprozesses (siehe Abb. 3.6) wurde mit den gleichen Methoden, die bereits bei der Ermittlung des Ausführungsprozesses herangezogen wurden, durchgeführt. Es mussten jedoch nur die Arbeiten des Bauleiters bzw. Technikers begleitet werden, da diese Personen die Dokumentation durchführen. Zum Teil wurde die Dokumentationsarbeit vom Autor selbst ausgeführt, um einen besseren Ein- und Überblick in diese Thematik zu bekommen.

3.3.1 Beschreibung des Hauptprozesses

Die Dokumentation der DSV-Arbeiten ist aus verschiedenen Gründen erforderlich. Einerseits fordert die Normen-/Richtlinienlage die Aufzeichnung gewisser Parameter, andererseits wird sie in den meisten Fällen aufgrund der Vertragslage mit dem AG, als Grundlage für die Abrechnung, verlangt und zuletzt vom internen Qualitätsmanagement gefordert. Aus diesen Gründen ist es unerlässlich, eine nachvollziehbare und vollständige Dokumentation

der Projekte zu erstellen. Wie diese Dokumentation ausgeführt wird, wird anhand der Abb. 3.6 und den folgenden Absätzen erläutert.

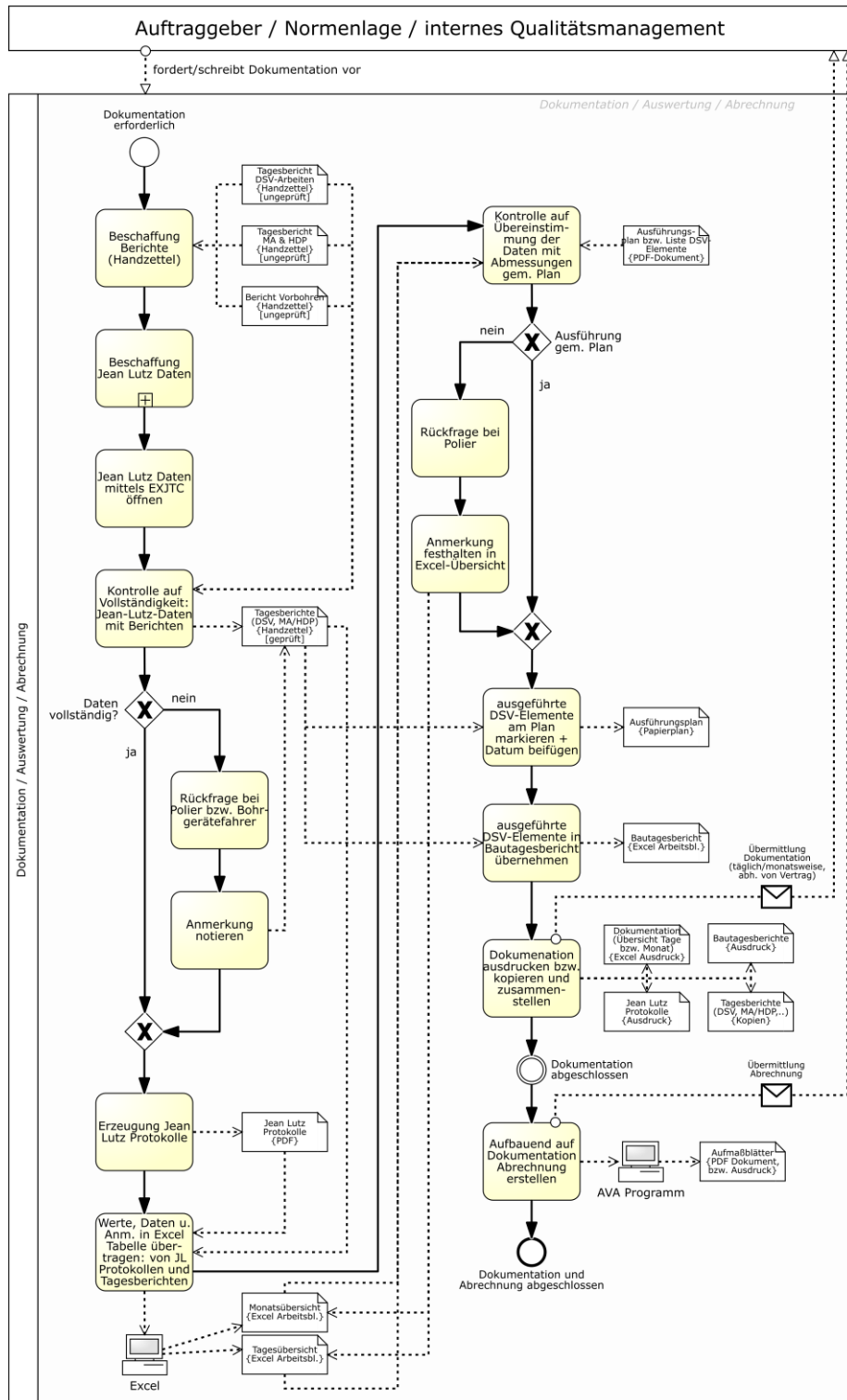


Abb. 3.6: Prozess – DSV-Dokumentation

Ein Teil der Dokumentationsunterlagen entsteht bereits während des Ausführungsprozesses, da bei diesem die Tagesberichte für das Vorbohren, für die Misch- und Pumpenanlage sowie für die DSV-Arbeiten vom Bohrgereitefahrer erstellt werden (siehe Abb. 3.3, grau hinterlegte Elemente). Die Beschaffung dieser drei Tagesberichte stellt zugleich den ersten

Arbeitsschritt dar. Die Handzettel (siehe Abb. 3.7) müssen dafür i.d.R. vom Polier, in Ausnahmefällen direkt vom Gerätefahrer bzw. Anlagentechniker der Pumpe, zur weiteren Bearbeitung abgeholt werden. Danach müssen die Jean Lutz Daten für die weitere Bearbeitung besorgt werden. Dieser Arbeitsschritt wird in einem separaten Unterprozess dargestellt (siehe Abb. 3.10) und auf S. 63 beschrieben.

Tagesbericht Misch- und Pumpanlage Baustelle: A1 2.11 Datum: 11.05.17 bis 11.05.17 Schicht von 07:00 bis 17:00		Pumpe: S8 Mischpump Aufsicht: _____ Unterschrift: _____																																																																		
Anweisungen der Bauleitung Wasserdruck Vorschneiden [bar] _____ Wassermenge [l/min] _____ Suspensionsdruck Jet [bar] _____ Suspensionsmenge [l/min] _____ Zement/Mischung [kg] 800 Wasser/Mischung [Liter] 800 Dichte der Mischung [g/cm³] 1,51		Dichtemessung / controllo peso Uhrzeit/Dichte (h:min) / Dichte/peso [g/cm³] 1 7:40 / 1,50 2 _____ / _____ 3 _____ / _____																																																																		
Suspensionskontrollen Uhrzeit _____ Mischungsvolumen: 530 l Mischungsgewicht: 800 kg		Marsh-Zeit Uhrzeit [h:min] _____ [sec] _____ 1 _____ 2 _____																																																																		
Absetzmaß / misura sedimentazione Uhrzeit/Prozentwert (h:min) / Messung (h:min) / Vol.-% _____ / _____ / _____ _____ / _____ / _____		TAGESBERICHT DÜSENSTRAHLVERFAHREN Baustelle: _____ Bohrergerät: Comacchio MC 15 Auftraggeber: _____ Pumpe: MSI T1600 3,5Zoll Plunger Mischer: LADOS 30 Protokoll Nr.: 21 Schicht: _____ 07:00 17:00																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Bohren</th> <th colspan="2">Vorschneiden</th> <th colspan="2">Düsen</th> </tr> <tr> <th>Zähler Beginn</th> <th>Zähler Ende</th> <th>Zähler Beginn</th> <th>Zähler Ende</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>230</td> <td>7:56</td> <td>8:28</td> <td>8:28</td> <td>8:42</td> </tr> <tr> <td>231</td> <td>10:33</td> <td>11:05</td> <td>11:22</td> <td>11:32</td> </tr> <tr> <td>234</td> <td>14:02</td> <td>14:18</td> <td>14:36</td> <td>14:42</td> </tr> <tr> <td>238</td> <td>15:42</td> <td>15:58</td> <td>16:24</td> <td>16:32</td> </tr> <tr> <td>237</td> <td>17:02</td> <td>17:22</td> <td>17:45</td> <td>17:45</td> </tr> </tbody> </table>		Bohren	Vorschneiden		Düsen		Zähler Beginn	Zähler Ende	Zähler Beginn	Zähler Ende	230	7:56	8:28	8:28	8:42	231	10:33	11:05	11:22	11:32	234	14:02	14:18	14:36	14:42	238	15:42	15:58	16:24	16:32	237	17:02	17:22	17:45	17:45	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Tiefe Ständerfuß (m)</th> <th colspan="2">Vorschneiden</th> <th rowspan="2">Bohren</th> <th rowspan="2">Zement/Mischung (kg)</th> </tr> <tr> <th>h:min</th> <th>h:min</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,50</td> <td>11:05</td> <td>11:22</td> <td>11:32</td> <td>800</td> </tr> <tr> <td>1,50</td> <td>14:18</td> <td>14:36</td> <td>14:42</td> <td>1550</td> </tr> <tr> <td>1,51</td> <td>15:58</td> <td>16:24</td> <td>16:32</td> <td>1550</td> </tr> </tbody> </table>	Tiefe Ständerfuß (m)	Vorschneiden		Bohren	Zement/Mischung (kg)	h:min	h:min	1,50	11:05	11:22	11:32	800	1,50	14:18	14:36	14:42	1550	1,51	15:58	16:24	16:32	1550										
Bohren	Vorschneiden		Düsen																																																																	
	Zähler Beginn	Zähler Ende	Zähler Beginn	Zähler Ende																																																																
230	7:56	8:28	8:28	8:42																																																																
231	10:33	11:05	11:22	11:32																																																																
234	14:02	14:18	14:36	14:42																																																																
238	15:42	15:58	16:24	16:32																																																																
237	17:02	17:22	17:45	17:45																																																																
Tiefe Ständerfuß (m)	Vorschneiden		Bohren	Zement/Mischung (kg)																																																																
	h:min	h:min																																																																		
1,50	11:05	11:22	11:32	800																																																																
1,50	14:18	14:36	14:42	1550																																																																
1,51	15:58	16:24	16:32	1550																																																																
Unterbrechungen Beginn (h:min) _____ Ende (h:min) _____ Ursache der Unterbrechung _____ Anmerkungen und Beobachtungen _____ Name Pumpenfahrer: _____ Unterschrift: _____		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Stations-Nr.</th> <th rowspan="2">Station</th> <th colspan="2">Bohrung</th> <th colspan="2">Diam.</th> <th colspan="2">Vorschneiden</th> <th rowspan="2">Hohlbühnen</th> <th rowspan="2">Anmerkungen</th> </tr> <tr> <th>Beginn</th> <th>Ende</th> <th>Beginn</th> <th>Ende</th> <th>Beginn</th> <th>Ende</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>231</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>230</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>234</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>238</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>237</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>	Stations-Nr.	Station	Bohrung		Diam.		Vorschneiden		Hohlbühnen	Anmerkungen	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Beginn	Ende	231	0								✓	230	0								✓	234	0								✓	238	0								✓	237	0								✓
Stations-Nr.	Station	Bohrung			Diam.		Vorschneiden		Hohlbühnen	Anmerkungen																																																										
		Beginn	Ende	Beginn	Ende	Beginn	Ende																																																													
231	0								✓																																																											
230	0								✓																																																											
234	0								✓																																																											
238	0								✓																																																											
237	0								✓																																																											
Suspensions- / Rücklaufmessungen Station-Nr. _____ Teile _____ Susp. Dichte _____ 230 8u 1,61		Anmerkungen und Beobachtungen AN: Bezugshöhe (OK, Bohrung) = 550 Anmerkungen und Beobachtungen AG: 238 6u 1,58																																																																		

Abb. 3.7: Tagesberichte der Misch-/Pumpenanlage und der DSV-Arbeiten

Nach der Beschaffung der JL-Daten, werden diese im entsprechenden Auswertungsprogramm „EXJTC“ geöffnet, um sie der weiteren Bearbeitung zuzuführen. Die erste Tätigkeit nach dem Öffnen der Daten ist, diese auf Vollständigkeit zu überprüfen. Bei der Vollständigkeitsprüfung wird kontrolliert, ob einerseits alle elektronischen Datensätze der ausgeführten und am Tagesbericht notierten Bohrpunkte vorhanden sind, sowie ob andererseits mehr digitale Dateien vorhanden sind, als am Tagesbericht aufgelistet sind. Stellt sich bei dieser Überprüfung heraus, dass Daten fehlen bzw. Berichte unvollständig sind, muss der Polier bzw. Bohrergerätefahrer über diese Umstände befragt werden. Je nach Sorgfaltspflicht des gewerblichen Personals, tritt dieser Prozess öfters oder beinahe nie ein. Fehlen JL-Daten, kann dies daran liegen, dass die Aufzeichnung fehlerhaft war oder auf diese in der Ausführung vergessen wurde¹⁰³. Die Erkenntnisse der Rückfrage werden anschließend am Tagesbericht der DSV-Arbeiten notiert. Sind alle Daten vollständig vorhanden und übereinstimmend mit den Tagesberichten bzw. alle Anmerkungen notiert, kann nach der Vollständigkeitskontrolle mit der Erzeugung der Jean Lutz Protokolle begonnen werden.

¹⁰³ Bei den untersuchten Projekten, waren in rund einem Prozent (0,6% Projekt A und 1,2% Projekt B) der Datensätze, fehlerhafte bzw. keine Jean Lutz Daten vorhanden.

Informationselemente	Bohrparameter	Jet-Parameter
Bohrgerätekenung	Bohrfortschritt [cm/min]	Rückzugsgeschw. [cm/min]
Absolute Höhe [m ü. NN]	Umdrehungen [rpm]	Umdrehungen [rpm]
GPS Koordinaten	Drehmoment [bar]	Drehmoment [bar]
Bohrtiefe [m]	Anpressdruck [bar]	Anpressdruck [bar]
Jet-Tiefe [m]	Wasserdruck [bar]	Suspensionsdruck [bar]
Jet-Länge [m]	Wasserdurchfluss [l/m]	Suspensionsdurchfluss [l/min]
Volumen Bohrmedium [m ³]	Wasservolumen [l]	Suspensionvolumen / m [l/m]
Volumen Vorschneidmedium [m ³]	Suspensionsdruck [bar]	Suspensionsvolumen gesamt [l]
Suspensionvolumen [m ³]	Suspensionsdurchfluss [l/m]	Wasserdruck [bar]
Suspensionvolumen / m [l/m]	Suspensionvolumen / m [l/m]	Wasserdurchfluss [l/min]
Datum	Luftdruck [bar]	Wasservolumen [l]
Beginn- u. Endzeit	Luftdurchfluss [l/m]	Luftdruck [bar]
Beginnzeit Jetten		Luftdurchfluss [l/min]
Beginnzeit Vorschneiden		Haltezeit [s]
Bohrdauer (netto & brutto ¹⁰⁴)		Schritthöhe [cm]
Vorschneiddauer (n. & b. ¹⁰⁴)		
Jet-Dauer (n. & b. ¹⁰⁴)		
Gesamtdauer (n. & b. ¹⁰⁴)		
Weg-Zeit-Diagramm/Kurve		

Tab. 3.2: Auswahlmöglichkeit an Titelementen und Parametern

Bei der Erstellung dieser Dateien, die vom Programm „EXJTC“ als PDF-Dokument exportiert werden, können verschiedenste Parameter und Informationselemente (siehe Tab. 3.2), die während der Herstellung am jeweiligen Ansatzpunkt aufgezeichnet werden, zur Darstellung am Protokollblatt (siehe Abb. 3.8) ausgewählt werden. Die Einstellungen, welche Inhalte angezeigt werden sollen, müssen nur bei erstmaliger Anwendung des Programmes konfiguriert werden, danach sind diese gespeichert. Die grau hinterlegten Wörter stellen die derzeit üblichen Einstellungen dar (siehe Abb. 3.8), auf die in grün hinterlegten wird in Kapitel 4.2.4 eingegangen. Nach der Erstellung der Protokolle, werden diese als PDF-Dokument im Datenspeicher des verwendeten Computers abgelegt.

Zu übertragene Daten, Werte bzw. Anmerkungen	
aus Tagesberichten:	aus Jean Lutz Protokollen
Susp.-volumen (HDP)	Punktnummer
Niveau der Arbeitsebene	Längen (bohren, vorschneiden, jetten)
Bohrhindernisse	Sups.-volumen (JL-Aufzeichnung)
Anmerkungen	

Tab. 3.3: Zu übertragende Werte aus den Tagesberichten und Jean Lutz Protokollen

¹⁰⁴ Es kann jeweils zwischen der Brutto- und Nettodauer ausgewählt werden. Bei den Bruttozeiten sind eventuelle Pausen bzw. Haltezeiten inkludiert, die bei den Nettozeiten nicht berücksichtigt werden.

Der nächste Arbeitsschritt ist die Übertragung der jeweiligen Daten aus den Tagesberichten und Jean Lutz Protokollen in die Monats- bzw. Tagesübersicht. Die zu übernehmenden Zahlen bzw. Anmerkungen sind in Tab. 3.3 aufgelistet und werden händisch in die Übersichten eingetragen. Die Übersichten sind Excel Tabellenblätter und dienen zur Zusammenfassung und Darstellung der täglich bzw. monatlich ausgeführten DSV-Elemente.

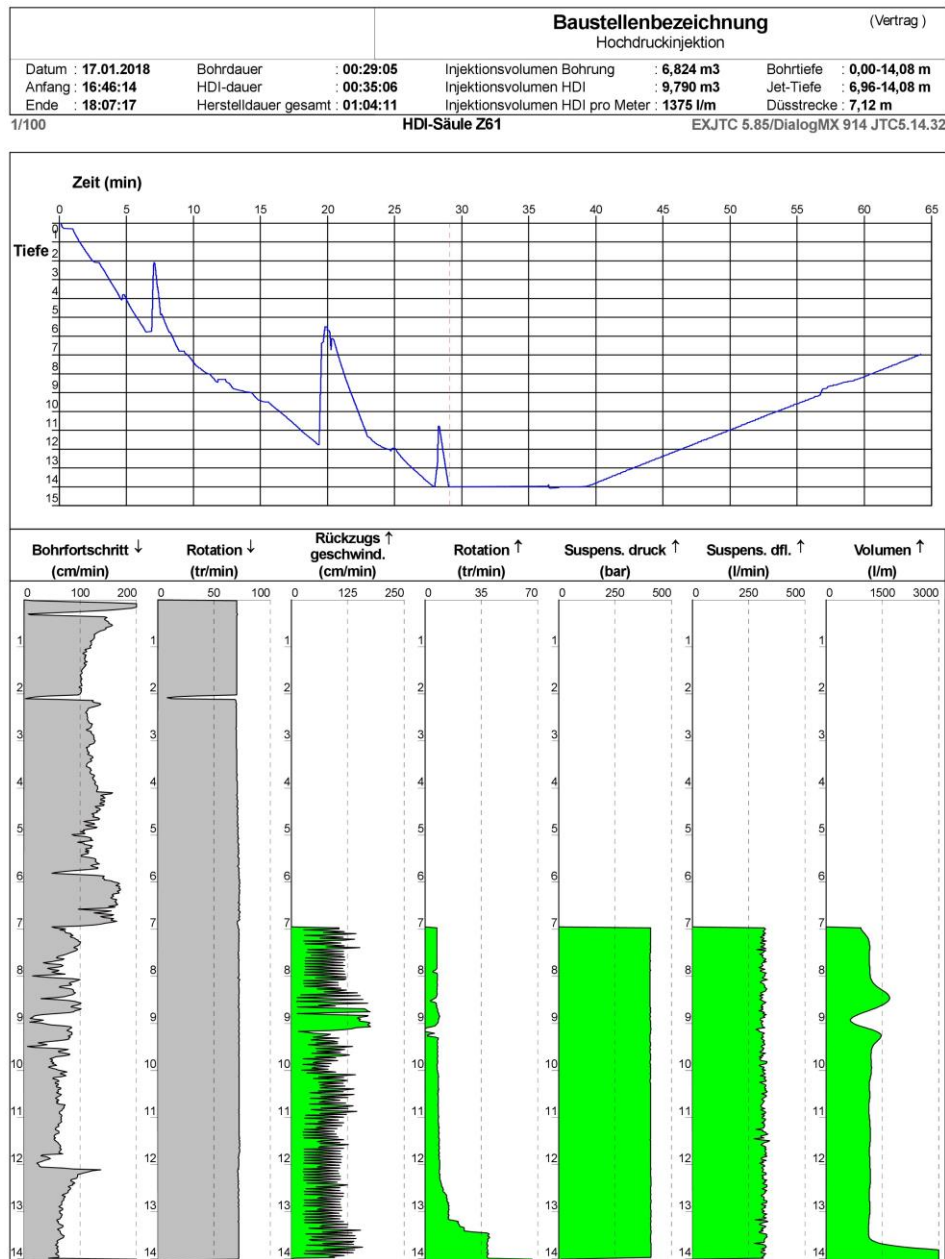


Abb. 3.8: Derzeitiges Layout Jean-Lutz-Protokoll

Die eingetragenen Bohr-, Vorschneid- und Jetlängen werden anschließend mit den Abmessungen gemäß Ausführungsplan bzw. DSV-Elementliste überprüft. Die derzeitige Kontrolle umfasst keine automatische Überprüfung, d.h. jeder eingetragene Datensatz muss manuell kontrolliert werden. Werden bei dieser Kontrolle Abweichungen festgestellt, muss abermals der Polier bzw. Bohrgerätefahrer befragt werden. Stellt sich bei dieser Rückfrage heraus,

3.3.2 Beschreibung des Unterprozesses – Beschaffung Jean Lutz Daten

Bei der Beschaffung der Jean Lutz Daten werden zwei Prozesszweige unterschieden. Einerseits können die Dateien bereits durch den Polier vom Bohrergerät besorgt worden sein und müssen daher vom Bautechniker bzw. -leiter nur mittels USB-Stick vom Polier abgeholt werden. Andererseits können die aufgezeichneten Daten, noch am Gerät abgespeichert sein. Ist dies der Fall, sind die weiteren Schritte vom verwendeten Jean Lutz System abhängig. Ist am Bohrergerät das Jean Lutz System „neu“ installiert, werden die Daten, die am Bediengerät der Bohranlage gespeichert sind (siehe Abb. 2.26), mittels USB-Stick heruntergeladen und anschließend in den Systemspeicher des Computers geladen. Ist andererseits das System „alt“ am Bohrergerät angebracht, sind die Bohrdaten auf einer Memobloc-Speicherkarte abgelegt. Für den Download der Daten, muss die Speicherkarte zuerst aus dem Bohrergerät entnommen werden und in ein Lesegerät, das an einem Computer angeschlossen ist, eingelegt werden. Mit diesem wird die Speicherkarte ausgelesen, die Daten in das Programm „Jean Lutz EXJTC“ importiert und anschließend im Systemspeicher des Computers abgelegt. Am Ende des Beschaffungsprozesses befinden sich die Daten jeweils im Datenspeicher des Computers, egal welches System verwendet wird.

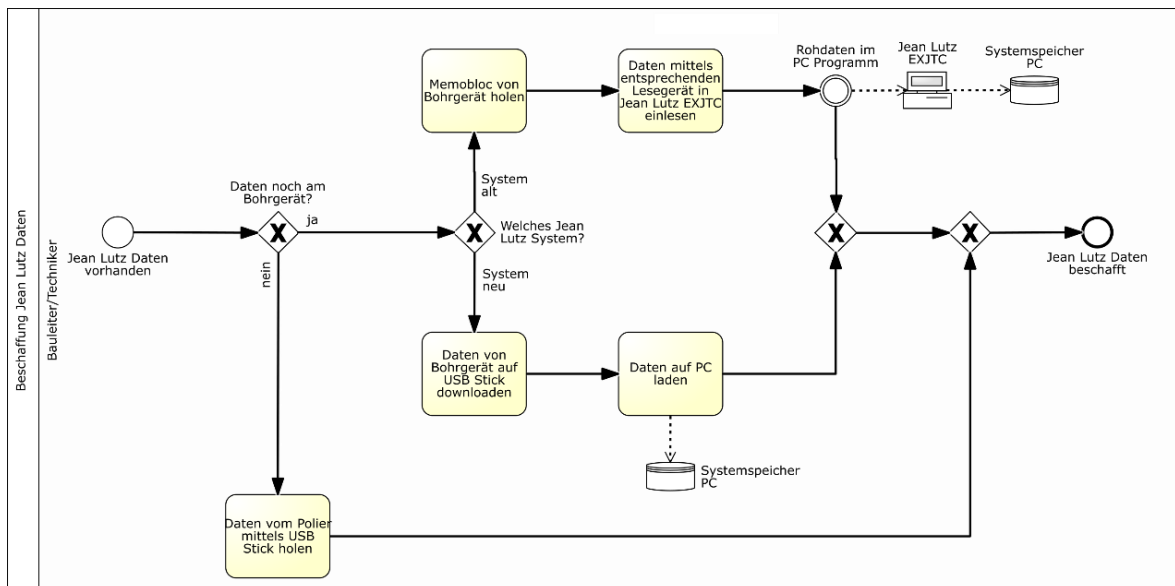


Abb. 3.10: Unterprozess – Beschaffung Jean Lutz Daten

4 Prozessanalyse

Im folgenden Abschnitt werden der Ausführungs- und Dokumentationsprozess in ihren Abläufen analysiert und mögliche Fehler- und Verbesserungspotentiale aufgezeigt. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf den Dokumentationsprozess gelegt, da beim Ausführungsprozess im Wesentlichen nur kleine Optimierungsschritte zu setzen sind, aufgrund der tradierten und kaum veränderbaren, systembedingten Hauptabläufe bei der Herstellung von DSV-Elementen (siehe Abb. 3.3, blau markierte Prozessschritte).

4.1 Analyse des Ausführungsprozesses

Die Optimierung des Ausführungsprozesses soll in dieser Arbeit nur eine sekundäre Rolle spielen. Es wird jedoch auf mögliche Verbesserungsvorschläge bzw. Adaptionen eingegangen, die bei nachfolgenden Projekten berücksichtigt werden können, um vereinzelt Zeiterparnisse und infolgedessen Kostenreduktionen zu ermöglichen. In Abb. 4.1 sind jene Bereiche des Ausführungsprozesses markiert, bei denen Potential zur Optimierung besteht. Diese sind:

- ◆ Unterprozess des Vorbohrens (a)
- ◆ Ausstecken der Bohransatzpunkte und Schichtauftrag (b)
- ◆ Höhenkontrolle angrenzender Bauwerke (c)

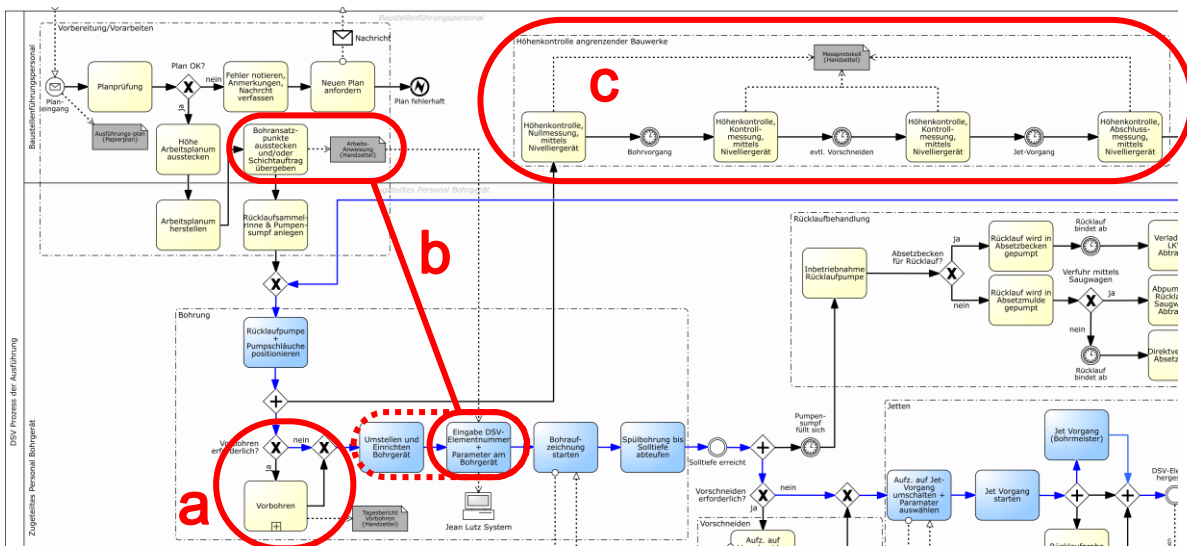


Abb. 4.1: Ausschnitt aus DSV-Ausführungsprozess (Abb. 3.3) mit markierten Optimierungspotenzialen

4.1.1 Optimierungsvorschlag für den Unterprozess Vorbohren

Die Ausführung von Vorbohrungen ist wie Abb. 3.4 zu sehen mit zahlreichen Arbeitsschritten, zusätzlichem Bohrequipment (z.B. spezielle Bohrkronen/-hämmer, Gestänge) und unter Umständen sogar mit einem extra Bohrgerät verbunden. Zur Optimierung bzw. Abschaffung dieses Prozesses kann ein spezieller Im-Loch-Bohrhammer mit integriertem Monitor (siehe Abb. 4.1) verwendet werden, der sämtliche Prozessschritte des Unterprozesses „Vorbohren“, sowie die damit verbundenen Dokumentationsarbeiten (Tagesberichte, Übersichten), überflüssig macht. Mit diesem wasserbetriebenen Bohrhammer lassen sich, ohne nennenswerte Mehraufwände, harte Bodenschichten (z.B. Konglomerat, Blockeinlagen) durchdringen und anschließend im selben Arbeitsvorgang, das DSV-Element im Einphasensystem herstellen. In Abb. 4.3 wird dieser Vorteil grafisch veranschaulicht. In dieser Abbildung wird das Vorbohren mit einer verrohrten Bohrung und anschließendem Einbau eines Stützrohres, zur Sicherung des Bohrloches gegen Verfall, durchgeführt. Dieser Arbeitsablauf ist im Vergleich zur Prozessdarstellung in Abb. 3.3 (bei den untersuchten Fallbeispielen war der Einbau eines Stützrohres nicht erforderlich, daher ist dies in die Prozessdarstellung nicht eingeflossen) noch aufwändiger und zeigt die Vorteile des Spezialbohrhammers noch deutlicher auf.

Bei der Verwendung bzw. Umrüstung auf diesen Bohrhammer sind die Investitions- und Adaptionkosten nicht zu vernachlässigen, da das Bohrgerät für den Einsatz des Bohrhammers zum Teil angepasst werden muss. Dies ist aufgrund der höheren Leistung des wasserbetriebenen Hammers und der daraus resultierenden größeren Beanspruchung der Maschinenteile, insbesondere des Spül- und Kraftdrehkopfes, im Vergleich zu luftbetriebenen Im-Loch-Hämmern nötig. Bei den Investitionskosten ist zu berücksichtigen, dass eine zweite Pumpe angeschafft werden muss, da der Bohrhammer und der Monitor getrennt voneinander zu betreiben sind. Dies hat andererseits den Vorteil, dass während des Abteufens des Gestänges, mit der zweiten, autonom betriebenen Pumpe, Wasser unter Hochdruck über die Düsen am Monitor in den Untergrund eingeleitet und so der anstehende Boden vorgeschritten werden kann. Daraus resultieren am Ende des Herstellprozesses, trotz Verwendung des Simplexverfahrens und ohne zusätzlichen Arbeitsschritt, größere Säulendurchmesser, als im Vergleich zur standardmäßigen Anwendung des Einphasensystems.



