Diploma Thesis

Field-scale lateral load tests on bored piles under simultaneous vertical load in typical Viennese ground

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

DIPLOMARBEIT

Großmaßstäbliche Horizontalbelastungsversuche an Großbohrpfählen unter gleichzeitiger statischer Vertikallast im typischen Wiener Baugrund

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

von

Alexander Stöglehner, BSc
Matr.Nr.: 1127278

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Dietmar Adam**
Dipl.-Ing. Dr.techn. **Stefan Blovsky**

Institut für Geotechnik
Forschungsbereich Grundbau, Boden- und Felsmechanik
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/E220, A-1040 Wien

Wien, im Juni 2018

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.

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.

KURZFASSUNG

Die Gründung von Bauwerken mit Großbohrpfählen ist eine der am häufigsten angewandten Methoden im Spezialtiefbau. Dahingehend werden auch Brücken sehr oft auf Großbohrpfählen gegründet. Gleichzeitig werden immer mehr der heute errichteten Brücken in der integralen Bauweise ausgeführt. Eine integrale Brücke kommt ohne jegliche Fugen oder Lager aus, weshalb sich ihre Vorteile vor allem in der Instandhaltung und den damit zusammenhängenden Lebenszykluskosten äußern. Letztere spielen heutzutage eine entscheidende Rolle bei der Betrachtung der Gesamtkosten einer Brücke. Das Tragwerk einer integralen Brücke befindet sich durch das Fehlen von Fugen oder Lagern insbesondere hinsichtlich lateraler Beanspruchungen in ständiger Interaktion mit dem umgebenden Baugrund. Einerseits wirken Erddrücke und Setzungen des Baugrunds auf das Tragwerk und dessen Gründung ein. Anderseits werden Zwangskräfte wie etwa aus temperaturinduzierten Tragwerksverformungen direkt auf die Gründung übertragen [14]. Sie stellen somit eine zyklische Einwirkung auf die Gründung dar.

In dem von der Stadt Wien initiierten „Forschungsprojekt Unteres Hausfeld“ wurde eine ganze Reihe von häufig angewandten Spezialtiefbauverfahren verschiedenen Grundsatz- und Eignungsprüfungen unterzogen. Ein wesentlicher Teil davon waren axiale Probebelastungen an Großbohrpfählen. Zusätzlich wurden als Sonderversuche unter anderem Horizontalverschiebeversuche an Großbohrpfählen unter gleichzeitiger axialer Belastung durchgeführt, um Erkenntisse für Gründungspfähle integraler Brücken zu erlangen.

In der vorliegenden Arbeit wurde nach einer kurzen Einleitung (Kapitel 1) im darauffolgen Kapitel 2 das Forschungsprojekt Unteres Hausfeld im Allgemeinen und dessen Versuchsvariationen im Speziellen vorgestellt. Dies geschah in Zusammenarbeit der Projektbeteiligten (im Wesentlichen Diplomanden) seitens der TU Wien. Im Kapitel 3 wurde die Thematik der Großbohrpfähle allgemein und inbesodere hinsichtlich lateraler und zyklischer Belastungen mithilfe einer umfangreichen Literaturstudie beleuchtet. Ebenso wurden im Hinblick auf die darauffolgenden Kapitel Probebelastungen an Großbohrpfählen beschrieben.

Den zweiten Teil der Arbeit bilden die Horizontalverschiebeversuche an sich. Zuerst erfolgte im Kapitel 4 die Beschreibung der Versuche sowie aller Grundlagen für die spätere Auswertung. Dabei wurden im Speziellen die Baugrundsituation, die Probepfähle, der Versuchsaufbau sowie die Versuchsdurchführung detailliert beschrieben. Dies bildet die Grundlage für die darauffolgende Beschreibung der Auswertung sowie Ergebnisse der Horizontalverschiebeversuche (Kapitel 5).

Im Kapitel 5 wurde zuerst auf die Methodik der Auswertung eingegangen, ehe dann die Ergebnisse getrennt für beide Ergebnisse präsentiert und beschrieben wurden. Dabei wurden in einem ersten Schritt die gemessenen Daten dargestellt. In einem zweiten Schritt erfolgte die Aufbereitung dieser Messdaten hinsichtlich Beantworung der zugrundeliegenden Fragestellungen:

- Wie stellte sich das axiale Trag- und Verformungsverhalten unter dem Einfluss der Horizontalverschiebungszyklen dar?
- Wie sah das laterale Trag- und Verformungsverhalten infolge der eingeprägten Pfahlkopfverschiebungen aus?

Die Versuchsergebnisse wurden schließlich in Diagrammen dargestellt und im Text beschrieben.

Abschließend erfolgte in Kapitel 6 eine kritische Beurteilung der Konzeption, Durchführung sowie Auswertung der Horizontalverschiebeversuche. Außerdem wurden mögliche weitere Untersuchungen an den erhaltenen Daten sowie eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse angeführt.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

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.

ABSTRACT

The foundation of structures with bored piles is one of the most commonly used methods in ground engineering. Bridges are also often founded on bored piles. Apart from that bridges are progressively built with the integral construction method. An integral bridge does not require any joints or bearings, which is the reason for having its benifits especially in maintenance aspects and therefore in life cycle costs. These life cycle costs are a big part of the overall costs of a bridge. Because of missing joints and bearings an integral bridge is in permanent interaction with the surrounding soil concerning lateral stresses. On the one hand, earth pressure and settlements of the soil affect the structure and its foundation. On the other hand, additional forces, for instance caused by temperature-induced deformations, are directly transferred to the foundation [14]. So this represent cyclic loads for the foundation.

The Municipal Authority of Vienna initiated the research project „Unteres Hausfeld“, where a series of various proven foundation techniques have been tested in regard to investigation and suitability tests, amongst others mainly axial load tests on bored piles with large diameter. Moreover, lateral load tests on piles under simultaneous axial load were excuted, so that new findigs for integral bridge foundations could be gained.

After a short introduction (Chapter 1), the research project „Unteres Hausfeld“ is presented in general and especially in regard to its variety of tests in Chapter 2. This chapter was formulated by various project participants (basically students) of the TU Wien. Chapter 3 provides basic information about bored piles and in particular the aspect of lateral and cyclic loads, as a result of an extensice literature study. Furthermore, this chapter also includes descriptions of pile load tests discussed in the following chapters.

The second part of this diploma thesis deals with the lateral load tests. At first the discription of the tests as well as basic information for the following evaluation is given in Chapter 4. In particular, the ground situation, the test piles, the test configuration and the test procedure were described in detail. This forms the basis for the following description of the evaluation method and the measured data (Chapter 5).

In Chapter 5, the evaluation procedure was dicussed first, then the results were presented separately for each of the two tests. In a first step the measured data was shown. In a second step the processing of the measurement data followed, so that anwers to the following questions could be given:

- How was the axial load-displacement behaviour influenced by the applied lateral pile head displacements?
- What was the lateral load-displacement behaviour due to the applied lateral pile head displacements?

The test results were finally presented in diagrams and described.

Finally, in Chapter 6, a critical review of the test design, test execution and test evaluation is made. In addition, possible further investigations on the measured data as well as a brief summary of the results is presented.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

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.

VORWORT

Ist man an ebendiesen Wörtern angelangt, ist der Abschluss der Diplomarbeit in greifbare Nähe gerückt. Nun kann ich auch sagen, dass mehr als das eingetreten ist, was ich mir von dieser Diplomarbeit erhofft habe. Einerseits durfte ich viele neue Erfahrungen und Bekanntschaften machen und andererseits bin ich stolz bei einem derart umfangreichen und interessanten Forschungsprojekt mitgewirkt zu haben.

An dieser Stelle meinen Dank auszusprechen, ging mir schon länger durch den Kopf, da ich allen Grund dazu habe. Wem dieser in erster Linie gelten würde, zeichnete sich auch schon seit einiger Zeit ab – die Rede ist von Joachim Wagner. Er legte immer größtes Engagement und Hilfsbereitschaft an den Tag. Ich konnte ihn nicht nur jederzeit anrufen, wenn ich Fragen hatte, sondern er hatte auch stets eine hilfreiche und gut argumentierte Antwort parat. Zudem brachte seine Persönlichkeit stets ein gutes Klima in unsere Zusammenarbeit.

Bei meinem Betreuer Dr. Stefan Blovsky möchte ich mich ebenso recht herzlich bedanken für seine Flexibilität zur Abhaltung diverser Diplomarbeitsbesprechungen und Engagement bei der Korrektur, aber vor allem für die angenehme Zusammenarbeit und Offenheit für Vorschläge meinerseits.

Großer Dank gilt auch Herrn Prof. Dietmar Adam, der die Ausarbeitung und Fertigstellung durch seine Expertise ermöglicht hat. Ebenso schätze ich, dass er sich trotz seines Studienurlaubs für die Betreuung und Korrektur der Diplomarbeit Zeit genommen hat.

Ein weiterer besonders positiver Aspekt war die Tatsache, dass am Forschungsprojekt sehr nette Studienkolleginnen und -kollegen ebenfalls beteiligt waren oder noch beteiligt sind. So konnte man sich gegenseitig austauschen und auch die eine andere Stunde abseits der Diplomarbeit miteinander verbringen. Auf diesem Wege wünsche ich allen noch ein gutes Gelingen der Diplom- bzw. Projektarbeit.

Bei allen Projektbeteiligten seitens der MA 29 möchte ich mich vor allem für das entgegengebrachte Vertrauen und den respektvollen Umgang bedanken. Im Speziellen sei dem Projektleiter des FPUH, Herrn Ing. Franz Urban, für die Zustimmung zur Absolvierung der Diplomarbeit im Rahmen des Forschungsprojekts und dessen Realisierung im Allgemeinen gedankt. Dem geotechnischen Gutachter des FPUH, Herrn Dipl.-Ing. Martin Schmidt, danke ich für die konstruktive Kritik an der Versuchskonzeption, der Auswertung und der verfassten Diplomarbeit. Ganz besonders möchte ich mich bei den Verantwortlichen der ÖBA am Versuchsfeld, Frau Dipl.-Ing. Juliana Reimoser und Herrn Eduard Kuresch, für die angenehme Zusammenarbeit und die Unterstützung in vielerlei Hinsicht bedanken.

Des Weiteren möchte ich meinen Dank auch allen Mitarbeitern der ARGE FPUH aussprechen, wiederum aufgrund des respektvollen Umgangs und das aufgebrachte Verständnis für „Sonderwünsche“, deren Erfüllung im sonstigen Tagesgeschäft der Baubranche vielleicht nicht üblich ist, die aber ein derartiges Forschungsprojekt, insbesondere im Bezug auf die Messtechnik, erfordert.

Ebenfalls möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Rudolf Hinterleitner (ZT Mayer) bedanken, der sich für Fragen zur Versuchskonzeption sowie zur späteren Auswertung zur Verfügung stellte.

Zu guter letzt freut es mich auf meine Familie zu sprechen zu kommen. Ihr möchte ich diese Diplomarbeit widmen. Ich bin meinen Eltern, meiner Mutter Eva und meinem Vater Manfred, außerordentlich dankbar, dass sie mir das Studium ermöglicht und mich in jeglicher Hinsicht stets unterstützt haben. Ich habe immer ihr Vertrauen in meine Fähigkeiten und meinen eingeschlagenen Weg gespürt. Meinem Bruder Peter danke ich für die verlässliche und regelmäßige Kontaktaufnahme mittels

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Anruf oder *Whatsapp*, womit er mich stets auf dem Laufenden gehalten hat. Ebenso möchte ich meinen beiden Großmüttern sowie dem großen Rest der Familien danken.

Lediglich pauschalen Dank kann ich an dieser Stelle all meinen Freunden aussprechen, die mir die nötige Abwechslung während des Studiums verschafft haben.

Wien, am 03.06.2018 Alexander Stöglehner

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung 13

1.1 Allgemeine Hinweise 13

2 Forschungsprojekt Unteres Hausfeld 15

2.1 Veranlassung und Ziel der Untersuchungen 15

2.2 Normative Grundlagen 16

2.3 Geologie im Projektgebiet 18

2.3.1 Höhenlage und Morphologie 18

2.3.2 Allgemeine Geologie und Schichten 18

2.3.3 Schichtgrenzen und Störungen 18

2.4 Baugrunduntersuchungen 19

2.4.1 Kernbohrungen 19

2.4.2 Bodenphysikalische Laboruntersuchungen 21

2.4.3 Charakteristische Bodenkennwerte 23

2.5 Projektüberblick 23

2.6 Versuchsvariationen 24

2.6.1 Großbohrpfähle 24

2.6.2 Mikropfähle 27

2.6.3 Düsenstrahlkörper 28

2.6.3.1 Düsenstrahl-Säulen 29

2.6.4 Verankerungen 30

2.6.5 Sonderversuche 31

2.6.5.1 Rückverankerte-Düsenstrahl-Dichtsohle (Herausziehversuche) 31

2.6.5.2 Energiepfähle 33

2.6.5.3 Horizontalverschiebeversuche 34

2.7 Eigene Mitwirkung am Forschungsprojekt 37

3 Pfahlgründungen 39

3.1 Allgemeines und Anwendungsbereich 39

3.2 Systematik der Pfähle 39

3.3 Herstellungsverfahren von Pfählen 40

3.3.1 Verdrängungspfähle 41

3.3.2 Mikropfähle 41

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.

3.3.3 Großbohrpfähle ... 42
3.3.3.1 Allgemeines ... 42
3.3.3.2 Schlagbohrverfahren ... 43
3.3.3.3 Drehbohrverfahren ... 44
3.3.3.4 Verdrängerbohrverfahren ... 46
3.3.3.5 Weitere Bohrverfahren ... 47
3.3.3.6 Maßnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit ... 47
3.4 Tragverhalten von Pfählen unter statischer Belastung ... 48
3.4.1 Axial belastete Pfähle ... 48
3.4.1.1 Allgemeines ... 48
3.4.1.2 Einflüsse auf das axiale Tragverhalten ... 50
3.4.1.3 Ermittlung des axialen Trag- und Verformungsverhaltens ... 53
3.4.2 Lateral belastete Pfähle ... 56
3.4.2.1 Allgemeines ... 56
3.4.2.2 Mobilisierung des Erddrucks ... 59
3.4.2.3 Ermittlung des lateralen Trag- und Verformungsverhaltens ... 62
3.4.3 Kombiniert belastete Pfähle ... 76
3.4.3.1 Allgemeines ... 76
3.4.3.2 Untersuchung des kombinierten Trag- und Verformungsverhaltens 77
3.5 Tragverhalten von Pfählen unter nichtruhender Belastung ... 82
3.5.1 Zyklische Belastungen ... 82
3.5.1.1 Allgemeines ... 82
3.5.1.2 Folgen zyklisch-lateraler Belastungen ... 85
3.5.1.3 Experimentelle Methoden ... 86
3.5.1.4 Berücksichtigung in den Berechnungsverfahren ... 86
3.5.2 Dynamische Belastungen ... 90
3.5.3 Stoßartige Belastungen ... 90
3.6 Abgrenzung zum Tragverhalten von Pfahlgruppen ... 91
3.6.1 Allgemeines ... 91
3.6.2 Axial beanspruchte Pfahlgruppen ... 91
3.6.3 Lateral beanspruchte Pfahlgruppen ... 91
3.7 Normen und Richtlinien ... 93
3.8 Bemessung ... 94
3.8.1 Allgemeines ... 94
3.8.2 Einwirkungen ... 95
3.8.3 Widerstände ... 96
3.8.3.1 Allgemeines ... 96

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.8.3.2 Pfahlwiderstände 96
3.8.4 Grenzzustand der Tragfähigkeit 99
3.8.4.1 Axial auf Druck beanspruchte Einzelpfähle 99
3.8.4.2 Quer zur Achse beanspruchte Einzelpfähle 99
3.8.5 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit 101
3.8.5.1 Axial auf Druck beanspruchte Einzelpfähle 101
3.8.5.2 Quer zur Achse beanspruchte Einzelpfähle 102
3.8.5.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit des Pfahlbaustoffs 102
3.8.6 Modellfaktoren 102
3.8.7 Streuungsfaktoren 102
3.9 Pfahlprobebelastungen und Pfahlprüfungen 102
3.9.1 Statische Probebelastungen 103
3.9.1.1 Allgemeines 103
3.9.1.2 Axiale Probebelastungen 103
3.9.1.3 Laterale Probebelastungen 111
3.9.2 Dynamische Probebelastungen 115
3.9.2.1 Allgemeines 115
3.9.2.2 Grundlagen 115
3.9.2.3 Standardverfahren 116
3.9.2.4 Horizontaler dynamischer Pfahltest 116
3.9.2.5 Statnamische Pfahlprüfung 117

4 Horizontalverschiebeversuche 119
4.1 Allgemeines 119
4.1.1 Motivation und Zielsetzung 119
4.1.2 Versuchsprinzip 121
4.1.3 Pfahlgeometrie und Pfahlherstellung 121
4.1.4 Lage- und Baugrundsituation 123
4.2 Versuchsaufbau 124
4.2.1 Allgemeines 124
4.2.2 Belastungseinrichtungen 125
4.2.2.1 Vertikale Belastungseinrichtung 126
4.2.2.2 Horizontale Belastungseinrichtung 126
4.2.2.3 Fotodokumentation 127
4.2.3 Messeinrichtungen 128
4.2.3.1 Allgemeines 128
4.2.3.2 Messwerterfassungssystem I 128

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

4.2.3.3 Messwerterfassungssystem II ... 132
4.2.3.4 Messwerterfassungssystem III ... 135
4.2.4 Schutz der Mess- und Belastungseinrichtungen ... 137
4.3 Versuchsdurchführung ... 137
4.3.1 Allgemeines ... 137
4.3.2 Versuchsabläufe ... 137
4.3.2.1 Allgemeines ... 137
4.3.2.2 Detaillierter Zyklusablauf ... 138
4.3.2.3 Versuchsablauf B.HM ... 140
4.3.2.4 Versuchsablauf B.HK ... 142

5 Auswertung und Ergebnisse der Horizontalverschiebeversuche ... 145
5.1 Allgemeines ... 145
5.1.1 Zeitraum der Versuchsdurchführung ... 145
5.1.2 Generelle Auswertungsmethodik ... 145
5.1.2.1 Aufzeichnung und Sicherung der Versuchsdaten ... 145
5.1.2.2 Rohdatenaufbereitung ... 146
5.1.2.3 Auswertung ... 147
5.1.2.4 Ermittlung der horizontalen Pfahlkopfkräfte ... 148
5.1.2.5 Untersuchungen zum Bettungsverlauf ... 150
5.1.3 Anmerkung zu den Tabellen und Diagrammen ... 150
5.2 Versuch B.HM ... 151
5.2.1 Eingabedaten ... 151
5.2.1.1 Charakteristische Versuchszeitpunkte ... 151
5.2.1.2 Instrumentierungsparameter ... 153
5.2.1.3 Pfahlgeometrie und Materialkennwerte ... 155
5.2.2 Messdaten ... 157
5.2.2.1 Daten MWES I ... 157
5.2.2.2 Daten MWES II ... 157
5.2.2.3 Daten MWES III ... 157
5.2.3 Basisdaten ... 157
5.2.3.1 Basis MWES I ... 157
5.2.3.2 Basis MWES II ... 157
5.2.3.3 Basis 3 Horizontal ... 158
5.2.4 Darstellung und Beschreibung der Ergebnisse ... 158
5.2.4.1 Deckblatt ... 158
5.2.4.2 Diagramme ... 159

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5.2.4.3 Ermittlung des Bettungsverlaufs 176
5.3 Versuch B.HK 184
5.3.1 Eingabedaten 184
5.3.1.1 Instrumentierungsparameter 187
5.3.1.2 Pfahlgeometrie und Materialkennwerte 189
5.3.2 Messdaten 189
5.3.2.1 Daten MWES I 189
5.3.2.2 Daten MWES II 190
5.3.2.3 Daten MWES III 190
5.3.3 Basisdaten 190
5.3.3.1 Basis MWES I 190
5.3.3.2 Basis MWES II 190
5.3.3.3 Basis 3 Horizontal 190
5.3.4 Darstellung und Beschreibung der Ergebnisse 191
5.3.4.1 Deckblatt 191
5.3.4.2 Diagramme 192

6 Schlussfolgerung und Ausblick 213
6.1 Kritische Beurteilung der Horizontalverschiebeversuche 213
6.1.1 Allgemeines 213
6.1.2 Konzeption und Durchführung 213
6.1.3 Auswertung 215
6.2 Mögliche weitere Untersuchungen 215
6.3 Zusammenfassung 216

Quellenverzeichnis 217

Tabellenverzeichnis 223

Abbildungsverzeichnis 225

Liste häufig verwendeter Symbole 233

ANHANG A

Extensometerkonfigurationen

ANHANG B

Protokolle: Einbau Kettenextensometer

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

ANHANG C

Bohpfahlprotokolle

ANHANG D

Protokolle: Zuordnung und Überprüfungen der Instrumentierung

ANHANG E

Bewehrungspläne mit Lage der Bewehrungssensoren

ANHANG F

Prüfabläufe

ANHANG G

Zeitpunkte der Zyklusstufen

ANHANG H

Feldprotokolle

ANHANG I

Auswertungsprotokolle

ANHANG J

Anleitung Rohdatenaufbereitung

ANHANG K

Auswertung B.HM: Tabellen und Diagramme

ANHANG L

Auswertung B.HK: Tabellen und Diagramme

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

KAPITEL 1

Einleitung

1.1 Allgemeine Hinweise

Im Folgenden werden allgemeine Hinweise zur Diplomarbeit gegeben. In deren weiteren Kapiteln befinden sich dann jeweils individuelle Einleitungen zum jeweiligen Thema.

Gliederung

Die vorliegende Arbeit gliedert sich im Wesentlichen in 3 Bereiche:

- Allgemeine Projektbeschreibung und Beschreibung der Versuchsvariationen (Kapitel 2)
- Grundlagen zu Pfahlgründungen, deren Tragverhalten und Probebelastung (Kapitel 3)
- Beschreibung, Auswertung und abschließende Beurteilung der Horizontalverschiebeversuche (Kapitel 4 bis 6)

Anhang

Im Anhang befinden sich für das bessere Verständnis der durchgeführten Versuche Projektunterlagen. Zudem sind dort noch einmal beide Versuchsauswertungen gesammelt beigefügt.

Nutzung von Synergien

Glücklicherweise umfasst das über die TU Wien am Projekt beteiligte Team u.a. einige motivierte Studierende, die neben einer guten Arbeitsatmosphäre auch die Möglichkeit bieten gewisse Teile der jeweiligen Arbeiten in die eigene einfließen zu lassen bzw. zu übernehmen. Die Übernahme von Textpassagen oder einzelner ganzer Abschnitte soll weniger zur eigenen Aufwandsminderung dienen, sondern vielmehr zur Nutzung von Synergien, um die jeweilige Thematik letztlich im Kontext besser zu erläutern.

Der (aktuelle) Umfang an wissenschaftlichen Arbeiten im Rahmen des FPUH, aus denen entsprechende Teile zitiert werden können, ist in Tab. 1.1 zusammengefasst. Die Übernahme von Teilen wurde unter den unten genannten Personen vereinbart und ist im jeweiligen Abschnitt entsprechend gekennzeichnet. In der gegeständlichen Arbeit betrifft das neben den Abschnitten 3.7 (Regelwerke) und 3.8 (Bemessung) nur das Kapitel 2 (Forschungsprojekt Unteres Hausfeld).

Ergänzend dazu wird angemerkt, dass die Abschnitte 2.1 bis 2.3 in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber des Forschungsprojektes (Magistratsabteilung 29) und unserem Betreuer Stefan Blovsky [SB] verfasst wurde. Auch sie sind einheitlich in den wissenschaftlichen Arbeiten.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tab. 1.1: Wissenschaftliche Arbeiten im Rahmen der Probebelastungen (PB) des FPUH

Themengebiet	Art	Bearbeiter/in	Abk.	Stand
Großbohrpfähle (axiale PB)	Projektarbeit	Manuel Stadlbauer	[MS]	in Arbeit
Mikropfähle und Anker	Diplomarbeit	Johannes Meusburger	[JM]	abgeschlossen
DSV-Körper und Herausziehversuche	Diplomarbeit	Christina Marzy	[CM]	in Arbeit
Energiepfähle	Diplomarbeit	Anna Freuis	[AF]	in Arbeit
Horizontalverschiebeversuche	Diplomarbeit	Alexander Stöglehner	[AS]	abgeschlossen

Abgrenzung zum abschließenden Forschungsbericht der TU Wien

Die vorliegende Diplomarbeit ist noch nicht als entgültig abgeschlossene und vollständige Interpretation der Horizontalverschiebeversuche zu sehen. Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung wird seitens der TU Wien ein abschließender Forschungsbericht erstellt. Neben der darin enthaltenen Zusammenfassung der Ergebnisse, können weitere Untersuchungen bzw. Auswertungen enthalten sein. Dies kann beispielsweise Angaben zu den Bettungswiderständen und Mantelreibungen betreffen.

Notationen

Es wurde versucht bei sowohl in der Literatur und als auch am Forschungsprojekt vorkommenden Unterschieden in der Begriffs- und Variablenzeichnung eine weitgehend einheitliche Notation zu verfolgen. Zur Schaffung von Klarheit bei Unsicherheiten und Doppeldeutigkeiten dient die angefügte Liste häufig verwendeter Symbole.

Zitierweise

Die Präpositionen „gemäß“, „nach“ und „laut“ deuten auf ein indirektes Zitat bzw. eine nachempfundene Tabelle oder Abbildung hin, während die Präposition „aus“ (oder „von“ bei Bildern von Webseiten) eine direkte Übernahme von Abbildungen kennzeichnet.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

KAPITEL 2

Forschungsprojekt Unteres Hausfeld

2.1 Veranlassung und Ziel der Untersuchungen

Die Stadt Wien hat als einer der größten Auftraggeber Österreichs ein Forschungsprojekt initiiert, dessen Ziel die Erfassung von Baugrundwiderständen diverser Gründungselemente für den repräsentativen Wiener Baugrund ist.

Die geologischen Verhältnisse im größten Wiener Stadterweiterungsgebiet, dem 21. und 22. Wiener Gemeindegebiet, sind großräumig sehr homogen. Es ist daher zu erwarten, dass die Versuchsergebnisse Eingang in viele zukünftige Bauprojekte in diesem Bereich finden können. Denkbar ist darüber hinaus eine Einbeziehung der Ergebnisse auch für vergleichbare geologische Strukturen, wie z.B. den Donauschotter in anderen Stadtteilen. Voraussetzung hierfür ist eine Prüfung der Vergleichbarkeit durch einen Sachverständigen für Geotechnik.

Im Einzelnen wurden

- Großbohrpfähle
- Mikropfähle
- Verpressanker
- Düsenstrahl-Gründungssäulen
- Mikropfähle als Verankerungen in Düsenstrahl-Sohlen
- Großbohrpfähle mit Nutzung als Energiepfähle
- Großbohrpfähle mit kombinierter (vertikaler und horizontaler) Beanspruchung

im Sinne von Probebelastungen bzw. Grundsatzprüfungen untersucht. Ziel der Untersuchungen war in der Regel das Herbeiführen eines Versagenszustandes für jeden einzelnen Bauteil.

Im Falle von Pfahlgründungen steht normativ (ÖNORM B 1997-1-3 [39]) neben Pfahlprobebelastungen unter anderem auch die Möglichkeit einer Bemessung nach Tabellenwerten zur Verfügung. Diese Tabellenwerte sind auf der sicheren Seite gewählte charakteristische Widerstände, die für das gesamte Gebiet Österreichs Gültigkeit besitzen.

Bei Ausführung von Pfahlprobebelastungen sind in der Regel verlässlichere Pfahlwiderstände ableitbar und eine wirtschaftlichere Bemessung unter tatsächlichen Verhältnissen möglich. Darüber hinaus lässt sich naturgemäß das Verformungsverhalten bzw. die Gebrauchstauglichkeit anhand von Pfahlprobebelastungen für Druckbeanspruchung besser einschätzen, als unter Zugrundelegung von Tabellenwerten. Für die Beurteilung des Gebrauchstauglichkeitsverhaltens zugbeanspruchter Pfähle sind ohnehin Probebelastungen zwingend erforderlich.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit der Durchführung und Auswertung der

Horizontalverschiebeversuche.

Eine überblickmäßige Beschreibung aller Versuchsvariationen in Abschnitt 2.6 enthalten. Die detaillierte Auseinandersetzung mit den verschiedenen Versuchen erfolgt in der jeweiligen wissenschaftlichen Arbeit (siehe Tab. 1.1). Die detaillierte Versuchsbeschreibung der vorliegenden Arbeit befindet sich in Kapitel 4 – die Ergebnisse in Kapitel 5.

2.2 Normative Grundlagen

Die österreichische Normengrundlage basierte mit der ÖNORM EN 1997-1 [37] aus dem Jahr 2006 sowie der ÖNORM B 1997-1-1 [38] aus den Jahren 2010 und 2013 vor dem Erscheinen der aktuellen ÖNORM B 1997-1-3 [39] im Jahr 2015 in der gängigen Praxis vielfach auf Erfahrungswerten vergleichbarer Projekte oder Tabellenwerten der ÖNORM B 4440 [45]. Letztere stammt aus dem Jahr 2001, beruhte auf dem globalen Sicherheitskonzept und sah demnach eine globale Absicherung zur Grenzkraft in der Größenordnung von $\eta = 1{,}3$ bis 2,0 je nach Lastfallgruppe und Anzahl der unter gleichen Verhältnissen ausgeführten Probebelastungen vor.

In der Entwurfsfassung der ÖNORM B 1997-1 aus dem Jahr 2006, die bereits auf dem Teilsicherheitskonzept des Eurocode 7 basierte, wurden erstmals national Streuungsfaktoren ξ_1 und ξ_2 zur Ableitung charakteristischer Werte aus statischen Pfahlprobebelastungen für alle Bemessungssituationen eingeführt. Diese Streuungsfaktoren sind umso kleiner, je größer die Anzahl der durchgeführten Probebelastungen ist.

Für die Ermittlung der axialen charakteristischen Werte der Pfahlwiderstände stehen gemäß der aktuellen Pfahlbemessung (ÖNORM EN 1997-1 in Kombination mit ÖNORM B 1997-1-1 und ÖNORM B 1997-1-3) folgende unterschiedliche Vorgehensweisen zur Verfügung:

a) Statische Pfahlprobebelastungen

   Absicherung der versuchstechnisch erhaltenen Grenztragfähigkeiten mittels
   - Streuungsfaktoren (ξ_1 und ξ_2) und
   - Teilsicherheiten (γ_E und γ_R).

b) Dynamische Pfahlprobebelastungen (für axial auf Druck beanspruchte Pfähle nur dann, wenn deren Ergebnisse an statischen Probebelastungen kalibriert wurden).

   Absicherung der versuchstechnisch erhaltenen Grenztragfähigkeiten mittels
   - Streuungsfaktoren (ξ_5 und ξ_6) und
   - Teilsicherheiten (γ_E und γ_R).

c) Auswertung von Proberammungen mittels anerkannter Rammformeln für auf Druck beanspruchte Verdrängungspfähle

   Absicherung der versuchstechnisch erhaltenen Grenztragfähigkeiten mittels
   - Streuungsfaktoren (ξ_5 und ξ_6) und
   - Teilsicherheiten (γ_E und γ_R).

d) Berechnungen mit Hilfe von Tabellenwerten für axial auf Druck und/oder Zug beanspruchte Bohrpfähle gemäß Anhang C der Norm unter Anwendung von
   - Modellfaktoren ($\eta_{P;c}$ und $\eta_{P;t}$)
   - Teilsicherheiten (γ_E und γ_R).

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Gemäß ÖNORM EN 1997-1 [37] dürfen die mit einem Rechenmodell erzielten Ergebnisse durch Modellfaktoren angepasst werden, um auf der sicheren Seite zu liegen. Für Verfahren zur Ermittlung von Pfahlwiderständen mit Hilfe von Tabellenwerten müssen Modellfaktoren berücksichtigt werden, um das bisherige Sicherheitsniveau des globalen Sicherheitskonzepts zu erhalten.

e) Ermittlung der Pfahlwiderstände von axial auf Druck beanspruchten Mikropfählen gemäß Anhang D (Tabellenwerte) der Norm unter Anwendung von
   - Modellfaktoren ($\eta_{P;c}$ und $\eta_{P;t}$)
   - Teilsicherheiten (γ_E und γ_R).

f) Ermittlung der Pfahlwiderstände von axial auf Druck und/oder Zug beanspruchten Pfählen mit Hilfe von Erfahrungswerten von ausgeführten Pfahlgründungen und/oder Probebelastungen, deren Zuverlässigkeit unter vergleichbaren Bedingungen nachgewiesen wurde unter Anwendung von
   - Modellfaktoren ($\eta_{P;c}$ und $\eta_{P;t}$)
   - Teilsicherheiten (γ_E und γ_R).

