

Diplomarbeit

Abrasivität von Lockergestein: Gegenüberstellung von Labor- und Baustellenmessungen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grads

Diplom-Ingenieur

eingereicht an der TU Wien, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwesen

Diploma Thesis

Abrasiveness of soil material: Comparison of laboratory and site measurements

submitted in satisfaction of the requirements for the degree

Diplom-Ingenieur

of the TU Wien, Faculty of Civil and Environmental Engineering

Fabian Wimmer, BSc

Matr.Nr.: 11802379

Betreuung: Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Dietmar Adam**
Dipl.-Ing. Dr.techn. **Roman Markiewicz**
Institut für Geotechnik
Forschungsbereich für Grundbau, Boden- und Felsmechanik
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/220-02, 1040 Wien, Österreich

Wien, im November 2023

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Allen bedanken, die mir beim Erstellen dieser Arbeit zur Seite gestanden sind.

Allen voran bedanke ich mich bei meiner Ehefrau Katharina, ohne die ich mein Studium nicht begonnen hätte. Sie hat mich immer unterstützt und motiviert.

Ganz besonders möchte ich mich bei Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dietmar Adam, sowie bei meinem Betreuer Dipl.-Ing. Dr.techn. Roman Markiewicz bedanken. Durch meine Anstellung als studentischer Mitarbeiter bei Prof. Adam bekam ich die Chance dieses Thema zu bearbeiten. Roman hat mich intensiv betreut und meine Arbeit tatkräftig unterstützt.

Ich bedanke mich auch bei den Mitarbeitern vom Labor, die mich bei den Versuchen unterstützt haben.

Speziellen Dank gilt auch den Mitarbeitern der Porr GmbH, insbesondere Herrn Benjamin Stiendl; er hat mich auf der Baustelle stets unterstützt und am Laufenden gehalten.

Meinen Eltern danke ich für deren offenes Ohr und deren guten Ratschläge.

Kurzfassung

Die Arbeit befasst sich mit den Verschleißeigenschaften von nichtbindigen Böden bei der Bohrpfahlherstellung, insbesondere im Zusammenhang mit dem Schneckenendlos-Ortbeton-Bohrpfahlverfahren (SOB-Verfahren) und dem abrasiven Verschleiß bei der Pfahlherstellung. Verschiedene Methoden zur Bewertung der Abrasivität werden erläutert, wobei der Fokus auf dem Werkzeugverschleiß bei mechanischen Löseprozessen liegt. Das Projekt „Stadtstraße“ in Wien dient als Fallstudie, um den Verschleiß auf der Baustelle mit Kennwerten aus dem Labor zu vergleichen.

Die Verschleißdokumentation auf der Baustelle wird beschrieben, wobei Messungen an Meißeln und Anfängern durchgeführt werden. Pfahldaten werden erfasst und ausgewertet, um die ausgeführten Bohrmeter in verschiedenen Bodenschichten zu bestimmen. Laborversuche mit dem Wiener Abrasimeter werden durchgeführt, um die Abrasivität des Baugrundes zu bewerten.

Die Auswertung der Daten zeigt, dass bei der Bohrschnecke der Meißelverschleiß von innen nach außen zunimmt und der verwendete Anfänger sowie der Einsatzort signifikante Auswirkungen haben. Die Wendelanalyse ergibt, dass die Primärwendel einen höheren Verschleiß aufweist als die Sekundärwendel. Die Bodenarten beeinflussen den Verschleiß ebenfalls.

Die Verschleißdokumentation auf der Baustelle hat unter anderem ergeben, dass der Meißelverschleiß etwa 12,1 g/km (bei Betrachtung aller Meißel) und die Wendeldickenreduzierung der Anfänger etwa 0,24 bis 0,34 mm/1000 Bohrmeter beträgt. Die Labormessungen mit dem Wiener Abrasimeter haben im Mittel einen AIW_{tr} von 65 und einen AIW_{nass} von 206 ergeben.

Zukünftige Untersuchungen sollten verschiedene Bodenarten, mehr Daten und verschiedene Werkzeuge in Betracht ziehen. Die Protokollierung auf der Baustelle erfordert Sorgfalt und Einheitlichkeit. Mehr solche Untersuchungen sind notwendig, um eine mögliche Prognose des Verschleißes anhand von Labordaten zu entwickeln.

Abstract

The work focuses on the wear characteristics of non-cohesive soils in drilled pile construction, particularly in relation to the Continuous Flight Auger (CFA) piling method and abrasive wear. Different methods for the evaluation of abrasiveness are explained, with a focus on tool wear in mechanical detachment processes. The „Stadtstraße“ project in Vienna serves as a case study to compare wear on site with characteristic values from the laboratory.

The documentation of wear on the construction site is described, including measurements on chisels and augers. Pile data are collected and evaluated to determine the metres drilled in different soil layers. Laboratory experiments are conducted using the „Wiener Abrasimeter“ to assess the abrasivity of loose rock.

The data analysis for the auger shows, that chisel wear increases from the inside to the outside, and the choice of auger and drilling location have significant effects. The analysis of auger wear shows that primary augers experience higher wear than secondary augers. The soil types also influence wear.

The wear documentation on the construction site has shown, among others that the chisel wear is about 12.1 g/km (considering all chisels) and a reduction in auger thickness from about 0.24 to 0.34 mm/1000 drilling meters. The laboratory measurements with the „Wiener Abrasimeter“ showed an average AIW_{tr} of 65 and an AIW_{nass} of 206.

Future investigations should consider different soil types, collect more data, and explore various tools. Logging on the construction site requires diligence and consistency. Further studies are necessary to develop a potential predictive model for wear based on laboratory data.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	11
1.1	Themenbereich und Relevanz	11
1.2	Normen-, Wissens- und Forschungsstand	12
1.2.1	Normen und Richtlinien	12
1.2.2	Fachliteratur zum Werkzeugverschleiß beim Bohren	13
2	Methoden zur Beurteilung der Abrasivität von Gesteinen	15
2.1	Definition Abrasivverschleiß und Werkzeugverschleiß	15
2.1.1	Abrasivverschleiß	15
2.1.2	Werkzeugverschleiß	16
2.2	Laborkennwerte für die Abrasivität von Lockergestein	17
2.2.1	LCPC-Versuch	18
2.2.2	Wiener Abrasimeterversuch	19
2.3	Methoden der Abrasivitätsbestimmung auf der Baustelle	20
2.4	Forschungsfrage	21
3	Projekt „Stadtstraße“	23
3.1	Gegebenheiten	23
3.1.1	Geologische Situation	24
3.1.2	Spezialtiefbaumethoden	25
3.2	Konzept zur Verschleißdokumentation	25
3.2.1	Allgemeines	25
3.2.2	Gewählte Vorgangsweise	27
4	Verschleißdokumentation auf der Baustelle	29
4.1	Chronologie	29
4.2	Durchgeführte Messmethoden zur Verschleißdokumentation	32
4.2.1	Verschleißdokumentation der Anfänger	32
4.2.2	Verschleißdokumentation der Meißel	33
4.2.3	Verschleißdokumentation der Wendel	38
4.2.4	Verschleißdokumentation des Piloten	40
4.2.5	Bodenproben	40
4.2.6	Drehflügel am Anfänger 110935	40
4.3	Beobachtungszeiträume	42
4.3.1	Zeitraum 1 - September 2022	42
4.3.2	Zeitraum 2 - Oktober bis November 2022	43
4.3.3	Zeitraum 3 - November 2022 bis Februar 2023	43
5	Pfahldaten	45
5.1	Pfahlprotokolle	45
5.2	Maschinendaten	46
5.3	Schichtgrenzen	48

6	Laborversuche	51
6.1	Wiener Abrasimeterversuch (TU Wien Abrasimeter)	51
6.1.1	Apparatur	51
6.1.2	Vorbereitung	53
6.1.3	Durchführung	53
6.1.4	Auswertung	54
6.2	Versuchsdurchführung mit den entnommenen Bodenproben	55
6.3	Ergebnisse	58
7	Datenauswertung und Interpretation	61
7.1	Tiefenzuordnung der Bodenproben	61
7.2	Vorgehensweise zur Auswertung der Messdaten der Verschleißelemente	67
7.2.1	Meißel	67
7.2.2	Wendel	68
7.2.3	Drehflügel am Anfänger 110935	70
7.2.4	Verknüpfung Baustellendaten mit Labordaten	72
7.3	Ergebnisse	72
7.3.1	Meißel	72
7.3.2	Wendel	80
7.3.3	Drehflügel am Anfänger 110935	86
7.3.4	Verknüpfung Baustellendaten mit Labordaten	86
7.4	Interpretationen von Baustellenpersonal	88
8	Zusammenfassung und Ausblick	89
9	Anhang	101

Kapitel 1

Einleitung

Dieser Abschnitt gibt zunächst eine Einführung in das Themengebiet und die Relevanz der Diplomarbeit. Im Anschluss daran wird eine Übersicht über den aktuellen Stand der Normen, der Forschung und des Wissens gegeben.

1.1 Themenbereich und Relevanz

Diese Arbeit entsteht im Kontext der Forschung an den Verschleißigenschaften nichtbindiger Böden bei der Herstellung von Bohrpfählen. Pfähle können grundsätzlich wie folgt klassifiziert werden:

- nach dem Material (Holz, Stahl, Beton, Stahlbeton, ...)
- nach der Herstellungsart (Verdrängungspfähle, Bohrpfähle, ...)
- nach der statischen Wirkung (Spitzendruckpfähle, Mantelreibungspfähle sowie Kombinationen aus Spitzendruck- und Mantelreibungspfählen)

Pfähle sind schlanke (z.B.: stift- oder säulenförmige) Elemente, deren Zweck vor allem die Abtragung von Lasten in tiefere, meist tragfähigere Bodenschichten ist. [1]

Von den zahlreichen möglichen Herstellungsverfahren für Bohrpfähle ist für diese Arbeit vorrangig das Schneckenendlos-Ortbeton-Bohrpfahl (SOB)-Verfahren von Interesse. Das SOB-Verfahren ist ein Drehbohrverfahren, das eine kontinuierliche Bodenförderung ohne Verrohrung ermöglicht. Hierbei wird eine durchgehende Schnecke zunächst bis zur Endteufe abgebohrt. Dann wird die Schnecke gezogen bei gleichzeitiger Befüllung des entstandenen Hohlraums mit Beton über das zentrale Seelenrohr, anschließend kann optional ein Bewehrungskorb eingebracht werden. Nach dem Aushärten des Pfahls wird der Pfahlkopf erforderlichenfalls abgeschrämmt und die Anschlussbewehrung vorbereitet. [1]

Das Lösen des Bodens durch die Schnecke führt im Kontaktbereich zwischen Bohrwerkzeug und Untergrund meist zu unerwünschtem Materialabtrag am Bohrwerkzeug. Dies wird als Verschleiß bezeichnet. Es gibt viele verschiedene Arten von Verschleiß, wie zum Beispiel: abrasiven Verschleiß, Ermüdungverschleiß und adhäsiven Verschleiß. Bei abrasiven Gesteinen erhöht sich der Verschleiß, was sich negativ auf die Dauer der Arbeiten auswirkt (Erschwernis) beziehungsweise aufgrund des erhöhten Materialbedarfs einen Kostenfaktor darstellt. Fokus dieser Arbeit ist der abrasive Verschleiß. [8, 12]

Bei der Bestimmung der Abrasivität muss zwischen Locker- und Festgestein unterschieden werden. Für Festgestein sind folgende Verfahren gebräuchlich: der CERCHAR-Test (CAI-Index), die petrographisch-geotechnischen Verschleißindizes und der Rock Abrasivity Index (RAI). Für

Lockergestein sind wiederum der LCPC-Versuch (A_{BR} -Index), der NTNU-Abrasion-Test (SAT-Wert) und das Wiener Abrasimeter (AIW-Index) übliche Laborversuche. [2, 7]

Für den Tunnelbau, insbesondere im Festgestein, gibt es (empirische) Formeln auf Basis von Gesteins- beziehungsweise Gebirgsparametern, mit denen zum Beispiel der Werkzeugverschleiß, die Bohrgeschwindigkeit oder der Abrasivverschleiß im Vorfeld abgeschätzt werden können [2, 22]. Der Abrasivverschleiß bezeichnet einen relativ kontinuierlichen mechanischen Verschleiß, der durch die gleitende Bewegung zwischen dem Gestein und dem Werkzeug entsteht [22].

Im Bereich der Lockergesteine ist die Einordnung meist etwas schwieriger, da viele Einflussfaktoren, wie Mineralzusammensetzung, Korngrößenverteilung, Lagerungsdichte, Kornform, Kornrundung oder Wassergehalt den Verschleiß beeinflussen. Es gibt einzelne Versuche, den beim Bohren auftretenden Materialverschleiß mit im Labor ermittelten Werten wie dem A_{BR} -Index oder dem CAI-Index in Beziehung zu setzen. Die bisherigen Erfahrungen haben aber gezeigt, dass damit der tatsächliche Werkzeugverschleiß nicht zufriedenstellend erfasst werden kann. Hier setzt die vorliegende Arbeit an und versucht, den Zusammenhang zwischen dem tatsächlich auftretenden Verschleiß auf der Baustelle und den im Labor ermittelten Abrasivitätswerten (Abrasivitätsindex AIW) herzustellen. [2]

1.2 Normen-, Wissens- und Forschungsstand

In diesem Abschnitt werden einschlägige Normen, Richtlinien und Merkblätter sowie wissenschaftliche Beiträge zusammengefasst, die sich mit dem Thema Abrasivverschleiß, Verschleißmessung und Vergleichbarkeit von Abrasivitätsmesswerten aus dem Labor beschäftigen.

1.2.1 Normen und Richtlinien

Die *ÖNORM M 8120-1* [11] enthält die wichtigsten Begriffe aus der Tribologie (die Wissenschaft und Technik von aufeinander einwirkenden Oberflächen in Relativbewegung). Im Abschnitt 2 Begriffsbestimmungen werden die folgenden Begriffe definiert: Tribologie, Tribotechnik und Tribosystem (tribologisches System). Das Tribosystem beschäftigt sich mit der Gesamtheit der am tribologischen Prozess beteiligten stofflichen Partner (Grundkörper, Gegenkörper, Zwischenstoff und Umgebungsmedium).

Diese Norm verweist auf die *ÖNORM M 8120-3* [12], die den Zusammenhang zwischen dem Tribosystem und dem Verschleiß beschreibt. Hierfür werden unter anderem die Begriffe Verschleiß und Verschleißarten definiert. Verschleiß ist ein (meist) unerwünschter Materialverlust am Grund- und Gegenkörper. Von den definierten Verschleißarten ist für diese Arbeit der abrasive Verschleiß relevant.

In der *ÖNORM M 8121-3* [13] werden wiederum Arten von Verschleißmessgrößen beschrieben, wobei zwischen direkten, indirekten und bezogenen Messgrößen unterschieden wird. Direkte Verschleißparameter sind Werte, die eine Massen- oder Formänderung darstellen; diese werden dann als Verschleißbeitrag bezeichnet. Bezogene Verschleiß-Messgrößen stellen die Beziehung zwischen dem Verschleißbeitrag und der Belastungsdauer oder dem Belastungsweg dar. Indirekte Verschleißparameter geben die durchschnittliche Zeit an, die ein Bauteil dem Verschleiß standhalten kann. Darüber hinaus werden in derselben Norm Methoden zur Messung des Verschleißes behandelt und Empfehlungen gegeben, welche Methode für welche Fälle am besten geeignet ist.

In der Richtlinie für die *Geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb* [17] wird die Abrasivität auch für die Definition der Gebirgsart gefordert. In der Richtlinie für die *Geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb* [18] wird die Abrasivität wiederum als „ergänzender Parameter“ eingeführt, der die Gebirgsart detaillierter beschreibt. In beiden Richtlinien werden der CERCHAR-Test und der LCPC-Versuch als Möglichkeiten zur Bestimmung der Abrasivität genannt.

Im *Merkblatt Abrasivitätsbestimmung von grobkörnigem Lockergestein* [7] wurde mithilfe von Auftraggebern, Auftragnehmern und Prüfinstituten ein Versuch zur Bestimmung der Abrasivität von grobkörnigem Lockergestein mit dem Wiener Abrasimeter ausgearbeitet. Auf die Bestimmung des Wiener Abrasivitätsindex wird dabei näher eingegangen. Weiters werden die folgenden Prüfungen erwähnt: CERCHAR-Test und LCPC-Versuch. In Abschnitt 5 wird darauf hingewiesen, dass nur eine ganzheitliche Betrachtung des Bodens im Hinblick auf die abrasivitätsfördernden Eigenschaften sinnvoll ist. Abrasivitätsbeeinflussende Eigenschaften sind unter anderem: Korngröße, Kornverteilung, Kornform, Lagerungsdichte und natürlicher Wassergehalt.

1.2.2 Fachliteratur zum Werkzeugverschleiß beim Bohren

Der Werkzeugverschleiß hat einen erheblichen Einfluss auf die direkten und indirekten Kosten des mechanischen Löseprozesses [2, 16, 22]. Dieser Einfluss reicht vom erhöhten Einsatz von Lösewerkzeugen (zum Beispiel: Meißel und Disken) bis hin zu erhöhten Wartungs- und Rüstungsaufwand [2, 16]. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Material- und Arbeitskosten mit zunehmender Abrasivität steigen [2, 16].

Im Tunnelbau wird der Verschleiß der Disken in Stück [Stk.] auf die Diskenlauflänge [km], Ausbruchskubatur [m³] oder Vortriebsleistung (Bohrmeter) [m] bezogen [22]. Die größte Herausforderung liegt in der Aufzeichnung, wobei zu erwähnen ist, dass der Dokumentationsaufwand bei genauerer Aufzeichnung steigt [16, 22]. Es ist zudem oftmals auch schwierig zwischen den einzelnen Verschleißarten (Abrasiveverschleiß, Gewaltschaden, ...) zu differenzieren. In der Praxis ist der Beitrag des Verschleißes im Verhältnis zum Gesamtaufwand beziehungsweise zu den Gesamtkosten oftmals eher gering, weshalb der Verschleiß meist nur mit geringem Aufwand dokumentiert wird [16]. Der geringere Aufwand bringt jedoch ein größeres Risiko für ungenaue Werte mit sich [16].



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kapitel 2

Methoden zur Beurteilung der Abrasivität von Gesteinen

In diesem Abschnitt werden die Methoden zur Beurteilung der Abrasivität näher erläutert. Zunächst werden die Begriffe Abrasivverschleiß und Werkzeugverschleiß näher definiert. Anschließend werden die Methoden zur Beurteilung der Abrasivität von Lockergestein im Labor und auf der Baustelle näher dargestellt. Für Festgesteine gibt es, wie bereits in der Einleitung (Kap. 1) erwähnt, mehrere Methoden. Eine davon ist der CERCHAR-Test (CAI-Index). Der CERCHAR-Test ist ein „Kratztest“, bei dem ein mit einem konstanten Gewicht (7 kg) belasteter Stahlprüfstift über eine definierte Weglänge (10 mm) in kurzer Zeit über eine Gesteinsoberfläche bewegt wird [7]. Nach der Durchführung des Tests wird der Verschleiß des Prüfstiftes gemessen und der CAI-Index kann ermittelt werden [7]. Da im Rahmen dieser Arbeit nur die Bewertung der Abrasivität von Lockergestein relevant ist, wird im Folgenden nicht weiter auf die Bewertung für Festgestein eingegangen. Abschließend wird die Forschungsfrage formuliert.

2.1 Definition Abrasivverschleiß und Werkzeugverschleiß

2.1.1 Abrasivverschleiß

Ein kurzer Überblick über die Tribologie wurde bereits in der Einleitung (Kap. 1) gegeben. In der *ÖNORM M 8120-1* [11] werden die wichtigsten Begriffe der Tribologie (Wissenschaft und Technik der in Relativbewegung aufeinander einwirkenden Oberflächen) erläutert. Von besonderer Bedeutung ist dabei das erwähnte tribologische System (Tribosystem). Das tribologische System befasst sich mit der Gesamtheit der am tribologischen Prozess beteiligten Stoffe (Grundkörper, Gegenkörper, Zwischenstoff und Umgebungsmedium) und ist in Abbildung 2.1 zu sehen.

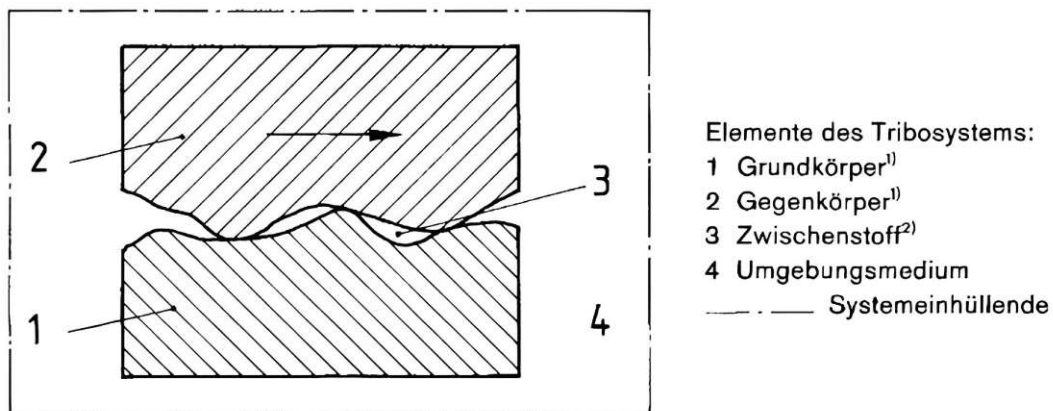


Abb. 2.1: Tribologisches System [11]

Die ÖNORM M 8120-3 [12] erläutert den Zusammenhang zwischen dem tribologischen System und dem Verschleiß, dem Verschleißvorgang, der Verschleißerscheinungsform, den Verschleißarten und den Verschleißmechanismen. Verschleiß ist ein (meist) unerwünschter Materialabtrag (Materialverlust) an den am tribologischen System beteiligten Grund- und Gegenkörper. Mit den Verschleißerscheinungsformen lassen sich Veränderungen in der Oberflächenstruktur beschreiben, z.B. Löcher, Kratzer, Risse. Unter den Verschleißarten ist für diese Arbeit der mechanische Verschleiß (Verschleiß durch mechanische Beanspruchung) am relevantesten, der sich wiederum u.a. in folgende Arten unterteilen lässt:

- Abrasiver Verschleiß: Verschleiß verursacht durch Schneid- oder Furchungsvorgänge an Partikeln oder harten Gegenkörpern
- Ermüdungverschleiß: Verschleiß verursacht durch wiederholte Verformungen

Die physikalischen und chemischen Prozesse im tribologischen System können mit den Verschleißmechanismen beschrieben werden. Die typischen Verschleißformen werden dabei jeweils den Hauptverschleißmechanismen zugeordnet.

In der ÖNORM M 8121-3 [13] werden, wie schon in der Einleitung (Kap. 1) erwähnt, auch die Arten von Verschleißmessgrößen beschrieben, wobei zwischen direkten, indirekten und bezogenen Messgrößen unterschieden wird.

In der Fachliteratur, wie z.B. in *Verschleiß metallischer Werkstoffe - Erscheinungsformen sicher beurteilen* [19], werden die bisher genannten Themen äquivalent zu den Normen behandelt. Zum Thema Abrasivverschleiß wird hingegen eine viel umfassendere Einteilung und Beschreibung vorgenommen.

Der Abrasivverschleiß kann folgendermaßen beschrieben werden:

„Abrasive Verschleiß ist ein Wechselspiel zwischen den Härten der Abrasivstoffe und der beteiligten Grund- und Gegenkörper, ...“ [19, S. 373]

Abrasivverschleiß kann nach [19] wie folgt eingeteilt werden:

- Zweikörper-Abrasivverschleiß unterteilt in:
 - Abrasiv-Gleitverschleiß: Beanspruchung durch Festgestein und Kornschüttungen
 - Erosion: Beanspruchung durch einzelne in einem Trägermedium (Gas oder Flüssigkeit) transportierte Körner
- Dreikörper-Abrasivverschleiß: Beanspruchung durch lose Körner in einem Spalt

Im Rahmen dieser Arbeit ist der abrasive Gleitverschleiß relevant, wobei zu erwähnen ist, dass der Übergang zur Erosion bei Kornschüttungen fließend ist und daher nicht immer eindeutig zugeordnet werden kann.

2.1.2 Werkzeugverschleiß

Ein kurzer Überblick über den Werkzeugverschleiß wurde bereits in der Einleitung (Kap. 1) gegeben, wobei hauptsächlich die Kostenseite und der Zeitaufwand betrachtet wurden.

In *Klassifizierung und Prognose von Leistungs- und Verschleißparametern im Tunnelbau* [22] werden zwei Kenngrößen zur Beschreibung des Werkzeugverschleißes genannt:

- Werkzeugverschleißform (qualitativer Verschleiß): beschreibt die beobachtete Verschleißbildung am Werkzeug, die anhand von Bildern klassifiziert werden kann.
- Werkzeugverschleißrate (quantitativer Verschleiß): beschreibt die Geschwindigkeit, mit der der Verschleiß/Materialverlust stattfindet.

Im Rahmen dieser Arbeit werden die Verschleißraten ermittelt (siehe Kap. 4.2 und 7).

Es gibt präzisere und weniger präzise Methoden zur Messung der Werkzeugverschleißrate, wobei zu erwähnen ist, dass eine Erhöhung der Genauigkeit mit zusätzlichem Zeitaufwand verbunden ist. Daher ist zu prüfen, ob der erhöhte Dokumentationsaufwand einer genaueren Prognose (z.B. Dokumentation der Einsatz- und Wechselzeiten an den einzelnen Werkzeugen) gerechtfertigt ist. [22]

Der Werkzeugverschleiß kann folgendermaßen beschrieben werden:

„Werkzeugverschleiß ist der Masseverlust (Oberflächenabtrag) am Werkzeug und seiner Hartmetalleinsätze durch schleifende, rollende, schlagende, kratzende, chemische oder thermische Beanspruchung im Untergrund.“ [6, S. 37]

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Werkzeugverschleiß einen erheblichen Einfluss auf die direkten (z.B. Anzahl der Lösewerkzeuge) und indirekten (Wartungs- und Rüstungsaufwand durch Lösewerkzeugtausch, Anfängertausch, Personalaufwand, ...) Kosten des mechanischen Löseprozesses hat [2, 16, 22]. Eine Differenzierung nach den Verschleißarten (abrasiver Verschleiß, Gewaltschäden, ...) ist in der Praxis kaum möglich. Es zeigt sich, dass der Beitrag des Verschleißes im Verhältnis zum Gesamtaufwand bzw. zu den Gesamtkosten eher gering ist, was bedeutet, dass der Verschleiß meist nur mit geringem Aufwand dokumentiert wird [16].

2.2 Laborkennwerte für die Abrasivität von Lockergestein

Es gibt viele Faktoren, die die Abrasivität von Lockergesteinen beeinflussen, wie z. B. Mineralzusammensetzung, Korngrößenverteilung, Lagerungsdichte, Kornform, Kornrundung, Porengehalt oder Wassergehalt. Diese genannten Faktoren haben Einfluss auf die Abrasivität einer einzelnen Schicht und können im Labor hinreichend genau beschrieben werden. Auch die Struktur des natürlich gewachsenen Bodens hat einen Einfluss auf die Abrasivität, wie z.B. Schichtung (z.B. Wechschichten in der miozänen Schicht; siehe Kapitel 3), Orientierung von Schichtflächen oder Inhomogenitäten (z.B. Blocklagen am Übergang von Donauschotter zur miozänen Schicht; siehe Kapitel 3). Diese Strukturen des Bodens lassen sich mit Laboruntersuchungen nur unzureichend erfassen. Es ist daher immer notwendig, den gesamten Boden mit allen Schichten, Schichtgrenzen und dergleichen zu betrachten, um die Gesamtabrasivität hinreichend genau beschreiben/abschätzen zu können. [7]

Wie in der Einleitung (Kap. 1) bereits erwähnt, sind für die Bestimmung der Abrasivität von Lockergesteinen (Einzelschichten) folgende Verfahren gebräuchlich: der LCPC-Versuch (A_{BR} -Index), der NTNU-Abrasion-Test (SAT-Wert) und das Wiener Abrasimeter (AIW-Index) [2, 7]. Auf den LCPC-Versuch und das Wiener Abrasimeter wird im Laufe dieses Kapitels noch näher eingegangen. Der NTNU-Abrasion-Test ist eine Weiterentwicklung einer Methode zur Prüfung von Festgestein [7]. Bei dem Prüfverfahren wird getrocknetes Lockermaterial < 1 mm auf eine rotierende Scheibe gerieselst und der Masseverlust (SAT-Wert) eines aufgedruckten Prüfkörpers gemessen [7].

Der wohl größte Nachteil der Laborversuche (Ausnahme: Wiener Abrasimeter) zur Bestimmung der Abrasivität von Lockergesteinen ist der begrenzte Bereich der Ausgangskorngröße für den Versuch. Je nach Zusammensetzung des Korngemisches (Kornverteilung) lässt diese Einschränkung nur die Prüfung eines kleinen Teils des gesamten Materials zu, was insbesondere bei einer weitgestuften, grobkörnigen Bodenprobe problematisch sein kann. Abbildung 2.2 und Tabelle 2.1 zeigen die Anwendungsgrenzen (Korndurchmesser) für die einzelnen Versuche anhand einer typischen grobkörnigen Probe. [4]

2.2.1 LCPC-Versuch

Der LCPC-Test ist eine Prüfmethode, die den Masseverlust eines Drehflügels in einem geschlossenen Topf misst. 500 g ofengetrocknetes Material aus dem Kornbereich 4 - 6,3 mm werden 5 Minuten lang geprüft, während der Drehflügel aus Stahl ständig mit 4500 U/min gedreht wird. Der Abrasivitätsindex (A_{BR} -Index [g/t]) kann aus dem Gewichtsverlust des Drehflügels multipliziert mit 2000 berechnet werden. Darüber hinaus kann die Brechbarkeit (B_R -Index [%]) berechnet werden; die Brechbarkeit ist der Anteil der Fraktion < 1,6 mm nach dem Versuch im Verhältnis zur gesamten Probenmasse. [7]

Bei weitgestuftem Ausgangsmaterial ist die Aussagekraft des Versuchs bei einem Kornbereich von 4 - 6,3 mm gering. Es ist daher gängige Praxis gröberes Material (> 6,3 mm) zu zerkleinern, um es anschließend prüfen zu können. In Deutschland gibt es Bestrebungen, den LCPC-Versuch auf den Korngrößenbereich 2,0 - 8,0 mm auszuweiten, um einen größeren Bereich abzudecken. [7]

Zu den Nachteilen des LCPC-Versuchs zählen laut [4] beispielsweise:

- hohe Rotationsgeschwindigkeit des Drehflügels: die kinematische Energie nimmt mit der Geschwindigkeit überproportional zu.
- Brechen der größeren Kornfraktionen: beim Brechen kann davon ausgegangen werden, dass die Körner an den schwächsten Stellen brechen, weshalb die Festigkeit der kleinen Körner immer größer oder mindestens gleich der ursprünglichen Korngröße ist. Des Weiteren sind die gebrochenen Körner scharfkantig, was bedeutet, dass die Kornform und die Kornrundung nicht mehr der Ausgangskörnung entspricht.
- enger Korngrößenbereich: wie bereits beschrieben, sind die Anwendungsgrenzen des Versuchs sehr eng.
- trockenes Testverfahren: der Standardtest ist mit einer trockenen Probe durchzuführen, jedoch sind die Böden auf der Baustelle im Regelfall nicht trocken und haben immer zumindest einen gewissen Wassergehalt.

Trotz der beschriebenen Kritikpunkte ist der LCPC-Versuch einer der am häufigsten durchgeführten Labortests zur Beschreibung der Abrasivität von Lockergestein [4, 16]. Hier kommt der Wiener Abrasimeter Versuch (ursprüngliche Bezeichnung: TU Wien Abrasimeter) zur Anwendung, der die oben erwähnten Nachteile des LCPC-Versuchs weitgehend beseitigt [4, 7].

2.2.2 Wiener Abrasimeterversuch

In diesem Abschnitt wird der Versuch nur in allgemeiner Form beschrieben, wo die Grenzen sind und warum er entwickelt wurde. Die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung des Versuches wird im Kapitel Laborversuche (Kap. 6) erläutert.

Wie bereits in Kapitel 2.2 erwähnt, sind die gängigen Laborversuche zur Beschreibung der Abrasivität von Lockergestein nicht zufriedenstellend [4, 7]. Insbesondere der begrenzte Bereich der Kornfraktion in den einzelnen Versuchen stellt eine starke Einschränkung dar. Abbildung 2.2 zeigt exemplarisch die Kornverteilungslinie der Bodenprobe „O163 - 13,0 m“, in der sind die Anwendungsgrenzen ausgewählter Versuche dargestellt. Zur besseren Lesbarkeit wurde die Tabelle 2.1 erstellt, in der für die einzelnen Versuche die minimale und maximale Korngröße in Millimetern sowie der Abdeckungsgrad [%] der Versuchskörnung im Verhältnis zur Ausgangskörnung festgehalten wurde. Die Abbildung und die Tabelle zeigen, dass nur das Wiener Abrasimeter (TU Wien Abrasimeter) einen großen Teil der Kornverteilung (90%) im Prüfverfahren verwendet; bei den anderen Tests liegt der Abdeckungsgrad nur zwischen 8 und 17%.

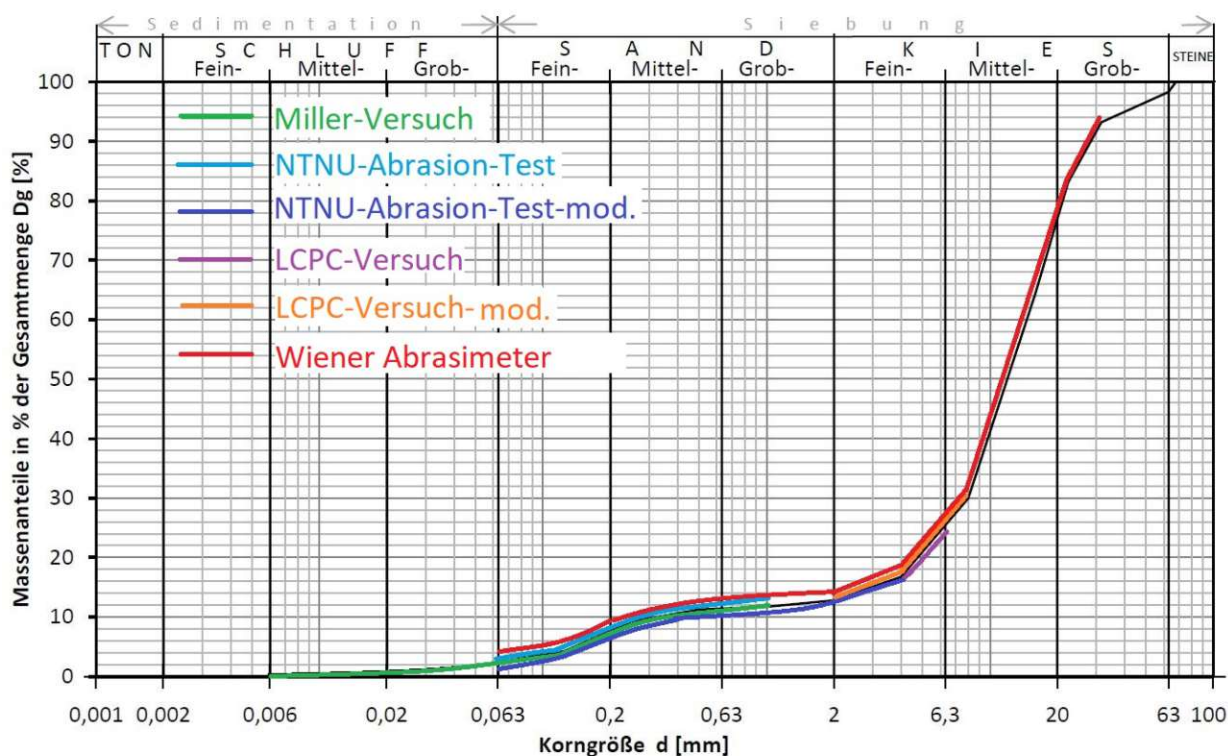


Abb. 2.2: Kornverteilungslinie der Bodenprobe „O163 - 13,0 m“ mit Kennzeichnung der Einsatzbereiche ausgewählter Laborversuche

Die Vorteile des Wiener Abrasimeters gegenüber den anderen Versuchen sind laut [4] beispielsweise:

- trocken und nasse Versuchsdurchführung: es kann ein Trocken- und ein Nassversuch durchgeführt werden, wodurch der Einfluss von Wasser berücksichtigt wird.

Tab. 2.1: Einsatzbereiche und Abdeckungsgrad ausgewählter Laborversuche bei der Bodenprobe „O163 - 13,0 m“

	Farbe	min. Korngröße [mm]	max. Korngröße [mm]	Abdeckungsgrad [%]
Miller-Versuch	grün	-	1,0	12
NTNU-Abrasion-Test	hellblau	0,063	1,0	9
NTNU-Abrasion-Test mod.	dunkelblau	0,063	4,0	14
LCPC-Versuch	lila	4,0	6,3	8
LCPC-Versuch mod.	orange	2,0	8,0	17
Wiener Abrasimeter	rot	0,063	31,5	90

- Auflast: durch Aufbringen einer Auflast während der Durchführung wird die natürliche Lagerungsdichte des Bodens berücksichtigt.
- geringere Drehzahl des Drehflügels: die geringere Drehzahl ist für die tatsächlichen Verschleißprozesse auf der Baustelle aussagekräftiger.
- kein Brechen: die Körner müssen vor der Durchführung nicht gebrochen werden, wodurch die Kornform und -größe nicht verändert wird.
- größerer Kornbereich, der untersucht wird

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Wiener Abrasimeter für die Bestimmung der Abrasivität von Lockergestein besser geeignet ist als die anderen Verfahren. Der Versuch nutzt einen größeren Bereich der Korngrößenverteilung und kann auch nass durchgeführt werden, wodurch der anstehende Boden im Versuch besser abgebildet wird. [4]

2.3 Methoden der Abrasivitätsbestimmung auf der Baustelle

Die gebräuchlichste Methode zur Ermittlung des Verschleißes von z.B. Meißeln (siehe Kap. 4.2.2) auf der Baustelle ist die Auswertung der Liefer- bzw. Bestellscheine. Mit dieser Methode kann recht einfach ermittelt werden, wie viele Meißel in einem Zeitraum benötigt wurden und mit Hilfe der Baustellenprotokolle kann eine (bezogene) Verschleißrate errechnet werden (Meißel/Pfahl; Meißel/Bohrmeter, ...). Wenn die Verschleißelemente nicht unmittelbar entsorgt werden, kann anschließend anhand der Verschleißform des Werkzeugs die Art des Verschleißes (abrasiver Verschleiß, Gewaltverschleiß, ...) abgeschätzt werden. Diese Methode ist mit geringem Aufwand durchführbar, aber die Aussagekraft der Ergebnisse ist nicht sehr hoch. [16]

Die Firma Bauer Maschinen GmbH hat ein internes Schema entwickelt, mit dem eine Leistungs- und Verschleißprognose für Bohrpfähle (Kellybohrverfahren oder Doppelkopfsystem (DKS)) möglich ist. Dieses Verfahren wird hauptsächlich zur Leistungsprognose eingesetzt, die Verschleißprognose ergibt sich eher nebenbei. Unter anderem haben Korngröße, Kornverteilung, Lagerungsdichte, mineralogische Zusammensetzung und die Abrasivität des Bodens einen Einfluss auf den Verschleiß. Das Ergebnis ist ein „relativer Werkzeugverschleiß“ im Verhältnis zum Standardverschleiß. Abbildung 2.3 zeigt ein Diagramm dieser Methode, in dem die „Bauer-Verschleißklassen“ abgelesen werden können. Mit diesen Verschleißklassen kann der relative Werkzeugverschleiß mit Hilfe von Leistungsfaktoren berechnet werden. Diese Methode ist ein internes Bewertungsschema der Firma Bauer Maschinen GmbH und ist nicht im Detail veröffentlicht worden. [2]

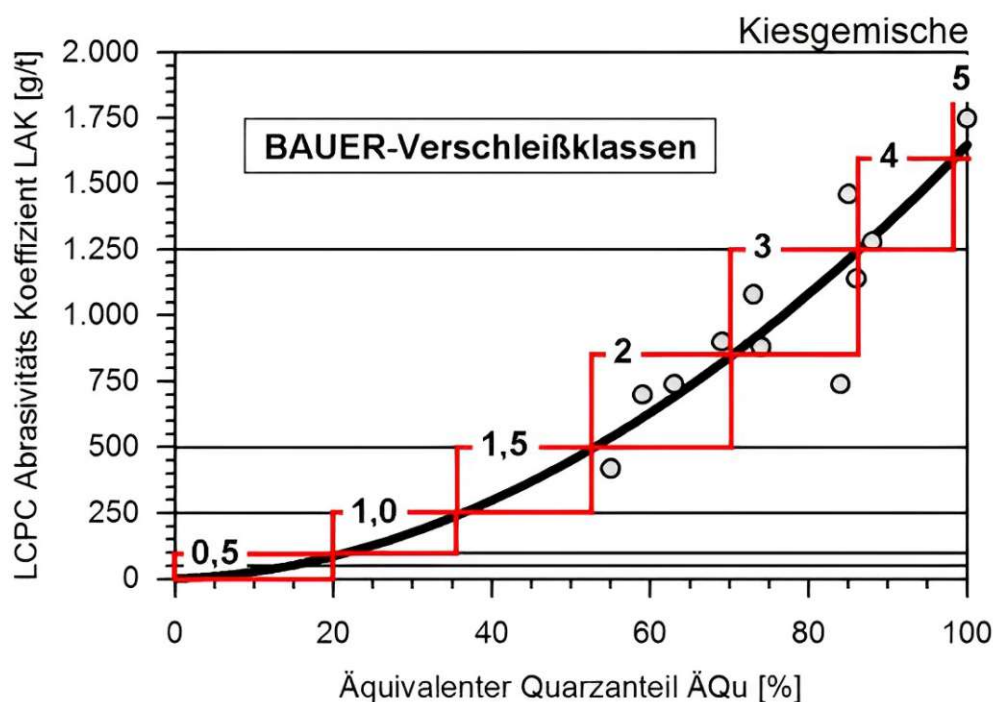


Abb. 2.3: „Bauer-Verschleißklassen“ in Bezug auf Abrasivitätskennwerte - Lockergestein [2]

2.4 Forschungsfrage

Wie bereits in der Einleitung (Kap. 1) erwähnt, haben die bisherigen Erfahrungen gezeigt, dass mit den vorhandenen Methoden der tatsächliche Werkzeugverschleiß nicht zufriedenstellend erfasst werden kann [2]. Hier setzt die vorliegende Arbeit an und versucht den Zusammenhang zwischen dem tatsächlich auftretenden Verschleiß auf der Baustelle und den im Labor ermittelten Abrasivitätswerten (Abrasivitätsindex AIW) herzustellen.

Ziel dieser Arbeit ist es, den Abrasivverschleiß anhand von Laborwerten und gemessenen Werten auf der Baustelle zu vergleichen. Die Erkenntnisse sollen in weiterer Folge dazu dienen, ein Klassifizierungssystem für den Wiener Abrasimeterversuch zu erstellen (wird derzeit durch einen separaten Arbeitskreis erarbeitet). Für diese Aufgabe müssen praxisnahe Methoden zur Messung des Verschleißes auf der Baustelle gefunden und erprobt werden, wobei die erzielbare Genauigkeit den erforderlichen Zeitaufwand gegenüberzustellen ist.

Kapitel 3

Projekt „Stadtstraße“

Dieser Abschnitt befasst sich mit dem Projekt „Stadtstraße“ im Allgemeinen. Es werden die Projekttrandbedingungen erläutert und die angewendeten Bauverfahren erörtert. Schließlich werden die im Zusammenhang mit dieser Arbeit gesteckten Ziele für die Baustellenmessungen formuliert.