Abb. 4.2: Im-Loch-Hammer mit integriertem Monitor¹⁰⁵

¹⁰⁵ Quelle: [36] Wassara LKAB

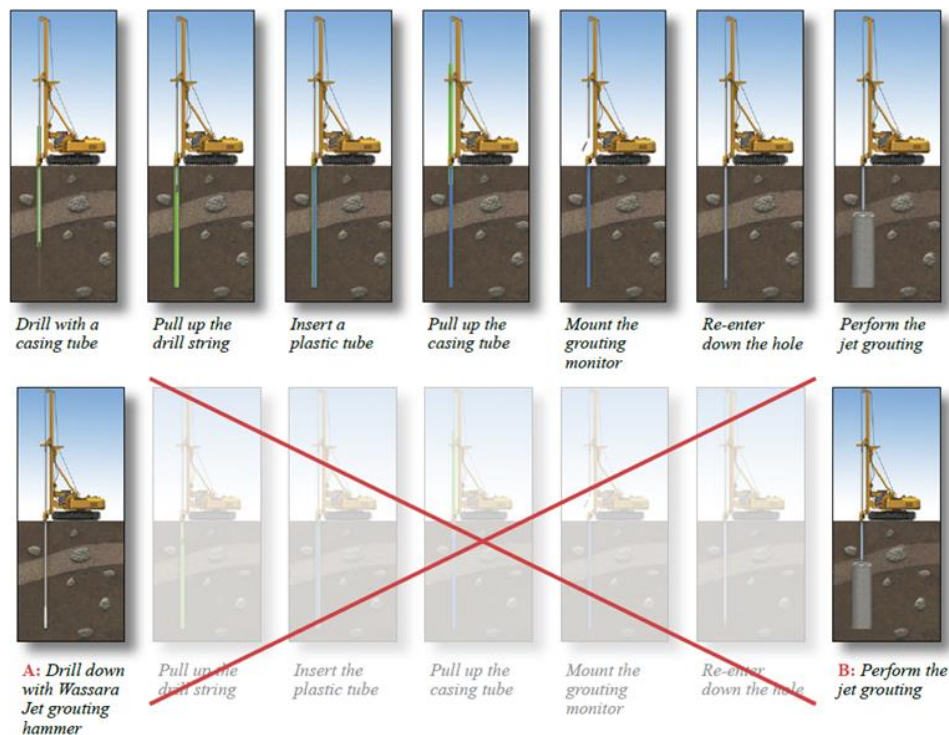


Abb. 4.3: Veranschaulichung der Vorteile des Im-Loch-Hammers mit integriertem Monitor¹⁰⁵

4.1.2 Optimierungsvorschlag für das Ausstecken der Bohransatzpunkte

Die Umsetzung dieser Optimierung hätte zur Folge, dass einige Prozessschritte wegfallen würden. Betroffen davon sind folgende Aktivitäten:

- ◆ Bohransatzpunkte ausstecken und/oder Schichtauftrag übergeben (sowie das Verfassen des Schichtauftrages bzw. der Arbeitsanweisung),
- ◆ Eingabe der DSV-Elementnummer + Parameter am Bohrgerät, sowie
- ◆ indirekt das Umstellen und Einrichten des Bohrgerätes.

Der letzte Punkt würde nicht zur Gänze entfallen, sondern erleichtert werden. Ermöglicht werden würde dies, durch die Ausstattung des Bohrgerätes mit GPS-Sensorik und entsprechender Steuerungssoftware. Dadurch entfällt das manuelle Positionieren des Bohrkopfes/-gestänges in der entsprechenden Neigung über dem Ansatzpunkt, für das in der Regel der Bohrmeister und -helfer verantwortlich sind. Mit dem installierten Positionierungssystem wird der Bohrgerätefahrer über die entsprechenden Anzeigen am Display zum nächsten Ansatzpunkt geführt. Ein weiterer Vorteil dieses Systems ist, dass während des Herstellungsprozess eines DSV-Elementes, die Start- sowie Endhöhe des behandelten Bereiches mitaufgezeichnet wird und somit eine Qualitätskontrolle ebenfalls integriert ist. Des Weiteren kann der Gerätefahrer am Display des Moduls sehen, welche Elemente bereits hergestellt wurden bzw. noch herzustellen sind und somit einen Schichtauftrag überflüssig macht.¹⁰⁶

¹⁰⁶ Vgl. [33] Soilmec S.p.A., S. 2-3

4.1.3 Optimierungsvorschlag für Höhenkontrolle

Die Höhenkontrolle angrenzender Bebauung stellt eine wichtige Aufgabe während der Ausführungsarbeiten dar, die i.d.R. vom Polier mit einem Nivelliergerät durchgeführt wird. Bei Projekten mit erhöhtem Risikopotential (denkmalgeschützte Gebäude) bzw. angrenzender hochrangiger Infrastruktur (z.B. Gleisanlagen von U-Bahnen bzw. Zuglinien) werden heute schon automatische Überwachungssysteme mittels Totalstationen verwendet, die nicht nur Hebungen und Senkungen, sondern zugleich Schiefstellungen erfassen können. Diese Systeme haben den Vorteil, dass bei Überschreitungen eines vorher definierten Grenzwertes, automatisch die zuständigen Personen z.B. per SMS darüber informiert werden und die entsprechenden Schritte rasch eingeleitet werden können. Andererseits hat diese Methode den Nachteil, dass für die Installation ein externer Konsulent, entsprechendes Equipment und genügend Vorlaufzeit benötigt wird. Diese Umstände verursachen Kosten und daher wird dieses Überwachungssystem i.d.R. nur bei größeren, risikobehafteten Projekten bzw. wenn es gemäß Vertrag vorgeschrieben ist, eingesetzt.

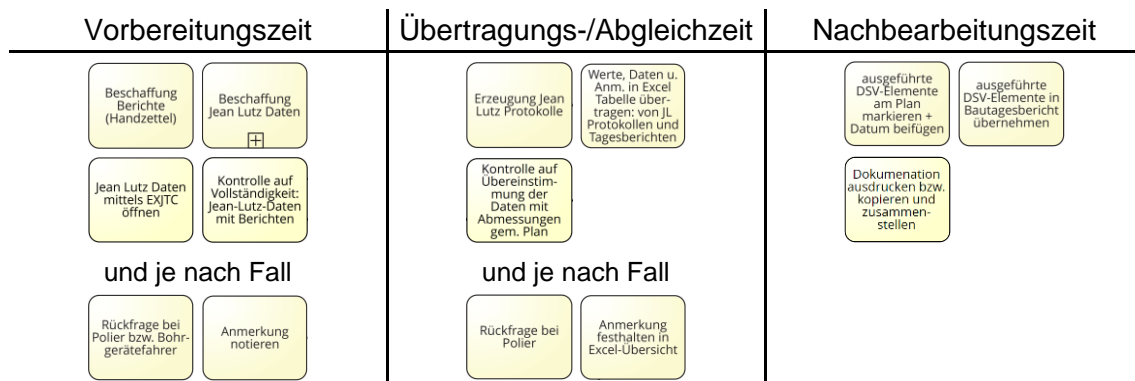
Als Optimierungsvorschlag wird für kleinere Projekte, bei denen die automatische Verformungsüberprüfung nicht verwendet wird, empfohlen, nur die Null- und Abschlussmessung mit dem Nivelliergerät durchzuführen. Für die Kontrollmessungen während der DSV-Ausführung könnte dagegen ein Rotationslaser (Nivellierlaser) verwendet werden. Mit diesem hätte der Bohrgerätefahrer de facto eine Echtzeitüberprüfung, ohne damit Personal an einem Nivelliergerät zu binden. Die erste und letzte Messung sollte aus Dokumentationsgründen, zur Festhaltung des Zustandes vor und nach den Arbeiten, mit der tradierten Methode erfolgen sowie ein angefertigtes Protokollblatt beinhalten.

4.2 Analyse des Dokumentationsprozesses

Der derzeitige Dokumentationsprozess ist von manuellen Übertragungen der entsprechenden Daten und Werte geprägt. Die beiden Tagesberichte (Handzettel), der Misch-/Pumpenanlage sowie der DSV-Arbeiten, beinhalten zum Teil die gleichen Informationen (z.B. Uhrzeiten), dies hat zur Folge, dass doppelt anzuführende Daten/Werte bereits jetzt vom jeweiligen Personal weggelassen werden und so die Berichte nur teilweise ausgefüllt werden (siehe Abb. 3.7). Die Uhrzeiten des Bohr- und des Düsbeginns wären mit der aktuellen Form der Dokumentation sogar dreifach erfasst, da diese mit der Jean-Lutz-Aufzeichnung ebenfalls aufgezeichnet werden. Weiters lässt die gegenwärtige Struktur der Übersichten (einzelne Excel-Arbeitsblätter für Tage bzw. Monate) eine Analyse, in Anbetracht einer Bauzeit- oder Baukostenprognose, nur schwer zu, da die ganzheitliche Betrachtung der ausgeführten Elemente nur nach vorheriger Überarbeitung bzw. Zusammenführung der Daten möglich wäre.

4.2.1 Dokumentationsaufwandswerte

Die Dokumentationsarbeiten wurden für die zeitliche Bewertung in eine Vorbereitungs-, Übertragungs-/Abgleich- und Nachbearbeitungszeit unterteilt, wobei folgende Prozessschritte (siehe Abb. 3.6, S. 58), mit diesen Zeitabschnitten erfasst sind:



Tab. 4.1: Zuteilung der Prozessschritte zu den einzelnen Zeitabschnitten

Die ermittelten Zeiten der Vorbereitungs- und Übertragungs-/Abgleichzeit, können als Netto-Zeiten interpretiert werden, da bei der Erfassung keine anderen Aktivitäten (z.B. Telefonate, Emails, etc.) nebenbei erledigt wurden, sondern nur die in Tab. 4.1 angeführten Vorgänge. Durchgeführt wurden die Zeitmessungen bei Projekt B. Die Nachbearbeitungszeit wurde, im Gegensatz zu den ersten beiden Abschnitten, nicht mittels Einzelzeitaufnahme bestimmt, sondern mit einer Zeitabschätzung bewertet. Die Erstellung der Abrechnung wurde zur Vervollständigung des Arbeitsablaufes in die Prozessdarstellung mit aufgenommen, jedoch wurde dieser Vorgang zeitlich nicht behandelt, da das Hauptaugenmerk auf der Erstellung der Dokumentation lag.

Bei der Ermittlung der Übertragungs-/Abgleichzeit wurde differenziert, ob Daten einer Vorbohrung oder einer DSV-Säule verarbeitet worden sind. Diese Unterscheidung wurde durchgeführt, da bei einer Vorbohrung weniger Daten (nur Punktnummer, Niveau der Arbeitsebene und Bohrtiefe) zu übertragen sind und keine Kontrolle mit Planungsdaten erforderlich ist, was zur Folge hat, dass weniger Zeit als bei DSV-Säulen benötigt wird. Bei der Erfassung der Vorbereitungszeit wurde diese Differenzierung nicht angewandt, da es bei der Beschaffung der Unterlagen und bei der Vollständigkeitsprüfung (siehe S. 59) irrelevant ist, ob Unterlagen von Vorbohrungen oder DSV-Säulen bearbeitet werden. Der Grund dafür ist, dass nicht deren Inhalt, sondern lediglich deren Vorhandensein überprüft wird. Im Folgenden werden die DSV-Elemente und Vorbohrungen, welche während der Dokumentation bearbeitet werden, als Datensätze bezeichnet, wobei ein Datensatz, ein ausgeführtes/aufgezeichnetes Element (DSV-Element oder Vorbohrung) widerspiegelt.

Auswertung Vorbereitungszeit

In Abb. 4.4 ist die Verteilung der Vorbereitungszeit ersichtlich, die entsprechenden Daten dafür können im Anhang aus Kapitel 8.1.2 entnommen werden. Des Weiteren ist im Anhang auf S. 113 ersichtlich, dass für die Beschaffung der Berichte bzw. Jean-Lutz-Daten sowie für die Vollständigkeitsüberprüfung, mehrere Tage der Ausführung zusammengefasst wurden und die Kontrolle der Daten sowie die Messung der Vorbereitungszeit anschließend an einem Tag durchgeführt wurde. Aus diesem Grund wurde für die Darstellung und Ermittlung eines durchschnittlichen Wertes nicht eine klassische Mittelwertbildung herangezogen, sondern ein XY-Diagramm und eine Auswertung mittels linearer Regression, da dies die Verteilung der aufgenommenen Zeiten besser abbildet.

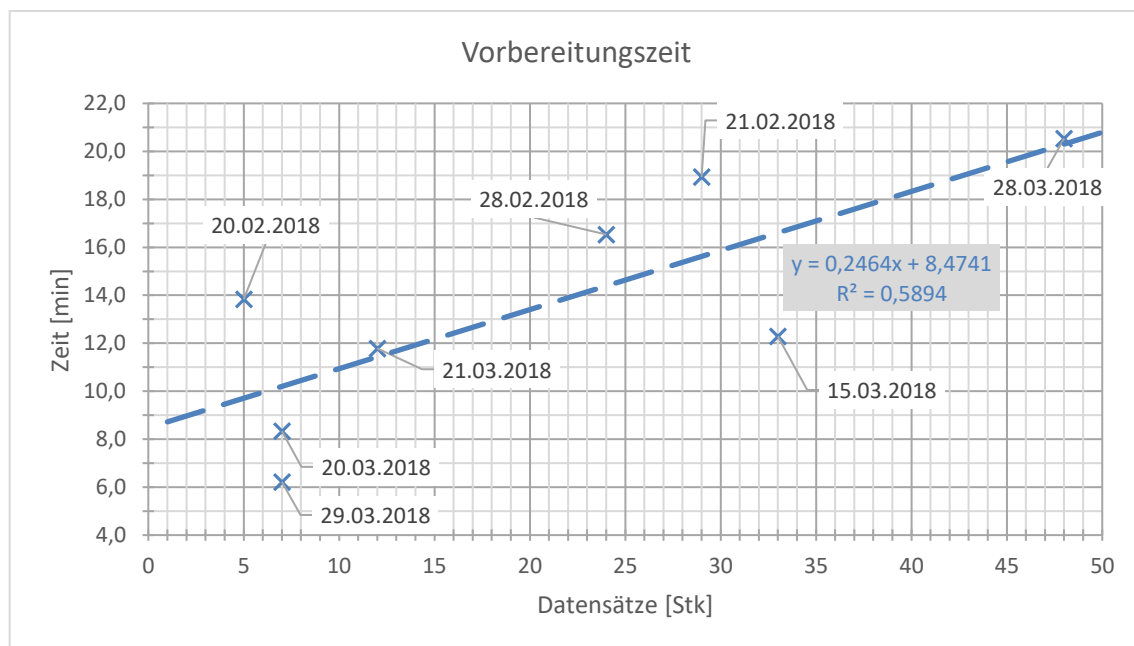


Abb. 4.4: Verteilung der Vorbereitungszeit, lineare Degression

$$y = 0,2464x + 8,4741 \quad (4.1)$$

Eine reine Mittelwertbildung würde die Zeiten pro Punkt verfälschen, da die Beschaffung der Unterlagen auf alle Tage proportional verteilt werden würde, obwohl dies in etlichen Fällen, durch die Zusammenfassung mehrerer Tagesberichte, nur einmal durchgeführt wurde. Mit der Methode der linearen Regression und der daraus gewonnenen Regressionsgeradengleichung (Formel (4.1)), ist es möglich, für eine bestimmte Anzahl an Datensätzen (DSV-Elemente oder Vorbohrungen), die prognostizierte Vorbereitungszeit zu berechnen (siehe Tab. 4.2). Wie der Abb. 4.4 entnommen werden kann, ist das Bestimmtheitsmaß R^2 der Regressionsgeraden mit rund 0,60 nicht perfekt, jedoch nach Brosius¹⁰⁷ spiegelt dies eine starke Korrelation (R^2 im Bereich von 0,35-0,65) der Anpassungsgüte wieder. Nur die Güteklassen „sehr starke Korrelation“ (R^2 im Bereich von 0,65-1,0) und „perfekte Korrelation“ ($R^2=1,0$) stellen bessere Anpassungen dar.

Anzahl Datensätze [Stk]	1	5	10	15	20	30
Vorbereitungszeit [min]	8,7	9,7	10,9	12,2	13,4	15,9

Tab. 4.2: prognostizierte Vorbereitungszeit mittels Regressionsgerade

Auswertung Übertragungs-/Abgleichzeit

Für die Auswertung der Übertragungs-/Abgleichzeit wurden die aufgenommenen Zeiten (siehe Kapitel 8.1.3) durch die jeweilige Anzahl an bearbeiteten Säulen dividiert und anschließend aus diesen berechneten Werten der Mittelwert gebildet. Die benötigte Zeit pro Ansatzpunkt, unterteilt in die jeweils dokumentierten Tage, können für die Bearbeitung von DSV-Säulen der Abb. 4.5 und für Vorbohrungen der Abb. 4.6 entnommen werden. Bei beiden Abbildungen wurden jeweils zwei Mittelwerte dargestellt, einerseits berechnet aus allen abgebildeten Werten und andererseits aus jenen Werten die unter dem 95%-Quantil liegen.

Der Mittelwert für die Dokumentation einer DSV-Säule beträgt 4,77 Minuten, der für die Bearbeitung einer Vorbohrung im Schnitt nur 1,81 Minuten, dies entspricht ungefähr einem Drittel der Zeit im Vergleich zu einer DSV-Säule. Dieser beträchtliche Unterschied ergibt sich einerseits aufgrund der geringeren Anzahl an zu übertragenden Daten und andererseits daher, dass bei der Dokumentation der DSV-Säulen in einigen Fällen eine Rückfrage beim Polier erforderlich war. Für die weitere Betrachtung der Dokumentationsaufwände wird nur der ermittelte Wert der DSV-Säule verwendet, da Vorbohrungen nur bei Projekt B ausgeführt wurden.

¹⁰⁷ Vgl. [4] Brosius, Brosius 1998, S. 503

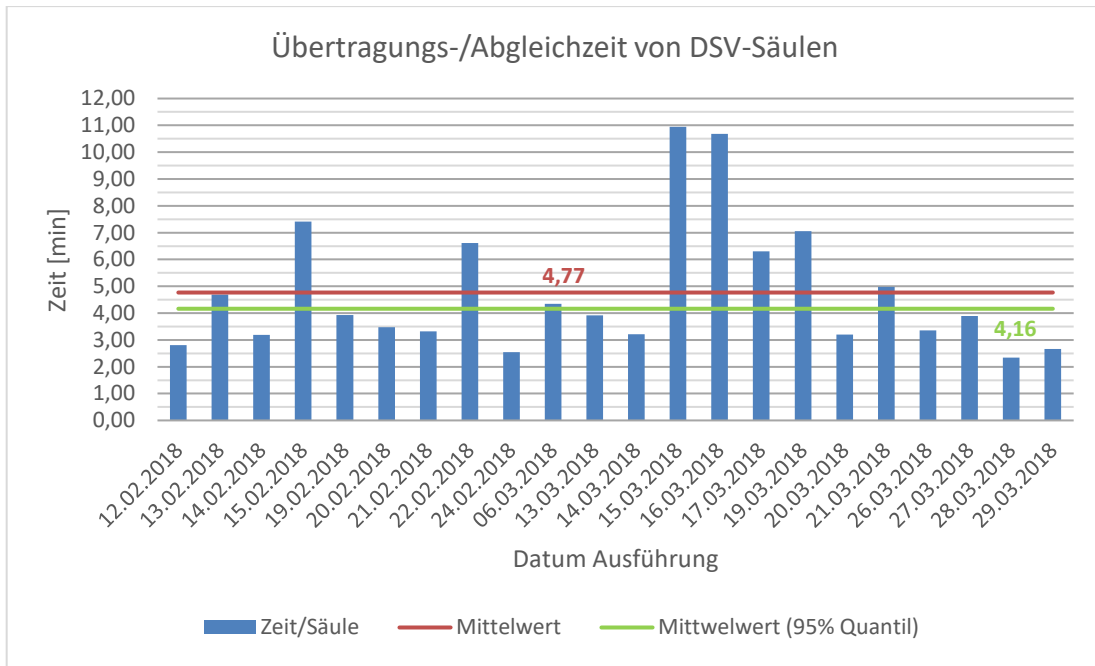


Abb. 4.5: Zusammenfassung der Übertragungs-/Abgleichzeit für DSV-Säulen

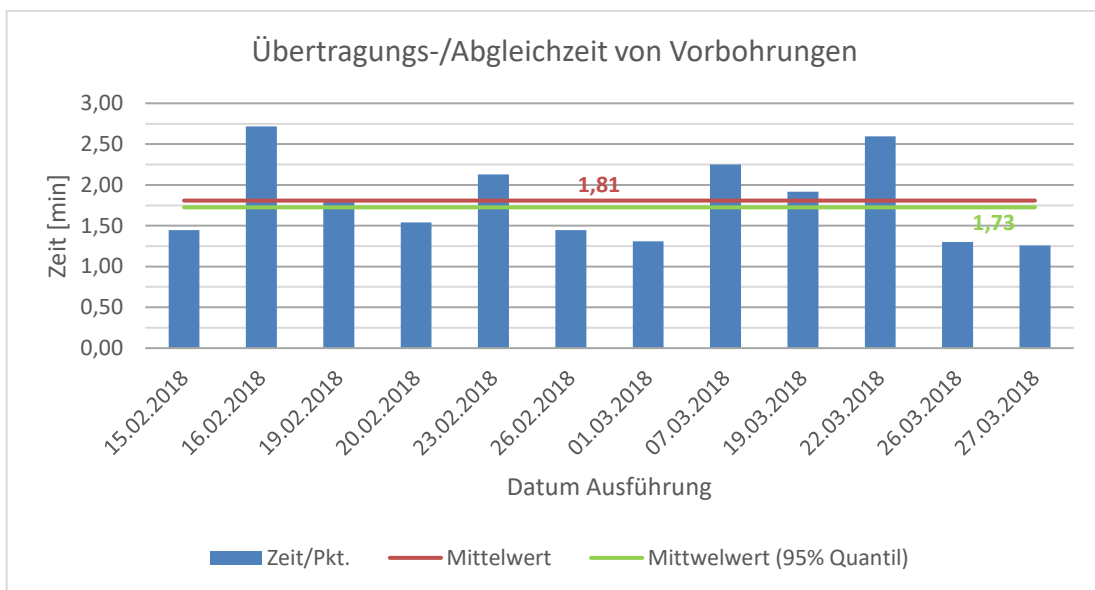


Abb. 4.6: Zusammenfassung der Übertragungs-/Abgleichzeit für Vorbohrungen

Nachbearbeitungszeit

Jene drei Prozessschritte die mit der Nachbearbeitungszeit abgedeckt sind (siehe Tab. 4.1), wurden beim untersuchten Projekt vom Polier während der Arbeiten nebenbei erledigt (Markierung ausgeführter Elemente), bzw. wurde die Zusammenstellung der Dokumentation und das Schreiben der Bautagesberichte zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt. Aus diesen Gründen konnte, wie bereits zu Beginn dieses Kapitels auf S. 68 erwähnt, die Nachbearbeitungszeit nicht mittels Zeitmessungen bestimmt werden. Für die zeitliche Bewertung dieses Abschnittes wurde infolgedessen eine Abschätzung des Zeitbedarfes getroffen. Es wurde die Annahme gewählt, dass die Bearbeitung eines Datensatzes in

Summe sechs Minuten in Anspruch nimmt. Diese sechs Minuten verteilen sich auf die drei erfassten Prozessschritte folgendermaßen:

- ◆ 1 Minute für: „ausgeführte DSV-Elemente am Plan markieren + Datum beifügen“
- ◆ 2 Minuten für: „ausgeführte DSV-Elemente in Bautagesberichte übernehmen“
- ◆ 3 Minuten für: „Dokumentation ausdrucken bzw. kopieren und zusammenstellen“

Für die Hochrechnung auf eine größere Anzahl an Datensätzen wird, wie bei der Vorbereitungszeit, eine lineare Gleichung gewählt. Die Steigung dieser Geradengleichung wird analog zur Vorbereitungszeit, mit 0,2464 gewählt. Eine proportionale Gerade wurde nicht gewählt, da z.B. beim Verfassen der Bautagesberichte, nicht für jede Säule ein neuer Bericht angefertigt werden muss, sondern mehrere an einem Tag ausgeführte Elemente auf einem Blatt zusammengefasst werden. Da sich somit Synergien ergeben, verhält sich die Nachbearbeitungszeit nicht proportional. Mit der gewählten Geradengleichung kann für eine bestimmte Anzahl an Datensätzen, die Nachbearbeitungszeit hochgerechnet werden (siehe Abb. 4.7 und Tab. 4.3).

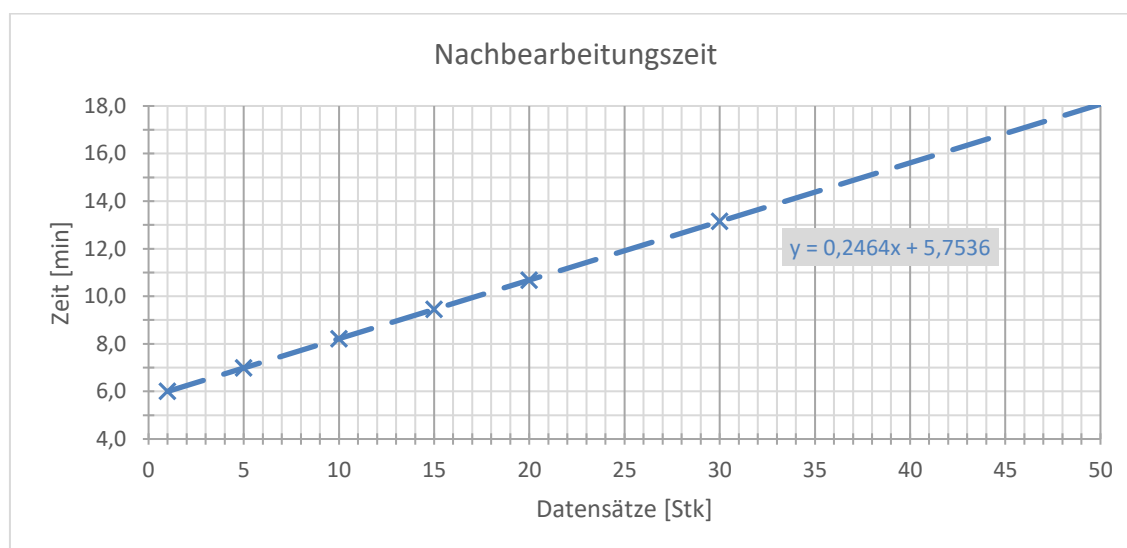


Abb. 4.7: Nachbearbeitungszeit

Anzahl Datensätze [Stk]	1	5	10	15	20	30
Nachbearbeitungszeit [min]	6,0	7,0	8,2	9,4	10,7	13,1

Tab. 4.3: prognostizierte Nachbearbeitungszeit

Zusammenfassung

Abschließend werden die ermittelten Werte der Vorbereitungs-, Übertragungs-/Abgleich- und Nachbearbeitungszeit zusammengefasst und exemplarisch für eine verschiedene Anzahl an Datensätzen (1, 5, 10 und 15 Stk.) berechnet und grafisch dargestellt. In Tab. 4.4 sind jene Daten angeführt, die für Abb. 4.8 verwendet wurden. Dieser Darstellung kann entnommen werden, dass die Vorbereitungs- und Nachbearbeitungszeit bei einer höheren

Anzahl an Datensätzen, in diesem Fall 10 bzw. 15 Stück, zusammen nur noch rund 23 bzw. 29 Prozent der gesamt benötigten Zeit beträgt und die Übertragungs-/Abgleichzeit den Großteil (71 bzw. 77 %) der Dokumentationszeit einnimmt. Für die Dokumentation von zehn DSV-Säulen wird im Schnitt rund 67 Minuten benötigt, bei Verwendung jenes Mittelwertes, welcher bei Einbeziehung sämtlicher Datensätze bestimmt wurde („normaler“ Mittelwert).

Anzahl Datensätze [Stk]:	1	5	10	15
Vorbereitungszeit [min]:	8,7	9,7	10,9	12,2
Übertragungs-/Abgleichzeit [min]:	4,8	23,8	47,7	71,5
Nachbearbeitungszeit [min]:	6,0	7,0	8,2	9,4
Summe [min]:	19,5	40,5	66,8	93,1

Tab. 4.4: Zusammenfassung der benötigten Zeit mit „normalen“ Mittelwert

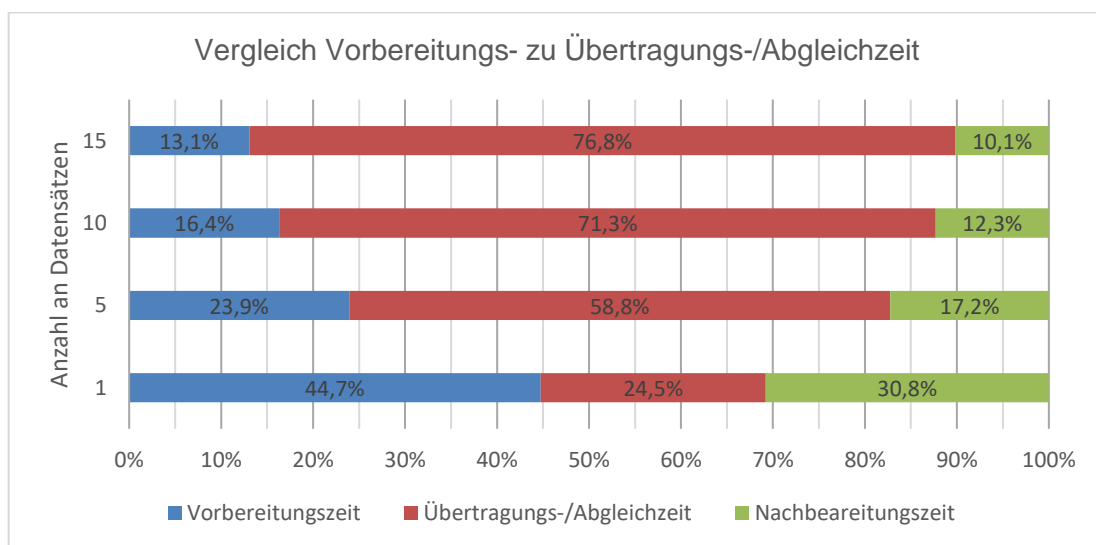


Abb. 4.8: Vergleich der verschiedenen Abschnitte der Dokumentationszeit

Wie bereits auf S. 70 erwähnt, wurde zusätzlich zum „normalen“ Mittelwert, der 95%-Quantil Mittelwert bei der Übertragungs-Abgleichzeit berechnet. Dieser Mittelwert hat den Vorteil, dass Ausreißer die größer als das 95%-Quantil sind, nicht in die Berechnung miteinfließen. Dadurch sinkt der Mittelwert von 4,77 auf 4,16 Minuten pro DSV-Säule. Bemerkbar macht sich dieser Unterschied bei der Dokumentation mehrere Datensätze, für z.B. zehn Säulen wird um sechs Minuten weniger Zeit (siehe Tab. 4.5) benötigt, als bei Verwendung des „normalen“ Mittelwertes.

Anzahl Datensätze [Stk]:	1	5	10	15
Vorbereitungszeit [min]:	8,7	9,7	10,9	12,2
Übertragungs-/Abgleichzeit [min]:	4,2	20,8	41,6	62,5
Nachbearbeitungszeit [min]:	6,0	7,0	8,2	9,4
Summe [min]:	18,9	37,5	60,8	84,1

Tab. 4.5: Zusammenfassung der benötigten Zeit mit 95%-Q. Mittelwert der Übertragungs-/Abgleichzeit

4.2.2 Benötigte Dokumentationszeit - Hochrechnung

Im Folgenden werden die ermittelten, durchschnittlichen Werte der Dokumentationszeit auf die Anzahl der in Projekt A und B geplanten DSV-Elemente hochgerechnet, um die theoretisch benötigte Gesamtzeit der Dokumentation der beiden Projekte aufzuzeigen. Verwendet wird dazu einerseits der „normale“ Mittelwert (MW) sowie andererseits der 95%-Quantil Mittelwert (95%Q-MW) und die Anzahl an DSV-Säulen, die gemäß Planung erforderlich waren, d.h. es fließen keine in mehreren Abschnitten hergestellten Elemente ein. Bei Projekt B werden die durchgeführten Entlastungs- und Vorbohrungen in die Hochrechnung miteinbezogen, da eine Vielzahl davon ausgeführt wurden und dokumentiert werden mussten.

◆ Projekt A:

Wie auf S. 39 beschreiben, wurden bei Projekt A rund 537 Sohlsäulen und 126 DSV-Zwickel hergestellt, dies ergibt in Summe 663 Stück, wobei durchschnittlich 15 Elemente pro Tag ausgeführt wurden. Für die Ermittlung der Vorbereitungszeit wird davon ausgegangen, dass die Dokumentation der 15 Säulen pro Tag, täglich durchgeführt wurde. Mit diesen Eingangswerten ergibt sich für Projekt A eine hochgerechnete Gesamtdokumentationszeit von rund 69 (MW) bzw. 62 Stunden (95%Q-MW). Umgerechnet in Wochen ergibt dies, bei einer wöchentlichen Arbeitszeit von 39 Stunden, rund 1,8 (MW) bzw. 1,6 Wochen (95%Q-MW). Noch deutlicher veranschaulicht wird der Dokumentationsaufwand, bei Gegenüberstellung zur täglichen Normalarbeitszeit von acht Stunden. Wird täglich die Dokumentation von 15 DSV-Säulen durchgeführt, so beansprucht dies rund 18% der täglichen Arbeitszeit (siehe Abb. 4.9) oder umgerechnet rund 1,40 Stunden, bei Berechnung mit dem 95%-Quantil Mittelwert.