   Gemäß normativem Anhang A der ÖNORM B 1997-1-3 [39] gilt: „*Werden charakteristische Pfahlwiderstände weder aus Pfahlprobebelastungen, noch aus den Tabellen (Anhänge C und D) hergeleitet, sondern auf der Grundlage von Erfahrungswerten festgelegt, so sind auch auf diese die Modellfaktoren gemäß den Zeilen 5 und 6 der Tabelle A.1 anzuwenden.*“

Die ÖNORM B 1997-1-3 [39] ermöglicht für axiale Beanspruchung nunmehr eine getrennte Nachweisführung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

Im Detail wurden im Anhang A der ÖNORM B 1997-1-3 [39] folgende Modellfaktoren festgelegt:

Tab. 2.1: Modellfaktoren gemäß Anhang A der ÖNORM B 1997-1-3 aus [39] (adaptiert)

	Fall	Symbol	Wert
1	Pfahlwiderstände auf axialen Druck aus statischen Pfahlprobebelastungen	$\eta_{P;c}$	1,0
2	Pfahlwiderstände auf axialen Zug aus statischen Pfahlprobebelastungen	$\eta_{P;t}$	1,0
3	Pfahlwiderstände auf axialen Druck mittels Tabellenwerten der Anhänge C und D	$\eta_{P;c}$	1,3
4	Pfahlwiderstände auf axialen Zug mittels Tabellenwerten der Anhänge C und D	$\eta_{P;t}$	2,5
5	Pfahlwiderstände auf axialen Druck aufgrund von vergleichbarer Erfahrung	$\eta_{P;c}$	$\geq 1,3$
6	Pfahlwiderstände auf axialen Zug aufgrund von vergleichbarer Erfahrung	$\eta_{P;t}$	$\geq 2,5$

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass durch die Wahl von Pfahlprobebelastungen als Bemessungsmöglichkeit anstelle von Tabellen- oder Erfahrungswerten keine Änderung des Sicherheitsniveaus im Sinne einer Veränderung von Teilsicherheitsbeiwerten vorgenommen wird.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2.3 Geologie im Projektgebiet

2.3.1 Höhenlage und Morphologie

Geomorphologisch liegt das Gebiet gemäß [48] am Rand der eigentlichen Donauniederung zum Marchfeld. Es wurde von nacheiszeitlichen Ablagerungen des Donaustromes und seiner Zubringer aufgeschüttet und geologisch und morphologisch geprägt. Aufgrund der Entfernung zur Donau stand es jedoch nicht mehr im Einflussbereich der regelmäßigen Überschwemmungen und auch am Rand bzw. außerhalb des vor der Regulierung weitverzweigten Netzes von Altarmen. Die in der geologischen Karte eingetragene „äußerste beobachtete Hochwassergrenze an der Donau“ liegt jedoch noch deutlich nördlicher.

Das weitgehend ebene und flache Gelände liegt etwa zwischen 158,7 bis 158,8 m ü. A. Mögliche natürliche Senken und Rinnen, bzw. ehemals wassergefüllte Flussarme wurden im Zuge der menschlichen Besiedlung und Nutzung weitgehend aufgefüllt und eingeebnet.

2.3.2 Allgemeine Geologie und Schichten

Geologisch liegt das Gebiet gemäß [48] im Wiener Becken und in den Talalluvionen der Donau. Nach der geologischen Karte der *GBA 1:50.000*, Blatt Wien, liegt es an der Grenze zwischen „Auen des jüngeren Anteils der heutigen Talböden an der Donau (Postglazial)“ und den „älteren und höheren Fluren des jüngeren Anteils der heutigen Talböden“. Auf der geologischen Karte von *Brix (1972) 1:50.000* liegt es im Bereich der Praterterrasse, daher auf dem Niveau der jüngsten (würmzeitlichen) Terrasse, die von der rezenten Donau morphologisch und sedimentär überprägt wurde. Es ist jedenfalls dem Quartär/Holozän zuzurechnen. Unter dem Quartär folgen die miozänen Sedimente des Wiener Beckens (Oberes Pannonium).

Gemäß [48] ist folgender Schichtaufbau zu erwarten:

- Anschüttungen (Schicht A)
- Mutterboden (Schicht A)
- Ausedimente (Schicht B)
- Donauschotter (Schicht C)
- Miozäne Sedimente des Oberen Pannonium des Wiener Beckens (Schicht D)

An der Oberfläche liegt Mutterboden bzw. Anschüttungen. Darunter ist für den natürlichen Untergrund mit bis zu mehreren Metern mächtigen Ausedimenten (Aulehmen und Ausanden) zu rechnen. Dabei handelt es sich um schluffige Feinsande bis Schluffe von geringer Lagerungsdichte bzw. weicher Konsistenz und graubrauner Farbe. Meist sind sie humos und durchwurzelt.

Die darunter folgenden rezenten Donauschotter sind sandige Kiese von mitteldichter bis dichter Lagerung und graubrauner Farbe. Sandarme bis sandfreie Lagen können vorkommen, ebenso einzelne Sandschichten. Stein- und Blockanteile, sowie einzelne Stein- und Blocklagen, sind ebenso bekannt. Unter den Donauschottern folgen die miozänen Ablagerungen des Wiener Beckens (Oberes Pannonium). Dabei handelt es sich um feinkörnige Sedimente in Form von (schluffigen) Sanden bis tonigen Schluffen.

2.3.3 Schichtgrenzen und Störungen

Das Wiener Becken ist gemäß [48] als tektonisches Einbruchsbecken entstanden und daher von einem Störungssystem begrenzt sowie von Störungen und Brüchen durchzogen. Infolge dessen werden im Wiener Becken immer wieder Erdbeben registriert. Die meisten Störungen sind nur in tieferen

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Schichten des Wiener Beckens, z.B. durch Sprünge in der Lage der Schichtgrenzen oder in seismischen Profilen erkennbar.

Im gegenständlichen Gebiet zeigt die Unterkante der Ausedimente (bzw. die Donauschotteroberkante) ein gewisses natürliches Relief um wenige Meter, ebenso, wenn auch in geringerem Ausmaß, die Unterkante der Donauschotter. Dieses Relief ist jedoch als ablagerungsbedingte Schichtgrenze (durch Erosion und Sedimentation entstanden), und nicht als tektonische Störung zu sehen.

2.4 Baugrunduntersuchungen

In diesem Kapitel sind die Baugrunduntersuchungen gemäß dem geotechnischen Gutachten [48] des Forschungsprojektes „Unteres Hausfeld“ angeführt.

2.4.1 Kernbohrungen

Die nachfolgend angeführten Kernbohrungen wurden an den in Abb. 2.1 rot markierten Stellen abgeteuft.

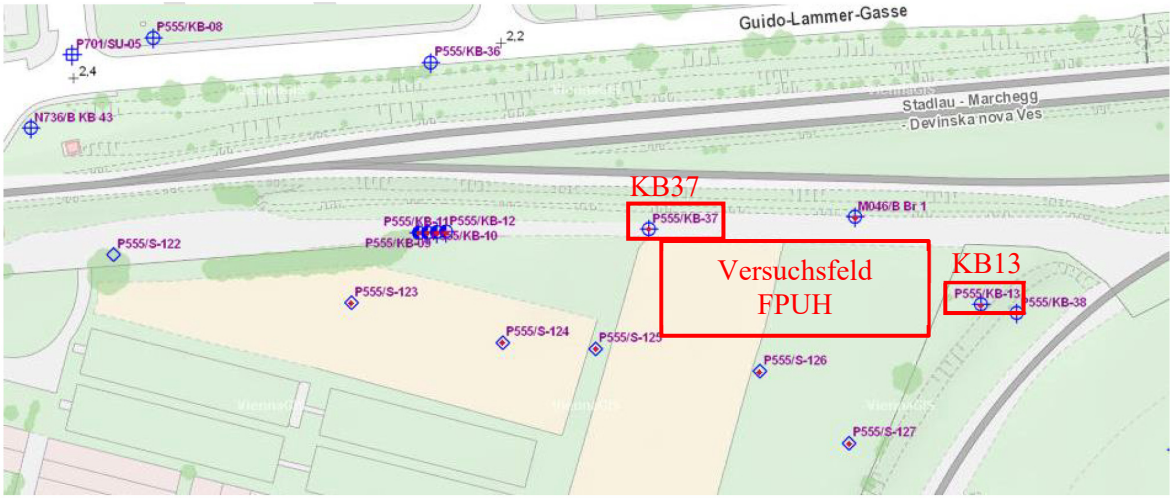


Abb. 2.1: Lage der Aufschlussstellen im Gebiet des Forschungsprojektes aus [48] (adaptiert)

Die Kernbohrungen (**Abb. 2.2** und **Abb. 2.3**) sind gemäß geotechnischem Gutachten [48] folgendermaßen beschrieben:

„*Deutlich zu erkennen ist, dass zumeist die Ausedimente praktisch nicht mehr vorhanden sind und unter den Anschüttungen oder dem Mutterboden gleich der Donauschotter ansteht. Freies Grundwasser wurde in allen Bohrungen im Donauschotter angetroffen.*“

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

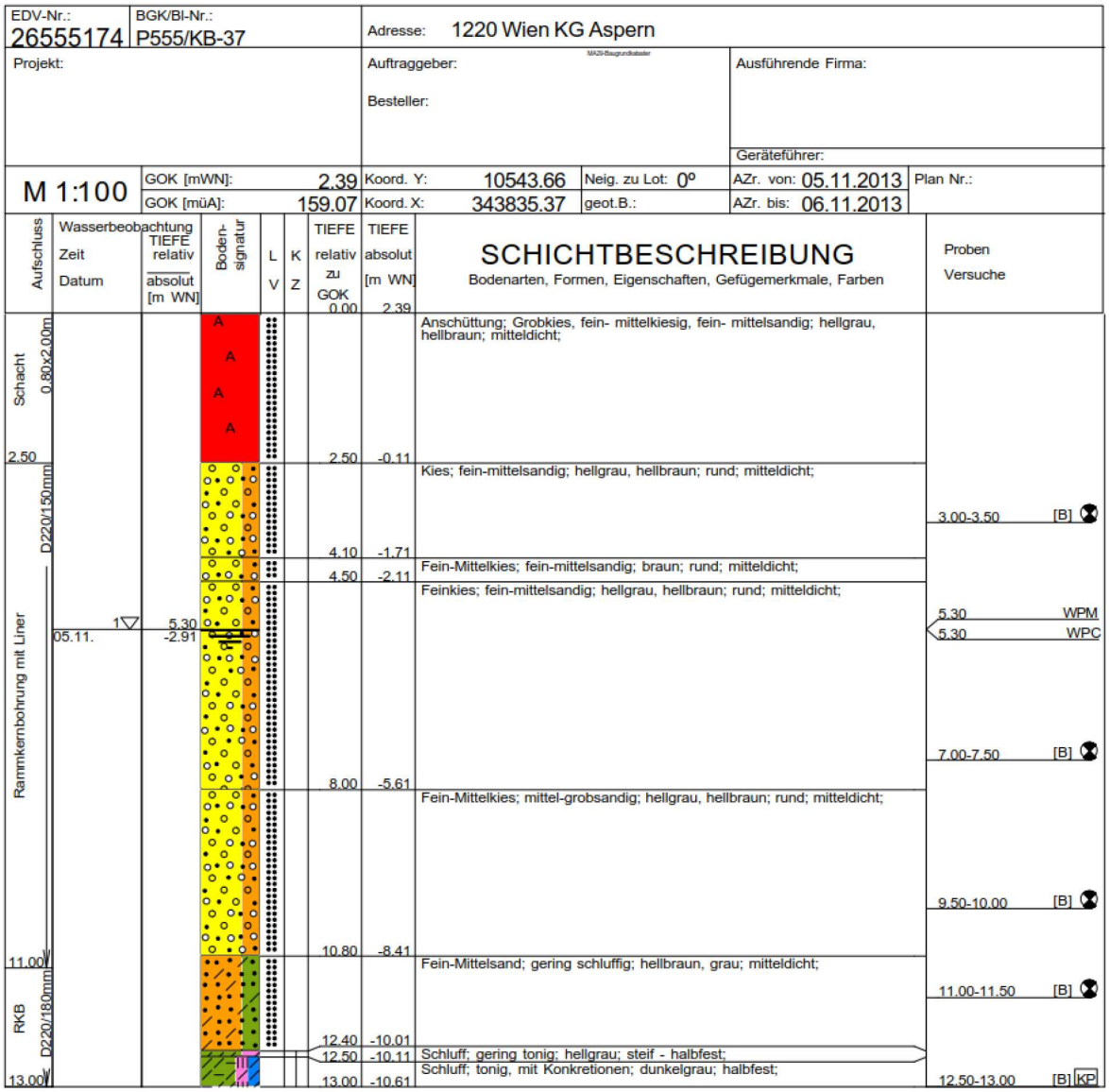


Abb. 2.2: Kernbohrung KB-37 aus [48]

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

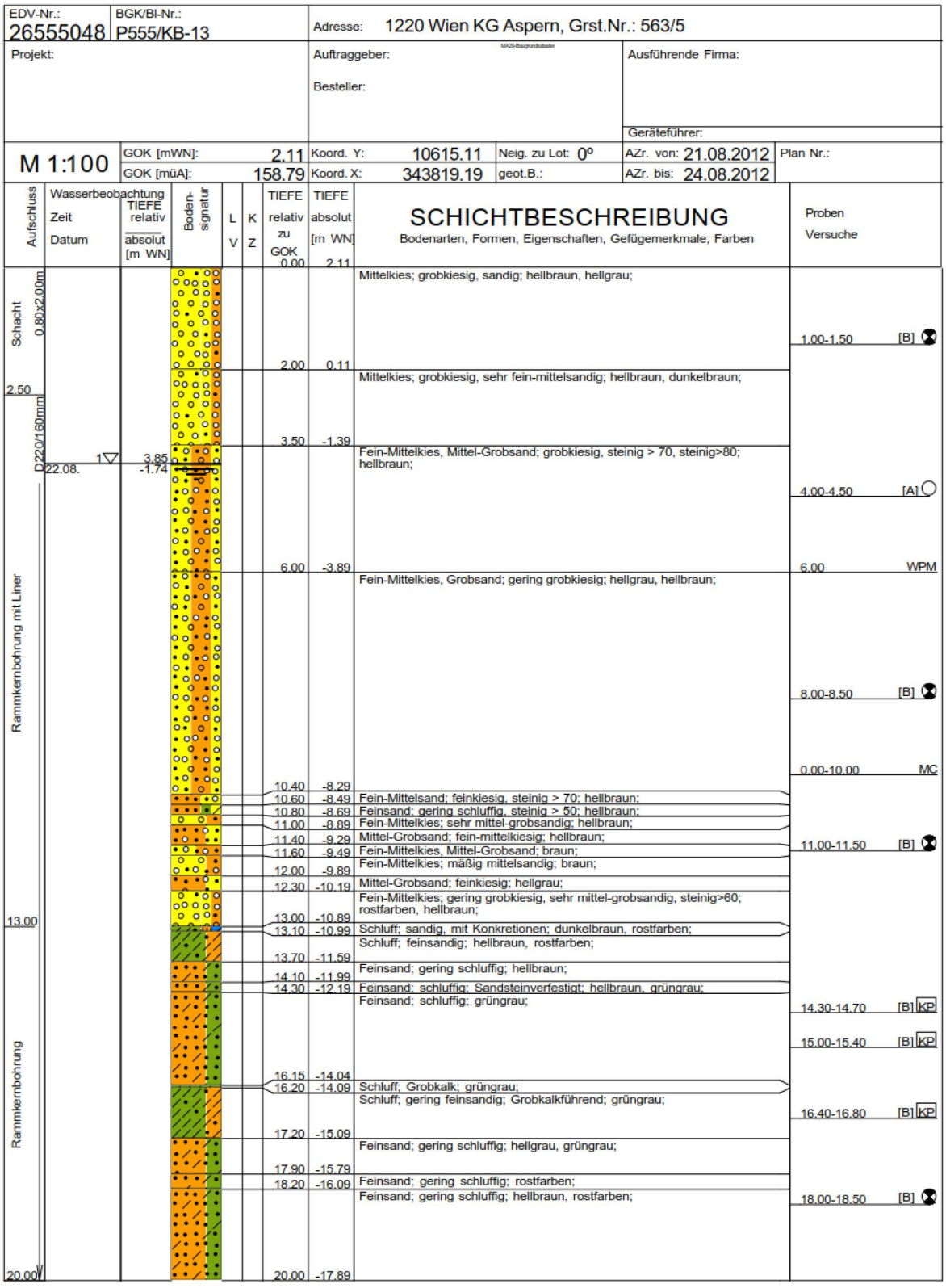


Abb. 2.3: Kernbohrung KB-13 aus [48]

2.4.2 Bodenphysikalische Laboruntersuchungen

In diesem Abschnitt sind die Korngrößenverteilungen des Donauschotters und des Miozän im erweiterten Projektumgebung gemäß geotechnischem Gutachten [48] dargestellt und erklärt.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

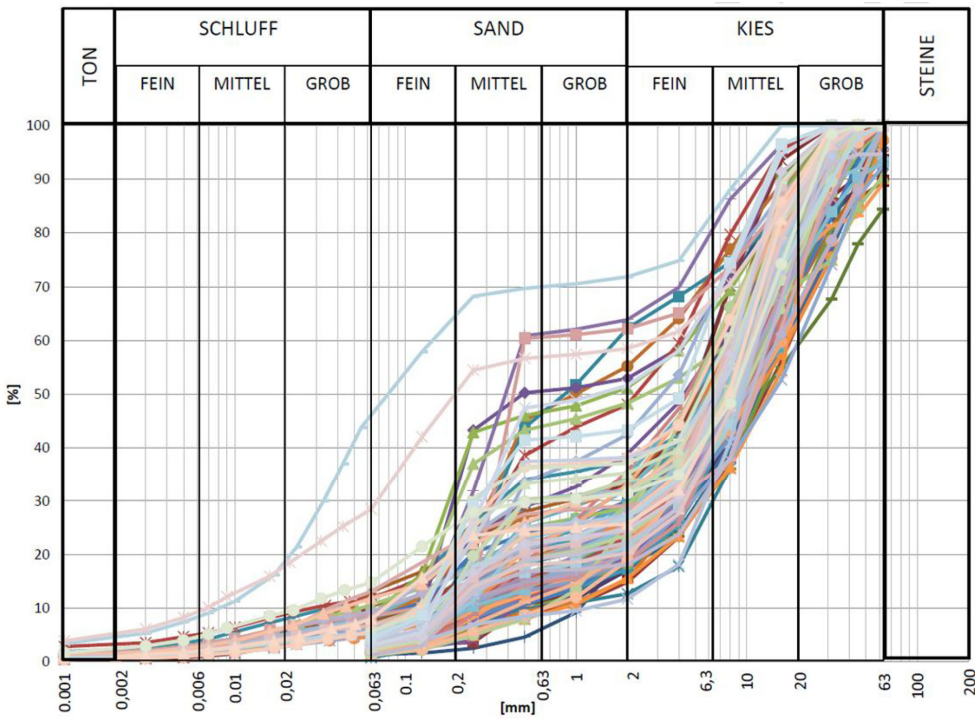


Abb. 2.4: Korngrößenverteilungen des Donauschotters aus der weiteren Projektumgebung aus [48]

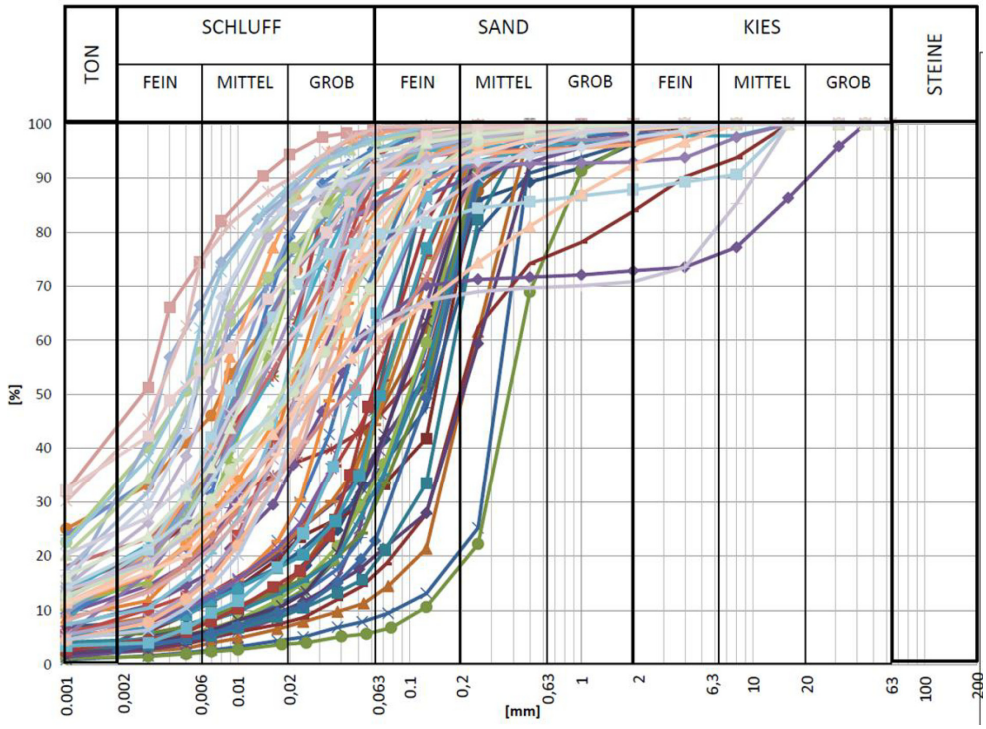


Abb. 2.5: Korngrößenverteilungen miozäner Wechsellagerungen aus der weiteren Projektumgebung aus [48]

Die Erklärung zu den bodenphysikalischen Eigenschaften gemäß Geotechnischem Gutachten [48] sind:

„*Für den Donauschotter wurden mehrere Korngrößenverteilungskurven aus dem weiteren Projektgebiet in einer Abbildung zusammengefasst um die relative Gleichförmigkeit und Vergleichbarkeit zu illustrieren.*“

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

„Für die miozänen Wechsellagerungen wurden mehrere Korngrößenverteilungskurven aus dem weiteren Projektgebiet in einer Abbildung zusammengefasst um die relative Gleichförmigkeit und Vergleichbarkeit zu illustrieren.“

„Aus den beiden Diagrammen ist eindeutig der große Unterschied in den beiden Bodenarten ersichtlich. Handelt es sich beim Donauschotter um nicht bindige grobkörnige Sande und Kiese so sind die miozänen Wechsellagerungen bindig, schluffdominiert und nur sehr feinkörnig. Auch ist, alleine durch die Korngrößenverteilung erkennbar das die Durchlässigkeiten stark variieren. Wesentliche Eigenschaften als Baugrund, wie z.B. die Mantelreibung sind ursächlich von der „Verzahnung“ des Bauteiles mit dem Boden abhängig.“

2.4.3 Charakteristische Bodenkennwerte

Tab. 2.2: Charakteristische Wichte und Scherparameter aus [48] (adaptiert)

	Schichtpaket	γ_k [kN/m³]	γ'_k [kN/m³]	φ_k [°]	c_k [kN/m²]
A	Anschüttung, Mutterboden	19	-	25	0
B	Ausedimente	18,5	10,5	25	10
C	Donauschotter (sandiger Kies)	21	12	35	0
D	Miozäne Wechsellagerung	20	10	25	15

2.5 Projektüberblick

(Dieser Abschnitt stammt von Johannes Meusburger [JM]; siehe Kapitel 1 bzw. Tab. 1.1)

Das Projektgebiet des Forschungsprojektes „Unteres Hausfeld“ befindet sich im 22. Wiener Gemeindebezirk. Die Versuchsanordnungen erfolgten südlich der Ostbahn-Strecke 117. In diesem Bereich verläuft die Guido-Lammer-Gasse parallel zum Versuchsfeld und der Contiweg verläuft westlich davon. Im Osten wird das Gebiet durch die Anschlussbahn des Logistikzentrums Hirschstetten begrenzt.

Die unterschiedlich hergestellten Prüfkörper (Gründungselemente) wurden auf dem Versuchsfeld zwei Prüffeldern zugeordnet: zum einen dem Prüffeld 1 im Westen und zum anderen dem Prüffeld 2 im Osten (siehe Abb. 2.6).

Im Prüffeld 1 wurden Großbohrpfähle im Miozän und Verpressanker im Kies auf ihre Tragfähigkeit geprüft. Außerdem wurden die abdichtenden Eigenschaften von DSV-Körpern qualitativ bewertet. Weiters wurden die Auswirkungen der Bauverfahren auf die chemischen Eigenschaften des Grundwassers im und um den Baukörper untersucht [49].

Im Prüffeld 2 wurden Großbohrpfähle im Kies, Mikropfähle im Kies und Miozän und DSV-Säulen auf ihre Tragfähigkeit geprüft. Außerdem fanden in Prüffeld 2 die Horizontalverschiebeversuche und die Energiepfahlversuche statt [49].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

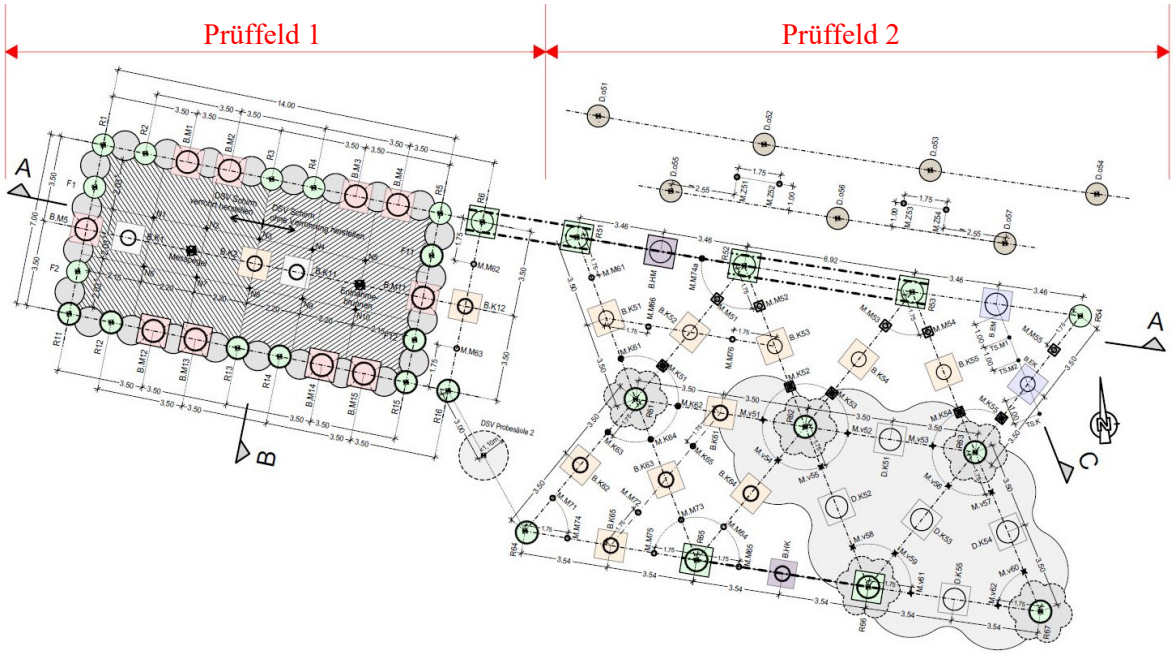


Abb. 2.6: Lageplan von Prüffeld 1 und 2 des Forschungsprojektes „Unteres Hausfeld“ aus [50] (adaptiert)

2.6 Versuchsvariationen

2.6.1 Großbohrpfähle

(Dieser Abschnitt stammt von Anna Freuis [AF]; siehe Kapitel 1 bzw. Tab. 1.1)

Die Prüfungen an den Großbohrpfählen wurden als

- Statische Pfahlprobebelastung
- mit Belastung in axialer Richtung
- und Druck als Belastung

ausgeführt [66].

Die Großbohrpfähle wurden im

- SOB-Verfahren (Schneckenortbetonpfähle) und
- mittels verrohrt hergestellter Bohrung

ausgeführt. Die unterschiedlichen Herstellungsarten sollen Unterschiede im Tragverhalten aufzeigen. Der Pfahlmantel und die Pfahlsohle wurden in den folgenden zwei verschiedenen Bodenarten geprüft:

- Quartäre Sedimente („Donauschotter“)
- Miozäne Sedimente („Wiener Tegel“)

Bei Pfählen mit der Prüfstrecke im Miozän wurde die Mantelreibung in der darüberliegenden Kiesschicht mittels Doppelmantelrohr überbrückt.

Je Herstellungsverfahren und Bodenart wurden jeweils fünf Elemente hergestellt. Somit können die Streuungsfaktoren gemäß ÖNORM B 1997-1-3 [39] auf das Minimum von $\xi_1 = \xi_2 = 1{,}0$ reduziert werden. Es wurden insgesamt 55 Stück, davon sind 27 Füll- und Reaktionspfähle, hergestellt.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Im Prüffeld 1 wurden Großbohrpfähle getestet, die mit einer Länge von 17 m bis in die miozänen Sedimente reichen. Bei diesem Versuch können somit die ermittelten Pfahlwiderstände dem Miozän zugeordnet werden. 4 Prüfpfähle wurden mit abweichenden (CO_2-armen) Zementen hergestellt, um allfällige Abweichungen im Tragverhalten, wie z.B. aufgrund eines anderen Eindringverhaltens in den Kiesen, zu ermitteln. In diesem Prüffeld wurden auch Füllpfähle für die geplante Schachtwand hergestellt. In der nachfolgenden Tab. 2.3 sind die hergestellten Großbohrpfähle, die im Prüffeld 1 untersucht wurden, aufgelistet.

Tab. 2.3: Anzahl hergestellter Bohrpfähle im Prüffeld 1 aus [50]

Herstellverfahren	Miozän	Sonderversuch Kies (Zement)
Herstellung verrrohrt	5	2
Herstellung SOB	5	2

Im Prüffeld 2 wurden die Pfähle getestet, die mit einer weitaus kürzeren Länge von 7 m nur in die Kiesschicht einbinden. Sie weisen auch einen weitaus kleineren Durchmesser von 60 cm auf im Gegensatz zu den langen Miozän Pfählen, die einen Durchmesser von 90 cm aufweisen. Diese Pfähle enden über der Miozänschicht und sind im oberflächennahen Bereich mit einer Ummantelung vor oberflächennahen Einflüssen geschützt. Im Prüffeld 2 wurden unter anderem auch 2 Großbohrpfähle für die Energiepfahlversuche hergestellt, um die Auswirkung der thermischen Belastung auf die Tragfähigkeit zu ermitteln. In der nachfolgenden Tab. 2.4 sind die hergestellten Großbohrpfähle, die im Prüffeld 2 untersucht wurden, aufgelistet.

Tab. 2.4: Anzahl hergestellter Bohrpfähle im Prüffeld 2 aus [50]

Herstellverfahren	Miozän	Sonderversuch Kies (Zement)
Herstellung verrrohrt	-	5
Herstellung SOB	-	5
Energiepfahl	1	1
Horizontalverschiebeversuch	1	1

Die Reaktionspfähle, die sowohl im Prüffeld 1 als auch 2 hergestellt wurden, dienen der möglichst verformungsarmen Einleitung der Reaktionskräfte in den Baugrund. Die Reaktionspfähle werden somit auf Zug belastet [49].

Die Belastung wird mit einem Hydraulikzylinder (Presse) axial und zentrisch auf den Prüfpfahl aufgebracht. Diese Belastungseinrichtung wurde in der Regel so bemessen, dass die maximale erforderliche Prüfkraft aufbringbar ist, um ein Versagen des Pfahls herbeizuführen.

Aus der Kraftmessung am Pfahlkopf erhält man den gesamten Pfahlwiderstand R und mittels der Instrumentierung des Pfahlschaftes lassen sich daraus Pfahlfußwiderstand R_b und Pfahlmantelwiderstand R_s getrennt ermitteln. Das folgende Diagramm zeigt eine Widerstands-Setzungslinie eines Pfahls aus [13].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

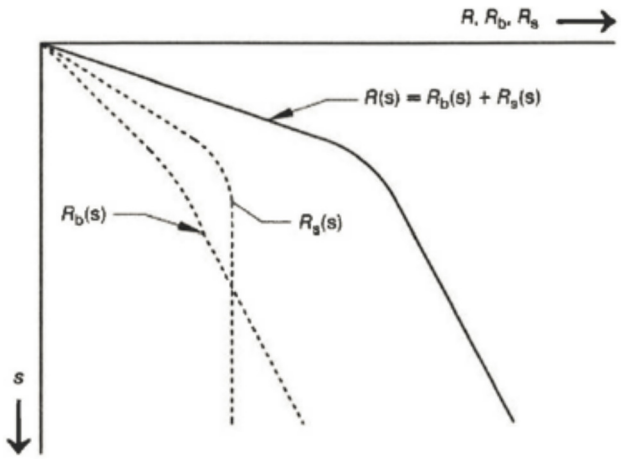


Abb. 2.7: Widerstands-Setzungslinien Diagramm aus [13]

Für die Verschiebungsmessung am Pfahlkopf wurden 3 vertikale Wegaufnehmer im Bereich des Pfahlkopfes angeordnet. Zusätzlich wurden auch zwei in einem Winkel von 90° horizontale Wegaufnehmer positioniert, um eventuelle Exzentrizitäten bzw. unplanmäßige Horizontalverformungen zu messen. Zur Erfassung des Pfahlfußwiderstandes wurde bei Pfählen vom Typ 1 jeweils eine Druckmessdose am Pfahlfuß installiert. Dehnungsaufnehmer sowie Kettenextensiometer wurden verwendet, um den Pfahlmantelwiderstand zu ermitteln.

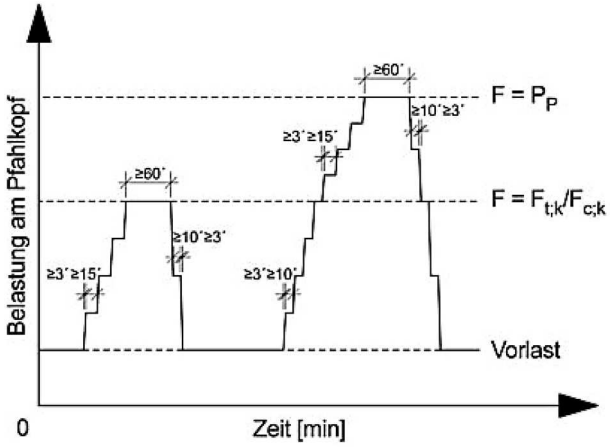


Abb. 2.8: Belastungsstufen aus [13]

Wie auch in den anderen Prüfungen des Forschungsprojekts wird hierbei die Last in 2 Zyklen aufgebracht. Wie in der Abb. 2.8 zu sehen ist, gibt es somit einen Erstbelastungszyklus, bei dem der Pfahl mit dem charakteristischen Wert der Pfahlbeanspruchung $F_{c;k}$ (Gebrauchslast) belastet wird. Der zweite Zyklus ist der Widerbelastungszyklus, bei dem der Pfahl mit der maximalen Last, der Prüflast P_P, die zum Versagen des Pfahls führt, belastet wird.