3.1 Gegebenheiten

Beim Projekt „Stadtstraße Aspern“ in 1220 Wien handelt es sich um einen ca. 3,3 km langen Straßenabschnitt, der zum Teil untertunnelt ist (zwei Tunnel). Der Rest liegt zwei bis drei Meter unter der ursprünglichen Geländeoberkante und ist mit Lärmschutzwänden versehen. Ziel des Projekts ist es, die Seestadt Aspern mit der Südosttangente zu verbinden. Abbildung 3.1 zeigt den Verlauf der Stadtstraße, die beiden Tunnel sind in grün dargestellt. [20]

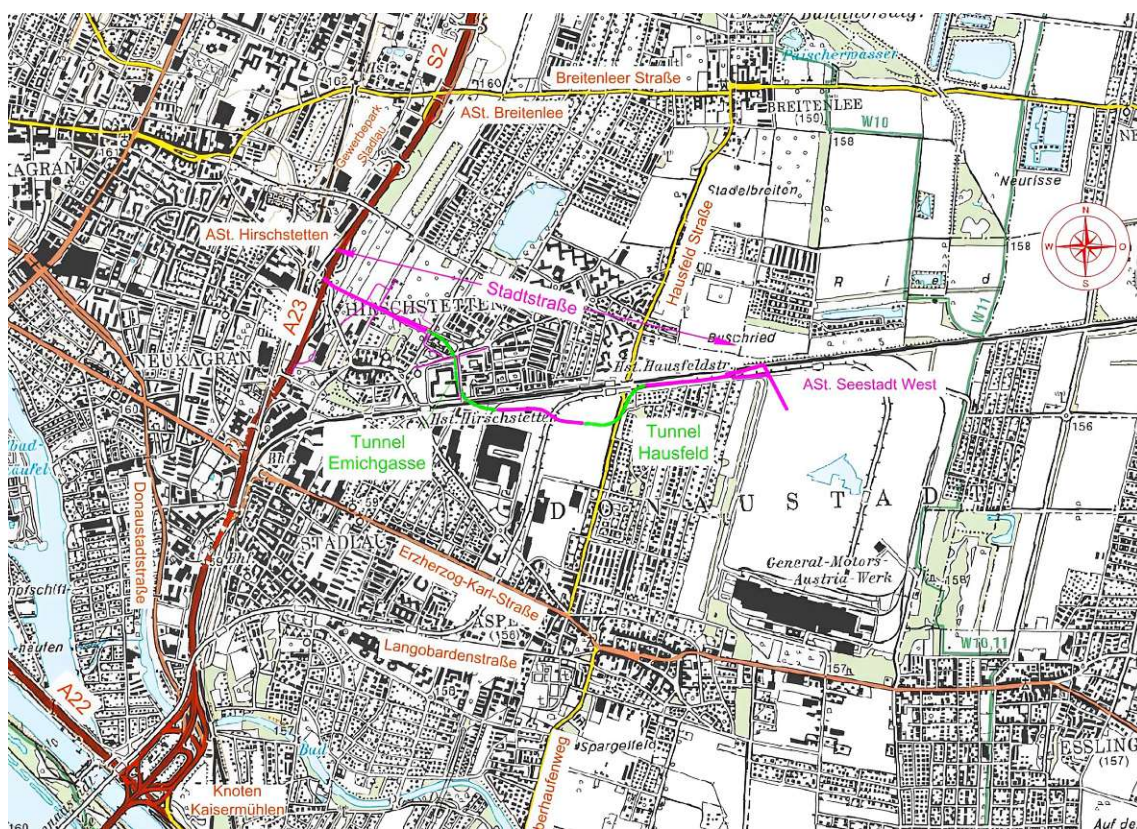


Abb. 3.1: Verlauf der Stadtstraße [27]

3.1.1 Geologische Situation

Um die geologische Situation beschreiben zu können, wurden im Rahmen der Aufschlusskampagne unter anderem folgende Methoden eingesetzt: Baggerschürfe, Rammkernbohrungen und Rammkernsondierungen [25]. Der Boden wird gemäß Geologischem Bericht [23] in folgende Bodenschichten unterteilt:

- Anschüttungen
- Mutterboden
- Ausedimente
- Donauschotter
- Miozäne Schichten (schluffige Sande, tonige Schluffe und Wechsellagerungen)

Diese Bodenschichten treten in unterschiedlichen Mächtigkeiten auf. Abbildung 3.2 zeigt den Verlauf der einzelnen Schichten im Bereich Tunnel Hausfeld. Die einzelnen Schichtgrenzen können um mehrere Meter variieren. Die Anschüttungen und der Mutterboden sind rot, die Ausedimente braun, die Donauschotter gelb und die miozänen Schichten grün dargestellt. Die Donauschotter-schichten und die miozänen Schichten sind für den Werkzeugverschleiß besonders relevant. [23]

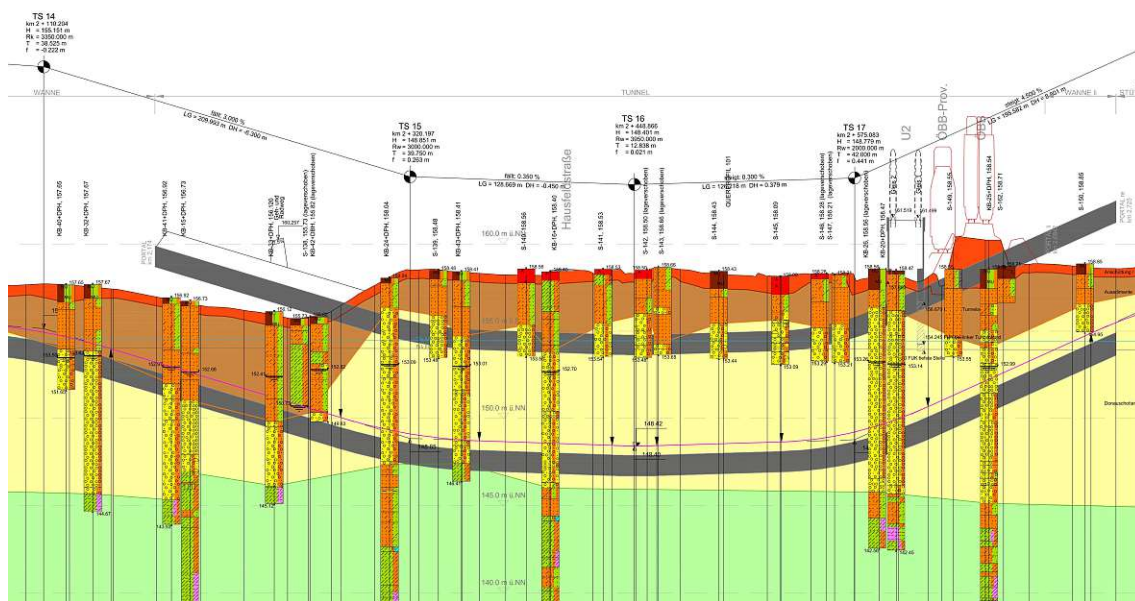


Abb. 3.2: Geotechnischer Längenschnitt des Abschnittes Tunnel Hausfeld [24]

Die Donauschotter sind in der Regel zwischen sechs und zehn Metern mächtig und weisen eine typische Fehlkörnigkeit auf, die überwiegend im Grobsandbereich liegt. Die Korngrößen reichen von schluffig bis steinig, oft handelt es sich um einen fein- bis mittelsandigen, Fein- bis Mittelkies. Im Übergang zu den miozänen Schichten können Stein- und Blocklagen auftreten. Der Donauschotter ist für seine hohe bis sehr hohe Abrasivität bekannt. [23]

Der obere Teil der miozänen Schichten, die ersten sieben bis zehn Meter, besteht aus wechselnd gelagerten Schluff- und Sandschichten. Im Geologischen Bericht [23] wird dieser Bereich als

miozäne Wechsellagerung zusammengefasst. Vor allem in den Schluffschichten finden sich Konkretionen, die bis zu 120 mm groß sein können, und Verhärtungen. Diese verhärteten Bereiche können bis zu wenigen Dezimetern mächtig sein. [23]

Der oberste und freie Grundwasserspiegel liegt in der Donauschotterschicht, der Grundwasserkörper ist mächtig und ergiebig. Weitere Grundwässer werden in den sandigen Schichten des Miozäns erwartet. Diese sind vermutlich vollständig mit Wasser gesättigt und liegen teilweise unter schluffig-tonigen Schichten, so dass mit gespanntem Grundwasser zu rechnen ist. Der Druckwasserspiegel der miozänen Schicht steigt meist bis knapp unter das Niveau des oberen Grundwassers im Donauschotter an. [23]

Im Geotechnischen Untersuchungsbericht [25] wird in Bezug auf die Abrasivität des Donauschotters Folgendes erwähnt: Zur Bestimmung der Abrasivitätskennwerte des Donauschotters wurden 17 LCPC-Versuche durchgeführt. Die Ergebnisse sind:

$$\varnothing_{A_{BR}} = 935,29 \text{ g/t}; \varnothing_{B_R} = 36,51\%$$

Es wird im Folgenden je nach der Quelle für die Einteilung die Abrasivität auf gering bis mittel bzw. sehr hoch eingeschätzt. Jedoch wird auch darauf hingewiesen, dass aus den Erfahrungen die Abrasivität als sehr hoch bzw. extrem abrasiv einzustufen ist. [25]

Wenn man eine Einteilung der LCPC-Werte gemäß [5] durchführt, kommt man zu folgendem Ergebnis: für den Abrasivitätsindex (A_{BR}) ergibt sich ein hoher Wert und für die Brechbarkeit (B_R) ein mittlerer Wert.

3.1.2 Spezialtiefbaumethoden

In diesem Projekt kommen mehrere Spezialtiefbaumethoden zum Einsatz, wie z.B.: Unterwasserbetonsohlen, Düsenstrahlverfahren (DS-Säulen und DS-Sohlen), Mikropfähle (als Rückankerung für die Unterwasserbetonsohlen), verrohrte Pfähle (Drehbohrverfahren mit Kellystange [1]) und SOB-Pfähle. Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden die SOB-Pfähle näher betrachtet. [15, 25]

Im Geotechnischen Untersuchungsbericht [25] wird in Bezug auf die Herstellung von SOB-Pfählen unter anderem Folgendes erwähnt: Beim Durchdringen einer tonigen Schluffschicht kann es durch den Kontakt mit dem Grundwasser der anderen Schichten zu Verklebungen kommen. Mögliche Blocklagen am unteren Rand der Donauschotterschicht könnten beim Durchrötern zu einem Problem werden. Zusammenfassend lässt sich aus dem Bericht ableiten, dass es bei der Herstellung von SOB-Pfählen zu Problemen kommen könnte, wie z.B. stecken bleiben der Bohrschnecke in der Miozänen Schicht, Verklebungen, [25]

3.2 Konzept zur Verschleißdokumentation

3.2.1 Allgemeines

Eines der Ziele des ÖBV-Arbeitskreis „Abrasivität Lockergestein“ ist die Erstellung eines Klassifizierungsschemas für Lockergesteine anhand der im Labor ermittelten Abrasivitätskennwerte. Die Klassifizierung soll für verschiedene Böden, zunächst aber für Donauschotter erstellt werden. Der Grund dafür ist, dass bereits viele Laborversuche mit Donauschotter durchgeführt wurden und ausreichend Erfahrung vor Ort vorhanden ist, um die Abrasivität bzw. den Werkzeugverschleiß einschätzen zu können. Im Rahmen dieses Arbeitskreises wurde das Thema der vorliegenden

Diplomarbeit „Abrasivität von Lockergestein: Gegenüberstellung von Labor- und Baustellenmessungen“ entwickelt.

Bei der Sitzung des Arbeitskreises am Freitag, den 06.05.2022, wurde diskutiert, wie eine Verschleißdokumentation auf der Baustelle beim Projekt „Stadtstraße“ durchgeführt werden könnte. Die wesentlichen Überlegungen waren, **was**, **wann** und **wie** der Verschleiß gemessen werden soll und was für die **spätere Vergleichbarkeit** notwendig ist. Die Überlegungen dieser Sitzung sind in Abbildung 3.3 zu sehen.

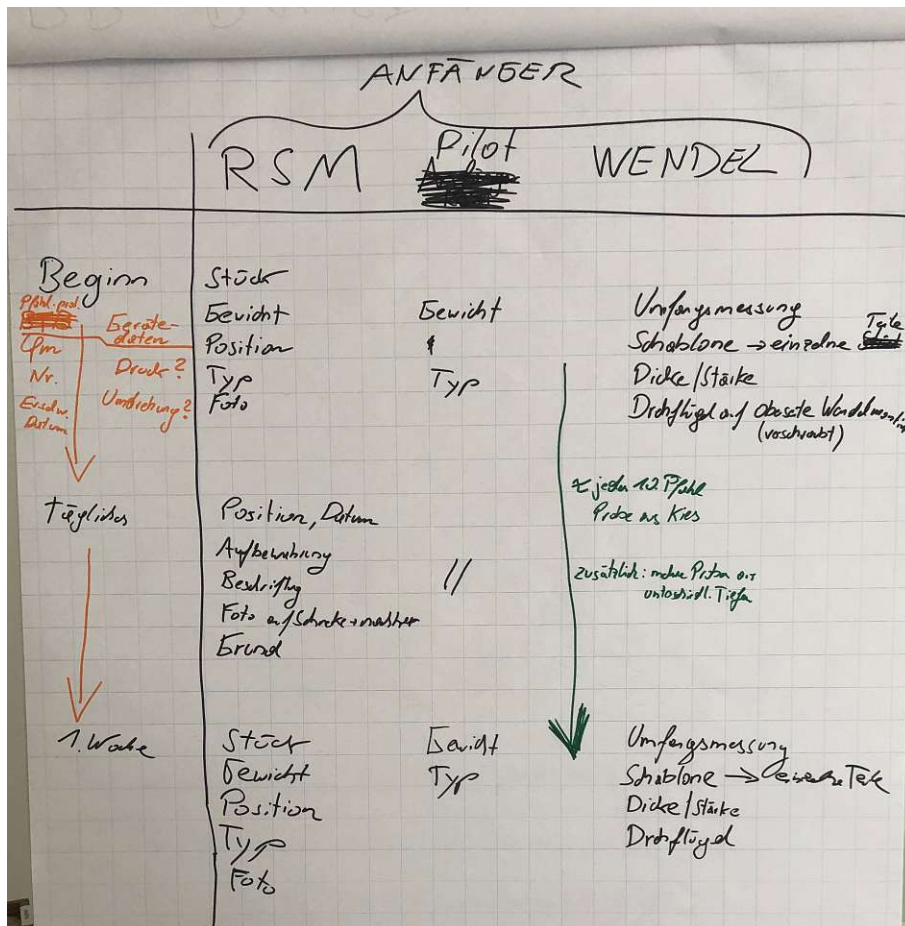


Abb. 3.3: Arbeitskreis-Konzept vom 06.05.2022

Zu den einzelnen Punkten wurde unter anderem Folgendes diskutiert:

Was: Der stärkste Verschleiß tritt am Anfänger auf, da dieser am meisten beansprucht wird. Bei den Anfängern sind die Wendel, der Pilot und die Rundschachtelmeißel (RSM) zu beobachten.

Wann: Die einzelnen Messungen/Aufzeichnungen sollten in einem geeigneten Intervall erfolgen, zum Beispiel täglich, wöchentlich und zu Beginn und am Ende einer Arbeitsperiode.

Wie: Hier kommt es vor allem darauf an, was gemessen wird. Beim Piloten kann Masse und Typ, bei der Wendel kann Umfang, Dicke und Stärke und bei den Meißeln kann Stück, Masse, Position, Datum und Typ erfasst/gemessen werden.

Spätere Vergleichbarkeit: Die Gerätedaten des Bohrgerätes sind wichtig; hier können die Umdrehungen, Bohrtiefen und Drücke erfasst werden. Die Bohrzeiten, die Bohrtiefen, das Datum

und die Herstellungsreihenfolge sind für die spätere Einordnung notwendig. Es sollen zudem Proben für Laboruntersuchungen genommen werden.

3.2.2 Gewählte Vorgangsweise

Aufbauend auf dem beschriebenen Konzept wurde folgende weitere Vorgehensweise gewählt:

3.2.2.1 Bodenproben für Laborversuche und Abrasimeterversuche im Labor

Beim Bohren der SOB-Pfähle werden im Feld Bodenproben entnommen, die dann im Labor mit dem Abrasimeter der TU Wien auf ihre Abrasivität und Kornzerkleinerung untersucht werden. Dazu werden 7 kg gewaschene, gesiebte und vorsortierte Bodenproben trocken oder unter Zugabe von Wasser für 120 Minuten in der Prüfapparatur getestet, wobei der Verschleiß des Drehflügels nach 30, 60 und 120 Minuten festgestellt wird. [7]

3.2.2.2 Verschleißdokumentation Bohrschnecke

Der Verschleiß der Bohrschnecke soll durch Messung der Länge, der Dicke und des Durchmessers erfasst werden; diese Messungen sind regelmäßig auszuführen. Dabei sind die Anfänger (die ersten 2 Meter der SOB-Schnecke) vor dem ersten Einsatz und nach dem Einsatz auf der Baustelle oder im Lager der ausführenden Baufirma (Porr GmbH) zu vermessen. Nach jedem Gebrauchszeitraum werden die Anfänger zum Lagerplatz gebracht und Reparaturen respektive Überarbeitungen durchgeführt, um sie wieder einsetzen zu können. Ein wesentliches Ziel wäre es, einen einzelnen Anfänger über mehrere Gebrauchszeiträume hinweg mehrmals zu vermessen, um eine genauere Verschleißdokumentation zu erhalten.

3.2.2.3 Verschleißdokumentation Meißel

Es werden im Labor die auf der Baustelle benutzten Meißel nach gründlicher Reinigung gewogen, um die Differenz zur Anfangsdurchschnittsmasse der Meißel zu ermitteln. Beim Auswechseln der gebrauchten Meißel sollten neben der Position auch Datum und Uhrzeit festgehalten werden, um später die vollbrachte Leistung bzw. Einsatzdauer der einzelnen Meißel ermitteln zu können.

3.2.2.4 Gegenüberstellung der Messungen aus dem Labor und der Baustelle

Das wesentliche Ziel wäre eine Korrelation zwischen dem tatsächlichen Verschleiß auf der Baustelle und dem Wiener Abrasimeter – Index zu erstellen. Ein weiteres Ziel könnte eine Verschleißprognose für diese konkrete Baustelle für den vorhandenen Boden sein. Eine Prognose könnte zum Beispiel eine durchschnittliche Laufleistung der einzelnen Meißel, eine Längenreduzierung der Wendel pro 100 Meter hergestellten Bohrpfahls oder eine Dickenreduzierung der Wendel pro 100 Meter hergestellten Bohrpfahls beinhalten.

Kapitel 4

Verschleißdokumentation auf der Baustelle

In diesem Teil der Arbeit wird beschrieben, wie die in Kapitel 3 definierte Vorgehensweise in die Praxis umgesetzt wurde. Die Messergebnisse fließen später zusammen mit den Laborversuchen (Kap. 6) und den Pfahldaten (Kap. 5) in die Datenauswertung (Kap. 7) ein. Bei den Messungen wurde darauf geachtet, dass der Bauablauf auf der Baustelle möglichst wenig oder gar nicht gestört wird. Gleichzeitig wurde angestrebt, möglichst genaue, aber auch praxistaugliche Verfahren einzusetzen, die möglicherweise später von anderen weitergeführt werden können.

4.1 Chronologie

Dieser Unterpunkt schlüsselt die zeitliche Abfolge der auf der Baustelle eingesetzten Anfänger auf. Die ersten Messungen wurden Mitte bis Ende September 2022 im Baulos 3 (Tunnel Emichgasse), im Bauabschnitt 2A, durchgeführt. Anschließend wurde von November 2022 bis Mitte Jänner 2023 im Baulos 4 (Tunnel Hausfeld), in den Bauabschnitten 3, 4 und Wanne West, der Verschleiß dokumentiert. Schließlich wurden Ende Jänner 2023 Messungen im Baulos 3, im Bauabschnitt 1B und Wanne West, durchgeführt.

Dieser Prozess ist in Tabelle 4.1 tabellarisch dargestellt. Abbildung 4.1 gibt einen allgemeinen Überblick über die Stadtstraße mit der Kennzeichnung, wo und wann gemessen wurde beziehungsweise welche Plannummern die Abschnitte haben. Die Pläne 1 bis 6 (siehe Anhang (Kap. 9), Abbildungen 9.2 bis 9.7) behandeln das Baulos 4 und Plan 7 (siehe Anhang (Kap. 9), Abbildung 9.8) das Baulos 3. Die Spalten aus der Tabelle 4.1 können folgendermaßen beschrieben werden: der Einsatzzeitraum (Spalte „von“ und „bis“), das eingesetzte Bohrgerät (Spalte „Bohrgerät“), der eingesetzte Anfänger (Spalte „Anfänger“), das Baulos (Spalte „Baulos“), die Anzahl der hergestellten Pfähle (Spalte „Anzahl Pfähle“), die Farbcodierung (die eine Zuordnung der Bohrpfähle zu den einzelnen Anfängern bzw. Zeiträumen vornimmt) der Pfähle (Spalte „Farbe im Plan“), ob eine Verschleißdokumentation der Wendel ausgeführt wurde (Spalte „Doku Wendel“)

Tab. 4.1: Übersicht über die Dokumentation der Anfänger

von	bis	Bohrgerät	Anfänger	Baulos	Anzahl Pfähle	Farbe im Plan	Doku Wendel	Doku FZM
19.09.22	27.09.22	BG33V	B61598	BL3	41	-	Nein	Ja - 8 Stk.
08.11.22	16.11.22	BG33H	30075	BL3	87	rot	Ja	Ja - 6 Stk.
17.11.22	27.11.22	BG33H	110935	BL4	57	blau	Ja	Ja - 8 Stk.
28.11.22	05.12.22	BG33H	30075	BL4	53	grün	Nein	Ja - 2 Stk.
06.12.22	12.12.22	BG33H	110935	BL4	30	lila	Ja	Ja - 7 Stk.
13.12.22	19.01.23	BG33H	30075	BL4	79	schwarz	Nein	Ja - 10 Stk.
23.01.23	26.01.23	BG36H	110935	BL3	29	rot/blau	Ja	Ja - 4 Stk.

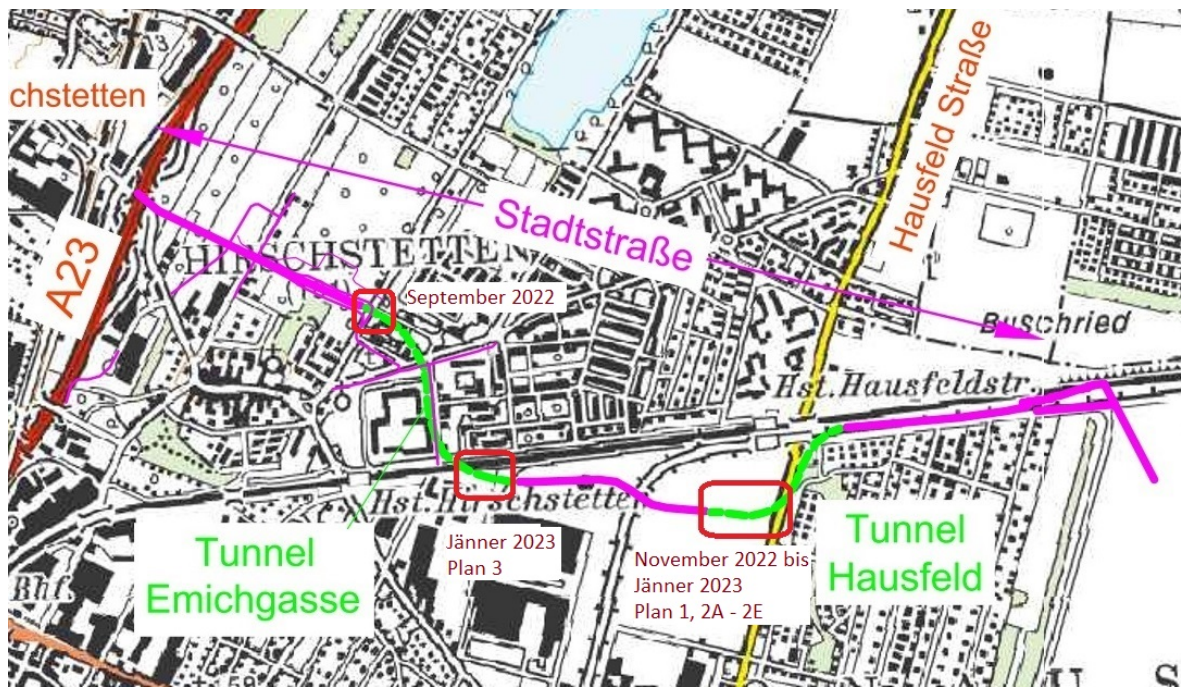


Abb. 4.1: Verlauf Stadtstraße mit Bohrzeiten und Plannummern der dokumentierten Bereiche [27]

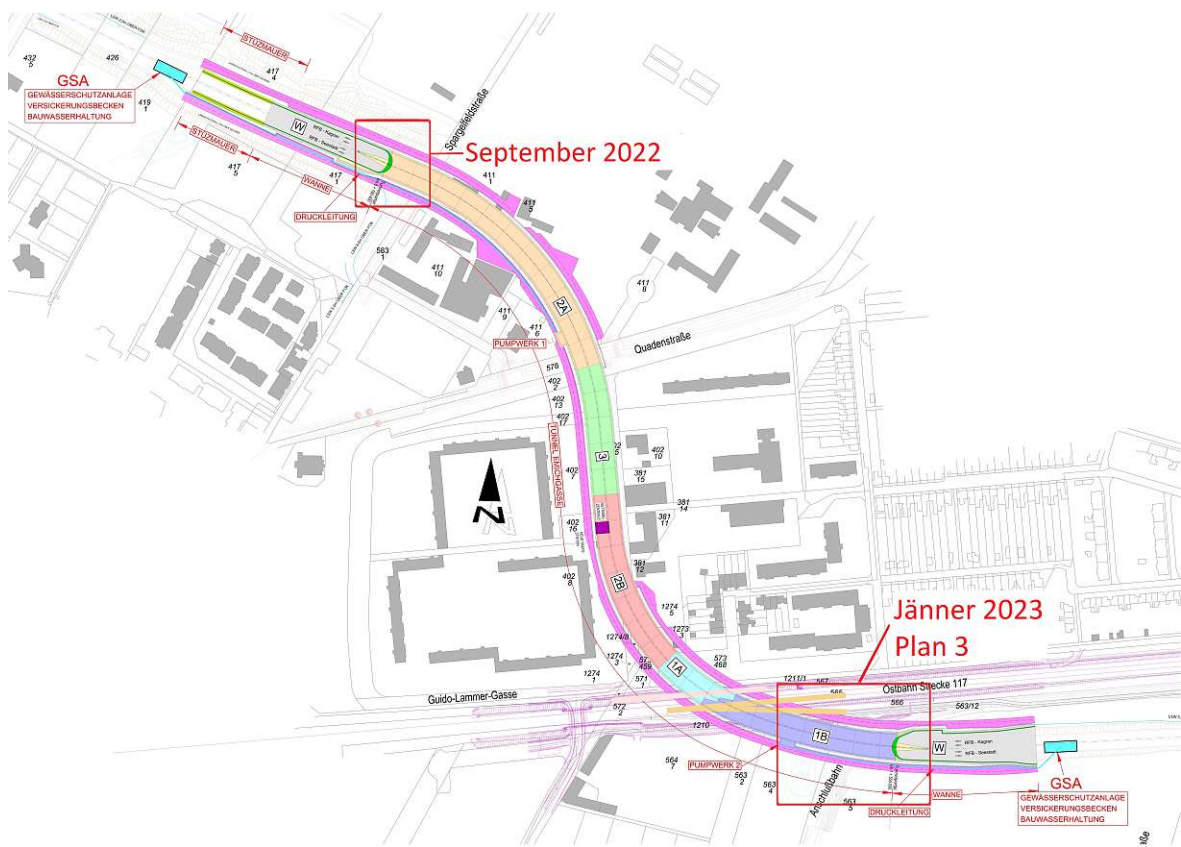


Abb. 4.2: Tunnel Emichgasse (Baulos 3) mit Bohrzeiten und Plannummern der dokumentierten Bereiche [26]

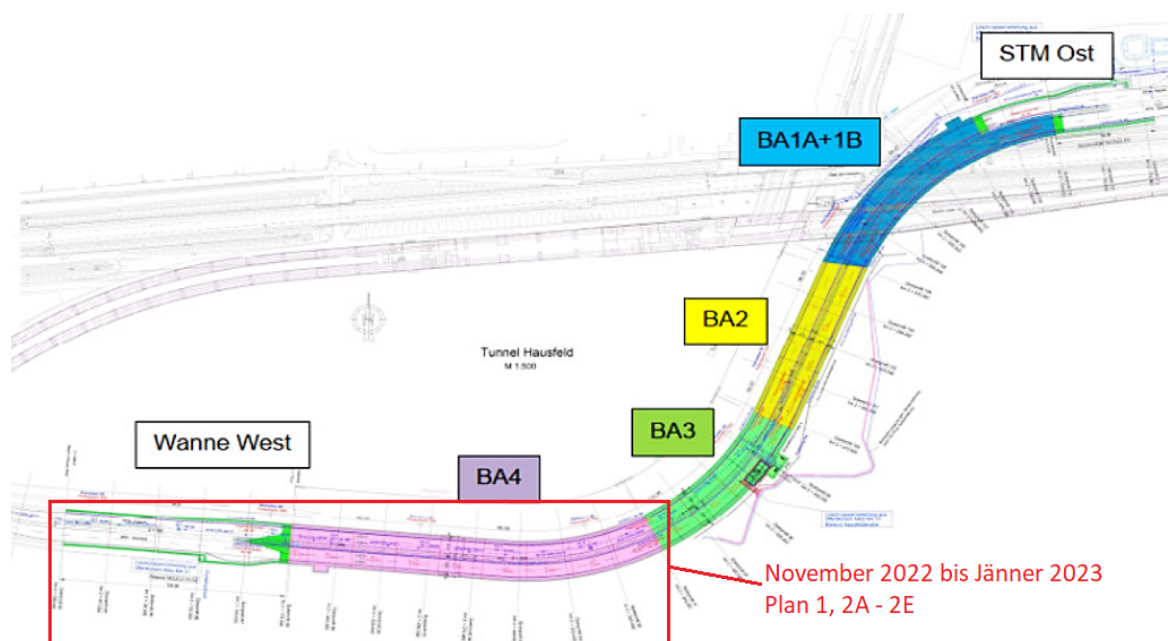
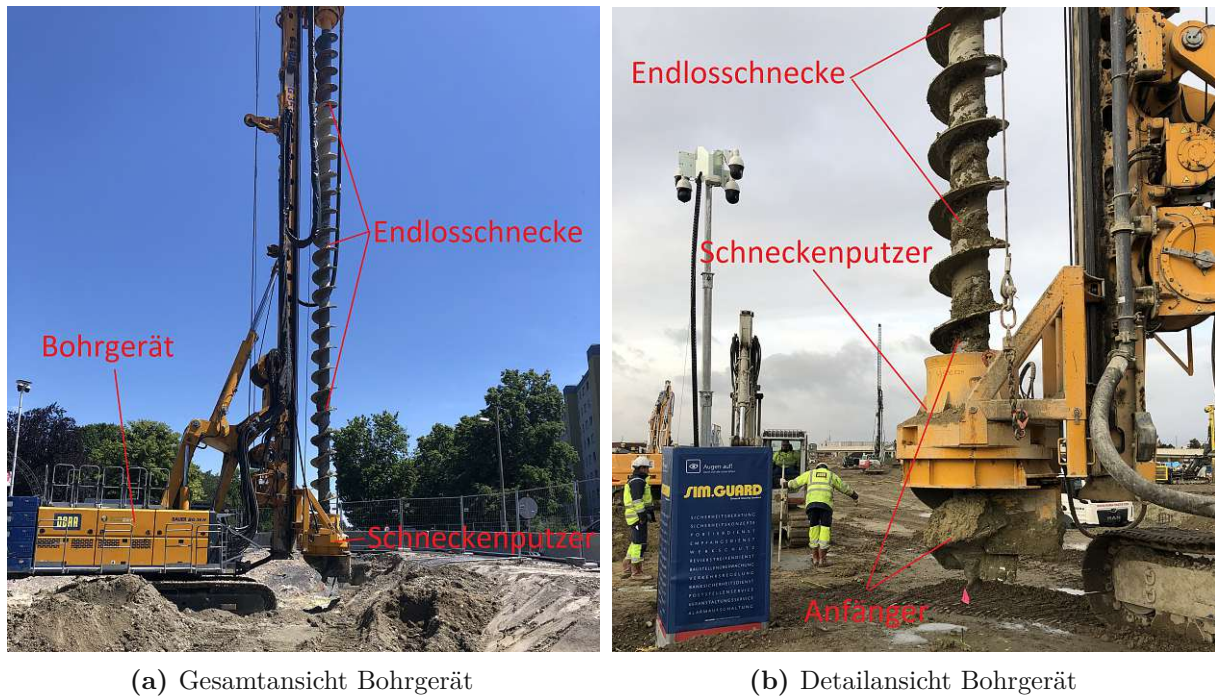


Abb. 4.3: Tunnel Hausfeld (Baulos 4) mit Bohrzeiten und Plannummern der dokumentierten Bereiche [21]

und ob, und wenn ja, wie viele benutzte Meißel dokumentiert wurden (Spalte „Doku FZM“). Die Abbildungen 4.2 und 4.3 zeigen die beiden Baulose 3 und 4 im Detail, einschließlich der Plannummern und Bohrzeiten der dokumentierten Bereiche (rot umrahmt).

Während des ersten Zeitraums vom 19.09.2022 bis 27.09.2022 wurden 41 Pfähle (\varnothing 90 cm) im Baulos 3 mit einem Anfänger (Anfänger B61598) hergestellt. Messungen in Bezug auf den Verschleiß der Wendel wurden nicht durchgeführt. Im Zeitraum von November 2022 bis Mitte Jänner 2023 wurden im Baulos 4 390 Pfähle (\varnothing 90 cm) hergestellt. Bei 84 Pfählen wurden keine Messungen in Bezug auf den Verschleiß vorgenommen, bei 306 Pfählen wurden Messungen vorgenommen. Für die Herstellung der letztgenannten 306 Pfähle wurde fünfmal ein überarbeiteter Anfänger eingesetzt (dreimal Anfänger 30075 und zweimal Anfänger 100935). Im Zeitraum vom 23.01.2023 bis 26.01.2023 (bis 15:10 Uhr) wurden 29 Pfähle (\varnothing 90 cm) im Baulos 3 mit einem Anfänger (Anfänger 100935) hergestellt und dabei Messungen in Bezug auf den Verschleiß der Wendel durchgeführt. Insgesamt wurden bei 460 Pfählen (\varnothing 90 cm) Daten (Maschinendaten) gesammelt und bei 335 davon wurden Messungen in Bezug auf den Verschleiß durchgeführt. Die in den beschriebenen Zeiträumen ausgebauten (benutzten) Flachzahnmeißel (FZM) sind in Tabelle 4.1 angegeben, insgesamt waren es 45 Stück.

In Abbildung 4.4 ist ein SOB-Bohrgerät dargestellt und die Komponenten sind beschriftet. Die Endlosbohrschnecke besteht aus einzelnen Stücken, die unterschiedlich lang sein können (z.B.: 3 oder 6 m), am unteren Ende befindet sich der Anfänger. Der Anfänger ist 2 m lang und hat am unteren Ende seitlich die Meißel und mittig den Piloten montiert. Der Schneckenputzer ist dazu da, die Schnecke beim Ziehen zu räumen.



(a) Gesamtansicht Bohrgerät

(b) Detailansicht Bohrgerät

Abb. 4.4: SOB-Bohrgerät mit den einzelnen Komponenten

4.2 Durchgeführte Messmethoden zur Verschleißdokumentation

In diesem Abschnitt werden die auf der Baustelle eingesetzten Methoden zur Verschleißdokumentation beschrieben. Wie bereits in Kapitel 3 erwähnt, ist der Verschleiß beim Bohrgerät am Anfänger (die ersten zwei Meter der SOB-Schnecke) am größten. Aus diesem Grund wurde bei den Messungen nur der Anfänger mit all seinen Verschleißelementen betrachtet.

4.2.1 Verschleißdokumentation der Anfänger

Bei der gegenständlichen Baustelle wurden Bohrungen zur Bohrpfallherstellung mit verschiedenen Anfängern der Bauer Maschinen GmbH durchgeführt. Es wurden bei zwei Anfängern Messungen durchgeführt.

Die verwendeten Anfänger waren zweischneidig, das bedeutet, dass am unteren Ende des Anfängers zwei Wendeln beginnen. Die eine, die Sekundärwendel, endet nach etwa 150 cm. Die Primärwendel ist die durchgehende Wendel, die über die gesamte Länge der Schnecke verläuft. Der Durchmesser der Anfänger und der restlichen Schneckenstücke war 90 cm.

Um später den Masseverlust der erbrachten Laufleistung gegenüberstellen zu können, wurden die Meißel entsprechend ihrer Position auf dem Anfänger nummeriert. Außerdem wurden das Datum und die Uhrzeit des Austauschs der Meißel festgehalten. Diese Nummerierung erfolgte von innen nach außen, das heißt innen ist Nummer 1, dann Nummer 2 bis zum N-ten Meißel. Außerdem wurde zwischen links (L) und rechts (R) unterschieden, links ist links von der Betonieröffnung und rechts ist rechts davon. Die Nummerierung ist in den Abbildungen 4.5 und 4.6 zu sehen.

4.2.1.1 Anfänger 1 - 30075

Der erste dokumentierte Anfänger hatte die Nummer 30075 (interne Nummer der Porr GmbH). Dieser war an der Außenseite der Wendel mit Aufpanzerungen (als Verschleißschicht) verstärkt. Der Anfänger wurde in drei Perioden verwendet, in den ersten beiden hatte er sechs Meißel (drei pro Seite), in der letzten acht Meißel (vier pro Seite). Der Anfänger hatte einen Piloten und Abbildung 4.5 zeigt den Anfänger vor dem ersten Einsatz (mit sechs Meißeln).

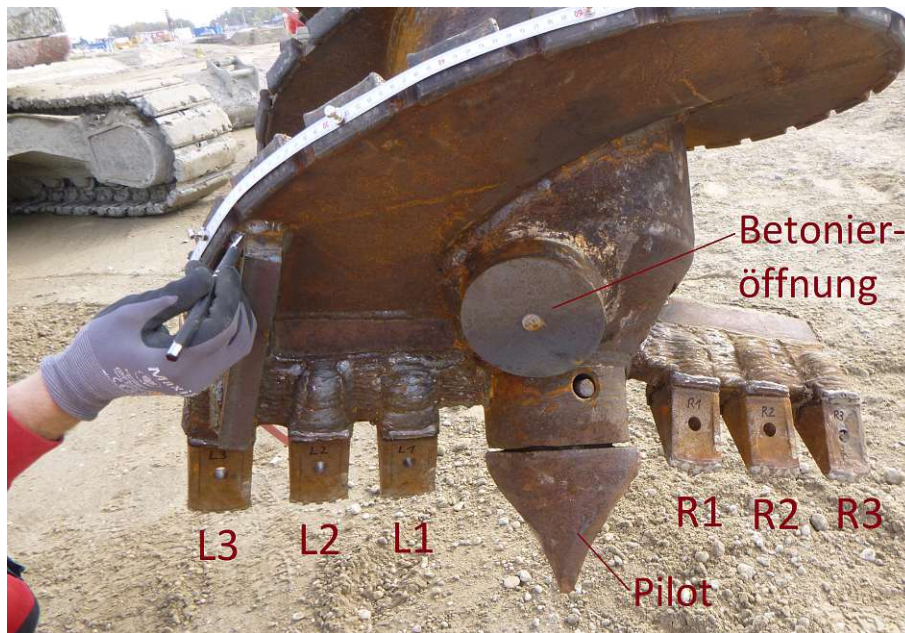


Abb. 4.5: Anfänger 30075 mit Kennzeichnung der Meißel

4.2.1.2 Anfänger 2 - 110935

Der zweite dokumentierte Anfänger hatte die Nummer 110935 (interne Nummer der Porr GmbH). Dieser war mit einer Schweißnaht (als Verschleißschicht) an der Außenseite der Wendel verstärkt. Dieser Anfänger wurde in drei Perioden verwendet und hatte acht Meißel (vier pro Seite). Der Anfänger hatte einen Piloten und ist in Abbildung 4.6 dargestellt.

4.2.2 Verschleißdokumentation der Meißel

Die Meißel sind austauschbare Verschleißelemente, die nach ihrer Lebensdauer oder nach Beschädigung einfach vor Ort ausgetauscht werden. Es gibt im Wesentlichen zwei Arten von Meißeln für einen SOB-Anfänger, nämlich Rundschaftmeißel und Flachzahnmeißel (siehe Abbildung 4.7). Für die gegenständliche Baustelle wurden während der Beobachtungszeiträume Flachzahnmeißel verwendet.

Die Abnutzung (=Verschleiß) der Meißel wird mit dem Masseverlust gegenüber dem Neuzustand gleichgesetzt. Zu diesem Zweck wurden 50 neue Meißel (10 Boxen mit je 5 Flachzahnmeißel) gewogen (siehe Tabelle 4.2), um die Durchschnittsmasse und die Standardabweichung zu ermitteln. Dasselbe erfolgte mit 41 gebrauchten Meißeln (siehe Tabelle 4.3), wobei sich zeigte, dass der Masseunterschied zwischen neuen und gebrauchten Meißeln in der Regel groß genug ist, um die Standardabweichung der neuen Meißel zu vernachlässigen. Für die weitere Auswertung wird



Abb. 4.6: Anfänger 110935 mit Kennzeichnung der Meißel



(a) Flachzahnmeißel



(b) Rundschaftmeißel

Abb. 4.7: Unterschiedliche Meißeltypen

Tab. 4.2: Masse [g] von 50 neuen Flachzahnmeißel

Box	Nr.	Masse [g]	Box	Nr.	Masse [g]	Box	Nr.	Masse [g]	Box	Nr.	Masse [g]
Box 1	1	2468,6	Box 4	16	2465,7	Box 7	31	2464,8	Box 10	46	2458,4
	2	2465,1		17	2477,4		32	2461,4		47	2482,1
	3	2461,2		18	2463,5		33	2460,8		48	2461,3
	4	2467,9		19	2462,4		34	2460,4		49	2462,2
	5	2468,2		20	2458,3		35	2463,4		50	2460,7
Box 2	6	2465,7	Box 5	21	2467,0	Box 8	36	2465,5			
	7	2465,8		22	2469,2		37	2461,7			
	8	2463,8		23	2467,6		38	2460,8			
	9	2470,2		24	2466,2		39	2470,2			
	10	2475,5		25	2469,4		40	2473,0			
Box 3	11	2468,4	Box 6	26	2460,2	Box 9	41	2458,1			
	12	2470,7		27	2463,1		42	2460,7			
	13	2476,8		28	2460,9		43	2460,4			
	14	2479,3		29	2468,9		44	2460,3			
	15	2463,2		30	2458,3		45	2473,4			

Tab. 4.3: Masse [g] von 41 gebrauchten Flachzahnmeißel

Nr.	Masse [g]	Nr.	Masse [g]	Nr.	Masse [g]	Nr.	Masse [g]	Nr.	Masse [g]
1	2344,3	10	2332,6	19	2462,8	28	2173,3	37	2243,3
2	2283,8	11	2423,5	20	2445	29	2448,9	38	2443,6
3	2354,4	12	2406	21	2347,1	30	2423,7	39	2420
4	2307,5	13	2399,4	22	2376,8	31	2363,4	40	2362
5	2408,2	14	2426,2	23	2389,3	32	2040,9	41	2233,8
6	2198,1	15	2452,7	24	2359,9	33	1987,9		
7	2413,6	16	2449,9	25	2461,1	34	2121		
8	2063,9	17	2351,8	26	2442,3	35	2435,6		
9	2419,6	18	2378,7	27	2422,3	36	2391,7		

die ermittelte Durchschnittsmasse der 50 neuen Meißel zur Ermittlung des Meißelverschleißes verwendet. Die genauere Variante wäre, jeden einzelnen Meißel vor dem Einbau zu wiegen, um die genaue Masse zu erhalten. Diese genauere Variante ist jedoch nicht praktikabel, da die Meißel auf der Baustelle immer zu unterschiedlichen Zeiten gewechselt werden und die Dokumentation der genaueren Masse für das Personal auf der Baustelle nicht zumutbar ist. Die Messungen ergaben:

$$\bar{\varnothing}_{neu} = 2465,8 \text{ g}; \sigma_{neu} = 5,7 \text{ g}$$

$$\bar{\varnothing}_{gebraucht} = 2346,6 \text{ g}; \sigma_{gebraucht} = 119,5 \text{ g}$$

Abbildung 4.8 zeigt dazu eine graphische Darstellung anhand der Gauß'schen Glockenkurve.

Auf der Baustelle wurden die gebrauchten Meißel in kleine Plastiksäcke gegeben und diese dann beschriftet (Datum, Nr., ...). Das Wiegen der gebrauchten Meißel kann wegen der Verschmutzung mit Boden und Schmierfett nicht direkt erfolgen. Die folgenden Schritte wurden im Labor durchgeführt und bei Bedarf wiederholt:

1. Meißel in Wasser einweichen,
2. mit einer Handbürste abschrubben,
3. bei Bedarf: Betonreste abstemmen,

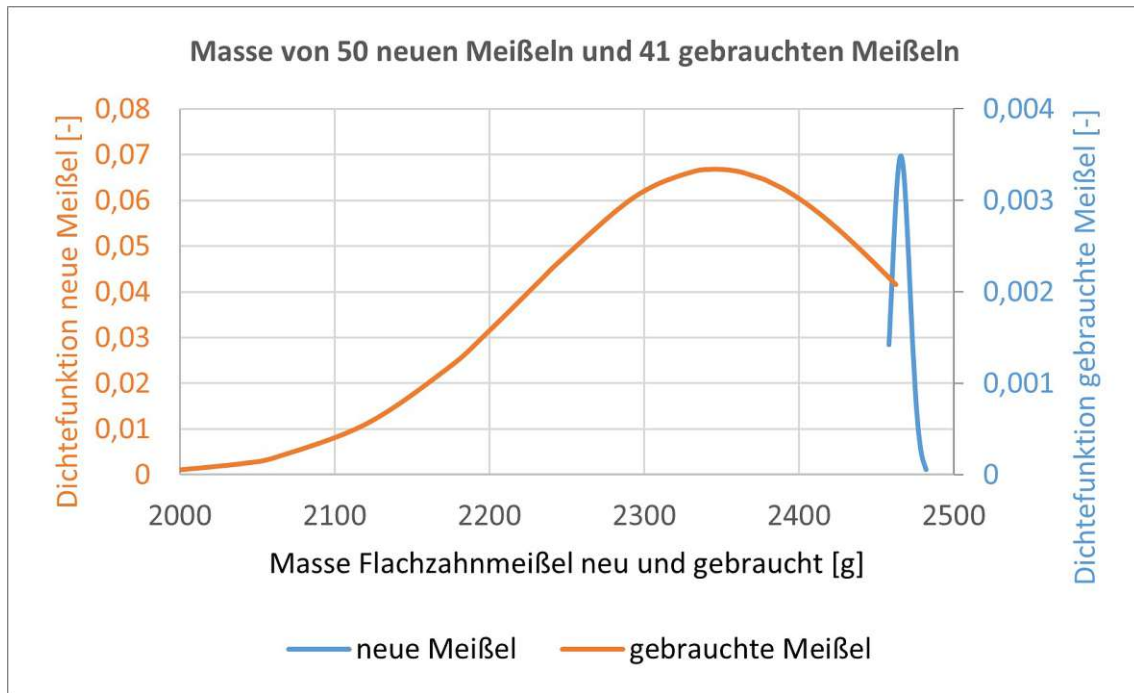


Abb. 4.8: Dichtefunktion der Massenverteilung von neuen und gebrauchten Meißel
Aus Darstellungsgründen wurden die beiden Dichtefunktionen mit unterschiedlicher Skalierung auf getrennten Achsen dargestellt.

4. im Ultraschallreiniger reinigen,
5. mit Druckluft abblasen,
6. bei Bedarf: weiter säubern (z.B.: Entfernung von Fett aus Fugen, ...),
7. abwiegen und
8. Fotodokumentation

Diese Schritte wurden für alle gebrauchten Meißel abgearbeitet, die Dauer pro Meißel betrug ca. 20 Minuten. Abbildung 4.9 zeigt verschmutzte Meißel auf einem Anfänger direkt nach einer Bohrung. Abbildung 4.10 zeigt gebrauchte Meißel nach dem Wiegen.

Für die Berechnung der Laufleistung ist die Position der einzelnen Meißel vom Drehpunkt aus von großer Bedeutung. Dieser Abstand wurde von der Drehachse des Anfängers (Mitte des Piloten beziehungsweise Mitte des Seelenrohrs) nach außen gemessen. Abbildung 4.11 veranschaulicht das Messverfahren.

Es konnte festgestellt werden, dass der Verschleiß der Meißel von innen nach außen überproportional zunimmt, das heißt, die äußeren Meißel haben bezogen auf den zurückgelegten Weg einen größeren Masseverlust als die inneren (vgl. Abb. 7.11). Beispiel: Massenverlust der Meißel der linken Seite vom Anfänger 110935 im Einsatzzeitraum von 06.12.2022 bis 12.12.2022:

$$\Delta_{L1} = 4,66 \text{ g}; \Delta_{L2} = 23,46 \text{ g}; \Delta_{L3} = 43,46 \text{ g}; \Delta_{L4} = 292,46 \text{ g}$$



Abb. 4.9: Beispiel für verschmutzte Meißel



(a) R1-R3, Ausbau am 14.12.2022



(b) R4 und L4, Ausbau am 15.12.2022

Abb. 4.10: Gebrauchte Meißel - (a) leicht und (b) stark verschlissen



(a) Anfänger 30075



(b) Anfänger 110935

Abb. 4.11: Messung der Meißelradien

Die äußeren Meißel scheinen die inneren ein wenig vor deren Abnutzung zu schützen, denn bei einigen Beobachtungen fehlten die äußersten Meißel und die nächstfolgenden wiesen dann eine größere Abnutzung auf. Beispiel: Massenverlust der Meißel „L3“ und „R3“ vom Anfänger 110935 im Einsatzzeitraum von 06.12.2022 bis 12.12.2022 (In diesem Zeitraum war der linke äußere Meißel („L4“) ständig vorhanden und der rechte äußere Meißel („R4“) fehlte schon nach wenigen hergestellten Pfählen.):

$$\Delta_{L3} = 43,46 \text{ g}; \Delta_{R3} = 102,36 \text{ g}$$

Generell ist zu erwähnen, dass die Unterscheidung zwischen abrasiven Abnutzungserscheinungen und gewaltsamen Beschädigungen oftmals schwierig ist. Abbildung 4.10 zeigt leicht und stark abgenutzte Meißel. In den Tabellen 9.3 und 9.4 im Anhang (Kap. 9) sind die Massen der eingesetzten Meißel aufgelistet. In diesen vorher erwähnten Tabellen sind unter anderem folgende Daten aufgelistet: Position, Datum Ausbau, Baulos, Bauabschnitt, Masse, Meißelbreite und Anmerkungen. Weitere wichtige Spalten in der Tabelle sind „Anfänger“ (mit welchem Anfänger wurde gebohrt), „Vermessen“ (wurde in dem Benutzungszeitraum die Wendel vermessen) und „Summe“ (wie viele Meißel wurden in dem Zeitraum gesammelt).