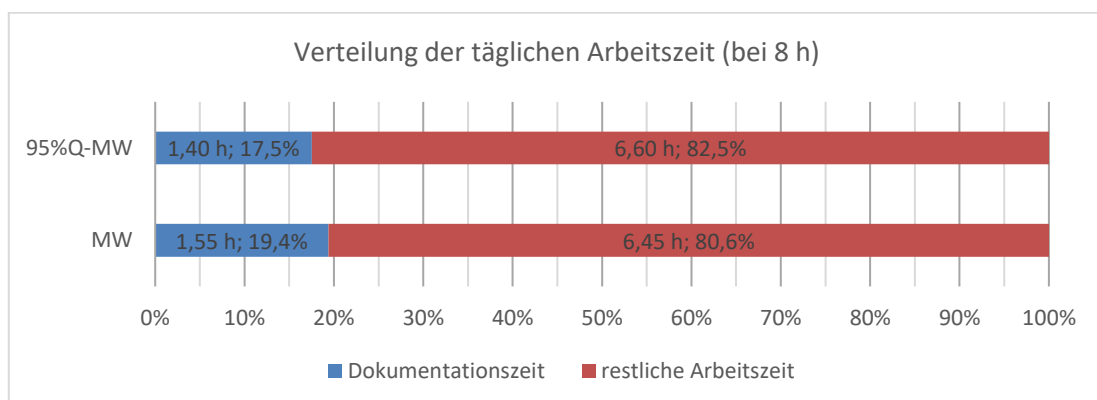


Abb. 4.9: Verteilung tägliche Arbeits- zu Dokumentationszeit (dargestellt mit MW und 95%Q-MW)

◆ Projekt B:

Bei Projekt B wurden 127 DSV-Zwickel und 12 Säulen für einen DSV-Block hergestellt. In Summe ergibt dies 139 Elemente, wobei von diesen täglich im Durchschnitt fünf hergestellt wurden. Aufgrund der geringen Anzahl an Säulen pro Tag, wird angenommen, dass immer zwei Tage für die Dokumentation zusammengefasst wurden. Weiters wurden rund 100 Vor- und Entlastungsbohrungen hergestellt, bei diesen wird ebenfalls von 10 Säulen pro Dokumentationsvorgang ausgegangen und die Mittelwerte gemäß Abb. 4.6 herangezogen. Ausgewertet ergibt dies in Summe eine hochgerechnete Gesamtdokumentationszeit von rund 21 (MW) bzw. 20 Stunden (95%Q MW).

4.2.3 Fehleranfälligkeiten des Dokumentationsprozesses

Der tradierte Dokumentationsprozess ist von manuellen Eingaben und Übertragungen der entsprechenden Daten und Werte geprägt. Infolge dieser Vorgänge können durch Tippfehler oder Unachtsamkeiten, ungewollt Fehler in der Dokumentation entstehen, die im Nachhinein zu erhöhtem Korrekturaufwand führen können. Des Weiteren können bereits vor bzw. während der Ausführung Mängel entstehen, wenn es z.B. beim Ausfüllen der Arbeitsanweisungen bzw. der Tagesberichte zu Fehlern kommt. Bei folgenden Aktivitäten können Schreib-, Tipp- bzw. generell Fehler entstehen:

- ◆ Beim Erstellen der Arbeitsanweisungen
- ◆ Beim Ausstecken des Ansatzpunktes (falsche Beschriftung des Punktes)
- ◆ Bei der Eingabe der DSV-Elementnummer am Bohrgerät.
- ◆ Beim Ausfüllen der Tagesberichte (DSV, MA&HDP, Vorbohrungen).
- ◆ Bei der Übertragung der Werte und Daten aus den Jean-Lutz-Protokollen und Tagesberichten in die Monats- bzw. Tagesübersichten.
- ◆ Bei der Kontrolle der Abmessungen der ausgeführten/aufgezeichneten Elemente.
- ◆ Bei der Übertragung der ausgeführten Elemente in den Bautagesbericht.

Diese angeführten Fehlermöglichkeiten können allesamt rasch durch Unachtsamkeiten bzw. Unkonzentriertheit auftreten. Punkt Nummer zwei und drei dieser Liste können bei Anwendung des Optimierungsvorschlages aus Kapitel 4.1.2 vermieden werden, da bei der Verwendung dieser Methode bereits alle Daten am Bohrgerät gespeichert wären und der Gerätefahrer nur mehr den entsprechenden Ansatzpunkt am Display auswählen bräuchte. Die restlichen fünf angeführten Fehlerrisiken, können mit den Verbesserungsvorschlägen, die im Kapitel 4.2.4 angeführt sind, beseitigt werden. Es sollte nicht vergessen werden, dass selbst die besten Systeme, menschliche Fehler niemals zur Gänze ausschließen können.

4.2.4 Verbesserungspotentiale

Im Nachfolgenden werden einige Optimierungsvorschläge für den Dokumentationsprozess angeführt. Langfristiges Ziel sollte es sein, eine globale Verwaltung bzw. Datenbank und das entsprechende Datenmonitoring, wie es in der Diplomarbeit von Paula Lengauer¹⁰⁸ beschrieben wird, anzustreben und umzusetzen. Da diese Entwicklung noch einige Jahre in Anspruch nehmen wird, werden nachfolgend einige Optimierungsvorschläge angegeben, die relativ schnell und einfach umgesetzt werden können.

Tagesberichte:

Während der Begleitung der Projekte und bei der Analyse des Dokumentationsprozesses hat sich gezeigt, dass die Tagesberichte zum Teil die gleichen Informationen abbilden und dadurch von Baustellenpersonal nicht vollständig ausgefüllt werden. In erster Linie betrifft dies den Tagesbericht der DSV-Arbeiten, da der Gerätefahrer/Bohrmeister am Bauort den Umwelteinflüssen ausgesetzt ist und dadurch die Bedingungen, zum Ausfüllen eines Formulars, nicht ideal sind. Deshalb werden vom Baustellenpersonal nur die wichtigsten Anmerkungen und Werte schriftlich festgehalten. Diesen Tagesbericht bzw. jenen der Misch- und Pumpenanlage zur Gänze entfallen zu lassen, ist aufgrund möglicher Ausfälle bei der elektronischen Datenaufzeichnung nicht zu empfehlen. Weiters werden Hindernisse (z.B. harte Bodenschichten, Mauerwerk, etc.) während des Bohrvorganges, vom Bohrmeister am besten wahrgenommen (in den Jean-Lutz-Protokollen sind diese zum Teil nur schwer ersichtlich) und sollten daher von diesem handschriftlich für die spätere Nachweisführung festhalten werden. Dies trifft auf sonstige Unterbrechungen, Zwischenfälle und speziellen Vorkommnisse ebenfalls zu.

Aus diesen Gründen sollte der DSV-Tagesbericht überarbeitet werden und sich nach dem Motto „so wenig wie möglich, so viel wie nötig“ orientieren, um das Festhalten der Informationen zu vereinfachen und zu beschleunigen. Daher sollten doppelt anzuführende Informationen wie z.B. die Uhrzeiten (Beginn, Ende) der Bohrung, des Vorschneidens und Jetzens, beim DSV-Tagesbericht entfallen, da diese ohnehin im Tagesbericht der Misch- und Pumpenanlage notiert werden. Festzuhalten wären daher pro Säule nur die Bohr-, Vorschneid- und Jet-Länge, bzw. die Bestätigung, dass die vorgegebenen Längen gemäß Arbeitsanweisung/Tagesbericht erreicht wurden und außergewöhnliche Erschwernisse bzw. Unterbrechungen. Dies würde die Moral für das Ausfüllen der Berichte steigern und dazu beitragen, genaue Nachweisunterlagen der erbrachten Leistung vorlegen zu können, die für die spätere Abrechnung bzw. für Nachtragsforderungen essentiell sind. Die zuvor ge-

¹⁰⁸ Lengauer, P.: Datenmonitoring beim Düsenstrahlverfahren, Diplomarbeit, TU Wien, 2017.

nannten Längen bedürfen einer handschriftlichen Festhaltung, um bei Auswahl der elektronischen Aufzeichnung den Nachweis der entsprechenden Ausführung vorlegen zu können. Die Werte für diese Längen werden dafür nach dem jeweiligen Arbeitsvorgang, vom Display der Jean Lutz Einheit am Bohrgerät, abgelesen. Bei einem der Tagesberichte sollte außerdem ergänzt werden, mit welchem Medium bei einer Drehspülbohrung gebohrt wird, da dies mit den derzeitigen Unterlagen im Nachhinein nicht mehr nachvollziehbar ist.

Jean-Lutz-Protokolle

Bei der Erstellung der Protokolle können eine Vielzahl an Informationselementen (siehe Tab. 3.2), die am späteren Bericht angezeigt werden sollen, ausgewählt werden. Zusätzlich zu den derzeit bevorzugten Werten aus Tab. 3.2 (grau hinterlegt), wird empfohlen, die in dieser Tabelle farblich grün markierten Elemente ebenfalls am Jean-Lutz-Protokoll abzubilden (siehe Abb. 4.10). Dies betrifft einerseits die absolute Höhe der Ansatzebene. Mittels dieser Angabe und den Relativhöhen im Protokoll, kann die tatsächliche Höhenlage des DSV-Elementes berechnet werden, ohne den entsprechenden Tagesbericht, mit der angeführten Höhe der Arbeitsebene, hinzuziehen zu müssen. Weiters sollten die Schritthöhe und Haltezeit für die Qualitätskontrolle angeführt werden, da diese als DSV-Parameter einen wesentlichen Einfluss auf den zu erzielenden Säulendurchmesser haben. Die Anführung des Maschinentypus und der GPS-Koordinaten kann für nachträgliche Analysen und Darstellungen von Bedeutung sein (siehe S. 79 ff.)

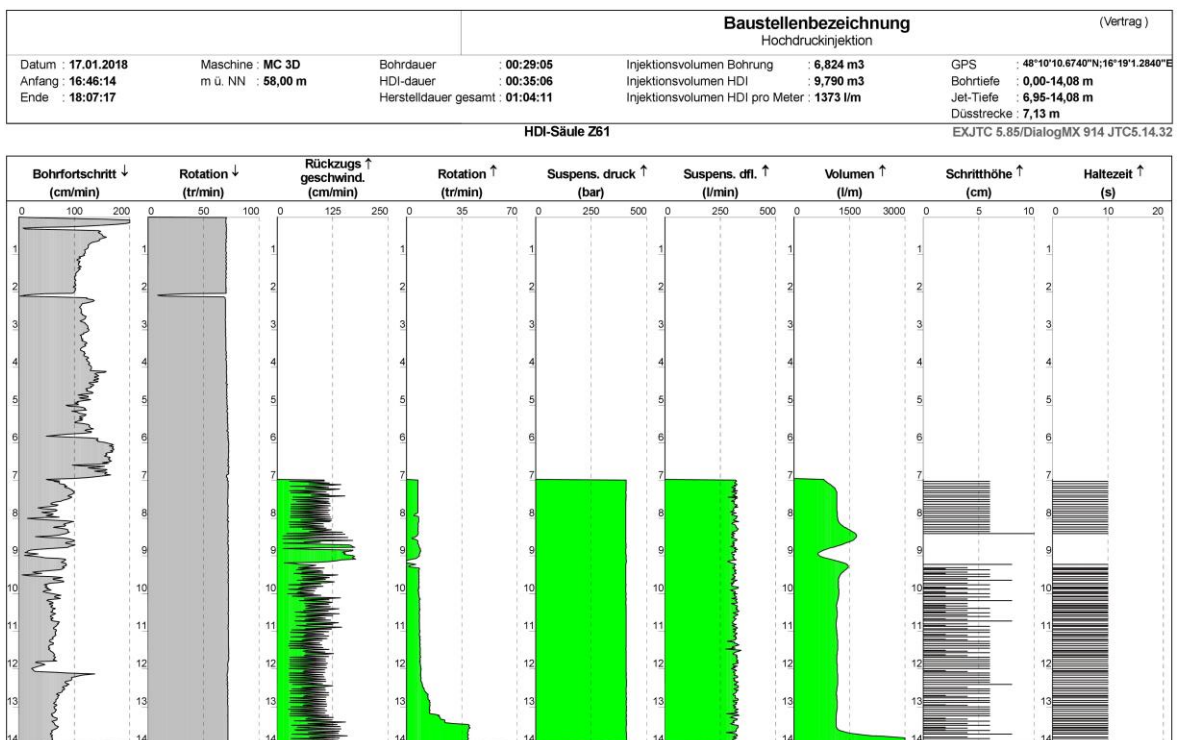


Abb. 4.10: Adaptiertes Jean-Lutz-Protokoll

Übertragung der Werte - Automatisierung

Die manuelle Übertragung der Werte und Daten stellt den zeitlich aufwendigsten Subprozess der Dokumentation dar. Aufgrund dieses Umstandes, werden derzeit nur Teile (wie in Tab. 3.3 aufgelistet: die Punktnummer, das Datum, die entsprechenden Längen sowie das Suspensionsvolumen), der in der Kopfzeile eines Jean-Lutz-Protokolls (siehe Abb. 4.10) angeführten Daten und Werte, in die Übersichten übernommen. Dies hat zur Folge, dass nachträgliche Analysen über die Dauer der Ausführung bzw. grafische Auswertungen, derzeit nicht möglich sind, da die benötigten Werte dafür in den Übersichten fehlen. Diese händischen Übertragungen sind außerdem anfällig für Tippfehler bzw. Verwechslungen, die nachträglich zu erhöhtem Korrekturaufwand führen können.

Zur Verbesserung dieses Prozessschrittes bietet sich an, sämtliche Titelemente des Jean-Lutz-Protokolls (PDF-Dokument) automatisch auslesen zu lassen. Das Ergebnis wäre, dass sämtliche Daten rasch und ohne menschliche Fehler übernommen werden können und somit für Analysen zur Verfügung stehen. Möglich ist dies unter anderem mit einem Programmtool, das in der Programmiersprache „Python 2¹⁰⁹“ geschrieben ist und die dazu erhältliche Erweiterung namens „PDFMiner¹¹⁰“ nützt. Dazu wurde der Programmcode, welcher durch diese Anwendung (PDFMiner) bereitgestellt wird, den vorhandenen Umständen (Layout, Titelemente) entsprechend angepasst (siehe Anhang Kapitel 0.). Für die Ausführung des Programmtools (Bezeichnung z.B.: `getvalues.py`) muss das gewünschte PDF-Dokument sowie das adaptierte Programmtool in den selben Dateispeicherpfad abgelegt und anschließend in der Kommandozeile unter Windows mittels folgenden Befehl: `getvalues.py -o <outputfilename>.txt <pdfname>.pdf` ausgeführt werden. Das Dokument wird daraufhin in eine Textdatei (`.txt`) umgewandelt, die entsprechenden Werte pro Säule (mit dem auf S. 126 angefügten Programmcode derzeit: Nummer, Datum, Anfang, Ende, Bohr- und Jet-Länge) anschließend aus dieser Datei ausgelesen und in einer CSV-Datei¹¹¹ gespeichert, wobei jeder Wert in eine eigene Zelle eingetragen wird. Aus dieser Datei können die extrahierten Daten, anschließend rasch in die gewünschten Übersichten übernommen werden.

Mit dem im Anhang (siehe Kapitel 8.5) angefügten Programmcode sind folgende Umstände zu beachten, um die gewünschten Daten erfolgreich zu extrahieren:

- ◆ Bezeichnung der DSV-Säule ohne Leerzeichen (z.B. Z61).

¹⁰⁹ Python ist eine frei verfügbare, allgemeine und universelle höhere Programmiersprache, die 1991 von Guido van Rossum in Amsterdam entwickelt wurde. <https://pypi.org/>

¹¹⁰ PDFMiner ist eine Anwendung zum Extrahieren von Informationen aus PDF-Dokumenten, die sich ausschließlich auf das Auslesen und Analysieren von Textdaten konzentriert. <https://pypi.org/project/pdfminer/>

¹¹¹ Das Dateiformat CSV (englisch: Comma-separated values, deutsch: kommagetrennte Werte) wird angewandt, um Textdateien zu erstellen, die zur Speicherung oder zum Austausch von gegliederten Daten gedacht sind.

- ◆ Der Export/Druck der Jean-Lutz-Protokolle erfolgt mittels PDF-Drucker, damit der Inhalt des Dokumentes als Text erkannt wird.
- ◆ Pro PDF-Seite ist ein Protokoll samt Titelemente angeführt, d.h. keine mehrseitigen Protokolle.

Bei Verwendung dieser automatischen Extraktion, müssten nur die Daten der Tagesberichte (siehe Tab. 3.3, linke Spalte) per Hand in die Übersichten übernommen werden. Dies würde folgende Punkte betreffen, wobei einige durch bereits beschriebene Methoden bzw. durch weitere Adaptionen überflüssig werden würden:

- ◆ Suspensionsvolumen (HDP)

Anzustreben ist, die Misch- und Pumpenanlage in die digitale Datenerfassung zu integrieren, um die entsprechenden Werte digital in die Übersicht bzw. Datenbank übernehmen zu können.

- ◆ Niveau der Arbeitsebene

Das Niveau der Arbeitsebene kann bei Verwendung der adaptierten Jean-Lutz-Protokolle und der im Absatz zuvor beschriebenen Methode automatisch übernommen werden.

- ◆ Bohrachsenneigung

Diese wird bereits während der Planung vorgegeben und während der Ausführung i.d.R. nicht verändert, da die DSV-Elemente gemäß Vorgaben herzustellen sind. Aus diesem Grund ist eine Übertragung im Regelfall nicht erforderlich, da die Bohrachsenneigung bereits am Tagesbericht/Arbeitsanweisung und in der Übersicht angeführt sein sollte. Auf diesen Sachverhalt wird auf S. 79 ff., in Bezug auf die Optimierung der Übersichten, noch näher eingegangen.

- ◆ evtl. Bohrhindernisse sowie weitere Anmerkungen

Bohrhindernisse und sonstige Anmerkungen werden selbst in Zukunft von Hand zu übertragen sein, aufgrund der Tatsache, dass diese Umstände vom Bohrmeister am besten erkannt und von diesem handschriftlich festgehalten werden.

Übersichten, Kontrolle – Datenbank, Auswertung

Derzeit werden die Daten der Tagesberichte und Jean-Lutz-Protokolle per Hand in die Übersichten übertragen. Diese Übersichten, je nach Erfordernis entweder Tages- oder Monatsübersichten, sind einzelne Tabellenblätter in einer Excel-Mappe, die zur zusammenfassenden Auflistung der täglich bzw. monatlich ausgeführten Elemente dienen. Da es sich bei diesen Übersichten derzeit um einzelne Blätter handelt, die miteinander nicht verbunden sind, ist eine Analyse bzw. Gesamtauswertung erst über Umwege möglich.

Aus diesen Gründen werden nachfolgend einige Vorschläge angeführt, die das Datenhandling sowie die Darstellung der Daten in Zukunft verbessern sollen. Wie zu Beginn des Kapitels 4.2.4 beschrieben, sollen die Verbesserungsvorschläge rasch und einfach umgesetzt werden können. Zu dieser raschen Umsetzung zählt, dass die Übersichten weiterhin in Excel abgebildet werden, aber die Struktur und der Aufbau überarbeitet werden, sodass sich diese zu einer zentralen Datenbank entwickeln. Der erste Schritt für diese Entwicklung ist, dass in der Datenbank alle Daten der Baustelle, d.h. jene der Planung und der Ausführung, abgebildet werden.

Während der Planung werden entsprechende Elementlisten erstellt und als ergänzende Informationen am Ausführungsplan dargestellt. In diesen Listen, die in die Datenbank übernommen werden sollen, sind sämtliche Elemente mit den erforderlichen Angaben für die Ausführung (Nummer, Neigung, Längen, Durchmesser, etc.) angeführt. Weiters werden während der Planung der Baumaßnahme, Austeilungspläne der DSV-Elemente mit einem CAD-Programm (z.B. AutoCAD) erstellt. Aus diesen Plänen können, mittels entsprechender Befehle im CAD-Programm, die lokalen XY-Koordinaten der DSV-Elemente exportiert und in die Datenbank übernommen werden. Diese Koordinaten können, in Kombination mit den Daten der Ausführung, zur übersichtlichen Darstellung des Ausführungsfortschrittes (siehe Abb. 4.11) genutzt werden und u.a. die händische Eintragung der ausgeführten Elemente am Ausführungsplan (siehe Abb. 3.9, sowie Prozessbeschreibung S. 62) ergänzen bzw. überflüssig machen. Für die Abbildung des Ausführungsfortschrittes, werden allerdings zuerst die Daten dieses Prozesses in der Datenbank benötigt. Wie auf S. 78 beschrieben, wird bei der automatischen Extraktion der Daten aus den Jean-Lutz-Protokollen, eine strukturierte CSV-Datei erstellt. Aus dieser können die ausgelesenen Werte in die Datenbank kopiert und automatisch dem jeweiligen Ansatzpunkt der Planungsliste zugeteilt werden. Nach dieser Zuordnung ist eine automatische Überprüfung der ausgeführten Längen, in Bezug auf Übereinstimmung mit den vorgegebenen Längen der Planung (Qualitätssicherung), möglich. Dies würde beim Dokumentationsprozess (siehe Abb. 3.6) die manuelle Überprüfung überflüssig machen und somit zu einer weiteren Zeitersparnis bei der Dokumentation beitragen. Mit entsprechender Programmierung und Verlinkung wäre es außerdem möglich, die manuelle Übertragung der ausgeführten DSV-Elemente in die Bautagesberichte, welche ebenfalls in Excel erstellt werden, überflüssig zu machen und dazu beitragen weitere Zeit bei der Dokumentation einzusparen.

Da die ursprünglichen Übersichten zur Darstellung der täglichen bzw. monatlich ausgeführten Elemente gedient haben, muss dies in der neuen Datenbank ebenfalls ermöglicht werden. Dies ist u.a. mittels vordefinierter Formulare und anschließender Anwendung von Pivot-Tabellen möglich. Mit deren Verwendung können die Übersichten bzw. DSV-

Herstellprotokolle rasch, mit den gewünschten und je nach Vertrag erforderlichen Inhalten, unter Verwendung der passenden Pivot-Filter, erstellt werden.

Ein weiterer Vorteil der Datenbank ist, dass mit der automatischen Extraktion und Übernahme, aller am Jean-Lutz-Protokoll angeführten Werte (siehe Abb. 4.10, Kopfzeile), eine Vielzahl an Analysen und Auswertungen möglich sind. So können u.a. bei Einsatz mehrerer Bohrgeräte beim selben Projekt, leistungsspezifische Analysen der verschiedenen Bohrgeräte durchgeführt werden, bzw. mit den angeführten Start- und Endzeiten der Elemente, durchschnittliche Leistungswerte berechnet und für Prognosen verwendet werden. Werden während der Ausführung digitale Bohrlochvermessungen (z.B. Ist-Koordinaten der Ansatz- und Fußpunkte der Säulen) durchgeführt, können/sollten diese Werte ebenso in die Datenbank übernommen werden. Denn so wie die Koordinaten aus dem CAD-Programm exportiert werden können, ist dies in die Gegenrichtung ebenfalls möglich. Dies bedeutet, dass die Koordinaten aus der Datenbank in das Zeichenprogramm übernommen werden können und somit grafische Auswertungen bzw. Darstellungen der tatsächlichen Bohrachsenverläufe, in Kombination mit den geplanten, in einer 3D-Grafik möglich sind.

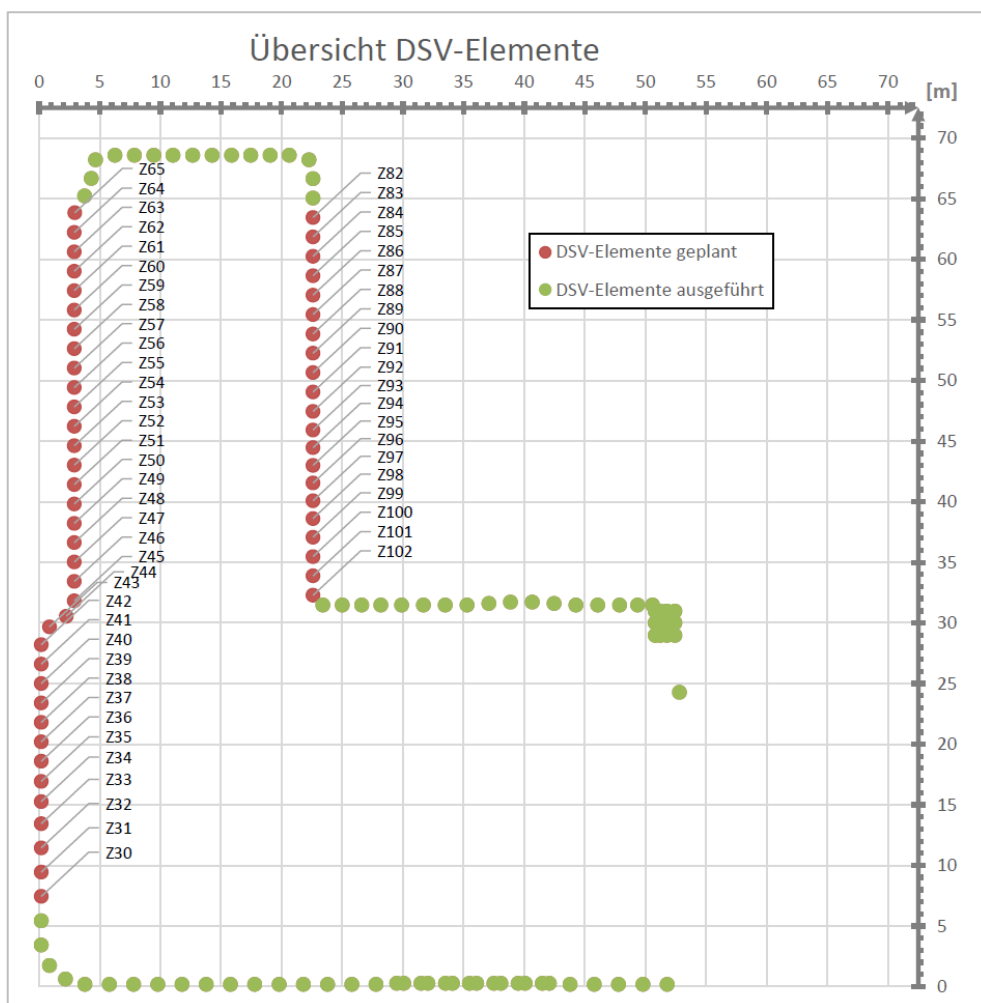


Abb. 4.11: Markierung ausgeführter DSV-Elemente - Optimierung

Eine zentrale Datenbank würde zusätzlich den Nutzen haben, dass die Angaben und Daten der Planung (Bohrachsenneigung, Bohrtiefe, etc.) für die Erstellung der Arbeitsanweisungen/Tagesberichte, ohne viel Aufwand aus dieser Datenbank herausgefiltert und in eine Vorlage übernommen werden können. Dies erspart die manuelle Eintragung, der entsprechenden Daten in die Arbeitsanweisungen und hilft bei der effektiveren Vorbereitung für die bevorstehende Ausführung.

Bei der Verwendung von vordefinierten Tabellen bzw. Datenbanken können im Zusammenhang mit der automatischen Übernahme von Werten und der Abrechnung, folgende Problemsituationen auftreten:

◆ Mit Unterbrechung hergestellte DSV-Elemente:

Wird ein DSV-Element aufgrund ungewollter Unterbrechungen in mehreren Schritten hergestellt, gibt es für diesen Ansatzpunkt mehrere Jean-Lutz-Aufzeichnungen. Dies hat zur Folge, dass nach der Extraktion der aufgezeichneten Werte und der nachfolgenden automatischen Zuordnung dieser Daten, nicht bei allen eine Übereinstimmung mit den Punktnummern der Planung gefunden werden kann. Dies liegt daran, dass das erste Teil einer DSV-Säule i.d.R. gemäß Planung benannt wird (z.B. Z07) und bei Unterbrechungen jeder weitere Teil anschließend einen Index (z.B. Z07-1, Z07-2) bekommt. Für die letzten zwei genannten werden bei der Zuordnung in der Datenbank keine passenden Punktnummern der Planung gefunden und diese daher nicht in die Übersicht übernommen. Diese Problematik hat zur Folge, dass bei solchen Jean-Lutz-Protokollen stets eine manuelle Überprüfung und Zuordnung der Daten erfolgen muss. Weiters müssen die Höhenlagen und Längen der einzelnen Elemente überprüft werden, damit diese eine durchgehende DSV-Säule ergeben.

Längere Unterbrechungen bei der Herstellung von DSV-Elementen sollten generell kritisch behandelt werden. Werden Säulen in mehreren Abschnitten hergestellt, kann dies einerseits zu Fehlstellen aufgrund von Strahlschatten bzw. andererseits zu einer reduzierten Strahlweite (siehe Abb. 4.12) und zum nicht Erreichen des gewünschten Säulendurchmessers führen. Der Grund dafür ist, dass während der Herstellung des ersten Abschnittes das Bohrloch durch den Rückfluss erodiert und penetriert wird (v.a. bei locker gelagerten Böden) und sich bei längeren Unterbrechungen ein verfestigter Mantel bilden kann, der größer als der Bohrkronendurchmesser ist. Beim erneuten Abteufen der Bohrung, wird dieser bereits erhärtete Mantel nicht zur Gänze aufgebohrt und verbleibt somit als Hindernis im Untergrund.¹¹² Diese Problematik wird in der ÖNORM EN 12716¹¹³ mit folgenden Satz „*Wenn der Düsvorgang unterbrochen*

¹¹² Vgl. [11] Krentz, 2015, S. 59

¹¹³ Vgl. [24] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM EN 12716, S. 22

wird, sind beim Fortsetzen des Düsens Maßnahmen zu ergreifen, die die Kontinuität des Düsenstrahlelementes sicherstellen“ kurz behandelt. Da diese Kontinuität in der Praxis nur schwer zu kontrollieren ist und es bei Fehlstellen dadurch zu erhöhten Sanierungsaufwand kommen kann, sollte es angestrebt werden, DSV-Elemente in einem Arbeitsgang, bzw. mit Unterbrechungen von maximal einigen Stunden, herzustellen.

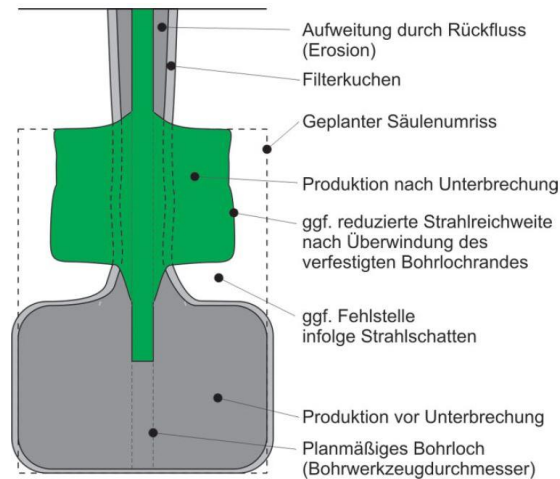


Abb. 4.12: Problematik bei mit Unterbrechung hergestellten DSV-Säulen¹¹⁴

◆ Abrechnung:

Wie bereits in Kapitel 2.2.3 erläutert, werden die DSV-Arbeiten mit der standardisierten Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur (LB-VI) abgedeckt. Diese sieht für die Abrechnung der erbrachten Leistung folgende Aufmaße, bei den jeweiligen Positionen, vor:

- Plangemäße Kubatur [m³] des verfestigten Bodens bei DSV-Körpern und -Wänden.
- Nach Laufmetern [m] bei Säulen (mit vorgegebenen Säulendurchmesser) und Bohrungen.
- Aufzählungen für Bohrhindernisse, Schrägbohrungen, etc. in Laufmeter [m].

Werden Leistungsverzeichnisse mit diesen Positionen erstellt, können die gewünschten Daten für die Abrechnung, rasch aus der Datenbank entnommen werden.

Erschwert bzw. unmöglich gemacht wird dies in der Praxis allerdings dadurch, dass es keine Verbindlichkeit zur Anwendung der LB-VI gibt. Aus diesem Grund gibt es zahlreiche Ausschreibungen, die von der LB-VI abweichen und selbst gestaltete Positionen beinhalten. Dies erschwert nicht nur die automatische Abrechnung, sondern bereits die Kalkulation, da sämtliche Kosten entsprechend umgelegt werden müssen.

¹¹⁴ Quelle: [11] Krentz, 2015, S. 60

Solche selbst gestalteten Positionen können, z.B. eine Abrechnung bei Unterfangungen, nach folgenden Aufmaßen vorsehen:

- Dem statisch erforderlichen Volumen [m³] (siehe Abb. 4.13).
- Der Abwicklungslänge [m] der Unterfangung im Grundriss.