Es wurden Mindestbeobachtungszeiten für jede Laststufe definiert, wie in Abb. 2.8 zu sehen ist. Die Laststufe muss generell solange konstant gehalten werden, bis der Verschiebungszuwachs auf 0,1 mm innerhalb von 20 min zurückgegangen ist. Die Mindestbeobachtungsdauer einer Laststufe bei Erstbelastung bis zum Erreichen der charakteristischen Pfahlbeanspruchung $F_{c;k}$ ist 15 Minuten. In der Laststufe $F_{c;k}$ selbst sind längere Mindestbeobachtungszeiten gefordert, damit das Langzeitverhalten und allfällige Kriechumlagerungen erfasst werden können. Im Kies ist eine Mindestbeobachtungszeit der Laststufe $F_{c;k}$ von 60 Minuten und in den miozänen Sedimenten von 180 Minuten erforderlich. Nachdem die Pfahlbeanspruchung $F_{c;k}$ erreicht wurde, wird der Pfahl in zwei Stufen bis auf die Vorlast entlastet.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Im zweiten Zyklus, der Widerbelastung, darf die Beobachtungsdauer bei den Laststufen ab der charakteristischen Pfahlbeanspruchung reduziert werden. Ist der Verschiebungszuwachs unter 0,1 mm innerhalb von 5 min abgeklungen, darf auf die nächste Laststufe angefahren werden. Die Mindestbeobachtungszeiten sind jedoch laut Abb. 2.8 zu beachten. Diese sind bis zur charakteristischen Pfahllast $F_{c;k}$ 10 Minuten und darüber 15 Minuten bei der Widerbelastung. Nach der Entlastung bis auf die Vorlast ist der Versuch beendet [66].

2.6.2 Mikropfähle

(Dieser Abschnitt stammt von Johannes Meusburger [JM]; siehe Kapitel 1 bzw. Tab. 1.1)

In diesem Abschnitt wird das Gebrauchstauglichkeitsverhalten von Mikropfählen im repräsentativen Wiener Baugrund untersucht. Es wurden insgesamt 27 Pfahlprobebelastungen durchgeführt, um so die bei der Bemessung von Mikropfählen aufzuschlagenden Modellfaktoren laut ÖNORM B 1997-1-3 [39] reduzieren zu können.

Die ÖNORM B 1997-1-3 [39] schreibt 5 Probebelastungen je Pfahltyp vor. Somit ergeben sich insgesamt 25 Probebelastungen von Mikropfählen [66]. Nachträglich wurden noch zwei Mikropfähle hergestellt und geprüft. Die Gründe für die Herstellung der zusätzlichen Pfähle sind in Kapitel 5.3.4 [der Diplomarbeit von JM] beschrieben. In Tab. 2.5 sind die jeweiligen Prüfvariationen dargestellt.

Tab. 2.5: Prüfvariationen Mikropfähle nach [66]

Bodenart im Lastabtragungsbereich	Art der Beanspruchung
Quartäre Sedimente („Donauschotter“, sandiger Kies)	• Axiale Druckbeanspruchung ◦ ohne Nachverpressung • Axiale Zugbeanspruchung ◦ ohne Nachverpressung
Miozäne Sedimente („Tegel“, tonige Schluffe bis Feinsande)	• Axiale Druckbeanspruchung ◦ ohne Nachverpressung • Axiale Zugbeanspruchung ◦ ohne Nachverpressung ◦ mit Nachverpressung

Die Traglastprüfungen beziehen sich auf die in Tab. 2.5 genannten Bodenschichten. Um diese Schichten ansprechen zu können, wurde die Mantelreibung in der anderen Schicht durch ein Hüllrohr ausgeschaltet [49]. Jene Pfähle, deren Lastabtragung im quartären Kies untersucht wurden, weisen eine gesamte Pfahllänge von 7 m auf, jene, deren Lastabtragung im miozänen Sand/Schluff untersucht wurden, weisen eine gesamte Pfahllänge von 17,8 m auf. Die Prüfstrecke im Kies betrug dabei 4 m und die Prüfstrecke im Miozän 7 m.

Die Instrumentierung der Pfähle erfolgte gemäß den Anforderungen der EA-Pfähle [13]. Die hohe Anforderungsstufe der EA-Pfähle beinhaltet folgende Messdaten:

- Erfassung des Pfahlwiderstandes und des Pfahlmantelwiderstandes
  - Aufgebrachte Belastung
  - Verschiebung des Pfahlkopfes
  - Pfahldehnung
  - Zeit

Die Prüfkraft wurde zentrisch und axial mittels Hydraulikzylinder aufgebracht. Die maximal mögliche Kraft und somit der notwendige Kolbenhub wurde auf die erforderliche maximale Prüfkraft, die

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

zu erwartenden Verschiebungen des Pfahles, die Beanspruchungsrichtungen und die Widerlagerkonstruktion angepasst. Die Pfahlbelastung wurde dabei in zwei Zyklen aufgebracht:

- Erstbelastung
- Entlastung
- Wiederbelastung
- Entlastung

Die maximale Last des ersten Zyklus entspricht dem charakteristischen Wert der Pfahlbeanspruchung $F_{c,k}$ (Gebrauchslast). Die maximale Last des zweiten Zyklus entspricht der Prüflast P_p. Während der Beobachtungsdauer einer Laststufe wurde die Last konstant gehalten.

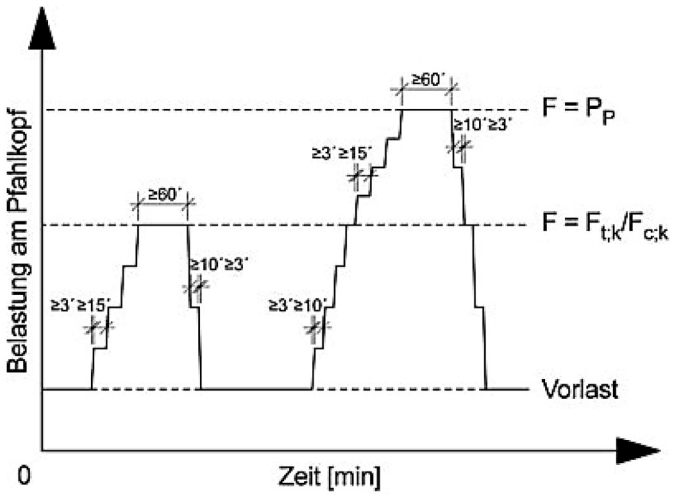


Abb. 2.9: Belastungsstufen aus [13]

Um die Pfahlkopfverschiebung ermitteln zu können, wurden zwei voneinander unabhängige Messsysteme verwendet: zum einen induktive Wegaufnehmer mit einer Messgenauigkeit von 0,001 mm und zum anderen ein Präzisionsnivellement für periodische Kontrollmessungen der Messbrücke. Insgesamt wurden drei Wegaufnehmer in vertikaler und zwei in horizontaler Richtung angeordnet.

Die Pfahldehnung wurde in fünf verschiedenen, über die Pfahllänge verteilten Querschnitten mittels Bewehrungssensoren gemessen. Mit diesen Dehnungen entlang des Verpresskörpers wurde der Pfahlmantelwiderstand rechnerisch bestimmt [66].

2.6.3 Düsenstrahlkörper

(Dieser Abschnitt stammt von Christina Marzy [CM]; siehe Kapitel 1 bzw. Tab. 1.1)

Im Rahmen des Forschungsprojekts werden die Herstellbarkeit und das Tragverhalten von verschiedenen Düsenstrahlkörpern im Wiener Baugrund untersucht. Dazu wurde das Düsenstrahlverfahren in den gegenständlichen Versuchsfeldern für die Herstellung folgender Bauteile verwendet:

- Prüffeld 1:
  - Zwickelabdichtung und zwischen den Großbohrpfählen
  - Hoch liegende DSV-Dichtsohle, welche mit Zugverpresspfählen verankert wird
- Prüffeld 2:
  - Pfahlähnliche, unbewehrte Tragelemente (DS-Säulen)
  - Horizontaler DSV-Dichtschirm zur Verankerung der Zugpfähle

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Eine Instrumentierung und Probebelastung der Düsenstrahlkörper im Prüffeld 1 ist nicht vorgesehen. Im Folgenden werden die Elemente im Prüffeld 2 näher erläutert.

2.6.3.1 Düsenstrahl-Säulen

Im quartären Kies wurden 12 DSV-Säulen im Sinne pfahlähnlicher Tragelemente mit einem planmäßigen Durchmesser von $D = 90$ cm und einer Länge von $L = 3$ m hergestellt. Dabei wurden jeweils zwei Säulen mit gleicher Zementsorte ausgeführt. Dadurch sollten die Herstelleigenschaften der DSV-Körper in Abhängigkeit der angewandten Zementsorten geprüft werden.

Zur Feststellung der Reichweite des DSV während der Herstellung und somit des Säulendurchmessers wurden zwei Verfahren angewandt: die thermische Reichweitenmessung (Verfahren *Meinhard*) und die Reichweitenmessung mittels Pegelstangen.

Ein Teil der Säulen wurde einer statischen Probebelastung im Sinne pfahlähnlicher Tragelemente in Anlehnung an die bestehende Norm unterzogen. Die ÖNORM B 1997-1-3 – Anhang B [39] empfiehlt, für die Vorbereitung, Durchführung und Dokumentation der Ergebnisse von Pfahlprobebelastungen das Merkblatt „Empfehlungen für statische und dynamische Probebelastungen“ aus dem Jahr 1988 heranzuziehen. Als Nachfolgewerk dieses Merkblattes können die „Empfehlungen des Arbeitskreises Pfähle – EA Pfähle“ [13] angesehen werden, welche im Jahr 2012 erschienen sind. Diese werden von der deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) herausgegeben. Die Vorgaben der EA-Pfähle wurden im vorliegenden Projekt herangezogen, da bis dato noch keine entsprechende europäische Prüfnorm erschienen ist.

Die Versuchsdurchführung erfolgte analog der in den vorigen Kapiteln genannten Prüfkörper und in Anlehnung an die EA Pfähle. Auch hier wurden zur Erfassung des Pfahlwiderstandes und des Pfahlmantelwiderstandes folgende Messdaten aufgezeichnet:

- Aufgebrachte Prüfkraft
- Verschiebungen des Pfahlkopfes
- Stauchungen der DS-Säulen
- Zeit

Das Aufbringen des Prüfdrucks erfolgte axial mittels eines Hydraulikzylinders in 2 Zyklen. Dabei entsprach die maximale Last im ersten Zyklus dem charakteristischen Wert der Pfahlbeanspruchung $F_{c,k}$. Die maximale Last des zweiten Zyklus (Wiederbelastung) entsprach der Prüflast P_p und sollte ein Versagen des Prüfkörpers verlässlich herbeiführen [66].

Während der Beobachtungsdauer der einzelnen Laststufen wurde die Kraft konstant gehalten. Die Dauer der Laststufen war von einer vorgegebenen Mindestzeit sowie vom Verschiebungszuwachs abhängig. Im Falle von Kriecherscheinungen wurden die Beobachtungszeiten verlängert, um das Langzeitverhalten erfassen zu können.

Die Instrumentierung der Probekörper war aufgrund des Herstellungsverfahrens ohne den Einbau einer Bewehrung eingeschränkt. Die DS-Säulen selbst wurden im Wesentlichen nur mit Lehrrohren versehen, in welchen mittels Kettenextensiometer die Stauchungen während der Belastung gemessen werden. Damit erfasste man sowohl die integrale Verformung jedes Säulenabschnitts als auch die Gesamtverformung der Säule, durch welche der Mantelwiderstand rechnerisch bestimmt werden konnte. Die Verschiebungsmessung am Säulenkopf erfolgte durch den Einsatz von induktiven Wegaufnehmern, welche die vertikalen und horizontalen Kopfverschiebungen kontinuierlich aufzeichneten.

Bei der Auswertung und Interpretation der Messergebnisse der Düsenstrahlsäulen sind naturgemäß Einschränkungen zu erwarten. Diese sind durch die unregelmäßige Form der Säulen sowie die Verzahnungseffekte an der Oberfläche bedingt.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Es erfolgte nachträglich eine photogrammetrische Oberflächenvermessung an einigen freigelegten Säulen. Dies sollte einen Bezug der Oberfläche einerseits zur Zementsorte und andererseits zur Interpretation des Tragverhaltens der Säulen erleichtern.

2.6.4 Verankerungen

(Dieser Abschnitt stammt von Johannes Meusburger [JM]; siehe Kapitel 1 bzw. Tab. 1.1)

Allgemein werden für Verankerungselemente die Bezeichnungen laut ÖNORM B 1997-1-1 [38] verwendet:

4.6 Verankerungen

4.6.1 Allgemeines

Für Verankerungen von Baukonstruktionen für Baugrubensicherungen, Stützbauwerke und Hangsicherungen werden folgende Konstruktionselemente verwendet:

– Verpressanker: Verpressanker sind vorgespannte oder nicht vorgespannte Konstruktionselemente mit einer freien Länge des Zuggliedes gemäß ÖNORM EN 1537.

– Verpresspfähle: Verpresspfähle sind verpresste Mikropfähle gemäß ÖNORM EN 14199 oder verpresste Verdrängungspfähle gemäß ÖNORM EN 12699, die als Verankerungen auf Zug beansprucht werden und als Einzeltragglieder wirken.

– Nägel: Nägel sind stabförmige Konstruktionselemente gemäß ÖNORM EN 14490, die als Bodenbewehrung mit dem umgebenden Baugrund einen Verbundkörper (Bodenvernagelung) bilden. Wesentlicher Parameter ist der Abstand der Nägel untereinander. Dieser Abstand ist ausreichend klein zu wählen, um eine monolithische Gesamttragwirkung sicherzustellen. Üblicherweise ist der horizontale Abstand im Lockergestein mit etwa 1,5 m zu begrenzen. Nägel wirken immer als Kollektiv.

Abb. 2.10: Definition von Verankerungen nach ÖNORM B 1997-1-1 aus [38]

An den Verpressankern wurden Untersuchungsprüfungen laut ÖNORM EN 1537 [43] durchgeführt. Dabei wurden folgende Parameter ermittelt:

- Herausziehwiderstand des Verpressankers an der Baugrund-Verpressmörtel-Fuge
- Kriechverhalten des Ankers bis zum Bruch
- kritische Kriechkraft P_c
- rechnerische freie Stahllänge L_{app}
- rechnerische mittlere Mantelreibung in der Haftstrecke
- Reibungsverlust ΔP_f

Aufgrund von geometrischen Randbedingungen im Versuchsfeld wurden verschiedene Variationen hergestellt, um eine voneinander unbeeinflusste Haftstrecke sicherzustellen. Der Mindestabstand zwischen den Haftstrecken beträgt 1,5 m. Die Haftstrecke befindet sich bei allen Ankern im quartären sandigen Kies. Es wurden folgende Variationen ausgeführt:

- Ankersystem
  - Litzenanker
  - Stabanker
- Ankerlänge/Haftstreckenlänge
  - L = 22,65 m (4 m Haftstrecke)
  - L = 22,15 m (6 m Haftstrecke)
  - L = 11,65 m (4 m Haftstrecke)
  - L = 13,10 m (6 m Haftstrecke)

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

- Ankerneigung
  - $\alpha = 7{,}0°$
  - $\alpha = 17{,}5°$
  - $\alpha = 35{,}0°$

Es wurden für jedes Ankersystem und einer Haftstrecke von 4 m und 6 m jeweils fünf Anker geprüft. Somit ergibt sich eine Gesamtanzahl von 20 Stück. Für die Erstellung der Prüfabläufe und die Bestimmung der Prüfkräfte wurden die beiden Normen ÖNORM EN ISO 22477-5 [46] und ÖNORM EN 1537 [43] herangezogen. Bei der ÖNORM EN ISO 22477-5 [46] handelte es sich zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführungen noch um einen Normenentwurf.

Bei der Ankerprüfung wurden folgende Parameter elektronisch erfasst:

- Pressenkraft
- Ankerkopfverschiebung
- Zeit

Die Prüfkraft wurde wie bei den Mikropfahlversuchen zentrisch und axial mittels einer hydraulischen Presse aufgebracht. Die maximal mögliche Kraft und der damit zusammenhängende Kolbenhub wurden auf die erforderliche maximale Prüfkraft, die erwartete Ankerkopfverschiebung und die Widerlagerkonstruktion ausgelegt.

Für die Messung der axialen Ankerkopfverschiebung kam folgende Messeinrichtung zum Einsatz:

- Kontinuierlich aufzeichnender induktiver Wegaufnehmer (Messgenauigkeit 0,01 mm)
- Periodische Kontrolle mittels geodätischer Messung

Im Zuge der Untersuchungsprüfung wurde das in Österreich gebräuchliche Prüfverfahren 1 angewendet, bei dem der Anker von der Vorlast in mindestens sechs Zyklen bis zur Prüflast belastet wird. Dabei wurde für jeden Zyklus die Verschiebung des Ankerkopfes bei der maximalen Spannkraft über einen festgelegten Zeitraum gemessen.

2.6.5 Sonderversuche

2.6.5.1 Rückverankerte-Düsenstrahl-Dichtsohle (Herausziehversuche)

(Dieser Abschnitt stammt von Christina Marzy [CM]; siehe Kapitel 1 bzw. Tab. 1.1)

Um das Trag- und Verankerungsverhalten von Ankerkörpern in Düsenstrahlkörpern zu erproben, wurden im Zuge des Forschungsprojekts Herausziehversuche an Mikropfählen durchgeführt. Bei diesen Versuchen wurde ausschließlich die Verankerung der Kopfausbildung in einer Düsenstrahlsohle untersucht. Zu diesem Zweck wurden die Zugpfähle - entgegen ihrer üblichen Ausführung - von der DS-Sohle nach oben ausgerichtet.

Es wurden 12 Mikropfähle ca. 13,6 m in das Miozän abgeteuft. Die Pfahlköpfe der Zugglieder wurden mit vier unterschiedlichen Verankerungskörpern ausgeführt, wobei jeweils 3 Zugpfähle eines Typs hergestellt wurden. Wie in Abb. 2.11 ersichtlich, reichte die Variation der Pfahlkopfausführungen von der Verankerung mit 3 Kopfplatten bis zur Ausbildung ohne Kopfplatte.

Die Einbindung der Zugpfähle erfolgte durch einen nachträglich hergestellten DSV-Schirm im Miozän. Die Einbindelänge betrug dabei ca. 1,50 m. Um das Tragverhalten der Ankerkörper im DSV-Körper gesondert betrachten zu können, wurde die nicht gewollte Mantelreibung im Baugrund durch ein Hüllrohr unterbunden.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

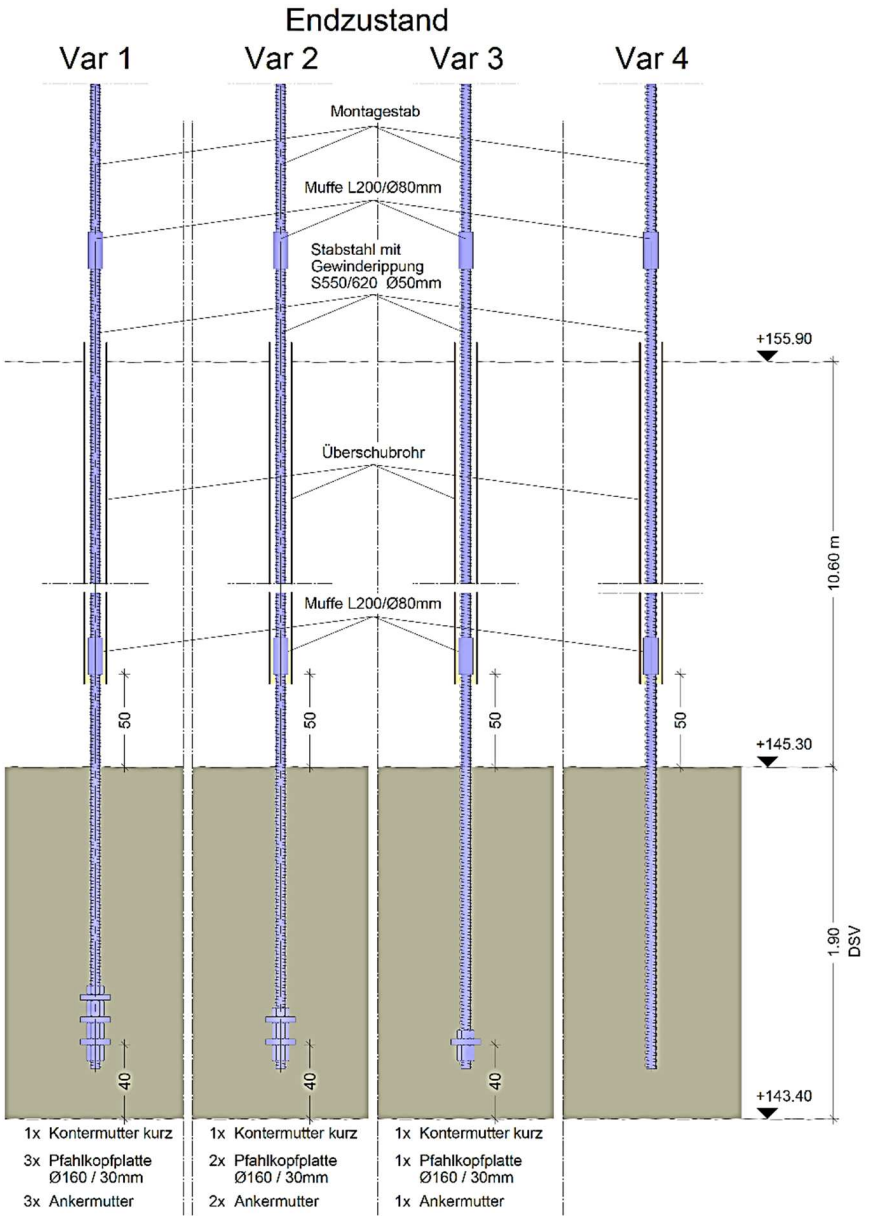


Abb. 2.11: Variation der Pfahlkopfausbildungen aus [49]

Das Trag- und Verankerungsverhalten der Fuge zwischen Dichtsohle und Zugglied sollte anhand von Herausziehversuchen und entsprechender Messwerterfassung ermittelt werden. Die Versuchsdurchführung erfolgte, analog den oben genannten normativen Vorgaben, in Anlehnung an die EA-Pfähle [13]. Hier wurden jedoch zur Erfassung des Pfahlwiderstandes nur folgende Messdaten aufgezeichnet:

- Aufgebrachte Prüfkraft
- Verschiebungen des Pfahlkopfes
- Zeit

Das Aufbringen des Prüfdrucks erfolgte axial mittels eines Hydraulikzylinders in 2 Zyklen. Dabei entsprach die maximale Last im ersten Zyklus dem charakteristischen Wert der Pfahlbeanspruchung $F_{c,k}$. Die maximale Last des zweiten Zyklus (Wiederbelastung) entsprach der Prüflast P_p und sollte ein Versagen des Prüfkörpers verlässlich herbeiführen [66].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Während der Beobachtungsdauer der einzelnen Laststufen wurde die Kraft konstant gehalten. Die Dauer der Laststufen war von einer vorgegebenen Mindestzeit sowie vom Verschiebungszuwachs abhängig. Im Falle von Kriecherscheinungen wurden die Beobachtungszeiten verlängert, um das Langzeitverhalten erfassen zu können.

Die Verschiebungsmessung am Pfahlkopf erfolgte durch den Einsatz von induktiven Wegaufnehmern, welche die axialen Pfahlkopfverschiebungen kontinuierlich aufzeichneten.

2.6.5.2 Energiepfähle

(Dieser Abschnitt stammt von Anna Freuis [AF]; siehe Kapitel 1 bzw. Tab. 1.1)

Bei den Versuchen mit Energiepfählen wollen die thermischen Einflüsse auf das Tragverhalten von Pfählen getestet werden. Dafür wurden, genau wie bei den normalen Großbohrpfählen, zwei Großbohrpfähle mit Verrohrung hergestellt. In den Bereichen, in denen keine Mantelreibung gewollt ist, wurden, wie zuvor erklärt, Doppelwandrohre eingebaut. Einer der Pfähle bindet dabei im Miozän (B.EM) ein und der andere Pfahl in den Kieskörper (B.EK). Die Energiepfähle wurden im Prüffeld 2 hergestellt und im Nahbereich wurden noch drei Zusatzbohrungen angefertigt, die zur Temperaturmessung ausgebaut wurden. Die Großbohrpfähle wurden mit 8 Absorberleitungen ausgestattet, die am Bewehrungskorb aufgebracht wurden, um den Pfahl mit Wärme und Kälte über einen Wärmetauscher zu belasten. In der folgenden Abb. 2.12 ist der Querschnitt des Pfahls mit der Anordnung der Absorberleitungen zu sehen [49].

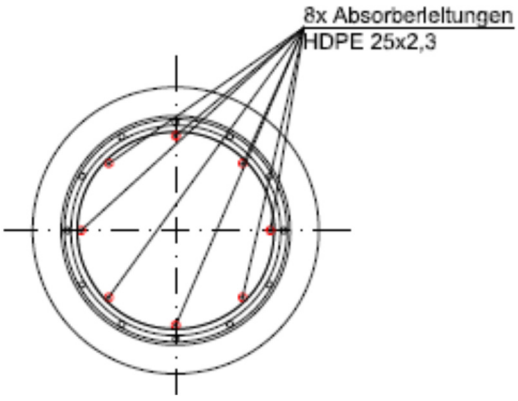


Abb. 2.12: Querschnitt Pfahl mit Absorberleitungen aus [47]

Es wurden auch Reaktionspfähle hergestellt, um die Belastung aus der hydraulischen Presse in den Baugrund abzuleiten. Im Unterschied zu den anderen Probebelastungen wird die Presse aber nur noch am Ende des Versuchs, somit beim „zu Bruch fahren“ des Pfahls, verwendet. Da die Versuchsdauer je Pfahl rund drei Monate beträgt und die Laststufen mehrere Tage konstant gehalten werden müssen, wurde eine Belastungsvariante mit Totlast gewählt. Die hydraulischen Pressen müssen nachjustiert werden und können über mehrere Stunden die Last nicht konstant genug halten. In der folgenden Abb. 2.13 ist der Prüfaufbau mit Totlast zu sehen.

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.

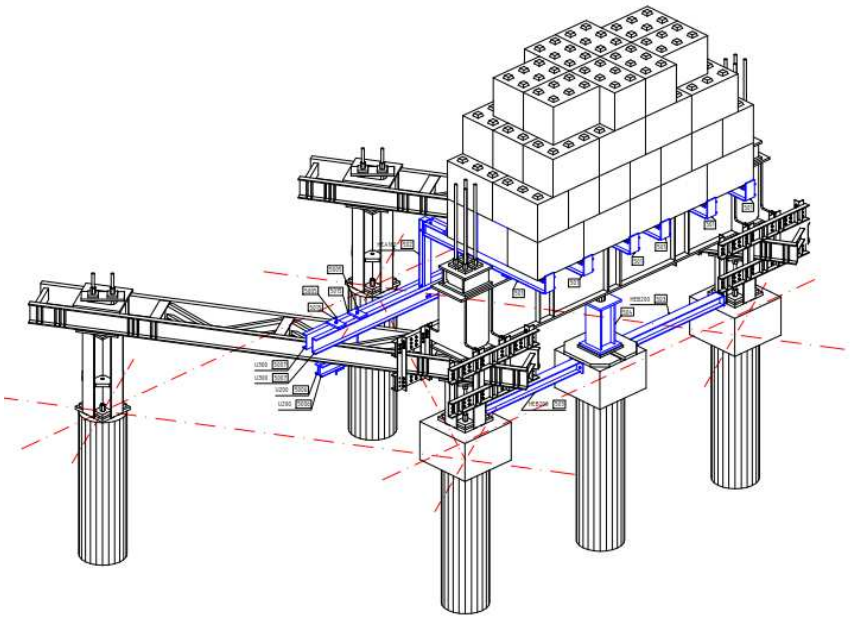


Abb. 2.13: Probebelastung mit Totlast [47]

Die Instrumentierung der normalen Großbohrpfahlversuche wird noch ergänzt. Es handelt sich dabei um mehrere Temperatursensoren und um Glasfasermesssysteme: das eine zur Temperaturmessung und das andere zur Dehnungsmessung. Der Pfahl wird im Laufe des Versuchs nicht nur mechanisch, sondern auch thermisch belastet. Es werden mehrere Lastzyklen durchgeführt und bestimmte Laststufen dann für mehrere Tage gehalten. Während eine Laststufe konstant gehalten wird, wird der Pfahl entweder aufgeheizt oder abgekühlt. Diese Last- und Temperaturspiele werden mehrmals wiederholt, bis dann der Pfahl zu Bruch gefahren wird [76].

2.6.5.3 Horizontalverschiebeversuche

Die beiden Horizontalverschiebeversuche waren die ersten von einer Reihe von Sonderversuchen zur Untersuchung spezieller Fragestellungen. In zwei separaten Versuchen wird dabei jeweils ein Großbohrpfahl statisch probebelastet, während wechselseitig zyklische (nicht dynamische) horizontale Verschiebungen am Pfahlkopf eingeprägt werden. Damit soll untersucht werden, ob horizontale Pfahlkopfbeanspruchungen, wie sie beispielsweise infolge jahreszyklischer Temperaturausdehnungen bei integralen Brücken auftreten, einen Einfluss auf das vertikale Tragverhalten haben. Gleichzeitig lieferten die Versuche Aussagen über die Bettungseigenschaften im vorliegenden, repräsentativen Wiener Baugrund [67].

Die beiden Probepfähle befinden sich im Prüffeld 2 der Versuchsbaustelle. Abb. 2.14 zeigt die Lage der Probepfähle „B.HM“ und „B.HK“ innerhalb des Prüffelds.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

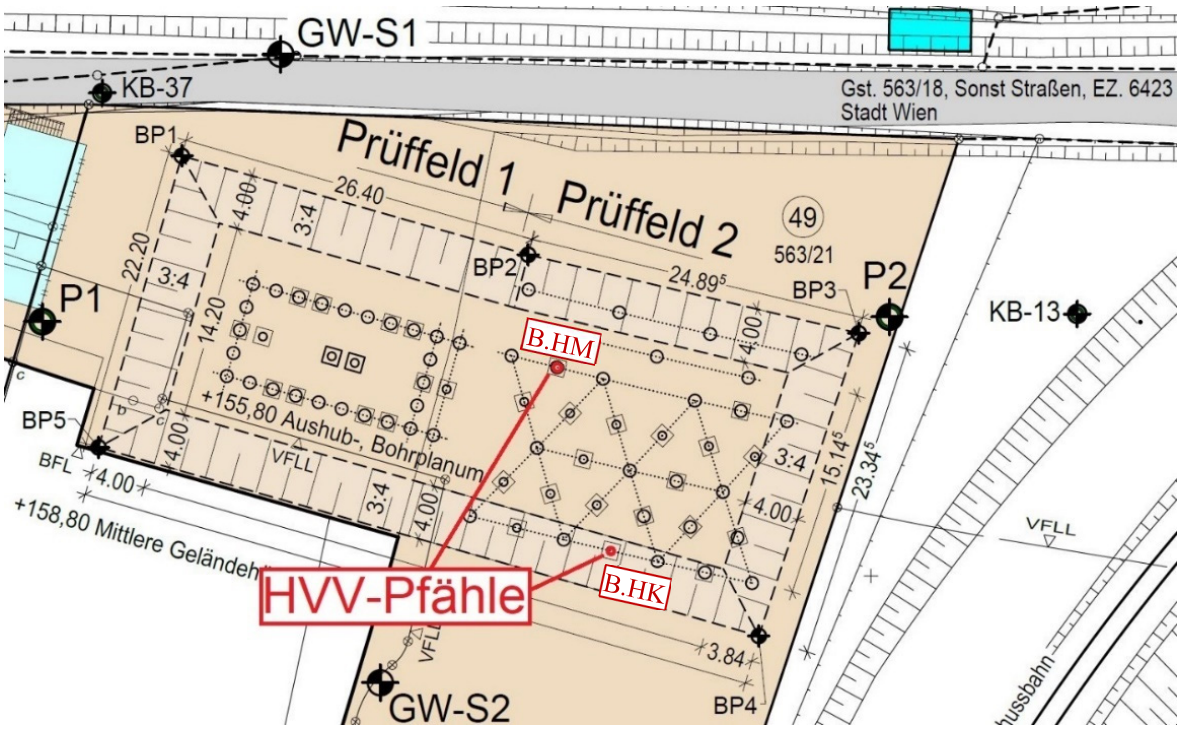


Abb. 2.14: Lage der Probepfähle der Horizontalverschiebeversuche (HVV), Planausschnitt aus [50]

Bei näherer Betrachtung sind die jeweils dem Probepfahl zugehörigen Reaktionspfähle erkennbar (Abb. 2.15). In beiden Fällen ist die Stützkonstruktion zur Kippsicherung des Prüfträgers jeweils auf den Reaktionspfählen „R61“ und „R61“ gelagert.