4.2.3 Verschleißdokumentation der Wendel

Die Wendel ist für den Transport des Bohrguts und für die Stützung des Bohrlochs verantwortlich. Die Wendel des Anfängers ist während des Bohrens ständig in Kontakt mit dem Bohrgut, wodurch infolge der abrasiven Wirkung Längen- und Dickenänderungen auftreten. Diese Dicken- und Längenänderungen werden als Verschleiß definiert.

Die Temperatúrausdehnung darf bei den Messungen nicht vernachlässigt werden, insbesondere bei der Gesamtlänge der Wendel. Dazu wurde die Temperaturdifferenz berechnet, bei der die Längenausdehnung die Ablesegenauigkeit eines Maßbandes von einem halben Millimeter überschreitet:

$$\Delta T_{krit.} \stackrel{!}{=} \frac{L_{ungenau}}{\alpha_T \cdot L_{Wendel}} = \frac{0,5}{12 \cdot 10^{-6} \cdot 7000} \approx 6,0 \text{ K}$$

Dies bedeutet, dass erst ab einer Temperaturdifferenz von 6 K die Längenausdehnung größer ist als die Messungenauigkeit. Bei den einzelnen Messungen wurde die Umgebungstemperatur mit Hilfe von Wetter-Apps auf einem Handy ermittelt. Die Temperatúrausdehnung wurde in dieser Arbeit im weiteren Verlauf nicht berücksichtigt, da die Temperaturdifferenzen kleiner oder gleich der kritischen Differenz waren. Im Anhang (Kap. 9) ist in Abbildung 9.9 exemplarisch das Protokoll der Abschlussmessung des Anfängers 30075 vom 18.11.2022 (Verwendung bis 16.11.2022) abgebildet.

Im Folgenden wird zwischen den verschiedenen Arten von Anfängern unterschieden.

4.2.3.1 Anfänger 1 - 30075

Für diesen Anfänger wurden die Gesamtlänge und die Dicke der Wendel vor und nach jeder Aufpanzerung gemessen. Die Dicken, Höhen und Längen der Aufpanzerungen wurden ebenso gemessen. Abbildung 4.5 zeigt die Messung der Gesamtlänge; es wurde dazu ein Maßband mittels Magneten an der Wendel befestigt. Abbildung 4.12 zeigt die Höhen- und Längenmessung einer Aufpanzerung; diese Messungen wurden mit einer Schublehre durchgeführt.



(a) Längenmessung

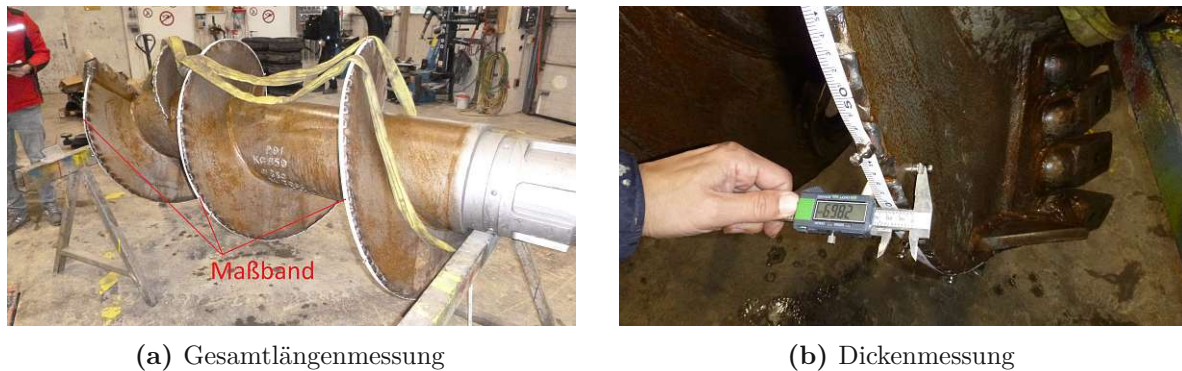


(b) Höhenmessung

Abb. 4.12: Abmessung der Aufpanzerungen des Anfängers 30075

4.2.3.2 Anfänger 2 - 110935

Für diesen Anfänger wurden die Gesamtlänge (wieder mittels Maßband, das mit Magneten fixiert wurde) und die Dicke der Wendel gemessen. Die Dicke wurde alle zehn Zentimeter mit einer Schublehre gemessen. Die Dickenmessung wurde hier unter Einbeziehung eines Zwischenstücks (Magnet) durchgeführt, da eine direkte Messung aufgrund der Geometrie zu verfälschten Ergebnissen geführt hätte. Abbildung 4.13 zeigt die Messung der Gesamtlänge und der Wendeldicke.



(a) Gesamtlängenmessung

(b) Dickenmessung

Abb. 4.13: Abmessung der Wendel des Anfängers 110935

4.2.4 Verschleißdokumentation des Piloten

Der Pilot ist ein optionales Element, da nicht jeder Anfänger einen Piloten besitzt. Es wurden jedoch im beobachteten Zeitraum nur Anfänger mit Piloten verwendet. Beim Piloten entspricht der Masseverlust gegenüber dem Neuzustand dem Verschleiß. Es konnten allerdings keine Messungen an einem Piloten vorgenommen werden, da während des Beobachtungszeitraums kein neuer Pilot eingesetzt wurde. In den Abbildungen 4.5 und 4.6 ist ein montierter Pilot auf beiden Anfängern zu sehen.

4.2.5 Bodenproben

Bodenproben wurden während des Abbohrens entnommen, da beim anschließenden Ziehen/Betonieren eine Unterbrechung zu vermeiden ist. Die Proben wurden mit Datum, Baulos, Bauabschnitt und Tiefe beschriftet. Die Tiefe ist dabei die Tiefe, die die Anfängerspitze im Boden erreicht hat, wenn die Probe an der Oberfläche entnommen wird. Die dokumentierte Tiefe der Probe entspricht somit nicht der tatsächlichen Tiefe. In Kapitel 7.1 wird auf die Tiefenzuordnung der Bodenproben näher eingegangen. In Abbildung 4.14 ist eine Entnahme einer Bodenprobe abgebildet.

Insgesamt wurden 53 Bodenproben entnommen, die Proben sind in den Tabellen 9.1 und 9.2 im Anhang (Kap. 9) aufgelistet. In den davor genannten Tabellen sind die wichtigsten Daten zu den Proben aufgelistet, wie z.B.: Datum, Baulos, Bauabschnitt, Pfahl, Tiefe (Tiefenzuordnung siehe Kap. 7.1), Liter (Volumen des Kübels). Weitere wichtige Spalten in der Tabelle sind „Anfänger“ (mit welchem Anfänger wurde gebohrt), „Vermessen“ (wurde in dem Benutzungszeitraum die Wendel vermessen) und „Meißel“ (wie viele Meißel wurden in dem Zeitraum gesammelt). Es wurden primär Proben aus dem Donauschotter genommen.

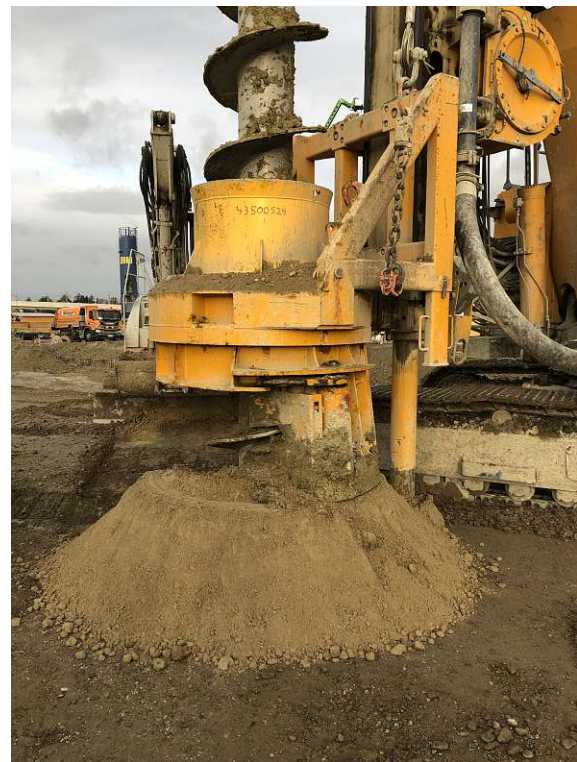
4.2.6 Drehflügel am Anfänger 110935

Um später einen direkten Vergleich zwischen dem Drehflügelverschleiß im Labor und auf der Baustelle ziehen zu können, wurde ein Drehflügel (Verschleißelement des Wiener Abrasimeter Versuchs - siehe Kapitel 6) auf dem Anfänger 110935 montiert. Der Verschleiß ist hier als Masseverlust gegenüber dem Neuzustand definiert. Zu diesem Zweck wurden an der durchgehenden Hauptwendel ca. 50 cm von den Meißel entfernt zwei Löcher gebohrt und mit einem Gewinde versehen. Diese Löcher dienen zur direkten Befestigung des Drehflügels auf der Wendel ohne Zwischenraum.

Es ist wichtig zu beachten, dass sich der Drehflügel bei der Montage auf der Oberseite der



(a) Probenentnahme



(b) Bohrgut beim Bohren

Abb. 4.14: Zeitraum 3: Probenentnahme am 06.12.2022

Wendel befand, dies garantierte einen ständigen Kontakt mit dem zu bohrenden Material während dem Bohrvorgang. Die Position des Drehflügels auf der Wendel muss erfasst werden, um zu einem späteren Zeitpunkt die Leistung zwischen Labor und Baustelle vergleichen zu können. Die Position des Drehflügels darf sich nicht zu weit nach oben (von der Bohrspitze weg) befinden, da sonst die Gefahr einer Beschädigung durch den Schneckenputzer besteht. Abbildung 4.15 zeigt einen montierten Drehflügel vor und nach der Verwendung.



(a) Drehflügel 1 - vor Gebrauch



(b) Drehflügel 1 - nach Gebrauch

Abb. 4.15: Drehflügel 1 auf Anfänger 110935 - vor und nach Gebrauch

Das Wiegen der gebrauchten Drehflügel kann wegen der Verschmutzung durch Boden und dergleichen nicht direkt erfolgen. Das gleiche Verfahren wie bei den Meißeln (siehe Kapitel 4.2.2) wurde angewendet, um die Verunreinigungen zu entfernen, damit die Drehflügel anschließend gewogen werden können.

Insgesamt wurden zwei Drehflügel (DF) eingesetzt (Drehflügel 1 und 2). Der Drehflügel 1 wurde vom 23.01.2023 bis zum 24.01.2023 und der Drehflügel 2 vom 25.01.2023 bis zum 26.01.2023 (bis 15:10) eingesetzt. Die Ergebnisse der Massendifferenzen der beiden Drehflügel sind wie folgt:

$$\Delta_{DF_1} = 1,5 \text{ g}; \Delta_{DF_2} = 4,6 \text{ g}$$

4.3 Beobachtungszeiträume

In diesem Abschnitt werden die einzelnen Beobachtungszeiträume auf der Baustelle näher erläutert, eine Übersicht wurde bereits in Kapitel 4.1 gegeben. Wie die einzelnen Arbeiten durchgeführt wurden, wurde in Kapitel 4.2 beschrieben. Die Beobachtungen wurden zwischen September 2022 und Februar 2023 durchgeführt. Dieser Zeitraum lässt sich grob in drei Zeiträume unterteilen.

4.3.1 Zeitraum 1 - September 2022

Der erste Zeitraum im September 2022 diente der Einarbeitung und Orientierung; es wurde folgendermaßen vorgegangen:

- Anfänger (Wendel): Der Anfänger (B61598) wurde direkt im Bohrgerät auf der Baustelle vermessen.
- Bodenproben: Die Proben wurden ohne Tiefenzuordnung entnommen.
- Meißel: Die Meißel wurden mit Datum, Uhrzeit und Position erfasst.

Abbildung 4.16 zeigt eine Vermessung und Abbildung 4.14 zeigt eine Probenentnahme.



(a) Markierter Startpunkt für die Längenmessung



(b) Längenmessung der Wendel

Abb. 4.16: Zeitraum 1: Vermessung des Anfängers B61598 auf der Baustelle

4.3.2 Zeitraum 2 - Oktober bis November 2022

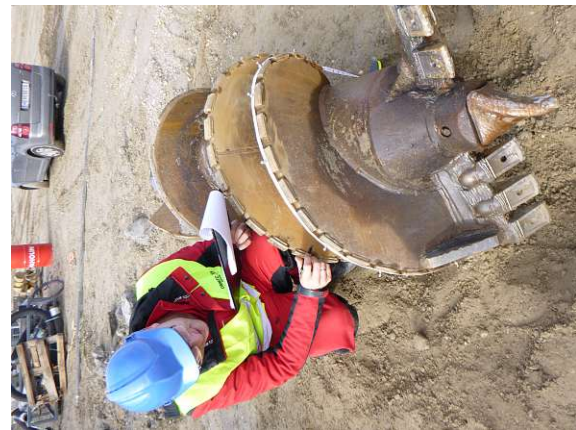
Der zweite Zeitraum verlief wie folgt:

- Anfänger (Wendel): Der Anfänger (30075) wurde auf dem Bauplatz liegend vermessen.
- Bodenproben: Es wurden Proben mit Zuordnung zur jeweiligen Tiefe genommen.
- Meißel: Die Meißel wurden mit Datum, Uhrzeit und Position aufgenommen.

In den Abbildungen 4.12 und 4.17 ist eine Vermessung exemplarisch dargestellt.



(a) Dickenmessung einer Aufpanzerung



(b) Messung der Wendel-Gesamtlänge

Abb. 4.17: Zeitraum 2: Vermessung des Anfängers 30075 auf der Baustelle

4.3.3 Zeitraum 3 - November 2022 bis Februar 2023

Im dritten und letzten Zeitraum wurde wie folgt vorgegangen:

- Anfänger (Wendel): Die Anfänger (30075 und 110935) wurden auf dem Lagerplatz der Porr GmbH liegend beziehungsweise auf einem Hilfsgestell vermessen.
- Bodenproben: Die Proben wurden mit Zuordnung zur Tiefe entnommen.
- Meißel: Die Meißel wurden mit Datum, Uhrzeit und Position aufgezeichnet, weiters wurden sie im Labor gewogen.
- Drehflügel am Anfänger: Die Drehflügel wurden auf der Baustelle am Anfänger (110935) montiert, nach Gebrauch demontiert und anschließend im Labor gewogen.

Abbildung 4.13 zeigt die Vermessung des Anfängers, Abbildung 4.15 zeigt einen montierten Drehflügel und Abbildung 4.14 zeigt die Entnahme einer Bodenprobe.

Kapitel 5

Pfahldaten

In diesem Abschnitt werden jene Daten der Bohrpfähle zusammengestellt und ausgewertet die von der Porr GmbH protokolliert, der Bauer Maschinen GmbH aufgezeichnet und in den Plänen angegeben sind. Sie werden benötigt, um die Messwerte der Baustelle (Kap. 4) mit den Pfahldaten zu verknüpfen und um eine Interpretation der Daten (Kap. 7) durchführen zu können.

5.1 Pfahlprotokolle

Die Protokolle für die Bohrpfähle wurden von der Porr GmbH standardmäßig für jeden einzelnen Pfahl geführt. Diese enthalten eine Vielzahl von Daten wie: Datum, Zeiten (Beginn, Ende), Längen, Höhen (Ober- und Unterkante der Pfähle) und so weiter. Im Anhang (Kap. 9) ist in Abbildung 9.1 exemplarisch ein Pfahlprotokoll dargestellt.

Die folgenden Daten waren für den weiteren Verlauf der Projektbearbeitung von besonderer Bedeutung:

- Datum
- Uhrzeit
- Pfahlnummer
- Pfahllänge
- GOK/ Arbeitsebene
- Pfahlunterkante (GOK minus Pfahllänge)

Mit diesen Daten lässt sich für die einzelnen Beobachtungszeiträume berechnen, wie viele Pfähle respektive welche Gesamtlänge jeweils hergestellt wurde.

Die von der Porr GmbH zur Verfügung gestellten Protokolle wurden als PDFs für die einzelnen Kalenderwochen gespeichert. In einem ersten Schritt wurden alle PDFs zu einer Gesamtdatei zusammengefügt. Diese Datei wurde dann in MATLAB eingelesen, um die gewünschten Daten auszuwerten. Die Vorgehensweise war folgende: Es wird im PDF nach Wörtern oder Zeichenfolgen in der Nähe der benötigten Daten gesucht und deren Position notiert. Von diesen Positionen aus kann dann eine bestimmte Anzahl von Abständen vorwärts oder rückwärts gegangen werden, um die erforderlichen Daten zu erhalten. Diese Daten wurden in eine Tabelle geladen und dann in Excel übertragen. Tabelle 5.1 zeigt einen Auszug aus dieser Tabelle mit den automatisch ausgelesenen Pfahldaten.

Tab. 5.1: Auszug aus den Pfahldaten

Nummer	aus Pfahlprotokollen						aus Maschinendaten	
	Datum	Uhrzeit	Pfahlnummer	Pfahllänge [m]	GOK Arbeitsebene [m ü. A.]	UK Bohrung [m ü. A.]	Umdrehungen bis max. Tiefe [-]	Max. Tiefe [m]
1	25.10.2022	08:50	O-94	15,030	154,720	139,690	260,75	15,030
17	27.10.2022	18:20	O-01	9,630	154,700	145,070	60,79	9,810
18	28.10.2022	08:00	O-09	9,590	155,100	145,510	61,94	9,840
19	28.10.2022	08:25	W-01	9,610	155,100	145,490	54,26	9,970
20	28.10.2022	08:45	W-03	9,630	155,100	145,470	53,01	9,940
25	02.11.2022	09:15	O-02	9,510	155,100	145,590	43,60	9,910
26	02.11.2022	09:40	O-04	9,640	155,100	145,460	45,61	9,950
27	02.11.2022	10:00	O-06	9,600	155,100	145,500	47,13	9,920
28	02.11.2022	10:25	O-08	9,570	155,100	145,530	49,09	9,930
29	02.11.2022	10:45	O-10	9,620	155,100	145,480	50,05	9,920
30	02.11.2022	11:25	W-02	9,670	155,100	145,430	54,96	
31	02.11.2022	11:45	W-04	9,630	155,100	145,470	51,23	9,920
32	02.11.2022	12:10	W-06	9,610	155,100	145,490	53,56	9,880
33	02.11.2022	13:05	W-08	9,560	155,100	145,540	56,84	9,930
34	02.11.2022	13:25	W-10	9,580	155,100	145,520	60,35	9,960
35	02.11.2022	13:50	O-12	9,580	155,100	145,520	57,41	10,010
36	02.11.2022	14:05	O-14	9,650	155,100	145,450	52,60	9,940
37	02.11.2022	14:20	O-16	9,580	155,100	145,520	61,93	9,960
38	02.11.2022	14:40	O-22	9,570	155,100	145,530	69,27	9,820
39	02.11.2022	15:40	O-18	9,630	155,100	145,470	60,96	9,820
40	02.11.2022	16:05	O-20	9,570	155,100	145,530	64,75	10,070
41	03.11.2022	08:10	O-13	9,560	155,100	145,540	47,45	9,720
42	03.11.2022	08:25	O-15	9,610	155,100	145,490	58,03	9,780
43	03.11.2022	08:45	O-19	9,580	155,100	145,520	50,54	9,800
44	03.11.2022	09:15	O-21	9,580	155,100	145,520	56,66	9,810
45	03.11.2022	09:45	O-24	9,590	155,100	145,510	56,60	9,770

5.2 Maschinendaten

Die Maschinendaten wurden standardmäßig von der Bauer Maschinen GmbH für die während des Beobachtungszeitraums eingesetzten Bohrgeräte (Bauer BG33H, Bauer BG33V und Bauer BG36H) erfasst. Diese wurden von der Bauer Maschinen GmbH gespeichert und bei Bedarf an deren Kunden versandt. Die für diese Arbeit verwendeten Datensätze enthielten neben allgemeinen Daten wie Pfahlnummer, Datum, Uhrzeit und so weiter auch die Tiefe und die dazugehörige Schneckendrehzahl in Sekundenschritten (Es wird sekundlich der Wert der Umdrehungsgeschwindigkeit [Umdrehungen/Minute] angegeben.). Die Anzahl der Umdrehungen wird in den Maschinendaten in der Einheit „Umdrehungen pro Minute“ angegeben, daher muss die Anzahl der Umdrehungen durch 60 geteilt werden, um die Anzahl der Umdrehungen pro Sekunde zu erhalten. Durch Aufsummieren der Umdrehungen erhält man die Gesamtumdrehungen bis in die jeweilige Tiefe. Tabelle 5.2 zeigt einen Auszug aus den Maschinendaten.

Hinsichtlich der Ermittlung des Weges der einzelnen Meißel stellt sich an dieser Stelle die Frage, ob die Abstände der einzelnen Meißel von der Drehachse in die Excel-Datei der Maschinendaten einfließen soll oder ob diese erst zu einem späteren Zeitpunkt berücksichtigt werden sollen. Diese Frage stellt sich, weil der Vorschub über die Tiefe der Bohrung nicht konstant ist (wie in den Daten zu sehen ist, nimmt der Vorschub über die Tiefe in den beobachteten Fällen ab), was wiederum bedeutet, dass der tatsächliche Weg jedes Meißels nur ermittelt werden kann, wenn die Drehradien der einzelnen Meißel mit den tiefenbezogenen Daten in der Maschinendatei verknüpft werden.

Da eine direkte Verknüpfung in den Maschinendaten recht kompliziert ist, wurde untersucht, ob anstelle des (nicht konstanten) tiefenabhängigen Vorschubes von einem gemittelten Vorschub (entspricht einer Linearisierung) ausgegangen werden kann. Dazu wurde die Größenordnung der Differenz des tiefenabhängigen Vorschubs und des linearisierten Vorschubs für ausgewählte Pfähle untersucht. Es zeigte sich, dass die Differenz weit unter einem Prozent liegt. Berücksichtigt man,

Tab. 5.2: Maschinendaten für den Pfahl: BA4-O94 [14]

Baustelle.....:	stadtstr bt 4
Auftragsnummer..:	0
Auftraggeber.....:	PORR
Gerätefahrer.....:	ICH
Elementnummer..:	BA4-O-94
Datum.....:	25.10.2022
Uhrzeit.....:	09:02:35
Anzahl der Daten:	2211

@TIME data	
Tiefe [m]	Anzahl der UmKDK Drehzahl [U/min]
0	0 7,7
0	0 11,3
0	0 11,9
0	0 12
0,01	0 11,9
0,05	0 11,9
0,08	0 11,9
0,11	0 12
0,14	0 11,9
0,17	0 12,1
0,2	0 12,6
0,22	0 12,8
0,26	0 13

Tab. 5.3: Meißelweg linear und nicht linear für den Pfahl BA4-O94 über die gesamte Bohrtiefe von 15,03 m

Meißel	Radius [cm]	Weg linear [m]	Weg nicht linear [m]	Diff. der Wege [%]	Diff. bei einer Messtoleranz von 0,5 mm [%]
R1	16,70	274,02	274,16	0,054	0,299
R2	27,85	465,53	456,62	0,019	0,179
R3	38,25	626,85	626,91	0,010	0,131
L1	17,35	284,65	284,79	0,050	0,287
L2	27,65	453,25	453,34	0,020	0,181
L3	38,55	631,76	631,83	0,010	0,130

dass die Messung der Radien der Meißel mit Hilfe eines Maßstabs erfolgt und die Messtoleranz etwa einen halben Millimeter beträgt, kommt man zu dem Schluss, dass der hier auftretende mögliche Fehler größer ist. In Abbildung 5.1 ist der Meißelweg über die Bohrtiefe aufgetragen, in Orange ist der Weg linearisiert und in Blau nicht linearisiert dargestellt. Tabelle 5.3 zeigt die linearen und nichtlinearen Wege für die einzelnen Meißel, sowie die Differenz zwischen den beiden Wegen und die Differenz (Messtoleranz) zwischen den einzelnen Meißelradien, wenn der Radius jeweils um einen halben Millimeter verändert wird. Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass der Fehler durch die Linearisierung mit zunehmendem Radius überproportional kleiner wird.

Für die weitere Auswertung wurde somit die Festlegung getroffen, die Wege der einzelnen Meißel zu linearisieren, da der zusätzliche Aufwand einer genaueren Betrachtung nicht verhältnismäßig ist.

Dazu wurden zwei Werte pro Pfahl aus der Excel-Datei mit den Maschinendaten benötigt. Dies waren die maximale Tiefe und die Anzahl der Gesamtumdrehungen in dieser Tiefe. Da diese Daten für 460 Pfähle benötigt wurden, wurde eine Excel-Datei mit Makros erstellt. Diese Datei

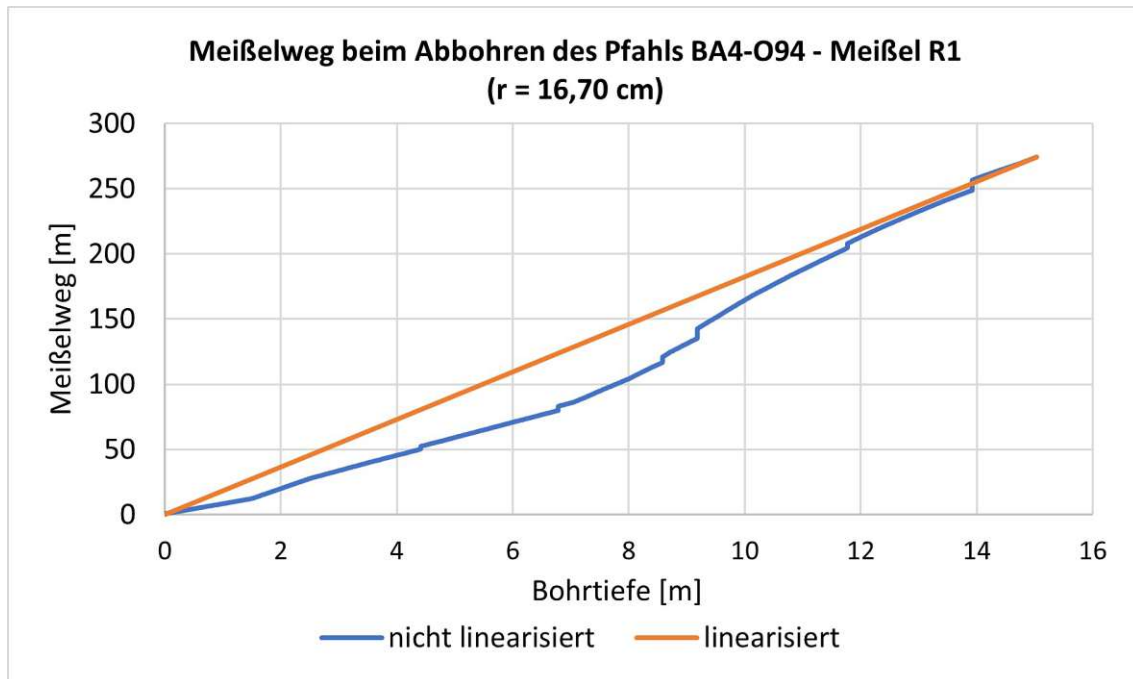


Abb. 5.1: Meißelweg über Bohrtiefe linear und nicht linear Pfahl: BA4-O94 [14]

führte unter Angabe des Dateinamens und des Dateipfades für jeden Pfahl eine automatisierte Auswertung durch um die benötigten Daten für alle Pfähle zusammenzustellen. In Tabelle 5.1 sind die Maschinendaten in die Pfahldatentabelle eingebettet.

In dieser Tabelle (Tab. 5.1) ist in der Spalte „Pfahlnummer“ ein orangefarbenes Feld (W-02) zu sehen. Für diesen Pfahl und für 36 weitere waren keine oder falsche Maschinendaten (z.B.: nur leere Datensätze) vorhanden. In diesem Fall wurde die Umdrehungsanzahl bis zur maximalen Tiefe angenommen, indem der Durchschnittswert von allen Pfählen, die am gleichen Tag, mit dem gleichen Bohrergerät und mit der gleichen Tiefe (plus minus 20 cm) gebohrt wurden, berechnet wurde.

Bei der Betrachtung von Bohrtiefe und Gesamtumdrehung wurde eine nichtlineare Tendenz festgestellt, das heißt, Pfähle mit größerer Bohrtiefe erfordern überproportional mehr Umdrehungen als Pfähle mit geringerer Bohrtiefe. Abbildung 5.2 zeigt diese Tendenz für 390 Bohrpfähle.

5.3 Schichtgrenzen

Dieses Kapitel befasst sich mit der Fragestellung, wie hoch der Anteil der Bohrlänge in den einzelnen Bodenschichten ist. Die Anteile sind aus zwei Gründen nicht gleichmäßig über die Baulosbereiche verteilt: Erstens sind die Schichtgrenzen nicht immer horizontal und zweitens sind die Längen der Pfähle und die Höhen (GOK des Pfahles) nicht konstant.

Ziel ist es, für jeden Pfahl die individuellen Bohrmeter in den einzelnen Bodenschichten zu erhalten. Zu diesem Zweck wurden geometrische Schnitte und Grundrisse [15] in ein CAD-Programm übernommen. Diese wurden mit den Daten aus den Pfahlprotokollen [14] verknüpft. Dabei wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Die Schichtgrenzen wurden entsprechend dem geplanten Zustand (Soll-Zustand) übernommen.

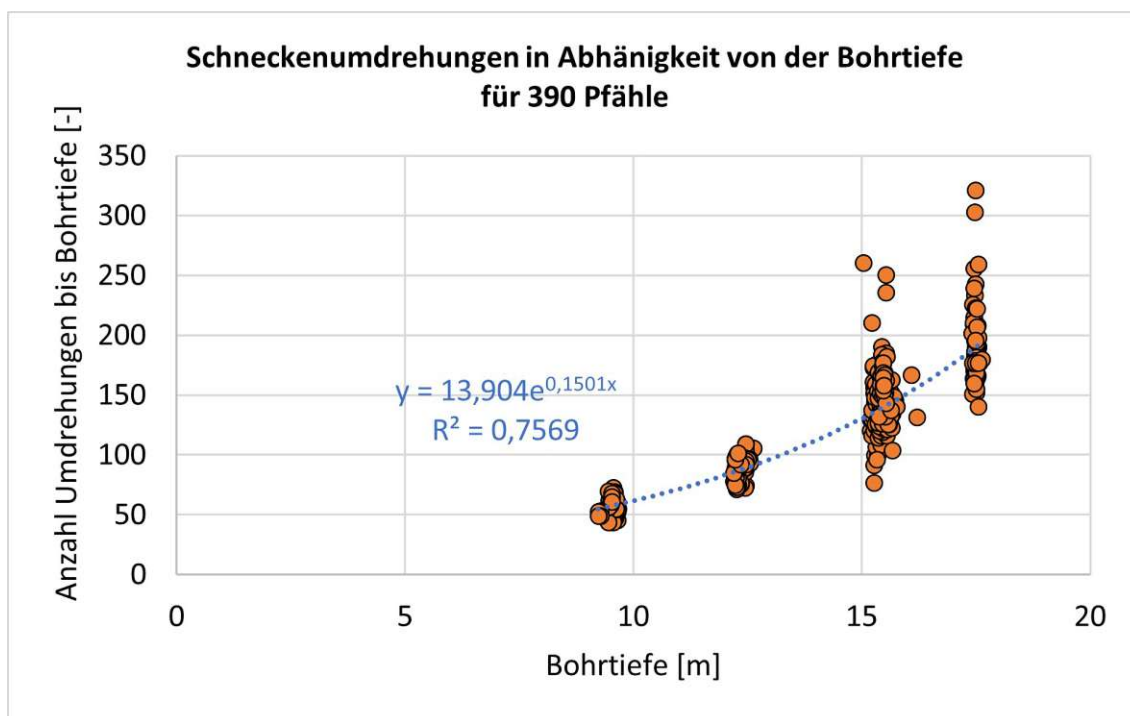


Abb. 5.2: Gesamtumdrehungen der Bohrschnecke bis zur max. Bohrtiefe

- Die Schichten „Anschüttung“, „Mutterboden“ und „Ausedimente“ wurden zu einer Schicht („Ausedimente“) zusammengefasst.
- Die Oberkanten und Längen der Pfähle wurden in jeweils passende Teilbereiche zu Mittelwerten zusammengefasst (plus/minus 20 cm Wertebereich).

Anhand der Annahmen wurden die hergestellten Pfähle in die zugehörigen Teilbereiche (gleiche Pfahllängen) unterteilt und innerhalb dieser wiederum in stückweise lineare Unterteilflächen (gleiche Pfahllängen und lineare Schichtgrenzen) eingeteilt. Abbildung 5.3 zeigt solche Teilbereiche und Unterteilbereiche mit einheitlicher Pfahloberkante und Pfahllänge, wobei die Schichtgrenzen nicht konstant sind (über die gesamte Teilfläche).

Den einzelnen Unterteilbereichen wurden dann die jeweiligen Pfahlnummern zugewiesen, und die Bohrmeter pro Schicht wurden mithilfe von Wenn-Funktionen in Excel ermittelt. Für Abbildung 5.3 wurde der folgende Code in Excel für die miozäne Schicht verwendet: `WENN(UND(131,5<Pfahlnummer;Pfahlnummer<137,5);5,18+1,14*(Pfahlnummer-132)/5;WENN(UND(137,5<Pfahlnummer;Pfahlnummer<151,5);6,32+0*(Pfahlnummer-138)/13;))`. Dieser Code ordnet einer Pfahlnummer einen linear ansteigenden Wert von 132 bis 137 und einen konstanten Wert von 138 bis 151 zu. Es ist zu beachten, dass die Längen aus dem Schnitt in der Straßenachse sind und dass diese in den Kurven auf der Außenseite länger und auf der Innenseite kürzer werden.

Für den Teilbereich in Abbildung 5.3 sind in der Tabelle 5.4 die jeweiligen Bohrmeter der einzelnen Pfähle (W-132 bis W-151) in den unterschiedlichen Schichten aufgelistet.

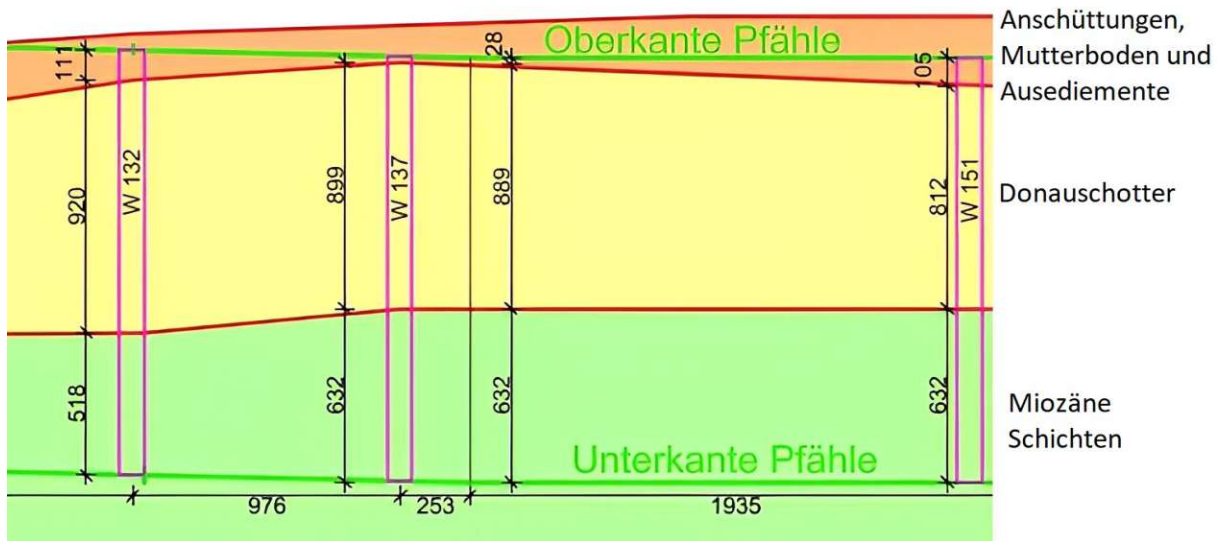


Abb. 5.3: Beispielhafter geotechnischer Längenschnitt mit den Schichtgrenzen und Ermittlung der Bohrmeter innerhalb der einzelnen Schichten

Tab. 5.4: Bohrmeter der Pfähle W-132 bis W-151 in den einzelnen Bodenschichten

Pfahlnummer	Ausedimente [m]	Donauschotter [m]	Miozäne Schichten [m]
W-132	1,12	9,22	5,18
W-133	0,94	9,31	5,41
W-134	0,76	9,10	5,64
W-135	0,59	9,12	5,86
W-136	0,41	8,99	6,09
W-137	0,23	9,18	6,32
W-138	0,23	9,01	6,32
W-139	0,27	9,11	6,32
W-140	0,27	8,98	6,32
W-141	0,34	8,79	6,32
W-142	0,41	8,77	6,32
W-143	0,48	8,71	6,32
W-144	0,55	8,62	6,32
W-145	0,62	8,54	6,32
W-146	0,70	8,35	6,32
W-147	0,77	8,31	6,32
W-148	0,84	8,41	6,32
W-149	0,91	8,29	6,32
W-150	0,98	8,24	6,32
W-151	1,05	8,11	6,32

Kapitel 6

Laborversuche

Im Zuge dieser Arbeit wurden mehrere Versuche im Labor der TU Wien im Science Center Arsenal (1030 Wien, Lilienthalgasse 14 / OC Tor 2) durchgeführt. In diesem Kapitel werden der Wiener Abrasimeterversuch kurz erklärt, der Versuchsablauf erläutert und schließlich ausgewählte Ergebnisse vorgestellt.

6.1 Wiener Abrasimeterversuch (TU Wien Abrasimeter)

Das Wiener Abrasimeter wurde bereits in Kapitel 2 erwähnt und kurz beschrieben. In diesem Abschnitt geht es um das eigentliche Versuchsverfahren, welches im *Merkblatt Abrasivitätsbestimmung von grobkörnigem Lockergestein* [7] erläutert wird. Der Versuch dient der Ermittlung eines Indexwertes für die Abrasivität und die Kornzerkleinerung von Lockergestein. Es können Korngrößen von 0,063 bis 31,5 mm geprüft werden. Der Versuch kann sowohl trocken als auch nass durchgeführt werden, wobei der nasse Versuch die oft vorherrschenden Bodenverhältnisse (Bohren im Grundwasser bzw. feuchter Boden) besser repräsentiert. [7]

6.1.1 Apparatur

Das Versuchsgerät besteht aus folgenden wesentlichen Teilen:

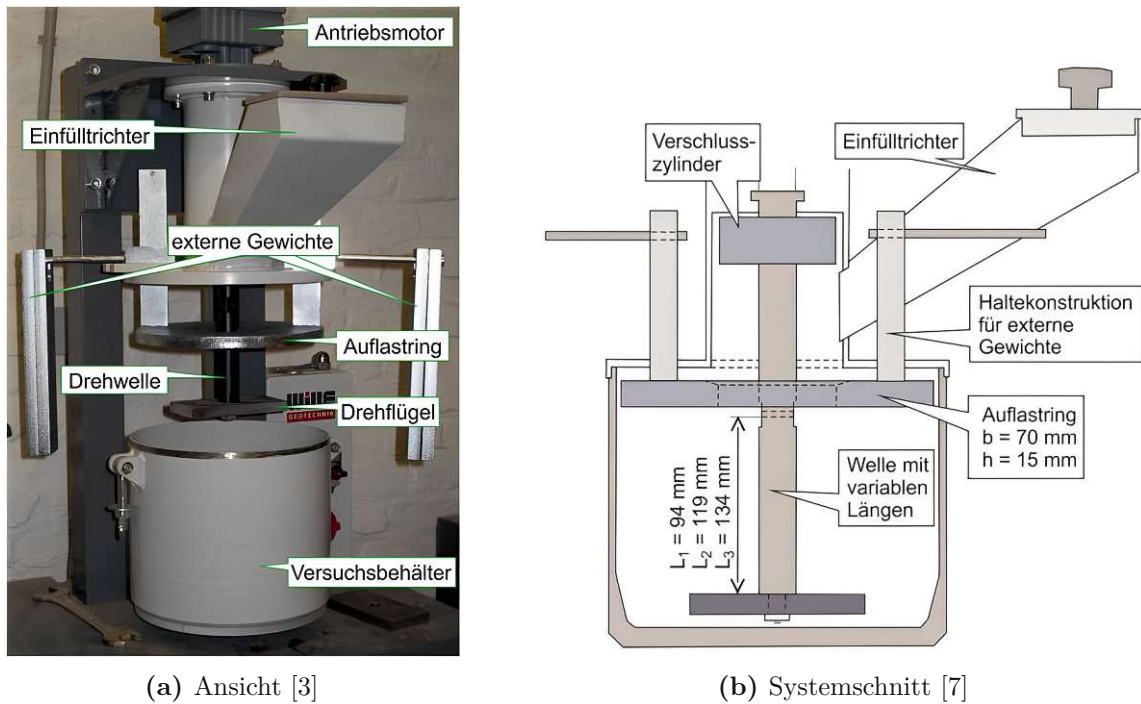
- Versuchsbehälter (Innendurchmesser von 25 cm)
- Drehflügel (L/B/H: $134,0 \pm 0,5 / 67,0 \pm 0,5 / 12,0 \pm 0,2$ mm)
- Auflast

Der Drehflügel ist das Verschleißelement, mit dem die späteren Messwerte ermittelt werden. Dieser muss nach jedem Versuch ersetzt werden. Die Oberflächen sind auf der Ober- und Unterseite sandgestrahlt und die Kanten sind ohne Abfasungen. Abbildung 6.1 zeigt einen Versuchsaufbau und einen Systemschnitt des Abrasimeters der TU Wien, in dem die westlichen Komponenten benannt sind. [7]

Für die Versuche werden die Randbedingungen aus Tabelle 6.1 vorgegeben. Die gesamte Auflast, bestehend aus dem Auflastring, dem Verschlusszylinder und den externen Gewichten, beträgt 13,5 kg und simuliert die auf den Boden wirkende Lagerungsspannung im eingebauten Zustand. Tabelle 6.2 erläutert die Wahl der Länge des Passstücks, mit dem die variable Länge der Welle erreicht wird. Die Abkürzung d_{gm} bedeutet: gewogene mittlere Korngröße der Bodenprobe und wird wie folgt berechnet:

$$d_{gm} = \frac{\sum(a_i \cdot d_{m,i})}{\sum a_i}$$

Dabei steht a_i für die Massenanteile der Kornklasse i an der Gesamtprobe in Prozent und $d_{m,i}$ für den arithmetischen Mittelwert der oberen und unteren Korngrößengrenze der Kornklasse i in Millimeter. [7]



(a) Ansicht [3]

(b) Systemschnitt [7]

Abb. 6.1: Ansicht und Systemschnitt des Wiener Abrasimeters inkl. Bezeichnung der Bestandteile

Tab. 6.1: Randbedingungen für den Wiener Abrasimeterversuch [7]

Drehflügel	Abmessungen 67 x 134 x 12 mm (Toleranzen gem. Abbildung 3-3) Stahl C15E (1.1141), sandgestrahlt 30 μm Härte i.M. 60 – 70 HRB (ca. 125 HV30)
Umdrehungsgeschwindigkeit	100 U/min, elektronisch gesteuert (6.000 \pm 100 U/h)
Versuchsbehälter	Stahlzylinder (S235JR), Innendurchmesser 250 mm \pm 1 mm
Bodenprobe	7.000 \pm 50 g
Trinkwasser	700 \pm 70 g
Passstücke der Drehwelle	45 mm, 70 mm, 85 mm (gemäß Tab. 3-2)
Auflasting	5.500 \pm 25 g
Verschlusszylinder	2.000 \pm 25 g
Externe Gewichte	2 x 3.000 \pm 50 g
Messzeitpunkte der Drehflügelmasse	0, 30, 60, 120 min

Tab. 6.2: Wahl des Passstückes für den Wiener Abrasimeterversuch [7]

Länge des Passstückes [mm]	d_{gm} [mm]	Anmerkung
85	< 8	
70	8 bis 16	max. 50 Massen-% > 16 mm
45	> 16	

Für spezifischere Fragestellungen kann von den Standard-Randbedingungen abgewichen werden. Im Falle von Abweichungen muss der AIW-Index in den Ergebnissen mit einem Sternchen gekennzeichnet werden, da die Abweichungen die Prüfwerte beeinflussen. Solche Abweichungen wären zum Beispiel: Herabsetzung der Drehzahl, Verringerung der Belastung, andere Messzeiten und so weiter. [7]

6.1.2 Vorbereitung

Für jeden Einzelversuch sind sieben Kilogramm Trockenmasse des Prüfmateri als in den Korngrößen 0,063 bis 31,5 mm erforderlich, so dass für einen Nass- und Trockenversuch 14 kg erforderlich sind. Das Überkorn (größer oder gleich 31,5 mm), das Schlämmkorn (kleiner 0,063 mm), die Siebverluste und der Wassergehalt der Ausgangsprobe müssen dabei berücksichtigt werden. Die folgenden Schritte sind gemäß *ÖNORM EN ISO 17892-4* [10] auszuführen.

In einem ersten Schritt wird das Schlämmkorn durch Nasssiebung vom Siebkorn getrennt. Das nasse Siebkorn wird im Ofen bei 105 °C getrocknet und anschließend trocken gesiebt. Bei dieser Siebung wird das Überkorn ausgesiebt und die verbleibende Probe in Kornklassen eingeteilt. Diese Kornklassen sind: 0,063 - 0,125, 0,125 - 0,25, 0,25 - 0,5, 0,5 - 1, 1 - 2, 2 - 4, 4 - 8, 8 - 16 und 16 - 31,5 mm, wobei die Kornklassen: 0,063 - 0,125, 0,125 - 0,25, 0,25 - 0,5, 0,5 - 1 und 1 - 2 mm zu einer Kornklasse: 0,063 - 2 mm zusammengefasst werden. Für jeden Versuch werden sieben Kilogramm Trockenmasse aus den sortierten Kornklassen mit der entsprechenden Massenverteilung der Ausgangsprobe rückgemischt. [7]

6.1.3 Durchführung

Ein Versuchsprotokoll für den Standardversuch ist im Anhang (Kap. 9) in Abbildung 9.10 dargestellt. Zur Durchführung eines Einzelversuches werden die folgenden Punkte abgearbeitet: [7]

1. Der unbenutzte Drehflügel wird in einem Ultraschallbad gereinigt, anschließend getrocknet und gewogen. Das Ergebnis wird im Protokoll unter Drehflügelmasse - vor Versuch vermerkt. Die Masse muss auf ein hundertstel Gramm genau mit einer Präzisionswaage bestimmt werden.
2. Bei Nassversuchen wird in dem Versuchszylinder Wasser eingefüllt (700 g; entspricht einem Wassergehalt von 10%).
3. Der Auflastring und der Verschlusszylinder sind in der höchstmöglichen Position zu befestigen. Montage des Drehflügels mit dem berechneten Passstück (Berechnung nach Tabelle 6.2) und dessen Befestigung mit dem passenden Gegenstück.
4. Den Topf anheben und mit den vorgesehenen Flügelmuttern befestigen.
5. Befüllung der sieben Kilogramm ofengetrockneten Probe über den Einfülltrichter.
6. Den Auflastring auf die Probe im Behälter absenken und den Verschlusszylinder auf die Probe fallen lassen. Anbringen der externen Gewichte (drei Kilogramm pro Seite) auf beiden Seiten.
7. Der Versuch wird mit parallel laufender Stoppuhr gestartet, nachdem die Geschwindigkeit des Drehflügels auf 100 Umdrehungen pro Minute eingestellt wurde.