Diese Aufmaße können aus den Datenbanken nur mehr über Umrechnungen generiert bzw. mit erhöhtem Aufwand erzeugt werden. Veranschaulicht wird dies mit Abb. 4.13, hier müssten die Volumina bzw. Längen der beiden Säulen in ein Trapez umgelegt werden, um die Abrechnung nach dem statisch erforderlichen Volumen durchführen zu können.

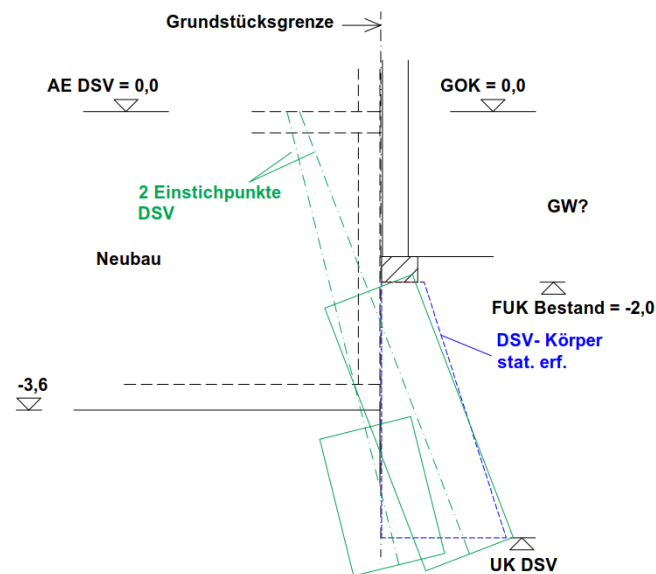


Abb. 4.13: Veranschaulichung unterschiedlicher Volumina bei der Abrechnung

5 Baubetriebliche Betrachtung – Auswertung der Herstelldaten

Im folgenden Kapitel werden aufbauend auf den erstellten Unterlagen (Jean-Lutz-Protokolle) und der angefertigten Dokumentation der beiden analysierten Projekte (siehe S. 39 ff.), verschiedene Kennzahlen berechnet und baubetriebliche Auswertungen durchgeführt. Im Fokus dieser nachträglichen Analysen stehen die erzielte produktive DSV-Arbeitszeit pro Tag und die tatsächlichen Aufwandswerte, der verschiedenen Prozessschritte, während der Herstellung von DSV-Elementen. Die berechneten Kennzahlen und Zusammenfassungen sollen als Nachschlagewerk, sowie bei nachfolgenden Projekten als Eingangswerte für die Kalkulation dienen. Die Auswertung der Herstelldaten soll außerdem veranschaulichen, welche Daten aus der erstellten Dokumentation im Nachhinein entnommen und analysiert werden können. Als letzten Schritt werden die berechneten Durchschnittswerte der Ausführungsprozesse mit der benötigten Zeit der Dokumentation verglichen, um aufzuzeigen wie viel Zeit für die Herstellung und Dokumentation eines Elementes benötigt wird.

5.1 Arbeitszeiteffizienz und Gesamtbohr-/Jet-Meter

Die Arbeitszeiteffizienz, jenes Verhältnis, welches die erzielte produktive DSV-Arbeitszeit pro Tag, mit der täglichen Gesamtarbeitszeit vergleicht, ist eine der wichtigsten Kennzahlen für die Ausführung, da mit ihr die Bauzeit sowie die Kosten eines Projektes gesteuert bzw. beeinflusst werden. Des Weiteren können mittels der produktiven DSV-Arbeitszeit und der hergestellten Bohr- und Jet-Längen pro Tag, Bohrgeräte mit unterschiedlichen Leistungsdaten vergleichbar gemacht werden.

Die Grundlage für die Ermittlung der produktiven DSV-Arbeitszeit bilden die aufgezeichneten Uhrzeiten der Jean-Lutz-Protokolle (siehe Abb. 5.1). Mit den erfassten bzw. berechenbaren Zeiten, kann der Herstellungsprozess in folgende Abschnitte unterteilt werden, die nachfolgende Prozessschritte der Ausführung (siehe Abb. 3.3) zusammenfassen:

- ◆ Umsetzzeit
 - Umstellen und einrichten Bohrgerät
 - Eingabe DSV-Elementnummer + Parameter am Bohrgerät
 - Bohraufzeichnung starten
 - Ziehen des restlichen Bohrgestänges¹¹⁵
 - Jean-Lutz-Aufzeichnung abschließen¹¹⁵

¹¹⁵ Diese zwei Prozesse sind bei den untersuchten Projekten mit der Umsetzzeit erfasst, da die Jean-Lutz-Aufzeichnung bereits nach dem Jet-Vorgang, komplett abgeschlossen wurde (siehe Abb. 3.8, rechter Abschluss der blauen Linie).

- ◆ Bohrzeit
 - Spülbohrung bis Soll-Tiefe abteufen
- ◆ Jet-Zeit
 - Jet-Vorgang
- ◆ Warte-/Haltezeit
 - Aufzeichnung auf Jet-Vorgang umschalten + Parameter auswählen
 - Jet-Vorgang starten
 - Jet-Vorgang Aufzeichnung abschließen
 - Sowie sonstige Wartezeiten (z.B. warten auf Bohr- oder Jetmedium)

Date : 09/12/2017	Drilling duration : 00:09:57	Drilling volume : 0,610 m3	Drill Depth : 0,00-9,32 m
Begin : 08:29:00	JET duration : 00:10:44	Grout volume : 3,432 m3	Jet Depth : 7,80-9,32 m
End : 08:50:03	Total duration : 00:20:41	Volume by meter : 2258 l/m	JET Length : 1,52 m
1/100	Column U04		EXJTC 5.84.4/LC2JTC899EN
Date : 09/12/2017	Drilling duration : 00:06:52	Drilling volume : 0,265 m3	Drill Depth : 0,00-9,30 m
Begin : 09:02:39	JET duration : 00:10:14	Grout volume : 3,210 m3	Jet Depth : 7,77-9,30 m
End : 09:20:09	Total duration : 00:17:06	Volume by meter : 2098 l/m	JET Length : 1,53 m
1/100	Column U03		EXJTC 5.84.4/LC2JTC899EN

Abb. 5.1: Kopfzeilen von zwei Jean-Lutz-Protokollen für die Auswertung

Die Umsetz- und die Warte-/Haltezeiten sind wie in Abb. 5.1 zu sehen, auf den Protokollen nicht abgebildet. Diese können allerdings mit den auf den Jean-Lutz-Protokollen angeführten Zeiten (Beginn, Ende, Nettobohrdauer, etc.), wie in Tab. 5.1 gezeigt wird, berechnet werden. Die Warte-/Haltezeit, ist jene Zeit, bei der das Bohrgestänge nicht bewegt wurde (z.B. beim Umschalten der Jean-Lutz-Aufzeichnung oder beim Warten auf das Bohr- bzw. Jet-Medium), da diese Vorgänge mit den Nettozeiten nicht erfasst werden.

Für die Ermittlung der produktiven DSV-Arbeitszeit wurden einige Annahmen getroffen, die einerseits Zeiten betreffen, die mit den Jean-Lutz-Protokollen nicht aufgezeichnet wurden und andererseits dazu dienen, um Ausreißer bzw. Störungen, die während der Aufzeichnung aufgetreten sind, ausschließen zu können. Folgende Ansätze wurden dazu gewählt:

- ◆ Bei jedem Arbeitstag, wurden pauschal 20 Minuten als Vorbereitungszeit angesetzt, die das Anfahren der Anlagen, eventuelle Wartungsarbeiten und das erstmalige Ausrichten des Bohrgerätes beinhalten.
- ◆ Umstellvorgänge die länger als 30 Minuten dauerten, wurden nicht berücksichtigt, sowie Mittagspausen, die mit der Umstellzeit erfasst sind, wurden von der Umsetzzeit abgezogen.
- ◆ Bohr- und Jet-Zeiten, die größer als eine Stunde sind, wurden ausgeschlossen.
- ◆ Beträgt die Warte-/Haltezeit mehr als zehn Minuten, wurde diese nicht in die Berechnung miteinbezogen, sowie Mittagspausen, die mit der Warte-/Haltezeit erfasst sind, wurden abgezogen.

- ◆ Nach Fertigstellung der letzten DSV-Säule wurden pauschal 30 Minuten als Nachbearbeitungszeit zur Arbeitszeit hinzugezählt, die das Reinigen der Geräte und Analgenteile beinhaltet.

Die vier Zeitabschnitte (Umsetz-, Bohr-, Jet- sowie Warte-/Haltezeit) pro Säule, sowie die angenommene Vorbereitungs- und Nachbearbeitungszeit, werden für die Ermittlung der produktiven täglichen DSV-Arbeitszeit aufsummiert. Zur besseren grafischen Darstellung wird die produktive DSV-Arbeitszeit, mit der aufgezeichneten täglichen Gesamtarbeitszeit der Bautagesberichte, ins Verhältnis gesetzt, um so die prozentuelle Verteilung, der produktiven (Netto) zu eingesetzten Arbeitsstunden (Brutto), d.h. die Arbeitszeiteffizienz, darzustellen. In den nachfolgenden Abbildungen werden des Weiteren, jeweils zwei Mittelwerte dargestellt, einerseits berechnet aus allen aufgezeichneten Werten und andererseits aus jenen Werten die über dem 5%-Quantil liegen. Jener Mittelwert, der im Folgenden als 5%-Quantil Mittelwert (5%Q-MW) bezeichnet wird, dient dazu, um Ausreißer die kleiner als das 5%-Quantil sind, auszuschließen und nicht in die Berechnung miteinfließen zu lassen.

In Tab. 5.1 wird exemplarisch die Berechnung der vier Zeitabschnitte, mit den in Abb. 5.1 dargestellten Ausschnitten der Jean-Lutz-Protokolle, durchgeführt.

Punkte Zeiten	U04 [hh:mm:ss]	U03 [hh:mm:ss]
(a) Beginn	08:29:00	09:02:39
(b) Ende	08:50:03	09:20:09
(c) Total Brutto	(b)-(a) = 00:21:03	(b)-(a) = 00:17:30
(d) Bohren	00:09:57	00:06:52
(e) Jetten	00:10:44	00:10:14
(f) Total Netto	(d)+(e) = 00:20:41	(d)+(e) = 00:17:06
(g) Warte-/Haltezeit	(c)-(f) = 00:00:22	(c)-(f) = 00:00:24
(h) Umsetzzeit	keine, da Tagesbeginn.	(a _{U03})-(b _{U04}) = 00:12:36

Tab. 5.1: Beispielhafte Berechnung der einzelnen Zeitabschnitte

5.1.1 Projekt A

Bei Projekt A, wurden wie in Kapitel 2.4.3 angeführt, drei verschiedene Bohrgeräte eingesetzt. Für zwei dieser Geräte (Casagrande C5XP und Comacchio MC15P) sind in den Abb. 5.2 und Abb. 5.3 die Arbeitszeiteffizienzen, sowie im Anhang ab S. 117, die hergestellten Bohr- bzw. DSV-Tageslängen abgebildet. Die Eingangsdaten für diese Abbildungen sind in den Tab. 8.5 und Tab. 8.6 im Anhang angeführt. Das dritte Bohrgerät (Soilmec SM21) wurde zu kurz eingesetzt, um aussagekräftige Kennzahlen zu berechnen und Interpretationen daraus abzuleiten.

Obwohl das Bohrgerät C5XP im Vergleich zum Bohrgerät MC15P, nur die Hälfte des Gewichtes und der Leistung hat (siehe Tab. 2.4, S. 43), war die Arbeitszeiteffizienz der beiden

Maschinen im Grunde ident (siehe Abb. 5.2 und Abb. 5.3). Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die hergestellten Bohr- und DSV-Meter pro Tag für die Auswertung herangezogen (siehe Abb. 8.1 und Abb. 8.2 im Anhang). Die erzielte durchschnittliche Bohrlänge mit dem kleineren Bohrgerät, ist mit 116 Bohrmeter pro Tag, um rund 37 Meter höher als beim leistungsstärkeren Gerät (siehe Tab. 5.2). Im Gegenzug dazu ist der Mittelwert der hergestellten DSV-Elementlänge pro Tag beim Bohrgerät MC15P, mit rund 53 Metern mehr als doppelt so hoch, als bei der schwächeren Maschine. Dies zeigt auf, dass mit dem größeren Bohrgerät mehr DSV-Zwickel als Sohlsäulen hergestellt wurden (rund 75% der Elemente waren Zwickel). Ersichtlich ist dies u.a. in Abb. 8.2 dadurch, dass bei dreiviertel der Tage die DSV-Länge annähernd so groß ist wie die Bohrlänge. Diese geringe Differenz der beiden Werte ist auf die DSV-Zwickel zurückzuführen, da deren Länge beinahe über die ganze Bohrtiefe reicht und daher die Strecken der Leerbohrungen sehr gering sind. Im Gegenzug dazu ist in Abb. 8.1 ersichtlich, dass bei rund 90% der Tage, große Leerbohrungslängen ausgeführt wurden, die auf die tief liegenden DSV-Sohlsäulen, mit geringer Elementlänge, zurückzuführen sind. Insgesamt waren beim Bohrgerät C5XP, rund 95% der ausgeführten Elemente Sohlsäulen. In der nachfolgenden Tab. 5.2 sind die wichtigsten Kennzahlen der Arbeitszeiteffizienz und der Bohr- sowie DSV-Längen zusammengefasst.

Zusammenfassung der Auswertung	C5XP	MC15P	C5XP	MC15P	C5XP	MC15P
	Arbeitszeiteffizienz		Bohrlänge/Tag		DSV-Länge/Tag	
	[%]		[m/Tag]		[m/Tag]	
Minimum:	15,8%	38,2%	10,9	23,9	2,7	15,7
Maximum:	91,4%	94,2%	188,0	185,0	73,9	99,6
Mittelwert:	65,5%	65,3%	116,0	79,4	23,7	52,6
Standardabweichung:	16,0%	13,2%	46,8	36,1	11,8	25,2
Median:	71,4%	62,8%	126,3	78,7	23,6	47,8
5%-Quantil:	39,6%	49,8%	41,6	35,3	8,6	18,9
Mittelwert (5%-Quantil):	67,9%	67,3%	121,9	84,0	24,9	55,8

Tab. 5.2: Zusammenfassung der Effizienz- und Längenauswertung

In Abb. 5.2 und Abb. 5.3 wurden zusätzlich zur Effizienz, die Bohr- und DSV-Längen in den Diagrammen überlagert (siehe Verlaufslinien und Sekundärachse rechts). Mit diesen Darstellungen ist zu sehen, dass der Verlauf der Bohrlänge über weite Strecken, mit jenen der Effizienz korreliert (v.a. bei Abb. 5.2.). Dies bedeutet, dass bei einer hohen täglichen produktiven DSV-Arbeitszeit, eine hohe Tagesbohrleistung erzielt werden konnte und die Umsetz- und Wartezeiten geringgehalten wurden. In den beiden Abbildungen ist außerdem zu sehen, dass die Effizienz während der Ausführung stets über 40% gehalten werden konnte, nur einmal, am 11.01.2018, war diese mit 15,8% sehr gering. Zurückzuführen ist dies auf einen Gerätedefekt der Misch- und Pumpenanlage, welche ein Schlüsselgerät darstellt und daher bei Ausfall zum Stillstand sämtlicher weiteren Geräte führt.

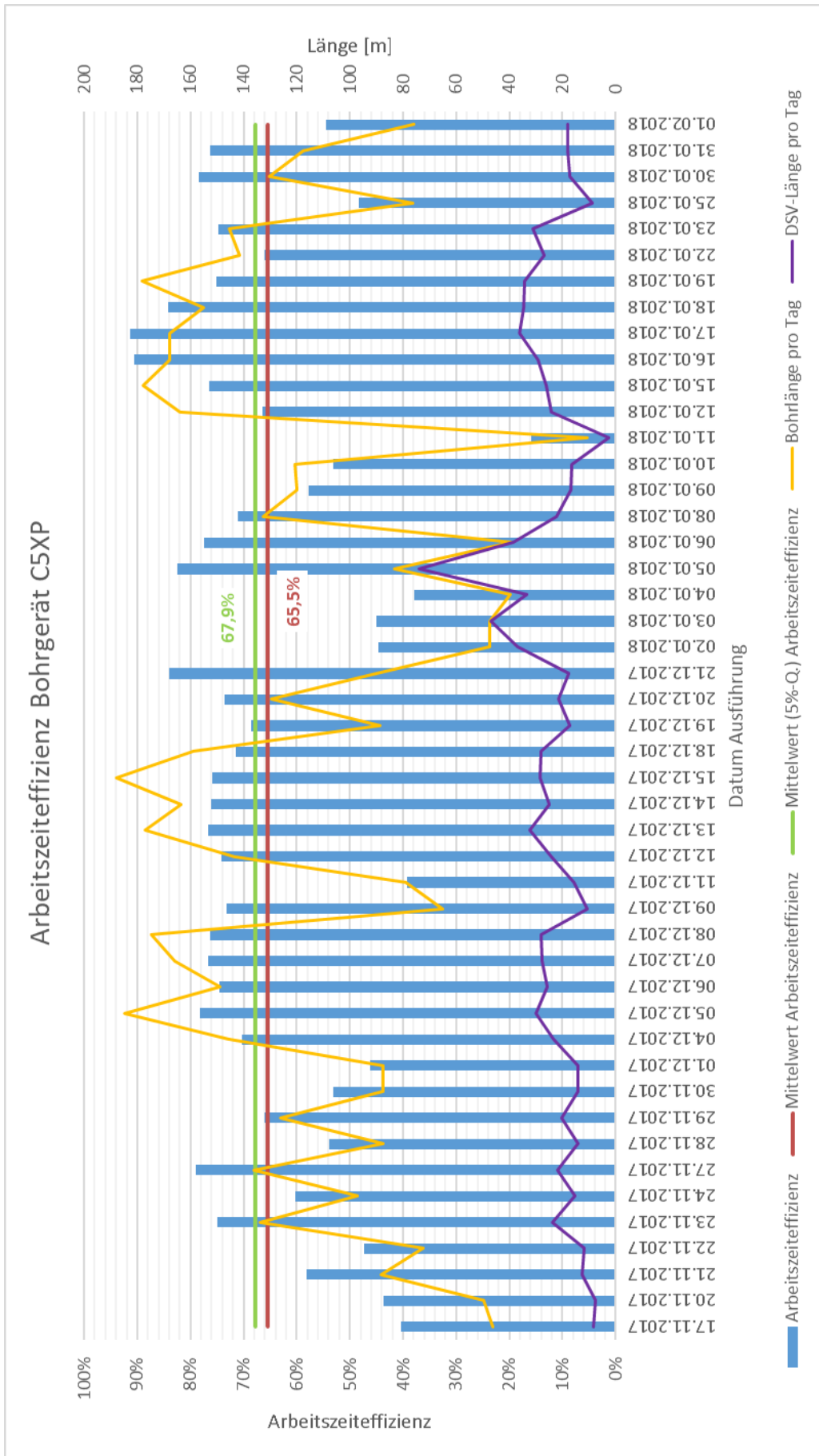


Abb. 5.2: Arbeitszeiteffizienz Bohrergerät C5XP bei Projekt A

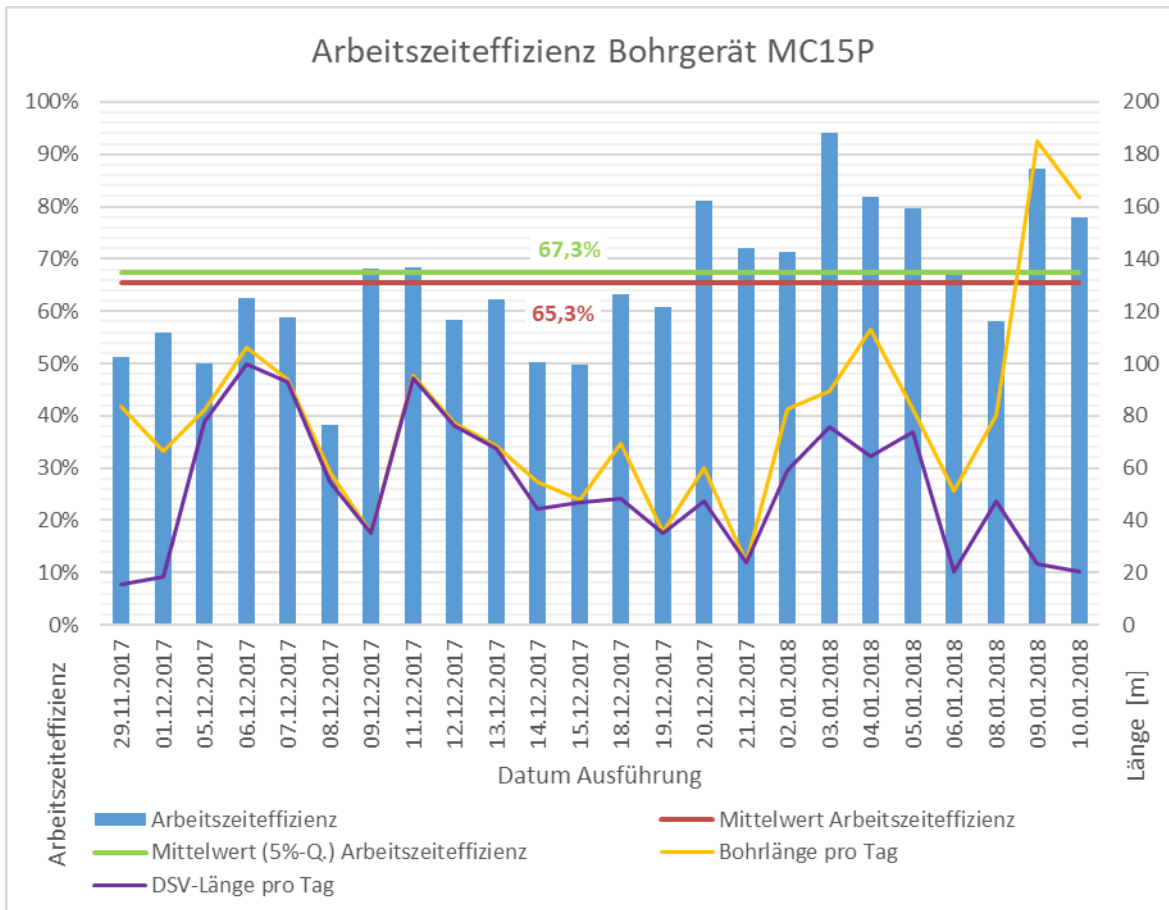


Abb. 5.3: Arbeitszeiteffizienz Bohrgerät MC15P bei Projekt A

Abschließend werden die erzielten täglichen Leistungswerte der beiden Bohrgeräte berechnet und gegenübergestellt (siehe Abb. 8.3 im Anhang). Dazu wurden die Bohr- und DSV-Längen pro Tag aufsummiert und anschließend durch die jeweilige produktive tägliche DSV-Arbeitszeit dividiert. Mit dieser Auswertung ist die Vergleichbarkeit, der beiden eingesetzten Bohrgeräte, optimal gegeben. Dieser Vergleich zeigt auf, dass die Mittelwerte der Leistungswerte, mit 19,9 m/h (Gerät C5XP) und 20,1 m/h (Gerät MC15P), annähernd ident sind, obwohl mit den beiden Bohrgeräten jeweils verschiedene DSV-Elementtypen und infolgedessen unterschiedliche Längenverhältnisse (Bohren zu Jetten) hergestellt wurden.

5.1.2 Projekt B

Bei Projekt B wurde eine Auswertung der produktiven DSV-Arbeitszeit nicht durchgeführt, da diese keine aussagekräftigen Werte liefern würde. Zurückzuführen ist dies auf die Tatsache, dass der Bauablauf über lange Zeit gestört war und daher nicht mit einem Regelbetrieb zu vergleichen ist bzw. eine Effizienzauswertung wenig Sinn ergeben würde.

5.2 Tatsächliche Aufwandswerte

Aufbauend auf den bereits berechneten Zeitabschnitten (Umsetz-, Bohr-, Jet- sowie Warte-/Haltezeit) aus Kapitel 5.1 und den Bohr- und Jet-Längen, die auf den Jean-Lutz-Protokollen angeführt sind (siehe rechter Teil Abb. 5.1), werden in den nachfolgenden zwei Kapiteln die tatsächlichen Aufwandswerte dieser Prozessschritte und weiterer Vorgänge (Projekt B) bestimmt. Die DSV-Elemente werden für diese Auswertungen nach deren Durchmesser unterschieden, da für jeden Typ, verschiedene DSV-Parameter (Variierung der Haltedauer und Schritthöhe) verwendet wurden und diese einen wesentlichen Einfluss auf die Jet-Zeit haben.

5.2.1 Projekt A

Wie bereits in Kapitel 2.4.1 auf S. 39 beschrieben, wurden bei Projekt A, DSV-Elemente mit folgenden Abmessungen hergestellt:

- ◆ Sohlsäulen mit 2,0 m Durchmesser
- ◆ DSV-Zwickel mit 0,6 m Durchmesser
- ◆ DSV-Zwickel mit 1,1 m Durchmesser

In den nachfolgenden Abbildungen werden die Auswertungen der Aufwandswerte der einzelnen Arbeitsschritte, getrennt nach diesen drei Typen, sowie für das jeweils verwendete Bohrgerät dargestellt. Zusätzlich dazu, wurde die Auswertung ohne Unterscheidung des Bohrgerätes durchgeführt, welche in der Zeile „gemischt“ (siehe Abb. 5.4 bis Abb. 5.7) angeführt sind. Die Menge der jeweiligen Eingangsdaten pro Bohrgerät und Durchmesser, können der Tab. 5.3 entnommen werden. Die Gesamtanzahl von 704 Datensätzen unterscheidet sich von der Anzahl der Ansatzpunkte gemäß Planung (663 Stück, siehe Kapitel 2.4.1) dadurch, da einige Elemente aufgrund von Störungen oder Unterbrechungen in mehreren Abschnitten hergestellt wurden. Wie in Kapitel 4.2.1, wird zur Bestimmung der Kennzahlen der Mittelwert, welcher aus allen Datensätzen berechnet wird, sowie der 95%-Quantil Mittelwert herangezogen (siehe Abb. 5.4 bis Abb. 5.8). Letzterer wird aus jenen Daten bestimmt, die unter dem 95%-Quantil liegen und vernachlässigt somit Ausreißer nach oben. Zudem sind im Anhang (siehe Kap. 8.2.2) Zusammenstellungen dieser Werte sowie weiterer Kennzahlen (Median, Standardabweichung) für alle untersuchten Typen zu finden.

	C5XP	MC15P	SM21	Summe
Sohlsäule DN200:	500	41	11	552
Zwickel DN60:	-	47	-	47
Zwickel DN110:	29	76	-	105
Gesamt:				704

Tab. 5.3: Anzahl der Datensätze für Auswertung, Projekt A

In Abb. 5.4 und Abb. 5.5 sind die Ergebnisse der Auswertung für Sohlsäulen mit Durchmesser 2,0 Meter dargestellt. Darin ist zu sehen, dass die Bohr- und Jet-Dauer bei den ersten beiden Bohrgeräten annähernd gleich bzw. ident sind. Anders verhält sich dies bei der Umsetz- und Warte-/Haltezeit. Diese beiden Werte werden im Wesentlichen nicht durch den Bohrgerätetyp, sondern durch den Bohrgerätefahrer und dessen Bedienung beeinflusst. Der Abstand zwischen den herzustellenden Säulen wirkt sich zudem auf die Umsetzzeit aus. Die höheren Werte des dritten Gerätes (SM21), sind durch die geringe Anzahl an hergestellten Säulen erklärbar, da sich hier der Einarbeitungseffekt nicht entfalten konnte.

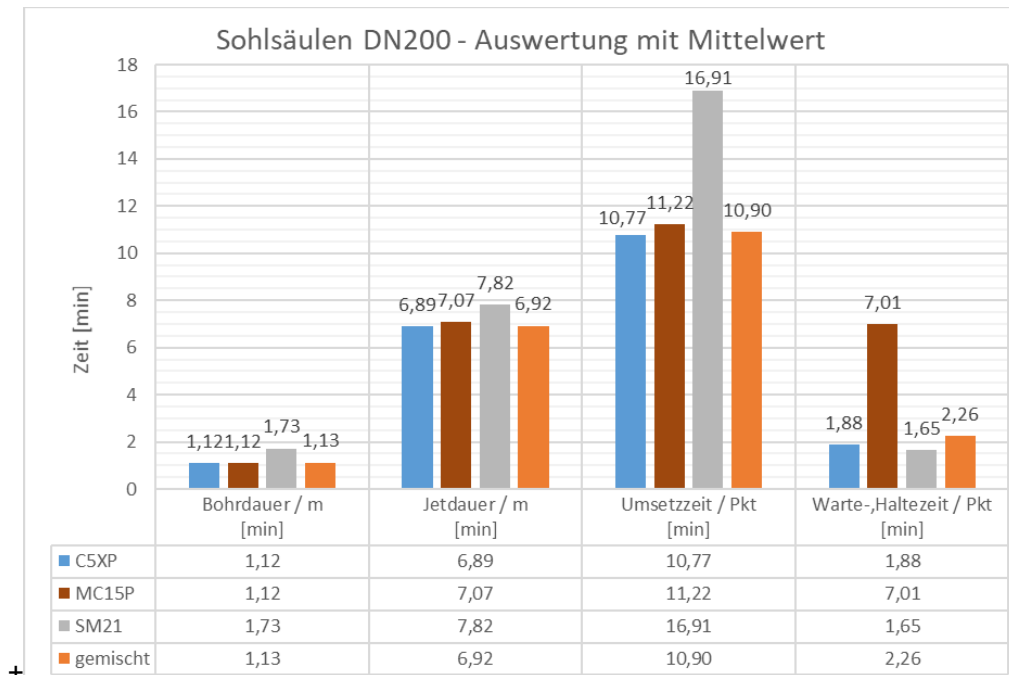


Abb. 5.4: Aufwandswerte Sohlsäulen DN200, dargestellt mit Mittelwert

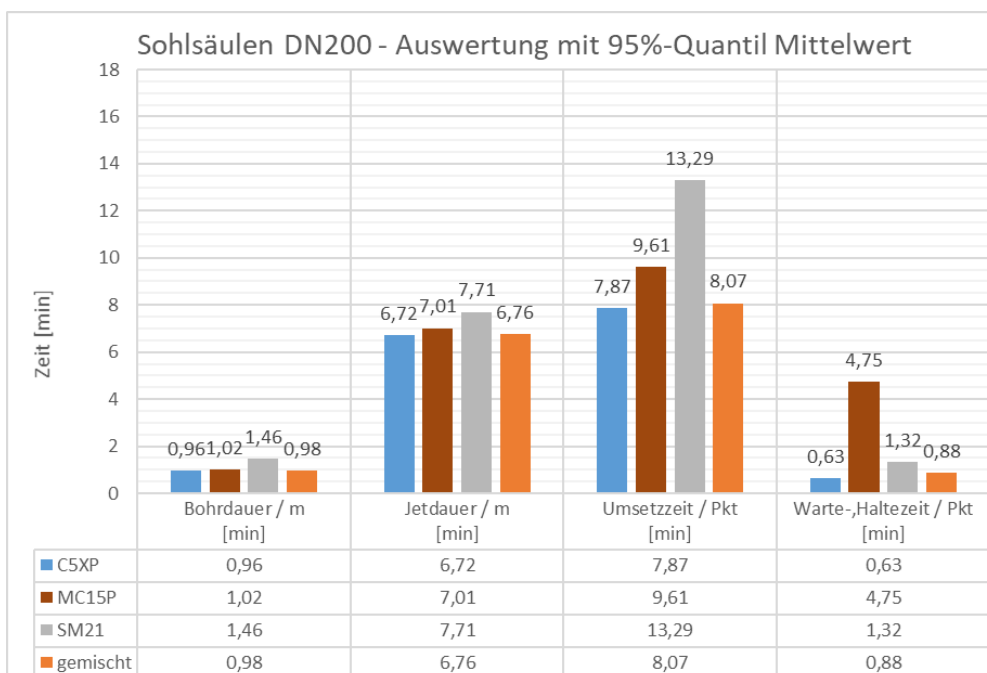


Abb. 5.5: Aufwandswerte Sohlsäulen DN200, dargestellt mit 95%-Quantil Mittelwert

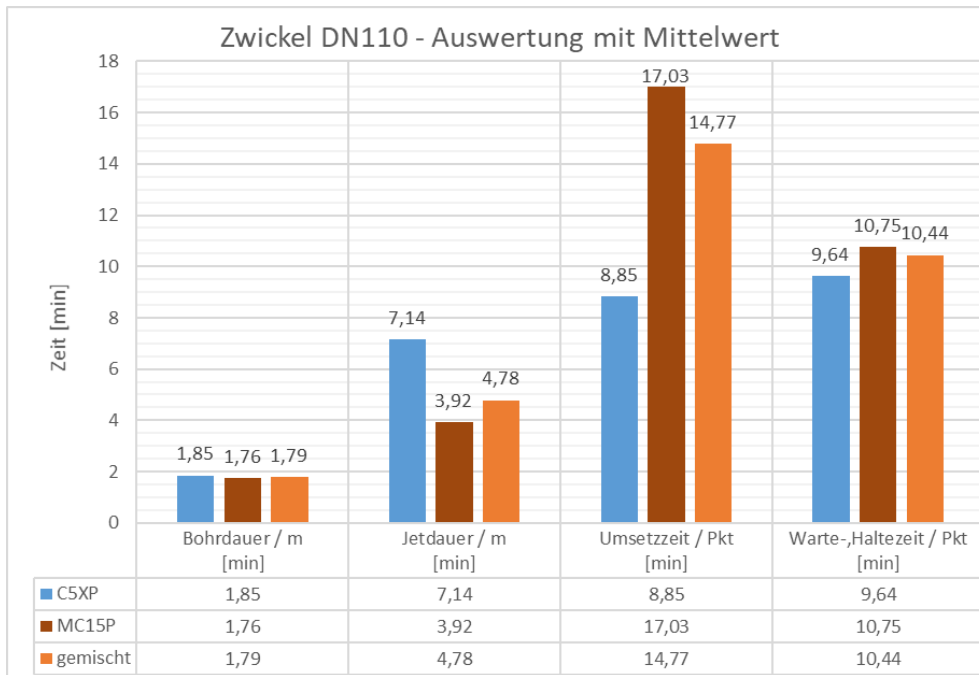


Abb. 5.6: Aufwandswerte Zwickel DN110, dargestellt mit Mittelwert

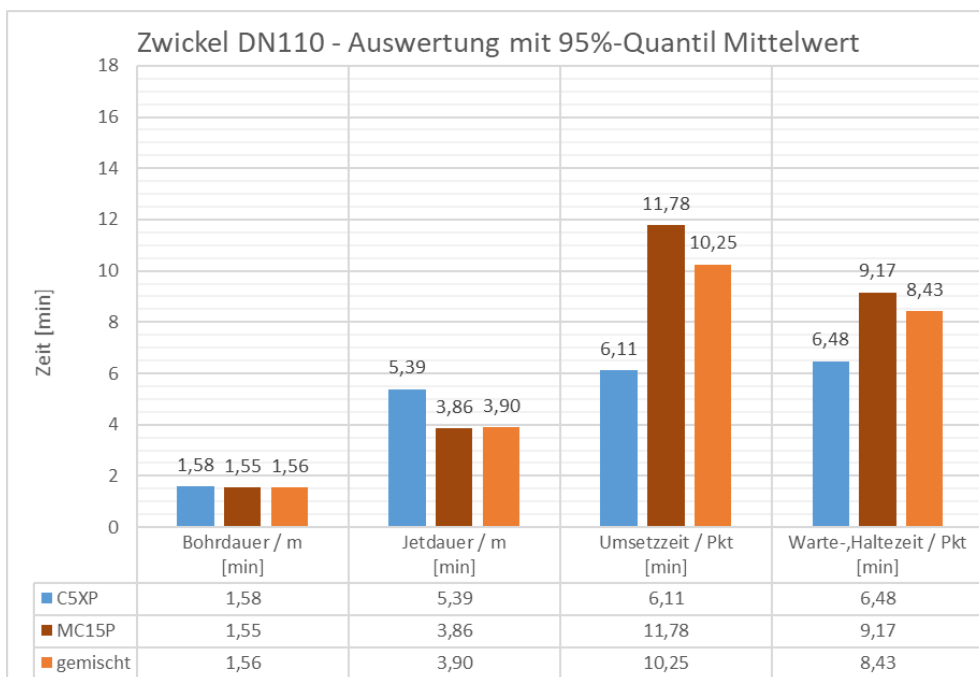


Abb. 5.7: Aufwandswerte Zwickel DN110, dargestellt mit 95%-Quantil Mittelwert

Zur Herstellung der Zwickel mit Durchmesser 1,10 Meter, wurden wie in Abb. 5.6 und Abb. 5.7 zu sehen, nur mehr das Bohrgerät C5XP und MC15P verwendet. Die Bohrdauer pro Meter ist bei beiden Maschinen annähernd gleich, allerdings sind bei der Jet-Zeit erhebliche Unterschiede zu erkennen. Diese Differenz ergibt sich dadurch, dass beim Bohrgerät C5XP einige lang andauernde Jetvorgänge (5 Stück), d.h. mit Störungen bzw. Problemen hergestellte Säulen, inkludiert sind. Da insgesamt nur 29 Stück DN110 Zwickel mit diesem Gerät (siehe Tab. 5.3) hergestellt wurden, wirken sich jene fünf Stück, im Verhältnis zu den anderen Werten größerer auf den Mittelwert aus und heben diesen dadurch nach