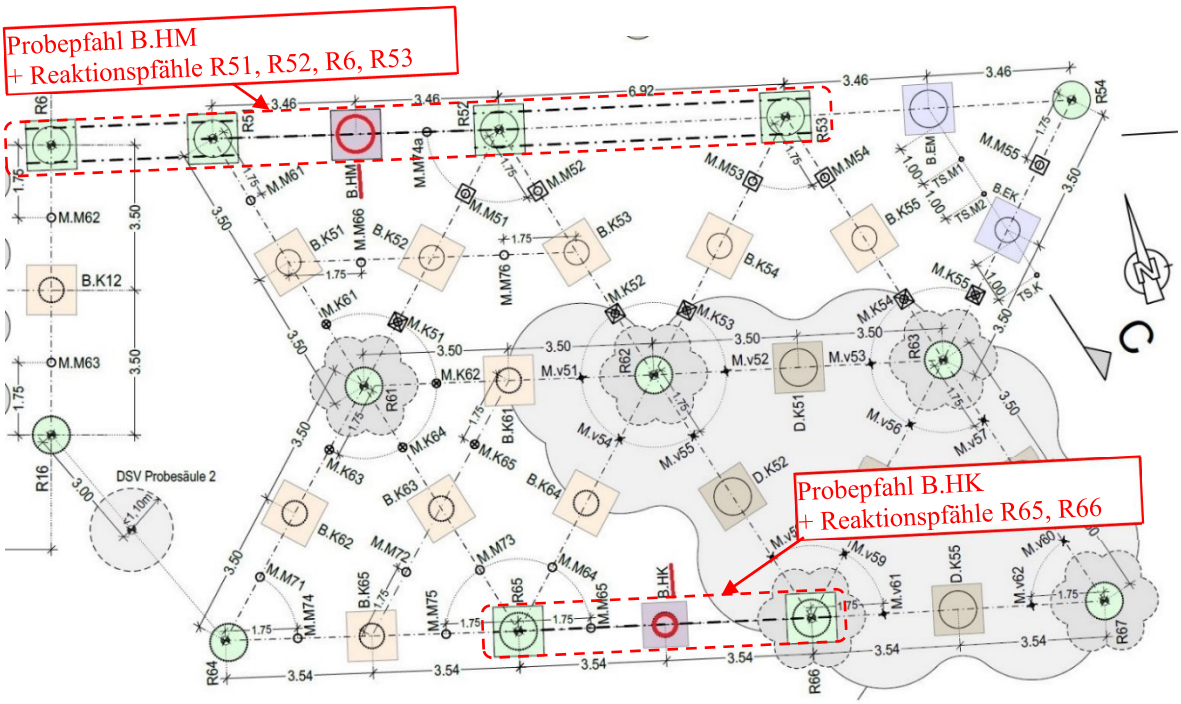


Abb. 2.15: Lage der Probepfähle und zugehöriger Reaktionspfähle, Planausschnitt aus [50]

Die beiden Probepfähle unterscheiden sich gemäß Tab. 2.6. Demnach kommt der Pfahl „B.HK“ durch seine Länge von 6 m nur im quartären Kies zu liegen. Zusätzlich wurde hier ein

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Doppelmantelrohr angeordnet, um einerseits dieselbe Geometrie wie bei den konventionellen Probebelastungen (2.6.1) für etwaige Vergleichszwecke zu erhalten und andererseits um eine deutlichere Ausbildung einer Biegelinie zu erzielen. Dies resultiert in einer Krafteinleitungsstrecke von rund 4 m.

Der Lastabtragungsbereich des Probepfahls „B.HM“ umfasst aufgrund seiner Länge von 16 m sowohl die obenliegende Quartär (sandiger Kies, „Donauschotter“) als auch das darunterliegende Miozän (tonige Schluffe bis Feinsande, „Wiener Tegel“). Denn im Gegensatz zu den konventionellen Probebelastungen wurde hier kein Doppelmantelrohr angeordnet.

Tab. 2.6: Probepfahltypen der Horizontalverschiebeversuche

Bezeichnung	Herstellung	Bodenart im Lastabtragungsbereich	Zementart	Länge[1]	*D*
B.HK	SOB	Quartär	konventionell	6 m	60 cm
B.HM	verrohrt	Quartär & Miozän	konventionell	16 m	90 cm

[1] Länge = Pfahlunterkante – Pfahlkopfunterkante gemäß [50] bzw. Abb. 2.16

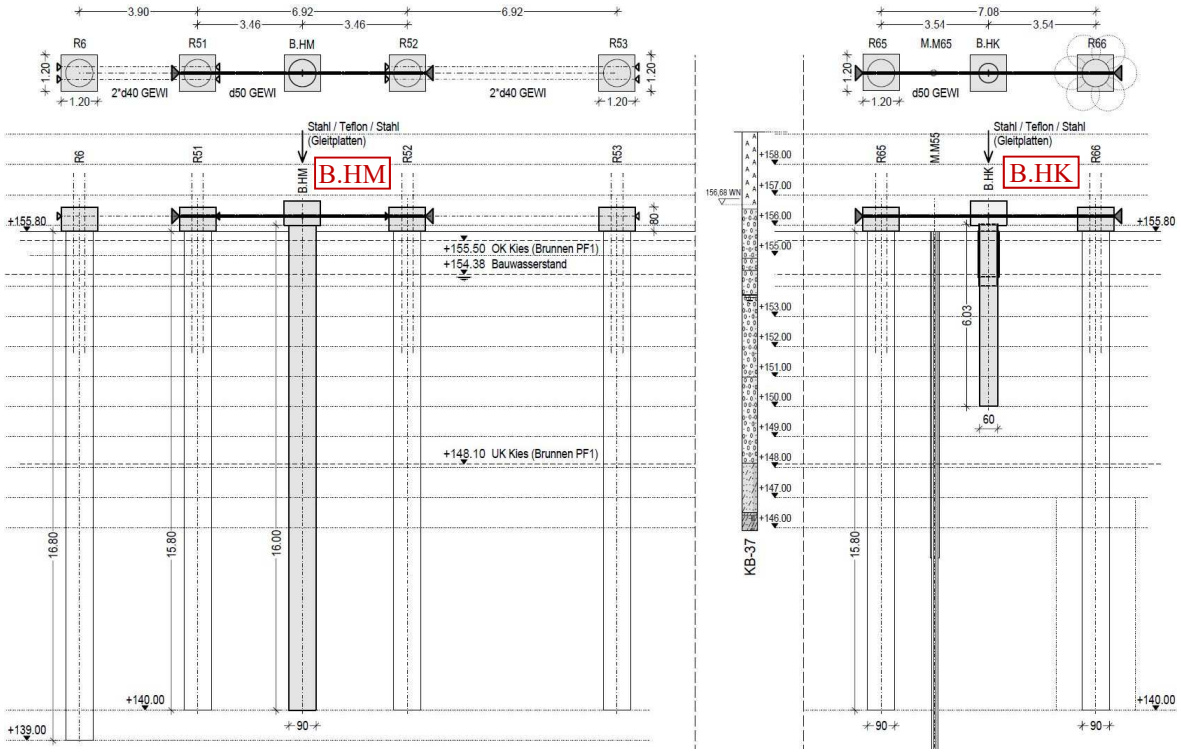


Abb. 2.16: Baugrundsituation & Prinzip der Versuchsanordnung, Planausschnitt aus [73]

Die Konzepterstellung für die Versuchsdurchführung erfolgte auf Basis der EA-Pfähle [13]. Für die Erfassung der diversen Messgrößen wurden die beiden bisher verwendeten Messwerterfassungssysteme (MWES I & II) um ein weiteres (MWES III) ergänzt (Tab. 2.7).

Der erste Horizontalverschiebeversuch fand am Probepfahl B.HM von 19.02.2018 bis 23.02.2018 statt. Der Probepfahl B.HK wurde schließlich exakt ein Monat später (19.03.2018 bis 23.03.2018) einem geringfügig abweichenden Versuchsprogramm unterzogen. Demzufolge nahmen beide Versuche eine Arbeitswoche in Anspruch, wobei die Versuche auch über Nacht durchliefen.

Die genaue Versuchsbeschreibung erfolgt im Kapitel 4 der vorliegenden Arbeit.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tab. 2.7: Messwerterfassungssysteme (MWES) für die Horizontalverschiebeversuche

MWES	Erfassung der	Instrumentierung
I	vertikalen und horizontalen Pfahlkopfbelastungen und -verschiebungen	elektronische Wegaufnehmer und mechanische Messuhr
II	Längsdehnungen und der Untergrundtemperatur (punktuell und abschnittsweise)	Bewehrungssensoren (Schwingsaite) und Kettenextensometer
III	Biegelinie und Untergrundtemperatur (punktuell)	Ketteninklinometer

2.7 Eigene Mitwirkung am Forschungsprojekt

Auf das Forschungsprojekt Unteres Hausfeld wurde ich erstmals im April 2017 aufmerksam, als ich mich bei den Assistenten des Fachbereichs Grundbau-, Boden- und Felsmechanik über mögliche Diplomarbeitsthemen erkundigte. Nach anschließender Kontaktaufnahme und einem Gespräch mit Stefan Blovsky und Joachim Wagner, fasste ich relativ schnell den Entschluss meine Diplomarbeit im Rahmen des Forschungsprojekts zu absolvieren.

Anfang Mai begann dann meine Tätigkeit am Forschungsfeld in 1220 Wien, die anfangs vor allem Abnahmen der zu installierenden Pfahlinstrumentierung und Vorbereitungen für die erste Probebelastung umfasste. Mit der ersten Probebelastung, die ich selbständig im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung der TU Wien betreuen durfte, endete vorerst meine Tätigkeit Ende Juni, da ich im Juli und August ein Praktikum bei der Fa. Keller Grundbau absolvierte.

Aufgrund der hohen Anzahl an Probebelastungen, die im Herbst vorgesehen waren, erhielt ich ab Mitte September eine Anstellung als Projektmitarbeiter, um bei Durchführung unterstützen zu können. Insgesamt durfte ich 20 Probebelastungen begleiten, die Großteils Mikropfähle betrafen. Daneben wurde die Zeit immer wieder zur Rohdatenaufbereitung von bereits abgeschlossenen Probebelastungen genutzt. Bis zum Ende meiner Anstellung im Jänner 2018 bestand die weitere Tätigkeit in der Ausarbeitung des Versuchskonzepts der Horizontalverschiebeversuche (Kapitel 4), das Anfang Februar der MA 29 übergeben werden konnte.

Ab Februar war ich somit wieder als Diplomand im Einsatz, wobei noch letzte Vorbereitungen für die Horizontalverschiebversuche zu treffen waren, ehe von 19. bis 23. Februar die erste von zwei Versuchsdurchführungen stattfinden konnte. Der zweite Horizontalverschiebeversuch wurde schließlich von 19. bis 23. März durchgeführt. Die Durchführung beider Versuche nahm in etwa 100 Stunden an Baustelleneinsatz in Anspruch.

In weiterer Folge setzte ich mit der Rohdatenaufbereitung, der Auswertung und dem Verfassen der vorliegenden Diplomarbeit fort. Tab. 2.8 fasst meinen Gesamtaufwand im Rahmen des Forschungsprojekts sowie der Diplomarbeit zusammen.

Tab. 2.8: Persönlicher Gesamtaufwand am FPUH

Funktion	Arbeitsstunden
Projektmitarbeiter:	316
Diplomand:	758
davon Baustelleneinsatz/Versuchsvorbereitung:	181
davon Auswertung/Verfassung Diplomarbeit:	577
Gesamtsumme:	1074

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

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 3

Pfahlgründungen

3.1 Allgemeines und Anwendungsbereich

Pfahlgründungen zählen neben Düsenstrahlsäulen, Schlitzwänden, Brunnen- und Senkkastengründungen zu den Tiefgründungen. Unter den Tiefgründungen werden Pfahlgründungen am häufigsten ausgeführt. Dies liegt einerseits an der weit zurückreichenden Anwendungshistorie sowie der damit verbundenen Erfahrung mit Pfählen und andererseits an der für Planer anschaulichen Tragwirkung und deren relativ (oder besser: vermeintlich) einfacher, rechnerischer Behandlung [5].

Ausgeführt werden Pfähle meist dann, wenn die abzuleitenden Vertikallasten von den oberflächennahen Schichten nicht aufgenommen werden können und somit in tiefer liegende, tragfähigere Schichten geführt werden müssen [5].

Pfähle können neben der vertikalen auch zur vorwiegend horizontalen Lastabtragung herangezogen werden. Somit werden Pfähle auch oft einer kombinierten Beanspruchung ausgesetzt, etwa bei Baugrubenwänden, Brückenwiderlagern oder Monopile-Gründungen von Offshore-Windenergie-anlagen [12].

Pfähle können je nach ihrem Abstand zueinander entweder eine Einzel- (Abschnitt 3.4) oder eine Gruppentragwirkung (Abschnitt 3.6) haben. Durch entsprechende Pfahlanordnung können auch sogenannte Kastengründungen hergestellt werden [5].

Als weitere Anwendung sei der Einsatz von Pfählen in Verbindung mit Fundamentplatten genannt. Gemeinsam bilden sie die kombinierte Pfahl-Plattengründung (KPP), welche die Vorteile von Flach- und Tiefgründungen nutzen. [5]

Pfahlartige Gründungselemente wie tiefe Bodenvermörtelungen, vermörtelte Rüttelstopfsäulen, Betonstopf- bzw. Betonrüttelsäulen sowie Düsenstrahlsäulen werden in den folgenden Abschnitten dieses Kapitels nicht behandelt [20].

3.2 Systematik der Pfähle

Heutzutage gibt es eine ganze Reihe von Pfahlarten, die je nach Material, Fertigung, Herstellungsart, Form, Durchmesser, statischer Wirkung sowie Beanspruchungsart unterschieden werden können [5]. Tab. 3.1 zeigt, nach welchen Kriterien Pfähle unterschieden werden können.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tab. 3.1: Einteilung von Pfählen, nach [5]

Einteilung nach	Varianten
Material	• Holz • Stahl, Eisen, Gusseisen • Beton, Stahlbeton, Spannbeton
Fertigung	• Fertigteilpfähle • Ortbetonpfähle • zusammengesetzte Pfähle • Injektionspfähle
Herstellungsart	• Verdrängungspfähle ◦ Rammen ◦ Vibrieren ◦ Drücken/Pressen ◦ Schrauben/Drehen • Bohrpfähle ◦ verrohrt ◦ unverrohrt • Schneidpfähle • Injektionspfähle
Form	• Querschnittsform • Längsform
Durchmesser[1]	• Mikropfähle ◦ Kleinbohrpfähle mit $D < 30$ cm ◦ Verdrängungspfähle mit $D < 15$ cm • Großbohrpfähle ($D > 30$ cm)
Statischer Wirkung	• Spitzendruckpfähle (stehende Pfähle) • Mantelreibungspfähle (schwimmende Pfähle) • Spitzendruck- und Mantelreibungspfähle
Beanspruchung	• Beanspruchungsrichtung ◦ axial beanspruchte Pfähle (Zug/Druck) ◦ horizontal beanspruchte Pfähle (Biegung) ◦ kombiniert beanspruchte Pfähle • Beanspruchungsart ◦ statisch ◦ dynamisch ◦ zyklisch

[1]Definition gemäß ÖNORM B 1997-1-3 [39]

3.3 Herstellungsverfahren von Pfählen

Wie in Tab. 3.1 angeführt, gibt es unterschiedliche Verfahren zu Herstellung der diversen Pfähle. Im Folgenden wird aus Gründen der Vollständigkeit kurz auf die wesentlichen Arbeitsschritte der existierenden Varianten von Verdrängungspfählen (Abschnitt 3.3.1) und Mikropfählen (Abschnitt 3.3.2) eingegangen. Auch die Herstellung von Großbohrpfählen (Abschnitt 3.3.3) wird zusammenfassend beschrieben.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.3.1 Verdrängungspfähle

Wie der Name bereits andeutet, wird bei der Einbringung von Verdrängungspfählen der Boden verdrängt. Somit fällt kein Aushubmaterial an. Der Einbringvorgang kann entweder durch

- Rammen
- Rütteln
- Drücken oder
- Drehen und Drücken

erfolgen. Dabei müssen der Widerstand aus Mantelreibung und Spitzendruck überwunden werden. Zur Erleichterung der Einbringung können Spülhilfen herangezogen werden [5].

Die Verdrängung führt bei nichtbindigen und nicht wassergesättigten bindigen Böden zu einer Verdichtung, bei wassergesättigten bindigen Böden zu einem Porenwasserüberdruck [20].

Bei Verdrängungspfählen kann weiters zwischen Ortbeton- und Fertigteilverdrängungspfählen unterschieden werden. Tab. 3.2 fasst die Pfahlsysteme nach dieser Unterscheidung zusammen:

Tab. 3.2: Verdrängungspfähle, nach [5]

Ortbetonverdrängungspfähle	Fertigteilverdrängungspfähle
• eingerammte Pfähle ◦ Franki-Pfahl ◦ Simplex-Pfahl ◦ Simpol-Pfahl ◦ Zeissl-Mast-Pfahl ◦ Raymond-Pfahl ◦ Alpha-Pfahl • gebohrte und gepresste Pfähle ◦ Atlas-Pfahl ◦ Fundex-Pfahl ◦ Fundex-Bento-Pfahl ◦ VB-Pfahl	• Holzrammpfähle • Fertigrammpfähle aus Stahl ◦ Stahlrohrpfahl Franki ◦ HP-Pfahl ◦ RI-, RV-, MV-Pfahl ◦ Einpresspfahl • Fertigrammpfähle aus Beton ◦ Betonpfahl ◦ Stahlbetonpfahl ◦ Spannbetonpfahl ◦ Schleuderbetonpfahl

3.3.2 Mikropfähle

Bohrpfähle mit einem Durchmesser $D < 300$ mm und Verdrängungspfähle mit einem Durchmesser $D < 150$ mm bezeichnet man gemäß ÖNORM B 1997-1-3 [39] als Mikropfähle. Demnach können Mikropfähle sowohl im Bohr- als auch im Verdrängungsverfahren hergestellt werden. Gebohrte Mikropfähle werden auch als Kleinbohrpfähle bezeichnet. Tab. 3.3 führt einige gebräuchliche Pfahlarten nach dieser Unterscheidung an [5].

Tab. 3.3: Mikropfähle, nach [5]

Gebohrte Mikropfähle (Kleinbohrpfähle)	Fertigteilverdrängungspfähle
• GEWI-Pfahl (Stabverpresspfahl) • MESI-Pfahl (Mehrstufeninjektionspfahl) • IBO-/Titan-Pfahl (Injektionsbohrpfahl)	• Duktil-Pfahl (Duktiles Gussrohr) • SVP-Pfahl (Stahlrohrverpresspfahl) • UNISIN-Pfahl (Stahlhülsenpfahl)

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die Herstellung von Kleinbohrpfählen umfasst grundsätzlich folgende Arbeitsschritte [5]:

1) Abteufen des Bohrlochs
2) Einbau der Bewehrung
3) Verpressen
4) Nachverpressen (optional)

Bei im Verdrängungsverfahren hergestellten Mikropfählen, erfolgt das Abteufen des Tragglieds meistens durch Rammen, seltener auch durch Pressen, Vibrieren oder Schrauben. Sie werden allerdings in der Regel gleichermaßen verpresst bzw. nachverpresst [24].

Die Ausführung von gebohrten Mikropfählen wird in der ÖNORM EN 14199 [41] geregelt. Sie finden vorrangig dann Anwendung, wenn beengte Platzverhältnisse vorliegen, die Herstellung weitgehend lärm- und erschütterungsarm ablaufen soll, hohe Tragfähigkeit bei kleinem Durchmesser gefordert wird, Zug-Druck-Wechselbeanspruchung vorliegt oder geneigte Pfähle hergestellt werden sollen. Häufige Anwendungsbereiche sind u.a. Auftriebssicherungen, Unterfangungen, Nachgründungen sowie Gründungs- und Sicherungsarbeiten im Hochgebirge [20].

3.3.3 Großbohrpfähle

3.3.3.1 Allgemeines

Großbohrpfähle sind nach dem Prinzip des Bodenaushubs hergestellte Pfähle mit Durchmessern ab 30 cm bis etwa 300 cm. Das Abteufen des Bohrlochs kann [5]

- bei standfestem Boden unverrohrt
- bei gering standfestem Boden verrohrt oder unter Flüssigkeitsstützung
- entweder als Trocken- oder Nassbohrverfahren

erfolgen. Beim Trockenbohrverfahren kommt weder zur Förderung des Bohrguts noch zur Stützung der Bohrlochwand eine Flüssigkeit zum Einsatz. Im Gegensatz dazu wird beim Nassbohrverfahren das Bohrgut mit einem Spülmedium gefördert und/oder die Bohrlochwand mit einer Flüssigkeit gestützt. Nach dieser Betrachtungsweise gehören Spülbohrverfahren, bei denen der Transport des Bohrguts mithilfe eines Spülmediums erfolgt, zu den Nassbohrverfahren. Eine Trockenbohrung mit Luftspülung ist auch als Spülbohrung anzusehen [30].

Eine Verrohrung erfolgt durch ein der Bohrung vorauseilendes Stahlrohr, das mithilfe einer hydraulischen Verrohrungsmaschine oder einer Rohrdrehmaschine drehend, schlagend oder vibrierend eingebracht wird. Verrohrungs- bzw. Rohdrehmaschinen sind meist an die Trägergeräte angeschraubt. [5] [20] [30]

Bohren mit Wasserauflast ist i.A. notwendig, wenn das Bohrloch unter den Grundwasserspiegel führen soll und zugleich aufgrund der Bodeneigenschaften die Gefahr von Ausspülungen besteht. Durch den damit erzeugten Wasserüberdruck wird ein hydraulischer Grundbruch in Form eines Sohlaufbruchs vermieden [20].

Die Herstellung eines Bohrpfahls beinhaltet folgende wesentliche Arbeitsschritte [10]:

1) Baustelleneinrichtung
2) Herstellung des Bohrplanums
3) Abstecken der Pfahlansatzpunkte
4) ev. Herstellung einer Bohrschablone
5) Abteufen der Bohrung

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

6) ev. Maßnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit
7) Einbringen der Bewehrung
8) Betonieren des Pfahls
9) Abschrämmen des Pfahlkopfes

Bei manchen Pfahlherstellungsverfahren wird die Bewehrung nach der bereits erfolgten Betonage in den Beton eingedrückt, d.h. Schritt 7) und 8) werden vertauscht. Handelt es sich im Schritt 6) um eine nachträgliche Mantelverpressung, so ist diese nach dem Schritt 8) durchzuführen.

3.3.3.2 Schlagbohrverfahren

Das Schlagbohrverfahren wird oft auch als Greiferbohrverfahren bezeichnet, da die Lösung und Förderung des Bohrguts meist mit Bohrgreifern erfolgt. Werden mitunter härtere Untergrundschichten wie Fels oder andere Hindernisse (Beton, Mauerwerk, Findlinge, Verkittungen, etc.) angetroffen, greift man zu deren Durchörterung auf Freifallmeißel zurück [5]. Ein weiteres Werkzeug ist der Ventilbohrer, der bei fließfähigen Böden (Sande) sowie bei locker gelagerten Kiesen unterhalb des Grundwasserspiegels zum Einsatz kommen kann [30].

Der Löse- und Fördervorgang findet in der Regel im Schutz einer Verrohrung statt. Dabei werden für Bohrwerkzeug und Verrohrungsmaschine Seilbagger als Trägergeräte eingesetzt [5]. Beim Schlag- oder Greiferbohrverfahren gibt es folgende Varianten [20]:

- unverrohrt
- unverrohrt mit Stützflüssigkeit
- verrohrt mit hydr. Maschine
- verrohrt mit statischer Auflast

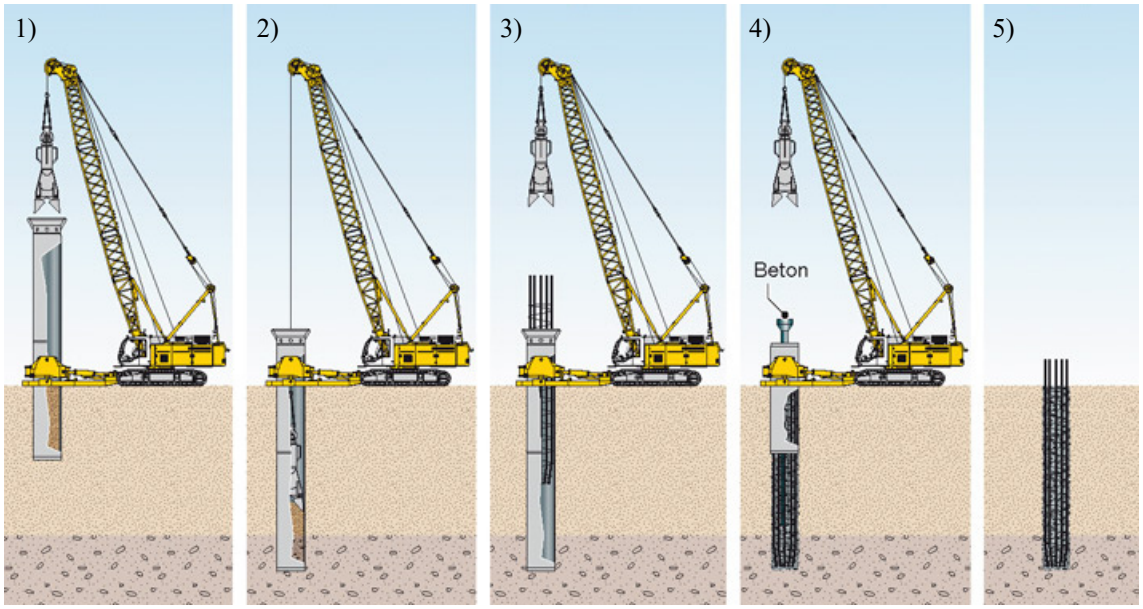


Abb. 3.1: Greiferbohrverfahren von [34]

Die Verfahrensschritte beim Greiferbohrverfahren (Abb. 3.1) sind [34]:

1) Eindrehen der Verrohrung
2) Aushub mit dem Bohrgreifer
3) Einstellen des Bewehrungskorbs

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

4) Betonieren und abschnittsweises Wiederziehen der Verrohrung
5) Fertiger Pfahl

3.3.3.3 Drehbohrverfahren

Kelly-Bohrpfähle

Das Kelly-Bohrverfahren hat seinen Namen von der zum Einsatz kommenden Kelly-Stange, einem Teleskopgestänge, an dem das Bohrwerkzeug geführt wird. Als Bohrwerkzeug können verschiedene Bohreimer oder kurze Bohrschnecken verwendet werden. Deshalb erfolgt die Materialförderung diskontinuierlich [5]. Hinsichtlich der Bohrlochstützung können folgende Varianten unterschieden werden [6]:

- ohne Verrohrung
- mit Flüssigkeitsstützung
- mit Primärverrohrung

Abb. 3.2 zeigt die Arbeitsschritte beim Kelly-Bohrverfahren nach [34]:

1) Eindrehen der Verrohrung
2) Abteufen des Bohrlochs (z.B. mit Bohrschnecke)
3) Einstellen des Bewehrungskorbs
4) Betonieren
5) Fertiger Pfahl

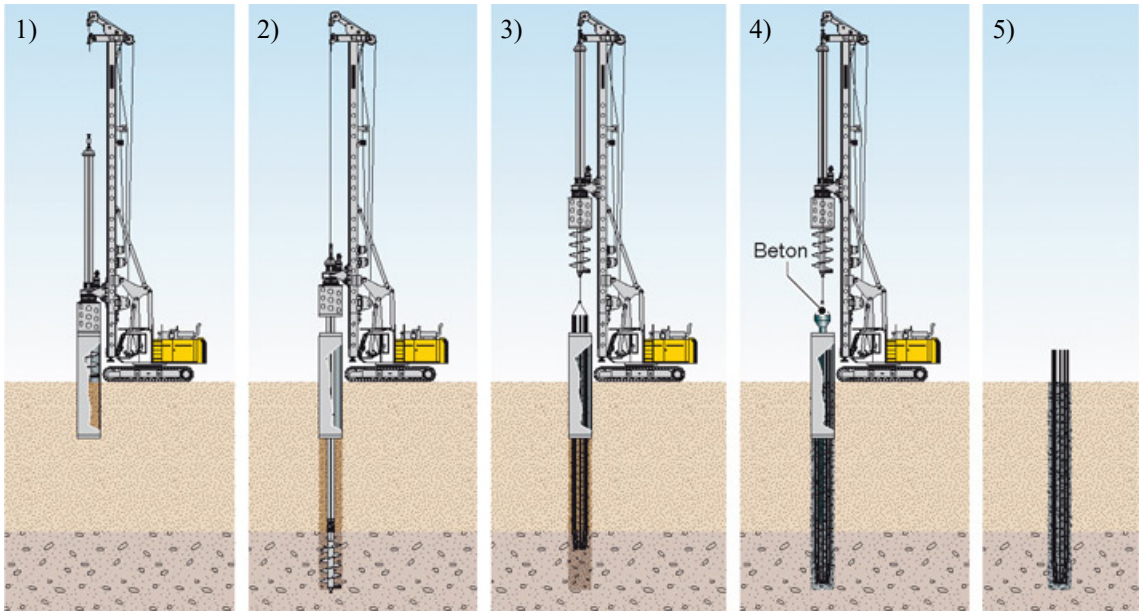


Abb. 3.2: Kellybohrverfahren von [34]

Unter Einsatz des richtigen Bohrwerkzeugs kann das Verfahren in allen Böden bis hin zu Fels zur Anwendung gelangen [30].

SOB-Pfähle

Die Herstellung von Schnecken-Ortbeton-Bohrpfähle (SOB, engl. CFA-Piles = Continous Flight Auger Piles) erfolgt mit einer langen, durchgehenden Schnecke, die eine kontinuierlichen

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Materialförderung ermöglicht. Das in Bohrschnecke geförderte Material stützt dabei die Bohrlochwand, sodass keine Verrohrung nötig ist [5].

Nach [6] gibt es folgende Verfahrensvarianten:

- mit dünnem Seelenrohr/dickem Seelenrohr
- verrohrt/unverrohrt
- VdW-Verfahren (siehe unten)

Abb. 3.3 zeigt die Verfahrensschritte zur Herstellung von SOB-Pfahlen:

1) Ansetzen der Bohrschnecke
2) Abteufen des Bohrlochs
3) Ziehen der Bohrschnecke unter gleichzeitigem Betonieren
4) Eindrücken/Einrütteln des Bewehrungskorbs
5) Fertiger Pfahl

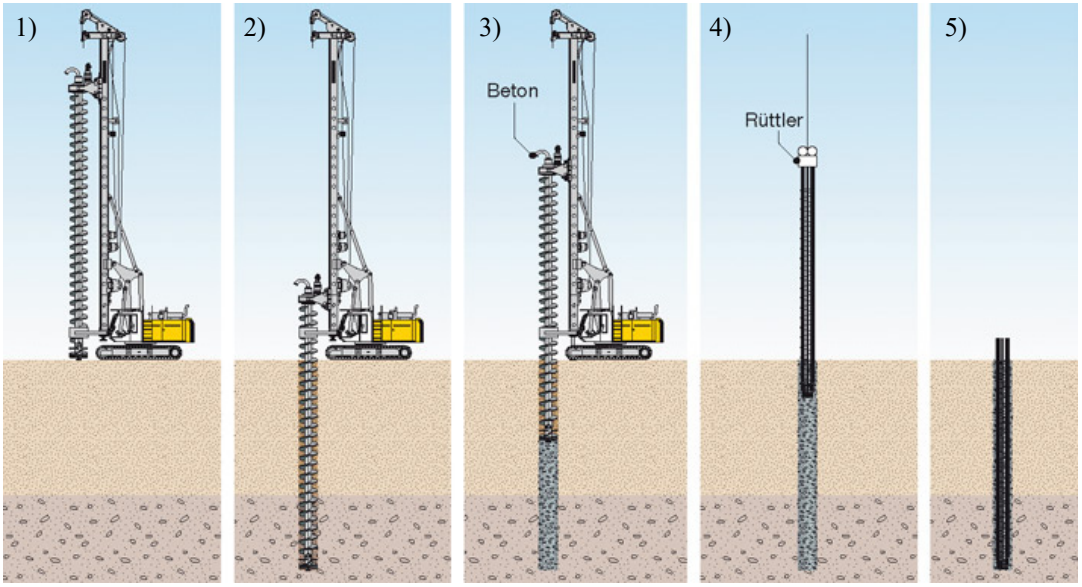


Abb. 3.3: Herstellung von SOB-Pfählen von [34]

VdW-Pfähle

Sogenannte Vor-der-Wand-Pfähle (VdW-Pfähle) haben ihre Bezeichnung wegen der Möglichkeit, diese Pfähle unmittelbar vor Wänden bestehender Bauten herstellen zu können. Dabei wird das Bohrloch von einer durchgehenden Schnecke innerhalb einer Verrohrung hergestellt. Das Abteufen der Bohrschnecke und Verrohrung erfolgt unter Einsatz zweier gegenläufiger Antriebe [5]. Deswegen spricht man auch vom Doppelkopfbohren. Dabei ist der seitliche Überstand des Doppelkopfes aufgrund der getrennten Antriebe von Schnecke und Verrohrung sehr gering, weshalb mit dem Gerät daher sehr knapp vor Wänden angesetzt werden kann.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

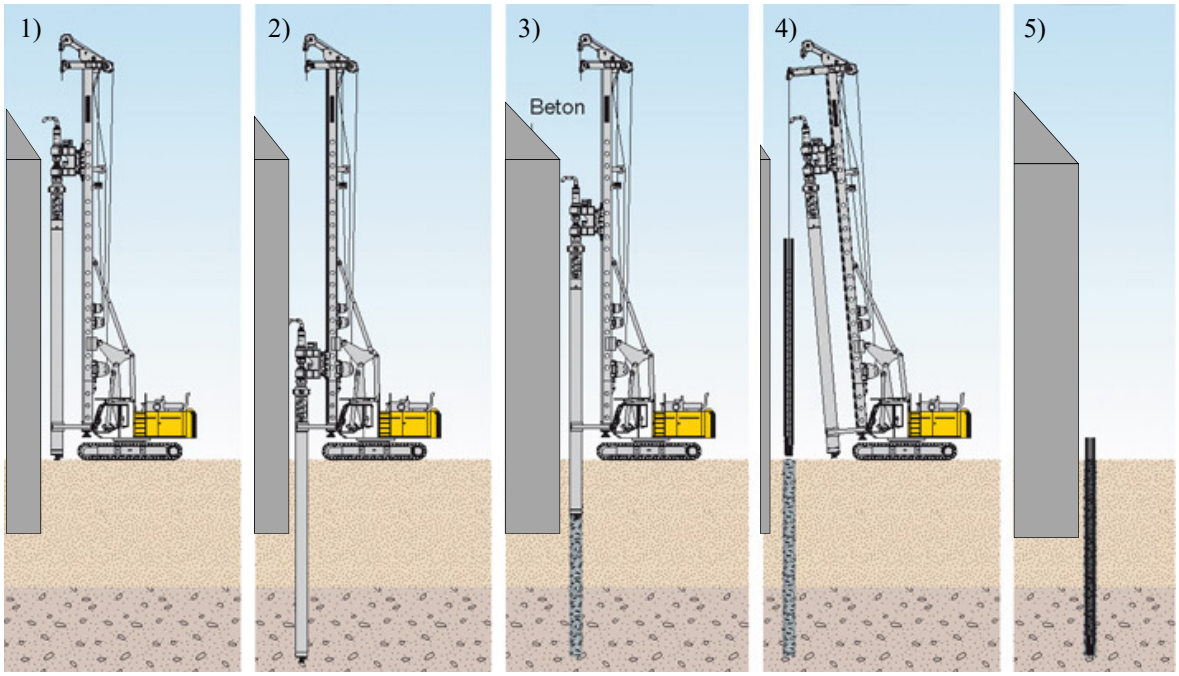


Abb. 3.4: Doppelkopfbohren im VdW-Verfahren von [34] (adaptiert)

Das in Abb. 3.4 dargestellte VdW-Verfahren beinhaltet folgende Arbeitsschritte:

1) Abteufen der verrohrten Bohrung im Doppelkopfbohrverfahren mit durchgehender Schnecke
2) Bohren bis zur geplanten Endtiefe
3) Ausbau der Bohrschnecke und Einbau des Bewehrungskorbes in das Bohrrohr
4) Einbringen des Betons im Kontraktorverfahren unter gleichzeitigem Ziehen des Bohrrohres
5) Fertigstellung und Kappen des Pfahles

3.3.3.4 Verdrängerbohrverfahren

Vollverdrängerbohrpfahl

Ein Vollverdrängerbohrpfahl (Full Displacement Pile, FDP) wir auch als Schraubpfahl bezeichnet, was dem Herstellungsprinzip eigentlich näherkommt. Denn Bohren bedeutet immer eine Materialförderung, wohingegen beim Vollverdrängerbohrpfahl der Boden ausschließlich seitlich verdrängt wird [20]. Die erfolgt mittels drehendem und/oder drückendem Abteufen eines konischen Verdrängerbohrwerkzeugs. Der Beton wird anschließend während drehendem Ziehen des Bohrwerkzeugs über die Hohlseele eingebracht. Es wird unterschieden zwischen dem Verfahren mit verlorener und ohne verlorene Spitze [30].