8. Während des Versuchs ist eine wiederholte Kontrolle notwendig, da unter anderem die externen Gewichte verrutschen oder der Drehflügel in der Probe stecken bleiben kann. Bei der Behebung der Probleme muss die Zeit angehalten und die Fehler im Protokoll vermerkt werden (mögliche Fehler sind im Protokoll in Abbildung 9.10 aufgelistet).
9. Die Drehung des Drehflügels und die Stoppuhr zu den vorgegebenen Messzeiten (nach 30, 60 und 120 Minuten) stoppen. Die externen Gewichte entfernen und den Auflastring und den Verschlusszylinder anheben. Anschließend wird die Bodenprobe vollständig entfernt, das Kunststofflager für die Drehwelle am Boden des Prüftopfs ist mit Druckluft zu reinigen. Der Drehflügel wird wie unter Punkt eins gereinigt und anschließend wird die Masse in das Protokoll unter Drehflügelmasse eingetragen - nach 30, 60 oder 120 Minuten. Die Unterbrechung sollte so kurz wie möglich sein, aber nicht länger als 30 Minuten.
10. Der Versuch wird fortgesetzt (wenn dieser nach 30 und 60 Minuten unterbrochen wurde), indem die Schritte drei bis zehn wiederholt werden. Beim Wiedereinbau des Drehflügels nach Schritt drei ist darauf zu achten, dass die Drehrichtung beibehalten wird (Die Ober- und Unterseite muss immer auf der gleichen Seite bleiben). Bei Nassversuchen muss der Wasserverlust durch Zugabe von Wasser ausgeglichen werden (z.B. mit einer Sprühflasche).
11. Nach Abschluss des Versuches wird der Wassergehalt der Probe nach *ÖNORM EN ISO 17892-1* [9] bestimmt. Anschließend wird für beide Versuche (Nass- und Trockenversuch) eine Nasssiebung wie im Unterpunkt Vorbereitung, mit anschließender Trocknung und Einteilung in Kornklassen nach einer Trockensiebung durchgeführt (*ÖNORM EN ISO 17892-4* [10]).
12. Nach Beendigung der Arbeiten ist die Prüfeinrichtung von Staub und Feinteilen zu reinigen. Das Gleitlager im Topfboden und die Kunststoffdichtung am Auflastring sind gegebenenfalls zu erneuern.

6.1.4 Auswertung

Für jeden Versuch wird die Verschleißmasse $\Delta m_{w,t}$ zum jeweiligen Messzeitpunkt in Gramm berechnet. Für diese Berechnung wird laut [7] die Masse des Drehflügels nach dem jeweiligen Zeitpunkt m_t von der Ausgangsmasse m_0 in Gramm subtrahiert:

$$\Delta m_{w,t} = m_0 - m_t$$

Der Wiener Abrasimeter Index AIW ist einheitenlos und wird getrennt für den Trocken- (AIW_{tr}) und Nassversuch (AIW_n) berechnet. Der Massenverlust der Verschleißmessungen nach 60 Minuten $\Delta m_{w,60}$ in Gramm wird dazu mit dem Faktor 100 multipliziert, wobei die Einheit Gramm^{-1} lautet. Die Berechnung laut [7] ist folgendermaßen:

$$AIW = \Delta m_{w,60} \cdot 100$$

Wurden an derselben Bodenprobe ein Trocken- und ein Nassversuch durchgeführt, kann der Einflussfaktor des Wassers auf die Abrasivität f_w berechnet werden. Der f_w -Wert ist einheitenlos und wird gemäß [7] durch den Quotienten aus AIW_n und AIW_{tr} bestimmt:

$$f_w = \frac{AIW_n}{AIW_{tr}}$$

Mit Hilfe der Kornverteilungslinien, die aus dem Ausgangsmaterial und aus der Probe nach dem Versuch erstellt wurden, kann der Zerkleinerungsgrad ΔG_{AIW} in Prozent berechnet werden. Dieser Wert kann wiederum für beide Versuchsarten berechnet werden. Er wird laut [7] folgendermaßen berechnet: Differenz der Grobfaktoren vor (G_0) und nach (G_{120} nach 120 Minuten) dem Versuch geteilt durch den Grobfaktor vor (G_0) dem Versuch

$$\Delta G_{AIW} = \frac{G_0 - G_{120}}{G_0} \cdot 100$$

„Der Grobfaktor G [cm^2] ist definiert als jene Fläche, die bei einer halblogarithmischen Darstellung der Kornverteilungslinie oberhalb der Sieblinie $\geq 0,063$ mm Korndurchmesser bis zur Abszissenparallelen durch 100 Gewichtsprozent Siebdurchgang eingeschlossen wird. Eine logarithmische Einheit auf der Abszisse wird mit 10 cm in Rechnung gestellt und auf der Ordinate entsprechen jeweils 10 Gewichts% der Gesamtmenge 1 cm.“ [7, S. 13]

Die Abbildung 6.2 verdeutlicht die Bestimmung der Grobfaktoren.

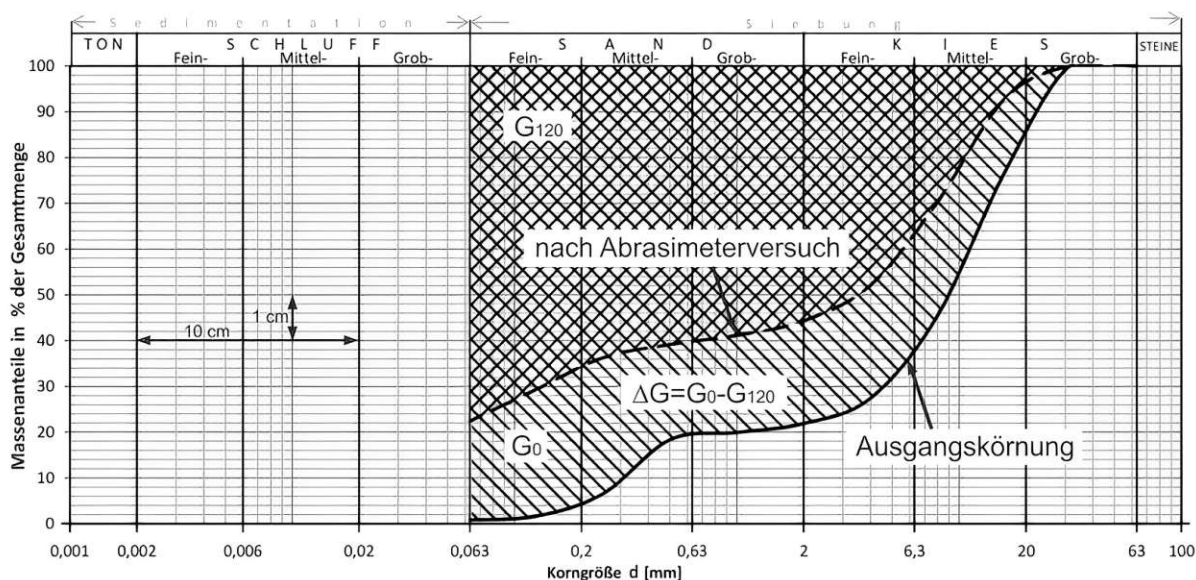


Abb. 6.2: Ermittlung der Grobfaktoren [7]

Der AIW-Wert ist ein Maß für das Verschleißpotenzial des natürlichen Bodens. Der Zerkleinerungsgrad ΔG_{AIW} ist ein Maß für die Kornzerkleinerung bzw. Brechbarkeit.

6.2 Versuchsdurchführung mit den entnommenen Bodenproben

In diesem Abschnitt wird erläutert, wie die Untersuchungen an den entnommenen Bodenproben durchgeführt wurden. Wie bereits zu Beginn dieses Kapitels erwähnt, wurden die Versuche im Erdbaulabor der Technischen Universität Wien durchgeführt. Der Zeitraum, in dem die Durchführung der Versuche erfolgte, war von Februar bis Mai 2023.

In einem ersten Arbeitsschritt wurde entschieden, welche Bodenproben für die Untersuchungen verwendet werden sollten. Es wurde darauf geachtet, dass für die ausgewählten Proben in der

jeweiligen Tiefenstufe ausreichend Material zur Verfügung stand, um Trocken- und Nassversuche durchführen zu können. Außerdem wurde berücksichtigt, dass sich in der Nähe der entnommenen Bodenprobe Pfähle befinden, bei denen eine Verschleißdokumentation durchgeführt wurde.

Für die erste Nasssiebung wurden etwa 30 kg Ausgangsmaterial pro Bodenprobe verwendet. Im Falle des untersuchten Donauschotters stellte sich heraus, dass von den 30 kg Ausgangsmaterial etwa 25 kg getrocknetes Probenmaterial in den gewünschten Korngrößen übrigblieben. Aus diesem Grund wurden für die Versuche immer drei Teilproben mit sieben Kilogramm Trockenmasse hergestellt (für einen Trockenversuch, einen Nassversuch und eine Reserve).

Die Versuche wurden wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben durchgeführt, jedoch mit folgenden Änderungen. Bei der Einteilung der Kornklassen wurde ein zusätzliches 22,4 mm Sieb verwendet und somit die Kornklasse 16 - 31,5 mm in die Klassen 16 - 22,4 und 22,4 - 31,5 mm unterteilt. Es wurde der zweite Schritt der Wasserzugabe (beim Nassversuch) erst während des sechsten Schrittes nach dem Befüllen des Topfes mit dem Versuchsmaterial vorgenommen. Diese Verschiebung der Schritte hat keinen Einfluss auf den Versuch, erleichtert aber das Befüllen zu Beginn des Versuchs erheblich. Die Abbildung 6.3 zeigt den Einfülltrichter nach der ersten Befüllung mit trockenem Material und nach der Befüllung mit nassem Material, das bereits 30 Minuten lang getestet wurde. Der letzte Teil von Schritt zehn, die Zugabe von Wasser, wurde bei der erneuten Einbringung der nassen Probe nicht durchgeführt.

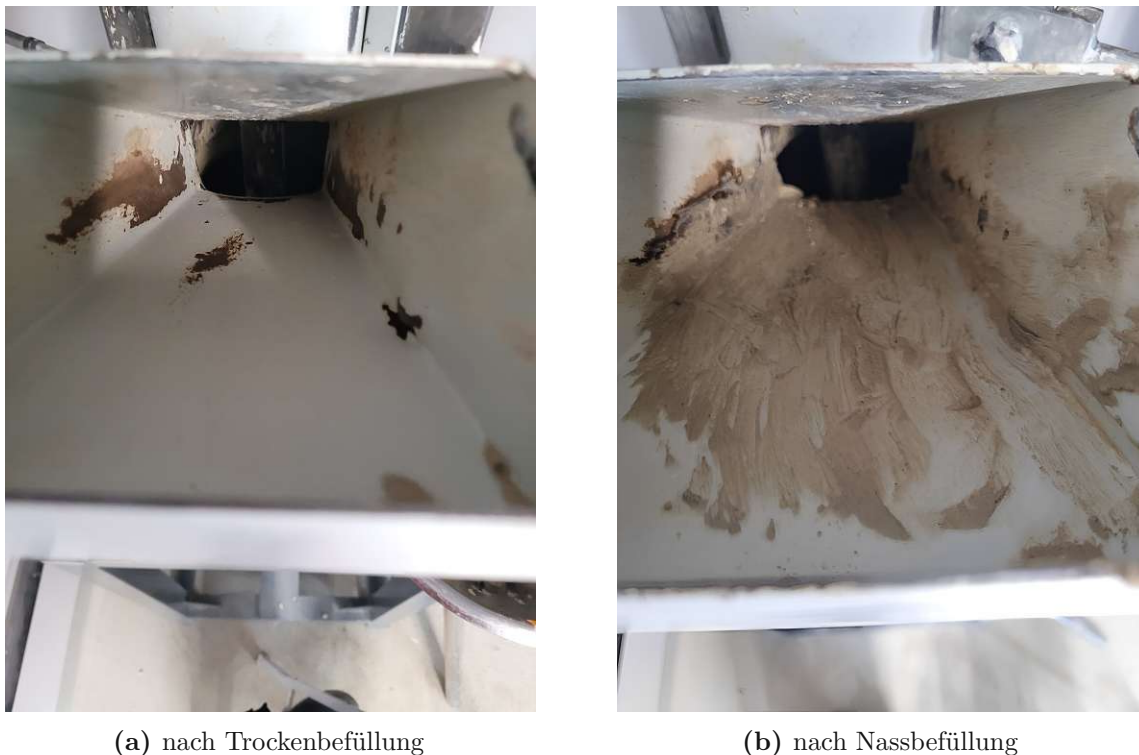


Abb. 6.3: Blick in den Einfülltrichter nach Befüllung mit trockenem und nassem Material

Bei einigen Untersuchungen, vor allem bei den nassen, blieb der Drehflügel stecken. Dieses Problem trat manchmal bis zu 30-mal während eines Versuches auf, manchmal auch gar nicht. Dies erforderte eine ständige Überwachung des Versuches, und die Durchführungszeit verlängerte sich infolgedessen. Es stellte sich heraus, dass das „Hängenbleiben“ eher zu Beginn

des Versuchs auftrat, etwa direkt nach dem Einrichten zu Beginn des Versuchs oder nach den 30- und 60-minütigen Pausen nach dem Wiegen des Drehflügels.

Bei zwei Versuchen ist die Welle, genauer gesagt das Passstück, an dem der Drehflügel befestigt ist, gebrochen. Im Passstück ist ein Gewinde, in das eine kurze Gewindestange montiert ist, an der der Drehflügel befestigt ist. Diese Gewindestange brach beim ersten Mal vermutlich aufgrund des Alters. Beim zweiten Mal war die Stange nicht vorgespannt, so dass sie vermutlich aufgrund eines Zugbruchs brach. Nach dem zweiten Bruch wurde die Gewindestange bei der Montage in das Gewinde vorgespannt, wodurch das Problem behoben wurde. Abbildung 6.4 zeigt einen Bruch der Gewindestange.



(a) Drehflügel und Gewindestange



(b) Passstück und Gewindestangen-Reste

Abb. 6.4: Defektes Passstück mit abgerissener Gewindestange

Bei der Durchführung der Untersuchungen hat sich gezeigt, dass es viele mögliche Fehlerquellen gibt, von denen einige im Folgenden erläutert werden:

- Die Beschriftung der Proben muss eindeutig und dauerhaft sein.
- Der Versuch muss ständig überwacht werden, da die Prüfmaschine immer wieder zum Stillstand kommen kann.
- Die Gewindestange sollte mit Vorspannung in das Passstück eingebaut werden.
- Bei der Vorbereitung der Proben ist es ratsam, eine Teilprobe als Reserve aufzubewahren, falls ein Versuch wiederholt werden muss.

Tab. 6.3: Ergebnisse des Wiener Abrasimetersversuches an den Bodenproben aus dem Baulos 4 (Tunnel Hausfeld)

Bohrpfahl	Tiefe [m]	Grobfaktor [cm ²]	w_{end} [%]	AIW_{tr} [-]	AIW_n [-]	f_w [-]	$\Delta G_{AIW_{tr}}$ [%]	ΔG_{AIW_n} [%]
O43	7,7	204,9	9,2	86	235	2,73	26,23	34,68
O43	9,7	218,9	8,7	111	257	2,32	29,21	36,81
O159	7,5	193,0	8,8	47	229	4,87	21,70	32,29
O159	10,0	205,2	8,8	40	199	4,97	11,78	29,47
O159	13,0	204,2	8,9	39	165	4,23	10,56	28,49
O163	9,0	173,8	8,7	49	147	3,00	9,82	23,82
O163	11,25	195,2	8,7	90	202	2,24	25,20	31,33
O163	13,0	208,5	8,8	54	215	3,98	16,54	32,73

Die Arbeit an einer Bodenprobe, also ein Nass- und ein Trockenversuch, dauerte insgesamt etwa drei bis vier Laborarbeitstage. Diese Zeit umfasste auch alle Zwischenschritte wie Sieben, Trocknen und so weiter.

6.3 Ergebnisse

Es wurden insgesamt an acht unterschiedlichen Bodenproben jeweils zwei Versuche (Nass- und Trockenversuch) durchgeführt. All diese Proben wurden im Baulos 4 (Tunnel Hausfeld) entnommen. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tabelle 6.3 zusammengefasst. Für diese Versuchsreihe ergeben sich folgende Mittelwerte und Standardabweichungen:

- $\bar{\varnothing}_{AIW_{tr}} = 64,5$; $\sigma_{AIW_{tr}} = 25,5$
- $\bar{\varnothing}_{AIW_n} = 206,1$; $\sigma_{AIW_n} = 34,1$

In der Tabelle 6.3 sind die größten und kleinsten Werte in den Spalten für die Werte AIW_{tr} , AIW_n und f_w hervorgehoben. Die angegebene Tiefe entspricht nicht der tatsächlichen Tiefe der Bodenprobe, wie bereits in Kapitel 7.1 berichtet wurde.

Mit dem Wiener Abrasimeter wurden bereits zahlreiche Versuche mit Bodenproben aus dem Donauschotter durchgeführt. Für diese Versuche wurden die Mittelwerte und die Standardabweichungen für die AIW_{tr} und AIW_n berechnet. Abbildung 6.5 zeigt die Werte in einem Diagramm. In diesem Diagramm wurden die Ergebnisse aus dieser Arbeit eingefügt, die Werte wurden mit einem roten „X“ gekennzeichnet. Es ist zu erkennen, dass die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuche recht gut mit den übrigen Ergebnissen harmonieren.

Für die Bodenprobe O163 mit einer Tiefe von 13,0 m ($13,0 \cdot 0,6 \approx 8$ m Entnahmetiefe) wurden im Zuge der Siebung Fotos von den Siebrückständen vor und nach dem Nassversuch gemacht. Abbildung 6.6 zeigt die in Schüsseln sortierten Kornklassen vor und nach dem Versuch. Diese Abbildung zeigt deutlich, dass sich die Kornverteilung während des Versuchs von den größeren zu den kleineren Fraktionen verschiebt und dass nach dem Versuch feine Partikel (Schlammkorn)

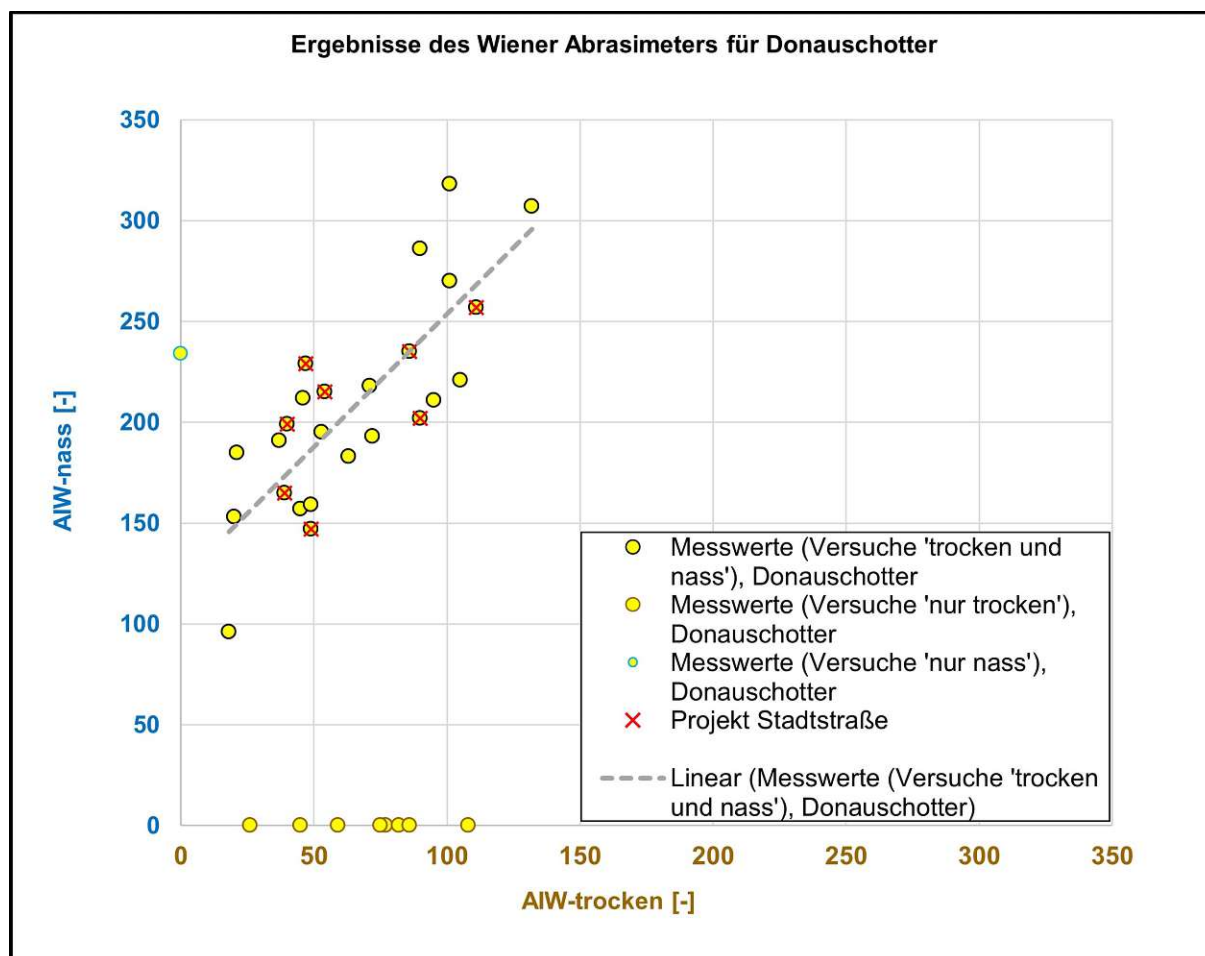


Abb. 6.5: Eingliederung der Laborergebnisse in bestehende Ergebnisse [Auswertung durch Labor TU Wien]

vorhanden sind. Die Abbildungen 6.7 und 6.8 zeigen die Zerkleinerung der Kornfraktionen der Kornklassen 16 - 22,4 und 22,4 - 31,5 mm. Im Anhang (Kap. 9) ist in den Abbildungen 9.11 bis 9.18 eine vollständige Auswertung aller Bodenproben dargestellt.



(a) vor dem Versuch



(b) nach dem Versuch

Abb. 6.6: Siebrückstände der Bodenprobe O163-13,0 m vor und nach dem Versuch



(a) vor dem Versuch



(b) nach dem Versuch

Abb. 6.7: Siebrückstände der Kornklasse 16 - 22,4 mm vor und nach dem Versuch an der Bodenprobe O163-13,0 m



(a) vor dem Versuch



(b) nach dem Versuch

Abb. 6.8: Siebrückstände der Kornklasse 22,4 - 31,5 mm vor und nach dem Versuch an der Bodenprobe O163-13,0 m

Kapitel 7

Datenauswertung und Interpretation

In diesem Kapitel werden die in den Kapiteln 4 bis 6 beschriebenen Daten ausgewertet. Am Anfang wird auf die Tiefenzuordnung der einzelnen Bodenproben näher eingegangen. Anschließend werden die einzelnen Verschleißelemente wie z.B. die Meißel oder die Wendel in Bezug auf ihre abrasiven Masseverluste ausgewertet. Im Anschluss werden die für die einzelnen Verschleißelemente ermittelten Ergebnisse zusammengestellt und interpretiert sowie den im Labor gemessenen Kennwerten gegenübergestellt. Im letzten Kapitel werden Interpretationen des Personals von der Baustelle „Stadtstraße“ angeführt.

7.1 Tiefenzuordnung der Bodenproben

Die Problematik, die sich bei den Bodenproben stellt, ist folgende: Eine Bodenprobe kann während der Pfahlherstellung nur an der Geländeoberkante (GOK) entnommen werden und die ursprüngliche/tatsächliche Tiefe der Probe ist nicht bekannt. Daher wurde die Vorgehensweise getroffen, dass bei der Probennahme jene Tiefe dokumentiert wird, die der Unterkante der SOB-Schnecke (=Anfängerspitze) entspricht (wird vom Bohrgerät angezeigt). Diesbezüglich werden nachfolgend Überlegungen angestellt, wie die tatsächliche Tiefe der entnommenen Bodenprobe ermittelt werden könnte.

Zu diesem Zweck wurden am 15. Februar 2023 Beobachtungen an vier Pfählen durchgeführt. Bei der Tiefenbestimmung war auch zu berücksichtigen, inwieweit die SOB-Schnecke den Boden fördert oder verdrängt. Dazu wurde der Pfahl L5 (BL03-W0-04-L5) näher beobachtet. Die Daten dieses Pfahls (L5) waren wie folgt:

- GOK: 157,7 m ü. A.
- Länge bzw. Tiefe: 14,5 m
- Durchmesser: 90 cm
- das theoretische Fördervolumen ergibt sich zu: $V_{ges} = \frac{0,90^2 \cdot \pi}{4} \cdot 14,5 = 9,2 \text{ m}^3$

Für diesen Pfahl L5 sind in Abbildung 7.1 die Zeiträume (a bis f) und die Zeitpunkte (0 bis 6) bei der Herstellung des Pfahles abgebildet. In der Tabelle 7.1 werden die Zeiträume (a bis f) und die Zeitpunkte (0 bis 6) definiert. Es wird eine Zuordnung der Zeitpunkte und Zeiträume zur Tiefe [m] von der Geländeoberkante, zur Bewegungsrichtung der Bohrschnecke, zum geförderten Boden an der Geländeoberkante und zum geförderten Gesamtvolumen [m³] von Zeitpunkt „0“ bis zum Zeitpunkt „i“ vorgenommen. In Abbildung 7.2 sind die Zeiträume (a bis f) und die Zeitpunkte (0 bis 6) abgebildet und es wurden alle in diesem Kapitel ausgewerteten Ergebnisse eingetragen.

Während der Bohrung wurde der Übergang vom schluffigen Sand zum tonigen Schluff bei ca. 13,9 m Bohrlänge (Zeitpunkt 1 in Abb. 7.1) aufgrund der Bohrgeräusche festgestellt, das

entspricht einer Absolutkote von 143,8 m ü. A. Beim Betoniervorgang, bei dem die Bohrschnecke gezogen wird, wurde ab einer SOB-Schneckentiefe von 7,0 m Material aus der schluffigen Sandschicht (Zeitpunkt 4) und ab 2,8 m Material aus der tonigen Schluffschicht (Zeitpunkt 5) gefördert.

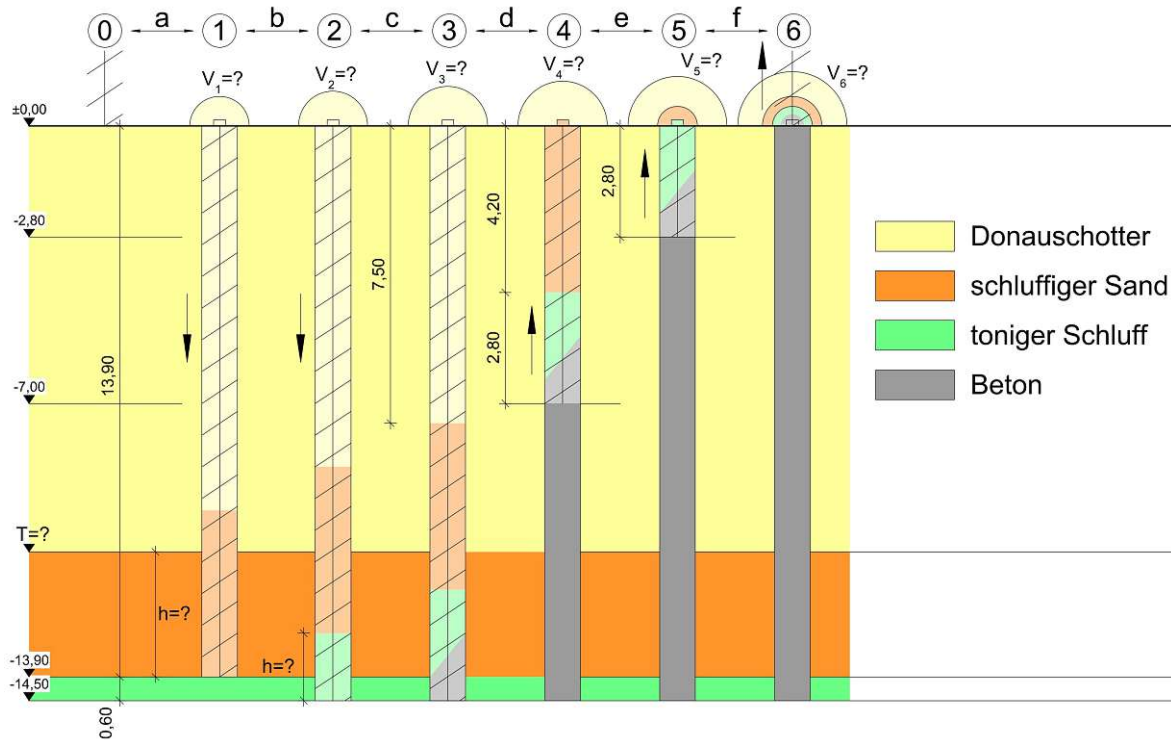


Abb. 7.1: Skizze mit den Zeiträumen und Zeitpunkten für die Tiefenzuordnung der Bodenproben - vor Auswertung (bekannte und unbekannte Größen)

Tab. 7.1: Definition der Zeiträume und Zeitpunkte für die Tiefenzuordnung der Bodenproben - Pfahl L5 (siehe Abb. 7.1)

Zeitpunkt	Tiefe von GOK [m]	Zeitraum	Bewegungsrichtung der Schnecke	geförderter Boden	Σ Volumen gefördert [m ³]
0	0,0				0,00
1	13,9	a	↓	Donauschotter	nicht bestimmt
2	14,5	b	↓	Donauschotter	2,70
3	14,5	c	keine	Donauschotter	nicht bestimmt
4	7,0	d	↑	Donauschotter	4,67
5	2,8	e	↑	schluffiger Sand	6,67
6	0,0	f	↑	toniger Schluff und Beton	8,00

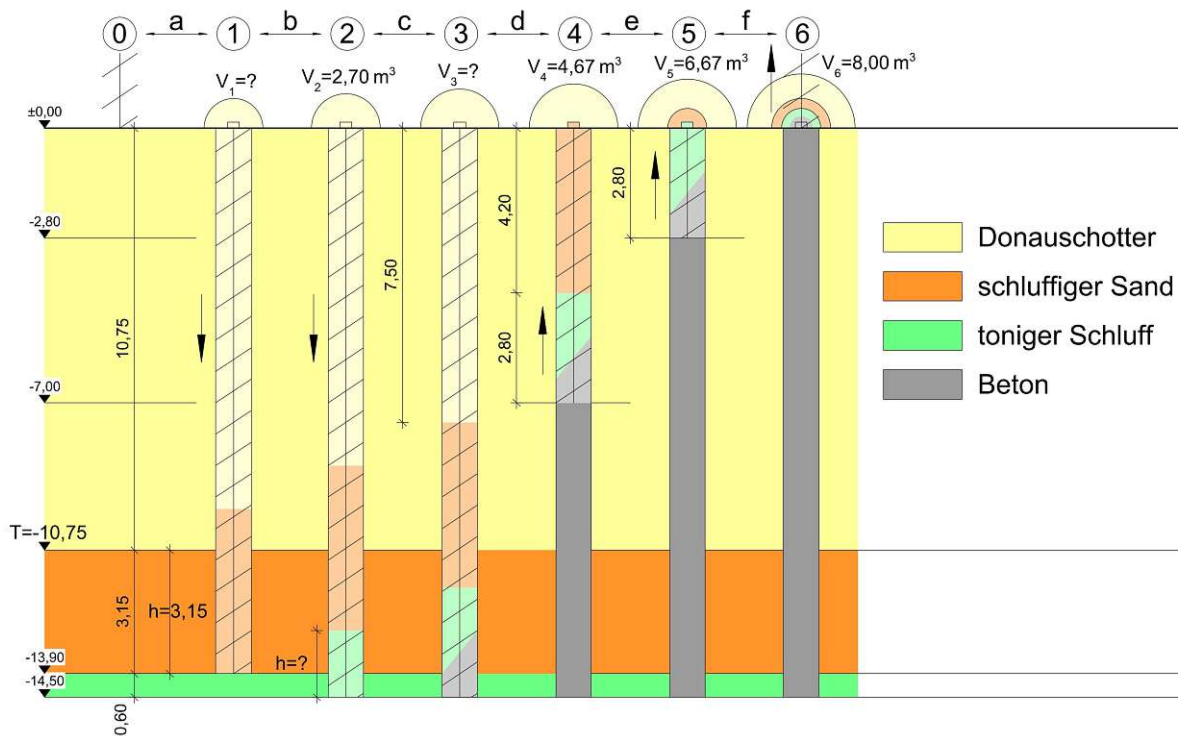


Abb. 7.2: Skizze mit den Zeiträumen und Zeitpunkten für die Tiefenzuordnung der Bodenproben - nach Auswertung

Der Anfänger hatte einen Außendurchmesser von 90 cm und einen Innendurchmesser (Außendurchmesser Seelenrohr) von 37 cm. Die Förderfläche der Schnecke kann wie folgt berechnet werden:

$$A_0 = A_{\text{aussen}} - A_{\text{innen}} = \frac{0,90^2 \cdot \pi}{4} - \frac{0,37^2 \cdot \pi}{4} = 0,5287 \text{ m}^2$$

Es war zu beobachten, dass die Schnecke bei Förderung von Boden aus der Miozänen Schicht (Zeiträume e und f) nahezu vollständig mit Aushubmaterial gefüllt ist. Deshalb wird für die folgenden Überlegungen davon ausgegangen, dass innerhalb der Miozänen Schichten (schluffige Sandschicht und tonige Schluffschicht) etwa 90% des möglichen Fördervolumens tatsächlich gefördert wird. Abbildung 7.3 zeigt die Befüllung der Schnecke beim Fördern von Material aus den beiden Schichten.

Wie vorhin beschrieben, beträgt die Differenz im Auftreten der tonigen Schluffschicht und der schluffigen Sandschicht 4,2 m (vgl. Zeitpunkt 4 und 5). Mit dieser Differenz und der Annahme von 90% Schneckenfüllung kann das geförderte Volumen aus der schluffigen Sandschicht wie folgt berechnet werden:

$$V_{\text{Sand}} = A_0 \cdot \text{Höhe} \cdot \text{Schneckenfüllung} = 0,5287 \cdot 4,2 \cdot 0,9 = 2,00 \text{ m}^3$$



(a) schluffige Sandschicht

(b) tonige Schluffschicht

Abb. 7.3: Schneckenfüllung beim Ziehen der Schnecke (Miozäne Schicht)

Mit Hilfe dieses Volumens kann nun eine ungefähre Schichtmächtigkeit für die schluffige Sandschicht wie folgt abgeleitet werden:

$$H_{Sand} = \frac{V_{Sand}}{A_{aussen}} = \frac{2,00}{\frac{0,90^2 \cdot \pi}{4}} = 3,15 \text{ m}$$

Nachdem nun auf diese Weise die Schichtgrenzen näherungsweise ermittelt werden können, sind noch Überlegungen zum Gesamt-Fördervolumen notwendig. Anhand von Beobachtungen (Volumen des an der GOK abgelagerten Aushubmaterials (Kegelstumpf, siehe Abbildung 7.4); Volumen Baggerschaufel; Anzahl Baggerschaufeln) wurde beim beobachteten Pfahl (L5) das geförderte Gesamtvolumen auf ca. 8 m³ (Zeitpunkt 6) geschätzt. Von den 8 m³ wurden ca. 2,7 m³ während des Abbohrens (Zeitraum a bis b) und ca. 5,3 m³ beim Ziehen (Zeitraum c bis f) der Schnecke gefördert. Unter der Annahme einer Schneckenfüllung von 90% und einer Schneckentiefe von 7,0 m (Zeitpunkt 4), in der schluffiger Sand gefördert wurde, kann nun das Fördervolumen berechnet werden, das nicht aus dem Donauschotter stammt (schluffiger Sand, toniger Schluff und Beton):

$$V_{Rest} = A_0 \cdot \text{Höhe} \cdot \text{Schneckenfüllung} = 0,5287 \cdot 7,0 \cdot 0,9 = 3,33 \text{ m}^3$$

Im nächsten Schritt kann das Fördervolumen des Donauschotters (DS) zurückgerechnet werden:

$$V_{DS_{gesamt}} = V_{gesamt} - V_{Rest} = 8,00 - 3,33 = 4,67 \text{ m}^3$$

Von diesem Gesamtvolumen (Zeitpunkt 4) kann das bis zum Zeitpunkt 2 bereits geförderte Volumen von 2,7 m³ abgezogen werden, um das auf der Schnecke (im Boden) befindliche Volumen zu berechnen:

$$V_{DS_{Schnecke}} = V_{DS_{gesamt}} - V_{DS_{Abbohren}} = 4,67 - 2,70 = 1,97 \text{ m}^3$$

Die Höhendifferenz zwischen Zeitpunkt 4 und 3 beträgt 7,5 m. Diese Schneckenhöhe war mit Donauschotter gefüllt, so dass sich folgendes theoretisches Volumen an maximal förderbarem Boden ergibt:

$$V_{max7,5m} = A_0 \cdot \text{Höhe} = 0,5287 \cdot 7,5 = 3,97 \text{ m}^3$$



(a) Kegelstumpf

(b) Höhenmessung

Abb. 7.4: Messung des Volumens eines Kegelstumpfes

Nun kann anhand der Zeitpunkte 2 und 4 der tatsächliche Befüllungsgrad der Schnecke zurück gerechnet werden:

$$\text{Schneckenfüllung}_{DS} = \frac{V_{DS_{Schnecke}}}{V_{max7,5m}} = \frac{1,97}{3,97} = 0,50 \hat{=} 50\%$$

Weiters kann der Anteil des Fördervolumens beim Abbohren und beim Ziehen bezogen auf das Gesamtfördervolumen berechnet werden. Dazu wird der Zeitpunkt 2 betrachtet, bei dem während des Abbohrens $2,7 \text{ m}^3$ bereits gefördert wurden. Das kann auf das gesamte Fördervolumen von $4,67 \text{ m}^3$ (vgl. Zeitpunkt 4) bezogen werden:

$$\text{Anteil}_{\text{Abbohren}} = \frac{V_{DS_{\text{Abbohren}}}}{V_{DS_{\text{gesamt}}}} = \frac{2,70}{4,67} = 0,58 \hat{=} 58\% \approx 60\%$$

Um den Anteil beim Ziehen (Zeitraum d) zu berechnen, kann das auf der Schnecke befindliche Volumen ($V_{DS_{Schnecke}}$) von $1,97 \text{ m}^3$ auf das gesamte Fördervolumen von $4,67 \text{ m}^3$ (vgl. Zeitpunkt 4) bezogen werden:

$$\text{Anteil}_{\text{Ziehen}} = \frac{V_{DS_{Schnecke}}}{V_{DS_{\text{gesamt}}}} = \frac{1,97}{4,67} = 0,42 \hat{=} 42\% \approx 40\%$$

Zusammenfassend konnten somit die folgenden Werte abgeschätzt werden:

- Donauschotter: ca. 70% des theoretischen Aushubvolumens ($V_{DS} = \frac{0,90^2 \cdot \pi}{4} \cdot 10,75 = 6,84 \text{ m}^3$) werden gefördert; der Rest wird verdrängt
 - Anteil des geförderten Donauschotters beim Abbohren der Schnecke ca. 60%
 - Anteil des geförderten Donauschotters beim Ziehen der Schnecke ca. 40%
- miozäne Schichten: ca. 90% der Schnecke ist beim Ziehen mit Material befüllt

Die abgeschätzte Schneckenfüllung von 70% (Donauschotter) kann anhand von Abbildung 7.5 verifiziert werden, da beim Ziehen der Schnecke nicht die gesamte Oberfläche nass war (trockene

Stellen weisen darauf hin, dass diese nicht mit dem Aushubmaterial in Kontakt waren).



Abb. 7.5: trockene und nasse Stellen beim Ziehen der Schnecke in Donauschotter

Letztendlich kann für die Tiefenzuordnung der Bodenproben daraus Folgendes abgeleitet werden: Mit dem Anteil der Förderung während des Abbohrens ($\text{Anteil}_{\text{Abbohren}} \approx 60\%$) lässt sich abschätzen, dass bei der Entnahme der Bodenprobe die tatsächliche Tiefe der Bodenprobe etwa 60% der Tiefe der Anfängerspitze entspricht. Das bedeutet, dass eine Probe, die zum Beispiel bei einer Schneckentiefe (Spitze des Anfängers) von 10 m an der GOK genommen wurde, tatsächlich aus einer Tiefe von etwa 6 m stammt. In Abbildung 7.6 ist diese Probenentnahme zur Verdeutlichung abgebildet.

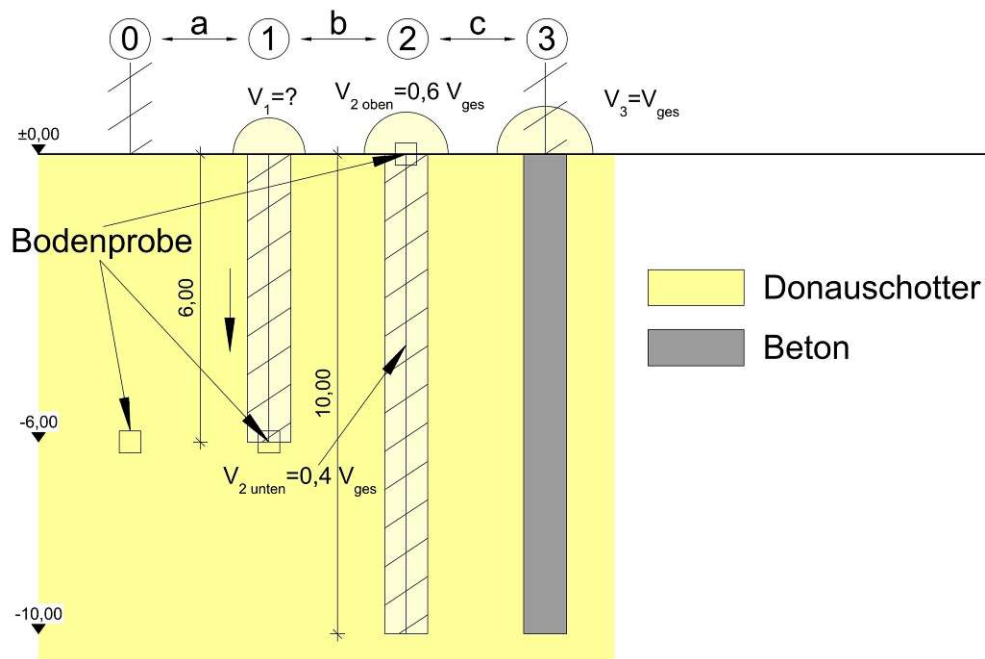


Abb. 7.6: Beispiel einer Tiefenzuordnung einer Bodenprobe aus 10 m

Dies ist bei den Angaben zu den Bodenproben zu beachten, da dort immer die dokumentierte Schneckentiefe (Spitze Anfänger) zum Zeitpunkt der Probennahme angegeben ist und nicht die tatsächliche Tiefe der Bodenprobe.

7.2 Vorgehensweise zur Auswertung der Messdaten der Verschleißelemente

In diesem Abschnitt erfolgt die Auswertung der Messdaten für die einzelnen Verschleißelemente wie beispielsweise die Meißel. Zu diesem Zweck werden die Daten aus Kapitel 4 mit den Pfahldaten aus Kapitel 5 verknüpft. Die Verknüpfung mit den Pfahldaten ist notwendig, um den Verschleiß mit der Leistung (Bohrfortschritt) in Beziehung setzen zu können. Die Ergebnisse werden dann im nächsten Abschnitt vorgestellt.

In den folgenden Unterkapiteln werden die nachstehenden Indizes in den Formeln verwendet:

- **i**: das „i“ steht für die einzelnen Meißel
- **j**: das „j“ steht für die einzelnen Pfähle
- **k**: das „k“ steht für die einzelnen Bodenschichten (Ausedimente, Donauschotter und Miozän (schluffige Sandschicht und tonige Schluffschicht))
- **l**: das „l“ steht für die einzelnen Aufpanzerungen (nur bei Anfänger 30075 relevant)
- **m**: das „m“ steht für die einzelnen Drehflügel

7.2.1 Meißel

Bei den Meißeln wird der „Masseverlust“ der Meißel in Gramm mit der zurückgelegten Wegstrecke der Meißel („Meißelweg“) in Metern in Beziehung gesetzt. Die Daten der Meißel sind aus Kapitel 4.2.2 entnommen.

Der Masseverlust eines Meißels in Gramm ergibt sich aus der Differenz zwischen der Durchschnittsmasse eines neuen Meißels und der Masse des Meißels nach dessen Gebrauch (siehe Anhang (Kap. 9), Tabellen 9.3 und 9.4):

$$\text{Masseverlust}_i = \varnothing_{\text{neu}} - \text{gebrauchte Masse}_i [g]$$

Für den Meißelweg werden zunächst die Gesamtumdrehungen beim Erreichen der maximalen Tiefe für jeden Pfahl aus den Pfahldaten (Kap. 5) benötigt. Im ersten Schritt werden die Gesamtumdrehungen mit dem jeweiligen Meißelradius kombiniert, um eine („Kreis“-)Länge pro Meißel zu erhalten:

$$\text{Kreislänge}_{i,j} = \text{Gesamtumdrehung}_j \cdot 2 \cdot \text{Radius}_i \cdot \pi [m]$$

Mit dieser („Kreis“-)Länge kann die linearisierte Länge (= Meißelweg „i“ für einen Pfahl „j“) pro Pfahl mit Hilfe des Satzes von Pythagoras und der Pfahllänge berechnet werden (in Kapitel 4.2.2 wird auf das Thema Linearisierung der Meißelwege eingegangen):

$$\text{linearisierte Länge}_{i,j} = \sqrt{\text{Kreislänge}_{i,j}^2 + \text{Pfahllänge}_j^2} [m]$$

Diese linearisierte Länge (Meißelweg „i“ für Pfahl „j“) wird dann für alle mit dem betrachteten Meißel hergestellten Pfählen aufsummiert, um den gesamten Meißelweg zu erhalten:

$$\text{Meißelweg}_i = \sum_{j=1}^n \text{linearisierte Länge}_{i,j} \quad [m]$$

Für den bezogenen Meißelverschleiß wird nun der zuvor berechnete Masseverlust mal 1000 (Umrechnung g auf mg) gerechnet und durch den berechneten Meißelweg geteilt:

$$\text{bezogener Meißelverschleiß}_i = \frac{\text{Masseverlust}_i \cdot 1000}{\text{Meißelweg}_i} \quad [mg/m] \hat{=} [g/km]$$

Zusätzlich wird in einem Fall auch der „Anteil der einzelnen Bodenschichten“ mit dem „bezogenen Meißelverschleiß“ in Milligramm pro Meter in Beziehung gesetzt. Um die Weganteile innerhalb der einzelnen Bodenschichten zu berechnen, wird im ersten Schritt das Verhältnis der einzelnen Bodenschichten (Ausedimente, Donauschotter und Miozän (schluffige Sandschicht und tonige Schluffschicht)) zur jeweiligen Pfahlänge berechnet:

$$\text{Verhältnis Bodenschicht}_{k_j} = \frac{\text{Mächtigkeit}_{k_j}}{\text{Pfahlänge}_j} \quad [-]$$

Im nächsten Schritt wird die Summe über das Produkt aus den einzelnen Verhältnissen der Bodenschichten und der linearisierten Längen der Pfähle gebildet, um im Anschluss durch den zuvor berechneten Meißelweg zu dividieren:

$$\text{Anteil Bodenschicht}_{k_i} = \frac{\sum_{j=1}^n (\text{Verhältnis Bodenschicht}_{k_j} \cdot \text{linearisierte Länge}_{i,j})}{\text{Meißelweg}_i} \quad [-]$$

7.2.2 Wendel

Der Verschleiß der Wendel wurde einmal für den Anfänger 30075 und dreimal für den Anfänger 110935 erhoben. Im Folgenden wird auf die Ermittlung des Verschleißes für die jeweiligen Anfänger getrennt eingegangen.