oben hin an. Wird anstatt des 95%-Quantils, das 80%-Quantil beim Bohrgerät C5XP berechnet und aus den darunter liegenden Werten der Mittelwert berechnet, ergibt dies 3,85 Minuten pro DSV-Meter, da damit die langandauernden Vorgänge nicht miteinbezogen werden. Wird das 80%-Quantil bei der Umsetz- und Warte-/Haltezeit, beim Bohrgerät MC15P angewendet, sind diese Zeiten mit 6,24 und 6,47 Minuten pro Punkt annähernd gleich, wie jene Werte des andern Bohrgerätes.

In Abb. 5.8 ist die Auswertung der Daten für Zwickel mit Durchmesser 60 cm zu sehen. Da dieser Typ nur mit einem Bohrgerät hergestellt wurde, sind in der Abbildung der „normale“ und der 95%-Quantil Mittelwert dargestellt. Aufgrund des kleineren Durchmessers und der damit verbundenen, geringeren erforderlichen Einwirkungsdauer, ist deutlich zu erkennen, dass die Jet-Zeit in Vergleich zu den Werten aus Abb. 5.4 bis Abb. 5.7, ebenfalls kleiner ist.

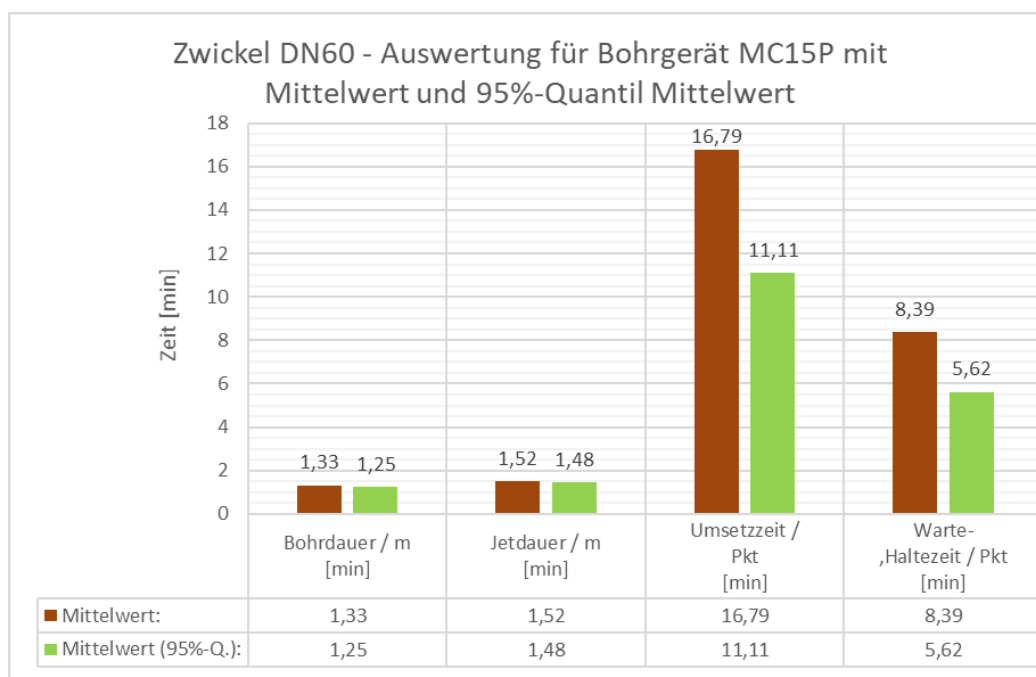


Abb. 5.8: Aufwandswerte Zwickel DN60, dargestellt mit Mittelwert und 95%-Quantil Mittelwert

Zu den ermittelten Werten der Warte-/Haltezeit ist generell anzumerken, dass zu Beginn und am Ende des Projektes nur mit dem Bohrgerät C5XP gearbeitet wurde. Dadurch konnte bei diesem Gerät die Warte-/Haltezeit, bei der Herstellung der Sohlsäulen (siehe Abb. 5.4 und Abb. 5.5), sehr gering gehalten werden. Zurückzuführen ist dies auf den Betrieb eines einzelnen Gerätes und der Tatsache, dass beim Umschalten auf den Jet-Vorgang selten bzw. nie auf das Jet-Medium gewartet werden musste, da die Mischanlage nur ein Bohrgerät zu bedienen hatte. Werden mehrere Geräte parallel betrieben und nur eine Mischanlage verwendet (wie es beim gegenständlichen Projekt der Fall war), kann dies dazu führen, dass es nach dem Bohrvorgang zu Wartezeiten, aufgrund fehlender Suspension kommt, da zeitgleich noch das zweite Gerät versorgt wird. Die geringe Warte-/Haltezeit beim Bohr-

gerät SM21 (siehe Abb. 5.4 und Abb. 5.5), ist ebenfalls auf den Einzelbetrieb zurückzuführen, da bei der Verwendung dieses Gerätes kein weiteres Bohrgerät parallel betrieben wurde und nur elf Säulen hergestellt wurden (siehe Tab. 5.3).

5.2.2 Projekt B

Bei diesem Projekt wurden wie in den Projektgrundlagen auf S. 41 beschrieben, DSV-Zwickel sowie Elemente für einen DSV-Block, mit folgenden Durchmessern hergestellt:

- ◆ DSV-Zwickel mit:
 - 0,8 m Durchmesser
 - 1,2 m Durchmesser
 - 1,4 m Durchmesser
 - 1,5 m Durchmesser
 - 1,6 m Durchmesser
- ◆ Dichtblock-Elemente mit 1,6m Durchmesser

Analog zu Kapitel 5.2.1, werden in den nachfolgenden Seiten verschiedene Aufwandswerte der einzelnen Arbeitsschritte bestimmt und dargestellt. Die Anzahl der Eingangsdaten für die Auswertung sind in der Tab. 5.4 dargestellt.

	DSV-Zwickel DN80:	DSV-Zwickel DN120:	DSV-Zwickel DN140:	DSV-Zwickel DN150:	DSV-Zwickel DN160:	Dichtblock- Elemente DN160	Vor- und Entlastungs- bohrungen
C5XP:	13	1	34	1	11	-	47
MC15P:	-	40	5	31	2	12	56
Summe:	13	41	39	32	13	12	103
Gesamt:	253						

Tab. 5.4: Anzahl der Datensätze für Auswertung, Projekt B

Bohrgestängetausch

Ein wichtiger Faktor bei der Kalkulation neuer Projekte ist, ob mit einer vollaufgerüsteten Maschine gearbeitet werden kann oder nicht. Vollaufgerüstet heißt, dass das Bohrgestänge für die durchzuführenden Bohrungen in voller Länge am Bohrmast aufgebaut ist und daher nicht während des Bohrvorganges in einzelnen Schüssen eingebracht werden muss. In Kapitel 2.4.2 wurde bereits erwähnt, dass die DSV-Arbeiten bei Projekt B aus zwei verschiedenen Arbeitsebenen ausgeführt wurden. Da bei der zweiten, der tiefer liegenden Arbeitsebene, bereits der Aussteifungshorizont eingebaut war, konnte das Bohrgerät nicht mit vollaufgerüsteter Bohrlafette und -gestänge arbeiten. Aus diesem Grund musste bei 15

Bohrungen das Gestänge während des Bohrvorganges eingehoben und verlängert, sowie beim Jet-Vorrang anschließend wieder ausgebaut werden. Diese Vorgänge sind in den Weg-Zeit-Diagrammen der Jean Lutz Protokolle ersichtlich (siehe Abb. 5.9, horizontale Abschnitte in gelber Umrandung) und können dadurch für die Auswertung zeitlich bewertet werden.

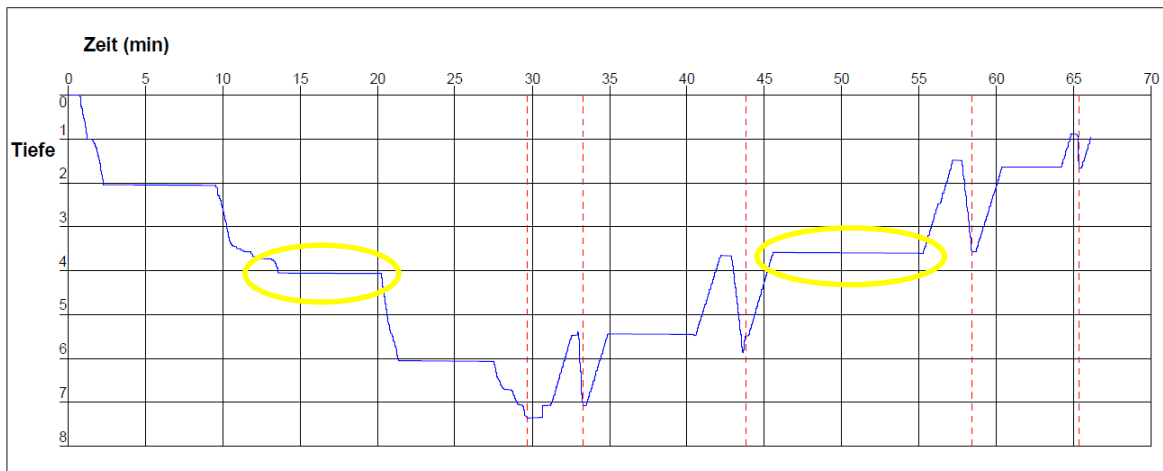


Abb. 5.9: Weg-Zeit-Diagramm eines Jean-Lutz-Protokolls

Dazu wurden jeweils die Zeitabschnitte der Plateaus (in Abb. 5.9 sechs Stück) aus den Weg-Zeit-Diagrammen abgelesen. Für die Analyse wurde dabei unterschieden, ob der Tausch des Gestänges während des Abbohrens oder Ziehens erfolgte. Diese Unterscheidung ist, wie in Tab. 5.5 zu sehen, sinnvoll, da der Tausch beim Ziehen des Gestänges im Durchschnitt rund eine Minute schneller erfolgt als beim Abbohren. Zurückzuführen ist dies darauf, dass der Aufwand beim Einbringen des Bohrgestänges während des Abbohrens schwieriger ist, da das Gestänge genau im Gewinde platziert werden muss. Dieser Umstand entfällt beim Ausbauen des Gestänges und beschleunigt somit diesen Prozess.

Bohrstangentausch Bohrgerät C5XP	Zeit pro Tausch beim	
	Abbohren [mm:ss]	Ziehen [mm:ss]
Mittelwert:	07:42	06:50
Standardabweichung:	02:46	03:48
Median:	07:10	06:10
95%-Quantil:	11:32	11:46
Mittelwert (95%-Q.):	07:04	05:51

Tab. 5.5: Ergebnis der Auswertung Bohrstangentausch

Vorbohrungen

Harte Bodenschichten bzw. Fremdbestandteile (alte Fundamente) im Boden, können während der Ausführung von DSV-Arbeiten, zusätzliche Maßnahmen erforderlich machen (siehe Beschreibung des Unterprozesses – Vorbohren S. 52). Wie in den Projektgrundlagen unter Kapitel 2.4.2 beschrieben, wurde bei einer Kernbohrung eine Konglomeratschicht angetroffen. Diese stellte sich während der Ausführungsphase in ihrer flächenmäßigen Ausdehnung größer als angenommen dar und führte zu zahlreichen Problemen. Aus diesem Grund mussten u.a. während der Ausführung eine Vielzahl an Vor- und Entlastungsbohrungen durchgeführt werden (103 Stück in Summe). Diese Bohrungen wurden in einem zusätzlichen Arbeitsschritt, mit einem luftbetriebenen Im-Loch-Bohrhammer ausgeführt. Da die Kennzahlen für Bohrungen in Kapitel 5.2.1 und im nachfolgenden Absatz „DSV-Elemente“, Werte widerspiegeln, die für das Spülbohrverfahren gelten, werden nachfolgend (siehe Tab. 5.6) Kennzahlen für einen luftbetriebenen Im-Loch-Bohrhammer angegeben. Darin ist zu sehen, dass der Mittelwert der Bohrdauer pro Meter, mit 2,42 Minuten, im Vergleich zu den Werten aus Kap. 5.2.1, den höchsten darstellt. Dies bedeutet, dass das Vorbohren bzw. Durchrörtern von harten Bodenschichten mit einem Im-Loch-Bohrhammer, nicht nur einen zusätzlichen Arbeitsvorgang mit sich zieht, sondern darüber hinaus eine längere Bohrzeit in Anspruch nimmt, als bei einem gewöhnlichen DSV-Arbeitsablauf.

Im-Loch-Bohrhammer	Bohrdauer / m [min]
Mittelwert:	2,43
Standardabweichung:	1,38
Median:	2,11
95%-Quantil:	4,55
Mittelwert (95%-Q.):	2,23

Tab. 5.6: Ergebnis der Auswertung Vorbohrung mit Im-Loch-Hammer

DSV-Elemente

Im Gegensatz zu den Auswertungen bei Projekt A (siehe Kap. 5.2.1), wird bei den nachfolgenden Analysen nicht nach dem Bohrgerätetyp unterschieden. Wie in Tab. 5.4 ersichtlich ist, sind pro Durchmesser nur eine sehr geringe Anzahl an Säulen, mit dem jeweils anderen Gerät hergestellt worden. Aus diesem Grund würde eine Auswertung für einzelne Bohrgeräte keine aussagekräftigen Daten liefern.

Die Unterscheidung der einzelnen Arbeitsschritte (Umsetzen, Bohren, Jetten und Warten/Halten) erfolgt wie in Kapitel 5.2.1. In Abb. 5.10 ist das Ergebnis der Auswertung der Mittelwerte zu sehen. Ergänzende Zusammenstellungen weiterer Kennzahlen, wie Median, Standardabweichung und verschiedene Quantil-Werte, sind in Kapitel 8.3.2 (Anhang) angeführt. Zudem sind im Anhang Abbildungen für die Auswertungen mit dem 95%- und 80%-

Quantil Mittelwert zu finden. Die verschieden farbigen Säulen in Abb. 5.10 stellen jeweils einen anderen Zwickel-Durchmesser dar, wobei die grünen Säulen (siehe Zeile „alle Elemente“) eine Auswertung über sämtliche 150 DSV-Datensätze (siehe Tab. 5.4) ist. Die während der Ausführung aufgenommenen Werte für Zwickel mit 160 cm Durchmesser und jene Elemente für den Dichtblock, wurden aufgrund desselben Durchmessers für die Auswertung in der Zeile „Zwickel DN160“ zusammengefasst.

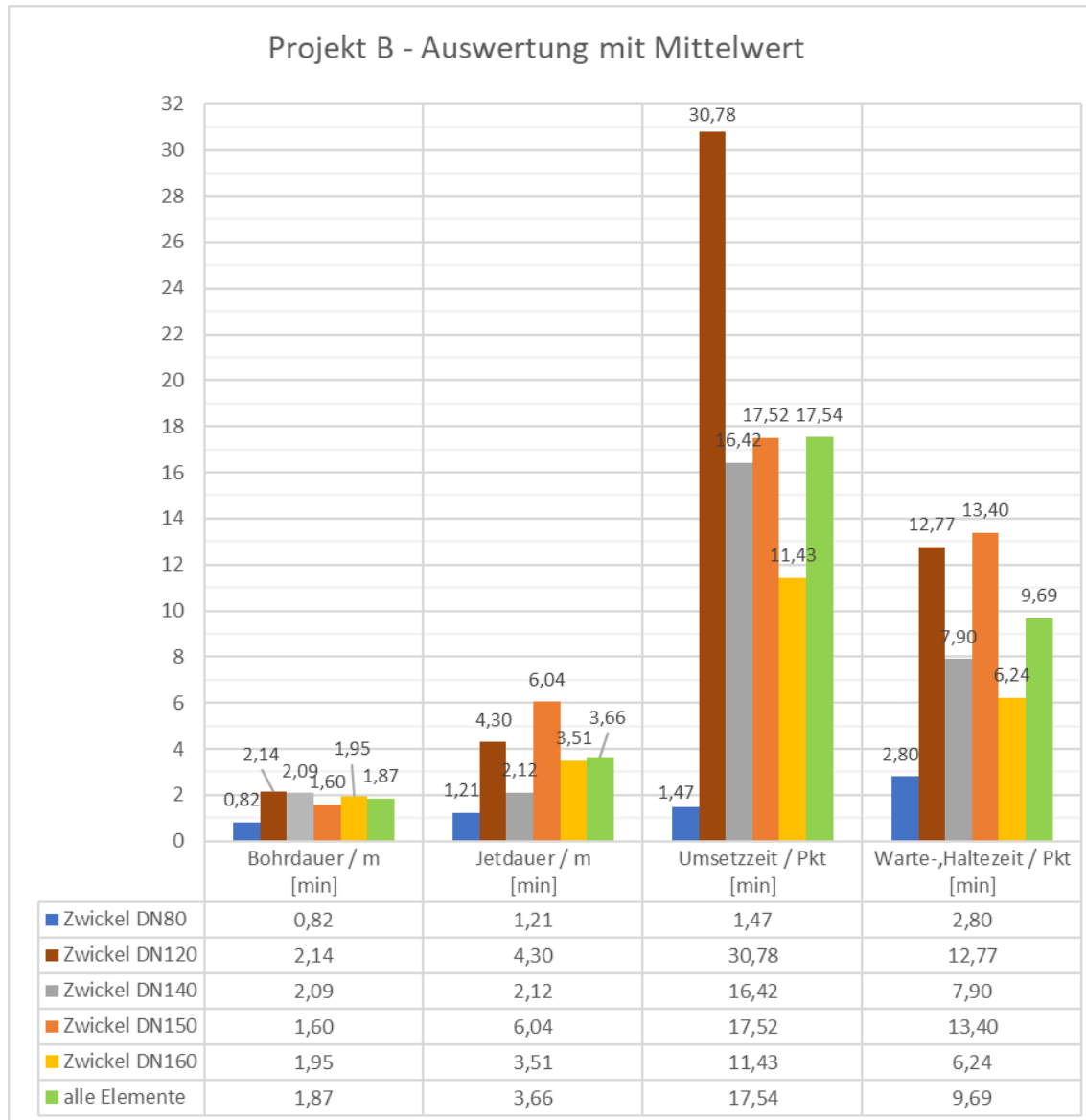


Abb. 5.10: Aufwandswerte DSV-Zwickel Projekt B, dargestellt mit Mittelwert

Die sehr niedrigen Werte der Umsetz- und Warte-/Haltezeit der Zwickel mit Durchmesser 80 cm, sind darauf zurückzuführen, dass von diesen Elementen nur 13 Stück ausgeführt wurden, welche nebeneinander angeordnet waren und zudem aufeinanderfolgend hergestellt wurden. Wie in Kap. 5.1.2 bereits erwähnt, war der Bauablauf bei Projekt B über lange Zeit gestört bzw. nicht mit einem Regelbetrieb zu vergleichen. Dies lässt sich anhand der lang andauernden Umsetz- und Warte-/ Haltezeiten erkennen, die auf längere Pausen während der Arbeiten zurückzuführen sind. Bei näherer Betrachtung der Jet-Zeiten fällt auf,

dass diese nicht stufenweise angeordnet sind, wie deren größer werdende Durchmesser vermuten lassen würde. Erklärbar ist dies mit den DSV-Parametern (siehe S. 8), da nicht nur die Ziehgeschwindigkeit, sondern u.a. der Druck und die Durchflussrate der Suspension geändert bzw. mit oder ohne Vorschneiden gearbeitet wurde. Außerdem wurden die Elemente für den Dichtblock frisch in frisch hergestellt, sowie bei anderen Säulen doppelte Jet-Vorgänge ausgeführt, um den Boden besser auflösen und durchmischen zu können. All diese Methoden und Änderungen beeinflussen somit die Jet-Zeiten sowie den nicht linearen Anstieg dieser Zeiten in Abb. 5.10.

5.3 Vergleich von Ausführungs- zu Dokumentationszeit

Aufbauend auf der ermittelten Dokumentationszeit (siehe Tab. 4.4 und Tab. 4.5) und den erforderlichen Vorgangszeiten bei der Herstellung der DSV-Elemente, werden diese Zeiten zur Veranschaulichung der Verhältnismäßigkeit von Dokumentation zu Ausführung, im Folgenden gegenübergestellt. Verwendet werden dazu jeweils die Zeiten jener DSV-Elemente, die bei Projekt A ausgeführt wurden (Sohlsäule DN200, Zwickel DN110 und DN60) und für die in den Abb. 5.4 bis Abb. 5.8 die Vorgangszeiten der einzelnen Prozessschritte ermittelt wurden. Einerseits werden diese Zeiten einfach gegenübergestellt und in einem weiteren Schritt, zur objektiveren Darstellung, werden die jeweiligen Zeiten mit der benötigten Personalanzahl multipliziert, um so einen Vergleich über die Personaleinsatzzeit herzustellen. Folgendes Personal ist für die Dokumentation bzw. Ausführung erforderlich:

- ◆ Dokumentation
 - 1 Bauleiter bzw. Techniker
- ◆ Ausführung
 - 1 Bohrgerätefahrer
 - 1 Anlagentechniker für die HD-Pumpe und Mischanlage
 - 1 Bohrhelfer

Dies bedeutet, dass die Zeiten der Dokumentation aus Kapitel 4.2.1 direkt übernommen werden können und jene der Ausführung, für die Variante mit der Personaleinsatzzeit, mit dem Faktor drei multipliziert werden müssen. Die Gegenüberstellungen werden mit jenen Aufwandswerten erstellt, welche mit dem 95%-Quantil Mittelwert ermittelt wurden. Für die Dokumentationszeit betrifft dies jene Werte, die in Tab. 4.5 abgebildet sind. Die Kennzahlen für den Ausführungsvorgang werden aus den Abb. 5.5, Abb. 5.7 und Abb. 5.8 entnommen. Da in diesen Darstellungen stets Werte für mehrere Bohrgeräte dargestellt sind, werden die Werte jenes Bohrgerätes herangezogen, die hauptsächlich den jeweiligen Elementtyp hergestellt haben. Aus diesem Grund werden für die Sohsäule die Werte verwendet, die für das Bohrgerät C5XP bestimmt wurden und für die Zwickel (DN110 und DN60) die Werte

des Gerätes MC15P. Zur Ermittlung der Ausführungszeit eines DSV-Elementes werden in Kombination mit den Aufwandswerten, noch geometrische Längen für das Bohren und Jetten benötigt. Herangezogen werden dafür die Durchschnittslängen dieser drei Typen, die gemäß Planung bei Projekt A herzustellen waren. Folgende Abmessungen ergeben sich dadurch:

Mittelwerte Längen	Sohlsäule DN200	Zwickel DN110	Zwickel DN60
Bohrstrecke	10,90	11,51	11,70
DSV-Länge	1,75	11,16	11,35

Tab. 5.7: Mittelwerte Bohr- und DSV-Längen Projekt A

Diese Längen werden mit den entsprechenden Werten aus den Abb. 5.5 (blaue Säulen), Abb. 5.7 (braune Säulen) und Abb. 5.8 (grüne Säulen) multipliziert. Daraus ergeben sich folgende Zeiten, die für die Ausführung eines Elementes, des jeweiligen Typs, benötigt werden (siehe Tab. 5.8). Die prozentuelle Verteilung der Zeitabschnitte, der einzelnen Arbeitsvorgänge, können ebenfalls der nachstehenden Tabelle entnommen werden.

Zeiten und prozentuelle Verteilung	Sohlsäule DN200		Zwickel DN110		Zwickel DN60	
	[min]	[%]	[min]	[%]	[min]	[%]
Bohrdauer	10,47	34 %	17,85	22 %	14,60	30 %
Jetdauer	11,78	38 %	43,12	53 %	16,75	35 %
Umsetzzeit	7,87	26 %	11,78	14 %	11,11	23 %
Warte-/Haltezeit	0,63	2 %	9,17	11 %	5,62	12 %
Gesamt	30,75	100 %	81,92	100 %	48,09	100 %

Tab. 5.8: Herstellzeiten der verschiedenen DSV-Elemente pro Ansatzpunkt, bei Projekt A, berechnet mit Durchschnittslängen

Der Jet-Vorgang ist während der Ausführung der zeitintensivste Prozess und dementsprechend ausschlaggebend für die Gesamtarbeitszeit. Wie in Tab. 5.8 ersichtlich ist, ist die Jet-Dauer für Zwickel mit Durchmesser 110 cm und einer Länge von 11,16 m, mit rund 45 Minuten für mehr als 50% der Gesamtherstellzeit verantwortlich. Dies zeigt, dass die Jet-Länge und der herzustellende Durchmesser, die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Ausführungszeit sind. Für die Gegenüberstellungen werden die Dokumentations- und Ausführungszeiten für eine verschiedene Anzahl an hergestellten Elementen pro Tag berechnet (1, 5, 10, und 15 Stück pro Tag). Diese berechneten Zeiten, welche die Eingangsdaten für die nachfolgenden Abbildungen sind, sind im Anhang in Kap. 8.4.1 zu finden. In diesen Darstellungen (Abb. 5.11 bis Abb. 5.13) ist einerseits die Gesamtzeit (braune Linie), d.h. Ausführungs- plus Dokumentationszeit, sowie deren Trennung (grüne Linie) zu sehen. Zusätzlich sind für eine bestimmte Anzahl an DSV-Elementen pro Tag, die prozentuellen Verteilungen, der beiden Zeiten an der Gesamtzeit, dargestellt.

Werden pro Tag weniger als fünf Elemente hergestellt und diese täglich dokumentiert, ist der Anteil der Dokumentationszeit von bis zu 38% erheblich. Wie in Kapitel 4.2.2 behandelt, wurden bei Projekt A im Schnitt 15 DSV-Elemente pro Tag hergestellt. Je nachdem welcher DSV-Typ herangezogen wird, würde dies bedeuten, dass für die tägliche Dokumentation dieser Datensätze, zwischen 6,4 und 15,4 % der Gesamtzeit herangezogen werden müssen. Dies verdeutlicht, dass die Dokumentation einen nicht zu unterschätzenden, aufwändigen Vorgang während der Ausführung darstellt.