Teilverdrängerbohrpfahl

Wie der Name schon sagt, wird der Boden nicht vollständig, sondern nur zum Teil verdrängt und folglich zum Teil gefördert. Es kommen teilweise oder ganz durchgehende Bohrschnecken zum Einsatz.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.3.3.5 Weitere Bohrverfahren

Als spezielle Verfahren sind weiters folgende zu nennen:

- Hochstraßer-Weise-Verfahren
- Vibrationsverfahren (Sonic Drilling)
- Jumbo-Verfahren

3.3.3.6 Maßnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit

Zur Erhöhung der Pfahltragfähigkeit können bereits bei der Herstellung verschiedene Maßnahmen angewendet werden. Das vorrangige Ziel dabei ist meist nicht die Erhöhung der Pfahlbruchlast, sondern viel mehr die Verbesserung des Setzungsverhaltens, da oft der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit maßgebend ist [9].

Hinweise zur Wirkung solcher Maßnahmen werden qualitativ in Abschnitt 3.4.1.2 und quantitativ in Abschnitt 3.4.1.3 gegeben.

Pfahlmantelverpressung

Zur Erhöhung des Pfahlmantelwiderstands bei verrohrten Ortbetonpfählen oder auch SOB-Pfählen kann eine Mantelverpressung durchgeführt werden. Dazu werden am Bewehrungsrohr bzw. -korb Verpressrohre angebracht. Eher zu Beginn des Erhärtungsprozesses des Pfahlbetons wird dann zuerst mit hohem Wasserdruck die Betondeckung über den Injektionsventilen aufgesprengt, ehe danach Zementsuspension injiziert werden kann. Das Injektionsgut tritt dabei durch die so erzeugten Risse aus verfüllt den Mantelbereich [20]. Als Verpressrohre dienen Einfachventilrohre oder Manschettenrohre [9]. Ist gezieltes bzw. mehrmaliges Nachverpressen vorgesehen, müssen Verpresssysteme mit Spülmöglichkeit eingesetzt werden [24].

Pfahlfußverpressung

Eine Pfahlfußverpressung darf erst nach Abbinden des Pfahlbetons erfolgen, weshalb bei kombinierter Anwendung in der Regel die Mantel- vor der Fußverpressung durchgeführt wird [20]. Über Presskissen oder Auspressrohre mit Manschettenventilen, die mit der Bewehrung eingebaut werden, erfolgt eine Verpressung der Pfahlsohle. Bei laufender Kontrolle des Verpressdrucks sowie der Suspensionsmenge wird der Verpressvorgang in der Regel spätestens bei rund 2 mm Hebung beendet [9].

Zur Anwendung kommt eine Fußverpressung jedoch meist selten, da die Herstellkosten in Relation zur erzielbaren Wirkung vergleichsweise hoch sind [5].

Pfahlfußaufweitung

Vor allem bei Bohrpfählen, die im Drehbohrverfahren hergestellt werden, sind Pfahlfußaufweitungen zur Sohlflächenvergrößerung möglich [20]. Dabei kann sowohl für Druck- als auch Zugpfähle eine Erhöhung des axialen Tragwiderstands erzielt werden [13]. Der erweiterte Fußkörper wird bei Druckpfählen unbewehrt ausgeführt [20]. Insbesondere ist folgendes zu beachten, wobei für weitere Anforderungen auf [42] verwiesen wird:

- Fußaufweitungen dürfen nur in standfesten Böden hergestellt werden, weil dafür Hohlräume geschaffen werden müssen. Unterhalb des Grundwasserspiegels sind derartige Hohlräume mit Wasser- bzw. Flüssigkeitsauflast herzustellen [13]. Liegen Kiese mit Steinen oder Gerölllagen vor, ist eine Fußaufweitung nicht möglich. [20].
- Um einen etwaigen Verbruch der Hohlraumwand oder einen Sohlaufbruch zu bemerken, sollte die Sohle bis unmittelbar vor dem Betonieren durch ein Lot kontrolliert werden [20].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

- Laut [13] darf das Verhältnis von Fußhöhe zu Fußüberstand in nichtbindigen Böden nicht größer als 3:1 und in bindigen Böden nicht größer als 2:1 sein.
- Der Querschnitt des Fußes soll möglichst konzentrisch zum Pfahlquerschnitt liegen [13].

Die Nachteile des Zeit- bzw. Kostenaufwands, der schwierigen Herstellung im Grundwasser sowie die Leistungsfähigkeit heutiger Bohrpfähle sorgen dafür, dass Fußaufweitungen nur noch selten ausgeführt werden, beispielsweise bei konzentrierten Einzellasten, wo eine Lastverteilungskonstruktion in Kombination mit mehreren Pfählen nicht ausführbar ist [6].

Hinsichtlich Herstellverfahren werden verschiedene Systeme in [6] angeführt.

3.4 Tragverhalten von Pfählen unter statischer Belastung

Bei der Betrachtung des Tragverhaltens von Pfählen ist zwischen innerem und äußerem Tragverhalten zu unterscheiden.

Das innere Tragverhalten beschreibt die Beanspruchbarkeit des Pfahlbaustoffes an sich, der den Einwirkungen aus den Bauwerkslasten, der Herstellung, des Transportes (bei Fertigteilpfählen) und des Einbringvorgangs widerstehen muss [9]. Der innere Tragwiderstand eines Pfahls ist nach den einschlägigen Normen aus dem Stahl-, Stahlbeton-, Verbund- oder Holzbau nachzuweisen und kann meist getrennt vom umgebenden Baugrund betrachtet werden [20]. Aus diesem Grund wird auf das innere Tragverhalten in diesem Abschnitt nicht näher eingegangen.

Das äußere Tragverhalten umfasst die Übertragung der in den Pfahl eingeleiteten Lasten auf den umgebenden Boden, der dadurch keine unzulässigen Verformungen oder Bruchzustände aufweisen soll [9] [20]. Gemäß ÖNORM B 1997-1-3 [39] sind hinsichtlich der äußeren Belastung von Pfählen folgende Fälle zu unterscheiden:

- axial auf Druck oder Zug belastete Pfähle (siehe Abschnitt 3.4.1)
- quer zur Achse belastete Pfähle (siehe Abschnitt 3.4.2)
- axial und querbelastete Pfähle (siehe Abschnitt 3.4.3)

Die folgenden Abschnitte erläutern das Tragverhalten von Einzelpfählen unter statischen (ruhenden) Belastungen. Das Tragverhalten bei nichtruhenden Einwirkungen wird in Abschnitt 3.5 behandelt. Eine Grenze zur abweichenden Tragwirkung von Pfahlgruppen wird im Abschnitt 3.6 gezogen.

3.4.1 Axial belastete Pfähle

3.4.1.1 Allgemeines

Meist werden Pfähle in vertikaler bzw. axialer Richtung auf Druck belastet. Dabei ergibt sich der äußere Gesamtwiderstand eines Pfahls R_c [MN] aus der Summe folgender zwei Anteile [9]:

- Pfahlfußwiderstand R_b [MN] (Index b für base resistance)
- Pfahlmantelwiderstand R_s [MN] (Index s für shaft resistance)

$$R_c(s) = R_b(s) + R_s(s) \tag{3.1}$$

Der Pfahlfußwiderstand (oder auch Pfahlsohldruckwiderstand) baut sich als Druckspannung an der Sohlfläche des Pfahles auf, während es sich beim Pfahlmantelwiderstand um Mantelreibung zwischen Pfahl und Boden bzw. Fels handelt [20]:

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

$$R_c = R_b + R_s = q_b \cdot A_b + \sum_i q_{s,i} \cdot A_{s,i} \tag{3.2}$$

q_b ..... Pfahlfußwiderstand [MN/m²]
$q_{s,i}$ ..... Pfahlmantelwiderstand in der jeweiligen Schicht i [MN/m²]
A_b ..... Pfahlfußfläche [m²]
$A_{s,i}$ ..... Pfahlmantelfläche in der jeweiligen Schicht i [m²]

Aufgrund der beiden Anteile des Pfahlwiderstands kann man zwei unterschiedliche (theoretische) Grenzfälle im Tragverhalten betrachten [5] [20]:

- Man spricht von einem *stehenden Pfahl* oder „Fußwiderstandspfahl“, wenn sein Schaft in einer geringtragfähigen Schicht liegt und dessen Fuß in eine relativ steife, verformungsarme Schicht einbindet. In diesem Fall werden (nahezu) sämtliche Lasten über den Pfahlfußwiderstand aufgenommen (Abb. 3.5, links).
- Im Gegensatz dazu trägt ein *schwimmender Pfahl* oder „Mantelwiderstandspfahl“ einwirkende Lasten aufgrund der fehlenden Einbindung in eine tragfähige Schichte (fast) ausschließlich über die Mantelreibung entlang des Schaftes ab (Abb. 3.5 (b)).

Da Spitzendruck und Mantelreibung die alten Begriffe für Mantelwiderstand und Fußwiderstand sind, sind die Bezeichnungen Spitzendruck- bzw. Mantelreibungspfahl zwar weiterhin geläufig, werden in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht verwendet.

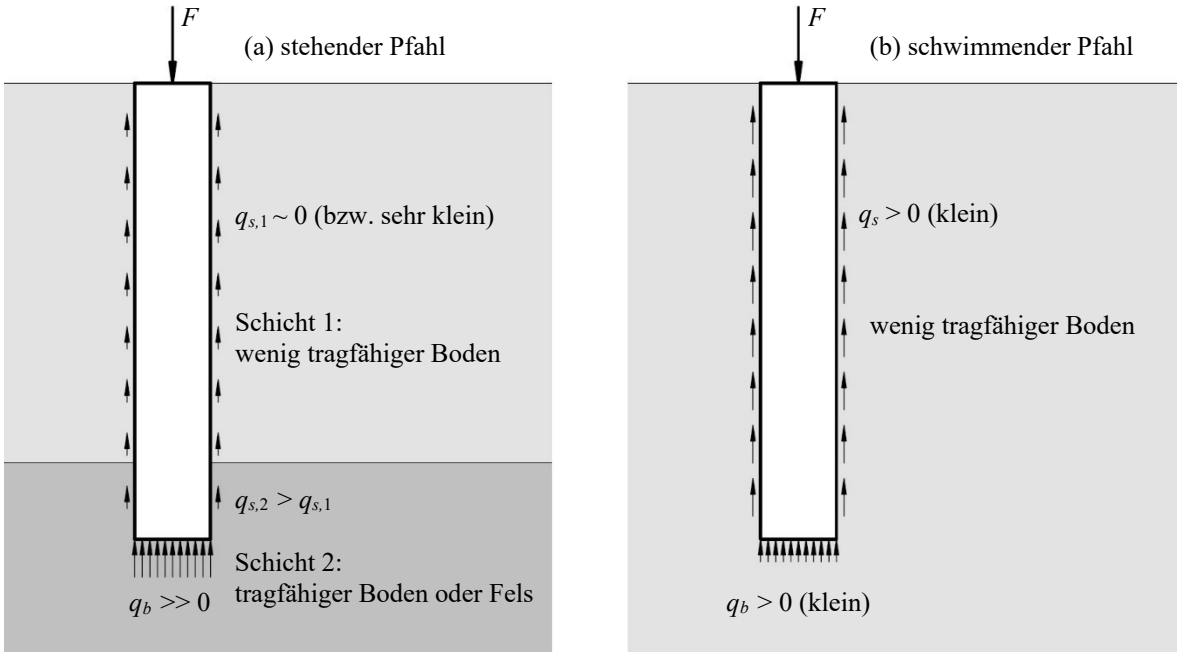


Abb. 3.5: Stehender Pfahl (a) und schwimmender Pfahl (b) nach [5]

Bei Zugpfählen entspricht der Gesamtwiderstand dem Pfahlmantelwiderstand, da ein Pfahlfußwiderstand nicht aktiviert werden kann [5].

Sowohl der Pfahlmantel- als auch Pfahlfußwiderstand werden von der Herstellungsmethode, von den Baugrundeigenschaften, vom Pfahlbaustoff, von der Pfahlsetzung sowie von der Einbindetiefe beeinflusst [15]. Einige dieser Einflüsse werden im folgenden Abschnitt erläutert.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.4.1.2 Einflüsse auf das axiale Tragverhalten

Setzungsabhängigkeit

Sowohl der Anteil des Pfahlmantel- als auch des Pfahlfußwiderstands hängen von der unter der (Druck-) Belastung auftretenden Setzung ab, weshalb der Pfahlwiderstand wie in Gleichung (3.1) auch als Funktion der Setzung *s* geschrieben wird. Graphisch wird dieser Zusammenhang durch die Widerstands-Setzungslinie (WSL) dargestellt [20]. Bei Zugpfählen handelt es sich dementsprechend um Widerstands-Hebungslinien [9].

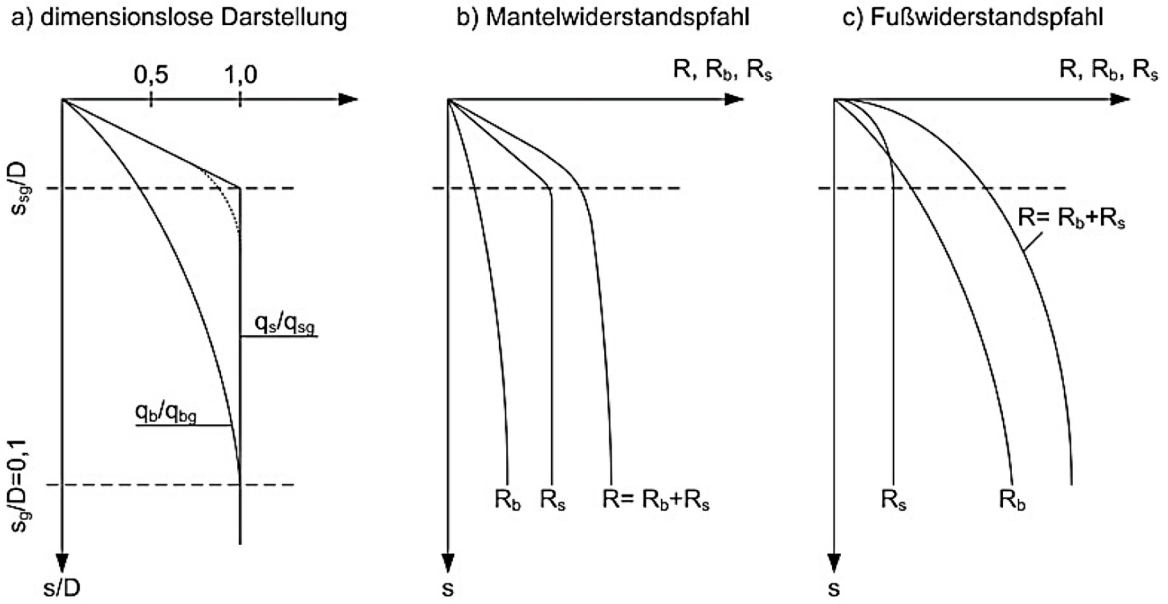


Abb. 3.6: Widerstand-Setzungslinien je nach Anteil Fuß- und Mantelwiderstand aus [9]: a) dimensionslose WSL, b) Mantelwiderstandspfahl, c) Fußwiderstandspfahl

Abb. 3.6 a) zeigt den mehr oder weniger parabolischen Verlauf des Pfahlfußwiderstands und die idealisierte, bilineare Annäherung an den Pfahlmantelwiderstand [20]. Demnach wird die größtmögliche Mantelreibung bei der Grenzsetzung s_{sg} [cm] erreicht (Gleichung (3.3)). Dort findet der Übergang von einem elastischen zu einem plastischen Tragverhalten des Mantelwiderstands statt. Ab der Grenzsetzung kann kein zusätzlicher Mantelwiderstand mehr aktiviert werden.

$$s_{sg} = 0{,}5 \cdot (1 + R_{s,k}(s_{sg})) \leq 3\ cm \tag{3.3}$$

mit dem charakteristischen Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k}$ in [MN]

Beim Vergleich von Abb. 3.6 b) und c) erkennt man, dass der Knick in der Mantel-Widerstands-Setzungslinie umso undeutlicher ausfällt, je kleiner der Anteil des Pfahlfußwiderstands am Gesamtwiderstand ist – also ob es sich um einen Mantelreibungspfahl oder Fußwiderstandspfahl handelt [9]. Da infolge dessen ein mögliches Bruchversagen schwer erkennbar ist, wurde für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) eine Grenzsetzung s_g von 10 % des Pfahldurchmessers D festgelegt [20] (vgl. Abb. 3.6 a)):

$$s_g = 0{,}10 \cdot D \tag{3.4}$$

Aufgrund der Setzungsabhängigkeit ist beim Ansatz von Mantelreibung und Sohldruckwiderstand stets deren jeweiliger Mobilisierungsgrad zu berücksichtigen. Dies lässt sich bei abermaliger Betrachtung von Abb. 3.5 nachvollziehen. Während es bei einem stehenden Pfahl schon bei einer relativ

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

geringen Setzung zur vollen Aktivierung des Sohldruckwiderstands kommt, würde die Mantelreibung erst bei einer größeren Setzung voll mobilisiert werden[5].

Tiefenabhängigkeit

Die Größe der Mantelreibung steigt im Allgemeinen zunächst mit zunehmender Pfahltiefe, ehe sie im Pfahlfußbereich wieder absinkt. Dieses Phänomen fällt unter den Begriff „Falltüreffekt“, der modellhaft in Abb. 3.7 dargestellt ist. Dabei sackt nach dem Ausweichen der Falltür Boden nach, wodurch sich eine Gewölbetragwirkung einstellt.

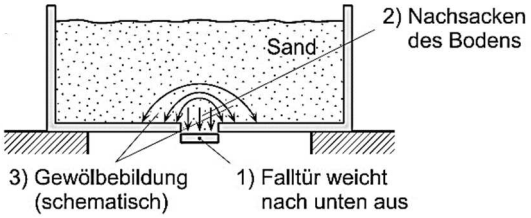


Abb. 3.7: „Falltüreffekt“ aus [24]

Die folgende Abb. 3.8 zeigt den Falltüreffekt bei einem Druckpfahl. Infolge der Last Q wird der Boden unter dem Pfahlfuß zusammengedrückt, wodurch Boden ringsum des Pfahls nachsackt. Dadurch wird der umgebende Boden in vertikaler Richtung entlastet, woraufhin sich eine Gewölbetragwirkung einstellt. Mit der vertikalen geht auch eine horizontale Entlastung einher, wodurch es im Bereich des Pfahlfußes zu einer Abnahme der Mantelreibung [9] und insgesamt zu einer Verspannung des Bodens [20] kommt. Die Abnahme der Mantelreibung hängt dabei vor allem von der Pfahlherstellungsart (Rammen, Bohren, etc.) und dem vorliegenden Untergrund (Sand, Ton, etc.) ab [9]. Die Zusammendrückung kann bei Sanden oder Kiesen auch dadurch verstärkt werden, wenn es aufgrund des hohen Spitzendrucks zu Kornbrüchen kommt [20]. Nach [9] kann ab einem Verhältnis der Pfahleinbindetiefe *d* zum Durchmesser *D* von 15 von einem konstanten Verlauf der Mantelreibung ausgegangen werden.

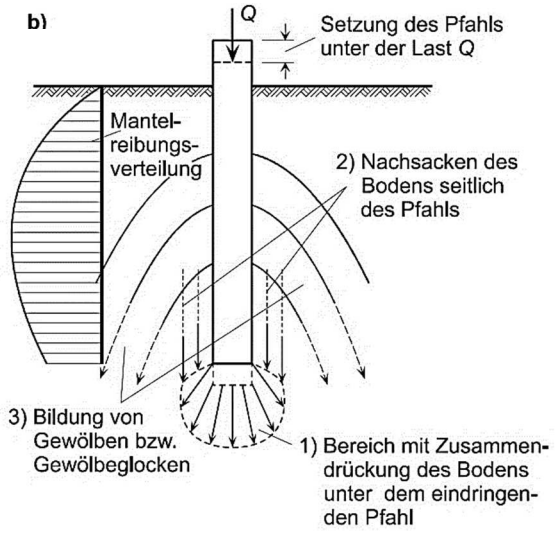


Abb. 3.8: Tragmodell bei einem Druckpfahl aus [24]

Bei Zugpfählen tritt keine Abnahme der Mantelreibung im Pfahlfußbereich auf [20].

Eine Tiefenabhängigkeit ist auch beim Pfahlfußwiderstand gegeben. In der Realität tritt nämlich der aus der naheliegenden Folgerung einer linearen Zunahme des Pfahlfußwiderstands mit zunehmender

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tiefe analog zur Überlagerungsspannung nicht uneingeschränkt ein [20]. Stattdessen stellt sich der Verlauf gemäß Abb. 3.9 dar. Die Einbindetiefe d wird wiederum auf den Durchmesser D bezogen. Es ist ersichtlich, dass der Pfahlfußwiderstand ab einer gewissen Tiefe bzw. kritischen Verhältnis $(d/D)_{kr}$ mehr oder weniger konstant ist. In dieser Tiefe ist eine Art „Versinkungsgrenze“ erreicht, ab der bei zunehmender Setzung bzw. Einbindetiefe kein zusätzlicher Pfahlfußwiderstand mehr aktiviert werden kann. Auch hier gilt $(d/D)_{kr}$ ~15 [20].

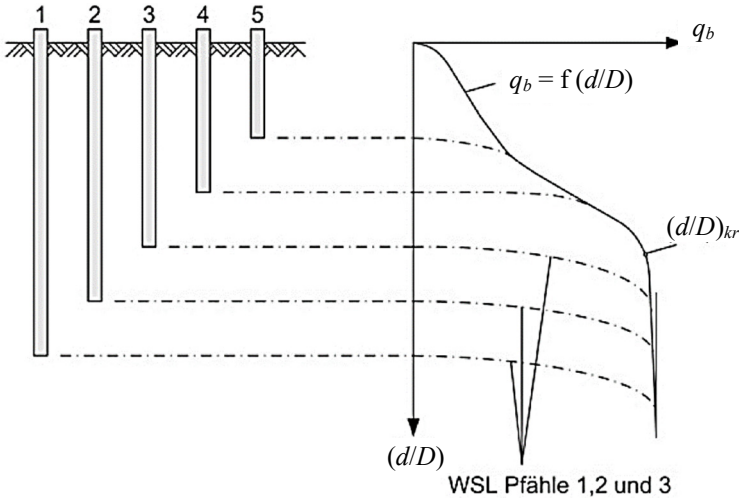


Abb. 3.9: Tiefenabhängigkeit des Pfahlfußwiderstands q_b aus [9] (adaptiert)

Durchmesserabhängigkeit

Wie aus den Erläuterungen oben schon ableitbar ist, hängt der Pfahlsohldruck vom Durchmesser ab. Die Durchmesserabhängigkeit äußert sich insbesondere bei dicht gelagerten, nichtbindigen Böden und wird durch folgende Hyperbelgleichung beschrieben [20]:

$$q_b \cdot D_b = const. \tag{3.5}$$

Die Gleichung (3.5) gilt für lockere, nichtbindige Böden, wo dieser Einfluss stark abnimmt, jedoch nicht mehr. Ebenfalls sinkt der Einfluss des Pfahldurchmessers, je geringer die Setzungen und je geringer die Baugrundfestigkeit ist [9].

Herstellungseinflüsse

In [20] wird auch zudem angeführt, dass das Pfahltragverhalten auch maßgeblich vom Einbringvorgang (Rammen, Bohren, Vibrieren, etc.) abhängt. Etwaige Gewölbespannungen oder auch Konsolidationseffekte treten vor allem bei Verdrängungspfählen auf, bauen sich mit der Zeit allerdings ab [9]. Bei Bohrpfählen kann die Herstellung Auflockerungen verursachen [15].

Mantelverpressung, Fußverpressung und Fußaufweitung

Im Zuge einer Mantelverpressung wird der umliegende Boden von der Zementsuspension verdrängt, wodurch es zu einem Anstieg des seitlichen Erddrucks kommt. Damit geht schließlich auch eine Erhöhung der Mantelreibung einher [9]. Da der Mantelreibung mit steigender Pfahleinbindetiefe höhere Bedeutung zukommt, kann eine Mantelverpressung insbesondere bei langen Pfählen eine wesentliche Tragwiderstandserhöhung erzielen [20].

Eine Fußverpressung allein führt zu keiner wesentlichen Traglaststeigerung, sondern es werden in erster Linie lediglich Unregelmäßigkeiten im Sohlbereich kompensiert. Allerdings wird aufgrund

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

dieser Vorbelastung ein gewisses Maß an Setzungen vorweggenommen, wodurch im Gebrauchszustand nur noch geringe Zusatzsetzungen auftreten [5].

Mittels Mantel- und Fußverpressungen lässt sich im Vergleich zu einem unverpressten Pfahl eine Traglaststeigerung um rund 50 bis 100 % erreichen. Rechnerisch kann die Wirkung dieser Maßnahmen jedoch schwer abgebildet werden [9].

Eine Fußaufweitung ist bei genauerer Betrachtung nur mäßig effektiv. Zwar wächst der Pfahlfußwiderstand mit dem Quadrat des Durchmessers, gleichzeitig nehmen jedoch auch die Setzungen mit steigendem Durchmesser linear zu, weshalb die Tragfähigkeit insgesamt mit dem Fußdurchmesser nur proportional steigt. Außerdem besteht beispielsweise bei nicht standfesten (nichtbindigen) Böden die Gefahr, dass Boden in den Aufweitungshohlraum nachrutscht und dadurch die Mantelreibung im darüberliegenden Bereich herabgesetzt wird [5]. Nach [20] ist weiters zu bedenken, dass beispielsweise die Erfahrungswerte für den Pfahlspitzendruck nach [13] nur zu 75 % angesetzt werden dürfen.

Negative Mantelreibung

In den meisten Fällen setzt sich ein druckbelasteter Pfahl in größerem Ausmaß als der ihn umgebende Boden, wodurch die (günstig) entgegenwirkende (positive) Mantelreibung entsteht. Das Gegenteil ist die negative Mantelreibung, die auftreten kann, wenn sich der Boden ringsum stärker setzt als der Pfahl selbst [20]. Da sich der Boden infolgedessen gewissermaßen am Pfahl „aufhängt“, entsteht eine Zusatzbeanspruchung, die auf den Pfahl wirkt [9]. In der Literatur und Normung [39] wird die negative Mantelreibung mit τ_n [MN/m²] bezeichnet. Sie kann vor allem bei weichen, bindigen Schichten [20], aber auch sehr locker gelagerten, grobkörnigen Schichten auftreten [39].

Ursachen für die Relativsetzung zwischen dem Pfahl und solcher Schichten können beispielsweise nachträgliche Aufschüttungen (Abb. 3.10), Grundwasserabsenkungen oder Konsolidationsvorgänge sein [9] [20].

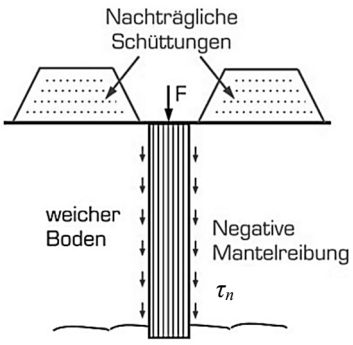


Abb. 3.10: Negative Mantelreibung zufolge nachträglicher Schüttungen aus [5] (adaptiert)

Bei Zugpfählen kann dieses Phänomen in umgekehrter Weise auftreten, indem etwa durch einen Aushub nach der Pfahlherstellung infolge der Entlastung Hebungen auftreten, und der Boden den Pfahl gewissermaßen nach oben zieht [9].

3.4.1.3 Ermittlung des axialen Trag- und Verformungsverhaltens

Erdstatische Ansätze aus der Literatur

Im Wesentlichen gehen erdstatische bzw. bodenmechanische Ansätze zur Berechnung des Pfahlfußwiderstands von einem grundbruchartigen Versagen unterhalb des Pfahlfußes aus, bei dem der Boden seitlich verdrängt und verdichtet wird [5]. Aufgrund teilweise signifikanter Unterschiede in den Ergebnissen gelten deartige Ansätze heute als überholt und dürfen zu Bemessung nicht mehr angewandt werden [20]. Folglich werden sie hier nicht weiter behandelt.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Ansätze für den Pfahlmantelwiderstand beruhen auf dem Reibungsgesetz. Die horizontale Erddruckkraft infolge Bodenauflast bewirkt eine Normalspannung auf den Pfahlmantel. Die übertragbare Reibungskraft hängt dann vom Wandreibungswinkel zwischen Pfahlmantel und Boden ab. Eine etwaige Kohäsion wirkt direkt als Spannung auf den Pfahlmantel [5]. Aus dem gleichen Grund wie beim Pfahlfußwiderstand werden auch sie hier nicht angeführt (für Details siehe [5])

Empirische Ansätze

Empirische Ansätze werden an verschiedenen Labor- und Feldversuchen kalibriert, wonach auch die Einteilung erfolgt [20]:

- Rammsondierungen (DPH) in nichtbindigen Böden
- Drucksondierungen (CPT) in nichtbindigen Böden
- Standard Penetration Tests (SPT)
- Pressiometerversuch (PMT)
- α-Methode (c_u-Werte)

Da die einzelnen Verfahren vorwiegend auf Verdrängungspfähle abgestimmt sind, werden sie hier nicht weiter behandelt. Gleiches gilt für die vor allem früher verwendeten Rammformeln.

Numerische Berechnungen

Numerische Berechnungen (siehe auch Abschnitt 3.4.2.3) werden heutzutage in vielen Bereichen der Geotechnik angewendet – eben auch zur Ermittlung von Pfahlwiderständen und -verschiebungen. Wichtig dabei ist die Modellierung des Pfahls sowie des Bodens mit geeigneten Stoffgesetzen [20]. Nachfolgend sind die wichtigsten Stoffgesetze aufgelistet [5]&[20]:

- Lineare Elastizität
- Elastoplastizität
  - Ideale Plastizität (z.B. Modell nach Mohr-Coulomb (MC), Drucker-Prager, …)
  - Plastizität mit isotroper Verfestigung (z.B. Hardening-Soil-Modell (HS), Cam-Clay-Modell, …)
  - Plastizität mit kinematischer bzw. kombinierter Verfestigung (z.B. Hardening-Soil-Small-Strain-Modell (HSS))
- Hypoplastizität

Spezialisierungen zu den angeführten Stoffgesetzen berücksichtigen u.a. [5]:

- wassergesättigte Böden
- teilgesättigte Böden
- schnelle Verformungen
- Zeitabhängigkeit
- Zementierung
- Kornbruch
- höhere Kontinua

Mit linearer Elastizität können zwar keine plastischen Verformungen erfasst werden [5], jedoch eignet sie sich in vielen Fällen zur Modellierung des Pfahlbaustoffs [20].

Mit einem ideal-plastischem Modell wie etwa jenes nach Mohr-Coulomb können plastische Verformungen erfasst werden [5].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Mithilfe von Hypoplastizität können beispielsweise zyklische Beanspruchungen modelliert werden [20]. Es eignet sich insbesondere für nichtbindige Böden [5].

Detaillierte Beschreibungen der einzelnen Stoffmodelle sind in [5] zu finden.

Grundsätzlich lässt sich das Untergrundverhalten umso realistischer modellieren, je höherwertig das Stoffgesetz ist. Jedoch steigt damit auch die Anzahl der bodenmechanischen Eingabeparameter, deren ausreichende Kenntnis oft schwierig oder gar nicht zu erlangen ist [20]. Ebenso gehen mit steigender Modellkomplexität auch längere Rechenzeiten einher.

Die Modellierung des Pfahles verlangt neben der Definition des Materialverhaltens des Pfahlkontinuums auch die Modellierung des Kontaktbereichs zwischen Boden und Pfahl [20].