7.2.2.1 Anfänger 1 - 30075

Der Anfänger 30075 (siehe Abb. 4.5 und 4.12) verfügt über Aufpanzerungen, wobei neben der Gesamtlänge der Wendel auch Breite, Höhe und Länge der einzelnen Aufpanzerungen sowie die Wendeldicke zwischen den Aufpanzerungen gemessen wurden. In Abbildung 7.7 ist angegeben, wie bzw. an welchen Stellen gemessen wurde. Für die Auswertung werden die Werte aus den Messungen vor und nach dem Einsatz in eine Excel-Datei eingegeben und anschließend eine Differenz gebildet. Beispielsweise ergibt sich für eine Breite der Aufpanzerung:

$$\Delta \text{Breite}_l = \text{Breite}_{l_{\text{vor Gebrauch}}} - \text{Breite}_{l_{\text{nach Gebrauch}}} \quad [mm]$$

Auf Basis der ermittelten Einzelwerte werden dann Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet. Der Mittelwert hat dabei den Vorteil, dass eventuelle Messungenauigkeiten durch die

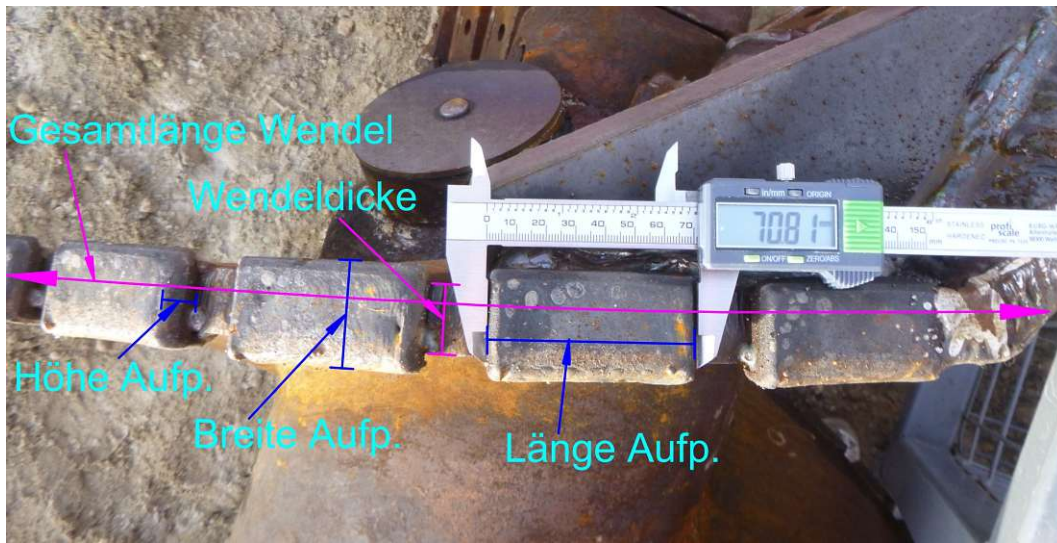


Abb. 7.7: Vermessung Anfänger 30075 - mit Kennzeichnung

Anzahl der Wertepaare (teilweise bis zu 70 Werte in einer Kategorie) weitgehend aufgehoben werden. Für die mittlere Breite der Aufpanzerung ergibt sich:

$$\bar{\Delta}_{Breite} = \frac{\sum_{l=1}^n \Delta_{Breite_l}}{n}; \sigma_{Breite} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{l=1}^n (\Delta_{Breite_l} - \bar{\Delta}_{Breite})^2} \quad [mm]$$

Im nächsten Schritt werden die Pfahllängen der hergestellten Pfähle aus den Pfahldaten (siehe Kap. 5) aufsummiert, um eine Gesamtpfahllänge für einen bestimmten Zeitraum zu erhalten:

$$Gesamtpfahllänge = \sum_{j=1}^n Pfahllänge_j \quad [m]$$

Mit den Mittelwerten und der Gesamtpfahllänge durch 1000 (Umrechnung von m auf km) können nun die bezogenen Verschleißwerte (mit der Einheit [mm/1000 Bohrmeter]) berechnet werden. Für das Beispiel mit der Breite der Aufpanzerung ergibt sich:

$$\text{bezogener Breitenverschleiß} = \frac{\bar{\Delta}_{Breite}}{Gesamtpfahllänge \cdot 10^{-3}} \quad \left[\frac{mm}{1000 \text{ Bohrmeter}} \right]$$

Weiters kann das Verhältnis der einzelnen Bodenschichten an der Gesamtpfahllänge berechnet werden:

$$\text{Verhältnis Bodenschicht}_k = \sum_{j=1}^n \frac{Mächtigkeit_{k_j}}{Pfahllänge_j} \quad [-]$$

Der Verschleiß der Gesamtlänge der Wendel kann aus der Differenz zwischen der Messung vor und nach dem Gebrauch gebildet werden:

$$\Delta_{Gesamtlänge} = Gesamtlänge_{vor \text{ Gebrauch}} - Gesamtlänge_{nach \text{ Gebrauch}} \quad [mm]$$

Der auf die gesamte Pfahlherstellung bezogene Verschleiß der Wendellänge (mit der Einheit [mm/m/1000 Bohrmeter]), hierfür wird die Gesamtpfahllänge durch 1000 (Umrechnung von m auf km) gerechnet, kann folgendermaßen berechnet werden:

$$\text{bezogener Längenverschleiß} = \frac{\Delta \text{Gesamtl.}}{\text{Gesamtl.}_{\text{vor Gebrauch}} \cdot \text{Gesamtpfahll.} \cdot 10^{-3}} \left[\frac{\text{mm}}{\text{m} \cdot 1000 \text{ Bohrmeter}} \right]$$

7.2.2.2 Anfänger 2 - 110935

Der Anfänger 110935 (siehe Abb. 4.6 und 4.13) hatte eine Schweißnaht (als Verschleißschicht), daher konnte hier lediglich die Gesamtlänge und die Dicke (in 10 cm Schritten) der Wendel gemessen werden. Die Auswertung erfolgt analog wie für den „Anfänger 1 - 30075“.

7.2.3 Drehflügel am Anfänger 110935

Der Drehflügel am Anfänger (siehe Abb. 4.15) soll dem Vergleich mit dem Laborversuch (Wiener Abrasimeterversuch (nasse Versuchsdurchführung)) dienen, was jedoch nicht problemlos ist. Hier sind unter anderem folgende Punkte zu beachten:

- unterschiedliche Drehbewegung:
 - im Labor: Mittelpunktrotation ohne Translation
 - am Anfänger: Translation und Rotation um den Anfängermittelpunkt (= Anfänger-Drehachse)
- unterschiedliche Kontaktfläche:
 - im Labor: Kontakt Material/Drehflügel von allen Seiten
 - am Anfänger: Kontakt Material/Drehflügel an der Oberseite und an den Seitenflächen
- unterschiedliches tribologisches System:
 - im Labor: geschlossenes System (keine Zufuhr von frischem Material)
 - am Anfänger: offenes System (mit Zufuhr von frischem Material)

Um einen Vergleich zu ermöglichen, wird der Verschleiß auf die zurückgelegte Wegstrecke bezogen. Im Labor ist dies eine Mittelpunktrotation; für diese Bewegung wird der gewichtete durchschnittliche Rotationsradius für den Drehflügel berechnet. Abbildung 7.8 zeigt einen Drehflügel mit seiner Drehrichtung und seinen Abmessungen. Der „gewichtete Radius“ (45,1276 mm) wird mit einem Doppelintegral berechnet:

$$r_{\text{Labor}} = \int_{-67}^{67} \int_{-33,5}^{33,5} \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{134 \cdot 67} dx dy = 45,1276 \text{ mm}$$

Der Radius vom Drehmittelpunkt (Mittelachse der Schnecke) des am Anfänger 110935 montierten Drehflügels wurde vor Ort nach der Montage gemessen und ist in Abbildung 7.9 abgebildet. Dieser beträgt: $r_{\text{Anfänger}} = 310,1 \text{ mm}$;

Die Berechnung des Masseverlusts des Drehflügels im Wiener Abrasimeterversuch (nasse Versuchsdurchführung) wird in Kapitel 6 beschrieben. Für den montierten Drehflügel am Anfänger

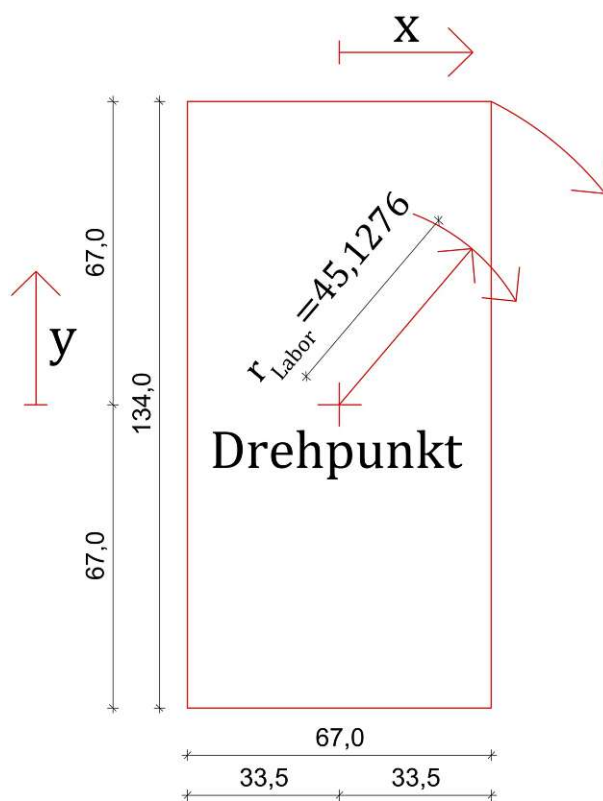


Abb. 7.8: Drehflügel mit Drehpunkt und Radius im Wiener Abrasimeter; Maße in [mm]

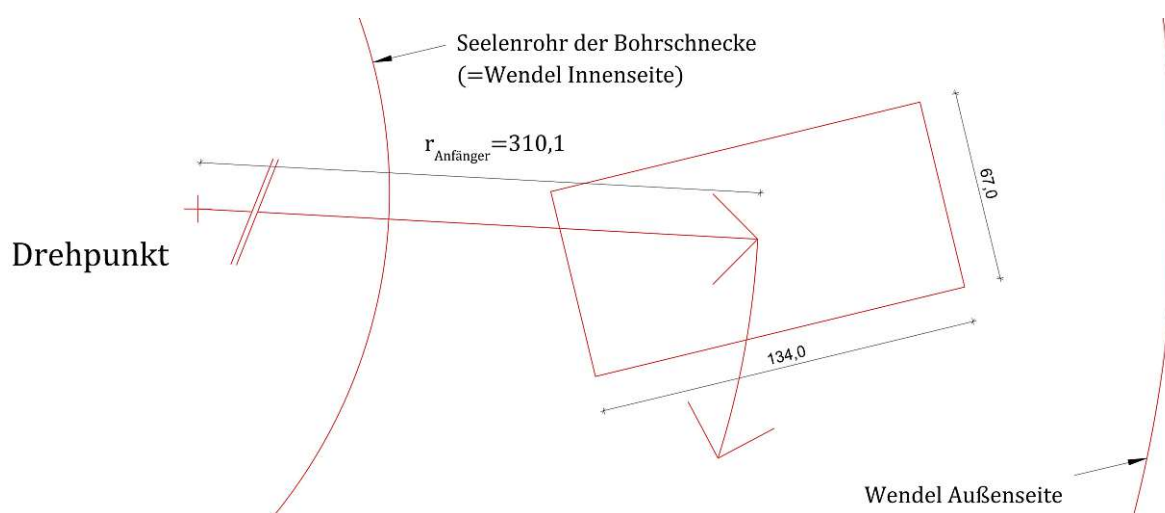


Abb. 7.9: Drehflügel mit Radius und Drehrichtung am Anfänger 110935; Maße in [mm]

kann der Massenverlust aus der Differenz zwischen den Massen vor und nach dem Gebrauch gebildet werden:

$$\Delta \text{Masse}_{DF_m} = \text{Masse}_{m_{\text{vor Gebrauch}}} - \text{Masse}_{m_{\text{nach Gebrauch}}}$$

Die Berechnung des bezogenen Masseverlusts (mit der Einheit [g/1000 m]) erfolgt für den Laborversuch folgendermaßen:

$$\text{bezogener Masseverlust}_{\text{Labor}} = \frac{\Delta \text{Masse}_{DF_{\text{nass}}}}{r_{\text{Labor}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 100 \text{ Umdr.}/\text{Min.} \cdot 60 \text{ Min.} \cdot 10^{-3}} \left[\frac{\text{g}}{1000 \text{ m}} \right]$$

Die Berechnung des bezogenen Masseverlusts (mit der Einheit [g/1000 m]) erfolgt für die Baustellenversuche folgendermaßen:

$$\text{bezogener Masseverlust}_{\text{Anfänger}_m} = \frac{\Delta \text{Masse}_{DF_m}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{(r_{\text{Anfänger}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \text{Umdr.}_j)^2 + L_{\text{Pfa}hl_j}^2} \cdot 10^{-3}} \left[\frac{\text{g}}{1000 \text{ m}} \right]$$

7.2.4 Verknüpfung Baustellendaten mit Labordaten

Es wird letztlich versucht, einen Zusammenhang zwischen den ermittelten AIW_n -Werten aus Kapitel 6 (Labordaten) und den in diesem Kapitel ermittelten Werten auf Basis der Baustellenmessungen zu erstellen.

Dazu wurde im ersten Schritt in den Plänen (siehe Abb. 9.2 bis 9.7 in Kap. 9) erhoben, mit welchem Anfänger in der Nähe der Entnahmestellen der Bodenproben gebohrt wurde:

- Die Bodenprobe „O43“ ist in der Nähe zur Messung „Anfänger 30075, 08.11.22 bis 16.11.22, Farbe: rot“.
- Die Bodenproben „O159“ und „O163“ sind in der Nähe zu den Messungen „Anfänger 30075, 28.11.22 bis 05.12.22, Farbe: grün“, „Anfänger 110935, 06.12.22 bis 12.12.22, Farbe: lila“ und „Anfänger 30075, 13.12.22 bis 19.01.23, Farbe: schwarz“.

7.3 Ergebnisse

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Grundlagen werden hier für die Auswertung angewendet. Die Ergebnisse werden untergliedert nach den einzelnen Verschleißelementen dargestellt. Diese werden an dieser Stelle interpretiert und schließlich in Kapitel 8 kurz und kompakt zusammengefasst. Es ist zu beachten, dass bei manchen Daten (wie z.B.: Messungen der Wendel) zu wenige Datensätze zur Verfügung stehen; aus diesem Grund konnten nicht alle Überlegungen sinnvoll umgesetzt werden.

7.3.1 Meißel

In Abbildung 7.10 ist der Meißelverschleiß (Masseverlust) über den Meißelweg für alle gebrauchten Meißel aufgetragen.

Anhand Abbildung 7.10 ist zu erkennen, dass der Meißelverschleiß von allen gebrauchten Meißeln im Durchschnitt 12,8 mg/m beträgt und das Bestimmtheitsmaß (R^2 -Wert) ca. 55% beträgt. Der relativ niedrige R^2 -Wert gab hier den Anstoß zu einer genaueren Aufteilung der gebrauchten Meißel wie in den folgenden Abbildungen zu sehen ist.

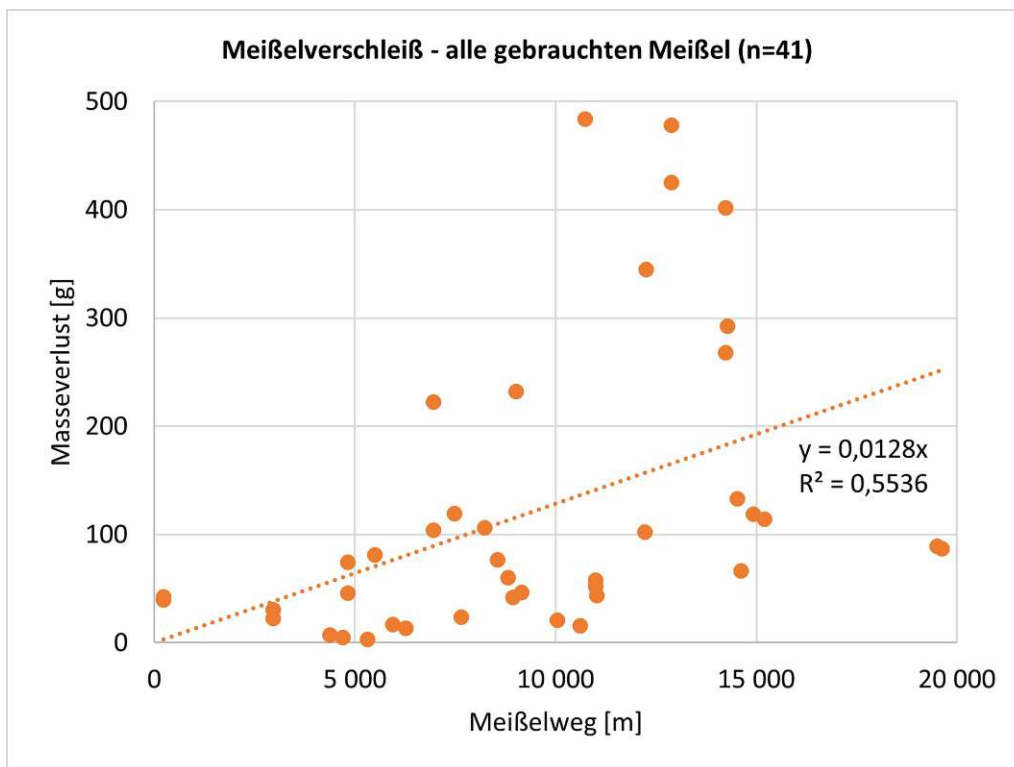


Abb. 7.10: Masseverlust über Meißelweg - alle gebrauchten Meißel

Abbildung 7.11 enthält ebenso alle gebrauchten Meißel, allerdings sind diese entsprechend ihrer Position getrennt aufgetragen. Die Trennung erfolgt in Außenmeißel, „Quasi-Außenmeißel“ (es handelt sich dabei um Innenmeißel, bei denen es zunächst äußere Meißel (Außenmeißel) gab, die aber im Zuge einer Pfahlherstellung abgerissen sind und nicht mehr ersetzt wurden) und Innenmeißel. Der Masseverlust wird wieder über dem Meißelweg aufgetragen.

Die Idee der Aufteilung der gebrauchten Meißel nach deren Position am Anfänger, entstand im Zuge der Beobachtungen auf der Baustelle bzw. beim Vermessen der Anfänger am Lagerplatz. Es zeigte sich, dass die gebrauchten Meißel von innen nach außen überproportional höhere Masseverluste aufwiesen. Anhand von Abbildung 7.11 können diese Beobachtungen bestätigt werden. Es zeigt sich, dass die inneren Meißel (6,1 mg/m) einen wesentlich niedrigeren durchschnittlichen Meißelverschleiß aufweisen als die äußeren Meißel (18,1 mg/m) und die „quasi äußeren“ Meißel (20,6 mg/m). Der R^2 -Wert, ist zwischen 65 und 76%; dies weist auf eine bessere Korrelation hin.

Abbildung 7.12 enthält wieder alle gebrauchten Meißel, aber diesmal sind sie nach Anfängern getrennt; der Masseverlust ist wieder über dem Meißelweg aufgetragen.

Mit dieser Trennung soll der Einfluss des eingesetzten Anfängers untersucht werden. Anhand Abbildung 7.12 ist zu erkennen, dass der Einfluss des verwendeten Anfängers groß ist. Der durchschnittliche Meißelverschleiß der gebrauchten Meißel ist für den Anfänger 30075: 18,1 mg/m, für den Anfänger 110935: 8,6 mg/m und für den Anfänger B61596: 16,6 mg/m. Hier zeigt sich, dass der Meißelverschleiß für den Anfänger 110935 um ca. die Hälfte kleiner ist als jener der anderen zwei Anfänger. Der R^2 -Wert liegt hier zwischen 44 und 75%. Der geringe R^2 -Wert von 44% beim Anfänger 110935 gab hier den Anlass für die Trennung der Meißel in Abhängigkeit vom Baulos.

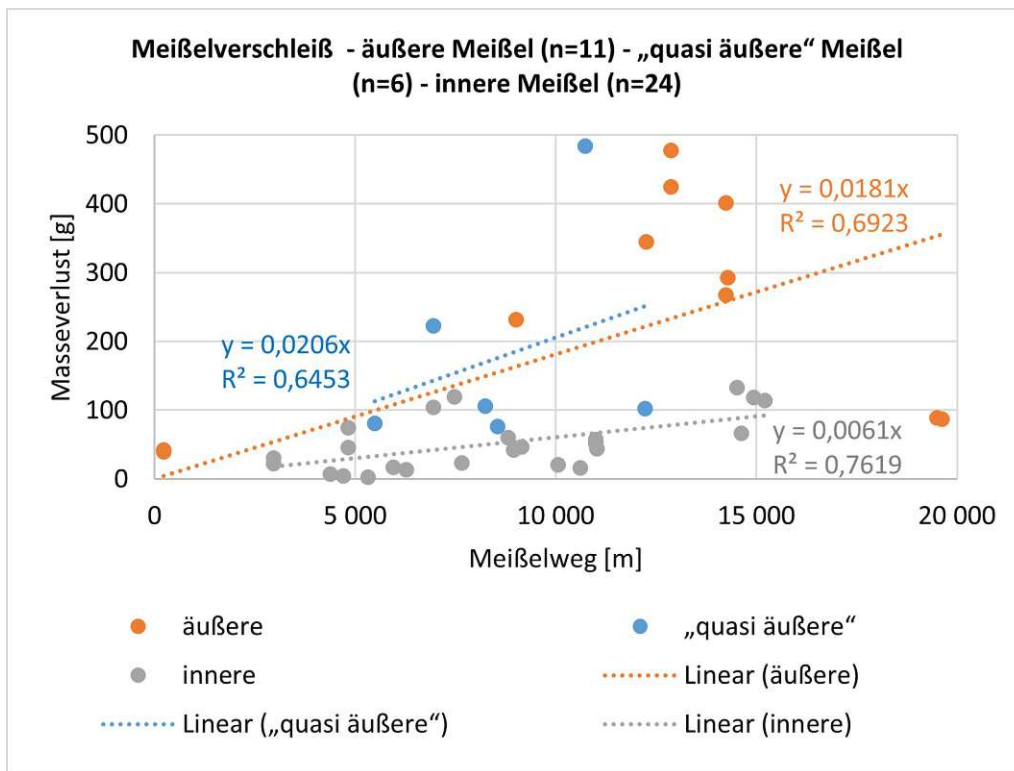


Abb. 7.11: Masseverlust über Meißelweg in Abhängigkeit von der Position der Meißel am Anfänger

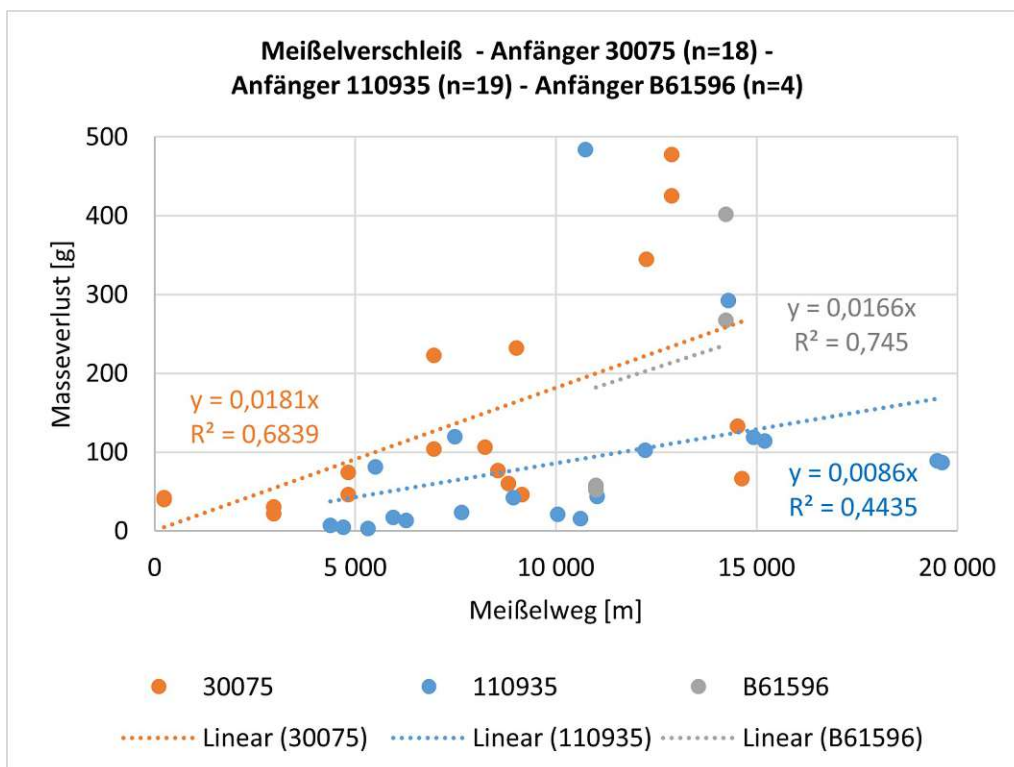


Abb. 7.12: Masseverlust über Meißelweg in Abhängigkeit von den verwendeten Anfängern

In Abbildung 7.13 sind die gebrauchten Meißel des Anfängers 110935 aufgetragen, getrennt für das jeweilige Baulos, auf dem der Einsatz erfolgte. Es ist wiederum der Masseverlust über dem Meißelweg aufgetragen.

Anhand Abbildung 7.13 zeigt sich, dass der Einsatzort (verschiedene Baulose) großen Einfluss auf den Verschleiß hat. Der durchschnittliche Meißelverschleiß der gebrauchten Meißel ist im Baulos 3: 29,8 mg/m und im Baulos 4: 6,5 mg/m. Der R^2 -Wert liegt hier zwischen 63 und 77%, diese Werte bestätigen die Sinnhaftigkeit dieser Trennung, da der Wert vor der Trennung für den Anfänger 110935 bei 44% lag. Zu beachten ist, dass für das Baulos 3 nur 4 Werte vorhanden sind und einer davon sich deutlich von den anderen abhebt.

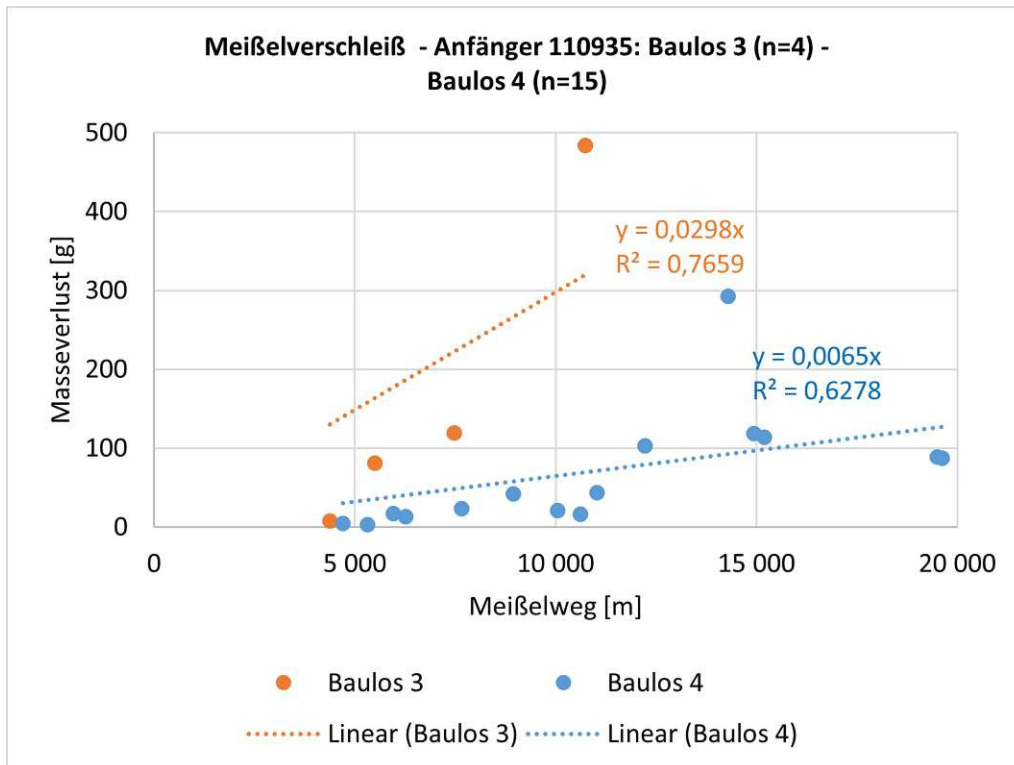


Abb. 7.13: Masseverlust über Meißelweg - für Anfänger 110935 - in Abhängigkeit vom Einsatzort (Baulose)

In Abbildung 7.14 sind die gebrauchten Meißel des Anfängers 30075 aufgetragen, getrennt nach der Gesamtanzahl der Meißel pro Seite (3 Meißel bzw. 4 Meißel). Es ist wiederum der Masseverlust über dem Meißelweg aufgetragen.

Diese Trennung soll den Einfluss der Anzahl der Meißel pro Seite aufzeigen. Im Vorfeld wurde vermutet, dass der höhere Meißelverschleiß für den Anfänger 30075 im Gegensatz zum Anfänger 110935 (siehe Abb. 7.12) auf die (zum Teil) geringere Anzahl an Meißeln pro Seite zurückzuführen ist. Es wurde vermutet, dass bei einer größeren Anzahl an Meißeln pro Seite die einzelnen Meißel einen geringeren bezogenen Verschleiß aufweisen. Anhand Abbildung 7.14 ist zu erkennen, dass die im Vorhinein erläuterte Vermutung nicht zutrifft. Der durchschnittliche Meißelverschleiß der gebrauchten Meißel für den Anfänger 30075 ist bei 4 Meißel pro Seite: 28,9 mg/m deutlich höher als bei 3 Meißel pro Seite: 7,4 mg/m. Der R^2 -Wert liegt hier zwischen 83 und 93%.

Eine Erklärung für diese sehr unerwarteten Werte aus Abbildung 7.14 ist, dass es für den Zeitraum mit 3 Meißeln pro Seite 8 Meißel gibt, von denen 2 Außenmeißel sind (25%) und für

den Zeitraum mit 4 Meißeln pro Seite 10 Meißel gibt, von denen 4 Außenmeißel sind (40%). Abbildung 7.11 zeigt, dass die Außenmeißel eine höhere Verschleißerscheinung aufweisen als die Innenmeißel. Des Weiteren liegen 2 der 8 Werte bei den 3 Meißeln pro Seite ziemlich weit über der Geraden, aber sehr nahe bei Null, was bedeutet, dass der Einfluss der 2 Punkte auf die Geradengleichung geringer ist als der Einfluss der anderen 6 Punkte.

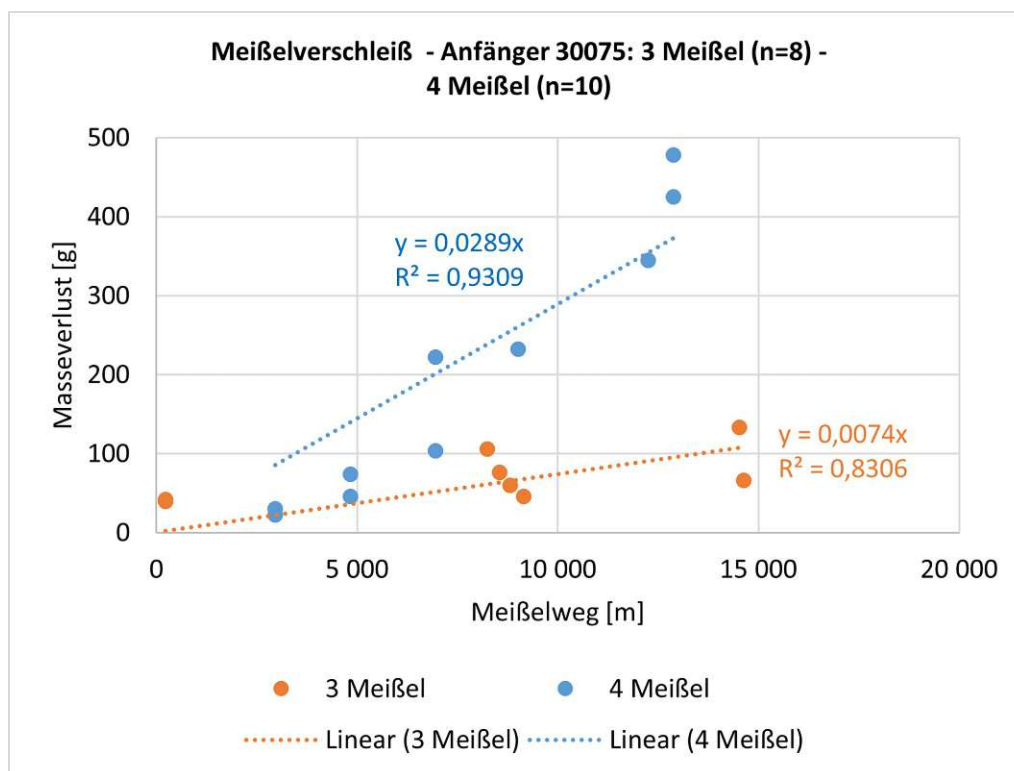


Abb. 7.14: Masseverlust über Meißelweg - für Anfänger 30075 - in Abhängigkeit von der Anzahl der Meißel pro Seite

In Abbildung 7.15 sind alle gebrauchten Meißel aus dem Baulos 4 (Tunnel Hausfeld) getrennt nach dem verwendeten Anfänger eingetragen. Es ist wiederum der Masseverlust über dem Meißelweg aufgetragen.

Anhand Abbildung 7.15 kann Folgendes abgelesen werden: der Einfluss der unterschiedlichen Anfänger im selben Baulos ist sehr groß. Der durchschnittliche Meißelverschleiß der gebrauchten Meißel im Baulos 4 ist für den Anfänger 30075: 18,1 mg/m und damit fast dreimal so groß wie für den Anfänger 110935: 6,5 mg/m. Der R^2 -Wert liegt hier zwischen 63 und 68%. Eine Erklärung für den großen Unterschied der Werte könnte sein, dass die Neigung der Meißelhalterung beim Anfänger 30075 nicht optimal war. Eine falsche Neigung (zu groß oder zu klein) verursacht einen überproportional höheren Verschleiß (siehe Kap. 7.4).

In Abbildung 7.16 sind alle gebrauchten Meißel getrennt nach ihrer montierten Seite am Anfänger eingetragen (mit der Ausnahme von Meißeln, die nicht eindeutig zuordenbar sind). Es ist wiederum der Masseverlust über dem Meißelweg aufgetragen.

Diese Trennung soll den Einfluss der montierten Seite (Primär- oder Sekundärwendel) aufzeigen. In allen Fällen sind die linken Meißel auf der Primärwendel und die rechten Meißel auf der Sekundärwendel montiert gewesen. Anhand Abbildung 7.16 ist zu erkennen, dass der Einfluss,

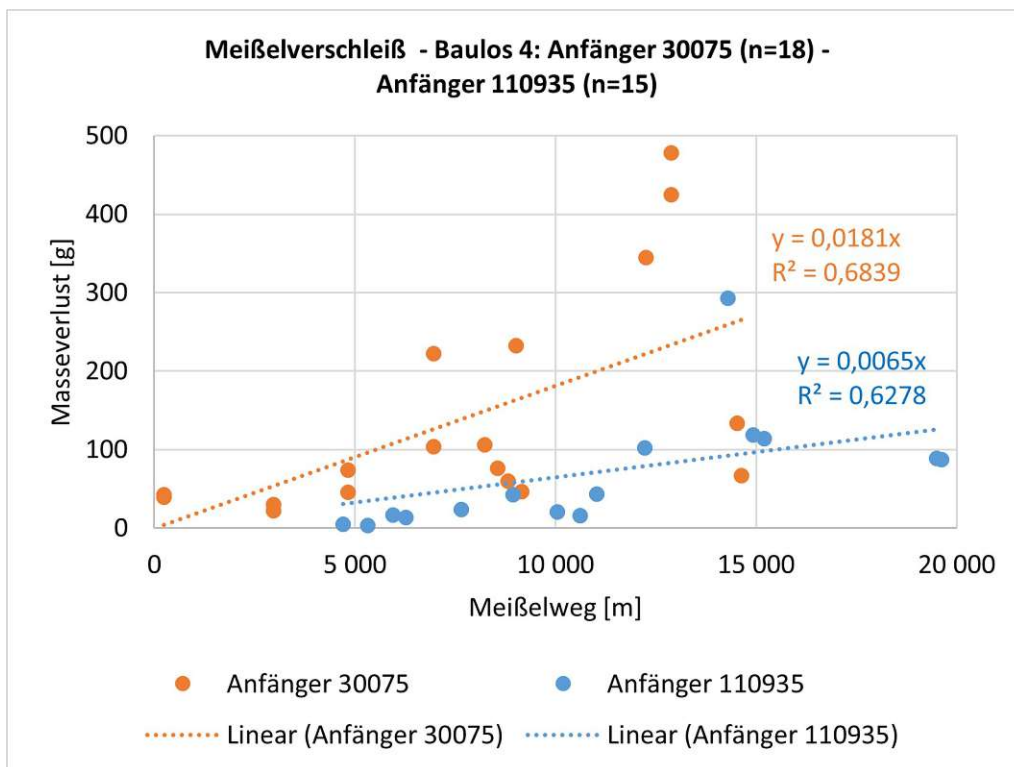


Abb. 7.15: Masseverlust über Meißelweg für Baulos 4 in Abhängigkeit vom verwendeten Anfänger

auf welcher Seite die Meißel montiert sind, sehr klein ist. Der durchschnittliche Meißelverschleiß der gebrauchten Meißel liegt bei der rechten Seite bei: 10,8 mg/m und ist somit nur unwesentlich kleiner als auf der linken Seite mit: 11,3 mg/m. Der R^2 -Wert liegt hier zwischen 53 und 58%, dies sind eher niedrigere Werte im Vergleich mit den anderen Abhängigkeiten. Die wahrscheinlichste Ursache für die niedrigen Werte wird die Zusammenlegung aller Anfänger (30075, 110935 und B61596) und aller Baulose (BL 3 und BL 4) sein.

In Tabelle 7.2 sind die Ergebnisse der Abbildungen 7.10 bis 7.16 zusammengefasst. In den einzelnen Spalten ist folgendes aufgelistet:

- **Abbildung:** In dieser Spalte werden Referenzierungen zu den Abbildungen erstellt, aus denen die Werte entnommen sind.
- **Darstellung in Abhängigkeit von:** In dieser Spalte werden die dargestellten Abhängigkeiten angeführt.
- **welche Meißel:** In dieser Spalte werden die Trennungen der Meißel aus Spalte „Darstellung in Abhängigkeit von“ angeführt.
- **bezogener Meißelverschleiß:** In dieser Spalte werden die durchschnittlichen bezogenen Meißelverschleiße angegeben.
- **Bestimmtheitsmaß (R^2):** In dieser Spalte werden die R^2 -Werte angegeben.

Tabelle 7.2 soll der besseren Übersicht der Ergebnisse für den Meißelverschleiß dienen. Aus dieser Tabelle können die wichtigsten Faktoren, die den Verschleiß maßgeblich beeinflussen, absteigend nach dem Einfluss folgendermaßen gelesen werden:

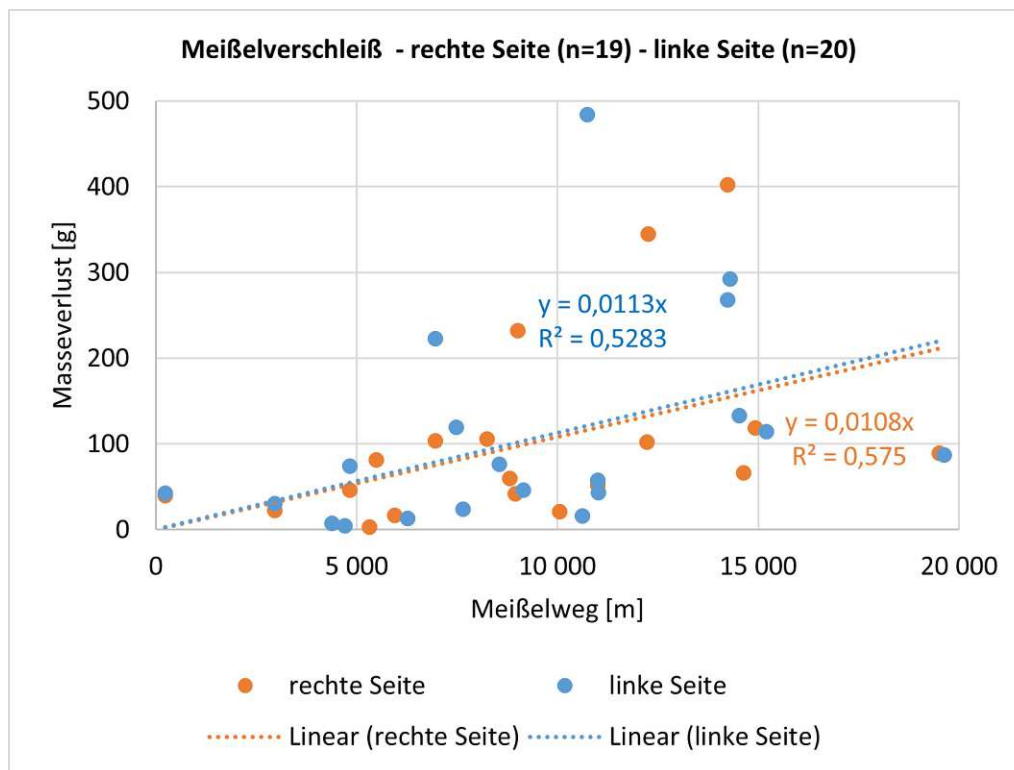


Abb. 7.16: Masseverlust über Meißelweg - in Abhängigkeit von der Seite am Anfänger (Primär-/Sekundärwendel)

- Baulos: Faktor ca. 4,6 (29,8/6,5)
- Meißelanzahl pro Seite: Faktor ca. 3,9 (28,9/7,4)
- Position am Anfänger: Faktor ca. 3,4 (20,6/6,1)
- Anfänger (nur Baulos 4): Faktor ca. 2,8 (18,1/6,5)
- Anfänger (keine Differenzierung der Baulose): Faktor ca. 2,1 (18,1/8,6)
- montierte Seite: Faktor ca. 1,04 (11,3/10,8)

Beim Faktor „Meißelanzahl pro Seite“ ist zu beachten, dass der Anfänger (30075) umgebaut bzw. umgeschweißt wurde. Diese Prozesse beeinflussen den Verschleiß maßgeblich, da nur eine kleine Änderung des Winkels zur Horizontalen bzw. zum Drehmittelpunkt große Auswirkungen auf den Verschleiß haben kann (Diese Erkenntnis stammt aus den Beobachtungen von der Baustelle und von den Mitarbeitern der Porr GmbH (Personal auf der Baustelle und am Lagerplatz)).

Aus der Auflistung ist weiters ersichtlich, dass der Faktor „montierte Seite“ klein ist: Faktor $< 1,1$; der Einfluss der montierten Seite ist für die Meißel somit nahezu unerheblich.

In Abbildung 7.17 sind alle gebrauchten Meißel von Baulos 4 (Tunnel Hausfeld) berücksichtigt, mit Ausnahme der Meißel R3 und L3 mit dem Ausbaudatum 18.11.2022 (siehe Tab. 9.3 in Kap. 9). Die beiden zuvor genannten Meißel sind aufgrund ihrer geringen Laufleistung von nur einem Pfahl nicht in der Auswertung berücksichtigt. Der Anteil der einzelnen Bodenschichten (Ausedimente, Donauschotter und Miozän (schluffige Sandschicht und tonige Schluffschicht)) an der Gesamtpfahllänge ist über den bezogenen Meißelverschleiß aufgetragen.