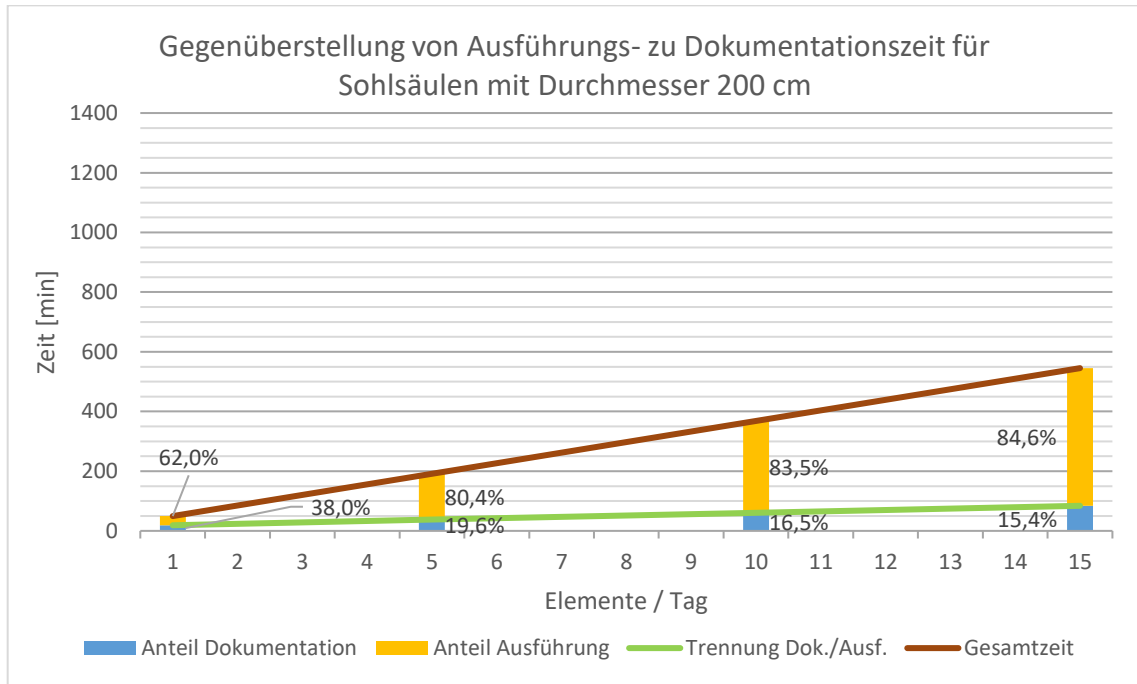


Abb. 5.11: Gegenüberstellung der Zeiten für Sohlsäulen DN200

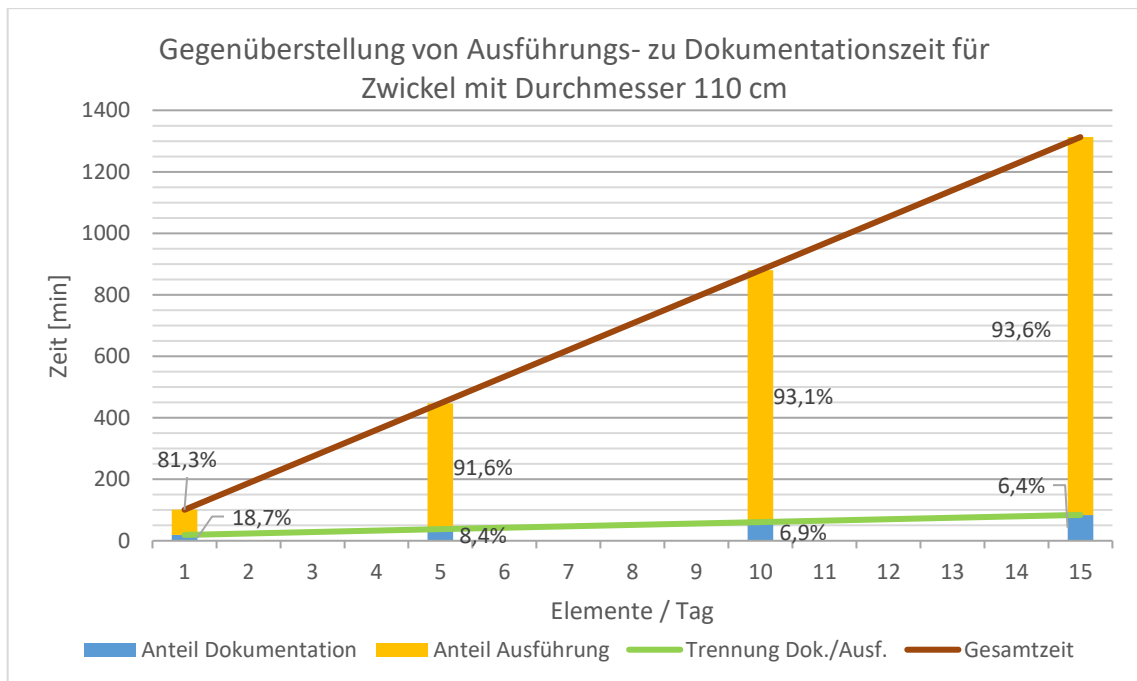


Abb. 5.12: Gegenüberstellung der Zeiten für Zwickel DN110

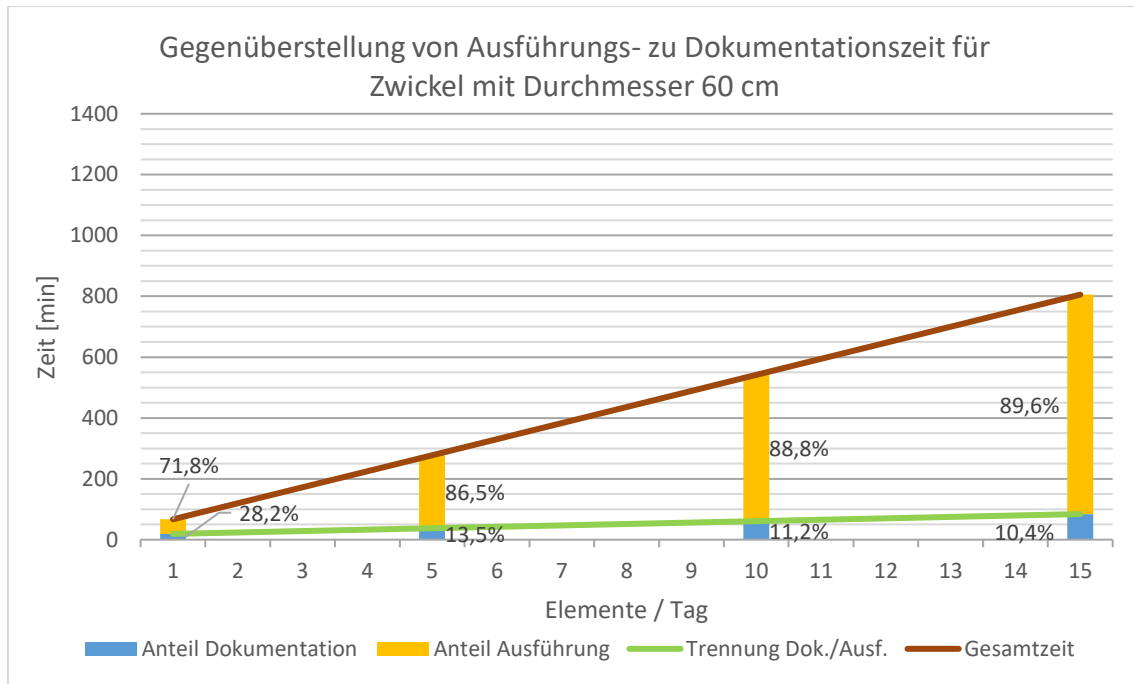


Abb. 5.13: Gegenüberstellung der Zeiten für Zwickel DN60

Für die Variante der Gegenüberstellung mit der Personaleinsatzzeit, werden die ermittelten Zeiten der Ausführung (siehe Kap. 8.4.1), wie zu Beginn dieses Kapitels erwähnt, mit dem Faktor drei multipliziert, um die Anzahl des eingesetzten Personals miteinfließen zu lassen. Die Eingangsdaten und die entsprechenden Abbildungen sind im Anhang in Kap. 8.4.2 zu finden. In diesen Abbildungen ist im Wesentlichen das Gleiche wie in den Abb. 5.11 bis 5.13 zu sehen, lediglich der Anteil der Dokumentationszeit an der Gesamtzeit wird, aufgrund der dreifachen Personaleinsatzzeit bei der Ausführung, reduziert und hat beispielsweise bei 15 Elementen pro Tag, nur mehr einen Anteil von rund 2 – 6%, je nach hergestellten Typ.

Abschließend werden sämtliche Ausführungs- und Dokumentationszeiten, die als Grundlage für die Abbildungen 5.11 bis 5.13 dienen, zusammengefasst und in einer Grafik dargestellt (siehe Abb. 5.14). Für die Ausführung werden, wie bereits auf Seite 99 erwähnt, die Kennzahlen des Projekts A verwendet, da bei diesem mehr Datensätze aufgenommen wurden sowie die Baustellenabwicklung ohne wesentliche Probleme abgelaufen ist und somit diese Daten repräsentativer sind, als jene des Projektes B. Mit diesem abschließenden Diagramm (siehe Abb. 5.14) für Projekt A, ist es möglich die erforderliche Dokumentationszeit, d.h. den Arbeitszeitaufwand des technischen Personals, in Abhängigkeit von der Ausführungszeit pro Tag und den entsprechenden herzustellenden Elementtyp, zu bestimmen. Zudem ermöglicht diese Abbildung eine Abschätzung, wie viele Elemente pro Tag ausgeführt werden können und spiegelt somit den Arbeitszeitaufwand des gewerblichen Personals wieder. Für die Bestimmung der Dokumentationszeit von mehr als 20 Elementen pro Tag, wird von einer linearen Extrapolation abgeraten bzw. ist diese kritisch zu sehen, da für

die Ermittlung der Eingangswerte, niemals mehr als 20 Säulen pro Tag bearbeitet wurden. Für eine nähere Bestimmung des Verlaufes der Funktionskurve, müssten noch eine höhere Anzahl an Datensätzen für die Vor-, Übertragungs-/Abgleich- sowie Nachbearbeitungszeit aufgenommen und ausgewertet werden.

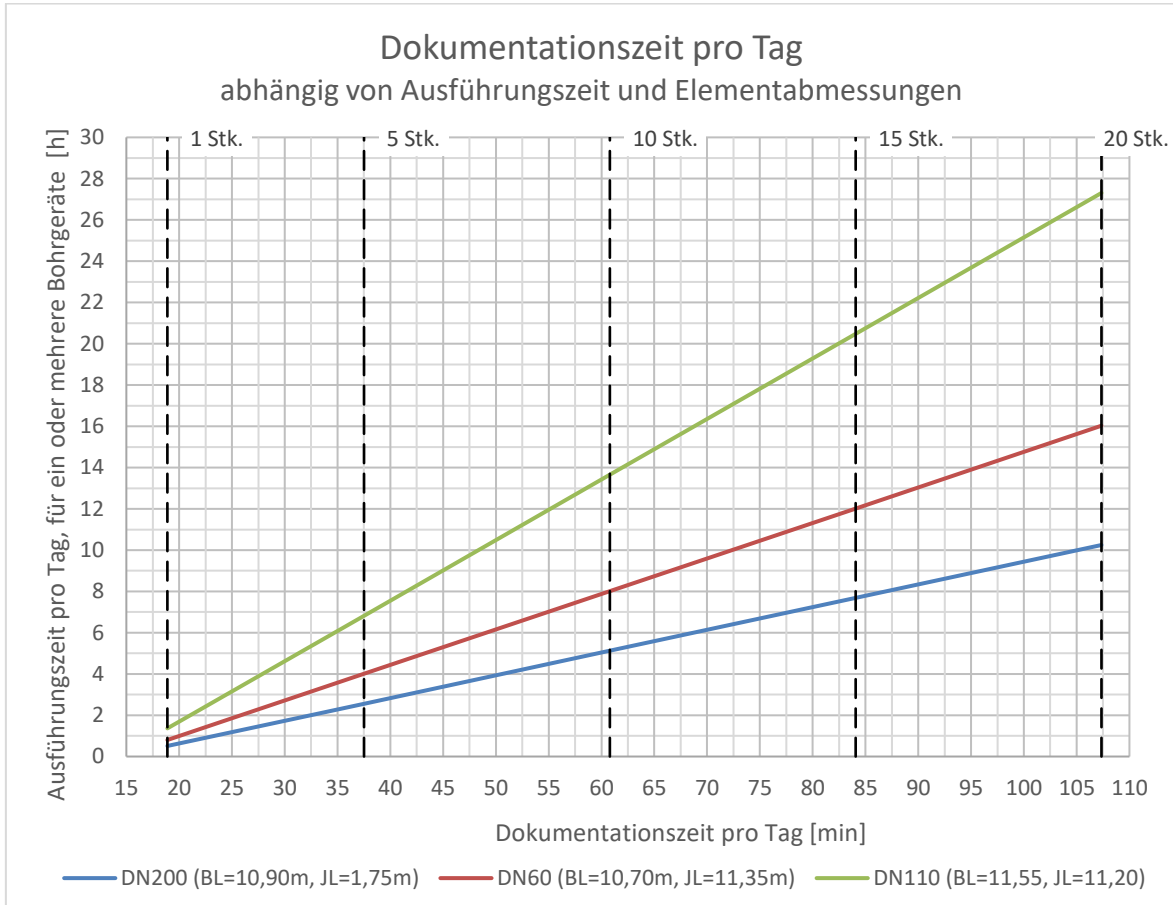


Abb. 5.14: Zusammenfassung Auswertung Projekt A

6 Ergebnisse – Ausblick

Das folgende Kapitel dient zur Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse, betreffend der Prozess- und Aufwandswertermittlung der Ausführungs- und Dokumentationsvorgänge beim Düsenstrahlverfahren, sowie der Beantwortung der eingangs gestellten Forschungsfragen. Zuletzt wird ein Ausblick über weiter zu behandelnde Themenstellungen und den damit verbundenen Forschungsbedarf gegeben.

6.1 Beantwortung der Forschungsfragen

Forschungsfrage 1: *Wie erfolgt die Dokumentation der gesammelten Gerätedaten und der gewonnenen Informationen, während des DSV-Herstellprozesses, sowie deren Nachverfolgung im Projektzyklus aus Sicht eines ausführenden Unternehmens?*

Für die Beantwortung dieser Frage wurde zuerst der Ausführungsprozess (siehe Abb. 3.3, S. 49) ermittelt, um zu dokumentierende Anlagendaten und Informationen zu identifizieren. Daraus wurde der tradierte Dokumentationsprozess (siehe Abb. 3.6, S. 58) bestimmt. Die Ermittlung dieser Prozessvorgänge wurde anhand zweier Projekte im Umkreis Wiens, mittels Prozessanalyse verifiziert.

Der Dokumentationsprozess und -ablauf wird ausführlich in Kapitel 3.3 erläutert. Die in dieser Arbeit angeführten Prozessdarstellungen, spiegeln die Abläufe der analysierten Projekte wieder, jedoch wurden die Darstellungen so allgemein wie möglich gestaltet, um einen generellen Arbeits- und Dokumentationsablauf darzustellen. Geänderte Rahmenbedingungen (z.B. geänderte Vertragslage), zur Anwendung kommende Steuer- und Aufzeichnungsgeräte und die spezifischen Anforderungen des Unternehmens können die Dokumentation in einzelnen Schritten abändern. Die wesentlichen Erkenntnisse der Prozessanalyse bezüglich der Dokumentation sind, dass der tradierte Dokumentationsprozess von manuellen Übertragungen und Bearbeitungen geprägt ist. Die Datenaufzeichnung während der Herstellung ist als einziger Bestandteil des Prozesses automatisiert. Diese manuellen Bearbeitungen und die verwendete Struktur der Dokumentation, macht eine Nachverfolgung bzw. Analyse der Herstelldaten und Prognosen schwierig und somit werden die dokumentierten Daten nur für die Erstellung der Abrechnung im Nachhinein herangezogen.

Forschungsfrage 2: *Welchen Zeitaufwand bringt die abrechnungsrelevante sowie die für die Qualitätssicherung erforderliche Dokumentation mit sich?*

Für die Bestimmung des Zeitaufwandes wurde der Dokumentationsprozess in einen Vorbereitungs-, Übertragungs-/Abgleich- und Nachbearbeitungsabschnitt unterteilt, mit denen die in Tab. 4.1 auf S. 68 angeführten Vorgänge des Dokumentationsprozesses (siehe

Abb. 3.6, S. 58), abgedeckt sind. Der Zeitaufwand bzw. die Aufwandswerte, da die benötigte Zeit für die Dokumentation pro Datensatz bestimmt wurde, wurden für die ersten beiden Abschnitte (Vorbereitungs- und Übertragungs-/Abgleichzeit), mittels Zeitmessungen ermittelt. Der dritte Abschnitt (Nachbearbeitung) wurde im Gegensatz zu den ersten beiden Abschnitten, mit einer Zeitabschätzung bewertet, da die Zeitmessung diese Vorgänge bei den untersuchten Projekten nicht möglich war. Die ermittelten Aufwandswerte der einzelnen Abschnitte und die Zusammenfassung dieser Werte (siehe Tab. 4.4, S. 73) sind in Kap. 4.2.1 angeführt. Der derzeitige Dokumentationsprozess ist mit einem beträchtlichen Zeitaufwand und manuellen Übertragungen verbunden, welcher beispielhaft für die untersuchten Projekte in Kap. 4.2.2 berechnet wurde. Für Projekt A bringt die Dokumentation der geplanten DSV-Elemente, mit den angenommen 15 Elementen pro Tag, einen Gesamtzeitaufwand von rund 69 Arbeitsstunden mit sich. Im Vergleich dazu beträgt die Ausführungszeit der gleichen Elemente rund 497 Stunden, berechnet mit den in Kap. 5.2.1 angeführten Aufwandswerten und den in Tab. 5.7 enthaltenen Mittelwerten, für die jeweiligen Bohr- und DSV-Längen.

Forschungsfrage 3: *Wie kann der Dokumentations- und Analyseprozess optimiert werden?*

In Kapitel 4.2.4 wird ein Überblick über einige Verbesserungspotentiale gegeben, die rasch, einfach sowie ohne große finanzielle Investitionen umgesetzt werden können. Kurzfristiges Ziel sollte es sein, über diese angeführten Vorschläge bzw. über anderweitige Systeme, die manuellen Übertragungen und Abgleichungen der Datensätze zu eliminieren, da diese Vorgänge zeitintensiv und zudem fehleranfällig sind. Eine Struktur in Form einer zentralen Datenbank muss für die Dokumentation der Datensätze verwendet werden, mit der nach bzw. während des Projektes, Analysen sowie Prognose erstellt werden können. Langfristiges Ziel muss ein vollständiger digitaler Baustellen- und Dokumentationsablauf sein. Dies bedeutet, dass alle Bereiche miteinander verbunden sind und die Erfassung, Aufbereitung, Speicherung und Verwaltung sämtlicher Daten digital erfolgt. Dies reduziert zu einem die Fehleranfälligkeiten während der Erfassung und Dokumentation der Daten und ermöglicht zum anderen den Zeitaufwand für diese Tätigkeiten zu reduzieren.

Forschungsfrage 4: *In welchem Verhältnis steht der Zeitaufwand des Dokumentationsprozesses im Bezug zum Ausführungsprozess?*

Für die Bestimmung dieses Verhältnisses wurden zuerst die Aufwandswerte, der verschiedenen Prozessschritte während der Ausführung, ermittelt (siehe Kap. 5.2, S. 91). Für die Gegenüberstellung werden die Aufwandswerte der hergestellten DSV-Elemente, welche bei Projekt A ausgeführt wurden, herangezogen (siehe Kap. 5.2.1). In den Abb. 5.11 bis

Abb. 5.13 auf S. 101, sind die Verhältnisse für jene drei DSV-Typen dargestellt, die bei Projekt A hergestellt wurden. In diesen Abbildungen ist klar ersichtlich, dass eine Pauschalaussage, zum eingangs gefragten Verhältnis, nicht möglich ist. Vielmehr zeigt sich, dass das Verhältnis von Ausführungs- zu Dokumentationszeit einerseits abhängig ist, wie viele DSV-Elemente täglich produziert sowie anschließend pro Tag zu dokumentieren sind. Andererseits ist die klare Abhängigkeit vom herzustellenden DSV-Element, genauer gesagt von dessen Abmessungen, ersichtlich. Je länger ein DSV-Element und je größer der Durchmesser ist, desto länger dauert der Ausführungsprozess und der Anteil der Dokumentationszeit an der Gesamtzeit sinkt. Mit der Abb. 5.14 auf S. 103, ist es zudem möglich die Dokumentationszeit, in Abhängigkeit der Ausführungszeit pro Tag und dem hergestellten DSV-Elementtyp, zu bestimmen. Ein weiterer Vorteil dieses Diagrammes ist, dass zusätzlich zum Arbeitszeitaufwand des technischen Personals, jener des gewerblichen ebenfalls ermittelt werden kann, in Abhängigkeit der Anzahl an geplanten Elementen pro Tag sowie deren Typs.

6.2 Ausblick

Die angeführten Verbesserungsvorschläge haben gezeigt, dass ein hohes Optimierungspotential beim Dokumentationsprozess vorhanden ist. Diese Verbesserungsvorschläge sind Methoden, die rasch und einfach umzusetzen sind. Als ersten Schritt gilt es daher, diese Verbesserungen anzuwenden sowie anschließend zu evaluieren. Weiters gilt es Entwicklungen hinsichtlich der Nutzung mobiler Endgeräte zu überprüfen und das Berichtswesen zu digitalisieren, um sämtliche Daten einer Baustelle in eine zentrale Plattform übertragen zu können.

Die Digitalisierung und die damit verbundene Veränderung der tradierten Arbeits- und Dokumentationsprozesse hat längst das Bauwesen erreicht. Dieser Wandel bzw. diese Entwicklung der Digitalisierung ist lange noch nicht abgeschlossen, welches am Beispiel „Building Information Modeling (BIM)“ gut ersichtlich ist. Neu Konzepte und Entwicklungen werden die Baubranche nicht außen vorlassen und das Potential für neue Methoden und Adaptionen von gewohnten Prozessen bzw. das Aufbrechen alter Denkmuster wird sich in den nächsten Jahren noch zeigen. Ziel sollte es sein, sich dieser Potentiale bewusst zu sein und deren Nutzen zum Vorteil zu machen. Es sollte allerdings nicht vergessen werden, dass selbst die besten Systeme, menschliche Fehler niemals zur Gänze ausschließen können. Des Weiteren darf der menschliche Hausverstand nie zur Gänze ausgeschlossen werden und die aufgezeichneten bzw. ermittelten Werte müssen stets kritisch gesehen und hinterfragt werden.

7 Verzeichnisse

7.1 Abkürzungsverzeichnis

AG	Auftraggeber
AN	Auftragnehmer
A&V	Abschreibung und Verzinsung
BPMN	Business Process Model and Notation
DSV	Düsenstrahlverfahren
FSV	Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr
GOK	Geländeoberkante
GW	Grundwasser
HD-Pumpe bzw. HDP	Hochdruckpumpe
hpts.	Hauptsächlich
LB-VI	standardisierte Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur
MA	Mischanlage
MW	Mittelwert (berechnet aus allen Datensätzen)
95%Q-MW	Mittelwert (berechnet aus jenen Datensätzen, die kleiner als das 95%-Quantil sind)
m ü. A.	Meter über Adria
ÖBGL	Österreichische Baugeräteliste
ÖBV	Österreichische Bautechnik Vereinigung
OK	Oberkante
RVS	Richtlinie und Vorschrift für das Straßenwesen
UK	Unterkante
ULG	Unter-Leistungsgruppe
W/Z-Wert	Wasserzementwert

7.2 Literaturverzeichnis

7.2.1 Bücher, Artikel

- [1] Becker, T.; Herrmann, R.; Sandor, V.; Schäfer, D.; Wellisch, U.: Stochastische Risikomodellierung und statistische Methoden: Ein Anwendungsorientiertes Lehrbuch für Aktuarien; Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg Imprint: Springer Spektrum, 2016.
- [2] Blumenthal, G.; Linke, D.; Vieth, S.: Chemie: Grundwissen für Ingenieure; Wiesbaden: B.G. Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, 2006.
- [3] Boley, C.; Handbuch Geotechnik: Grundlagen – Anwendungen – Praxiserfahrungen. 1. Auflage; Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag, 2012.
- [4] Brosius, G.; Brosius, F.: SPSS - Base System und Professional Statistics; Bonn, Albany, Boston, Cincinnati, Detroit: International Thomson Publishing, 1998.
- [5] Buja, H. O.; Der Spezialtiefbau - Aktueller Stand der Geräte- und Verfahrenstechnik, in Bautechnik Spezial S. 25-109; Berlin: Ernst & Sohn, 2004.
- [6] Buja, H. O.; Spezialtiefbaupraxis: Grundlagen, Gerätetechnik, Anwendungen, Praxiserfahrungen. Band 2; Norderstedt: Books on Demand, 2014.
- [7] Buja, H. O.; Katzenbach, R.: Handbuch des Spezialtiefbaus: Geräte und Verfahren, 3. überarb. Auflage; Köln: Bundesanzeiger-Verl., 2015.
- [8] Cleff, T.; Deskriptive Statistik und explorative Datenanalyse; Wiesbaden: Gabler Verlag, 2015.
- [9] Gadatsch, A.; Grundkurs Geschäftsprozess-Management: Analyse, Modellierung, Optimierung und Controlling von Prozessen, 8. Auflage; Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden Imprint: Springer Vieweg, 2017.
- [10] Kolymbas, D.; Geotechnik: Bodenmechanik, Grundbau und Tunnelbau. 4. Aufl. ed. Berlin; Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg Imprint: Springer Vieweg, 2016.
- [11] Krentz, M.; Zur guten fachlichen Praxis des Düsenstrahlverfahrens, Geotechnik 38 Heft 1, S. 56–64; Berlin: Ernst & Sohn, 2015.
- [12] Maybaum, G. Verfahrenstechnik und Baubetrieb im Grund- und Spezialtiefbau: Baugrund, Baugruben, Baugrundverbesserung, Pfahlgründungen, Grundwasserhaltung, 2. Auflage; Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2011.
- [13] Möller, G.; Geotechnik – Grundbau, 2. Aufl. ed. Bauingenieur-Praxis; Berlin: Ernst & Sohn, 2013.
- [14] Witt, K. J.; Grundbau-Taschenbuch: Teil 2 Geotechnische Verfahren; Berlin: Ernst & Sohn, 2018.
- [15] Zilch, K.; Diederichs, C. J.; Katzenbach, R.; Beckmann, K. J.: Geotechnik; Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013.

7.2.2 Normen, Richtlinien und Merkblätter

- [16] Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, RVS 08.21.05 – Düsenstrahlverfahren, Wien, 2013
- [17] Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Standardisierte Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur, Wien, 2015

- [18] Magistrat der Stadt Wien – Merkblatt für Baugrubensicherungen, April 2011, <https://www.wien.gv.at/verkehr/strassen/pdf/baugrubensicherung.pdf>, aufgerufen am 20.04.2018
- [19] Österreichische Bautechnikvereinigung, Merkblatt Baugrubensicherung, Wien, Dezember 2014
- [20] Österreichische Bautechnikvereinigung, Merkblatt Qualitätssicherung für Bodenvermörtelung, Wien, September 2012
- [21] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM B 2279:2006-07-01, Spezialtiefbauarbeiten. Aufschluss-, Brunnen- und Grundbauarbeiten. Werkvertragsnorm.
- [22] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM B 4452:1998-12-01, Erd- und Grundbau. Dichtwände im Untergrund.
- [23] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM EN 1997-1:2014-11-15, Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik. Teil 1: Allgemeine Regeln
- [24] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM EN 12716:2002-01-01, Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Düsenstrahlverfahren (Hochdruckinjektion, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting).

7.2.3 Online-Quellen

- [25] Beuth Baulexikon Online, <http://baulexikon.beuth.de/wasserzement.htm>, aufgerufen am 27.02.2018
- [26] Casagrande S.p.A., C5XP-Datenblatt, <http://www.casagrandegroup.com/wp-content/uploads/2016/06/casagrande-C5XP-webedition.pdf>, aufgerufen am 15.05.2018
- [27] Comacchio s.r.l., MC15P-Datenblatt, <http://www.comacchio.com/en/products/micro-drilling-and-geotechnics/mc-line-pkv1/mc-15-p-1951084230.html>, aufgerufen am 15.05.2018
- [28] Chemie.de, <http://www.chemie.de/lexikon/Bindemittel.html>, aufgerufen am 27.02.2018
- [29] Chemie.de, <http://www.chemie.de/lexikon/Viskosität.html>, aufgerufen am 27.02.2018
- [30] GitHub Inc., <https://github.com/euske/pdfminer>, aufgerufen am 11.08.2018
- [31] Magistrat der Stadt Wien, Baugrundkataster der Magistratsabteilung 29 - Brückenbau und Grundbau, <https://www.wien.gv.at/verkehr/grundbau/kataster.html>
- [32] Magistrat der Stadt Wien, Online Stadtplan, <https://www.wien.gv.at/stadtplan/>, aufgerufen am 04.06.2018
- [33] Soilmec S.p.A., APS-Broschüre, http://www.soilmec.com/downloads/2329/95/1362__aps.pdf, aufgerufen am 26.06.2018
- [34] Soilmec S.p.A., SM-21-Datenblatt, <http://www.soilmec.co.uk/new-equipment/micro-drilling/sm-21/>, aufgerufen am 15.05.2018
- [35] Trevi S.p.A., Jet Grouting Broschüre, http://www.trevispa.com/downloads/2356/470/JetGrouting_uk.pdf, aufgerufen am 26.02.2018
- [36] Wassara LKAB, <https://www.wassara.com/products/Jet-grouting/>, aufgerufen am 29.07.2018

7.3 Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: DSV-Zwickel zwischen Bohrpfählen.....	7
Abb. 2.2: DSV-Block und unbehandelter Boden.....	7
Abb. 2.3: Anwendungsbandbreite DSV	8
Abb. 2.4: Verfahrensarten	11
Abb. 2.5: Prinzipskizze Cross-Jet-Verfahren	12
Abb. 2.6: Herstellungsablauf	13
Abb. 2.7: Zieharten des Gestänges	14
Abb. 2.8: mögliche Herstellungsabfolge, a) frisch-in-frisch, b) Pilgerschrittverfahren.....	14
Abb. 2.9: Anwendungsgebiete	16
Abb. 2.10: mögliche Elementformen.....	17
Abb. 2.11: Übersicht Baustelleneinrichtung.....	18
Abb. 2.12: Düse.....	20
Abb. 2.13: Zweifachbohrgestänge	20
Abb. 2.14: Bohrkronen für Spülbohrungen (gelb) und Monitor (grün).....	20
Abb. 2.15: Freigelegte „frische“ Probesäule (bestehend aus zwei nebeneinander gejetteten Säulen).....	25
Abb. 2.16: Tablet des Absteckgerätes	26
Abb. 2.17: Ausgesteckter Ansatzpunkt.....	26
Abb. 2.18: Bsp. eines Tagesberichtes der Misch- und Pumpenanlage gem. ÖNORM EN 12716.....	27
Abb. 2.19: Streudiagramm mit Regressionsgerade.....	38
Abb. 2.20: Planausschnitt Baustelle A.....	39
Abb. 2.21: Geologischer Aufbau Projektareal A	40
Abb. 2.22: Übersicht Projekt B	41
Abb. 2.23: Geologischer Aufbau Projektareal B	42
Abb. 2.24: Größenvergleich der Bohrgeräte, links: C5XP, Mitte: MC15P, rechts: SM-21	43
Abb. 2.25: System LT3n.....	44
Abb. 2.26: System Dialog MX	44
Abb. 2.27: Memobloc und entsprechendes Lesegerät	44
Abb. 3.1: Ebene 1 - Prozesslandkarte ausführendes Unternehmen	47
Abb. 3.2: Ebene 2 - Prozessbereich Düsenstrahlverfahren	48
Abb. 3.3: Prozess – DSV-Ausführung.....	49
Abb. 3.4: Unterprozess – Vorbohren.....	53
Abb. 3.5: Unterprozess – Suspensionskontrolle	57
Abb. 3.6: Prozess – DSV-Dokumentation.....	58
Abb. 3.7: Tagesberichte der Misch-/Pumpenanlage und der DSV-Arbeiten.....	59
Abb. 3.8: Derzeitiges Layout Jean-Lutz-Protokoll.....	61
Abb. 3.9: Markierung hergestellter DSV-Elemente im Ausführungsplan (Ausschnitt)	62
Abb. 3.10: Unterprozess – Beschaffung Jean Lutz Daten.....	63
Abb. 4.1: Ausschnitt aus DSV-Ausführungsprozess (Abb. 3.3) mit markierten Optimierungspotenzialen.....	64
Abb. 4.2: Im-Loch-Hammer mit integriertem Monitor.....	65

Abb. 4.3: Veranschaulichung der Vorteile des Im-Loch-Hammers mit integriertem Monitor	66
Abb. 4.4: Verteilung der Vorbereitungszeit, lineare Degression	69
Abb. 4.5: Zusammenfassung der Übertragungs-/Abgleichzeit für DSV-Säulen	71
Abb. 4.6: Zusammenfassung der Übertragungs-/Abgleichzeit für Vorbohrungen	71
Abb. 4.7: Nachbearbeitungszeit	72
Abb. 4.8: Vergleich der verschiedenen Abschnitte der Dokumentationszeit	73
Abb. 4.9: Verteilung tägliche Arbeits- zu Dokumentationszeit (dargestellt mit MW und 95%Q-MW)	74
Abb. 4.10: Adaptiertes Jean-Lutz-Protokoll	77
Abb. 4.11: Markierung ausgeführter DSV-Elemente - Optimierung	81
Abb. 4.12: Problematik bei mit Unterbrechung hergestellten DSV-Säulen	83
Abb. 4.13: Veranschaulichung unterschiedlicher Volumina bei der Abrechnung	84
Abb. 5.1: Kopfzeilen von zwei Jean-Lutz-Protokollen für die Auswertung	86
Abb. 5.2: Arbeitszeiteffizienz Bohrgerät C5XP bei Projekt A	89
Abb. 5.3: Arbeitszeiteffizienz Bohrgerät MC15P bei Projekt A	90
Abb. 5.4: Aufwandswerte Sohlsäulen DN200, dargestellt mit Mittelwert	92
Abb. 5.5: Aufwandswerte Sohlsäulen DN200, dargestellt mit 95%-Quantil Mittelwert	92
Abb. 5.6: Aufwandswerte Zwickel DN110, dargestellt mit Mittelwert	93
Abb. 5.7: Aufwandswerte Zwickel DN110, dargestellt mit 95%-Quantil Mittelwert	93
Abb. 5.8: Aufwandswerte Zwickel DN60, dargestellt mit Mittelwert und 95%-Quantil Mittelwert	94
Abb. 5.9: Weg-Zeit-Diagramm eines Jean-Lutz-Protokolls	96
Abb. 5.10: Aufwandswerte DSV-Zwickel Projekt B, dargestellt mit Mittelwert	98
Abb. 5.11: Gegenüberstellung der Zeiten für Sohlsäulen DN200	101
Abb. 5.12: Gegenüberstellung der Zeiten für Zwickel DN110	101
Abb. 5.13: Gegenüberstellung der Zeiten für Zwickel DN60	102
Abb. 5.14: Zusammenfassung Auswertung Projekt A	103
Abb. 8.1: Bohr- und DSV-Längen pro Tag mit Bohrgerät C5XP bei Projekt A	117
Abb. 8.2: Bohr- und DSV-Längen pro Tag mit Bohrgerät MC15P bei Projekt A	119
Abb. 8.3: Leistungswerte der Bohrgerät bei Projekt A	120
Tab. 8.10: Zusammenfassung Aufwandswerte Projekt B Teil 1	123
Tab. 8.11: Zusammenfassung Aufwandswerte Projekt B Teil 2	124
Abb. 8.4: Aufwandswerte DSV-Zwickel Projekt B, dargestellt mit 95%-Quantil Mittelwert	125
Abb. 8.5: Aufwandswerte DSV-Zwickel Projekt B, dargestellt mit 80%-Quantil Mittelwert	126
Abb. 8.6: Gegenüberstellung der Personaleinsatzzeiten für Sohlsäulen DN200	128
Abb. 8.7: Gegenüberstellung der Personaleinsatzzeiten für Zwickel DN110	129
Abb. 8.8: Gegenüberstellung der Personaleinsatzzeiten für Zwickel DN60	129