Eine numerische Berechnung für Bohrpfählen liefert insofern bessere Ergebnisse als für Verdrängungspfähle, da beim Bohren der umgebende Boden weniger gestört wird. Bei der numerischen Berechnung von Bohrpfählen ist auf eine mögliche Überschätzung der Mantelreibung infolge des Einflusses der Dilatanz hinzuweisen. Um dem entgegenzuwirken kann beispielsweise im Hardening-Soil-Modell die Dilatanz über die Lagerungsdichte und Porenzahl begrenzt begrenzt werden. Weiters kann die Auflockerungszone unterhalb der Sohlfläche eines Bohrpfahls mit Schicht geringerer Steifigkeit berücksichtigt werden [20].

Ermittlung nach aktueller Normung

Nach ÖNORM B 1997-1-3 [39] bestehen zur Ermittlung der axialen Pfahlwiderstände folgende Möglichkeiten:

1) statische Probebelastungen
2) dynamische Probebelastungen
3) Auswertung von Proberammungen mittels Rammformeln
4) Berechnung mittels Tabellenwerten
5) Erfahrungswerte

Probebelastungen in repräsentativem bzw. vergleichbaren Baugrund liefern in der Regel die verlässlichsten Ergebnisse über die erzielbaren Pfahlwiderstände und stellen daher das bevorzugte Verfahren dar. Schließlich stammen sowohl Tabellen- als auch Erfahrungswerte ebenfalls aus Probebelastungen oder Baugrundversuchen und Rammformeln müssen an Proberammungen kalibriert sein [39]. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und des Zeitbedarfes wird jedoch zumeist auf Erfahrungs- oder Tabellenwerte zurückgegriffen, die jedoch in der Bemessung mit Modellfaktoren abgesichert werden.

Die verlässlichste Methode zur Bestimmung von Pfahlwiderständen sind statische Probebelastungen. Dies äußert sich auch in der Bemessung (siehe Abschnitt 3.8) [39]. Im Allgemeinen wird der charakteristische Pfahlwiderstand aus dem mit Streuungsfaktoren abgeminderten Mittelwert und Minimum der gemessenen Werte ermittelt [39]. Mit den Streuungsfaktoren werden Unsicherheiten aus der Pfahlherstellung und dem Baugrund abgedeckt. Die Höhe der Abminderung hängt von Art und Anzahl der Probebelastungen ab (siehe ebenfalls Abschnitt 3.8). Aus statischen Probebelastungen können aber auch vollständige Widerstands-Setzungs-Linien (WSL) bzw. Widerstands-Hebungslinien (WHL) abgeleitet werden (vgl. Abb. 3.6) Dabei muss zwischen dem Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) und dem Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) unterschieden werden. Ist für den GZT der Grenzwiderstand aus der WSL nicht eindeutig ableitbar, so ist Gleichung (3.4) heranzuziehen [20].

Erfahrungswerte sind nichts anderes, als charakteristische Widerstands-Setzungs-Linien, die auf Grundlage von Erfahrungen mit Probebelastungen definiert worden sind. Abb. 3.11 a) zeigt die charakteristische WSL eines druckbeanspruchten Bohrpfahls. Ab der Grenzsetzung s_{sg} nach Gleichung (3.3) kann kein zusätzlicher Mantelwiderstand $R_{s,k}$ mehr aktiviert werden. Das Maximum des

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Pfahlfußwiderstands $R_{b,k}$ ist ebenso bei der Grenzsetzung s_g (vgl. Gleichung (3.4)) definiert wie der Gesamtwiderstand des Druckpfahls $R_{c,k}$.

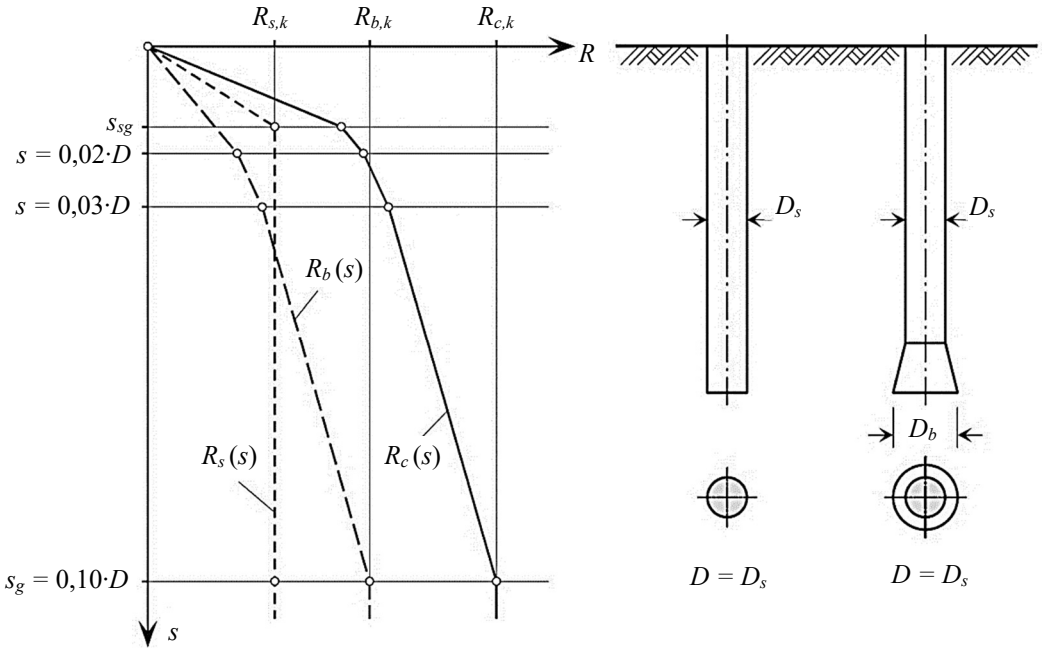


Abb. 3.11: a) Charakteristische Widerstands-Setzungs-Linie für Bohrpfähle, b) Definition des maßgebenden Pfahldurchmessers D ohne und mit Pfahlfußaufweitung, nach EA-Pfähle [13] aus [5] (adaptiert)

Aus dynamischen Probebelastungen dürfen Pfahlwiderstände nach [39] nur dann abgeleitet werden, wenn eine Kalibrierung an statischen Probebelastung erfolgte.

Die Vorbereitung und Durchführung von Probebelastungen wird u.a. in Abschnitt 3.9 erläutert.

3.4.2 Lateral belastete Pfähle

3.4.2.1 Allgemeines

Unter lateralem (seitlichem) Tragverhalten wird das Lastverformungsverhalten von quer zur Achse oder längs und quer zur Achse beanspruchten Pfählen verstanden. Da Pfähle meist vertikal stehend (bzw. schwimmend) im Untergrund hergestellt werden, ist laterales Tragverhalten gleichbedeutend mit horizontalen Tragverhalten. Dies sei an dieser Stelle erwähnt, da in dieser Arbeit beide Bezeichnungen verwendet werden.

Das im vorliegenden Abschnitt 3.4.2 behandelte laterale Tragverhalten von Pfählen tritt insbesondere bei folgenden geotechnischen Bauwerken auf:

- Pfahlgründungen von Widerlagern integraler sowie semi-integraler Brücken
- Pfahlwände für Baugruben
- Pfahlgründungen von Hochwasserschutz- und Lärmschutzwänden sowie Schilderbrücken
- Hangstabilisierungen und Stützbauwerke
- Monopile-Gründungen von Windkraftanlagen
- Dalben, Ufereinfassungen und Schleusenbauwerke

Bei horizontalen Belastungen wird in [24] nach *De Beer* zwischen aktiver und passiver Pfahlbeanspruchung unterschieden. Diese Unterscheidung soll durch Abb. 3.12 erläutert werden. Im linken

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bild 1) ist die aktive Belastung durch eine äußere Horizontalkraft H [kN] zu sehen, während im rechten Bild 2) ein Pfahl vom Fließdruck p_f [kN/m²] beansprucht wird, der aus der Fließbewegung des (aus)weichen(den) Bodens resultiert.

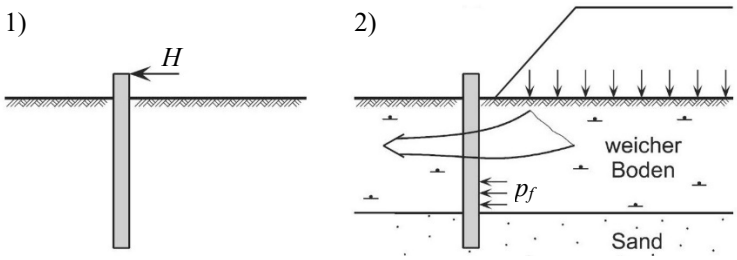


Abb. 3.12: aktive (1) und passive (2) Horizontalbelastung aus [24] (adaptiert)

Die aktive Belastung ist beispielsweise eine horizontale Bauwerksauflagerkraft, kann aber auch (zusätzlich) ein Moment beinhalten. Der Fließdruck p_f kann nach *Priebe* mit Gleichung (3.6) in Abhängigkeit von der undrainierten Kohäsion c_u abgeschätzt werden:

$$p_f = 7 \cdot c_u \tag{3.6}$$

Weitere passive Horizontalbelastungen treten als Seitendruck auf Pfähle gemäß Abb. 3.13 auf.

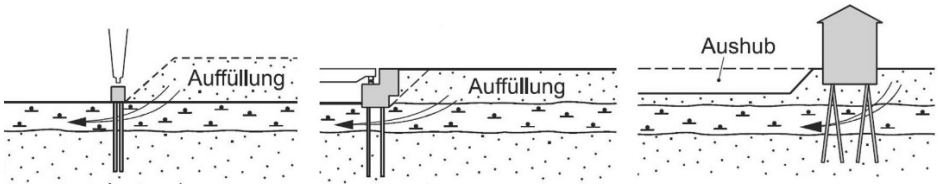


Abb. 3.13: Ursachen für Seitendruck auf Pfähle aus [24]

Im vorliegenden Abschnitt zum lateralen Tragverhalten liegt der Fokus auf der aktiven Horizontalbelastung, also am Pfahlkopf angreifenden Lasten. Daraus resultiert eine Biegebeanspruchung des Pfahls. Die Lastabtragung erfolgt somit über die horizontale Bettung im Baugrund [24].

Bei Pfählen unter lateraler Belastung sind weiters zwei Grenzfälle zu betrachten [20]:

- kurze, starre Pfähle (Typ 1)
- lange, biegeweiche Pfähle (Typ 2)

Abb. 3.14 a) zeigt die Verformung eines langen, Pfahls unter der Horizontallast H. An der dazugehörigen Verformungslinie kann man erkennen, dass durch die Bettung k am Pfahlfuß keine Horizontalverschiebung y auftritt. Eingespannt ist der Pfahl jedoch nicht, da am Fußpunkt das Moment $M = 0$ ist. Der kurze, starre Pfahl in Abb. 3.14 b) erfährt aufgrund der Belastung bei sonst gleichen Bettungseigenschaften eine Verdrehung um einen Punkt, der höher als der Fußpunkt liegt. Der Fußpunkt weist demzufolge eine Verschiebung y auf [15].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

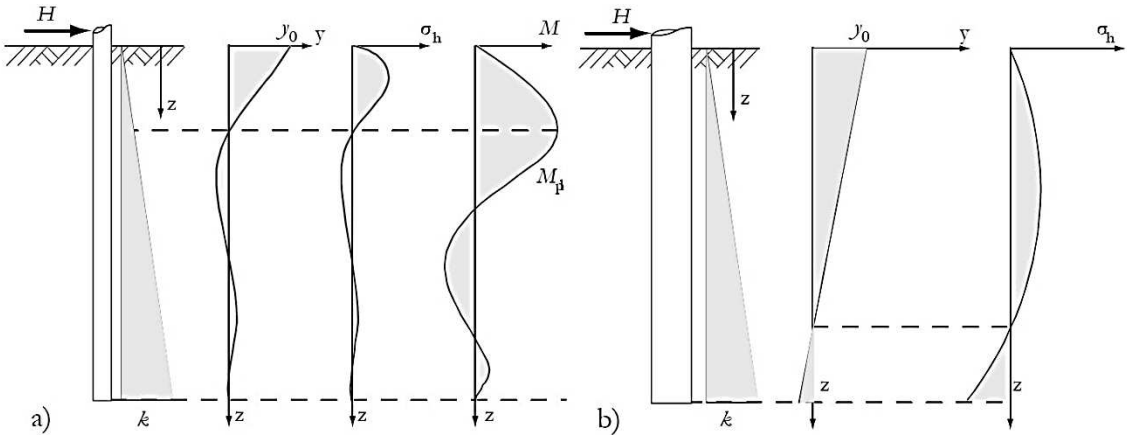


Abb. 3.14: a) langer, biegeweicher Pfahl b) und kurzer, starrer Pfahl aus [15]

Ob nun ein kurzer, starrer oder langer biegeweicher Pfahl vorliegt, kann nach [9] über die Schlankheit $\lambda = d/D$ erfolgen. Ein kurzer, starrer Pfahl mit der Pfahleinbindetiefe t und dem Pfahldurchmesser D liegt beispielsweise vor, wenn:

- $\lambda < 6$ im Allgemeinen
- $\lambda < 10$ in weichen, bindigen Böden
- $\lambda < 15$ in locker gelagerten, trockenen Sanden

Ein anderes Kriterium für diese Abgrenzung, das die Bettungseigenschaft nicht qualitativ, sondern quantitativ berücksichtigt, liefert das in [15] zitierte *Particle-Image-Velocimetry*-Verfahren (PIV). Dabei erfolgt die Unterscheidung mit einem Steifigkeitsfaktor T. Hier liegt ein kurzer, starrer Pfahl vor, wenn $d/T < 4$, wobei gilt:

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p \cdot I_p}{k_h}} \tag{3.7}$$

Darin sind E_p und I_p der E-Modul und das Flächenträgheitsmoment des Pfahls und k_h der Bettungsmodul des Baugrunds.

Das laterale Tragverhalten wird von einer Vielzahl an Einflussfaktoren bestimmt, von denen in [15] einige genannt werden (Tab. 3.4):

Tab. 3.4: Einflussfaktoren auf das laterale Tragverhalten nach [15]

Pfahleigenschaften	Baugrundeigenschaften	Herstellungsmethode
• Biegesteifigkeit • Abmessungen • Pfahlbaustoff • Einbindetiefe	• E-Modul • Reibungswinkel • Porenzahl • Kornverteilung • Wichte • Querdehnungszahl	• Bohren • Drehen • Drücken • Rammen • Vibrieren

Je nach Vorliegen eines kurzen, starren Pfahls (Typ 1) oder langen, biegeweichen Pfahls (Typ 2) gibt es verschiede Berechnungstheorien, die in Abschnitt 3.4.2.3 vorgestellt werden.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.4.2.2 Mobilisierung des Erddrucks

Da in nahezu sämtlichen Analysen zum lateralen Tragverhalten die Mobilisierung von aktiven oder passiven Erddrücken eine wesentliche Rolle spielt, wird sie in diesem Abschnitt kurz erläutert.

Auf einen in Ruhe befindlichen Pfahl wirken in der Regel auf beiden Seiten die Erdruhedrücke $e_0(z)$ [MN/m²], die sich dadurch gegenseitig aufheben (Abb. 3.15)[14]. Erfährt ein Pfahl eine (translatorische) Verschiebung s [m], so kann der Erddruck auf der der Bewegung zugewandten Seite (hier: rechts) bis zum passiven Erddruck $e_{ph}(z)$ [MN/m²] ansteigen. Gleichzeitig kann der Erddruck auf der anderen Seite (hier: links) bis auf den aktiven Erddruck $e_{ah}(z)$ [MN/m²] abfallen. Effektiv wirkt dann nur mehr die Differenz zwischen $e_{ph}(z) - e_{ah}(z)$ auf den Pfahl [14].

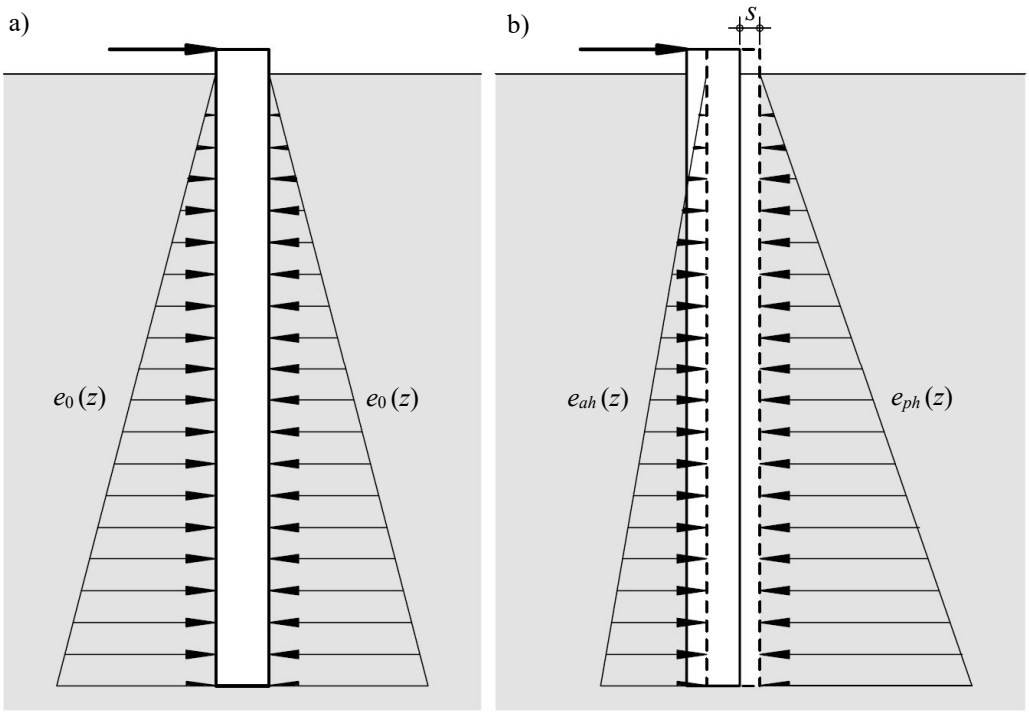


Abb. 3.15: Erddrücke auf a) ruhenden Pfahl und b) um s verschobener Pfahl nach [14]

Abb. 3.19 zeigt diese Abhängigkeit des mobilisierten Erddrucks von der Pfahlverschiebung, nur wird hier statt dem Erddruck e_h die resultierende Erddruckkraft E_h geschrieben. Darin erkennt man, dass in dicht gelagerten Böden die maximale passive Erddruckkraft $E_{ph,dicht}$ schon bei wesentlich geringerer Verschiebung $s_{ph,dicht}$ erreicht wird als in locker gelagerten Böden ($E_{ph,locker}$, $s_{ph,locker}$). Analog dazu fällt die aktive Erddruckkraft in dicht gelagerten Böden bei geringerer Verschiebung $s_{ah,dicht}$ auf das Minimum $E_{ah,dicht}$ ab, als in locker gelagerten Böden ($E_{ah,locker}$, $s_{ah,locker}$). Das Diagramm gilt dabei auch für sich ähnlich verhaltende bindige Böden [14].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

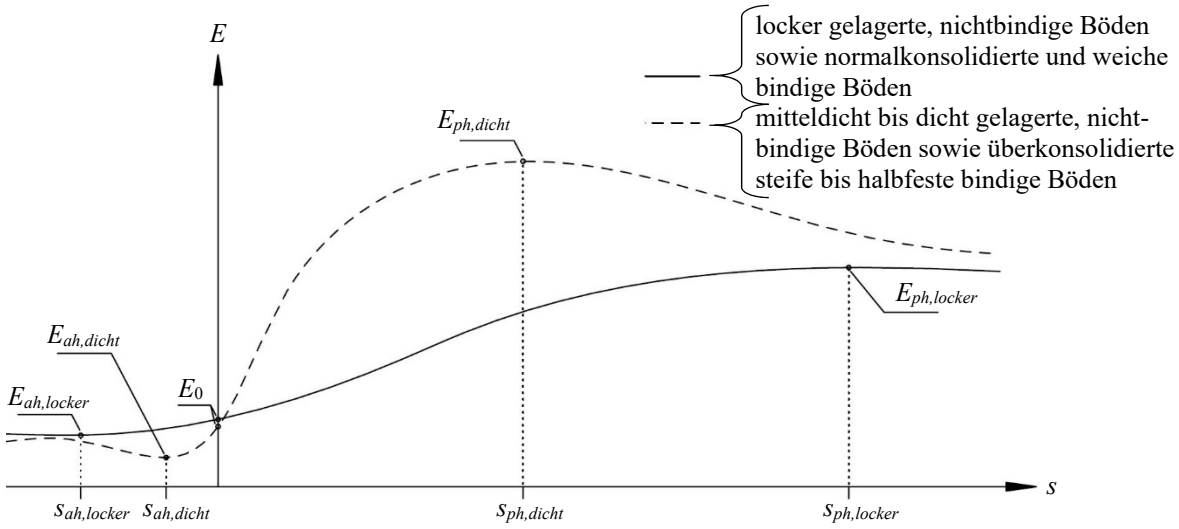


Abb. 3.16: Mobilisierung der Erddruckkraft E in Abhängigkeit der Pfahlverschiebung s nach [14]&[20]

Für die Quantifizierung der zur Erreichung der Minimal- und Maximalwiderstände erforderlichen Verschiebungen werden in [44] Grundbewegungsarten von „Wänden“ definiert. Abb. 3.17 wurde entsprechend für Pfähle angepasst und zeigt folgende Grundbewegungsarten:

a) Parallelverschiebung
b) Fußpunktdrehung
c) Kopfpunktdrehung
d) Durchbiegung

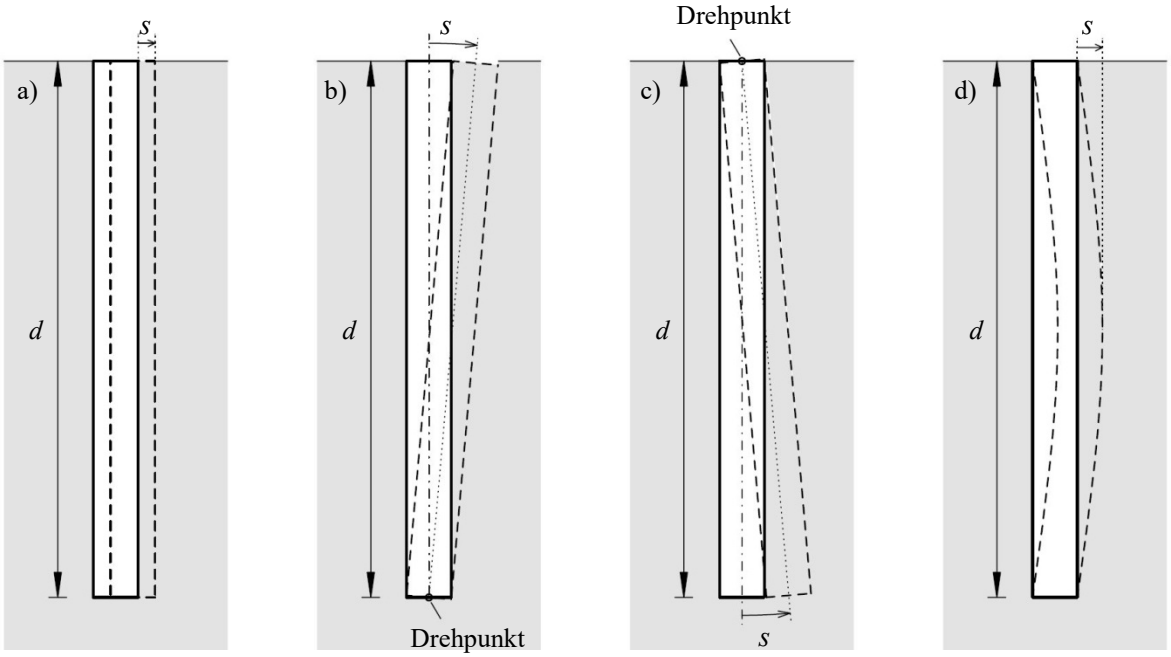


Abb. 3.17: Grundbewegungsarten und zugehörige Verschiebungen s nach [44]

In Abhängigkeit der Bewegungsart gibt [37] die zur Mobilisierung der Grenzwiderstände erforderlichen Verschiebungen s für die aktive und passive Seite in nichtbindigen Böden an (Tab. 3.5). Die Werte in Klammer sind dem halben Grenzwiderstand zugehörig.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tab. 3.5: Erforderliche Verhältniswerte *s/d* [%] zur Erddruckmobilisierung nach [37]

Bewegungsart	Aktiver Erddruck s_a/d		Passiver Erddruck s_p/d	
	lockere Lagerung	dichte Lagerung	lockere Lagerung	dichte Lagerung
a) Parallelverschiebung	0,2	0,05 – 0,1	5,0 (0,9) – 10,0 (1,5)	3,0 (0,5) – 6,0 (1,0)
b) Fußpunktdrehung	0,4 – 0,5	0,1 – 0,2	7,0 (1,5) – 25,0 (4,0)	5,0 (1,1) – 10,0 (2,0)
c) Kopfpunktdrehung	0,8 – 1,0	0,2 – 0,5	6,0 (1,0) – 15,0 (1,5)	5,0 (0,5) – 6,0 (1,3)
d) Durchbiegung	0,4 – 0,5	0,1 – 0,2		

mit der Pfahleinbindetiefe *d*

Liegen die tatsächlichen Verhältniswerte unter den in Tab. 3.5 angegebenen, so kann von einer nicht vollständigen Mobilisierung des Erddrucks ausgegangen werden. In diesem Fall müssen die Erddrücke mit sogenannten Mobilisierungsfunktionen ermittelt werden.

Mobilisierungsfunktionen für aktiven Erddruck

Die tatsächliche Verschiebung *s* kann mit den Gleichungen (3.15) bis (3.17) über die mobilisierte aktive Erddruckresultierende abgeschätzt werden, wobei die Werte für s_a aus Tab. 3.5 herangezogen werden können [19].

$$s = 0{,}05 \cdot s_a \; bis \; 0{,}15 \cdot s_a \; für \; E'_{ah} = 0{,}75 \cdot E_0 + 0{,}25 \cdot E_{ah} \tag{3.8}$$

$$s = 0{,}15 \cdot s_a \; bis \; 0{,}30 \cdot s_a \; für \; E'_{ah} = 0{,}50 \cdot E_0 + 0{,}50 \cdot E_{ah} \tag{3.9}$$

$$s = 0{,}30 \cdot s_a \; bis \; 0{,}50 \cdot s_a \; für \; E'_{ah} = 0{,}25 \cdot E_0 + 0{,}75 \cdot E_{ah} \tag{3.10}$$

mit der Resultierenden des Erdruhedrucks E_0 und der aktiven Erddruckresultierenden E_{ah} (Ansätze dafür findet man beispielsweise in [5])

Der mobilisierte aktive Erddruckbeiwert $K_{ah,mob}$ ergibt sich nach Gleichung (3.11) [14]&[19].

$$K_{ah,mob}(z) = K_0 - (K_0 - K_{ah}) \cdot \frac{\frac{s(z)}{z}}{b + \frac{s(z)}{z}} \tag{3.11}$$

Mit dem Ausdruck

$$K_{ah,mob}(z) = \frac{e'_{ah}}{\gamma \cdot z} \tag{3.12}$$

kann dann die lokale Verschiebung s(z) in der Tiefe z ermittelt werden. In locker gelagerten Böden wird $b = 0{,}011$ und in mitteldichter bis dichter Lagerung $b = 0{,}003$ empfohlen [19]. Der aktive Erddruck e'_{ah} kann nach ÖNORM B 4434 [44] berechnet werden.

Mobilisierungsfunktionen für passiven Erddruck

Gleichung (3.11) lässt sich auch auf den passiven Erddruck umlegen [14]&[19]:

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

$$K_{ph,mob}(z) = K_0 + (K_{ph} - K_0) \cdot \frac{\frac{s(z)}{z}}{a + \frac{s(z)}{z}} \tag{3.13}$$

Mit

$$K_{ph,mob}(z) = \frac{e'_{ah}}{\gamma \cdot z} \tag{3.14}$$

kann dann die lokale Verschiebung $s(z)$ in der Tiefe z ermittelt werden. In locker gelagertem Sand wird a = 0,11 und in mitteldicht bis dicht gelagertem Sand Lagerung a = 0,03 empfohlen [19].

In [19] werden für die passive Mobilisierungsfunktion auch komplexere Ansätze als Gleichung (3.13) angeführt. Diese berücksichtigen eine Reihe von Einflüssen, deren Vereinigungsmenge umfasst:

- Bewegungsart
- Grenzverschiebung bzw. halbe Grenzverschiebung
- Wichte des Bodens
- Grundwasser
- Wandreibungswinkel
- Lagerungsdichte
- Kapillarkohäsion

Eine Berechnung für geschichtete Böden ist ebenfalls möglich. Für Details zur Berechnung wird auf [19] verwiesen.

In [14] wird noch angemerkt, dass die mobilisierten passiven Erddrücke bei einer Parallelverschiebung generell höher sind als bei einer Fußpunktdrehung.

3.4.2.3 Ermittlung des lateralen Trag- und Verformungsverhaltens

Erddruckverfahren (für Typ 1)

Der horizontale Tragwiderstand kurzer, starrer Pfähle wird meist auf Grundlage von Erddruckansätzen berechnet. Die älteste Berechnungsmethode nach diesem Prinzip ist die Dalbentheorie nach *Blum*, deren Modellbildung in Abb. 3.18 dargestellt ist. In ihr wird ein quadratischer Pfahl mit Seitenlänge a_s und Einbindetiefe t (Abb. 3.18 a)) in ein ideelles Belastungssystem (Abb. 3.18 b)) mit der Einbindetiefe t_0 überführt [20]. In dieser Tiefe t_0 wird zur Erlangung von Kräftegleichgewicht die Ersatzkraft C angesetzt [9].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

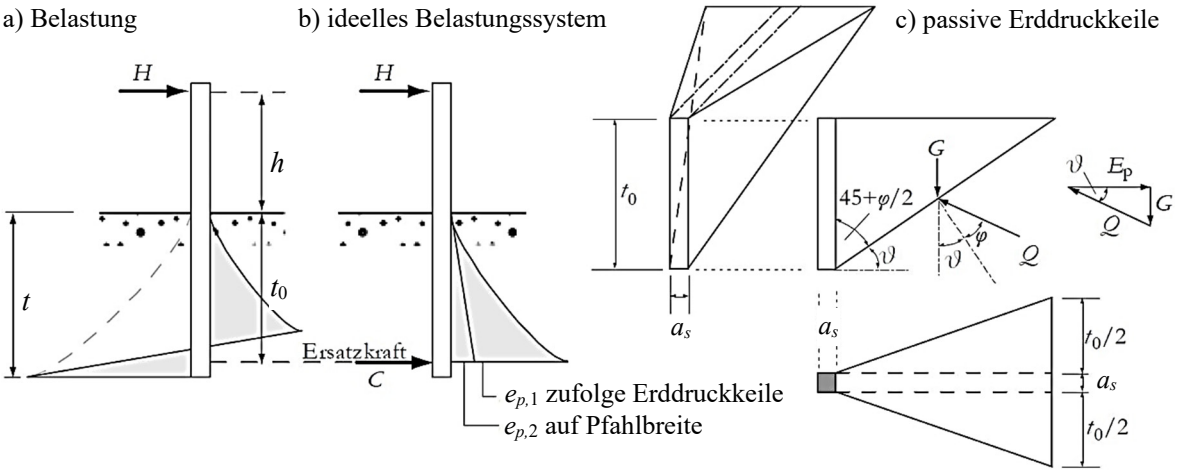


Abb. 3.18: Dalbentheorie nach *Blum* aus [15] (adaptiert)

Der Erdwiderstand setzt sich aus dem passiven Erddruck auf die Pfahlfläche sowie aus den beiden Erddruckkeilen (Abb. 3.18 c)) zusammen.

Um den Drehpunkt in der Tiefe t_0 wird dann Momentengleichgewicht gefordert, was schließlich auf die Gleichungen gemäß [20] führt:

$$\sum M_{t_0} = 0: \quad H \cdot (h + t_0) - \gamma \cdot K_p \cdot \frac{a_s \cdot t_0^2}{2} \cdot \frac{t_0}{3} - \gamma \cdot K_p \cdot \frac{t_0^3}{2 \cdot 3} \cdot \frac{t_0}{4} = 0 \tag{3.15}$$

$$t_0^4 + 4 \cdot \left[a_s \cdot t_0^3 - \frac{6 \cdot H}{\gamma \cdot K_p} \cdot (h + t_0) \right] = 0 \tag{3.16}$$

$$mit\ K_p = tan^2(45 + \frac{\varphi}{2})$$

Die Größe t_0 kann über Gleichung (3.16) entweder durch Probieren (z.B. in *Excel*) oder grafisch herausgefunden werden. Die tatsächliche erforderliche Pfahllänge t kann dann mit $t = 1{,}2 \cdot t_0$ abgeschätzt werden [20].

In [9] werden die Gleichungen (3.15) und (3.16) um ein am Pfahlkopf einwirkendes Moment erweitert und gleichzeitig nur ein Pfahl bis zur Geländeoberfläche betrachtet, womit die Größe h wegfällt.

Da Gleichung (3.16) aber nur für quadratische Pfähle mit Seitenlänge a_s gilt, wird in [20] eine Umrechnung für den Durchmesser angegeben:

$$a_{s,ers} = \sqrt{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} \tag{3.17}$$

Die Dalbentheorie nach *Blum* setzt weiters voraus [9]:

- vertikale Pfähle
- horizontale Geländeoberfläche
- kein Reibungswinkel zwischen Boden und Pfahl: $\delta_p = 0$

Kempfert berücksichtigt in einer Erweiterung dieses Verfahrens sowohl die geneigte Geländeoberfläche als auch den Reibungswinkel [9].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bettungsmodulverfahren (für Typ 2)

Das Last-Verformungsverhalten langer, biegeweicher Pfähle kann mit dem Bettungsmodulverfahren ermittelt werden. Die grundlegende Annahme dabei ist, dass der Verformungsverlauf des Pfahls mit jenem des Bodens übereinstimmt [5]. Hierzu wird der kontinuierlich elastisch gebettete Balken (Beam on Elastic Foundation = BEF) mit Biegesteifigkeit EI [MNm²] und Durchmesser D [m] betrachtet. Die Bettung im Boden wird mit Federn modelliert, die voneinander unabhängig sind (Abb. 3.19 a)).