Tab. 7.2: Zusammenfassung - Meißelverschleiß

Abbildung	Darstellung in Abhängigkeit von	welche Meißel	bezogener Meißelverschleiß [mg/m]	Bestimmtheitsmaß (R ²) [%]
7.10	-	alle	12,8	55,4
7.11	Pos. am Anfänger	äußere	18,1	69,2
		„quasi äußere“	20,6	64,5
		innere	6,1	76,2
7.12	Anfänger	30075	18,1	68,4
		110935	8,6	44,4
		B61596	16,6	74,5
7.13	Anfänger 110935	Baulos 3	29,8	76,6
		Baulos 4	6,5	62,8
7.14	Anfänger 30075	3 Meißel	7,4	83,1
		4 Meißel	28,9	93,1
7.15	Baulos 4	Anfänger 30075	18,1	68,4
		Anfänger 110935	6,5	62,8
7.16	montierte Seite	rechte Seite	10,8	57,5
		linke Seite	11,3	52,8

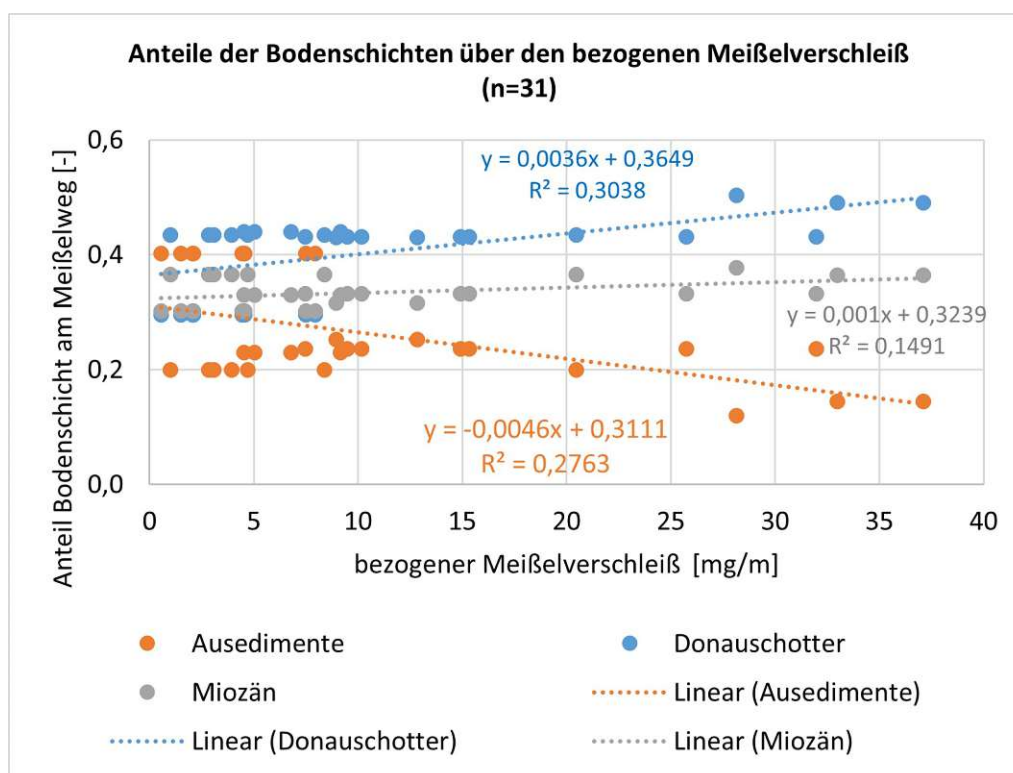


Abb. 7.17: Anteil der Bodenschichten am Meißelweg über dem bezogenen Meißelverschleiß - Tunnel Hausfeld

Hintergrund für die Abbildung 7.17 ist es, den Einfluss der einzelnen Bodenschichten am bezogenen Meißelverschleiß aufzuzeigen. Anhand Abbildung 7.17 können folgende Rückschlüsse gezogen werden:

- je höher der Anteil „Ausedimente“ ist, desto geringer ist der bezogene Meißelverschleiß
- je höher der Anteil „Donauschotter“ ist, desto größer ist der bezogene Meißelverschleiß
- der Anteil „Miozän“ hat auf den bezogenen Meißelverschleiß keinen nennenswerten Einfluss

7.3.2 Wendel

In Tabelle 7.3 sind die Ergebnisse für Anfänger 30075 zusammengefasst. Dieser hat im Erhebungszeitraum (08.11.2022 bis 16.11.2022) insgesamt 1113,2 m (Bohrmeter (Gesamtpfahllänge)) gebohrt.

Aus Tabelle 7.3 können die bezogenen Verschleißelemente der einzelnen Messungen (Gesamtlänge der Wendel, Breite Aufpanzerung, ...) herausgelesen werden. Erwähnenswert sind folgende Punkte:

- Gesamtlänge Sekundärwendel: keine Längenänderung festgestellt; dies könnte entweder an der geringeren Gesamtlänge der Sekundärwendel liegen oder es ist der Verschleiß an der Sekundärwendel geringer als an der Primärwendel.
- Länge Aufpanzerung Primärwendel: der Differenzwert (Mittelwert aller Einzelmessungen) und der bezogene Verschleiß haben einen negativen Wert; das bedeutet, dass die Länge der Aufpanzerungen länger geworden ist; dies könnte auf plastische Verformungen der Aufpanzerung in die Bewegungsrichtung hindeuten.
- Standardabweichungen: die Werte der Standardabweichungen (σ -Werte) sind oft um ein Vielfaches höher als die dazugehörigen Differenzwerte (Δ -Werte); dies verdeutlicht die Notwendigkeit der größeren Anzahl an Messwerten, um die Messungenauigkeiten (z.B.: da an unterschiedlichen Stellen gemessen wurde) auszugleichen („Aufhebung“ der Fehler bei größerer Datenmenge).

Es ist zu beachten, dass dieser Anfänger nur in einem Zeitraum vermessen wurde.

In den Tabellen 7.4 bis 7.6 sind die Ergebnisse für den Anfänger 110935 angegeben. Dieser wurde in drei Zeiträumen (17.11.2022 bis 24.11.2022, 06.12.2022 bis 12.12.2022 und 23.01.2023 bis 26.01.2023) beobachtet; in den drei Zeiträumen wurde eine Gesamtpfahllänge (Bohrmeter) von 1854,9 m (876,1; 524,7 und 454,2 m) ausgeführt.

Aus den Tabellen 7.4 bis 7.6 ergibt sich Folgendes:

- Gesamtlänge Primärwendel: der bezogene Verschleiß liegt zwischen ca. 4 bis 11 mm/m/1000 Bohrmeter.
- Wendeldicke Primärwendel und Sekundärwendel: der bezogene Verschleiß liegt zwischen ca. 0,1 bis 0,5 mm/1000 Bohrmeter.
- Gesamtlänge Sekundärwendel: der bezogene Verschleiß liegt zwischen ca. 0 bis 7 mm/m/1000 Bohrmeter; der Wert aus Tabelle 7.5 mit 0 mm/m/1000 Bohrmeter könnte, wie bereits bei Tabelle 7.3 erwähnt, entweder an der geringeren Gesamtlänge der Sekundärwendel liegen oder der Verschleiß an der Sekundärwendel ist geringer als bei der Primärwendel.

Tab. 7.3: Verschleiß des Anfängers 30075 (08.11.22 bis 16.11.22) mit ca. 1113 Bohrmeter (positive Werte = Verkürzung; negative Werte = Verlängerung)

	Primärwendel			Sekundärwendel		
	Δ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/m/1000 Bohrmeter]		Δ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/m/1000 Bohrmeter]	
Gesamtlänge	17	2,138		0	0,000	
	Primärwendel			Sekundärwendel		
	Δ [mm]	σ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/1000 Bohrmeter]	Δ [mm]	σ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/1000 Bohrmeter]
Wendeldicke	0,373	0,499	0,335	0,253	0,461	0,228
Breite Aufp.	0,201	1,020	0,180	0,132	0,465	0,119
Höhe Aufp.	0,285	1,046	0,256	0,500	0,602	0,449
Länge Aufp.	-0,144	0,516	-0,129	0,238	0,321	0,214

- Standardabweichungen: die Werte der Standardabweichungen (σ -Werte) sind in der gleichen Größenordnung oder um ein Vielfaches höher als die dazugehörigen Differenzwerte (Δ -Werte); wie bereits bei Tabelle 7.3 erwähnt, verdeutlicht dies die Notwendigkeit einer größeren Anzahl an Messwerten, um die Messungenauigkeiten auszugleichen („Aufhebung“ der Fehler bei größerer Datenmenge).
- Gesamtlänge zu Wendeldicke: es ist zu beobachten, dass in Tabelle 7.5 der bezogene Verschleiß der Wendeldicke am größten ist und der bezogene Verschleiß der Gesamtlänge am geringsten ist; in Tabelle 7.6 ist demgegenüber der bezogene Verschleiß der Gesamtlänge am größten und der bezogene Verschleiß der Wendeldicke mit 0,176 mm/1000 Bohrmeter jedoch eher gering.

Tab. 7.4: Verschleiß des Anfängers 110935 (17.11.22 bis 24.11.22) mit ca. 876 Bohrmeter

	Primärwendel			Sekundärwendel		
	Δ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/m/1000 Bohrmeter]		Δ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/m/1000 Bohrmeter]	
Gesamtlänge	38	6,295		8	6,133	
	Primärwendel			Sekundärwendel		
	Δ [mm]	σ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/1000 Bohrmeter]	Δ [mm]	σ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/1000 Bohrmeter]
Wendeldicke	0,100	0,331	0,114	0,111	0,125	0,126

Tabelle 7.7 zeigt die Ergebnisse für den Anfänger 110935 über alle drei Zeiträume (17.11.2022 bis 24.11.2022, 06.12.2022 bis 12.12.2022 und 23.01.2023 bis 26.01.2023) mit einer insgesamt gebohrten Gesamtpfahllänge von 1854,9 m (876,1; 524,7 und 454,2 m).

Tab. 7.5: Verschleiß des Anfängers 110935 (06.12.22 bis 12.12.22) mit ca. 525 Bohrmeter

	Primärwendel			Sekundärwendel		
	Δ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/m/1000 Bohrmeter]		Δ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/m/1000 Bohrmeter]	
Gesamtlänge	14	3,875		0	0,000	
	Primärwendel			Sekundärwendel		
	Δ [mm]	σ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/1000 Bohrmeter]	Δ [mm]	σ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/1000 Bohrmeter]
Wendeldicke	0,267	0,244	0,509	0,198	0,209	0,378

Tab. 7.6: Verschleiß des Anfängers 110935 (23.01.23 bis 26.01.23) mit ca. 454 Bohrmeter

	Primärwendel			Sekundärwendel		
	Δ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/m/1000 Bohrmeter]		Δ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/m/1000 Bohrmeter]	
Gesamtlänge	34	10,894		4	6,703	
	Primärwendel			Sekundärwendel		
	Δ [mm]	σ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/1000 Bohrmeter]	Δ [mm]	σ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/1000 Bohrmeter]
Wendeldicke	0,080	0,306	0,176	0,087	0,109	0,191

Aus Tabelle 7.7 ergibt sich:

- Primärwendel zu Sekundärwendel: die bezogenen Verschleißwerte der Primärwendel sind ca. um den Faktor 1,1 bis 1,5 höher als die bezogenen Verschleißwerte der Sekundärwendel. Die Primärwendel unterliegt somit einem höheren Verschleiß.

Dass der bezogene Verschleiß an der Primärwendel höher ist als an der Sekundärwendel, wurde schon im Vorhinein vermutet. Der Grund dafür ist, dass die Sekundärwendel zu ihrem Ende hin immer schmaler wird und dann am Seelenrohr endet. Das bedeutet, dass an diesen Stellen weniger Material an die Wendel gelangen kann, was zu einem geringeren Verschleiß führt.

Tab. 7.7: Verschleiß des Anfängers 110935 (alle drei Zeiträume) mit ca. 1855 Bohrmeter

	Primärwendel			Sekundärwendel		
	Δ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/m/1000 Bohrmeter]		Δ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/m/1000 Bohrmeter]	
Gesamtlänge	86	6,737		12	4,538	
	Primärwendel			Sekundärwendel		
	Δ [mm]	σ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/1000 Bohrmeter]	Δ [mm]	σ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/1000 Bohrmeter]
Wendeldicke	0,447	-	0,241	0,396	-	0,213

Vor allem der vorab genannte Punkt „Gesamtlänge zu Wendeldicke“ hat dazu veranlasst, die bezogenen Verschleißwerte der Tabellen 7.4 bis 7.6 auf die Anteile der einzelnen Bodenschichten aufzuteilen (siehe Abb. 7.18 und 7.19).

In Abbildung 7.18 ist der Anteil der einzelnen Bodenschichten (Ausedimente, Donauschotter und Miozän (schluffige Sandschicht und tonige Schluffschicht)) am Meißelweg über dem bezogenen Verschleiß der Wendellänge (Gesamtlänge) der Primärwendel aufgetragen. In der Abbildung 7.19 ist der Anteil der einzelnen Bodenschichten am Meißelweg über dem bezogenen Verschleiß der Wendeldicke der Primärwendel dargestellt. In den beiden Abbildungen 7.18 und 7.19 sind nur Messungen aus dem Baulos 4 (Tunnel Hausfeld) abgebildet. Das bedeutet, dass der Anfänger 30075 einmal (08.11.2022 bis 16.11.2022) und der Anfänger 110935 mit zwei Messungen (17.11.2022 bis 24.11.2022 und 06.12.2022 bis 12.12.2022) enthalten ist.

Anhand von Abbildung 7.18 und 7.19 soll der Einfluss der einzelnen Bodenschichten am bezogenen Verschleiß der Wendel gezeigt werden. Aus den Abbildungen kann Folgendes abgeleitet werden:

- je höher der Anteil „Ausedimente“ ist, desto größer ist der bezogene Verschleiß der Wendellänge und desto geringer ist der bezogene Verschleiß der Wendeldicke.
- je höher der Anteil „Donauschotter“ ist, desto geringer ist der bezogene Verschleiß der Wendellänge und desto größer ist der bezogene Verschleiß der Wendeldicke.
- je höher der Anteil „Miozän“ ist, desto geringer ist der bezogene Verschleiß der Wendellänge und desto größer ist der bezogene Verschleiß der Wendeldicke.

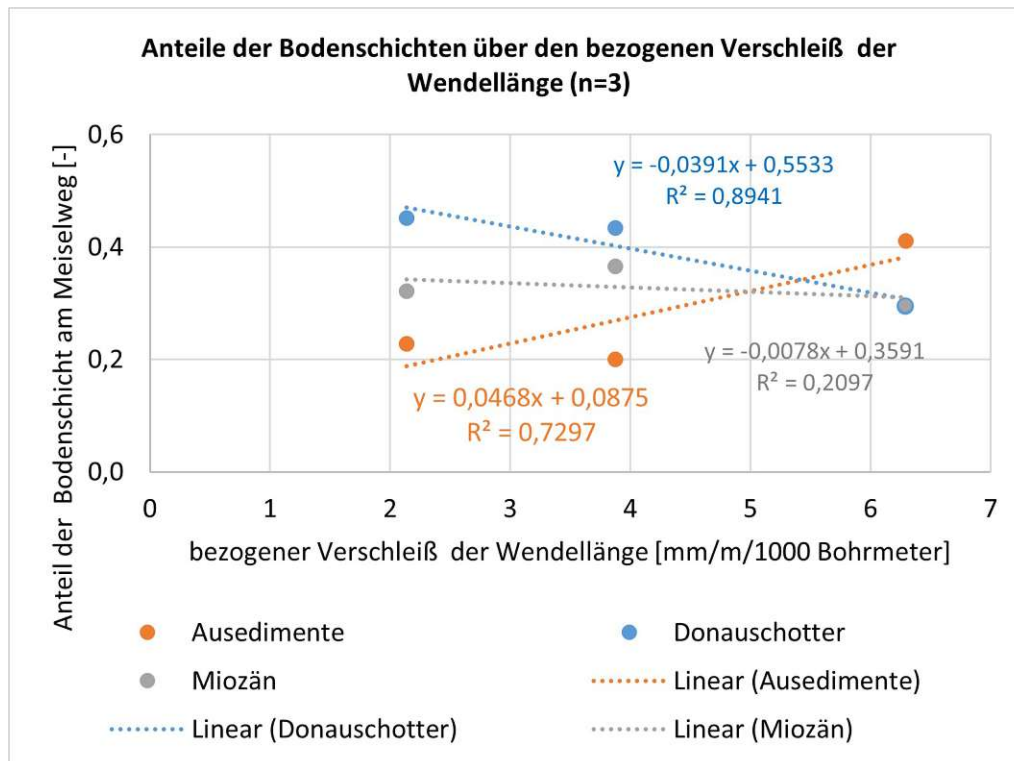


Abb. 7.18: Anteil der Bodenschichten am Meißelweg über dem bezogenen Verschleiß der Wendellänge der Primärwendel - Tunnel Hausfeld

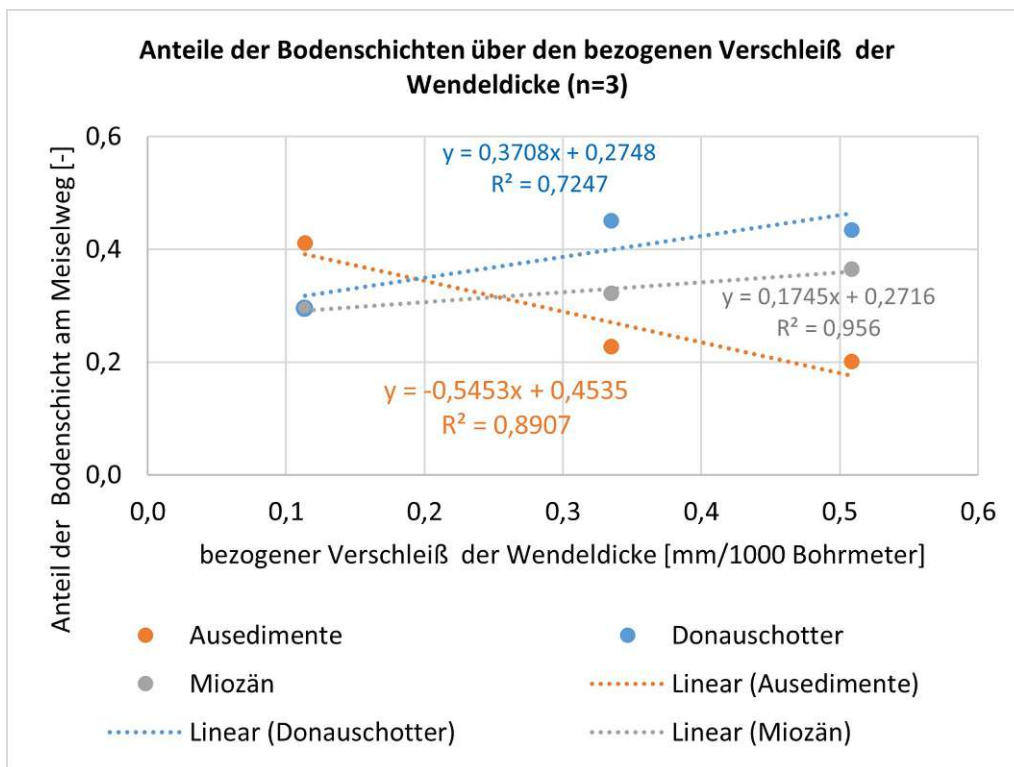


Abb. 7.19: Anteil der Bodenschichten am Meißelweg über dem bezogenen Verschleiß der Wendeldicke der Primärwendel - Tunnel Hausfeld

Die Erhöhung der bezogenen Verschleißwerte der Wendellänge bei höheren Ausediment-Anteilen ist interessant und liegt nicht auf der Hand. Der Grund dafür könnte sein, dass die eher feineren Anteile (vor allem Sande) an der Wendelseite (=Außenkante) größere Anteile der Fläche berühren (als z.B. bei Kiesen) und so größere Verschleißraten verursachen. Dieses Ergebnis ist nach Rücksprache mit dem Baustellenpersonal als plausibel einzustufen (siehe Kap. 7.4).

Die Erhöhung der bezogenen Verschleißwerte der Wendeldicke bei höheren Donauschotter-Anteilen ist, wie im Geotechnischen Untersuchungsbericht [25] beschrieben, nicht überraschend. Hier ist der Grund für den erhöhten Verschleiß der sehr hoch bis extrem abrasive Donauschotter.

Zusammenfassend zeigen die Abbildungen 7.18 und 7.19, dass die Anteile Ausedimente und Donauschotter den größten Einfluss auf den bezogenen Verschleiß haben.

Für den Vergleich der Tabellen 7.3 (Anfänger 30075) und 7.7 (Anfänger 110935) hinsichtlich der bezogenen Verschleißwerte wurde die Tabelle 7.8 erstellt.

Anhand der Tabelle 7.8 ist folgendes erwähnenswert:

- Gesamtlänge Primärwendel: beim Anfänger 110935 ist der bezogenen Verschleiß der Gesamtlänge um ca. den Faktor 3,2 höher als beim Anfänger 30075.
- Wendeldicke: beim Anfänger 30075 ist der bezogenen Verschleiß der Wendeldicke um ca. den Faktor 1,4 höher als beim Anfänger 110935.
- Zusammenhang der Gesamtlänge und Wendeldicke Primärwendel: wie schon bei den Abbildungen 7.18 und 7.19 erwähnt, haben die Anteile der einzelnen Bodenschichten (vor

allem Ausedimente und Donauschotter) Einfluss am Verschleiß; die Gesamtlänge beim Anfänger 110935 hat den größeren Verschleiß und auch den größeren Anteil an Ausedimenten, diese Tendenz ist auch in Abbildung 7.18 erkennbar; die Wendeldicke beim Anfänger 30075 hat den größeren Verschleiß und auch den größeren Anteil an Donauschottern, diese Tendenz ist auch in Abbildung 7.19 erkennbar.

Um die Zusammenhänge der Anteile der einzelnen Bodenschichten (Ausedimente, Donauschotter und Miozän (schluffige Sandschicht und tonige Schluffschicht)) mit den Werten aus der Tabelle 7.8 erklären zu können, wurde Tabelle 7.9 erstellt. In dieser Tabelle sind für die Anfänger 30075 und 110935 die Anteile der Bodenschichten an der gesamten gebohrten Pfahllänge dargestellt. Es ist zu beachten, dass bei den Werten für den Anfänger 110935 nur die zwei ersten Zeiträume (17.11.2022 bis 24.11.2022 und 06.12.2022 bis 12.12.2022) enthalten sind. Der letzte Zeitraum (23.01.2023 bis 26.01.2023) war im Baulos 3 und für diesen Zeitraum wurden die Anteile der einzelnen Bodenschichten nicht ermittelt.

Tab. 7.8: Verschleiß des Anfängers 30075 (08.11.22 bis 16.11.22) mit ca. 1113 Bohrmeter und Verschleiß des Anfängers 110935 (alle drei Zeiträume) mit ca. 1855 Bohrmeter

	Primärwendel		Sekundärwendel	
	Δ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/m/1000 Bohrmeter]	Δ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/m/1000 Bohrmeter]
Gesamtlänge 30075	17	2,138	0	0,000
Gesamtlänge 110935	86	6,737	12	4,538

	Primärwendel		Sekundärwendel	
	Δ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/1000 Bohrmeter]	Δ [mm]	bezogener Verschleiß [mm/1000 Bohrmeter]
Wendeldicke 30075	0,373	0,335	0,253	0,228
Wendeldicke 110935	0,447	0,241	0,396	0,213

Tab. 7.9: Anteile der Bodenschichten an der Gesamtlänge für die Anfänger 30075 und 110935

	Anfänger 30075 [%]	Anfänger 110935 [%]
Ausedimente	23	33
Donauschotter	45	35
Miozän	32	32

7.3.3 Drehflügel am Anfänger 110935

Die Ergebnisse des bezogenen Massenverschleißes der Drehflügel sind in Tabelle 7.10 aufgelistet. Anhand Tabelle 7.10 ergibt sich:

- \varnothing_{AIW_n} zu Drehflügel: der bezogene Massenverschleiß am Drehflügel ist im Labor (Wiener Abrasimeter-Versuch) um ca. den Faktor 2 bis 3 höher als beim Drehflügel auf der Baustelle (Drehflügel am Anfänger 110935); der Grund für diesen Unterschied könnte die vollflächige Kontaktfläche im Wiener Abrasimeter (Material kann von allen Seiten abrasiv wirken) sein (am Anfänger montiert kann an der gesamten Unterseite kein abrasiver Verschleiß auftreten).
- Drehflügel 1 zu 2: der bezogene Massenverschleiß am Drehflügel 2 ist ca. um den Faktor 1,6 höher als beim Drehflügel 1.

Es ist hier zu beachten, dass nur zwei Drehflügel zum Einsatz kamen. Eine größere Datenmenge ist erforderlich, um diese Ergebnisse abzusichern. Weiters sind die prinzipiellen Unterschiede zwischen Labor und Baustelle, wie schon im Kapitel 7.2.3 erwähnt, zu beachten.

Tab. 7.10: Bezogener Massenverschleiß der Drehflügel im Labor und am Anfänger

	bezogener Massenverschleiß [g/1000 m]
\varnothing_{AIW_n}	1,212
Drehflügel ₁	0,408
Drehflügel ₂	0,641

7.3.4 Verknüpfung Baustellendaten mit Labordaten

In Abbildung 7.20 sind die Verschleißraten der gebrauchten Meißel des Anfängers 30075 aufgetragen, getrennt für die einzelnen Einsatzzeiträume.

Die Überlegung für die Abbildung 7.20 war, einen eventuellen Zusammenhang zwischen dem erhöhten Meißelverschleiß auf der Baustelle und den erhöhten Werten aus dem Wiener Abrasimeter (Nassversuch) zu finden. Zu diesem Zweck werden die AIW_n -Werte für die Bodenproben „O43“, „O159“ und „O163“ in Tabelle 7.11 angegeben. Aus der Abbildung ergibt sich:

- Meißelverschleiß: im „schwarzen“ Zeitraum (13.12.23 bis 19.01.23) ist der Verschleiß in etwa 3-mal so groß als in den zwei anderen Zeiträumen („grün“ und „schwarz“).

Tab. 7.11: AIW_n -Werte für die Bodenproben „O43“, „O159“ und „O163“ (vgl. Tab. 6.3)

	Tiefe [m]	AIW_n [-]	\varnothing_{AIW_n} [-]
O43	7,7/9,7	235/257	
O159	7,5/10,0/13,0	229/199/165	206
O163	9,0/11,25/13,0	147/202/215	

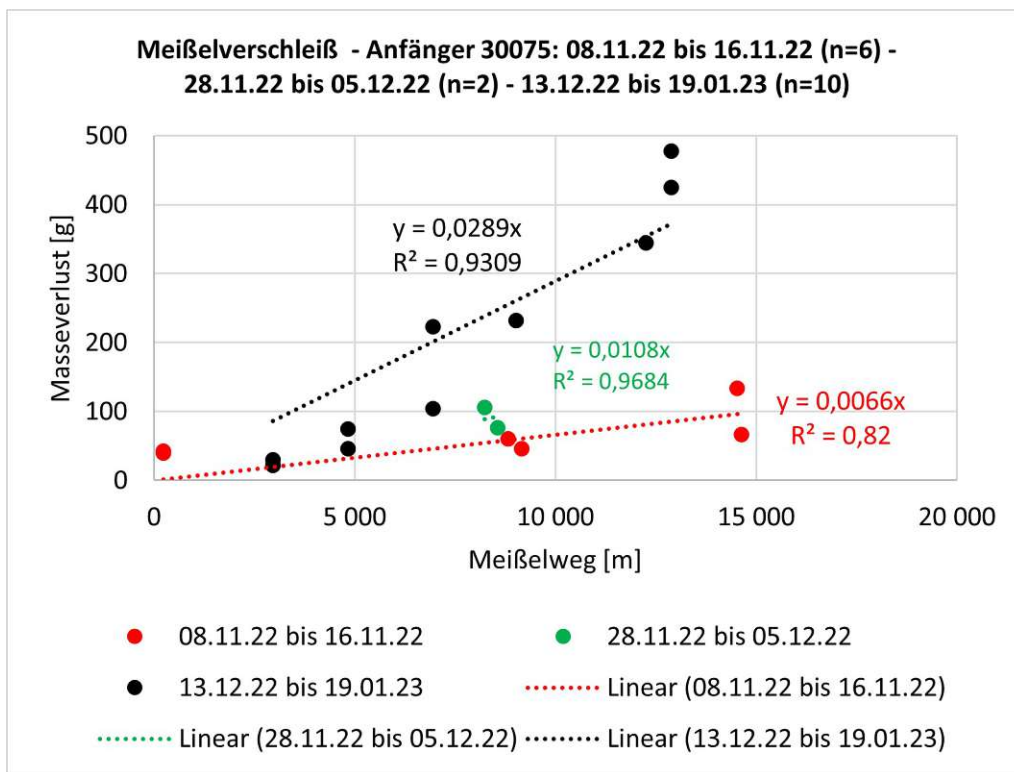


Abb. 7.20: Masseverlust über Meißelweg - für Anfänger 30075 - Trennung nach Einsatzzeitraum

Eine Begründung für den erhöhten Meißelverschleiß im „schwarzen“ Zeitraum (13.12.23 bis 19.01.23) zu finden, ist schwierig, insbesondere da der Anfänger von 3 auf 4 Meißel pro Seite umgearbeitet wurde.

Wenn jedoch ein Zusammenhang zwischen der Abbildung 7.20 und der Tabelle 7.11 hergestellt wird, müsste bei einer Korrelation des bezogenen Meißelverschleiß mit den AIW_n -Werten der „rote“ Zeitraum (bei der Bodenprobe „O43“) einen höheren bezogenen Meißelverschleiß aufweisen, als die anderen zwei Zeiträume („grün“ und „schwarz“). Anmerkung: eine Übersicht der Lage der Bodenproben in Relation zu den hergestellten Pfählen zeigt Abbildung 9.2.

Es kann folgender Rückschluss gezogen werden: die Zuordnung von Baustellenbereichen/Messzeiträumen zu einzelne Bodenproben („Nadelstiche“) ist kaum bzw. nicht möglich. Dies war aber auch nicht zu erwarten, da - wie Tabelle 7.11 entnommen werden kann - die Kennwerte des Wiener Abrasimeters bereits innerhalb eines Pfahles Schwankungen aufweisen. Das unterstreicht die Notwendigkeit von mehreren Laborversuchen, um einen repräsentativen Mittelwert zu erhalten. Im gegenständlichen Fall kann dem im Labor ermittelten Mittelwert von $AIW_n=206$ ein auf der Baustelle dokumentierten Meißelverschleiß von 12,8 g/km bzw. Wendellängenverschleiß von 2,1 - 6,7 mm/m/1000 Bohrmeter gegenüber gestellt werden.

7.4 Interpretationen von Baustellenpersonal

In diesem Abschnitt der Arbeit geht es um die Interpretation des Baustellenpersonals im Zusammenhang mit der Herstellung von SOB-Pfählen im Donauschotter (Projekt „Stadtstraße“), wobei insbesondere dem abrasiven Verschleiß große Beachtung geschenkt wird.

Zu diesem Zweck fand am Donnerstag, den 07. September 2023, ein Gespräch auf der Baustelle (Projekt „Stadtstraße“) mit Herrn Benjamin Stienidl statt. Herr Stienidl ist ein Mitarbeiter der Porr GmbH, der seit über 13 Jahren im Unternehmen tätig ist und seit ca. 5 Jahren als Polier (hauptsächlich auf SOB-Baustellen) tätig ist.

Zu Beginn wurde besprochen, was bei allen SOB-Projekten beachtet werden sollte:

- Einbauten: Es ist wichtig, dass vorhandene Einbauten vor dem Bohren entfernt werden, da das Anbohren von Einbauten zu einem Ausweichen der Schnecke führen kann (Weg des geringeren Widerstands).
- Wichtige Faktoren, die das Bohren (in Lockergestein) beeinflussen: Abrasivität des Gesteins (z.B. sehr abrasiver Donauschotter) und Sand (der Sand wirkt in Verbindung mit Wasser wie „Schleifpapier“).

Über die Besonderheiten des Projekts „Stadtstraße“, insbesondere in Bezug auf den abrasiven Verschleiß beim SOB-Verfahren, wurde Folgendes besprochen:

- Baugrund: Die Bodenverhältnisse (mal ist der „Tegel“ (tonige Schluffschicht) „hart“, dann wieder nicht) sowie die Schichtaufbauten (mal ist der „Tegel“ vorhanden, mal nur die schluffige Sandschicht) sind sehr unterschiedlich und oft schon innerhalb von 10 m verschieden.
- Meißelverschleiß: Die Meißelhalterungen waren teilweise nicht im optimalen Winkel (zu steil) mit der Schnecke verschleißt, was zu einem erhöhten abrasiven Verschleiß und vielen abgerissenen Meißeln führte. Außerdem brachen die Meißelhalterungen häufig aus, was wiederum dazu führte, dass der Anfänger repariert werden musste.

Kapitel 8

Zusammenfassung und Ausblick

In der Einleitung (Kap. 1) wird das Thema der Arbeit vorgestellt, das sich mit den Verschleißeigenschaften von nichtbindigen Böden bei der Bohrpfahlherstellung befasst. Besonderes Interesse gilt dem Schneckenendlos-Ortbeton-Bohrpfahlverfahren (SOB-Verfahren) und dem damit verbundenen abrasiven Verschleiß. Die verschiedenen Methoden/Verfahren zur Bestimmung der Abrasivität in Locker- und Festgestein werden beschrieben. Darüber hinaus werden relevante Normen, Richtlinien und Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Verschleißes zusammengefasst, wobei der Schwerpunkt auf dem Werkzeugverschleiß bei mechanischen Lösungsprozessen liegt.

Kapitel 2 befasst sich mit Methoden zur Bewertung der Abrasivität von Gesteinen. Abrasiver Verschleiß und Werkzeugverschleiß werden definiert, wobei der Fokus auf dem abrasiven Verschleiß liegt. Dieser lässt sich in Zweikörper- und Dreikörper-Abrasivverschleiß unterteilen. Unter Werkzeugverschleiß versteht man den Masseverlust von Werkzeugen aufgrund verschiedener Beanspruchungen im Untergrund. Zur Beurteilung der Abrasivität von Lockergestein gibt es verschiedene Labortests, wobei das Wiener Abrasimeter am geeignetsten erscheint. Auf Baustellen wird der Verschleiß von Werkzeugen oft anhand von Liefer- oder Auftragschein grob ermittelt. Ziel dieser Arbeit ist es, den Abrasivverschleiß im Labor und auf der Baustelle zu vergleichen, um später ein Klassifizierungssystem für das Wiener Abrasimeter entwickeln zu können (nicht Teil dieser Arbeit).

Das Projekt „Stadtstraße“ (Kap. 3) in Wien erstreckt sich über 3,3 km und verbindet die Seestadt Aspern mit der Südosttangente. Die geologischen Bedingungen umfassen verschiedene Bodenschichten, darunter (abrasive) Donauschotter und miozäne Schichten. Spezialtiefbaumethoden wie SOB-Pfähle werden eingesetzt, wobei Probleme beim Durchdringen von tonigen Schluffschichten oder bei möglichen Blocklagen auftreten können. Das Verschleißdokumentationskonzept umfasst die regelmäßige Messung von Bohrschnecken, Piloten, Wendeln und Meißeln sowie die Erfassung von Gerätedaten und Bodenproben für Laborversuche. Das Hauptziel besteht darin, eine Korrelation zwischen dem tatsächlichen Verschleiß auf der Baustelle und den Laborerkenntnissen zu erstellen. Ein weiteres Ziel ist eine Verschleißprognose für die konkrete Baustelle zu entwickeln.

Im Kapitel 4 wird die Umsetzung der Verschleißdokumentation auf der Baustelle beschrieben. Die Messungen sind Teil der Datenauswertung und werden zu diesem Zweck mit den Labortests und den Pfahldaten kombiniert. Dabei wird darauf geachtet, den Bauablauf auf der Baustelle möglichst wenig zu stören und praxistaugliche Methoden einzusetzen. Die Chronologie zeigt, wann und wo Messungen durchgeführt wurden, wobei verschiedene Anfänger und Bohrergeräte verwendet wurden. Es wurden Messungen an Anfängern, Meißel, Wendeln und Piloten durchgeführt. Bodenproben wurden genommen, und der Verschleiß an Drehflügeln wurde dokumentiert. Die Messungen erstreckten sich von September 2022 bis Februar 2023 in drei Zeiträumen.

Das Kapitel „Pfahldaten“ (Kap. 5) behandelt die Erfassung und Auswertung von Daten der Bohrpfähle, die von der Porr GmbH und der Bauer Maschinen GmbH protokolliert wurden. Die Pfahlprotokolle enthalten Informationen wie Datum, Uhrzeit, Pfahlnummer, Länge und Höhenkoten der Pfähle. Die Maschinendaten umfassen Details zu den Bohrgeräten und deren Drehzahl. Für die Bestimmung des Meißelweges wurde vereinfachend angenommen, dass der Meißelweg mit der Tiefe linear ist. Um die Bohrmeter in den einzelnen Bodenschichten zu ermitteln, wurden die Schichtgrenzen anhand der Planungsdaten definiert. Die Auswertung erfolgte mithilfe von Excel und CAD-Programmen. Auf diese Weise konnten die einzelnen Bohrmeter pro Schicht für jeden Pfahl berechnet werden. Es zeigte sich, dass die Anzahl der Umdrehungen bei tieferen Pfählen proportional größer ist.

Kapitel 6 behandelt die Laborversuche im Erdbaulabor der TU Wien. Mit dem Wiener Abrasimeter lassen sich die Abrasivität und Kornzerkleinerung von Lockergestein bestimmen. Dieser Versuch kann sowohl trocken als auch nass durchgeführt werden und umfasst die Verwendung eines Drehflügels als Verschleißelement. Die Ergebnisse werden in Form von Indexwerten für Trocken- und Nassversuche sowie des Einflussfaktors des Wassers auf die Abrasivität präsentiert. Die Versuche an den Bodenproben zeigten, dass die Durchführung komplex ist und es verschiedene Herausforderungen und Fehlerquellen gibt. Die Untersuchungen ergaben allerdings konsistente Ergebnisse, die gut mit früheren Untersuchungen (von Donauschotter) harmonisieren.

In Kapitel 7 werden Daten aus den Kapiteln 4 bis 6 ausgewertet. Es beginnt mit der Zuordnung der Bodenproben zu deren tatsächlichen Tiefe, die aufgrund der Schneckenbohrung während der Pfahllherstellung unbekannt ist. Um dies zu klären, wurden Beobachtungen an Pfählen durchgeführt und im Anschluss auf Basis diverser Annahmen berechnet, dass bei den gegenständlichen Verhältnissen bei einer Entnahme der Bodenprobe an der GOK die tatsächliche Tiefe der Bodenprobe etwa 60% der Tiefe der Anfängerspitze entspricht (z.B.: Bodenprobe stammt aus einer Tiefe von 6 m, wenn sie bei einer Tiefe der Bohrschnecke (Anfängerspitze) von 10 m an der GOK entnommen wird).

Als nächstes werden die Messdaten der Verschleißelemente ausgewertet und in Bezug auf ihre abrasiven Verluste analysiert. Es wird auch eine Verbindung zwischen Baustellen- und Labordaten hergestellt, um eventuelle Zusammenhänge ermitteln zu können. Es werden die Ergebnisse der Verschleißanalyse von Meißel und Wendeln dargestellt. Die Meißel wurden in verschiedene Kategorien unterteilt, darunter Position am Anfänger, verwendeter Anfänger und Einsatzort. Es wurde festgestellt, dass der Meißelverschleiß von innen nach außen ansteigt und der verwendete Anfänger sowie der Einsatzort signifikante Auswirkungen haben. Die Wendelanalyse ergab, dass die Primärwendel einen höheren Verschleiß aufweist als die Sekundärwendel. Die Bodenbeschaffenheit beeinflusst den Verschleiß, wobei höhere Anteile von Ausedimenten und Donauschottern zu erhöhtem Verschleiß führen. Die Interpretationen des Baustellenpersonals betonen den abrasiven Verschleiß bei der Herstellung von SOB-Pfählen im Donauschotter.

Nachfolgend werden die wichtigsten Erkenntnisse aus dieser Arbeit erläutert. Es gab viele Herausforderungen, die auf die Baustellenrandbedingungen zurückzuführen waren, wie z. B. der lange Beobachtungszeitraum, unterschiedliche Geräte, unterschiedliche Baulose, unterschiedliche Anfänger, unterschiedliche Vorarbeiter/Mannschaften. Diese wechselnden Randbedingungen führen zu einem erhöhten zeitlichen (Zeitdruck: da z.B. ein defekter Anfänger sofort ausgetauscht und repariert wird) und organisatorischen (Dokumentation: jeder Anfänger ist von unterschiedlicher Bauart) Aufwand auf der Baustelle. Es zeigte sich, dass kleinste Veränderungen, wie z.B. der Winkel des Meißels am Anfänger, einen großen Einfluss auf den Verschleiß haben.

Die wichtigsten Ergebnisse der Arbeit sind Folgende:

- Meißelverschleiß
 - alle Meißel: $\approx 12,1$ g/km
 - innere/„quasi äußere“/äußere Meißel: $\approx 6,1/20,6/18,1$ g/km $\hat{=}$ Einflussfaktor ca. 3,4
 - Meißel am Anfänger 30075/110935/B61596: $\approx 18,1/8,6/16,6$ g/km $\hat{=}$ Einflussfaktor ca. 2,1
 - Meißel am Anfänger 30075/110935 (nur Baulos 4): $\approx 18,1/6,5$ g/km $\hat{=}$ Einflussfaktor ca. 2,8; Ursache für die deutlich höheren Verschleißwerte beim Anfänger 30075, könnte eine nicht optimale Neigung der Meißelhalterung sein.
 - Meißel im Baulos 3/Baulos 4: $\approx 29,8/6,5$ g/km $\hat{=}$ Einflussfaktor ca. 4,6
 - Meißel pro Seite 3/4 (Anfänger 30075) $\approx 7,4/28,9$ g/km $\hat{=}$ Einflussfaktor ca. 3,9; eine Erklärung für diese sehr unerwarteten Werte ist, dass im Zeitraum mit 3 Meißeln pro Seite 8 Meißel getauscht wurden, von denen 2 Außenmeißel waren (25%) und im Zeitraum mit 4 Meißeln pro Seite 10 Meißel getauscht wurden, von denen 4 Außenmeißel waren (40%) und die äußeren Meißel einen größeren Verschleiß aufwiesen als die inneren Meißel.
 - Meißel montiert auf der rechten/linken Seite: $\approx 10,8/11,3$ g/km $\hat{=}$ Einflussfaktor ca. 1,04
 - Einfluss der einzelnen Bodenschichten auf dem Meißelverschleiß:
 - * Je höher der Anteil „Ausedimente“ ist, desto geringer ist der bezogene Meißelverschleiß.
 - * Je höher der Anteil „Donauschotter“ ist, desto größer ist der bezogene Meißelverschleiß.
 - * Der Anteil „Miozän“ hat auf den bezogenen Meißelverschleiß keinen nennenswerten Einfluss.
- Anfängerverschleiß
 - Anfänger 30075:
 - * Wendellängenreduzierung Sekundärwendel: keine Längenänderung festgestellt; dies könnte entweder an der geringeren Gesamtlänge der Sekundärwendel liegen oder es ist der Verschleiß an der Sekundärwendel geringer als an der Primärwendel.
 - * Länge Aufpanzerung Primärwendel: die Werte aus den Messungen sind negativ; das bedeutet, dass die Länge der einzelnen Aufpanzerungen länger geworden ist; dies könnte auf plastische Verformungen der Aufpanzerung in Bewegungsrichtung hindeuten.
 - Anfänger 110935:
 - * Gesamtlänge Primärwendel: der bezogene Verschleiß liegt zwischen ca. 4 und 11 mm/m/1000 Bohrmeter.
 - * Wendeldicke Primärwendel und Sekundärwendel: der bezogene Verschleiß liegt zwischen ca. 0,1 und 0,5 mm/1000 Bohrmeter.
 - * Gesamtlänge Sekundärwendel: der bezogene Verschleiß liegt zwischen ca. 0 und 7 mm/m/1000 Bohrmeter; der kleinste Wert (0 mm/m/1000 Bohrmeter) könnte, wie bereits bei Anfänger 30075 erwähnt, an der geringeren Gesamtlänge der

Sekundärwendel liegen oder es ist der Verschleiß an der Sekundärwendel geringer als an der Primärwendel.

- * Primärwendel zu Sekundärwendel: die bezogenen Verschleißwerte der Primärwendel sind ca. um den Faktor 1,1 bis 1,5 höher als die bezogenen Verschleißwerte der Sekundärwendel.
- Anfänger 30075/110935:
 - * Standardabweichungen: die Werte der Standardabweichungen (σ -Werte) sind oft um ein Vielfaches höher als die dazugehörigen Differenzwerte (Δ -Werte); dies verdeutlicht die Notwendigkeit der größeren Anzahl an Messwerten, um die Messungenauigkeiten (z.B.: da an unterschiedlichen Stellen gemessen wurde) auszugleichen („Aufhebung“ der Fehler bei größerer Datenmenge).
 - * Gesamtlänge Primärwendel: beim Anfänger 110935 ist der bezogene Verschleiß der Gesamtlänge um ca. den Faktor 3,2 höher als beim Anfänger 30075.
 - * Wendeldicke: beim Anfänger 30075 ist der bezogene Verschleiß der Wendeldicke um ca. den Faktor 1,4 höher als beim Anfänger 110935.
- Einfluss der einzelnen Bodenschichten auf dem Anfängerverschleiß:
 - * Je höher der Anteil „Ausedimente“ ist, desto größer ist der bezogene Verschleiß der Wendellänge und desto geringer ist der bezogene Verschleiß der Wendeldicke; Ursache für den größeren bezogenen Verschleiß der Wendellänge könnte sein, dass die eher feineren Bodenkörner (vor allem Sande) an der Wendelseite (=Außenkante) mehr Kontakt haben (als z.B. bei Kiesen) und so größere Verschleißraten verursachen.
 - * Je höher der Anteil „Donauschotter“ ist, desto geringer ist der bezogene Verschleiß der Wendellänge und desto größer ist der bezogene Verschleiß der Wendeldicke.
 - * Je höher der Anteil „Miozän“ ist, desto geringer ist der bezogene Verschleiß der Wendellänge und desto größer ist der bezogene Verschleiß der Wendeldicke.
- Drehflügel am Anfänger 110935:
 - \varnothing_{AIW_n} zu Drehflügel: der bezogene Massenverschleiß am Drehflügel ist im Labor (Wiener Abrasimeter-Versuch) um ca. den Faktor 2 bis 3 höher als beim Drehflügel auf der Baustelle (Drehflügel am Anfänger 110935); Hintergrund für diesen Unterschied könnte die vollflächige Kontaktfläche im Wiener Abrasimeter (Material kann von allen Seiten abrasiv wirken) sein (am Anfänger montiert, kann an der gesamten Unterseite kein abrasiver Verschleiß auftreten).

Bei der Dokumentation auf der Baustelle/dem Lagerplatz konnten folgende Messungen gut durchgeführt werden:

- Länge/Dicke der Wendel: vorher und nachher
- Meißelgewichte: neu und gebraucht, je nach Position
- Produktionsreihenfolge der Pfähle

Die folgende Dokumentation ist gut geeignet, aber hinsichtlich der Auswertung zeitaufwendig:

- Maschinendaten: Anzahl der Umdrehungen der Schnecke (erforderlich für Ermittlung der Meißelwege)

Das Messen von Anfängern mit Aufpanzerungen (Anfänger 30075) hat sich als nicht zielführend erwiesen, da der zeitliche Aufwand viel größer ist und gleichzeitig die Aussagekraft der Ergebnisse (größere Standardabweichungen) kleiner ist.

Mein Fazit lautet schließlich wie folgt: Der Zeitaufwand für eine Verschleißdokumentation auf der Baustelle ist nicht zu unterschätzen und „nebenbei“ kaum zu bewältigen. Es ist ratsam, dass immer die gleiche Person die Protokollierung vornimmt und das möglichst einheitlich. Es müssten noch viel mehr solcher Untersuchungen an Ort und Stelle und im Labor durchgeführt werden, um eine Prognose des Verschleißes anhand von Labordaten erstellen zu können. Für weitere Untersuchungen wäre Folgendes wichtig: Untersuchung von anderen Bodenarten, mehr Daten, verschiedene Anfänger, verschiedene Bohrgeräte, verschiedene Arten von Meißeln.