7.4 Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1: Bandbreiten der Düsenstrahlparameter	11
Tab. 2.2: Prüfumfang Eignungsprüfung	30
Tab. 2.3: Güteklasse in Abhängigkeit der Probengewinnung	33
Tab. 2.4: Gegenüberstellung der Bohrgeräte	43
Tab. 3.1: Notationselemente für die Prozessdarstellung nach BPMN 2.0	46
Tab. 3.2: Auswahlmöglichkeit an Titelementen und Parametern	60
Tab. 3.3: Zu übertragende Werte aus den Tagesberichten und Jean Lutz Protokollen	60
Tab. 4.1: Zuteilung der Prozessschritte zu den einzelnen Zeitabschnitten	68
Tab. 4.2: prognostizierte Vorbereitungszeit mittels Regressionsgerade	70
Tab. 4.3: prognostizierte Nachbearbeitungszeit	72
Tab. 4.4: Zusammenfassung der benötigten Zeit mit „normalen“ Mittelwert.....	73
Tab. 4.5: Zusammenfassung der benötigten Zeit mit 95%-Q. Mittelwert der Übertragungs-/Abgleichzeit	73
Tab. 5.1: Beispielhafte Berechnung der einzelnen Zeitabschnitte	87
Tab. 5.2: Zusammenfassung der Effizienz- und Längenauswertung	88
Tab. 5.3: Anzahl der Datensätze für Auswertung, Projekt A	91
Tab. 5.4: Anzahl der Datensätze für Auswertung, Projekt B	95
Tab. 5.5: Ergebnis der Auswertung Bohrstangentausch	96
Tab. 5.6: Ergebnis der Auswertung Vorbohrung mit Im-Loch-Hammer	97
Tab. 5.7: Mittelwerte Bohr- und DSV-Längen Projekt A	100
Tab. 5.8: Herstellzeiten der verschiedenen DSV-Elemente pro Ansatzpunkt, bei Projekt A, berechnet mit Durchschnittslängen	100
Tab. 8.1: Übersicht der Zeiterfassung.....	113
Tab. 8.2: Zusammenfassung Vorbereitungszeit	114
Tab. 8.3: Zusammenfassung Übertragungs-/Abgleichzeit für DSV-Elemente	114
Tab. 8.4: Zusammenfassung Übertragungs-/Abgleichzeit für Vorbohrungen	115
Tab. 8.5: Zusammenfassung Bohrgerät C5XP	116
Tab. 8.6: Zusammenfassung Bohrgerät MC15P	118
Tab. 8.7: Zusammenfassung Aufwandswerte Sohlsäulen DN200	121
Tab. 8.8: Zusammenfassung Aufwandswerte Zwickel DN110	122
Tab. 8.9: Zusammenfassung Aufwandswerte Zwickel DN60	122
Tab. 8.12: Eingangsdaten für Gegenüberstellung	127
Tab. 8.13: Eingangsdaten für Gegenüberstellung mit Personaleinsatzzeit.....	128

8 Anhang

8.1 Daten Zeiterfassung Dokumentationsaufwände

8.1.1 Übersicht Zeiterfassung Dokumentationsaufwände

Übersicht Zeiterfassung Dokumentationsaufwände					
Datum Dokumentation	Vorbereitungszeit	Datum Ausführung	DSV-Säulen	Vorb Bohrungen	Übertragungs-/Abgleichzeit
[Datum]	[mm:ss]	[Datum]	[Stk]	[Stk]	[mm:ss]
20.02.2018	13:50	12.02.2018	5		14:01
21.02.2018	18:56	13.02.2018	5		23:27
		14.02.2018	8		25:30
		15.02.2018	1		07:25
		15.02.2018		4	05:47
		16.02.2018		1	02:43
		19.02.2018		6	10:45
		19.02.2018	4		15:42
28.02.2018	16:32	20.02.2018	5		17:22
		20.02.2018		2	03:05
		21.02.2018	5		16:37
		22.02.2018	2		13:14
		23.02.2018		3	06:23
		24.02.2018	4		10:12
		26.02.2018		3	04:20
15.03.2018	12:17	01.03.2018		12	15:41
		06.03.2018	4		17:23
		07.03.2018		2	04:30
		13.03.2018	8		31:19
		14.03.2018	7		22:30
20.03.2018	08:20	15.03.2018	2		21:54
		16.03.2018	1		10:41
		17.03.2018	4		25:13
21.03.2018	11:47	19.03.2018	3		21:10
		19.03.2018		2	03:50
		20.03.2018	5		16:02
		21.03.2018	2		09:58
28.03.2018	20:32	22.03.2018		8	20:45
		26.03.2018		5	06:30
		26.03.2018	7		23:32
		27.03.2018		14	17:38
		27.03.2018	4		15:34
		28.03.2018	10		23:22
29.03.2018	06:13	29.03.2018	7		18:41

Tab. 8.1: Übersicht der Zeiterfassung

8.1.2 Vorbereitungszeit

Vorbereitungszeit					
Datum Dokumentation	Tagesberichte / Kontrolle	Datensätze	Zeit	Zeit	Datensätze/Bericht
[Datum]	[Stk]	[Stk]	[mm:ss]	[min]	[Stk]
20.02.2018	1,0	5	13:50	13,83	5,0
21.02.2018	7,0	29	18:56	18,93	4,1
28.02.2018	7,0	24	16:32	16,53	3,4
15.03.2018	5,0	33	12:17	12,28	6,6
20.03.2018	3,0	7	08:20	8,33	2,3
21.03.2018	4,0	12	11:47	11,78	3,0
28.03.2018	6,0	48	20:32	20,53	8,0
29.03.2018	1,0	7	06:13	6,22	7,0

Mittelwert:	4,94
-------------	------

Tab. 8.2: Zusammenfassung Vorbereitungszeit

8.1.3 Übertragungs-/Abgleichzeit

DSV-Säulen Übertragungs-/Abgleichzeit				
Datum Dokumentation	Datum Ausführung	DSV-Säulen	Zeit Gesamt	Zeit/Säule
[TT:MM:JJJJ]	[TT:MM:JJJJ]	[Stk]	[mm:ss]	[min/Stk.]
20.02.2018	12.02.2018	5	14:01	2,80
21.02.2018	13.02.2018	5	23:27	4,69
21.02.2018	14.02.2018	8	25:30	3,19
21.02.2018	15.02.2018	1	07:25	7,42
21.02.2018	19.02.2018	4	15:42	3,93
28.02.2018	20.02.2018	5	17:22	3,47
28.02.2018	21.02.2018	5	16:37	3,32
28.02.2018	22.02.2018	2	13:14	6,62
28.02.2018	24.02.2018	4	10:12	2,55
15.03.2018	06.03.2018	4	17:23	4,35
15.03.2018	13.03.2018	8	31:19	3,91
15.03.2018	14.03.2018	7	22:30	3,21
20.03.2018	15.03.2018	2	21:54	10,95
20.03.2018	16.03.2018	1	10:41	10,68
20.03.2018	17.03.2018	4	25:13	6,30
21.03.2018	19.03.2018	3	21:10	7,06
21.03.2018	20.03.2018	5	16:02	3,21
21.03.2018	21.03.2018	2	09:58	4,98
28.03.2018	26.03.2018	7	23:32	3,36
28.03.2018	27.03.2018	4	15:34	3,89
28.03.2018	28.03.2018	10	23:22	2,34
29.03.2018	29.03.2018	7	18:41	2,67

Mittelwert:	4,77
Standardabweichung:	2,39
getrimmter MW (10%):	4,58
Median:	3,90
95% Quantil:	10,52
Mittelwert (95% Quantil):	4,16

Tab. 8.3: Zusammenfassung Übertragungs-/Abgleichzeit für DSV-Elemente

Vorbohrungen Übertragungs-/Abgleichzeit				
Datum Dokumentation	Datum Ausführung	Vorbohrungen	Zeit Gesamt	Zeit/Pkt.
[TT:MM:JJJJ]	[TT:MM:JJJJ]	[Stk]	[mm:ss]	[min]
21.02.2018	15.02.2018	4	05:47	1,45
21.02.2018	16.02.2018	1	02:43	2,72
21.02.2018	19.02.2018	6	10:45	1,79
28.02.2018	20.02.2018	2	03:05	1,54
28.02.2018	23.02.2018	3	06:23	2,13
28.02.2018	26.02.2018	3	04:20	1,44
15.03.2018	01.03.2018	12	15:41	1,31
15.03.2018	07.03.2018	2	04:30	2,25
21.03.2018	19.03.2018	2	03:50	1,92
28.03.2018	22.03.2018	8	20:45	2,59
28.03.2018	26.03.2018	5	06:30	1,30
28.03.2018	27.03.2018	14	17:38	1,26

Mittelwert:	1,81
Standardabweichung:	0,49
getrimmter MW (10%):	1,81
Median:	1,67
95% Quantil:	2,65
Mittelwert (95% Quantil):	1,73

Tab. 8.4: Zusammenfassung Übertragungs-/Abgleichzeit für Vorbohrungen

8.2 Daten Projekt A

8.2.1 Produktive DSV-Arbeitszeit und hergestellte Längen

Zusammenfassung Bohrgerät C5XP								
Tag	prod. Arbeitszeit	Vorbereitungszeit	Nachbearbeitungszeit	Summe prod. Arbeitszeit	Arbeitszeit laut BTB	Produktivität	Bohrlänge pro Tag	DSV-Länge pro Tag
[Datum]	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]	[%]	[m]	[m]
17.11.2017	02:48:26	00:20:00	00:30:00	03:38:26	09:00:00	40,5%	46,3	8,5
20.11.2017	03:57:52	00:20:00	00:30:00	04:47:52	11:00:00	43,6%	49,6	7,8
21.11.2017	05:33:11	00:20:00	00:30:00	06:23:11	11:00:00	58,1%	88,2	12,7
22.11.2017	04:22:45	00:20:00	00:30:00	05:12:45	11:00:00	47,4%	72,3	11,9
23.11.2017	07:25:04	00:20:00	00:30:00	08:15:04	11:00:00	75,0%	133,8	24,0
24.11.2017	05:48:02	00:20:00	00:30:00	06:38:02	11:00:00	60,3%	97,2	15,5
27.11.2017	07:51:07	00:20:00	00:30:00	08:41:07	11:00:00	79,0%	136,0	21,7
28.11.2017	05:06:16	00:20:00	00:30:00	05:56:16	11:00:00	54,0%	87,4	14,1
29.11.2017	06:26:28	00:20:00	00:30:00	07:16:28	11:00:00	66,1%	126,3	20,5
30.11.2017	05:01:01	00:20:00	00:30:00	05:51:01	11:00:00	53,2%	87,5	14,1
01.12.2017	04:14:09	00:20:00	00:30:00	05:04:09	11:00:00	46,1%	87,4	14,1
04.12.2017	06:53:32	00:20:00	00:30:00	07:43:32	11:00:00	70,2%	145,7	23,6
05.12.2017	07:46:34	00:20:00	00:30:00	08:36:34	11:00:00	78,3%	184,6	29,9
06.12.2017	07:22:18	00:20:00	00:30:00	08:12:18	11:00:00	74,6%	148,9	25,8
07.12.2017	07:35:53	00:20:00	00:30:00	08:25:53	11:00:00	76,6%	165,9	27,6
08.12.2017	07:33:41	00:20:00	00:30:00	08:23:41	11:00:00	76,3%	174,9	28,1
09.12.2017	02:49:23	00:20:00	00:30:00	03:39:23	05:00:00	73,1%	65,2	10,9
11.12.2017	03:29:07	00:20:00	00:30:00	04:19:07	11:00:00	39,3%	79,0	15,9
12.12.2017	07:19:17	00:20:00	00:30:00	08:09:17	11:00:00	74,1%	143,7	24,2
13.12.2017	07:35:25	00:20:00	00:30:00	08:25:25	11:00:00	76,6%	177,1	32,3
14.12.2017	07:32:23	00:20:00	00:30:00	08:22:23	11:00:00	76,1%	163,6	25,2
15.12.2017	07:31:24	00:20:00	00:30:00	08:21:24	11:00:00	76,0%	188,0	28,5
18.12.2017	07:01:12	00:20:00	00:30:00	07:51:12	11:00:00	71,4%	158,8	28,1
19.12.2017	04:38:40	00:20:00	00:30:00	05:28:40	08:00:00	68,5%	88,7	17,4
20.12.2017	05:47:36	00:20:00	00:30:00	06:37:36	09:00:00	73,6%	129,7	21,5
21.12.2017	03:47:22	00:20:00	00:30:00	04:37:22	05:30:00	84,1%	89,8	17,5
02.01.2018	04:04:56	00:20:00	00:30:00	04:54:56	11:00:00	44,7%	47,4	37,1
03.01.2018	04:07:39	00:20:00	00:30:00	04:57:39	11:00:00	45,1%	47,3	46,9
04.01.2018	03:19:43	00:20:00	00:30:00	04:09:43	11:00:00	37,8%	39,5	33,6
05.01.2018	08:14:32	00:20:00	00:30:00	09:04:32	11:00:00	82,5%	83,2	73,9
06.01.2018	03:49:04	00:20:00	00:30:00	04:39:04	06:00:00	77,5%	39,1	38,3
08.01.2018	06:58:40	00:20:00	00:30:00	07:48:40	11:00:00	71,0%	132,6	22,3
09.01.2018	05:31:08	00:20:00	00:30:00	06:21:08	11:00:00	57,7%	120,0	16,7
10.01.2018	05:00:27	00:20:00	00:30:00	05:50:27	11:00:00	53,1%	120,9	16,5
11.01.2018	00:54:11	00:20:00	00:30:00	01:44:11	11:00:00	15,8%	10,9	2,7
12.01.2018	06:28:40	00:20:00	00:30:00	07:18:40	11:00:00	66,5%	163,8	24,3
15.01.2018	07:34:25	00:20:00	00:30:00	08:24:25	11:00:00	76,4%	177,9	26,0
16.01.2018	09:07:06	00:20:00	00:30:00	09:57:06	11:00:00	90,5%	167,7	29,4
17.01.2018	09:13:11	00:20:00	00:30:00	10:03:11	11:00:00	91,4%	167,6	36,3
18.01.2018	08:25:13	00:20:00	00:30:00	09:15:13	11:00:00	84,1%	154,9	34,5
19.01.2018	07:26:25	00:20:00	00:30:00	08:16:25	11:00:00	75,2%	178,0	34,1
22.01.2018	06:26:05	00:20:00	00:30:00	07:16:05	11:00:00	66,1%	141,6	26,8
23.01.2018	07:23:45	00:20:00	00:30:00	08:13:45	11:00:00	74,8%	145,5	31,3
25.01.2018	04:28:22	00:20:00	00:30:00	05:18:22	11:00:00	48,2%	76,3	8,8
30.01.2018	07:47:44	00:20:00	00:30:00	08:37:44	11:00:00	78,4%	130,5	17,1
31.01.2018	07:32:52	00:20:00	00:30:00	08:22:52	11:00:00	76,2%	117,7	18,2
01.02.2018	05:09:13	00:20:00	00:30:00	05:59:13	11:00:00	54,4%	75,8	18,1
					Minimum:	15,8%	10,9	2,7
					Maximum:	91,4%	188,0	73,9
					Mittelwert:	65,5%	116,0	23,7
					Standardabweichung:	16,0%	46,8	11,8
					Median:	71,4%	126,3	23,6
					5% Quantil:	39,6%	41,6	8,6
					Mittelwert (5% Quantil):	67,9%	121,9	24,9

Tab. 8.5: Zusammenfassung Bohrgerät C5XP

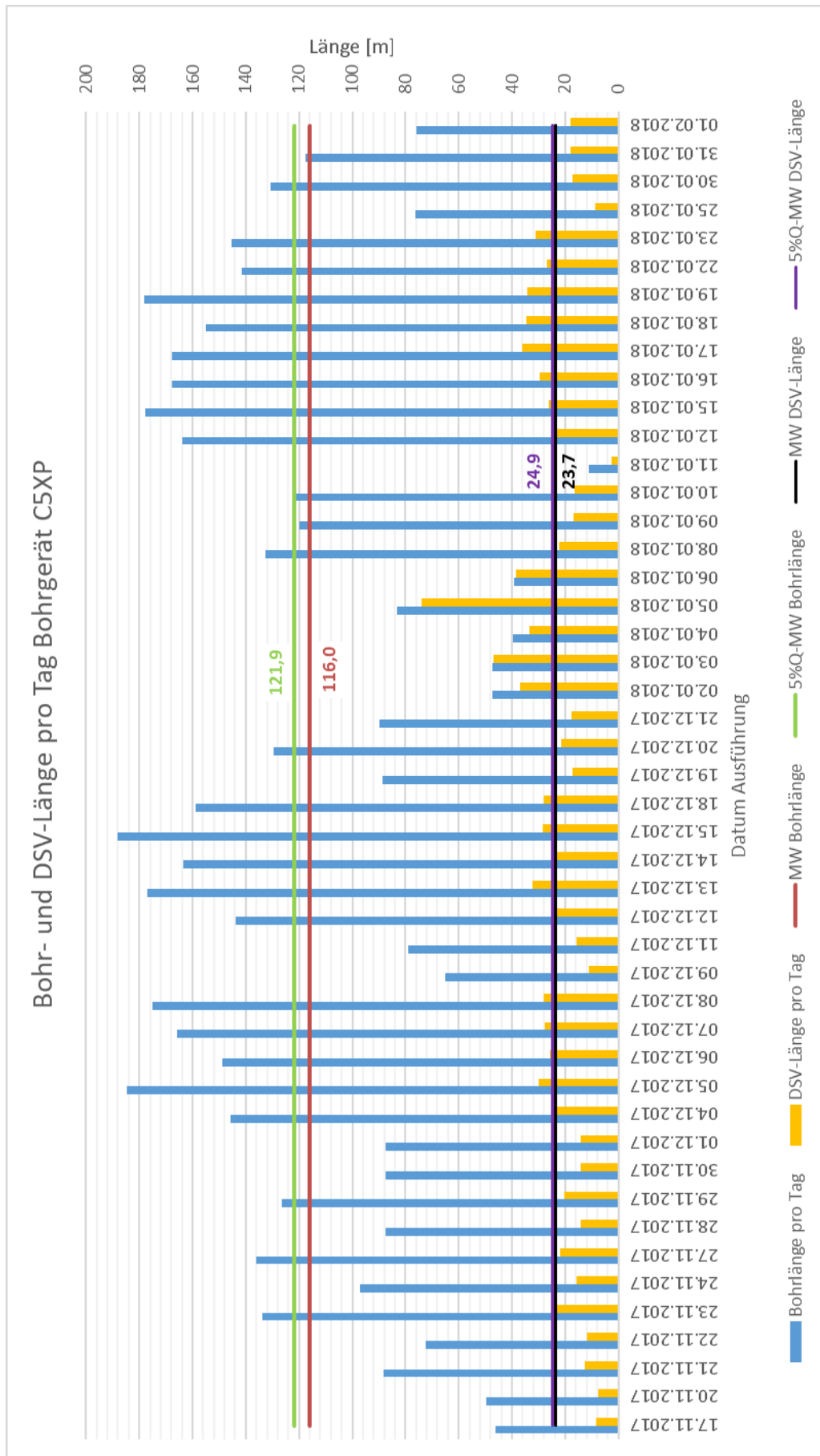


Abb. 8.1: Bohr- und DSV-Längen pro Tag mit Bohrgerät C5XP bei Projekt A

Zusammenfassung Bohrgerät MC15P								
Tag	prod. Arbeitszeit	Vorbereitungszeit	Nachbearbeitungszeit	Summe prod. Arbeitszeit	Arbeitszeit laut BTB	Produktivität	Bohrlänge pro Tag	DSV-Länge pro Tag
[Datum]	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]	[%]	[m]	[m]
29.11.2017	04:48:00	00:20:00	00:30:00	05:38:00	11:00:00	51,2%	83,6	15,7
01.12.2017	05:18:34	00:20:00	00:30:00	06:08:34	11:00:00	55,8%	66,6	18,6
05.12.2017	04:40:31	00:20:00	00:30:00	05:30:31	11:00:00	50,1%	82,2	77,5
06.12.2017	06:02:54	00:20:00	00:30:00	06:52:54	11:00:00	62,6%	105,9	99,6
07.12.2017	05:38:40	00:20:00	00:30:00	06:28:40	11:00:00	58,9%	94,0	93,1
08.12.2017	03:22:06	00:20:00	00:30:00	04:12:06	11:00:00	38,2%	58,8	54,8
09.12.2017	02:34:14	00:20:00	00:30:00	03:24:14	05:00:00	68,1%	35,2	34,9
11.12.2017	06:41:00	00:20:00	00:30:00	07:31:00	11:00:00	68,3%	95,4	94,1
12.12.2017	05:34:33	00:20:00	00:30:00	06:24:33	11:00:00	58,3%	77,1	76,1
13.12.2017	06:00:07	00:20:00	00:30:00	06:50:07	11:00:00	62,1%	68,3	67,4
14.12.2017	04:42:20	00:20:00	00:30:00	05:32:20	11:00:00	50,4%	54,7	44,5
15.12.2017	04:38:01	00:20:00	00:30:00	05:28:01	11:00:00	49,7%	47,7	47,0
18.12.2017	06:06:37	00:20:00	00:30:00	06:56:37	11:00:00	63,1%	69,6	48,2
19.12.2017	04:01:42	00:20:00	00:30:00	04:51:42	08:00:00	60,8%	35,8	35,3
20.12.2017	06:27:45	00:20:00	00:30:00	07:17:45	09:00:00	81,1%	59,8	47,3
21.12.2017	03:08:08	00:20:00	00:30:00	03:58:08	05:30:00	72,2%	23,9	23,6
02.01.2018	07:00:55	00:20:00	00:30:00	07:50:55	11:00:00	71,4%	82,7	59,0
03.01.2018	09:31:31	00:20:00	00:30:00	10:21:31	11:00:00	94,2%	89,3	75,5
04.01.2018	08:09:34	00:20:00	00:30:00	08:59:34	11:00:00	81,8%	113,1	64,7
05.01.2018	07:56:21	00:20:00	00:30:00	08:46:21	11:00:00	79,8%	82,7	74,0
06.01.2018	03:12:15	00:20:00	00:30:00	04:02:15	06:00:00	67,3%	51,2	20,4
08.01.2018	05:32:59	00:20:00	00:30:00	06:22:59	11:00:00	58,0%	80,2	47,4
09.01.2018	08:45:13	00:20:00	00:30:00	09:35:13	11:00:00	87,2%	185,0	23,3
10.01.2018	07:44:17	00:20:00	00:30:00	08:34:17	11:00:00	77,9%	163,7	20,4
					Minimum:	38,2%	23,9	15,7
					Maximum:	94,2%	185,0	99,6
					Mittelwert:	65,3%	79,4	52,6
					Standardabweichung:	13,2%	36,1	25,2
					Median:	62,8%	78,7	47,8
					5% Quantil:	49,8%	35,3	18,9
					Mittelwert (5% Quantil):	67,3%	84,0	55,8

Tab. 8.6: Zusammenfassung Bohrgerät MC15P

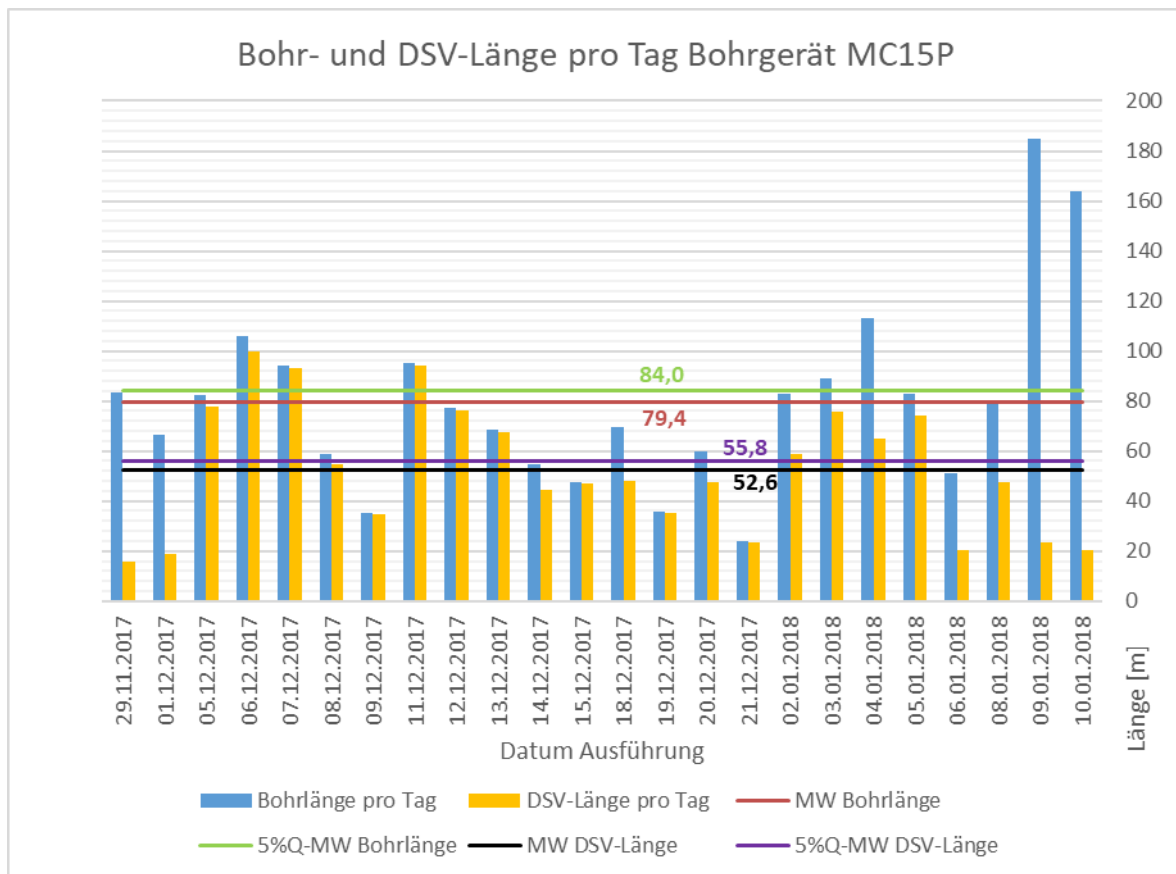


Abb. 8.2: Bohr- und DSV-Längen pro Tag mit Bohrgerät MC15P bei Projekt A

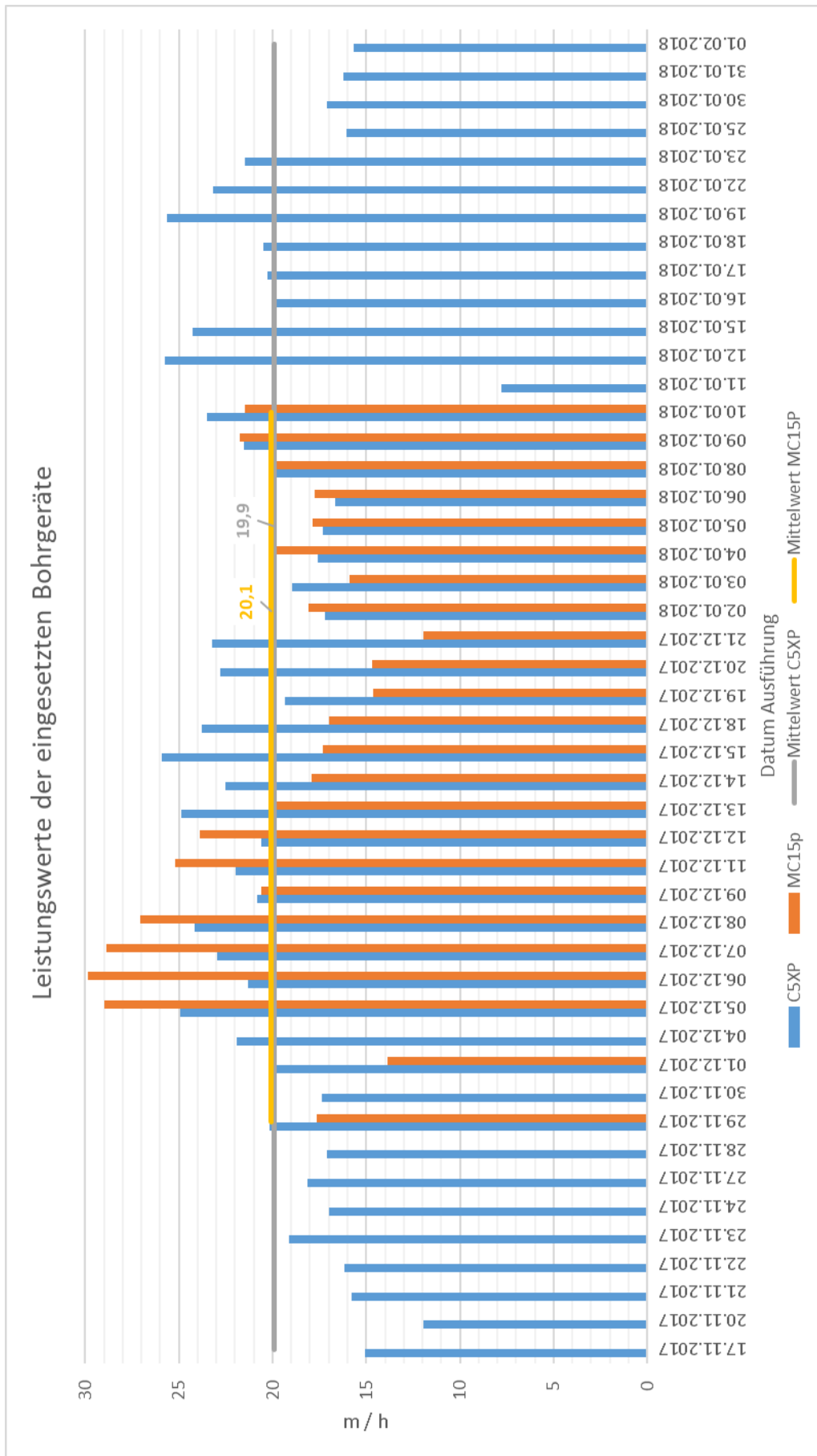


Abb. 8.3: Leistungswerte der Bohrgerät bei Projekt A

8.2.2 Auswertungsübersicht Aufwandswerte

Sohlsäulen DN200	Bohrdauer / m	Jetdauer / m	Umsetzzeit / Pkt	Warte-, Haltezeit / Pkt
	[min]	[min]	[min]	[min]
Bohrgerät:	C5XP			
Mittelwert:	1,12	6,89	10,77	1,88
Standardabweichung:	0,91	1,16	16,83	11,22
Median:	0,85	6,79	6,16	0,35
95%-Quantil:	2,46	8,21	26,92	5,28
Mittelwert (95%-Quantil):	0,96	6,72	7,87	0,63
80%Quantil:	1,33	7,14	11,25	1,00
Mittelwert (80%-Quantil):	0,82	6,57	6,05	0,35
Bohrgerät:	MC15P			
Mittelwert:	1,12	7,07	11,22	7,01
Standardabweichung:	0,59	0,40	8,39	9,92
Median:	0,94	6,96	8,43	3,55
95%-Quantil:	2,25	7,87	31,06	23,52
Mittelwert (95%-Quantil):	1,02	7,01	9,61	4,75
80%Quantil:	1,54	7,33	13,28	8,57
Mittelwert (80%-Quantil):	0,85	6,91	7,77	3,45
Bohrgerät:	SM21			
Mittelwert:	1,73	7,82	16,91	1,65
Standardabweichung:	0,97	0,75	11,05	1,49
Median:	1,41	7,86	11,76	1,12
95%-Quantil:	3,46	8,85	35,83	4,11
Mittelwert (95%-Quantil):	1,46	7,71	13,29	1,32
80%Quantil:	2,06	8,43	22,50	2,87
Mittelwert (80%-Quantil):	1,25	7,49	11,51	0,89
Bohrgerät:	gemischt			
Mittelwert:	1,13	6,92	10,90	2,26
Standardabweichung:	0,89	1,12	16,30	11,10
Median:	0,86	6,81	6,45	0,40
95%-Quantil:	2,47	8,42	27,29	7,37
Mittelwert (95%-Quantil):	0,98	6,76	8,07	0,88
80%Quantil:	1,35	7,18	12,16	1,43
Mittelwert (80%-Quantil):	0,83	6,61	6,24	0,42