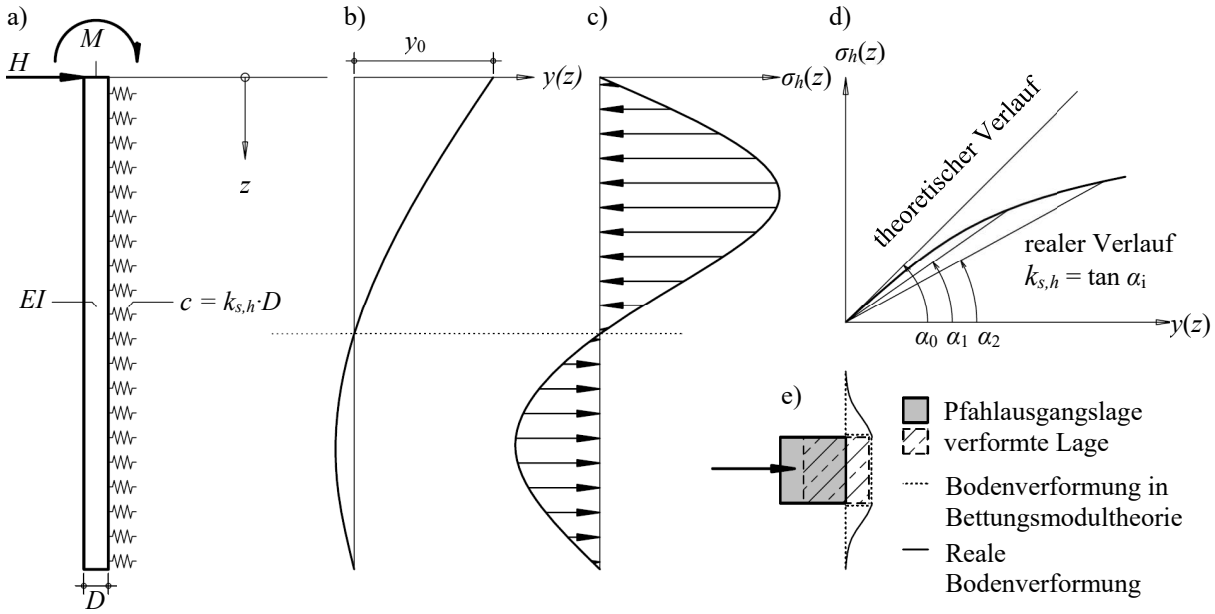


Abb. 3.19: Bettungsmodulverfahren nach [9] und [20] (adaptiert)

Der elastisch gebettete Balken wird bekanntlich durch folgende Differentialgleichung beschrieben [20]:

$$EI \cdot \frac{d^4 y(z)}{dz^4} + \sigma_h(z) \cdot D = 0 \tag{3.18}$$

Gemäß Abb. 3.19 d) wird für die horizontale Bettungsspannung $\sigma_h(z)$ [MN/m²] ein linearer Verlauf angenommen, der nur in der Theorie zutrifft [9]:

$$\sigma_h(z) = k_{s,h} \cdot y(z) \tag{3.19}$$

mit $k_{s,h}$ [MN/m³] als horizontalen Bettungsmodul

(Anmerkung: Im Gegensatz zu [9] und [20] wird hier in Anlehnung an [5] zwischen horizontaler und vertikaler Bettung unterschieden, da nicht generell von isotropen Bodenverhältnissen ausgegangen werden kann.)

Es wird also davon ausgegangen, dass der Bettungsmodul $k_{s,h}$ einen linearen Zusammenhang zwischen horizontaler Pfahlverschiebung $y(z)$ [m] (Abb. 3.19 b)) und der Bettungsspannung $\sigma_h(z)$ (Abb. 3.19 c)) herstellt [9]. Das bedeutet, dass für den linearen Verlauf $k_{s,h} = \tan \alpha_0$ gilt – mit anderen Worten: $k_{s,h}$ wird als konstant angenommen [20]. Für einen starren Pfahl würden konstante Bettungsmoduln in den jeweiligen Schichten Bettungsspannungen nach Abb. 3.20 hervorrufen.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

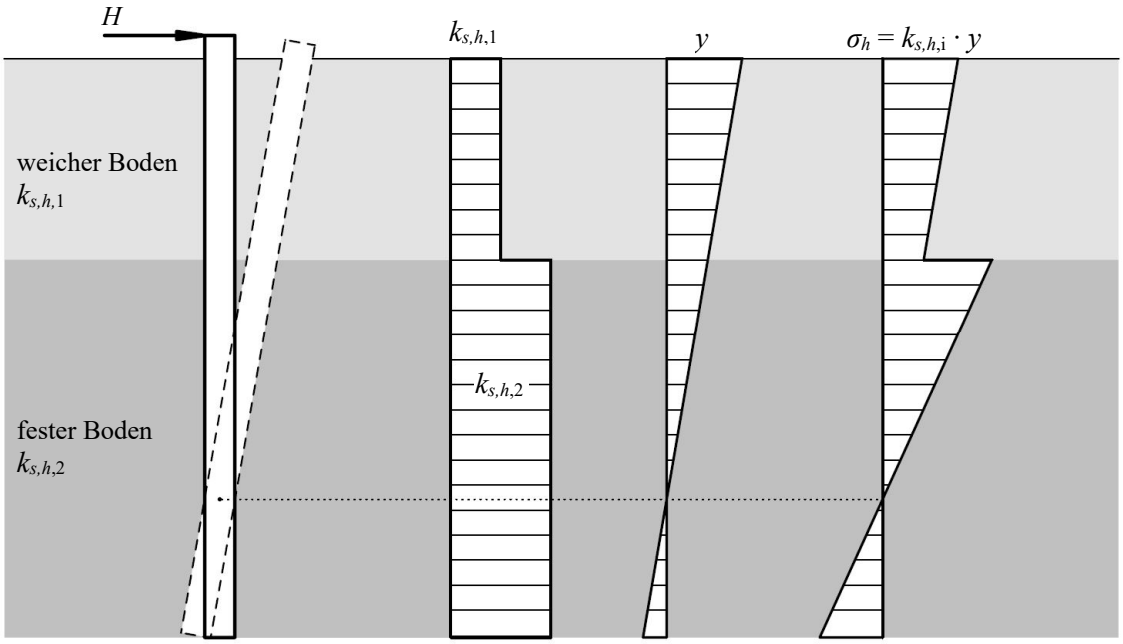


Abb. 3.20: Bettungsspannungen beim starren Pfahl in geschichtetem Boden nach [20]

Zur Lösung der durch Einsetzen von Gleichung (3.19) in (3.18) erhaltenen homogenen Differentialgleichung wird mit der charakteristischen Länge L die dimensionslose Größe ζ eingeführt [5]:

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot EI}{D \cdot k_{s,h}}} \qquad \zeta = \frac{z}{L} \tag{3.20}$$

Der allgemeine Lösungsansatz aus [5] lautet dann:

$$y(\zeta) = e^{\zeta} \cdot (A \cdot cos\zeta + B \cdot sin\zeta) + e^{-\zeta} \cdot (C \cdot cos\zeta + D \cdot sin\zeta) \tag{3.21}$$

Durch Spezialisierung mit einfachen Randbedingungen kann Gleichung (3.21) analytisch gelöst werden, wodurch man Werte für die Integrationskonstanten A, B, C und D erhält [5].

Da sich laut [5] der Bettungsmodul mit $k_{s,h}^{3/4}$ in den Verformungen und mit $k_{s,h}^{1/4}$ im Biegemoment niederschlägt, ist dessen Ermittlung bzw. Festlegung speziell bei Bauwerken mit erhöhter Verformungsempfindlichkeit von großer Bedeutung.

Dabei darf der Bettungsmodul nicht als Materialkonstante angesehen werden [9], vielmehr wird er laut [5] von vielen Faktoren beeinflusst:

- Kompressibilität des Bodens
- Mächtigkeit der belasteten Bodenschicht
- Abmessungen und Anordnung des Pfahles
- Lagerungsbedingungen
- Biegesteifigkeit des Pfahls
- Intensität, Art und Dauer der Belastung

In Abb. 3.19 e) sieht man den Nachteil des Bettungsmodulverfahrens, der in der Annahme unstetiger Bodenverformungen im Schaftbereich des Pfahles besteht, was einer Vernachlässigung der Kraftübertragung durch Schubspannungen in den seitlich angrenzenden Boden entspricht [9]. Zwar können im Vertikalschnitt dadurch Schichtgrenzeneinflüsse im Gegensatz zur Elastizitätstheorie besser

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

erfasst werden, die sprunghafte Deformation im Querschnitt entspricht jedoch nicht der Realität [20]. Deshalb existiert folgender Ansatz, der Bettungsmodul- mit der Elastizitätstheorie kombiniert.

Nach der Elastizitätstheorie ergibt sich mit dem Steifemodul E_s die Bettungsspannung zu [20]:

$$\sigma_h(z) = \frac{E_s}{D} \cdot y(z) \tag{3.22}$$

Setzt man nun die Ausdrücke (3.19) und (3.22) gleich, erhält man den auch in Normen gebräuchlichen Ansatz, der auf *Terzaghi* zurückgeht [5]:

$$k_{s,h} = \frac{E_s}{D} \tag{3.23}$$

Dieser Ansatz gilt für Durchmesser $D < 1$ m und Verformungen $y < 2$ cm bzw. $0{,}03 \cdot D$. Für dessen Anwendung wird der Steifemodul mittels Kompressionsversuch oder auch indirekt durch Sondierungen bestimmt. Dabei sollte man sich in ausreichendem Abstand zum Bruchzustand des Bodens befinden, da sonst das angenommene, linear-elastische Verhalten nicht mehr gilt [5]. Bei Bedarf kann die Berechnung mit Gleichung (3.23) getrennt nach Schichten erfolgen [20]. Dieser Näherungsansatz liefert zwar ausreichend genaue Ergebnisse bei der Schnittgrößenermittlung und dem Nachweis der inneren Tragfähigkeit, sind jedoch Verformungen maßgebend, sollte die Bettungsmodulverteilung mit horizontalen Probebelastungen bestimmt werden [9] (siehe Abschnitt 3.9.1.3). (Lt. [3] ist die maximale Bettungsspannung vom passiven Erddruck e_{ph} begrenzt und Gleichung (3.23) darf nur angewandt werden, wenn die rechnerischen Verschiebungen kleiner 3% von D bzw. kleiner 2 cm sind)

Nichtsdestotrotz gibt es in der Literatur noch weitere Ansätze für den Bettungsmodul. Als pragmatischer Ansatz wird in [20] folgender genannt:

$$k_{s,h} = n_h \cdot \left(\frac{z}{D}\right)^n \tag{3.24}$$

mit $n = 0, ½, 1, 2 \ldots$ je nach Bodenart und Konsolidierungsgrad [5]. Für n_h wird häufig der Bettungsmodul in der Tiefe $z = D$ eingesetzt [20].

In [5] sind weitere analytische Ansätze angeführt, die in Tab. 3.6 zusammengefasst sind:

Tab. 3.6: Analytische Verläufe für den Bettungsmodul nach [5]

Verlauf	Ansatz	Gleichung	Anwendung
konstant	$k_{s,h}(z) = k_{s,h}(d)$	(3.25)	überkonsolidierte, feinkörnige Böden
linear	$k_{s,h}(z) = k_{s,h}(d) \cdot \frac{z}{d}$	(3.26)	grobkörnige und normalkonsolidierte, feinkörnige Böden
trapezförmig	n.a.		sandige Böden
parabolisch	$k_{s,h}(z) = k_{s,h}(d) \cdot \sqrt{\frac{z}{d}}$ $k_{s,h}(z) = k_{s,h}(d) \cdot \left(2 \cdot \frac{z}{d} - \frac{z^2}{d^2}\right)$	(3.27) (3.28)	konsolidierte, bindige Böden
hyperbolisch	n.a.		geschichtete Böden unterschiedlicher Steifigkeit

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bei Sandböden kann beispielsweise auch folgender Ansatz verwendet werden [20]:

$$k_{s,h} = k_R \cdot \frac{z}{D} \tag{3.29}$$

mit dem empirischen Einheitbettungsmodul k_R nach Tab. 3.7.

Tab. 3.7: Einheitbettungsmodul k_R je nach Sondierwiderstand q_c aus [20]

Sondierwiderstand q_c [MN/m²]	Einheitsbettungsmodul [MN/m³]
5 - 10	2
10 - 15	6,5
> 15	18

In [16] wird ein Verfahren vorgestellt, das die Abschätzung der horizontalen Bettung mittels dynamischer Pfahlprüfung ermöglicht (siehe Abschnitt 3.9.2).

p-y-Methode

Bei der *p-y*-Methode handelt es sich um ein Bettungsmodulverfahren, das mittels horizontalen Probebelastungen kalibriert wird [2]. Deshalb ist es ein semi-empirisches Verfahren [31]. Bei der Modellierung kommen hier nichtlineare Federkennlinien zum Einsatz, die zudem von der Bodenart sowie der Tiefe abhängig sind [2] (Abb. 3.21). Damit lassen sich bessere Ergebnisse als bei linearelastischen Ansätzen (vgl. Bettungsmodulverfahren) erzielen [12].

Das Verfahren ist Stand der Technik bei Nachweisen, in denen die Pfahlverformungen maßgebend sind. Es kommt oft zur Bemessung von Monopiles für Offshore-Windenergieanlagen zum Einsatz, was auch Abb. 3.21 ansatzweise andeutet [2].

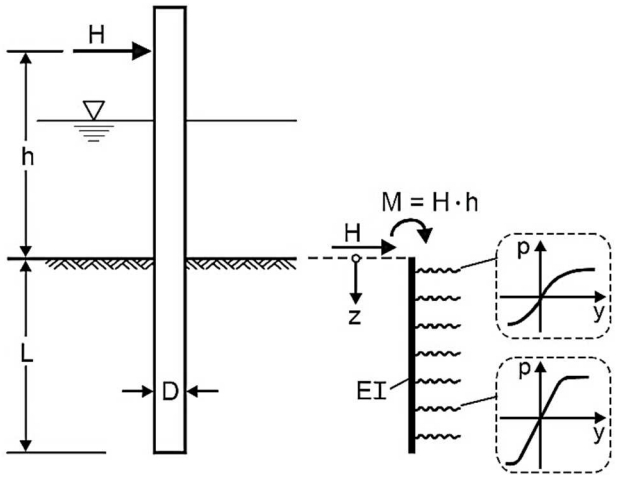


Abb. 3.21: Prinzip der *p-y*-Methode aus [1]

Konkret wird der Pfahl im Modell in Abschnitte gleicher Länge unterteilt, denen je eine *p-y*-Kurve zugeordnet wird [20]. Dabei ist y [m] wie bisher die jeweilige horizontale Bodenverschiebung und p [MN/m] jeweils die horizontale Bodenreaktionskraft je Laufmeter Pfahl. Im Allgemeinen ergibt sich die Bodenreaktionskraft also als Produkt der Bettungsspannung [MN/m²] (vgl. σ_h beim Bettungsmodulverfahren) und des Pfahldurchmessers D [m] [2].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die Berechnung der Bodenreaktionskraft p erfolgt schließlich über die maximal mobilisierbare Bodenreaktionskraft p_u [2], für die es in der Literatur einige Ansätze gibt (siehe [12]). Der weitverbreitete Ansatz von [26] ging aus Untersuchungen von Stahlpfählen (D = 0,61 m und L = 21 m) in mitteldichtem bis dichtem Feinsand im Golf von Mexiko hervor [2]. Abb. 3.22 zeigt die p-y-Kurven von [26] für die unterschiedlichen Tiefen $x_0 < x_1 < x_2 < x_3 < x_4$; b bezeichnet dabei den Pfahldurchmesser [31]. Diese Federkennlinie ist in drei Bereiche unterschiedlicher Steifigkeit unterteilt [20]. Der Verläufe sind, bis auf den Parabelbereich zwischen Anfangssteifigkeit und $y = b/60$, abschnittsweise linear und erreichen jeweils bei $y = 3 \cdot b/80$ den maximal mobilisierbaren Widerstand (hier: P_u) [31].

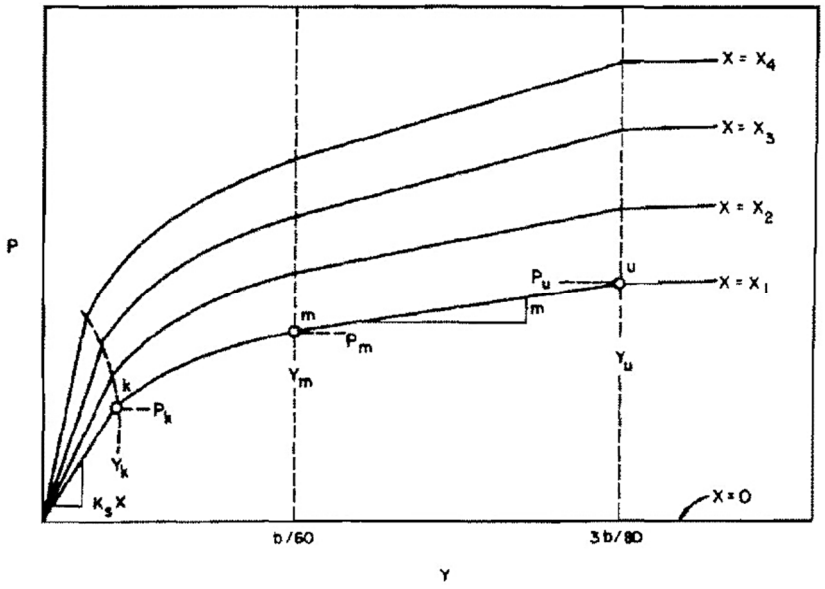


Abb. 3.22: p-y-Kurven nach [26] aus [27]

Bei der Ermittlung des Bodenwiederstands unterscheidet [26] zwischen den Versagensmechanismen 1) und 2) [12]:

(1) „Bruch nahe der GOK“ (Modellbildung mit Abb. 3.23)

(2) „Umfließen des Schafts in größerer Tiefe“

Bei den Versagensmechanismen wird die Mantelreibung vernachlässigt sowie die Widerstandskraft aus dem Kräftegleichgewicht an den Gleitkörpern in Abb. 3.23 berechnet und nach der Tiefe z differenziert [31]. Demnach ist der maßgebende Wert für p_u der kleinere aus Gleichung (3.30) und (3.31) [12]:

$$(1)\ p_{us} = \gamma' \cdot z \cdot \left[D \cdot \underbrace{(K_p - K_a)}_{C_2(\varphi')} + \underbrace{z\,(K_p - K_0) \cdot \sqrt{K_p} \cdot tan\alpha + z \cdot K_0 \left(\frac{1}{cos\alpha} + 1\right) \cdot tan\varphi' \cdot sin\beta}_{C_1(\varphi')} \right] \tag{3.30}$$

$$(2)\ p_{us} = \gamma' \cdot z \cdot D \cdot \underbrace{\left[K_p^3 + K_0 \cdot K_p^2 \cdot tan\varphi' - K_a\right]}_{C_3(\varphi')} \tag{3.31}$$

mit den Beiwerten für Erdruhedruck K_0 = 0,4 und passiven Erddruck $K_p = \tan^2(45 - \varphi'/2)$.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Gleichung (3.30) und (3.31) beinhalten bereits die Zusammenfassung der von φ' abhängigen Faktoren zu C_1, C_2, und C_3 nach *Borgard & Matlock (1980)* [12]. Demzufolge kann auch geschrieben werden [2]:

$$(1)\quad p_{us} = \gamma' \cdot z \cdot [D \cdot C_2(\varphi') + z \cdot C_1(\varphi')] \tag{3.32}$$

$$(2)\quad p_{ud} = \gamma' \cdot z \cdot D \cdot C_3(\varphi') \tag{3.33}$$

$$p_u = min \begin{cases} p_{us} \dots (ultimate, shallow) & (1) \\ p_{ud} \dots (ultimate, deep) & (2) \end{cases}$$

mit der Wichte des Bodens γ' [MN/m³] und der Tiefe z [m] unter (See-)Boden.

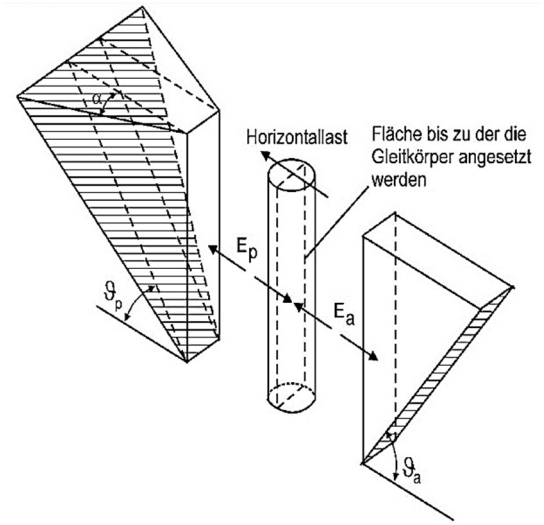


Abb. 3.23: Erddruckmodell zur Ermittlung von p_{us} nach [26] aus [31]

Die Grenztiefe z_R, ab der Gleichung (3.33) heranzuziehen ist, kann mit Gleichung (3.34) berechnet werden [31]:

$$z_R = \frac{C_3 - C_2}{C_1} \cdot D \tag{3.34}$$

Der Verlauf der Bodenreaktionskraft kann schließlich über Gleichung (3.35) nach API (2000) ermittelt werden [2]. Darin wird mit dem empirischen Beiwert A [-] die aus [26] hervorgegangene Abweichung gemessener und theoretischer Pfahlwiderstände speziell im oberflächennahen Bereich korrigiert. Außerdem wird der Verlauf nicht mehr wie in Abb. 3.22 abschnittsweise, sondern als stetige Tangens-Hyperbolicus-Funktion angesetzt [31].

$$p = A \cdot p_u \cdot tanh\left(\frac{k \cdot z}{A \cdot p_u} \cdot y\right) \tag{3.35}$$

mit dem Steifigkeitsparameter k [MN/m³], wobei für A gilt [2]:

- bei statischer Belastung: $A = 3{,}0 - 0{,}8 \cdot z/D \geq 0{,}9$
- bei zyklischer Belastung: $A = 0{,}9$

(3.36)

Der Term $k \cdot z$ in Gleichung (3.35) beschreibt die Anfangssteigung der p-y-Kurve, wobei k mit Abb. 3.24 in Abhängigkeit von der bezogenen Lagerungsdichte I_D und Winkel der inneren Reibung φ' bestimmt wird [2].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

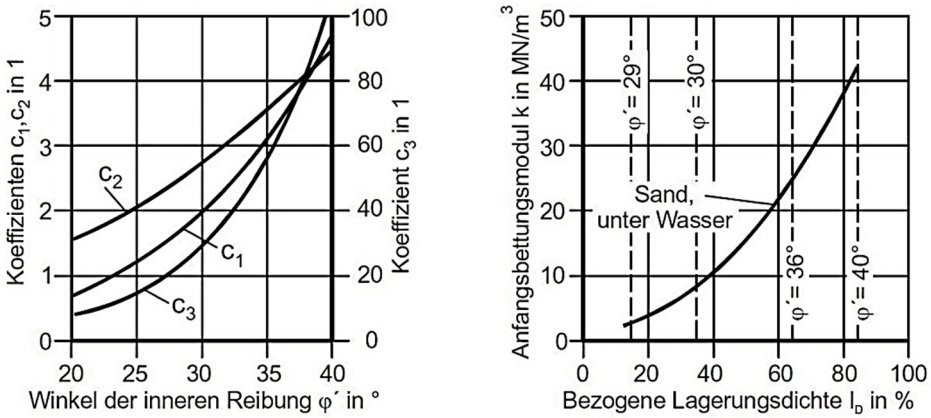


Abb. 3.24: Koeffizienten C_1, C_2, C_3 und Steifigkeitsparameter k nach API (2000) aus [18]

Für weiche Tonböden gibt es in API (2000) [35] ebenso Berechnungsansätze. Sie beruhen auf Probebelastungen von [23], in denen Pfähle von etwa 0,3 m Durchmesser getestet wurden. Demnach wird bei der maximal mobilisierbaren Bodenreaktionskraft analog zu Gleichung (3.30) und (3.31) zwischen geringen und größeren Tiefen unterschieden [2]:

$$p_{us} = 3 \cdot c_u \cdot D + \gamma' \cdot z \cdot D + J \cdot c_u \cdot z \quad (1) \tag{3.37}$$

$$p_{ud} = 9 \cdot c_u \cdot D \quad (2) \tag{3.38}$$

$$p_u = min \begin{cases} p_{us} \dots (ultimate, shallow) & (1) \\ p_{ud} \dots (ultimate, deep) & (2) \end{cases}$$

mit der undränierten Scherfestigkeit c_u und dem empirischen Parameter J, der im Bereich von 0,25 für steifen Ton und 0,50 für weichen Ton zu wählen ist [2].

Gleichung (3.38) ist ab der Grenztiefe z_R heranzuziehen [2]:

$$z_R = \frac{6 \cdot c_u}{\gamma + \frac{J \cdot c_u}{D}} \tag{3.39}$$

Die Ermittlung der p-y-Kurven für weichen Ton beispielsweise erfolgt dann mit Gleichung (3.40) bzw. (3.41) [3]:

$$p = \frac{p_u}{2} \cdot \left(\frac{y}{y_c}\right)^{\frac{1}{3}} \quad für\ y \leq 8 \cdot y_c \tag{3.40}$$

$$p = p_u \quad für\ y > 8 \cdot y_c \tag{3.41}$$

mit $y_c = 2{,}5 \cdot \varepsilon_c \cdot D$, wobei die Dehnung ε_c aus einem UU-Triaxialversuch bei einer Belastung von der halben Deviatorspannung im Bruchzustand bestimmt wird [2]. Abb. 3.25 zeigt die p-y-Kurven für weichen Ton, wobei y_{50} statt y_c geschrieben wird. Die vertikale Anfangstangente bedeutet eine theoretisch unendlich große Anfangssteifigkeit, was bei sehr kleinen Verschiebungen zu einer starken Überschätzung der Bettung verleiten kann [2].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

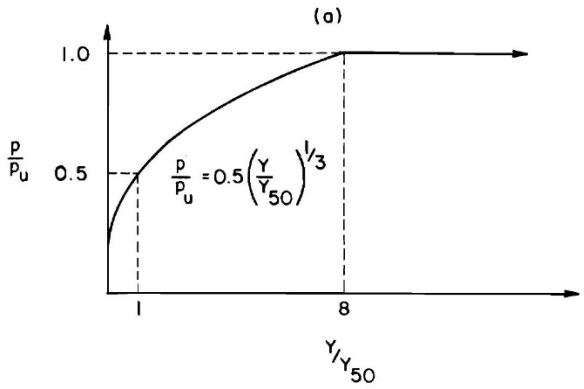


Abb. 3.25: *p-y*-Kurve für weichen Ton und statischer Belastung nach [23] aus [27]

In der Publikation [17] von 1986 mit dem Titel „Nonlinear Analysis of Integral Abutment Bridges" findet man dieselben Ansätze für p_u wie nach Gleichung (3.30) und (3.31) bzw. (3.37) und (3.38).

Die *p-y*-Methode ist wie alle anderen Bettungsmodulverfahren keine exakte Berechnungsmethode, insbesondere wenn es um die Prognose von Verformungen geht [2]. Nachteilig ist zudem, dass für jede Situation (Pfahlsystem, Baugrund, Belastung) jeweils Probebelastungen durchgeführt werden müssen [15]. Auf die im Zusammenhang mit Gründungen von Offshore-Windkraftenergieanlagen oft zitierte Problematik der Umlegung auf große Durchmesser von Monopiles (~5 – 6 m) wird hier nicht weiter eingegangen, da die vorliegende Arbeit von Pfählen kleinerer Durchmesser handelt [2]. Laut [1] und [31] kann nämlich die Anwendbarkeit bis Durchmesser von ~2,5 – 3 m als gesichert angesehen werden. Bei größeren Durchmessern müssten die Ansätze entsprechend modifiziert werden (siehe beispielsweise [2]).

Vielmehr sei auf das nichtlineare Materialverhalten von Stahlbetonpfählen hingewiesen, dessen Einfluss auf die Pfahl-Boden-Interaktion in [7] untersucht wurde. Der Anlass dafür waren folgende Unzulänglichkeiten, die schon frühere Versuche gezeigt haben [7]:

- Die *p-y*-Beziehung von API (2000) bildet das nichtlineare Verhalten nicht hinreichend ab.
- An Modellpfählen bestimmte, maximale Bodenreaktionsreaktionskräfte weisen signifikante Unterschiede zu jenen gemäß API (2000) auf.
- Auch *p-y*-Kurven von vollmaßstäblichen Versuchen wiesen entsprechende Unterschiede auf.

Aus den lateralen bzw. axial-lateralen Probebelastungen an quadratischen Stahlbeton-Modellpfählen in eng gestuftem Sand gingen in [7] folgende Erkenntnisse hervor:

- Eine zusätzliche axiale Last erhöhte die Steifigkeit des Pfahl-Boden-Systems, sodass das Rissmoment höher als beim rein lateral belasteten Pfahl war.
- Unter axial-lateraler Last versagte der Modellpfahl schon vor dem Erreichen der maximalen Bodenreaktionskraft gemäß API (2000).
- Unterschiedliche Belastungsgeschwindigkeiten (0,85 bzw. 4 mm/min) hatten Einfluss auf den Verlauf der *p-y*-Kurve.
- Im oberen Bereich wurde das Versagen des Sands, im unteren Bereich der Riss des Pfahls als maßgebend erachtet.
- Die nach API (2000) berechneten *p-y*-Kurven stimmten nicht mit den gemessenen überein.
- Die Biegesteifigkeit des Pfahls sowie das nichtlineare Materialverhalten von gerissenem Stahlbeton beeinflussen die Pfahl-Boden-Interaktion ganz wesentlich.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Da der Korrekturfaktor A nach Gleichung (3.36) das nichtlineare Materialverhalten abbildet, wurde dieser in [7] modifiziert. Außerdem war eine Anpassung der maximal mobilisierbaren Bodenreaktionskraft p_u notwendig, die in [7] aufgrund der gegenseitigen Beeinflussung als maximale Pfahl-Boden-Reaktion bezeichnet wird. Die Ergebnisse sind in Tab. 3.8 zusammengestellt.

Tab. 3.8: Ansätze für den Korrekturfaktor A und die max. Pfahl-Boden-Reaktion p_u nach [7]

Belastungsart	Belastungsgeschwindigkeit	Korrekturfaktor A	Pfahl-Boden-Reaktion p_u
lateral	schnell (4 mm/min)	$4{,}881 \cdot \left(\frac{B}{z}\right)^{1{,}488}$	$0{,}937 \cdot \left(\frac{z}{B}\right)^{1{,}6934} \cdot M_{cr}$
	langsam (0,85 mm/min)	$1{,}896 \cdot \left(\frac{B}{z}\right)^{0{,}9079}$	
axial-lateral	langsam (0,85 mm/min)	$3{,}278 \cdot \left(\frac{B}{z}\right)^{1{,}1289}$	$0{,}769 \cdot \left(\frac{z}{B}\right)^{1{,}6934} \cdot M_{cr}$

mit der Bodentiefe z, der Pfahlbreite B und dem Rissmoment M_{cr}

Die p-y-Kurve wird schließlich wieder durch Gleichung (3.35) bestimmt [7].

Strain-Wedge-Modell

Dem Strain-Wedge-Modell (SWM) liegt auch der elastisch gebettete Balken zu Grunde [2]. Hier wird die p-y-Beziehung jedoch unter Berücksichtigung des 3D-Spannungs-Dehnungsverhaltens hergeleitet. Die grundlegende Modellvorstellung geht von der Mobilisierung eines passiven Erddruckkeils (Abb. 3.27) aus, dessen Höhe h in Abhängigkeit von der Pfahlsteifigkeit ermittelt wird [29]. Dazu erfolgt mithilfe der elastischen Pfahllänge l_0 eine Unterscheidung in drei Steifigkeitstypen ähnlich zu Gleichung (3.7) [29]:

- „kurzer“ (steifer) Pfahl: $\omega \leq 2$ siehe Abb. 3.26 a)
- „mittelanger“ (mittelsteifer) Pfahl: $2 \leq \omega \leq 4$ siehe Abb. 3.26 b)
- „langer“ (steifer) Pfahl: $\omega \geq 4$ siehe Abb. 3.26 c)

wobei $\omega = l/l_0$. Die elastische Pfahllänge ist dabei:

$$l_0 = \sqrt[5]{\frac{EI \cdot z_{Ref}}{d \cdot k_{Ref}}} \tag{3.42}$$

mit der Pfahlseitenlänge d, der Pfahlbiegesteifigkeit EI und dem Bettungsmodul k_{Ref} in der Referenztiefe z_{Ref} [29].

Betrachtet wird nun Abb. 3.26: Beim „kurzen“ Pfahl in a) entspricht die Verformung mehr oder weniger einer Starrkörperverschiebung und die Last wird über die gesamte Einbindelänge in den Boden abgetragen. Die Verformung des mittellangen Pfahls in b) ist eine Kombination von Verdrehung und Durchbiegung. Beim langen Pfahl in c) erfolgt die Lastableitung nur mehr über die Bettung im oberen Bereich, sodass am Pfahlfuß gar keine lateralen Lasten ankommen [29].