Literatur

- [1] D. Adam. „Grundbau und Bodenmechanik, Studienunterlagen zur Vorlesung“. In: *Institut für Geotechnik, Forschungsbereich Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Wien* (2019).
- [2] K. Beckhaus und K. Thuro. *Abrasivität in der Großbohrtechnik – Versuchstechnik und praktische Erfahrungen*. 2008.
- [3] P. Drucker. *Das TU Wien Abrasimeter - Ein neuer Verschleißtopfversuch für die Ermittlung der Abrasivität von grobkörnigen Lockergestein*. 2013. URL: https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_211662.pdf (Zugriff am 27.06.2023).
- [4] P. Drucker. „Über die Abrasivität von Lockergestein und den Werkzeugverschleiß im Spezialtiefbau“. Verfügbar unter <https://permalink.catalogplus.tuwien.at/AC07815430>. Dissertation. Wien: TU Wien, 2013.
- [5] H. Käsling, J. Düllmann und R. J. Plinninger. „Bestimmung der Abrasivität von Festgesteinen mit dem LCPC-Versuch - Empfehlung Nr.24 des Arbeitskreises 3.3 - Versuchstechnik Fels - der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V.“ In: *geotechnik 45,H.2,S.117-121*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1002/gete.202100025>.
- [6] M. Köhler, U. Maidl und L. Martak. „Abrasive wear and tool wear in shield tunnelling in soil / Abrasivität und Werkzeugverschleiß beim Schildvortrieb im Lockergestein“. In: *Geomechanics and Tunnelling 4.1* (2011), S. 36–54. DOI: <https://doi.org/10.1002/geot.201100002>. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/geot.201100002>.
- [7] *Merkblatt Abrasivitätsbestimmung von grobkörnigem Lockergestein*. Deutsch. Österreichische Bautechnik Vereinigung, Okt. 2013.
- [8] *ÖNORM B 2203-2:2005 01 01: Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*. Deutsch. Wien: Austrian Standards, Jan. 2005.
- [9] *ÖNORM EN ISO 17892-1:2023 02 01: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 1: Bestimmung des Wassergehalts*. Deutsch. Wien: Austrian Standards, Feb. 2023.
- [10] *ÖNORM EN ISO 17892-4:2017 05 01: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 4: Bestimmung der Korngrößenverteilung*. Deutsch. Wien: Austrian Standards, Mai 2017.
- [11] *ÖNORM M 8120-1:1985 12 01: Tribologie; Tribotechnik, Tribosysteme; allgemeine Grundlagen, Begriffsbestimmungen*. Deutsch. Wien: Austrian Standards, Dez. 1985.
- [12] *ÖNORM M 8120-3:1987 12 01: Tribologie; Verschleiß; Begriffsbestimmungen und Einteilung*. Deutsch. Wien: Austrian Standards, Dez. 1987.
- [13] *ÖNORM M 8121-3:1994 03 01: Tribotechnik - Tribologische Prüfung - Verschleiß-Meßgrößen*. Deutsch. Wien: Austrian Standards, März 1994.
- [14] Pfahldaten für das Ausführungsprojekt 2021 – 22., Stadtstraße – Aspern. *Pfahlprotokolle und Machinendaten*. Daten erhalten von PORR GmbH, Oktober 2022 bis März 2023.

- [15] Pläne für das Ausführungsprojekt 2021 – 22., Stadtstraße – Aspern. *diverse Pläne (Grundrisse, Schnitte, Geologische Längenschnitte)*. Pläne erhalten von PORR GmbH, Planstände ca. April 2022 bis ca. Oktober 2022.
- [16] R. J. Plinninger. „Geotechnische Einflüsse auf den Werkzeugverschleiß beim Bohren in Festgestein“. In: *KOLLOQUIUM 4: Innovative Bohrtechnologien für Flach-, Tief- und Großlochbohrungen*. Hrsg. von 5. B. und Hüttenmännischer Tag vom 13. – 15. Juni 2007. 2007.
- [17] *Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb*. Deutsch. Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, 2014.
- [18] *Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb*. Deutsch. Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, 2021.
- [19] K. Sommer, R. Heinz und J. Schöfer. *Verschleiß metallischer Werkstoffe - Erscheinungsformen sicher beurteilen*. 3., neu bearbeitete Auflage. Lorch: Springer Vieweg, 2017. ISBN: 978-3-658-17850-5.
- [20] Stadt Wien. *Die Stadtstraße für Wien*. 2023. URL: <https://www.stadtstrasse.at/> (Zugriff am 20.02.2023).
- [21] Stadtstraße Aspern, Ausführungsprojekt 2021: ARGE Stadtstraße (Porr GmbH Strabag AG). *Technischer Bericht, Herstellung ZVP (Bereich DSV)*. Baulos 4, 25.07.2022.
- [22] K. Thuro und R. J. Plinninger. „Klassifizierung und Prognose von Leistungs- und Verschleißparametern im Tunnelbau“. In: *Taschenbuch für den Tunnelbau*. Hrsg. von D. G. für Geotechnik e.V. Essen, 2002, S. 62–126.
- [23] UVP Unterlagen: 22., STADTSTRASSE - ASPERN EINREICHPROJEKT 2014. *Geologischer Bericht - Einlage: C.02.01.1001*. Mai 2014. URL: https://hirschstetten-retten.at/wp-content/uploads/downloads/UVP_Unterlagen_StadtstrasseAspern.zip (Zugriff am 05.06.2023).
- [24] UVP Unterlagen: 22., STADTSTRASSE - ASPERN EINREICHPROJEKT 2014. *Geotechnischer Übersichtslängenschnitt Teil 2 - Einlage: C.02.03.1004*. Mai 2014. URL: https://hirschstetten-retten.at/wp-content/uploads/downloads/UVP_Unterlagen_StadtstrasseAspern.zip (Zugriff am 05.06.2023).
- [25] UVP Unterlagen: 22., STADTSTRASSE - ASPERN EINREICHPROJEKT 2014. *Geotechnischer Untersuchungsbericht - Einlage: C.02.01.1002*. Mai 2014. URL: https://hirschstetten-retten.at/wp-content/uploads/downloads/UVP_Unterlagen_StadtstrasseAspern.zip (Zugriff am 05.06.2023).
- [26] UVP Unterlagen: 22., STADTSTRASSE - ASPERN EINREICHPROJEKT 2014. *Tunnel Emichgasse Bauphasen - Einlage: B.03.02.1008*. Juni 2014. URL: https://hirschstetten-retten.at/wp-content/uploads/downloads/UVP_Unterlagen_StadtstrasseAspern.zip (Zugriff am 05.06.2023).
- [27] UVP Unterlagen: 22., STADTSTRASSE - ASPERN EINREICHPROJEKT 2014. *Übersichtskarte - Einlage: B.02.01.1002*. Juni 2014. URL: https://hirschstetten-retten.at/wp-content/uploads/downloads/UVP_Unterlagen_StadtstrasseAspern.zip (Zugriff am 05.06.2023).

Abbildungsverzeichnis

2.1	Tribologisches System [11]	15
2.2	Kornverteilungslinie der Bodenprobe „O163 - 13,0 m“ mit Kennzeichnung der Einsatzbereiche ausgewählter Laborversuche	19
2.3	„Bauer-Verschleißklassen“ in Bezug auf Abrasivitätskennwerte - Lockergestein [2]	21
3.1	Verlauf der Stadtstraße [27]	23
3.2	Geotechnischer Längenschnitt des Abschnittes Tunnel Hausfeld [24]	24
3.3	Arbeitskreis-Konzept vom 06.05.2022	26
4.1	Verlauf Stadtstraße mit Bohrzeiten und Plannummern der dokumentierten Bereiche [27]	30
4.2	Tunnel Emichgasse (Baulos 3) mit Bohrzeiten und Plannummern der dokumentierten Bereiche [26]	30
4.3	Tunnel Hausfeld (Baulos 4) mit Bohrzeiten und Plannummern der dokumentierten Bereiche [21]	31
4.4	SOB-Bohrgerät mit den einzelnen Komponenten	32
a	Gesamtansicht Bohrgerät	32
b	Detailansicht Bohrgerät	32
4.5	Anfänger 30075 mit Kennzeichnung der Meißel	33
4.6	Anfänger 110935 mit Kennzeichnung der Meißel	34
4.7	Unterschiedliche Meißeltypen	34
a	Flachzahnmeißel	34
b	Rundschaftmeißel	34
4.8	Dichtefunktion der Massenverteilung von neuen und gebrauchten Meißel	36
4.9	Beispiel für verschmutzte Meißel	37
4.10	Gebrauchte Meißel - (a) leicht und (b) stark verschlissen	37
a	R1-R3, Ausbau am 14.12.2022	37
b	R4 und L4, Ausbau am 15.12.2022	37
4.11	Messung der Meißelradien	38
a	Anfänger 30075	38
b	Anfänger 110935	38
4.12	Abmessung der Aufpanzerungen des Anfängers 30075	39
a	Längenmessung	39
b	Höhenmessung	39
4.13	Abmessung der Wendel des Anfängers 110935	40
a	Gesamtlängenmessung	40
b	Dickenmessung	40
4.14	Zeitraum 3: Probenentnahme am 06.12.2022	41
a	Probenentnahme	41
b	Bohrgut beim Bohren	41
4.15	Drehflügel 1 auf Anfänger 110935 - vor und nach Gebrauch	41
a	Drehflügel 1 - vor Gebrauch	41

b	Drehflügel 1 - nach Gebrauch	41
4.16	Zeitraum 1: Vermessung des Anfängers B61598 auf der Baustelle	42
a	Markierter Startpunkt für die Längenmessung	42
b	Längenmessung der Wendel	42
4.17	Zeitraum 2: Vermessung des Anfängers 30075 auf der Baustelle	43
a	Dickenmessung einer Aufpanzerung	43
b	Messung der Wendel-Gesamtlänge	43
5.1	Meißelweg über Bohrtiefe linear und nicht linear Pfahl: BA4-O94 [14]	48
5.2	Gesamtumdrehungen der Bohrschnecke bis zur max. Bohrtiefe	49
5.3	Beispielhafter geotechnischer Längenschnitt mit den Schichtgrenzen	50
6.1	Ansicht und Systemschnitt des Wiener Abrasimeters inkl. Bezeichnung der Bestandteile	52
a	Ansicht [3]	52
b	Systemschnitt [7]	52
6.2	Ermittlung der Grobfaktoren [7]	55
6.3	Blick in den Einfülltrichter nach Befüllung mit trockenem und nassem Material	56
a	nach Trockenbefüllung	56
b	nach Nassbefüllung	56
6.4	Defektes Passstück mit abgerissener Gewindestange	57
a	Drehflügel und Gewindestange	57
b	Passstück und Gewindestangen-Reste	57
6.5	Eingliederung der Laborergebnisse in bestehende Ergebnisse [Auswertung durch Labor TU Wien]	59
6.6	Siebrückstände der Bodenprobe O163-13,0 m vor und nach dem Versuch	60
a	vor dem Versuch	60
b	nach dem Versuch	60
6.7	Siebrückstände der Kornklasse 16 - 22,4 mm vor und nach dem Versuch an der Bodenprobe O163-13,0 m	60
a	vor dem Versuch	60
b	nach dem Versuch	60
6.8	Siebrückstände der Kornklasse 22,4 - 31,5 mm vor und nach dem Versuch an der Bodenprobe O163-13,0 m	60
a	vor dem Versuch	60
b	nach dem Versuch	60
7.1	Skizze mit den Zeiträumen und Zeitpunkten für die Tiefenzuordnung der Bodenproben - vor Auswertung (bekannte und unbekannte Größen)	62
7.2	Skizze mit den Zeiträumen und Zeitpunkten für die Tiefenzuordnung der Bodenproben - nach Auswertung	63
7.3	Schneckenfüllung beim Ziehen der Schnecke (Miozäne Schicht)	64
a	schluffige Sandschicht	64
b	tonige Schluffschicht	64
7.4	Messung des Volumens eines Kegelstumpfes	65
a	Kegelstumpf	65
b	Höhenmessung	65
7.5	trockene und nasse Stellen beim Ziehen der Schnecke in Donauschotter	66
7.6	Beispiel einer Tiefenzuordnung einer Bodenprobe aus 10 m	66

7.7	Vermessung Anfänger 30075 - mit Kennzeichnung	69
7.8	Drehflügel mit Drehpunkt und Radius im Wiener Abrasimeter; Maße in [mm] .	71
7.9	Drehflügel mit Radius und Drehrichtung am Anfänger 110935; Maße in [mm] . .	71
7.10	Masseverlust über Meißelweg - alle gebrauchten Meißel	73
7.11	Masseverlust über Meißelweg in Abhängigkeit von der Position der Meißel am Anfänger	74
7.12	Masseverlust über Meißelweg in Abhängigkeit von den verwendeten Anfängern .	74
7.13	Masseverlust über Meißelweg - für Anfänger 110935 - in Abhängigkeit vom Einsatzort (Baulose)	75
7.14	Masseverlust über Meißelweg - für Anfänger 30075 - in Abhängigkeit von der Anzahl der Meißel pro Seite	76
7.15	Masseverlust über Meißelweg für Baulos 4 in Abhängigkeit vom verwendeten Anfänger	77
7.16	Masseverlust über Meißelweg - in Abhängigkeit von der Seite am Anfänger (Primär-/Sekundärwendel)	78
7.17	Anteil der Bodenschichten am Meißelweg über dem bezogenen Meißelverschleiß - Tunnel Hausfeld	79
7.18	Anteil der Bodenschichten am Meißelweg über dem bezogenen Verschleiß der Wendellänge der Primärwendel - Tunnel Hausfeld	83
7.19	Anteil der Bodenschichten am Meißelweg über dem bezogenen Verschleiß der Wendeldicke der Primärwendel - Tunnel Hausfeld	84
7.20	Masseverlust über Meißelweg - für Anfänger 30075 - Trennung nach Einsatzzeitraum	87
9.1	Bohrpfahlprotokoll des Pfahles O29 [14]	101
9.2	Lageplan - Tunnel Hausfeld, Wanne West und BA4 - Gesamtübersicht Plan 1; Plangrundlage [15]	106
9.3	Lageplan - Tunnel Hausfeld, Wanne West und BA4 - Detailansicht Plan 2A; Plangrundlage [15]	107
9.4	Lageplan - Tunnel Hausfeld, Wanne West und BA4 - Detailansicht Plan 2B; Plangrundlage [15]	108
9.5	Lageplan - Tunnel Hausfeld, Wanne West und BA4 - Detailansicht Plan 2C; Plangrundlage [15]	109
9.6	Lageplan - Tunnel Hausfeld, Wanne West und BA4 - Detailansicht Plan 2D; Plangrundlage [15]	110
9.7	Lageplan - Tunnel Hausfeld, Wanne West und BA4 - Detailansicht Plan 2E; Plangrundlage [15]	111
9.8	Lageplan - Tunnel Emichgasse, Wanne Ost und BA1B - Plan 3; Plangrundlage [15]	112
9.9	Protokoll der Schlussmessung des Anfängers 30075 am 18.11.2022	113
9.10	Versuchsprotokoll für den TU Wien Abrasimeterversuch [7]	114
9.11	Auswertung des Abrasimeterversuches an der Bodenprobe O43 - 7,7 m	115
9.12	Auswertung des Abrasimeterversuches an der Bodenprobe O43 - 9,7 m	116
9.13	Auswertung des Abrasimeterversuches an der Bodenprobe O159 - 7,5 m	117
9.14	Auswertung des Abrasimeterversuches an der Bodenprobe O159 - 10,0 m	118
9.15	Auswertung des Abrasimeterversuches an der Bodenprobe O159 - 13,0 m	119
9.16	Auswertung des Abrasimeterversuches an der Bodenprobe O163 - 9,0 m	120
9.17	Auswertung des Abrasimeterversuches an der Bodenprobe O163 - 11,25 m	121
9.18	Auswertung des Abrasimeterversuches an der Bodenprobe O163 - 13,0 m	122

Tabellenverzeichnis

2.1	Einsatzbereiche und Abdeckungsgrad ausgewählter Laborversuche bei der Bodenprobe „O163 - 13,0 m“	20
4.1	Übersicht über die Dokumentation der Anfänger	29
4.2	Masse [g] von 50 neuen Flachzahnmeißel	35
4.3	Masse [g] von 41 gebrauchten Flachzahnmeißel	35
5.1	Auszug aus den Pfahldaten	46
5.2	Maschinendaten für den Pfahl: BA4-O94 [14]	47
5.3	Meißelweg linear und nicht linear für den Pfahl BA4-O94	47
5.4	Bohrmeter der Pfähle W-132 bis W-151 in den einzelnen Bodenschichten	50
6.1	Randbedingungen für den Wiener Abrasimeterversuch [7]	52
6.2	Wahl des Passstückes für den Wiener Abrasimeterversuch [7]	52
6.3	Ergebnisse des Wiener Abrasimeterversuches	58
7.1	Zeiträume und Zeitpunkte für die Tiefenzuordnung - Pfahl L5	62
7.2	Zusammenfassung - Meißelverschleiß	79
7.3	Verschleiß des Anfängers 30075 (08.11.22 bis 16.11.22) mit ca. 1113 Bohrmeter (positive Werte = Verkürzung; negative Werte = Verlängerung)	81
7.4	Verschleiß des Anfängers 110935 (17.11.22 bis 24.11.22) mit ca. 876 Bohrmeter	81
7.5	Verschleiß des Anfängers 110935 (06.12.22 bis 12.12.22) mit ca. 525 Bohrmeter	82
7.6	Verschleiß des Anfängers 110935 (23.01.23 bis 26.01.23) mit ca. 454 Bohrmeter	82
7.7	Verschleiß des Anfängers 110935 (alle drei Zeiträume) mit ca. 1855 Bohrmeter	82
7.8	Verschleiß des Anfängers 30075 (08.11.22 bis 16.11.22) mit ca. 1113 Bohrmeter und Verschleiß des Anfängers 110935 (alle drei Zeiträume) mit ca. 1855 Bohrmeter	85
7.9	Anteile der Bodenschichten an der Gesamtlänge für die Anfänger 30075 und 110935	85
7.10	Bezogener Massenverschleiß der Drehflügel im Labor und am Anfänger	86
7.11	AIW_n -Werte für die Bodenproben „O43“, „O159“ und „O163“ (vgl. Tab. 6.3)	86
9.1	Bodenproben (Teil 1)	102
9.2	Bodenproben (Teil 2)	103
9.3	Masse der gebrauchten Meißel (Teil 1)	104
9.4	Masse der gebrauchten Meißel (Teil 2)	105

Kapitel 9

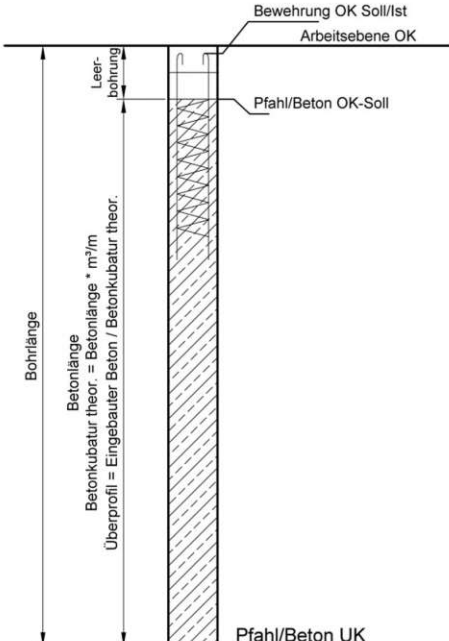
Anhang

BOHRPFAHLPROTOKOLL 345 O-29 07.11.2022



BOHRPFAHL		KOTEN					
Bohrpfahl	O-29				Soll	Ist	
Bauteil	BA4	Arbeitsebene	OK	[BN]	154,700	154,860	
Ausführungstechnik	SOB	Pfahl / Beton	OK	[BN]	154,700	154,700	
Austeilungsplan	SSA-AF-4.0-M22G301-OP-AL-291910-F02	Pfahl / Beton	UK	[BN]	145,700	145,440	
Bewehrungstyp	BA4-1	Bewehrung	OK	[BN]	154,600	154,600	
Bewehrungsplan	SSA-AF-4.0-	Leerbohrung		[m]	0,000	0,160	
	B22G300-OP-	Bohrlänge		[m]	9,000	9,420	
	BE-293311-F01	Betonlänge		[m]	9,000	9,260	
Durchmesser	[m] 0,90						
Pfahl-Neigung	[°] 0						

SKIZZE		HERSTELLZEITEN				
			Beginn		Ende	
			[Datum/Uhrzeit]		[Datum/Uhrzeit]	
		Aushub	07.11	09:10	07.11	09:15
		Bewehrungseinbau	07.11	09:20	07.11	09:25
		Beton	07.11	09:15	07.11	09:20



BETON/VERFÜLLUNG	
Betonhersteller	CBL
Betonart	C25/30/BS-TB1
Ausbreitmaß	59,00
Betonkubator theor.	[m³] 5,89
Eingebauter Beton	[m³] 6,91
Überprofil	[%] 17,35

ANMERKUNG/BESONDERHEITEN	
keine	

BAUSTELLENDATEN	
Baustelle	Stadtstraße
	Wien
Polier	Stiendl Benjamin
Gerät	BG33H-
Ort, Datum	Wien, 07.11.2022

Abb. 9.1: Bohrpfehlprotokoll des Pfahles O29 [14]

Tab. 9.1: Bodenproben (Teil 1)

Bodenproben													
Nr.	Nr. in Charge	Datum	Bezeichnung	Baulos	Bauabschnitt	Pfahl	Bemerkung	Tiefe [m]	Liter	Summe Liter	Anfänger	Vermessen	Meißel
1	1	22.09.2022	St./BL3/BA1-R07	3	1 R07	-	-	-	10				
2	2	22.09.2022	St./BL3/BA1-R07	3	1 R07	-	-	-	10	50	B61596	Nein	8
3	3	22.09.2022	St./BL3/BA1-R07	3	1 R07	-	-	-	10				
4	4	22.09.2022	St./BL3/BA1-R07	3	1 R07	-	-	-	10				
5	5	22.09.2022	St./BL3/BA1-R07	3	1 R07	-	-	-	10				
6	1	22.09.2022	St./BL3/BA1-L15	3	1 L15	-	-	2,5	10				
7	2	22.09.2022	St./BL3/BA1-L15	3	1 L15	-	-	2,5	10				
8	3	22.09.2022	St./BL3/BA1-L15	3	1 L15	-	-	5,0	10	50	B61596	Nein	8
9	4	22.09.2022	St./BL3/BA1-L15	3	1 L15	-	-	5,0	10				
10	5	22.09.2022	St./BL3/BA1-L15	3	1 L15	-	-	5,0	10				
11	1	27.09.2022	St./BL3/BA1-R02	3	1 R02	-	-	4,0	10				
12	2	27.09.2022	St./BL3/BA1-R02	3	1 R02	-	-	4,0	10				
13	3	27.09.2022	St./BL3/BA1-R02	3	1 R02	-	-	5,2	10	50	B61596	Nein	8
14	4	27.09.2022	St./BL3/BA1-R02	3	1 R02	-	-	5,2	10				
15	5	27.09.2022	St./BL3/BA1-R02	3	1 R02	-	-	5,2	10				
16	1	07.11.2022	St./BL4/BA4-O-43	4	4 O-43	-	-	7,7	10				
17	2	07.11.2022	St./BL4/BA4-O-43	4	4 O-43	-	-	7,7	10				
18	3	07.11.2022	St./BL4/BA4-O-43	4	4 O-43	-	-	8,0	10				
19	4	07.11.2022	St./BL4/BA4-O-43	4	4 O-43	-	-	8,0	10	70	30075	Ja	6
20	5	07.11.2022	St./BL4/BA4-O-43	4	4 O-43	-	-	9,7	10				
21	6	07.11.2022	St./BL4/BA4-O-43	4	4 O-43	-	-	9,7	10				
22	7	07.11.2022	St./BL4/BA4-O-43	4	4 O-43	-	-	9,7	10				
23	1	06.12.2022	St./BL4/BA4-O-167	4	4 O-167	Ausand	-	6,0	10				
24	2	06.12.2022	St./BL4/BA4-O-167	4	4 O-167	-	-	11,5	10				
25	3	06.12.2022	St./BL4/BA4-O-167	4	4 O-167	-	-	12,4	10	50	110935	Ja	7
26	4	06.12.2022	St./BL4/BA4-O-167	4	4 O-167	-	-	13,7	10				
27	5	06.12.2022	St./BL4/BA4-O-167	4	4 O-167	-	-	17,4	10				

Tab. 9.2: Bodenproben (Teil 2)

Bodenproben													
Nr.	Nr. in Charge	Datum	Bezeichnung	Baulos	Bauabschnitt	Pfahl	Bemerkung	Tiefe	Liter	Summe Liter	Anfänger	Vermessen	Meißel
28	1	06.12.2022	St./BL4/BA4-O-163	4		4 O-163	-	9,0	15				
29	2	06.12.2022	St./BL4/BA4-O-163	4		4 O-163	-	11,0	15				
30	3	06.12.2022	St./BL4/BA4-O-163	4		4 O-163	-	11,5	10	65	110935	Ja	7
31	4	06.12.2022	St./BL4/BA4-O-163	4		4 O-163	-	13,0	10				
32	5	06.12.2022	St./BL4/BA4-O-163	4		4 O-163	Wiener Tegel	15-16	15				
33	1	20.12.2022	St./BL4/BA4-O-159	4		4 O-159	-	6,0	10				
34	2	20.12.2022	St./BL4/BA4-O-159	4		4 O-159	-	6,0	10				
35	3	20.12.2022	St./BL4/BA4-O-159	4		4 O-159	-	7,5	10				
36	4	20.12.2022	St./BL4/BA4-O-159	4		4 O-159	-	7,5	10				
37	5	20.12.2022	St./BL4/BA4-O-159	4		4 O-159	-	8,0	10				
38	6	20.12.2022	St./BL4/BA4-O-159	4		4 O-159	-	8,0	10	110	30075	Ja	10
39	7	20.12.2022	St./BL4/BA4-O-159	4		4 O-159	-	10,0	10				
40	8	20.12.2022	St./BL4/BA4-O-159	4		4 O-159	-	10,0	10				
41	9	20.12.2022	St./BL4/BA4-O-159	4		4 O-159	-	13,0	10				
42	10	20.12.2022	St./BL4/BA4-O-159	4		4 O-159	-	13,0	10				
43	11	20.12.2022	St./BL4/BA4-O-159	4		4 O-159	-	15,4	10				
44	1	23.01.2023	St./BL3/BA/33-R01	3		33-R01	-	6,0	10				
45	2	23.01.2023	St./BL3/BA/33-R01	3		33-R01	-	6,0	10				
46	3	23.01.2023	St./BL3/BA/33-R01	3		33-R01	-	9,0	10	50	110935	Ja	4
47	4	23.01.2023	St./BL3/BA/33-R01	3		33-R01	-	9,0	10				
48	5	23.01.2023	St./BL3/BA/33-R01	3		33-R01	-	13,0	10				
49	1	23.01.2023	St./BL3/BA/33-R05	3		33-R05	-	6,0	10				
50	2	23.01.2023	St./BL3/BA/33-R05	3		33-R05	-	6,0	10				
51	3	23.01.2023	St./BL3/BA/33-R05	3		33-R05	-	9,0	10	50	110935	Ja	4
52	4	23.01.2023	St./BL3/BA/33-R05	3		33-R05	-	9,0	10				
53	5	23.01.2023	St./BL3/BA/33-R05	3		33-R05	-	12,5	10				

Tab. 9.3: Masse der gebrauchten Meißel (Teil 1)

Meißelmassen												
Nr.	Position	Datum	Ausbau	Uhrzeit	Baulos	Baubschnitt	Masse	Meißelbreite	Anfänger	Vermessen	Summe	Anmerkungen
1	L3	22.09.2022		07:30:00	3	1	2 344,3 g	71,25 mm				waren nicht Neu!!
2	L4	22.09.2022		07:30:00	3	1	2 283,8 g	71,30 mm				waren nicht Neu!!
3	R3	22.09.2022		07:30:00	3	1	2 354,4 g	71,25 mm				waren nicht Neu!!
4	R4	22.09.2022		07:30:00	3	1	2 307,5 g	71,25 mm	B61596	Nein	8	waren nicht Neu!!
5	L3	27.09.2022		17:00:00	3	1	2 408,2 g	71,30 mm				
6	L4	27.09.2022		17:00:00	3	1	2 198,1 g	71,40 mm				
7	R3	27.09.2022		17:00:00	3	1	2 413,6 g	71,05 mm				
8	R4	27.09.2022		17:00:00	3	1	2 063,9 g	71,10 mm				
9	L1	18.11.2022		-	4	4	2 419,6 g	71,35 mm				komplett verschlissen
10	L2	18.11.2022		-	4	4	2 332,6 g	71,55 mm				komplett verschlissen
11	L3	18.11.2022		-	4	4	2 423,5 g	71,35 mm				nur für letzten Pfahl am 16.11.22
12	R1	18.11.2022		-	4	4	2 406,0 g	71,25 mm	30075	Ja	6	komplett verschlissen
13	R2	18.11.2022		-	4	4	2 399,4 g	71,40 mm				komplett verschlissen
14	R3	18.11.2022		-	4	4	2 426,2 g	71,25 mm				nur für letzten Pfahl am 16.11.22
15	L1	29.11.2022		-	4	4	2 452,7 g	71,45 mm				
16	L2	29.11.2022		-	4	4	2 449,9 g	71,45 mm				
17	L3	29.11.2022		-	4	4	2 351,8 g	71,25 mm				
18	L4	29.11.2022		-	4	4	2 378,7 g	71,15 mm	110935	Ja	8	
19	R1	29.11.2022		-	4	4	2 462,8 g	71,55 mm				
20	R2	29.11.2022		-	4	4	2 445,0 g	71,35 mm				
21	R3	29.11.2022		-	4	4	2 347,1 g	71,45 mm				
22	R4	29.11.2022		-	4	4	2 376,8 g	71,30 mm				
23	L1	05.12.2022		-	4	4	2 389,3 g	71,50 mm	30075	Nein	2	
24	R1	05.12.2022		-	4	4	2 359,9 g	71,45 mm				

Tab. 9.4: Masse der gebrauchten Meißel (Teil 2)

Meißelmassen											
Nr.	Position	Datum Ausbau	Uhrzeit	Baulos	Bauabschnitt	Masse	Meißelbreite	Anfänger	Vermessen	Summe	Anmerkungen
25	L1	14.12.2022	-	4	4	2 461,1 g	71,60 mm	110935	Ja	7	
26	L2	14.12.2022	-	4	4	2 442,3 g	71,30 mm				
27	L3	14.12.2022	-	4	4	2 422,3 g	71,45 mm				
28	L4	14.12.2022	-	4	4	2 173,3 g	71,10 mm				
29	R1	14.12.2022	-	4	4	2 448,9 g	71,50 mm				
30	R2	14.12.2022	-	4	4	2 423,7 g	71,40 mm				
31	R3	14.12.2022	-	4	4	2 363,4 g	71,50 mm				
32	L4/R4	15.12.2022	-	4	4	2 040,9 g	71,35 mm				nicht zuordenbar ob R4 oder L4!!
33	L4/R4	15.12.2022	-	4	4	1 987,9 g	70,90 mm				nicht zuordenbar ob R4 oder L4!!
34	R4	21.12.2022	-	4	4	2 121,0 g	71,30 mm	30075	Nein	10	
35	L1	19.01.2023	-	4	4	2 435,6 g	71,65 mm				
36	L2	19.01.2023	-	4	4	2 391,7 g	71,85 mm				
37	L3	19.01.2023	-	4	4	2 243,3 g	71,50 mm				
38	R1	19.01.2023	-	4	4	2 443,6 g	71,80 mm				
39	R2	19.01.2023	-	4	4	2 420,0 g	71,65 mm				
40	R3	19.01.2023	-	4	4	2 362,0 g	71,60 mm				
41	R4	19.01.2023	-	4	4	2 233,8 g	71,45 mm				
42	L1	02.02.2023		3	29-33	2 606,5 g	77,35 mm	110935	Ja	4	Die sind Breiter!! - ähnlich zu R1 bzw. L1 14.12.22
43	L2	02.02.2023		3	29-33	2 494,6 g	77,00 mm				Die sind Breiter!!
44	L3	02.02.2023		3	29-33	2 130,0 g	77,20 mm				Die sind Breiter!!
45	R1	02.02.2023		3	29-33	2 532,8 g	76,95 mm				Die sind Breiter!! - ähnlich zu L2 von 19.01.2023

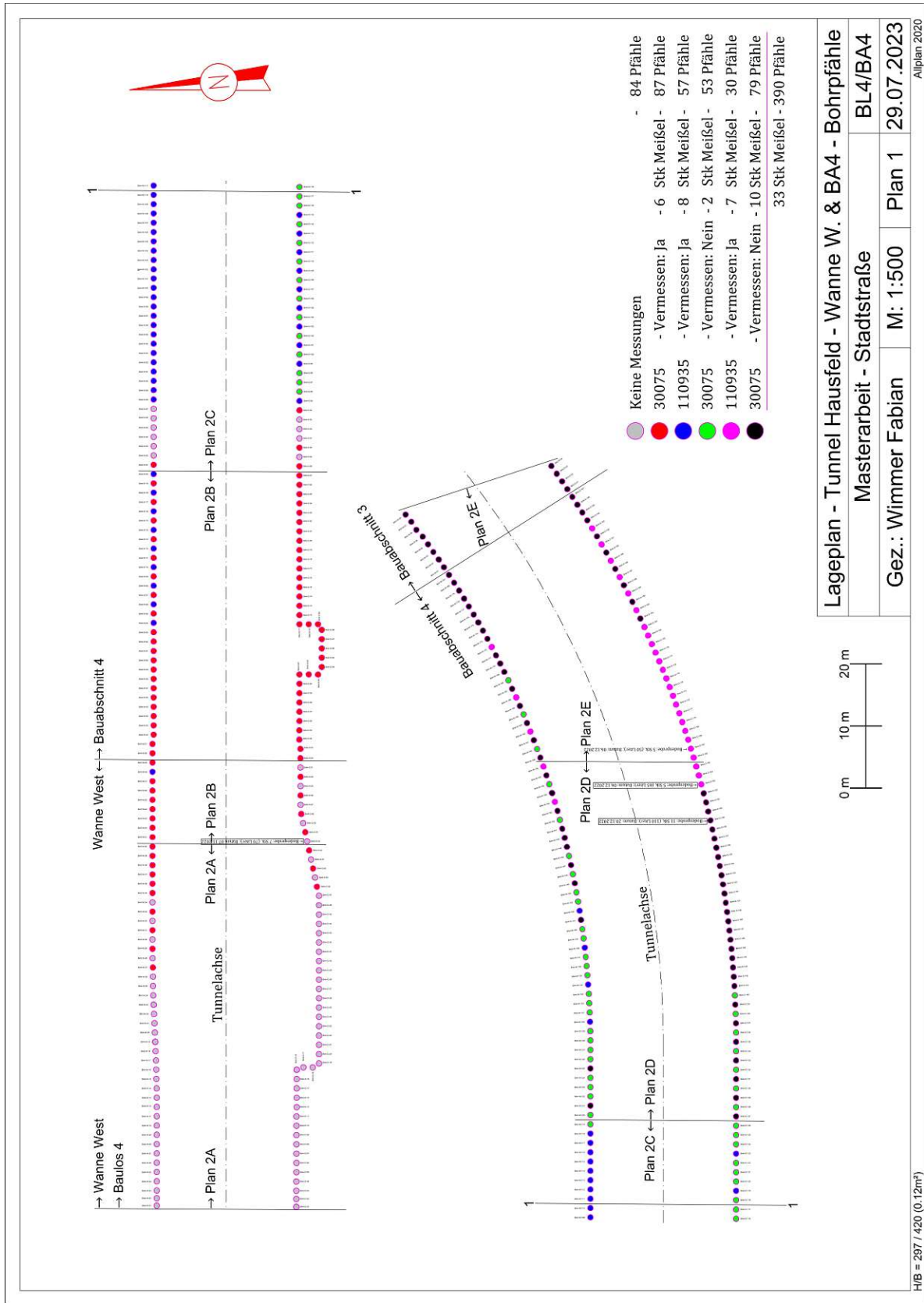


Abb. 9.2: Lageplan - Tunnel Hausfeld, Wanne West und BA4 - Gesamtübersicht Plan 1; Plangrundlage [15]

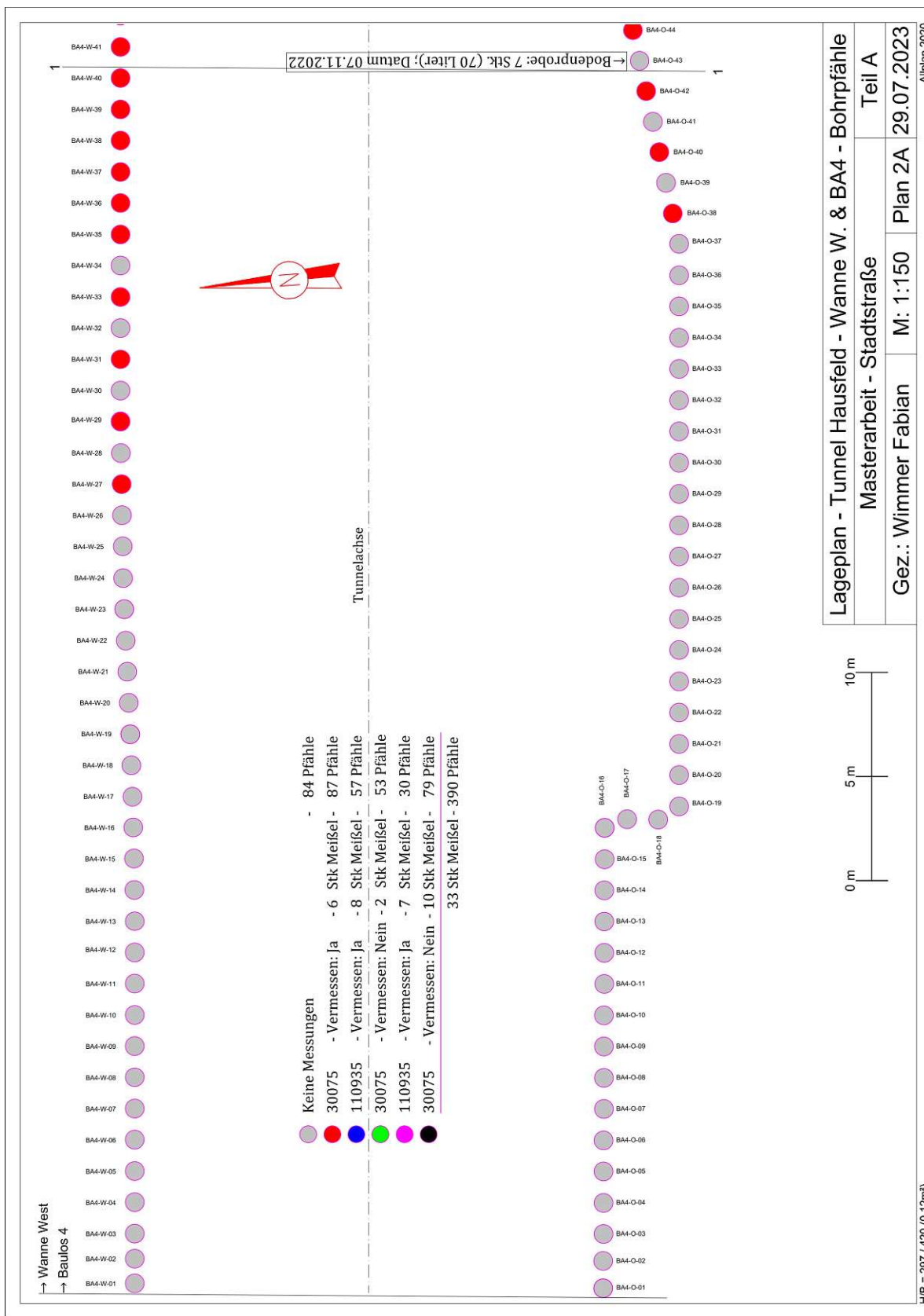


Abb. 9.3: Lageplan - Tunnel Hausfeld, Wanne West und BA4 - Detailansicht Plan 2A; Plangrundlage [15]

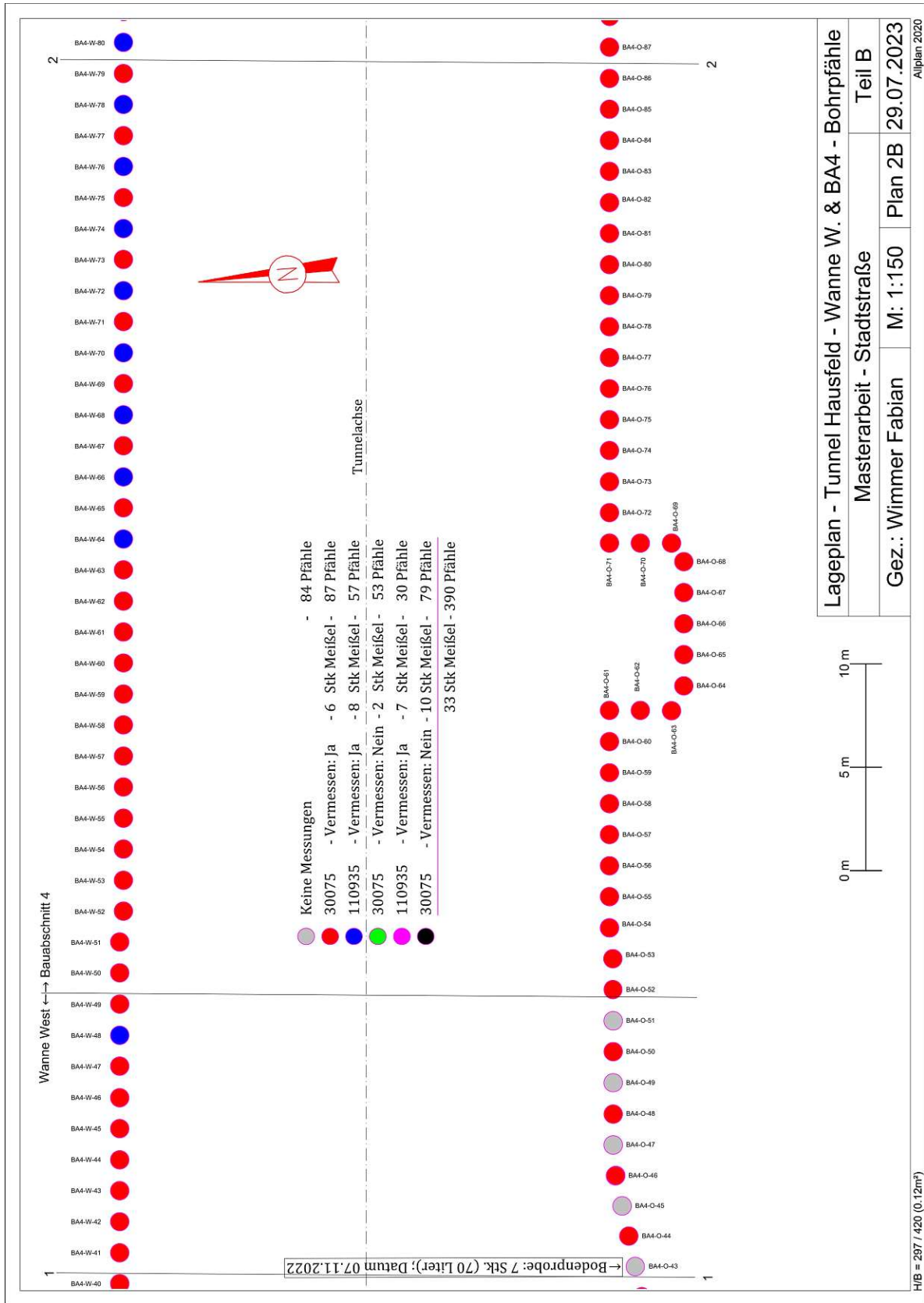


Abb. 9.4: Lageplan - Tunnel Hausfeld, Wanne West und BA4 - Detailansicht Plan 2B; Plangrundlage [15]

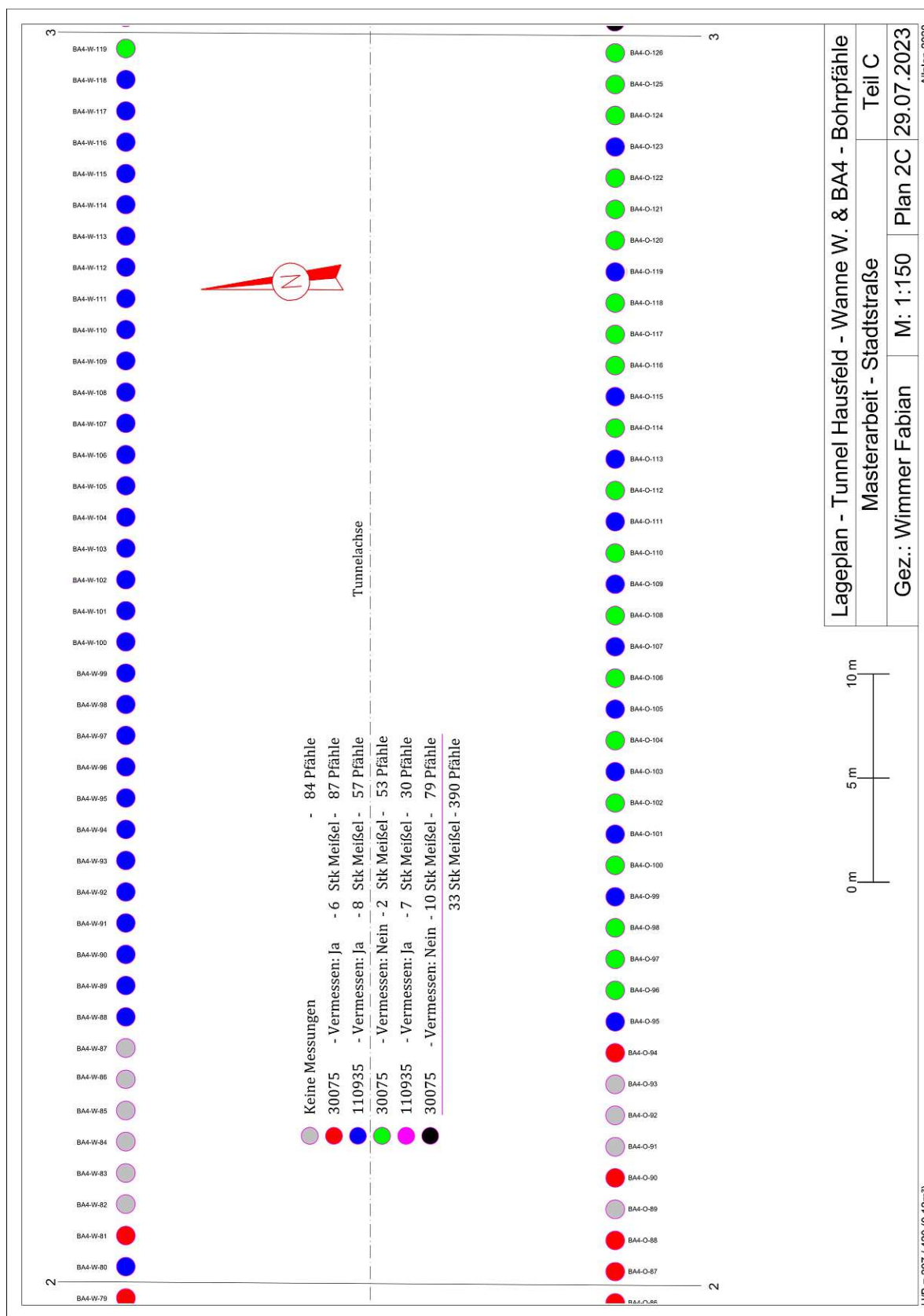


Abb. 9.5: Lageplan - Tunnel Hausfeld, Wanne West und BA4 - Detailansicht Plan 2C; Plangrundlage [15]