Tab. 8.7: Zusammenfassung Aufwandswerte Sohlsäulen DN200

Zwickel DN110	Bohrdauer / m	Jetdauer / m	Umsetzzeit / Pkt	Warte-, Haltezeit / Pkt
	[min]	[min]	[min]	[min]
Bohrgerät:	C5XP			
Mittelwert:	1,85	7,14	8,85	9,64
Standardabweichung:	1,34	7,38	10,57	14,38
Median:	1,57	3,93	5,73	2,88
95%-Quantil:	3,52	26,34	36,05	32,11
Mittelwert (95%-Quantil):	1,58	5,39	6,11	6,48
80%-Quantil:	2,20	4,70	13,05	14,99
Mittelwert (80%-Quantil):	1,37	3,85	4,54	3,86

Bohrgerät:	MC15P			
Mittelwert:	1,76	3,92	17,03	10,75
Standardabweichung:	1,37	0,41	25,22	9,90
Median:	1,52	3,87	7,55	7,37
95%-Quantil:	3,85	4,46	72,64	31,18
Mittelwert (95%-Quantil):	1,55	3,86	11,78	9,17
80%-Quantil:	2,47	4,01	19,12	17,62
Mittelwert (80%-Quantil):	1,24	3,80	6,24	6,47

Bohrgerät:	gemischt			
Mittelwert:	1,79	4,78	14,77	10,44
Standardabweichung:	1,36	4,09	22,47	11,32
Median:	1,54	3,88	7,37	6,92
95%-Quantil:	3,83	5,83	66,24	31,33
Mittelwert (95%-Quantil):	1,56	3,90	10,25	8,43
80%-Quantil:	2,39	4,07	15,60	15,98
Mittelwert (80%-Quantil):	1,28	3,81	5,70	5,86

Tab. 8.8: Zusammenfassung Aufwandswerte Zwickel DN110

Zwickel DN60	Bohrdauer / m	Jetdauer / m	Umsetzzeit / Pkt	Warte-, Haltezeit / Pkt
	[min]	[min]	[min]	[min]
Bohrgerät:	MC15P			
Mittelwert:	1,33	1,52	16,79	8,39
Standardabweichung:	0,46	0,20	27,23	11,78
Median:	1,23	1,46	8,51	4,37
95%-Quantil:	2,15	1,69	50,20	30,02
Mittelwert (95%-Quantil):	1,25	1,48	11,11	5,62
80%-Quantil:	1,64	1,53	14,04	7,50
Mittelwert (80%-Quantil):	1,15	1,46	7,29	4,14

Tab. 8.9: Zusammenfassung Aufwandswerte Zwickel DN60

8.3 Daten Projekt B

8.3.1 Auswertungsübersicht Aufwandswerte

Zwickel DN80	Bohrdauer / m	Jetdauer / m	Umsetzzeit / Pkt	Warte-, Haltezeit / Pkt
	[min]	[min]	[min]	[min]
Bohrgerät:	C5XP			
Mittelwert:	0,82	1,21	1,47	2,80
Standardabweichung:	0,51	0,17	0,80	3,34
Median:	0,81	1,20	1,53	1,50
95%-Quantil:	1,70	1,47	2,68	9,96
Mittelwert (95%-Quantil):	0,71	1,18	1,36	2,13
80%Quantil:	1,11	1,33	2,18	4,06
Mittelwert (80%-Quantil):	0,59	1,15	1,14	1,14

Zwickel DN120	Bohrdauer / m	Jetdauer / m	Umsetzzeit / Pkt	Warte-, Haltezeit / Pkt
	[min]	[min]	[min]	[min]
Bohrgerät:	C5XP & MC15P			
Mittelwert:	2,14	4,30	30,78	12,77
Standardabweichung:	1,82	1,23	25,80	16,50
Median:	1,67	4,15	21,62	5,85
95%-Quantil:	4,84	6,30	77,25	41,95
Mittelwert (95%-Quantil):	1,74	4,10	25,42	9,10
80%Quantil:	3,02	5,03	45,42	15,52
Mittelwert (80%-Quantil):	1,43	3,84	19,47	5,70

Zwickel DN140	Bohrdauer / m	Jetdauer / m	Umsetzzeit / Pkt	Warte-, Haltezeit / Pkt
	[min]	[min]	[min]	[min]
Bohrgerät:	C5XP & MC15P			
Mittelwert:	2,09	2,12	16,42	7,90
Standardabweichung:	0,98	2,04	17,52	13,14
Median:	1,82	1,46	11,39	2,73
95%-Quantil:	3,92	6,89	47,46	25,10
Mittelwert (95%-Quantil):	1,97	1,69	13,02	5,11
80%Quantil:	3,11	2,11	28,17	11,08
Mittelwert (80%-Quantil):	1,67	1,41	9,19	3,15

Tab. 8.10: Zusammenfassung Aufwandswerte Projekt B Teil 1

Zwickel DN150	Bohrdauer / m [min]	Jetdauer / m [min]	Umsetzzeit / Pkt [min]	Warte- Haltezeit / Pkt [min]
	[min]	[min]	[min]	[min]
Bohrgerät:	C5XP & MC15P			
Mittelwert:	1,60	6,04	17,52	13,40
Standardabweichung:	1,21	1,66	21,96	17,86
Median:	1,17	5,89	7,33	6,87
95%-Quantil:	3,24	8,88	64,20	56,20
Mittelwert (95%-Quantil):	1,32	5,78	12,14	9,64
80%Quantil:	2,02	7,13	29,38	14,17
Mittelwert (80%-Quantil):	1,15	5,45	8,09	5,71

Zwickel DN160	Bohrdauer / m [min]	Jetdauer / m [min]	Umsetzzeit / Pkt [min]	Warte- Haltezeit / Pkt [min]
	[min]	[min]	[min]	[min]
Bohrgerät:	C5XP & MC15P			
Mittelwert:	1,95	3,51	11,43	6,24
Standardabweichung:	1,15	2,24	13,97	10,18
Median:	1,56	2,50	6,90	1,70
95%-Quantil:	3,89	7,84	38,22	24,84
Mittelwert (95%-Quantil):	1,71	3,09	7,68	3,54
80%Quantil:	2,58	5,32	16,52	8,37
Mittelwert (80%-Quantil):	1,46	2,52	4,76	2,42

Gemsicht	Bohrdauer / m [min]	Jetdauer / m [min]	Umsetzzeit / Pkt [min]	Warte- Haltezeit / Pkt [min]
	[min]	[min]	[min]	[min]
Bohrgerät:	C5XP & MC15P			
Mittelwert:	1,87	3,66	17,54	9,69
Standardabweichung:	1,36	2,35	21,31	14,77
Median:	1,54	3,39	7,92	4,79
95%-Quantil:	4,18	7,89	62,00	44,53
Mittelwert (95%-Quantil):	1,64	3,36	13,96	6,79
80%Quantil:	2,35	5,55	28,91	12,39
Mittelwert (80%-Quantil):	1,34	2,73	8,80	4,04

Tab. 8.11: Zusammenfassung Aufwandswerte Projekt B Teil 2

8.3.2 Zusätzliche Darstellungen Aufwandswerte

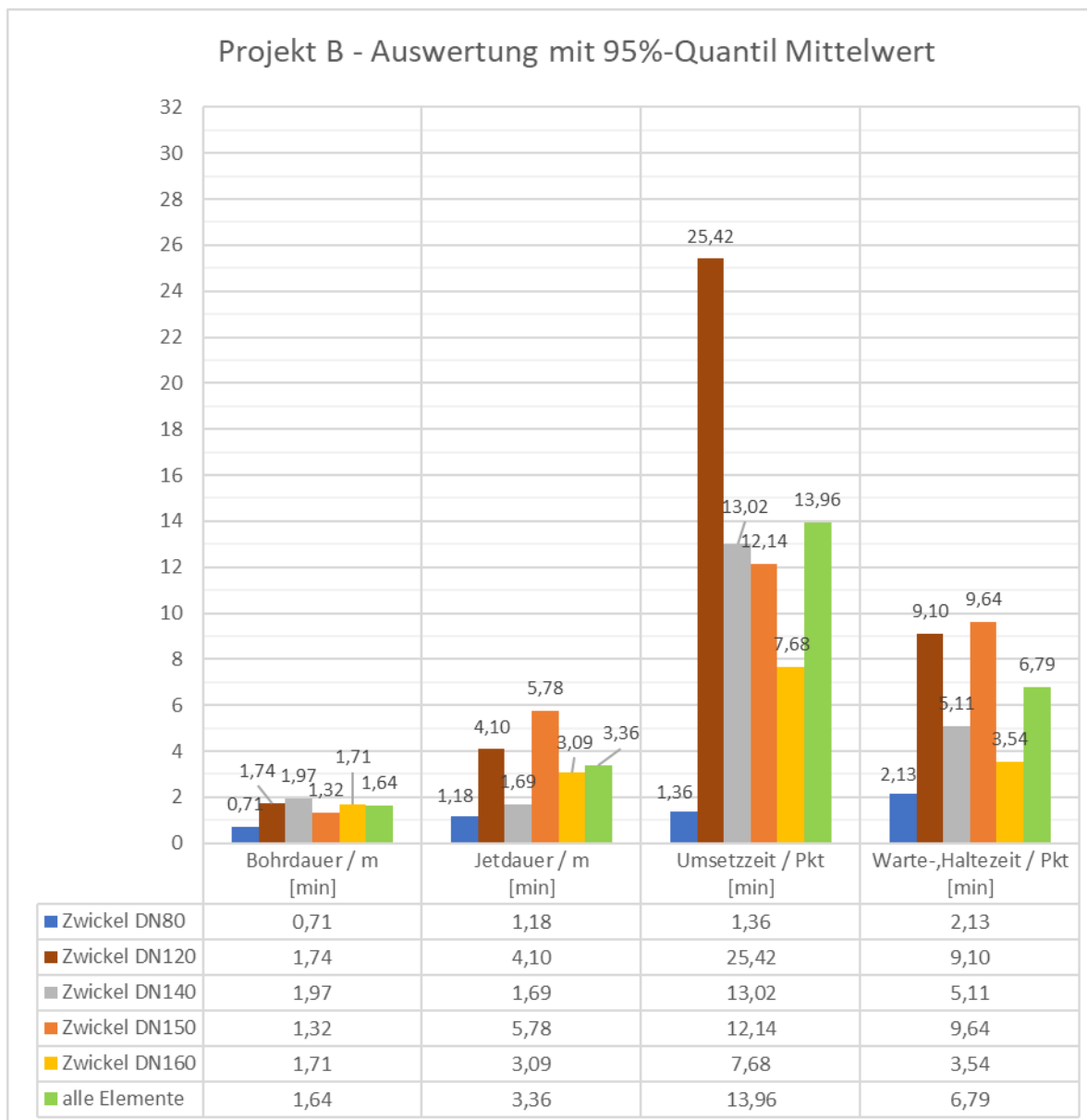


Abb. 8.4: Aufwandswerte DSV-Zwickel Projekt B, dargestellt mit 95%-Quantil Mittelwert

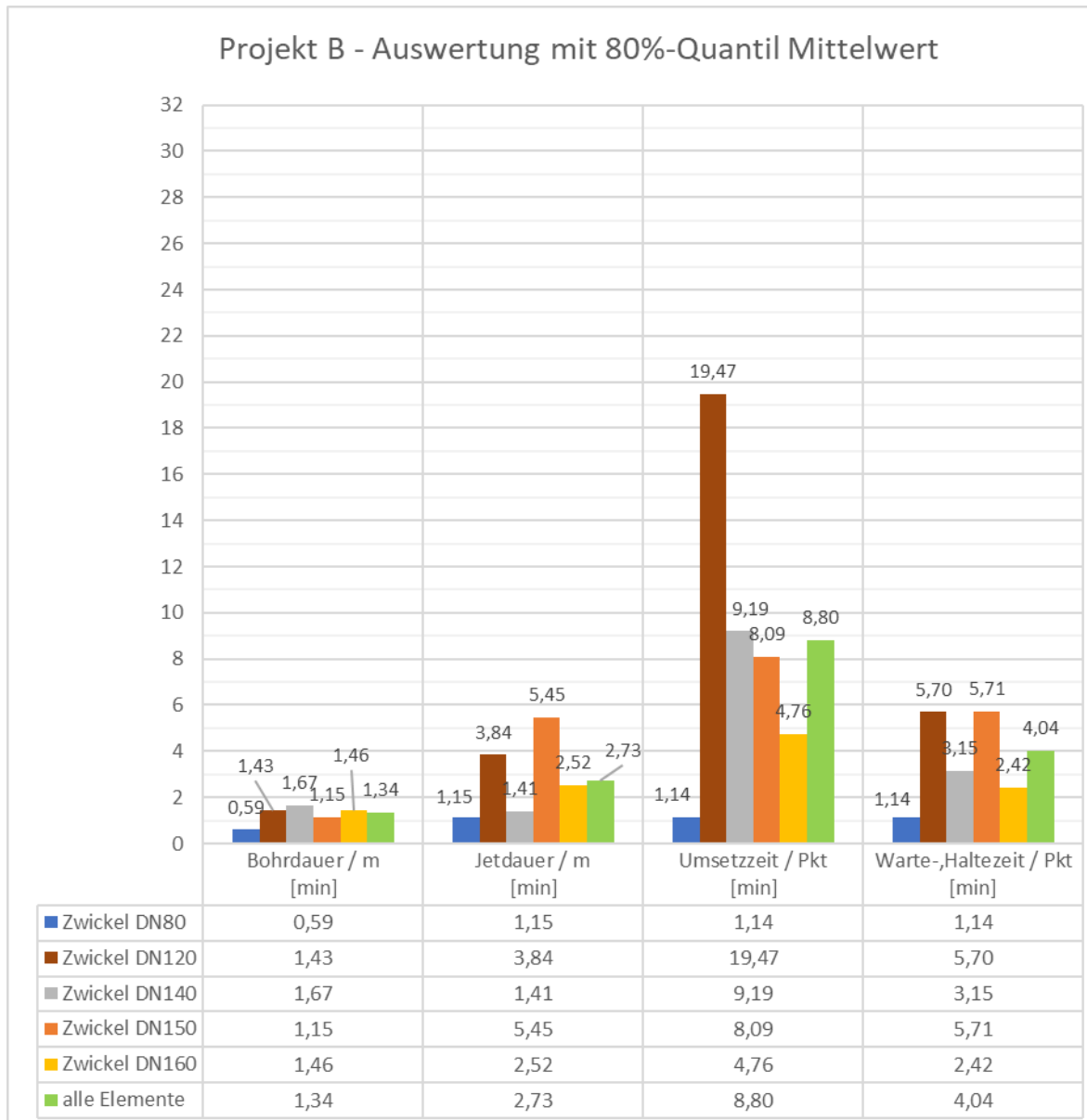


Abb. 8.5: Aufwandswerte DSV-Zwickel Projekt B, dargestellt mit 80%-Quantil Mittelwert

8.4 Gegenüberstellung Ausführungs- zu Dokumentationszeit

8.4.1 Eingangsdaten für einfache Gegenüberstellung

Sohlsäule DN200, Bohrgerät C5XP					
Stk./Tag	Zeiten			prozentuelle Verteilung	
	Dokumentation	Ausführung	Gesamt	Dok.	Ausf.
[Stk]	[min]	[min]	[min]	[%]	[%]
1	18,9	30,7	49,6	38,0%	62,0%
5	37,5	153,7	191,3	19,6%	80,4%
10	60,8	307,5	368,3	16,5%	83,5%
15	84,1	461,2	545,3	15,4%	84,6%

Zwikel DN110, Bohrgerät MC15P					
Stk./Tag	Zeiten			prozentuelle Verteilung	
	Dokumentation	Ausführung	Gesamt	Dok.	Ausf.
[Stk]	[min]	[min]	[min]	[%]	[%]
1	18,9	81,9	100,8	18,7%	81,3%
5	37,5	409,6	447,1	8,4%	91,6%
10	60,8	819,2	880,0	6,9%	93,1%
15	84,1	1228,8	1312,9	6,4%	93,6%

Zwikel DN60, Bohrgerät MC15P					
Stk./Tag	Zeiten			prozentuelle Verteilung	
	Dokumentation	Ausführung	Gesamt	Dok.	Ausf.
[Stk]	[min]	[min]	[min]	[%]	[%]
1	18,9	48,1	67,0	28,2%	71,8%
5	37,5	240,5	278,0	13,5%	86,5%
10	60,8	480,9	541,7	11,2%	88,8%
15	84,1	721,4	805,5	10,4%	89,6%

Tab. 8.12: Eingangsdaten für Gegenüberstellung

8.4.2 Gegenüberstellung mit Personaleinsatzzeit

Sohlsäule DN200, Bohrgerät C5XP, für Vergleich mit Personaleinsatzzeit					
Stk./Tag	Personaleinsatzzeit			prozentuelle Verteilung	
	Dokumentation	Ausführung	Gesamt	Dok.	Ausf.
[Stk]	[min]	[min]	[min]	[%]	[%]
1	18,9	92,2	111,1	17,0%	83,0%
5	37,5	461,2	498,7	7,5%	92,5%
10	60,8	922,5	983,3	6,2%	93,8%
15	84,1	1383,7	1467,8	5,7%	94,3%

Zwickel DN110, Bohrgerät MC15P, für Vergleich mit Personaleinsatzzeit					
Stk./Tag	Personaleinsatzzeit			prozentuelle Verteilung	
	Dokumentation	Ausführung	Gesamt	Dok.	Ausf.
[Stk]	[min]	[min]	[min]	[%]	[%]
1	18,9	245,8	264,7	7,1%	92,9%
5	37,5	1228,8	1266,4	3,0%	97,0%
10	60,8	2457,7	2518,5	2,4%	97,6%
15	84,1	3686,5	3770,6	2,2%	97,8%

Zwickel DN60, Bohrgerät MC15P, für Vergleich mit Personaleinsatzzeit					
Stk./Tag	Personaleinsatzzeit			prozentuelle Verteilung	
	Dokumentation	Ausführung	Gesamt	Dok.	Ausf.
[Stk]	[min]	[min]	[min]	[%]	[%]
1	18,9	144,3	163,2	11,6%	88,4%
5	37,5	721,4	758,9	4,9%	95,1%
10	60,8	1442,8	1503,5	4,0%	96,0%
15	84,1	2164,1	2248,2	3,7%	96,3%

Tab. 8.13: Eingangsdaten für Gegenüberstellung mit Personaleinsatzzeit

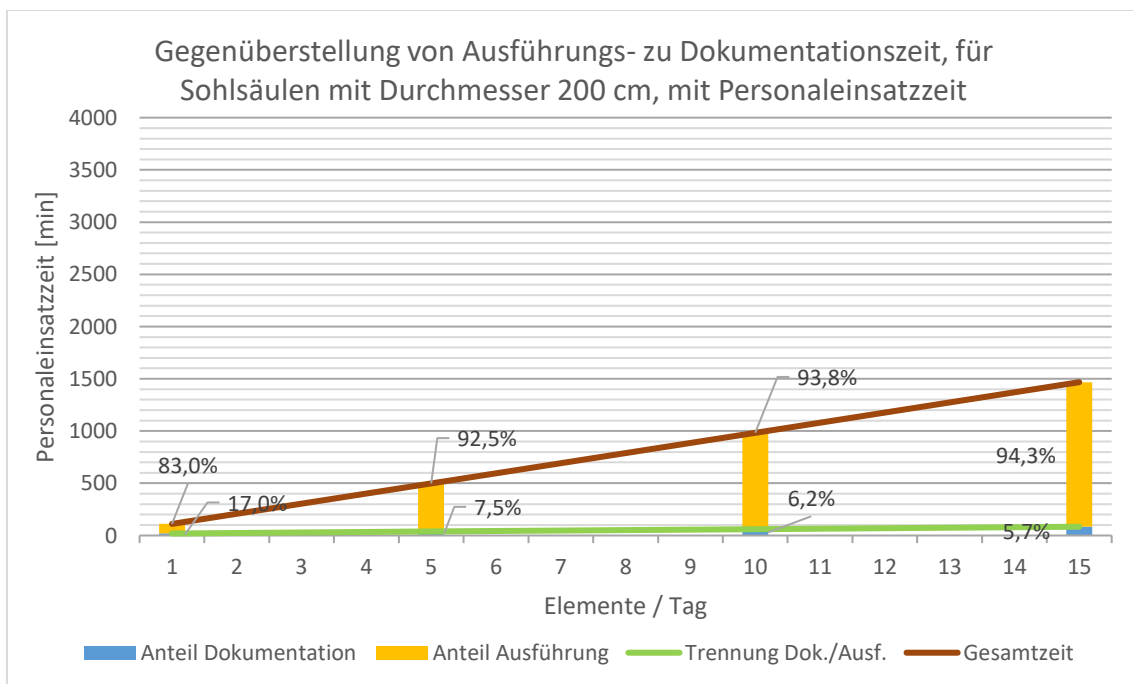


Abb. 8.6: Gegenüberstellung der Personaleinsatzzeiten für Sohlsäulen DN200

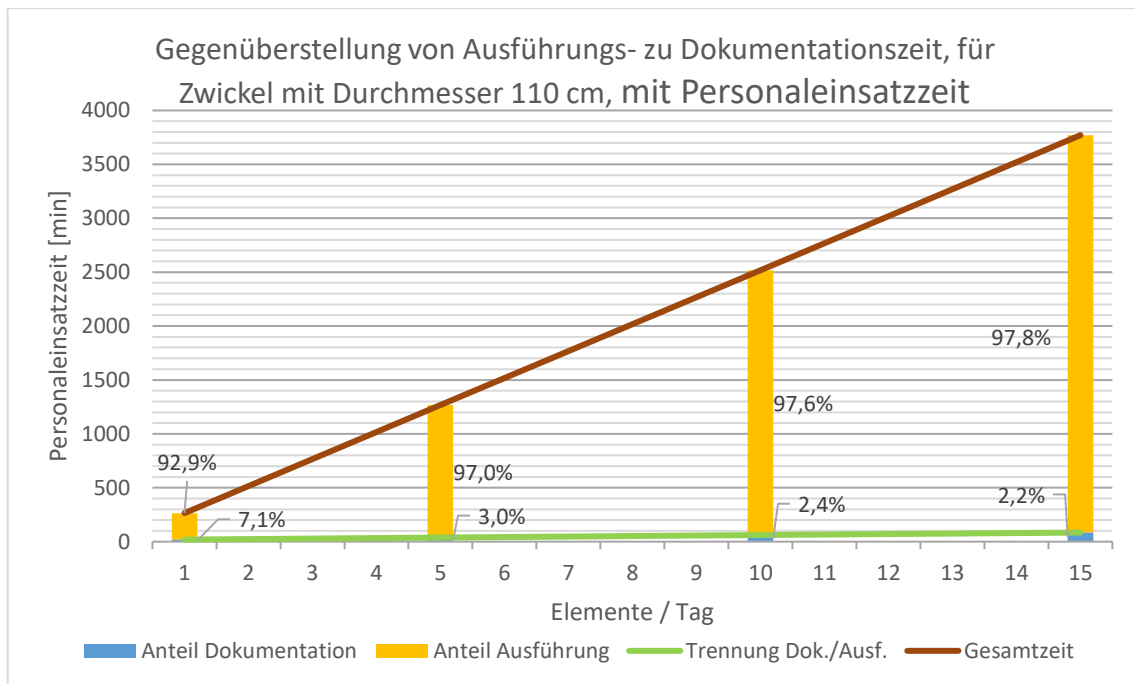


Abb. 8.7: Gegenüberstellung der Personaleinsatzzeiten für Zwickel DN110

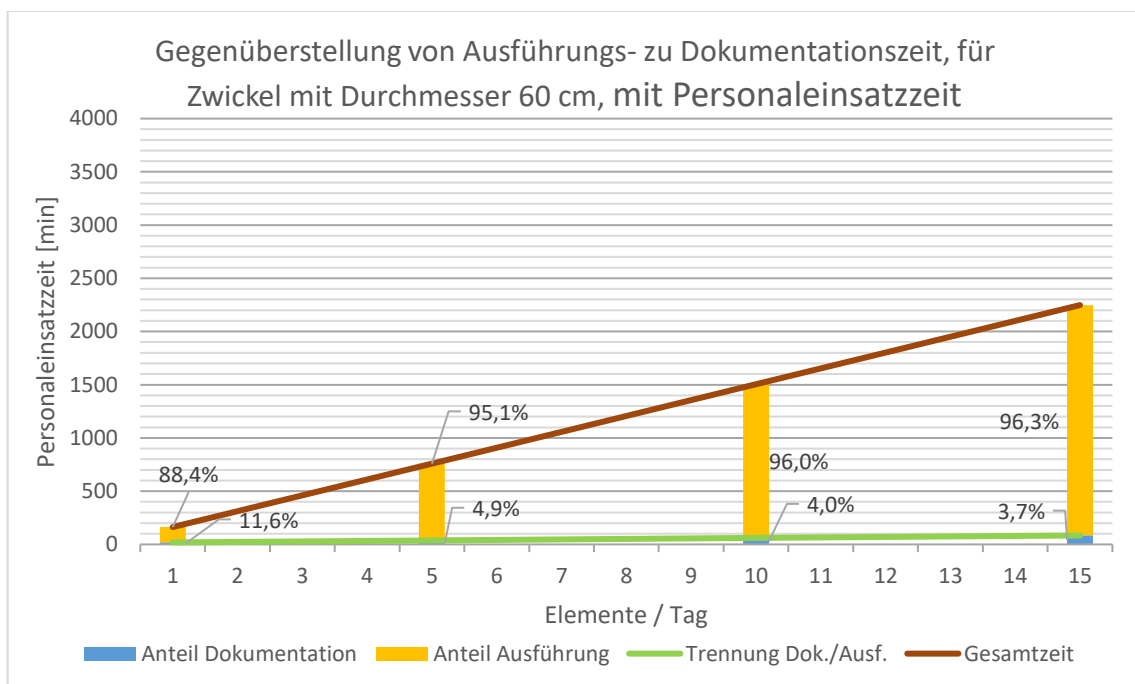


Abb. 8.8: Gegenüberstellung der Personaleinsatzzeiten für Zwickel DN60

8.5 Programmcode¹¹⁶

```

# main
import sys
from pdfminer.pdfdocument import PDFDocument
from pdfminer.pdfparser import PDFParser
from pdfminer.pdfinterp import PDFResourceManager, PDFPageInterpreter
from pdfminer.pdfdevice import PDFDevice, TagExtractor
from pdfminer.pdfpage import PDFPage
from pdfminer.converter import XMLConverter, HTMLConverter, TextConverter
from pdfminer.cmapdb import CMapDB
from pdfminer.layout import LAParams
from pdfminer.image import ImageWriter

def main(argv):
    import getopt
    def usage():
        print ('usage: %s [-d] [-p pagenos] [-m maxpages] [-P password] [-o output]'
              ' [-C] [-n] [-A] [-V] [-M char_margin] [-L line_margin] [-W word_margin]'
              ' [-F boxes_flow] [-Y layout_mode] [-O output_dir] [-R rotation] [-S]'
              ' [-t text|html|xml|tag] [-c codec] [-s scale]'
              ' file ...' % argv[0])
    return 100
    try:
        (opts, args) = getopt.getopt(argv[1:], 'dp:m:P:o:CnAVM:L:W:F:Y:O:R:St:c:s:')
    except getopt.GetoptError:
        return usage()
    if not args: return usage()
    # debug option
    debug = 0
    # input option
    password = ''
    pagenos = set()
    maxpages = 0
    # output option
    outfile = None
    outtype = None
    imagewriter = None
    rotation = 0
    stripcontrol = False
    layoutmode = 'normal'
    codec = 'utf-8'
    pageno = 1
    scale = 1
    caching = True
    showpageno = True
    laparams = LAParams()
    for (k, v) in opts:
        if k == '-d': debug += 1
        elif k == '-p': pagenos.update( int(x)-1 for x in v.split(',') )
        elif k == '-m': maxpages = int(v)
        elif k == '-P': password = v
        elif k == '-o': outfile = v
        elif k == '-C': caching = False
        elif k == '-n': laparams = None
        elif k == '-A': laparams.all_texts = True
        elif k == '-V': laparams.detect_vertical = True
        elif k == '-M': laparams.char_margin = float(v)
        elif k == '-L': laparams.line_margin = float(v)
        elif k == '-W': laparams.word_margin = float(v)
        elif k == '-F': laparams.boxes_flow = float(v)
        elif k == '-Y': layoutmode = v
        elif k == '-O': imagewriter = ImageWriter(v)
        elif k == '-R': rotation = int(v)
        elif k == '-S': stripcontrol = True
        elif k == '-t': outtype = v
        elif k == '-c': codec = v
        elif k == '-s': scale = float(v)
    #
    PDFDocument.debug = debug
    PDFParser.debug = debug
    CMapDB.debug = debug
    PDFPageInterpreter.debug = debug
    #

```

¹¹⁶ Adaptiert, Quelle: [30] GitHub Inc.

```

rsrcmgr = PDFResourceManager(caching=caching)
if not outtype:
    outtype = 'text'
    if outfile:
        if outfile.endswith('.htm') or outfile.endswith('.html'):
            outtype = 'html'
        elif outfile.endswith('.xml'):
            outtype = 'xml'
        elif outfile.endswith('.tag'):
            outtype = 'tag'
    if outfile:
        outfp = file(outfile, 'w')
    else:
        outfp = sys.stdout
    if outtype == 'text':
        device = TextConverter(rsrcmgr, outfp, codec=codec, laparams=laparams,
                               imagewriter=imagewriter)
    elif outtype == 'xml':
        device = XMLConverter(rsrcmgr, outfp, codec=codec, laparams=laparams,
                              imagewriter=imagewriter,
                              stripcontrol=stripcontrol)
    elif outtype == 'html':
        device = HTMLConverter(rsrcmgr, outfp, codec=codec, scale=scale,
                               layoutmode=layoutmode, laparams=laparams,
                               imagewriter=imagewriter, debug=debug)
    elif outtype == 'tag':
        device = TagExtractor(rsrcmgr, outfp, codec=codec)
    else:
        return usage()
    for fname in args:
        fp = file(fname, 'rb')
        interpreter = PDFPageInterpreter(rsrcmgr, device)
        for page in PDFPage.get_pages(fp, pagenos,
                                      maxpages=maxpages, password=password,
                                      caching=caching, check_extractable=True):
            page.rotate = (page.rotate+rotation) % 360
            interpreter.process_page(page)
        fp.close()
    device.close()
    outfp.close()

####
with open(outfile) as convert:
    lines = convert.readlines()

values = ['Saule;Datum;Anfang;Ende;Bohrtiefe;Duessstrecke'+'\n']
i=0
while i<len(lines):
    # found a section
    #print(lines[i])
    if lines[i].strip().startswith('Datum'):
        datum = lines[i].split(':')[1].strip()
        anfang = lines[i+1].split(':',1)[1].strip()
        ende = lines[i + 2].split(':',1)[1].strip()
        j=0
        bohrtiefe=''
        duesstrecke=''
        saule=''
        while j<200 and i+j<len(lines):
            if lines[i+j].strip().startswith('Bohrtiefe'):
                bohrtiefe = lines[i + j].split(':')[1].split('-')[1].strip()
            if lines[i + j].strip().find('sstrecke')>0:
                duesstrecke = lines[i + j].split(':')[1].strip()
            if lines[i + j].strip().startswith('HDI-S'):
                saule = lines[i + j].split(' ')[1].strip()
            j=j+1
        values.append(saule+";"+datum+";"+anfang+";"+ende+";"+bohrtiefe+";
"+duessstrecke+"\n")
        i=i+29
    i=i+1
print(values)
with open(outfile.replace('txt','csv'),'w') as csv:
    csv.writelines(values)

####
return

if __name__ == '__main__': sys.exit(main(sys.argv))

```