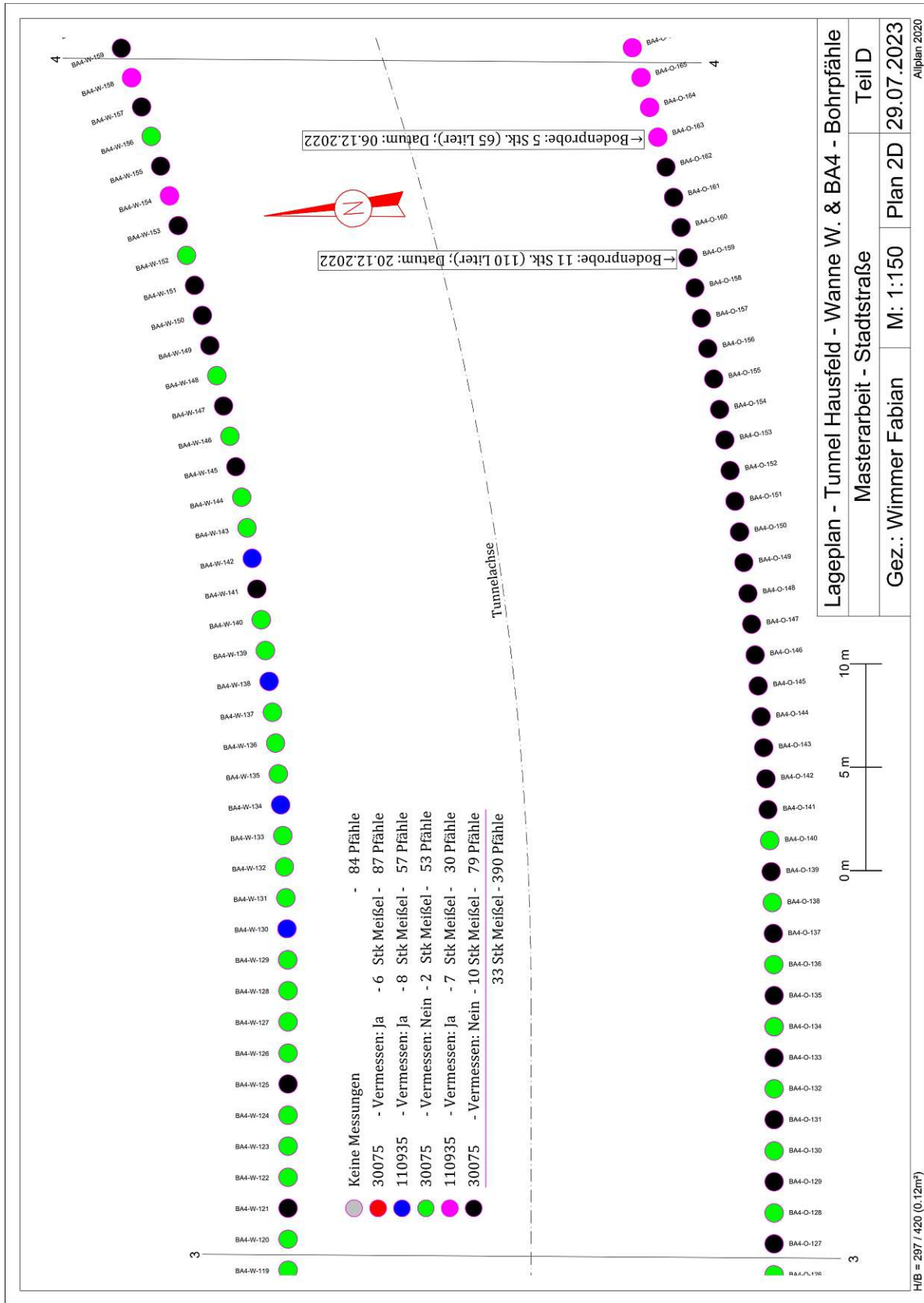


Abb. 9.6: Lageplan - Tunnel Hausfeld, Wanne West und BA4 - Detailansicht Plan 2D; Plangrundlage [15]

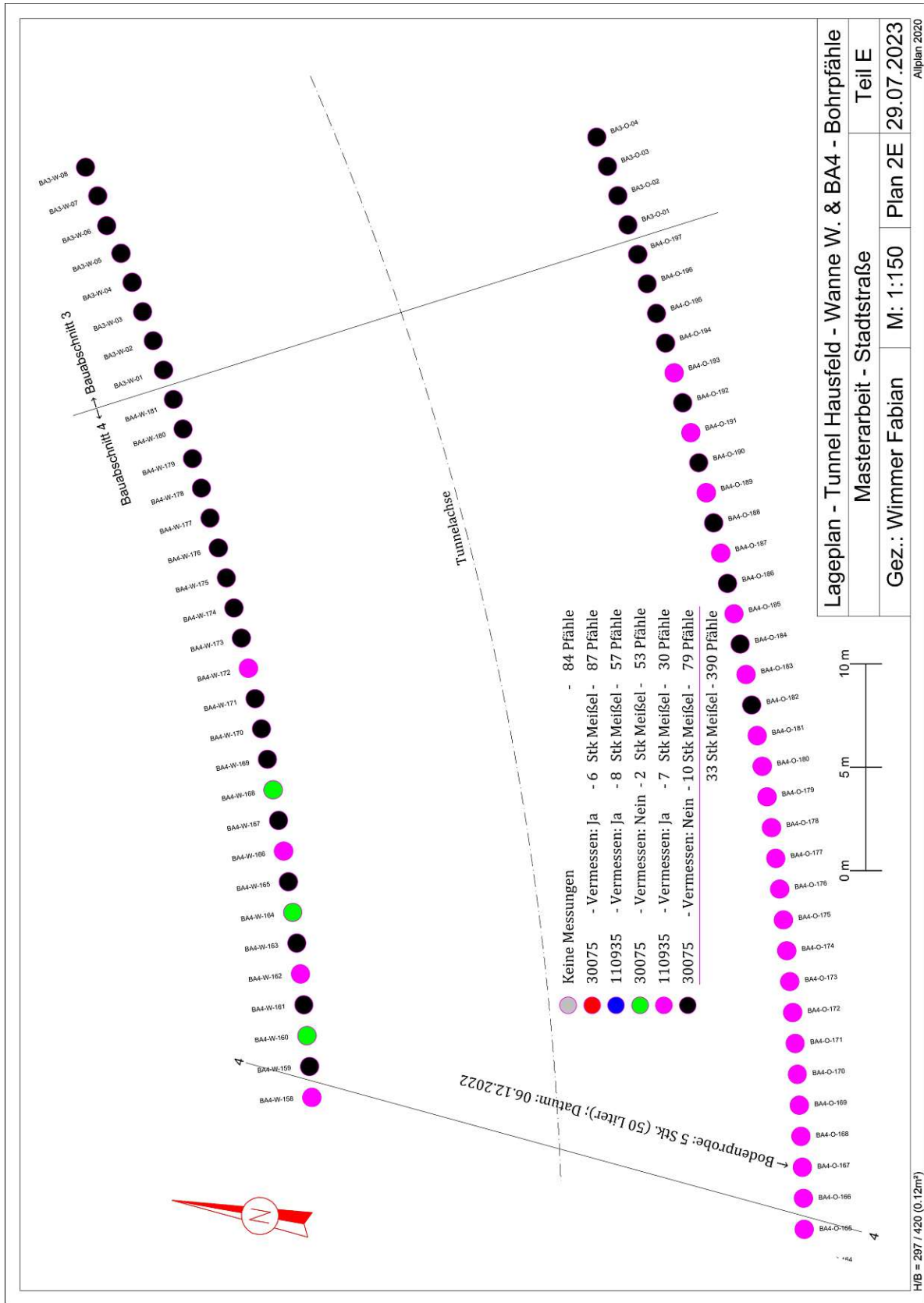


Abb. 9.7: Lageplan - Tunnel Hausfeld, Wanne West und BA4 - Detailansicht Plan 2E; Plangrundlage [15]

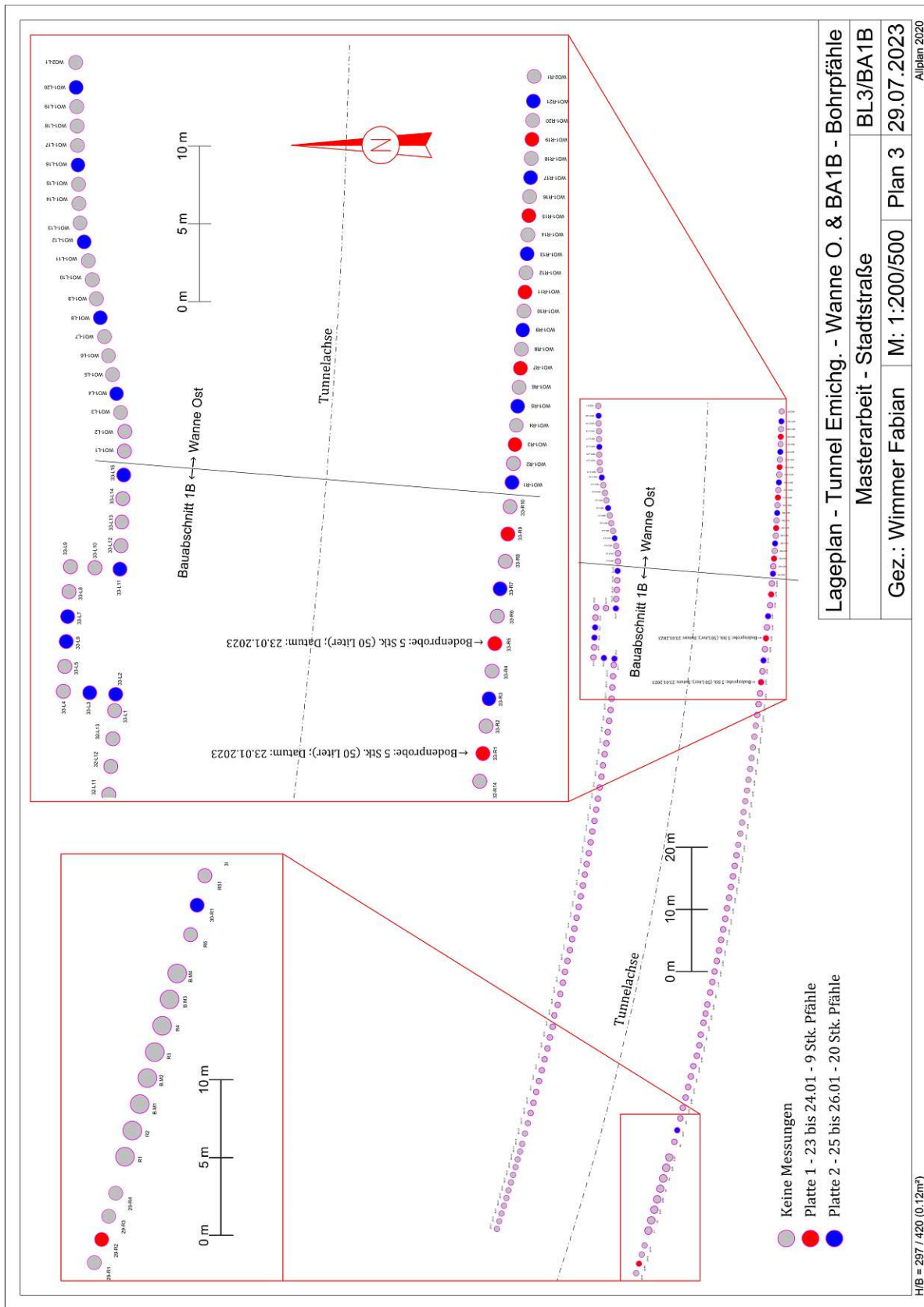


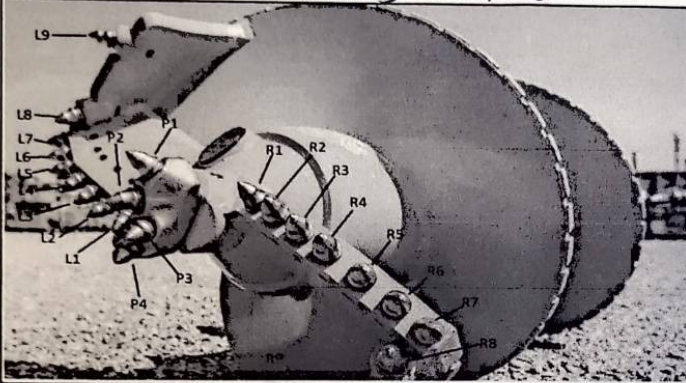
Abb. 9.8: Lageplan - Tunnel Emichgasse, Wanne Ost und BA1B - Plan 3; Plangrundlage [15]

L = 2000 // 870 dy
 Ø 900

6° C (1)

Startprotokoll 2 - Gesamte Schnecke

Datum: 18.11.22 Bearbeiter: Baustelle:
 Gerät:
 Schnecke: Port-Nr.: 30075 432



Ø
Drehflügel
Länge [mm]
Breite [mm]
Höhe [mm]
Gewicht [g]

← i-1 Schnecke i-1 i+1 -i+1 i+1 (i-1-b)

Schneckenabschnitt	Was wurde gemessen	Stelle	[mm] L	[mm] B	[mm]
	12-2	12,12-12,28	70,78	37,79-38,2	24,72
	-3	13,62-11,96	70,66	37,09-37,44	24,94
	-4	13,37-12,33	70,52	37,40-37,71	24,80
	-5	12,04-12,8	70,90	36,56-37,35	24,65
	-6	11,38-12,30	70,77	36,71-37,76	24,48
	-7	13,20-12,98	70,45	36,60-37,57	24,46
	-8	13,59-12,76	70,86	37,27-37,74	24,52
	-9	13,53-13,02	70,84	37,19-38,20	24,78
	-10	11,85-12,64	71,23	37,50-38,1	24,57
	-11	10,67-12,34	70,65	37,39-37,70	24,90
9,95	-12	11,77-12,10	71,20	36,55-37,38	24,38
	-13	11,60-12,99	71,37	36,16-37,78	24,44
	-14	11,32-12,76	70,40	36,44-37,59	24,43
	-15	12,55-11,1	70,77	37,03-38,2	24,57
	-16	11,92-13,17	70,44	37,20-38,07	24,49
	-17	11,07-12,14	70,37	37,25-37,87	24,42
	-18	12,40-12,81	70,57	36,80-37,67	24,45
	-19	11,06-12,02	70,24	36,57-37,2	24,35
	-20	12,03-12,1	71,02	37,57-37,8	24,49
	-21	12,70-11,5	70,46	37,10-37,4	24,85
	-22	14,00-12,7	76,92	36,55-37,39	24,64
	-23	13,94-12,67	71,94	38,30-37,55	24,77
	-24	12,73-12,45	70,32	37,72-38,09	24,87
	-25	13,03-	70,67	38,29-37,54	25,25

Abb. 9.9: Protokoll der Schlussmessung des Anfängers 30075 am 18.11.2022

Bearbeiter:		Laborprojekt Nr.:			
TU WIEN ABRASIMETER - STANDARDVERSUCH					
Datum:					
Proben Nr.					
Art der Versuchsdurchführung	trocken				
	nass				
Probenmaterial					
Versuchskorngröße	[mm]	0 - 31,5	0 - 31,5	0 - 31,5	0 - 31,5
Kornform (1 - 5, siehe unten)					
Einwaage m_d	[g]	7.000	7.000	7.000	7.000
Wasserzugabe m_w (0 / 700)	[g]				
Wassergehalt vorher (0 / 10%)	[%]				
Geräteeinstellungen					
Länge der Welle	[mm]				
Drehzahl	[U/min]	100	100	100	100
Auflast	[kg]	13,5	13,5	13,5	13,5
Versuchsdaten					
Drehflügel- masse	vor Versuch	[g]			
	nach 30 min	[g]			
	nach 60 min	[g]			
	nach 120 min	[g]			
Akkumulierte Verschleiß- masse	nach 30 min	[g]			
	nach 60 min	[g]			
	nach 120 min	[g]			
Anmerkungen / Auffälligkeiten siehe Fehlercode	nach 30 min				
	nach 60 min				
	nach 120 min				
Fehlercode:		Kornform:			
<ol style="list-style-type: none"> 1) Auflast nicht voll wirksam 2) Gerätestillstand, Versuch wertegerführt ohne Zeitverlust 3) Gerätestillstand, Zeit fraglich 4) Gerätestillstand, Neueinbau erforderlich 5) viel Material oberhalb Ring festgestellt 6) Flügel freigeschlagen 7) übermäßige Wasserzugabe notwendig („Verdünnung“) 8) Drehwelle (Zapfen) gerissen 		<ol style="list-style-type: none"> 1) vorwiegend gerundet 2) vorwiegend gerundet, tw. kantengerundet 3) vorwiegend gerundet, teilweise kantig 4) gerundet bis kantig 5) vorwiegend kantig 			
		<p>scharfkantig kantig wenig eckig sehr wenig gerundet gerundet gut gerundet</p> <p style="font-size: small;">kantengerundet angerundet</p>			

Abb. 9.10: Versuchsprotokoll für den TU Wien Abrasimeterversuch [7]

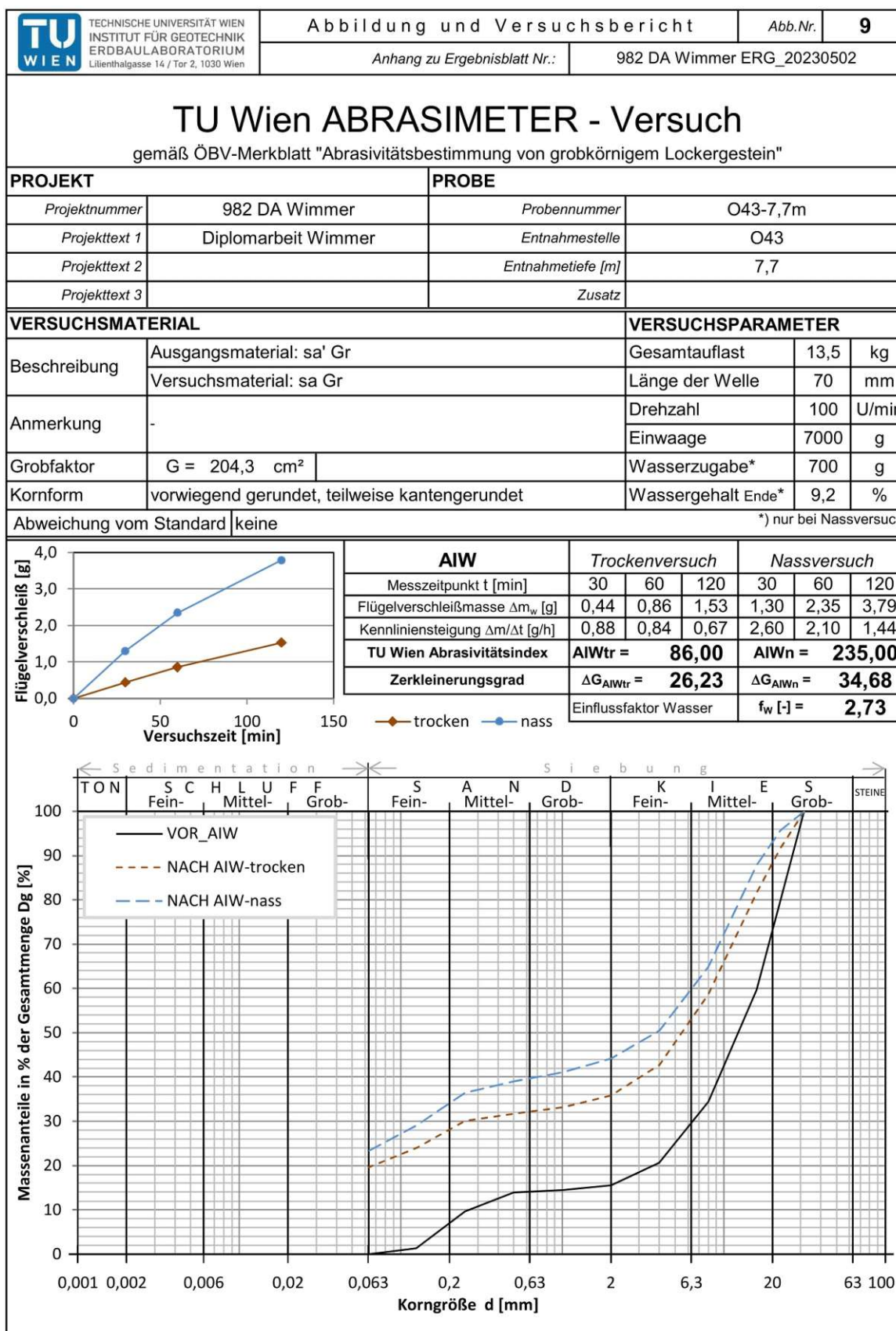


Abb. 9.11: Auswertung des Abrasimeterversuches an der Bodenprobe O43 - 7,7 m

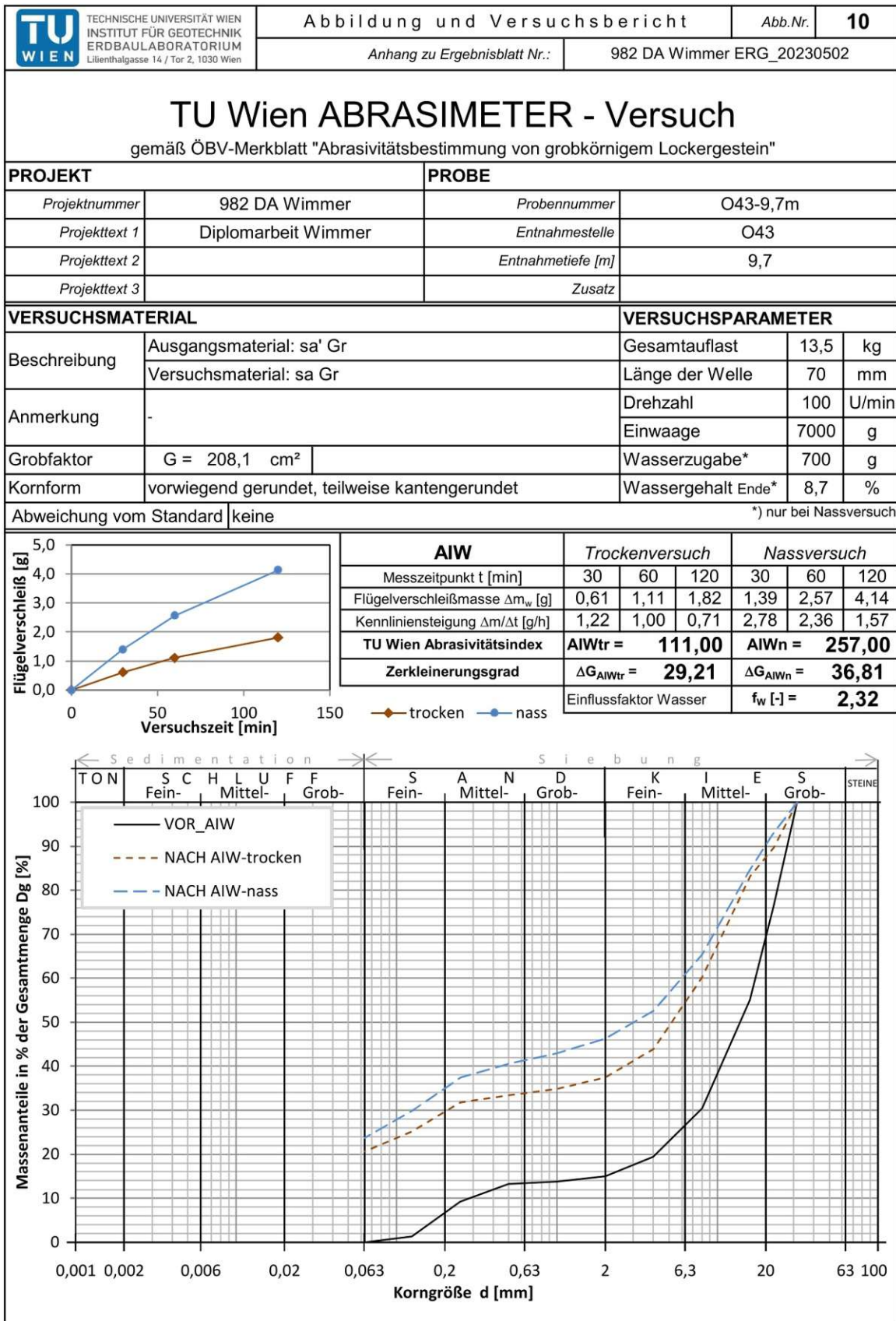


Abb. 9.12: Auswertung des Abrasimeterversuches an der Bodenprobe O43 - 9,7 m

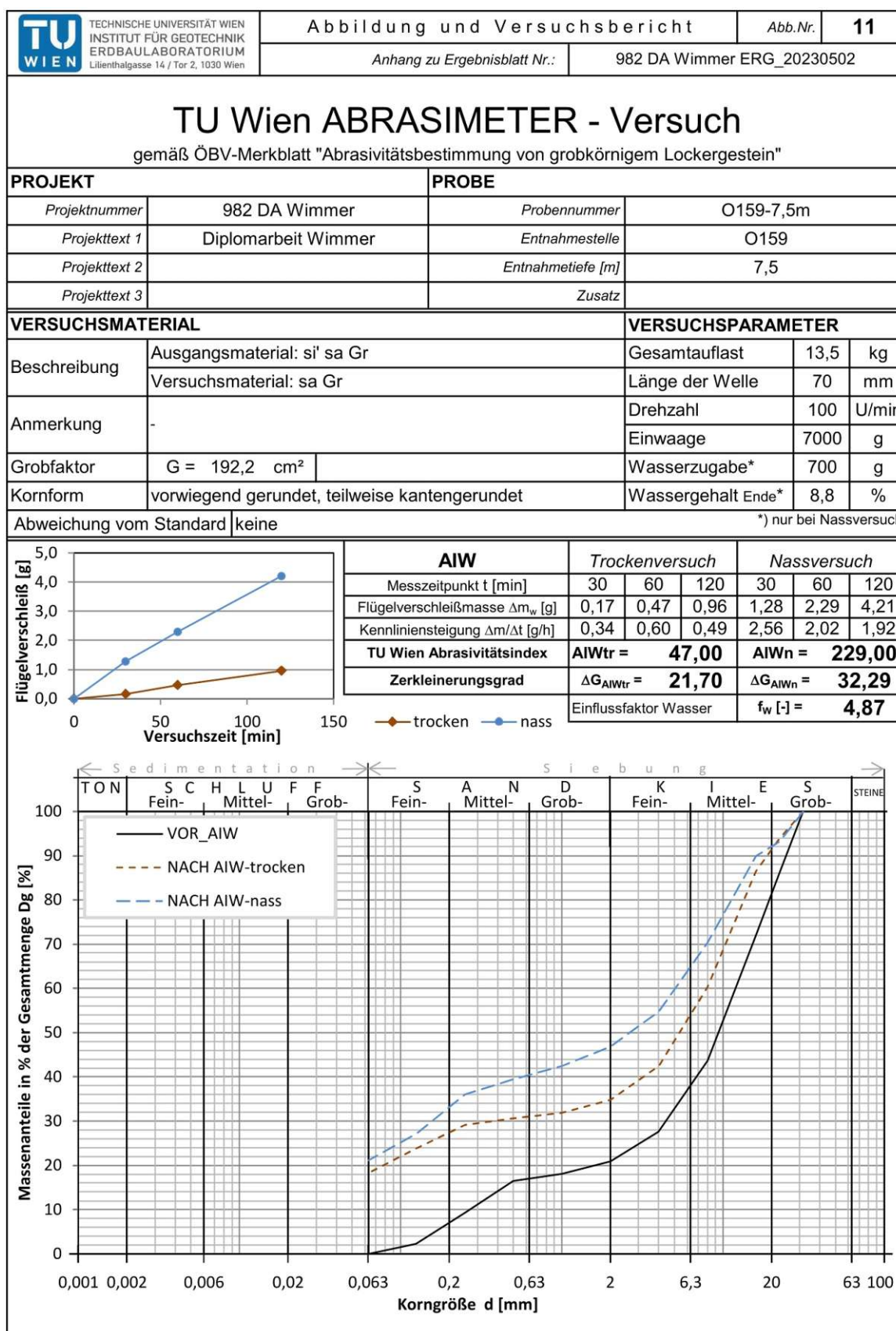


Abb. 9.13: Auswertung des Abrasimeterversuches an der Bodenprobe O159 - 7,5 m

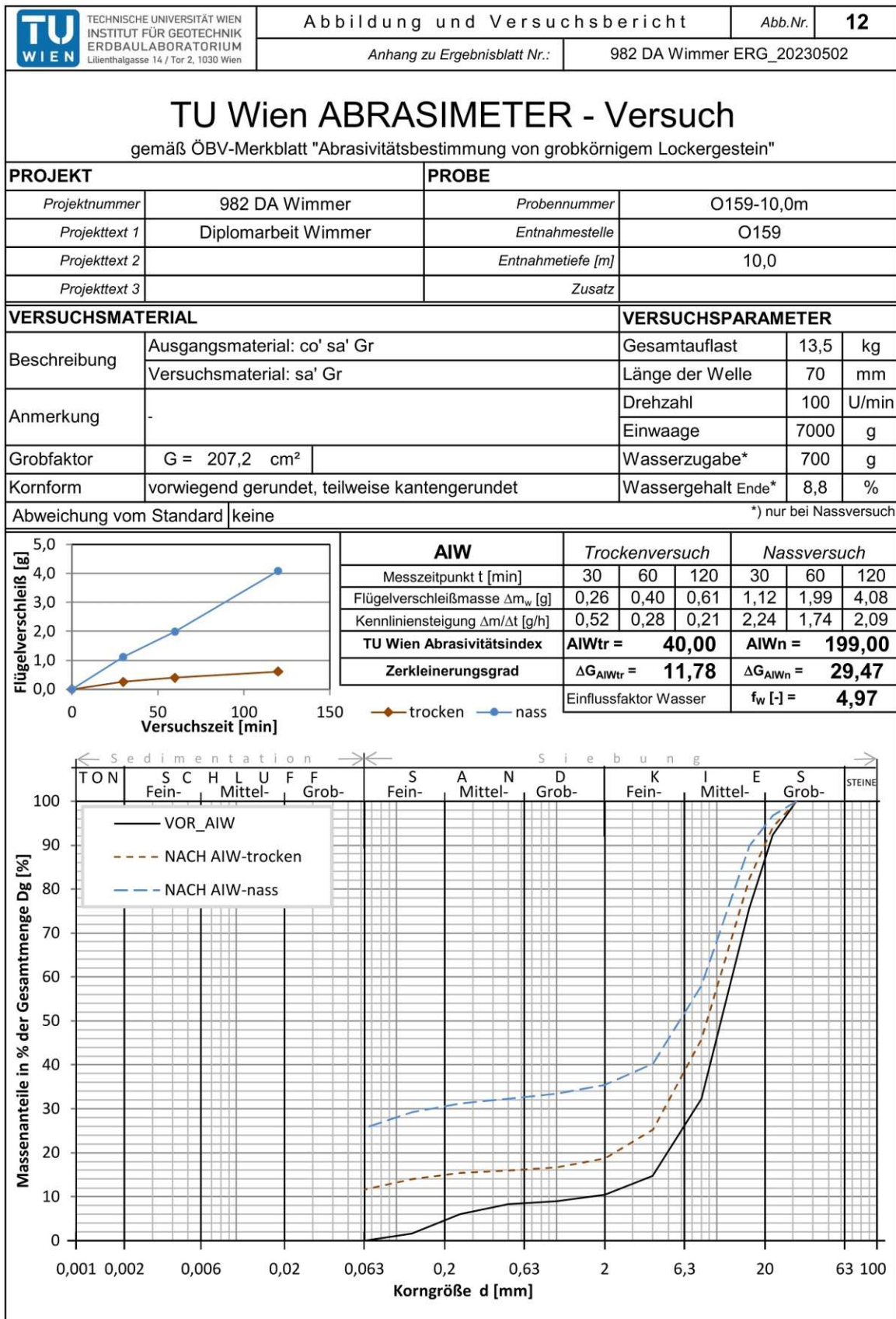


Abb. 9.14: Auswertung des Abrasimeterversuches an der Bodenprobe O159 - 10,0 m

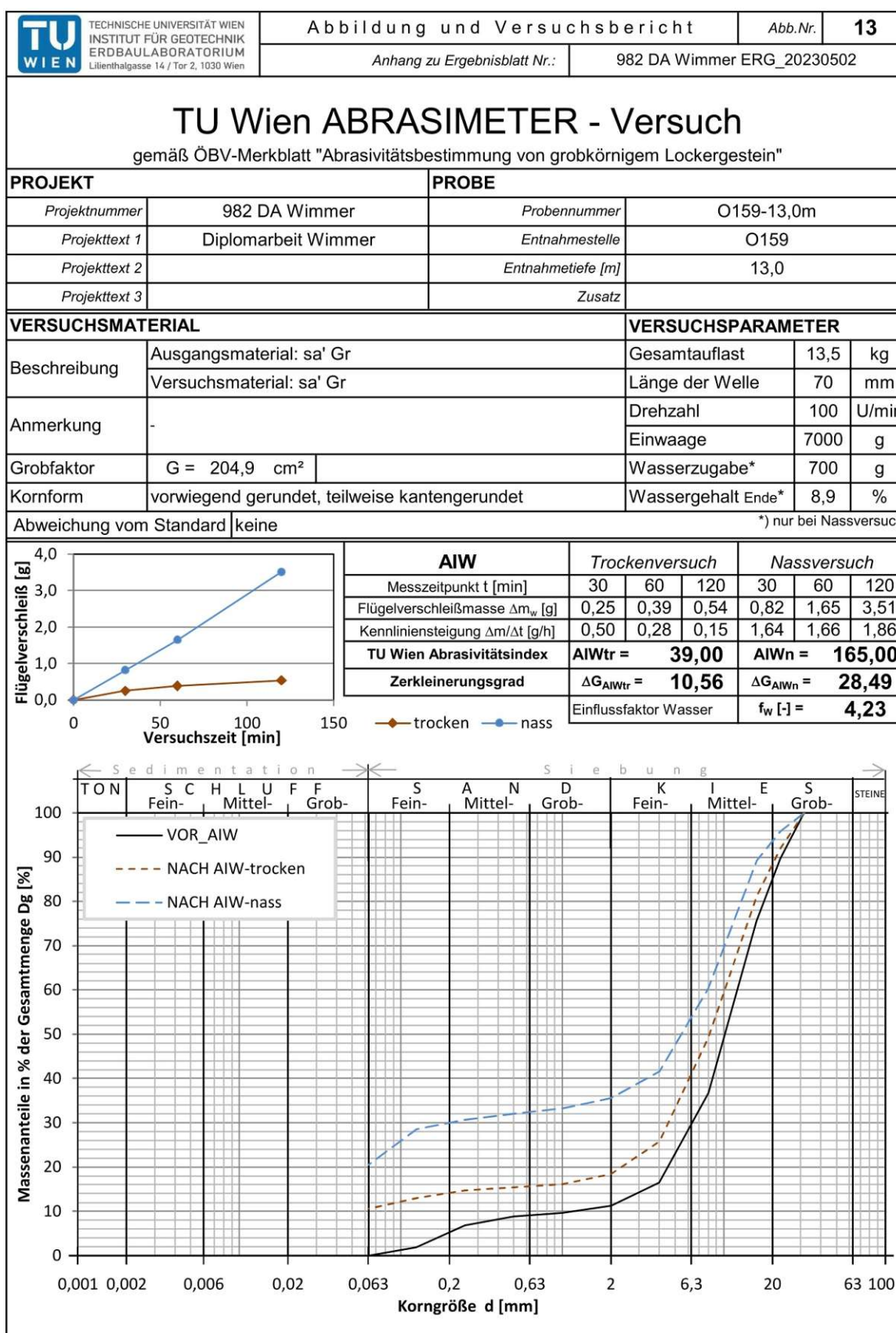


Abb. 9.15: Auswertung des Abrasimeterversuches an der Bodenprobe O159 - 13,0 m

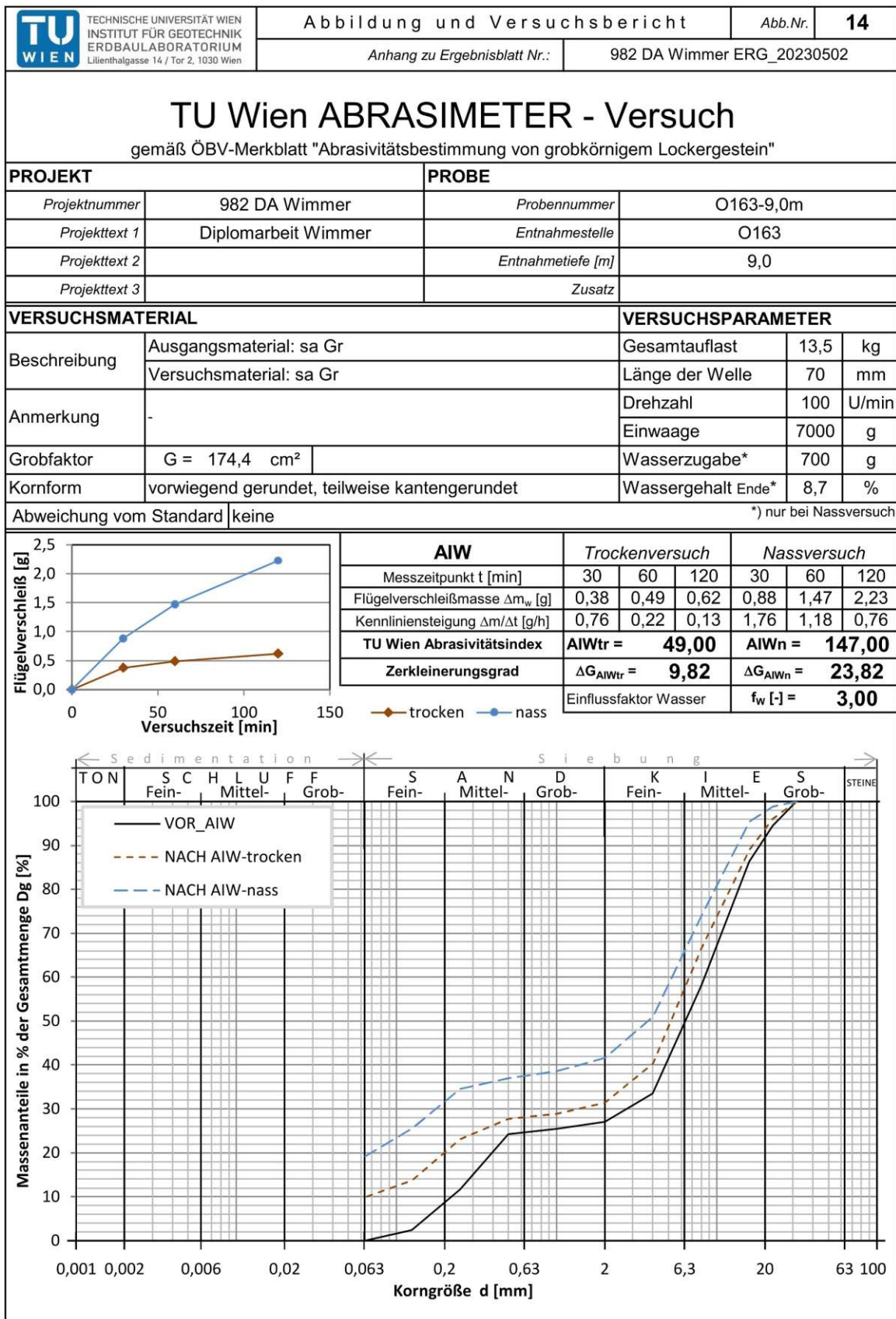


Abb. 9.16: Auswertung des Abrasimeterversuches an der Bodenprobe O163 - 9,0 m

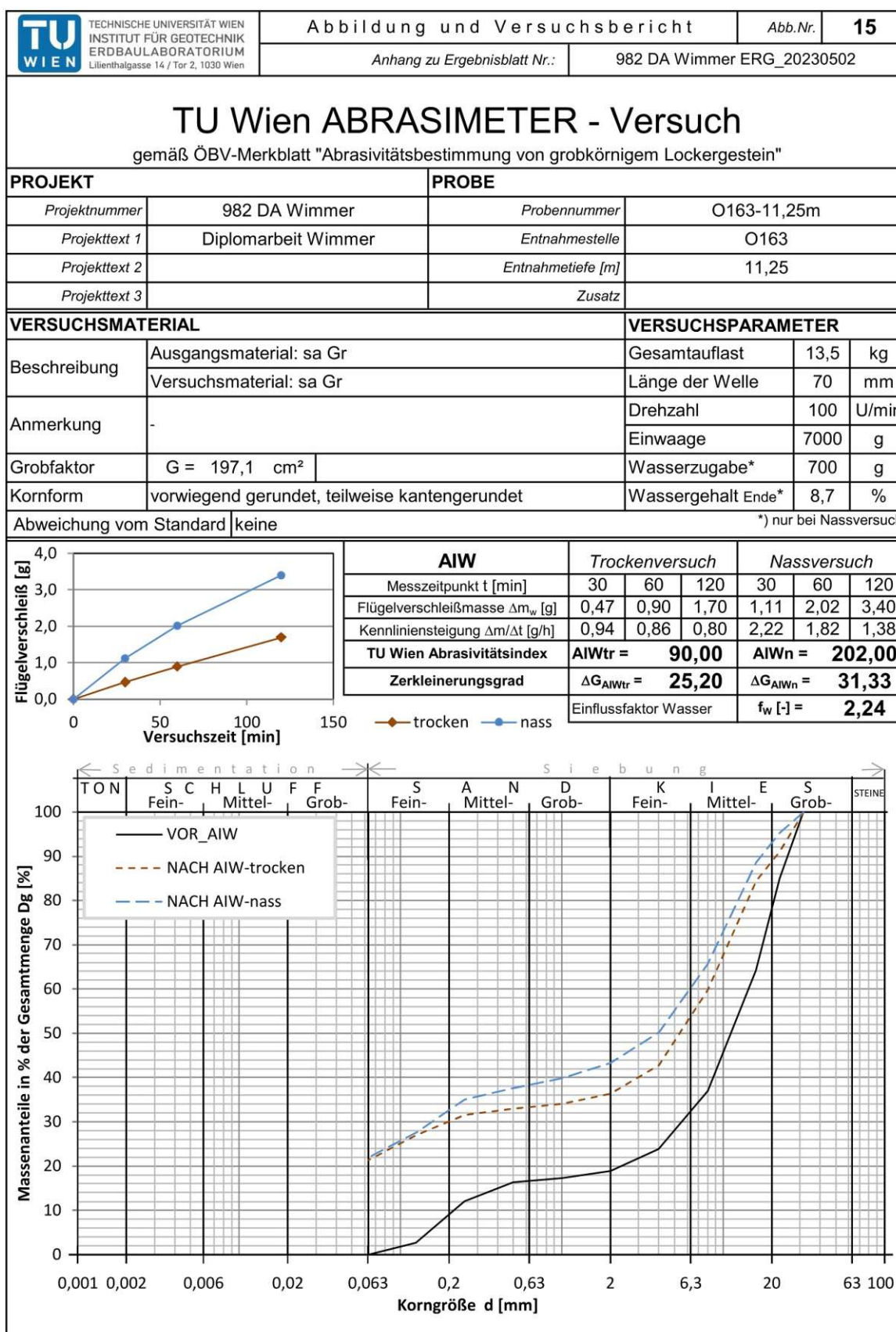


Abb. 9.17: Auswertung des Abrasimeterversuches an der Bodenprobe O163 - 11,25 m

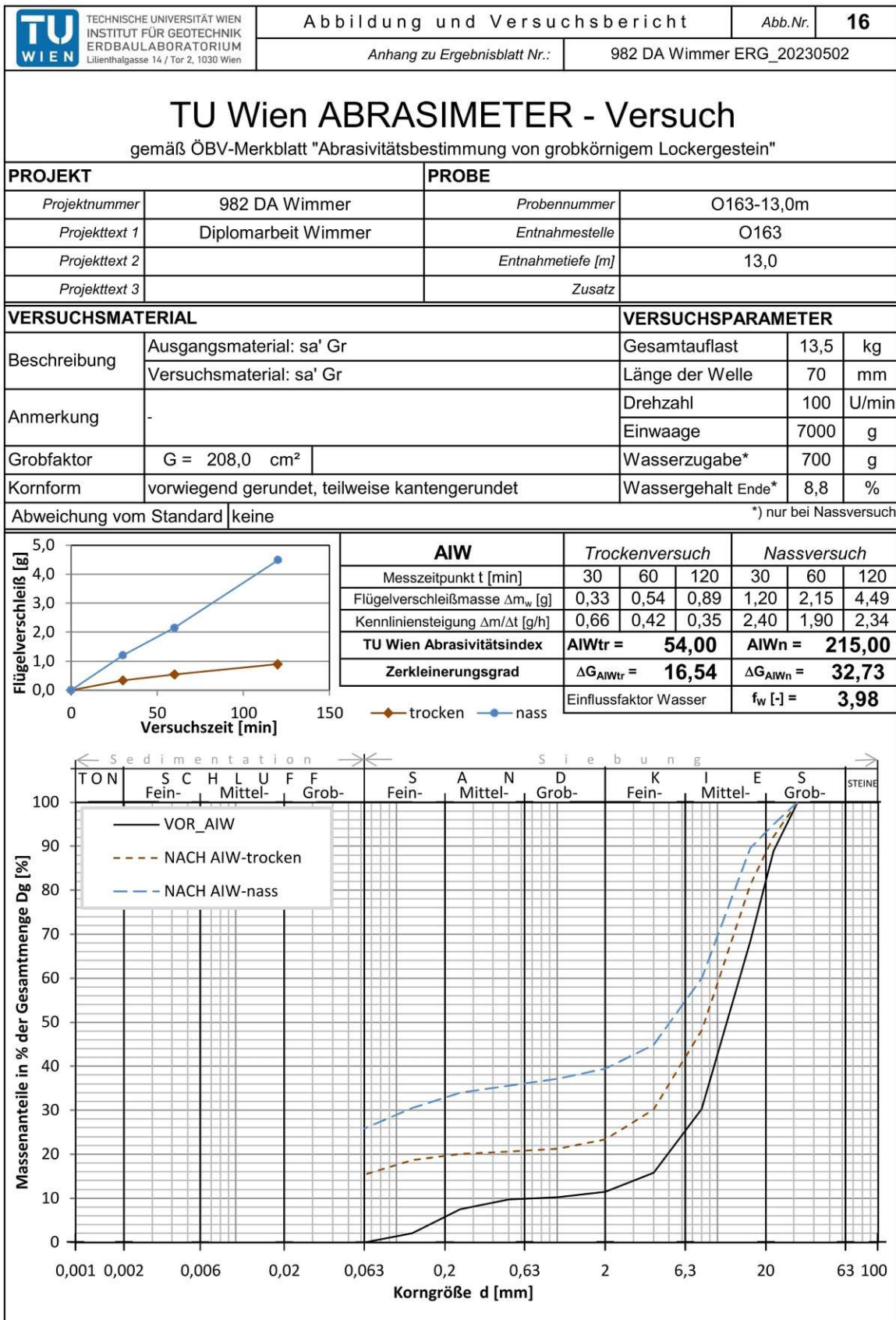


Abb. 9.18: Auswertung des Abrasimeterversuches an der Bodenprobe O163 - 13,0 m