In etwa ab dem Nulldurchgang wird die Biegelinie linearisiert, sodass sich über die Höhe h eine konstante Dehnung ε ergibt [29].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

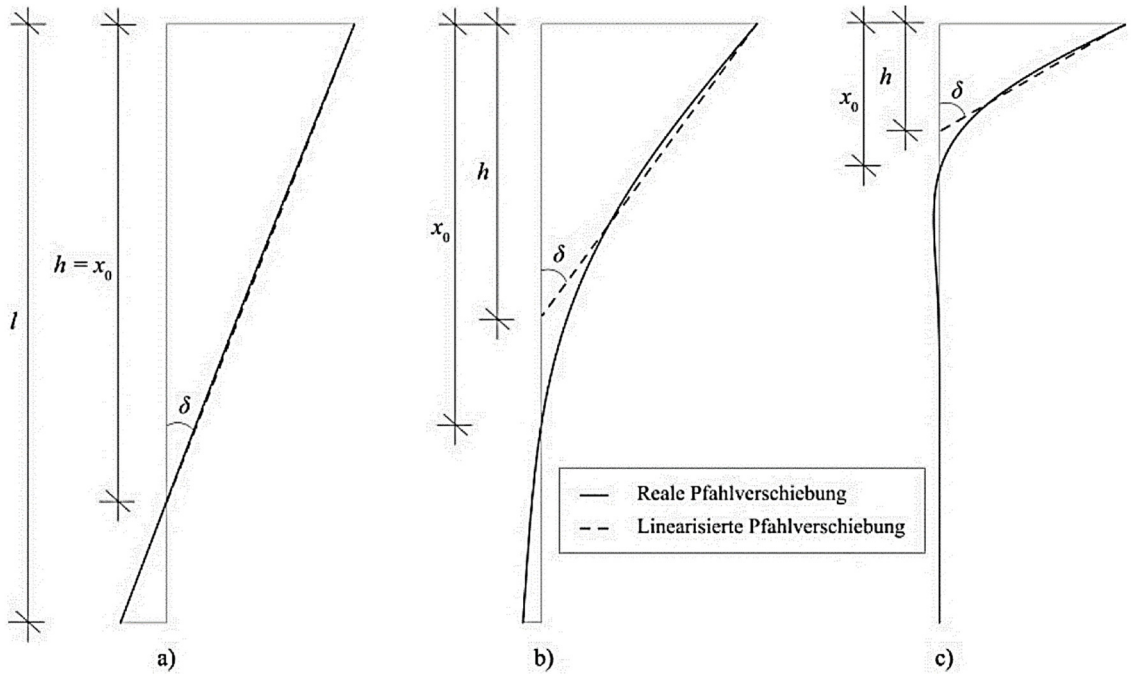


Abb. 3.26: Idealisierung der Pfahlverformung je nach Pfahlsteifigkeit aus [29]

Die restlichen geometrischen Größen, die den mobilisierten Erddruckkeil (Abb. 3.27) definieren, ergeben sich in Abhängigkeit der Seitenlänge d und des Ausnutzungsgrads der Bodenfestigkeit - beschrieben durch den mobilisierten Reibungswinkel φ_{mob} und mobilisierten Gleitfugenwinkel ϑ_{mob} bzw. β_{mob} [12].

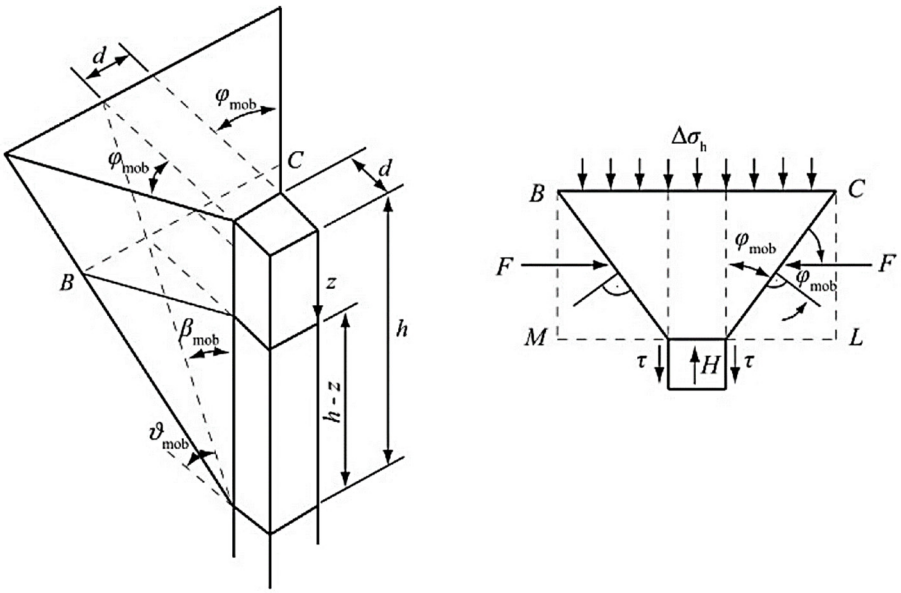


Abb. 3.27: Mobilisierter Erddruckkeil im Strain-Wedge-Modell aus [29]

Abb. 3.28 zeigt das Prinzip des Strain-Wedge-Modells: Die Spannungen und Dehnungen, die infolge der Horizontalkraft H am Erddruckkeil entstehen, werden in Beziehung zu den Spannungs-Dehnungsverhältnissen am bodenmechanischen Element im Triaxialversuch gesetzt. Das betrachtete Element wird gedanklich um 90° gedreht und angenommen, dass die effektiven vertikalen Ausgangsspannungen $\sigma_{v0}(z)$ den effektiven horizontalen Spannungen $\sigma_h(z)$ entsprechen, wobei der Erddruckbeiwert k_e = 1,0 ist [29].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

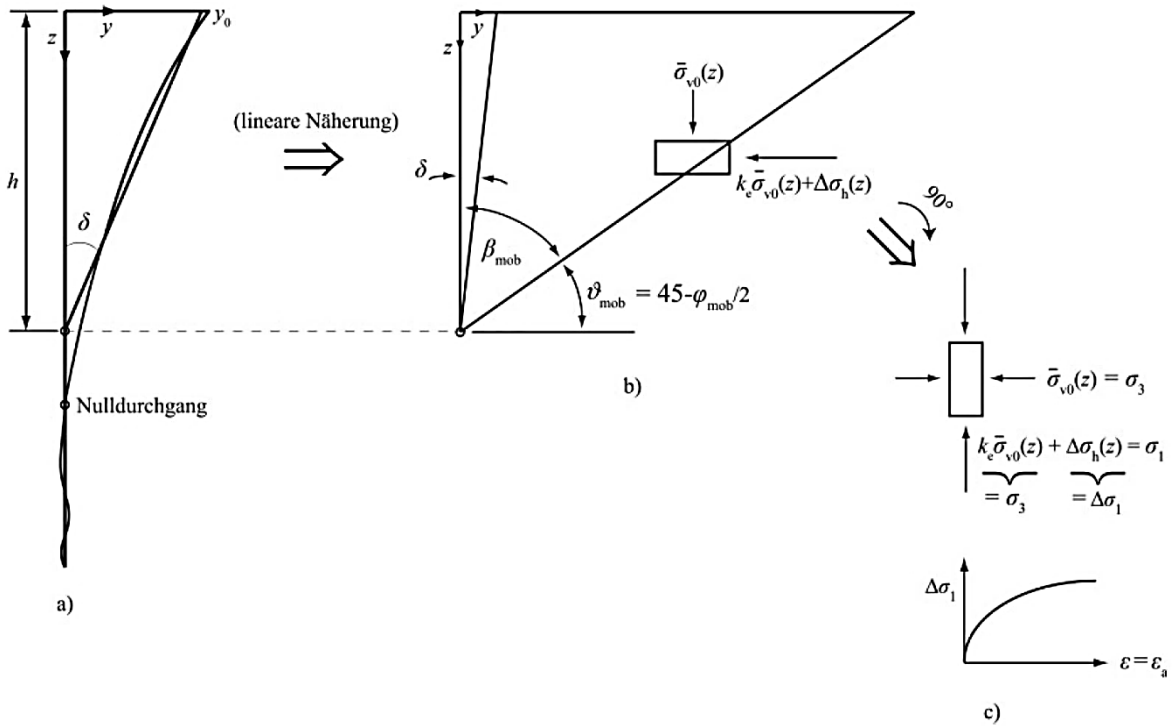


Abb. 3.28: Herstellung des Bezugs zwischen den Spannungen und Dehnungen am Erddruckkeil und den Spannungs-Dehnungsverhältnissen am bodenmechanischen Element im Triaxialversuch aus [29]

Der detaillierte Berechnungsablauf für rollige Böden wird in [12] angegeben. Als Eingangsparameter wird dafür Referenzdehnung ε_{50} benötigt, die im Triaxialversuch der halben (50%) Deviatorspannung im Bruchzustand zugeordnet ist [29]. Im Folgenden wird der Ablauf der iterativen Berechnung nur konzeptionell nach [12] wiedergegeben:

1) Annahme einer Dehnung ε im Erddruckkeil
2) Ermittlung der horiz. Spannungsänderung $\Delta\sigma_h$ über Triaxialversuch für vorgegebenes sowie Ermittlung des mobilisierten Reibungswinkels φ_{mob} und die mobilisierten Gleitfugenwinkel ϑ_{mob} bzw. β_{mob}
3) Annahme der Höhe h des Erddruckkeils
4) Berechnung der Breite des Dehnungskeils BC, der Schuspannung τ und der Bettungskraft P in der Tiefe $z = h/2$
5) Berechnung der Pfahlkopfverschiebung y_0 über Verzerrung des Dehnungskeils
6) Berechnung des Bettungsmoduls k bzw. dessen Zunahme n_h über die Tiefe
7) Ermittlung der zu y_0 gehörenden Pfahlkopfbelastung H_0 mithilfe der ermittelten Bettungsmodulverteilung am elastisch gebetteten Stab
8) Ermittlung einer neuen Erddruckkeilhöhe h_{neu} und Ansetzen dieser im Schritt 3) → Iteration

Mit diesem Prozedere ist die Simulation einer kompletten Last-Verschiebungs-Kurve möglich, die aufgrund der Verknüpfung der Bodenparameter mit dem Pfahltragverhalten die Pfahl-Boden-Interaktion besonders berücksichtigt. Nichtlineares Materialverhalten des Pfahls kann ebenso berücksichtigt werden [12].

Durch eine Erweiterung des Strain-Wedge-Modells (ESWM) kann die Berechnung auch bei mehrschichtigem Untergrund angewandt werden [12].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Numerische Verfahren

Numerische Berechnungen werden heutzutage oft angewendet, sei es zur Vergleichbarkeit mit einem der oben genannten Verfahren oder zur Abschätzung des Trag- und Verformungsverhaltens von lateral belasteten Pfählen an sich. Damit können beispielweise verschiedenste Verläufe von Bettungsmoduln bzw. *p-y*-Kurven für das gleichnamige Verfahren ermittelt werden. Ebenso können Parameterstudien durchgeführt werden [15]. Die Berechnungen erfolgen dabei entweder am zwei- oder (häufiger schon) am dreidimensionalen Modell.

Es gibt prinzipiell folgende numerische Berechnungsverfahren und Beispiele von Softwareprogrammen:

- Finite Elemente Methode (FEM): z.B. *Plaxis 3D*, *Abaqus/Cae*, …
- Finite Differenzen Methode (FDM): z.B. *LPILE*
- Diskrete Elemente Methode (DEM): z.B. *FLAC3D*

Aufgrund ihrer häufigen Anwendung beziehen sich die nachfolgenden Erläuterungen hauptsächlich auf die FEM.

Mit der FEM lässt sich insbesondere die Pfahl-Boden-Interaktion simulieren. Bei der Modellierung müssen nach [31] im Allgemeinen folgende Aspekte eingearbeitet werden:

- Geometrie des Pfahls
- dreidimensionale Spannungsausbreitung im Baugrund
- Kraftübertragung zischen Pfahl und Baugrund
- Relativverschiebung zwischen Pfahl und Baugrund
- Materialverhalten des Bodens und des Pfahls

Für Stahlrohrpfähle kann beispielsweise linear-elastisches Materialverhalten (nach Hooke) gewählt werden [31]. Wie in [7] erläutert empfiehlt sich für Stahlbetonpfähle hingegen ein nichtlineares Materialmodell.

Für den Boden werden hier einige Materialmodelle aufgezählt:

- Elastoplastizität (nach Mohr-Coulomb) [31]
  - E_s = konstant
  - E_s = linear
  - E_s = parabolisch
  - E_s = hyperbolisch
- Hypoplastizität [31]
- Hardening Soil Modell [28]
- Ramberg-Osgood Modell [17]
- Drucker-Prager Modell [21]

Die Vorteile der FEM sind [21]:

- Anpassungsfähigkeit aufgrund verschiedener geometrischer Modelle
- Anpassungsfähigkeit aufgrund verschiedener Materialmodelle für Pfahl und Boden
- Definition verschiedener Randbedingungen und kombinierte Belastungen
- Detailanpassung einzelner Elemente
- Modellierungsmöglichkeit des Bodens als Kontinuum

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Durch die große Vielfalt der verschiedenen Möglichkeiten der Modellierung machen die FEM zum wahrscheinlich leistungsfähigsten Verfahren [21]. Je komplexer Material- und Geometriemodell jedoch werden, desto größer wird auch der Rechenaufwand [15] und die zu treffenden Annahmen der Modellparameter und Eingangsgrößen.

Die Qualität einer numerischen Berechnung ist allerdings immer nur so hoch wie jene der Eingangsparameter. Laut EA-Pfähle [13] sollten daher FEM-Berechnungen nur zur Ermittlung des Trag- und Verformungsverhaltens herangezogen werden, wenn sie an Probebelastungen kalibriert wurden [25].

Schon 1986 wurde in [17] eine dreidimensionale FE-Analyse zum Tragverhalten von lateral und axial-lateral belasteten Gründungspfählen für integrale Brücken durchgeführt. Dabei wurden neben Nichtlinearitäten in der Geometrie und im Materialverhalten des Pfahls auch das nichtlineare Verhaltens des Bodens sowie die Boden-Pfahl-Interaktion berücksichtigt. Die FE-Berechnungen wurden dabei schließlich mit je einer Probebelastung an einem H-Pfahl (Stahl) sowie einem Holz-Pfahl verglichen [17].

In [31] erfolgte mithilfe der FE-Berechnungen eine Untersuchung zur Anwendbarkeit der *p*-*y*-Methode, allerdings wiederum an einem Monopile, also einem Stahlrohrpfahl. Die für die vorliegende Arbeit interessanten Erkenntnisse daraus werden im Folgenden aufgezählt [31]:

- Der Pfahlwiderstand strebte asymptotisch einem Grenzwert zu, der vom Durchmesser und vom Wandreibungswinkel abhängt.
- Für den Durchmesser von $D = 1$ m gab es im Vergleich zu den anderen Durchmessern (2, 4, 6 m) eine (noch) gute Übereinstimmung von FE-Berechnung mit den *p*-*y*-Verfahren.
- Lediglich das hypoplastische Stoffgesetz führt im FE-Modell zu unrealistisch großen Verformungen bei allen Durchmessern.

Darüber hinaus findet man in diversen Publikationen weitere Vergleiche von FE-Berechnungen mit *p*-*y*-Verfahren (siehe beispielsweise [28]), aber auch von FEM mit FDM (siehe [21]).

3.4.3 Kombiniert belastete Pfähle

3.4.3.1 Allgemeines

Obwohl in den vorangegangenen Abschnitten 3.4.1 und 3.4.2 das axiale und laterale Tragverhalten von Pfählen getrennt betrachtet wurde, können selbstverständlich auch kombinierte Belastungen von auftreten. Dies ist nach Abb. 3.29 beispielsweise der Fall bei [4]:

1) Offshore-Windenergieanlagen (↓ EG, ↑Zug-/Druckverankerung, ↔ Wind und Wellen)
2) Abgespannte Masten (↓ EG, ↑Zugverankerung, ↔ Wind)
3) Passiv belastete Gründungspfähle (↓ EG + NL, ↔ Seitendruck)
4) Pfähle bei integralen Brücken (↓ EG + NL, ↔ Erddruck + Zwang aus Überbau)
5) Freileitungsmasten (↓ EG, ↑Zug-/Druckverankerung, ↔ Wind)

(EG = Eigengewicht, NL = Nutzlasten)

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

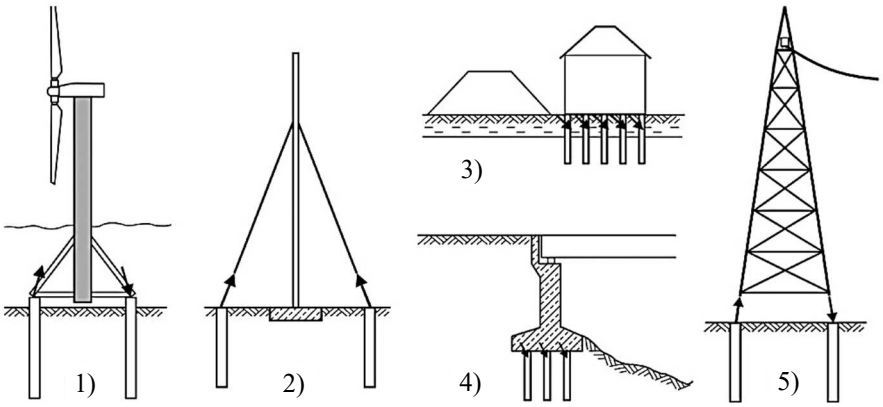


Abb. 3.29: Beispiele für das Auftreten von kombinieren Belastungen aus [4] (adaptiert)

3.4.3.2 Untersuchung des kombinierten Trag- und Verformungsverhaltens

Das axiale und laterale Tragverhalten können sich bei kombinierter Belastung gegenseitig beeinflussen, wobei Interaktionseffekte auftreten können. Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, dass das vertikale Tragverhalten von einer horizontalen Belastung stärker beeinflusst wird, als das horizontale Tragverhalten von einer axialen Belastung (vgl. auch Gleichung (3.44)).

Zu den Interaktionseffekten gibt es bislang wenige Untersuchungen. Als eine der Ausnahmen führte [4] dazu FE-Berechnungen an einem Bohrpfahl sowohl in dichtem Sand als auch in steifem bis halbfestem Ton durch, deren wesentliche Erkenntnisse nachfolgend wiedergegeben werden:

Grundsätzlich wird zwischen kombiniert druck- und kombiniert zugbelasteten Pfählen unterschieden (Abb. 3.30).

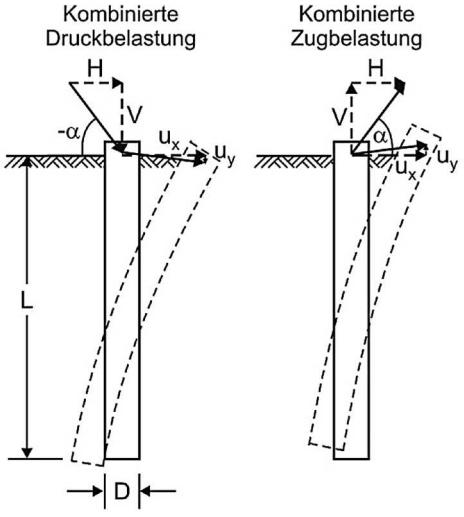


Abb. 3.30: Kombinierte Belastungsarten aus [4]

Der Winkel α gibt die Richtung der Resultierenden aus Vertikal- und Horizontalkraft gegen die Horizontale an. Für kombinierte Zugbelastung wird das Vorzeichen für α positiv, für kombinierte Druckbelastung negativ definiert. Nach den Berechnungen sind für die Interaktionseffekte die mittels Grenzlast normierten Winkel α_{norm} bedeutsamer, weshalb folgende Beziehung aufgestellt wird:

$$tan\ \alpha_{norm} = \frac{V/V_u}{H/H_u} = tan\ \alpha \cdot \left(\frac{H_u}{V_u}\right) \tag{3.43}$$

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.

mit α_{norm} als normierten Einwirkungswinkel, $V_u = V_{u,c} = V_{u,\alpha=-90°}$ als Druckgrenzlast oder $V_u = V_{u,t} = V_{u,\alpha=90°}$ als Zuggrenzlast.

Für vorwiegende Zugbelastung ist das Versagen klar definiert. Bei Horizontal- bzw. Druckbelastung hat der Pfahl per Definition versagt, wenn er horizontal bzw. vertikal eine Verschiebung von 10% seines Durchmessers erreicht hat [4].

Weitere Festlegungen in der FE-Berechnung waren [4]:

- Pfahlgeometrie: $D = 1$ m und $L = 15$ m
- Initialspannungszustand: $\sigma_z = \gamma' \cdot z$ und $\sigma_h = \gamma' \cdot z \cdot k_0$ mit $k_0 = 1 - \sin\varphi'$
- Materialmodell Boden: elasto-plastisch mit Mohr Coulomb'schem Versagenskriterium und und einer spannungsabhängigen Steifigkeit von $E_s = \kappa \cdot p_{ref} \cdot (\sigma_m / p_{ref})^{\lambda}$ mit dem Parameter κ, der Referenzspannung $p_{ref} = 100$ kN/m² und dem Steifigkeitsparameter λ nach Tab. 3.9; Höhe GW = Höhe GOK
- Materialmodell Pfahl: linear-elastisch mit $E = 30.000$ MN/m² und $\nu = 0{,}2$ (Beton)
- Kontaktdefinition: elasto-plastisch; Reibungskontakt im Sand bzw. Adhäsonskontakt im Ton; unterhalb der elastischen Grenzverschiebung von $\Delta u \leq \Delta u_{el,slip} = 0{,}25$ steigt τ linear an; bei $\Delta u > \Delta u_{el,slip} = 0{,}25$ wird die mobilisierbare Schubspannung τ_{mob} gemäß Tab. 3.10 und Abb. 3.31begrenzt.
- Lastaufbringung: simultane Aufbringung von V und H bis zur Grenzlast

Tab. 3.9: Angesetzte Bodenparameter nach [4]

Parameter	Sand, dicht	Ton, steif bis halbfest
Wichte unter Auftrieb γ'	11,0 kN/m³	11,0 kN/m³
Steifigkeitsparameter κ	600	100
Steifigkeitsparameter λ	0,55	1,0
Querdehnzahl ν	0,25	0,45
Reibungswinkel φ'	37,5°	0,1°
Dilatanzwinkel ψ	7,5°	0,1°
Kohäsion c	$c' = 0{,}1$ kN/m²	$c_u = 20 + 4 \cdot z$ kN/m²

Tab. 3.10: Mobilisierbare Schubspannung τ_{mob} gemäß [4]

Boden	τ_{mob}	mit
Sand	$\mu \cdot \sigma_H$	$\mu = 2/3 \cdot \varphi'$
Ton	$\alpha_\tau \cdot c_u$	$\alpha_\tau = 0{,}5 \cdot (c_u / p_u)^{-0{,}50} \leq 1{,}0$ für $(c_u / p_0) \leq 1{,}0$
		$\alpha_\tau = 0{,}5 \cdot (c_u / p_u)^{-0{,}25} \leq 1{,}0$ für $(c_u / p_0) > 1{,}0$

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

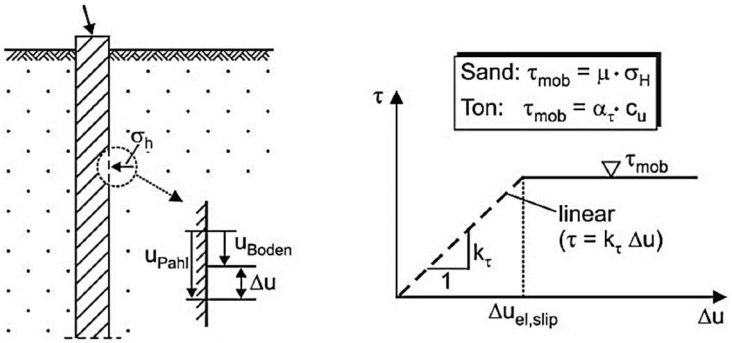


Abb. 3.31: Kontaktdefiniton zwischen Boden und Pfahl aus [4]

Vergleichbare Auswertungen kombinierter Probebelastungen lagen zum Zeitpunkt der Veröffentlichung von [4] nicht vor. Deshalb orientierte man sich an durchgeführten Modellversuchen, welche verschiedene Interaktionsansätze vorschlagen:

$$\frac{Q_{u\theta} \cdot cos\theta}{V_u} + \left(\frac{Q_{u\theta} \cdot sin\theta}{H_u}\right)^2 \leq 1{,}0 \tag{3.44}$$

oder

$$\left(\frac{Q_{u\theta} \cdot cos\theta}{V_u}\right)^2 + \left(\frac{Q_{u\theta} \cdot sin\theta}{H_u}\right)^2 \leq 1{,}0 \tag{3.45}$$

mit $Q_{u\theta}$ als Grenzlast unter einem Einwirkungswinkel Θ. Der Ansatz mit Gleichung (3.45) wurde aufgrund der Nachrechnungen jedoch als nicht zutreffend bewertet [4].

Die vorgeschlagene Annahme die Ermittlung von sowohl der vertikalen als auch der horizontalen Grenzlast für einen linearen Anstieg des Wandreibungswinkels δ zwischen $\delta = 0°$ (rein horizontale Belastung) und $\delta = 90°$ (rein vertikale Belastung) durchzuführen, trägt der Beobachtung in Versuchen Rechnung, dass geringe Vertikalbelastungen sich günstig auf die horizontale Grenzlast auswirken [4].

Für den FE-Modellpfahl in [4] wurden schließlich horizontale und vertikale Last-Verschiebungslinien unter der kombinierten Belastung ermittelt.

Die horizontale Last-Verschiebungslinie Abb. 3.32 zeigt für den Pfahl in Sand, dass mit steigendem Zugkraftanteil die mobilisierte Horizontalkraft mit zunehmender Horizontalverschiebung sinkt. Dieser Effekt lässt sich beim Pfahl im Ton in geringerem Ausmaß auch erkennen. Steigt umgekehrt der Druckkraftanteil, so sorgt die abwärts gerichtete Vertikalkraftkomponente für eine Erhöhung des horizontalen Bodenwiderstands [4].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

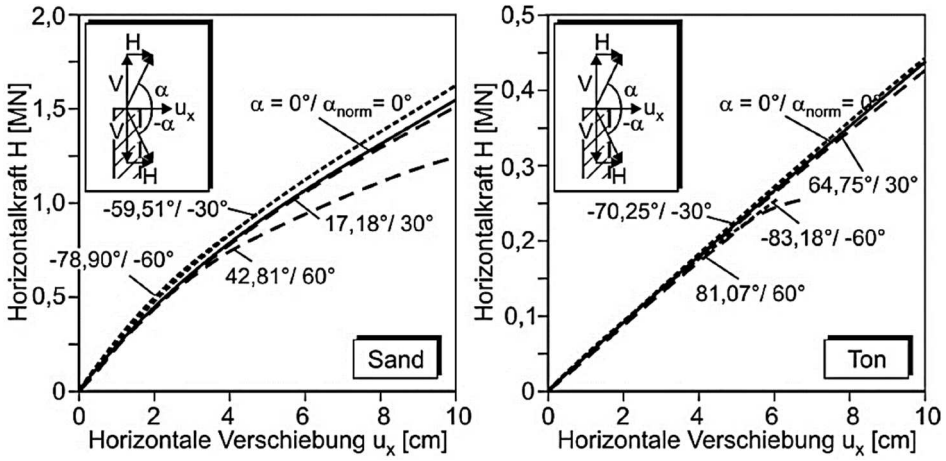


Abb. 3.32: Horizontale Last-Verschiebungslinien aus [4]

Die vertikale Last-Verschiebungslinie in Abb. 3.33 zeigt, dass für den kombiniert druckbelasteten Pfahl im Sand eine Reduktion des Horizontalkraftanteils zu einer Verringerung des vertikalen Widerstands führt. Bei kombinierter Zugbelastung ist das genau umgekehrt. Dies liegt an der Spannungsabhängigkeit der mobilisierbaren Mantelreibung. Erfährt ein kombiniert druckbelasteter Pfahl eine Horizontalverschiebung, so wird der passive Erdgleitkeil nach oben verdrängt, womit die daraus resultierende Relativverschiebung zwischen Boden und Pfahl die Mobilisierung der Mantelreibung beschleunigt und die Anfangssteifigkeit des Pfahl-Boden-Systems vergrößert. Bei kombinierter Zugbelastung sorgt die Horizontalbelastung für eine nach oben gerichtete Verschiebung des Bodens, die die Hebung des Pfahls übersteigt. Dadurch entsteht ungünstig wirkende negative Mantelreibung, die sich erst mit größeren Pfahlhebungen wieder abbaut. Im Ton sind derartige Interaktionseffekt wiederum von geringerer Ausprägung, sind aber eher auf Spaltbildungen an der aktiven Seite zurückzuführen [4].

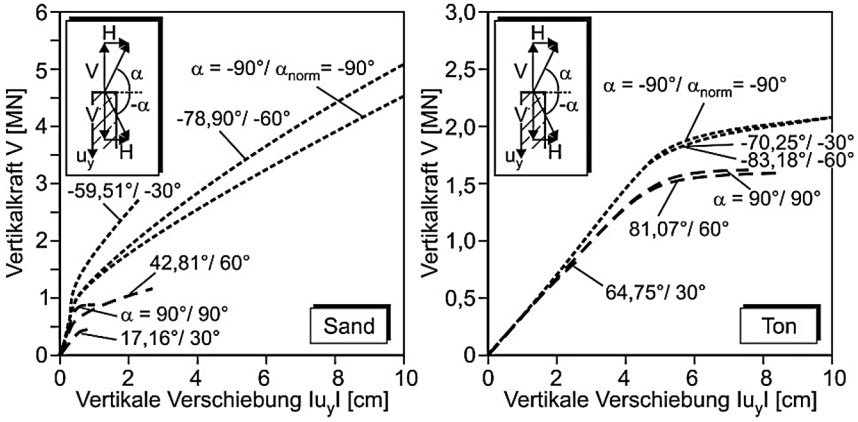


Abb. 3.33: Vertikale Lastverschiebungslinien aus [4]

In [4] werden die gegenseitige Beeinflussung anschließend in Interaktionsdiagrammen zusammengefasst (Abb. 3.34).

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.

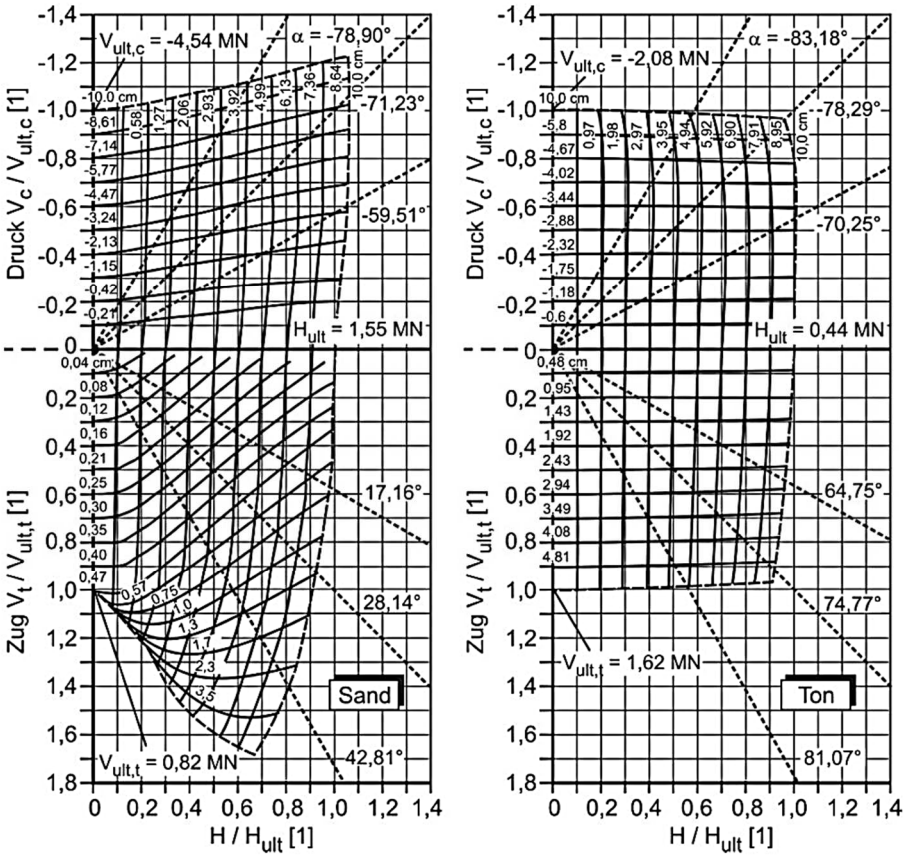


Abb. 3.34: Interaktionsdiagramme für kombiniert belastete Pfähle in Sand bzw. Ton aus [4]

Weiters wird der Einfluss von Systemparametern auf das Tragverhalten untersucht. Aus vorangegangenen Untersuchungen werden im Wesentlichen drei zentrale Aussagen abgeleitet [4]:

- Je näher das Tragverhalten jenem eines kurzen, starren Pfahls kommt, desto höher ist die Interaktionsintensität.
- Im Allgemeinen werden durch eine kombinierte Druckbelastung die Systemsteifigkeit und Grenzlasten erhöht.
- Eine kombinierte Zugbelastung vermindert hingegen die Systemsteifigkeit und die Grenzlasten.

Ebenso haben Pfahlkopfrandbedingungen (Abb. 3.35) wie eine starre Einspannung ($K_\varphi = 10^{15}$ kN/rad) oder eine nachgiebige Pfahlkopflagerung ($K_\varphi = 3 \cdot 10^5$ kN/rad) bzw. ein angreifendes Moment (M_k) im Vergleich zur freien Pfahlkopflagerung (Referenzsystem) großen Einfluss auf die Interaktionsintensität. Diese ist jeweils umso höher, je größer das Kopfmoment bzw. die Drehfedersteifigkeit ist, was sich in den Pfahlbiegelinien äußert. Von ihr hängt dann wiederum der mobilisierte Erdwiderstand ab [4].

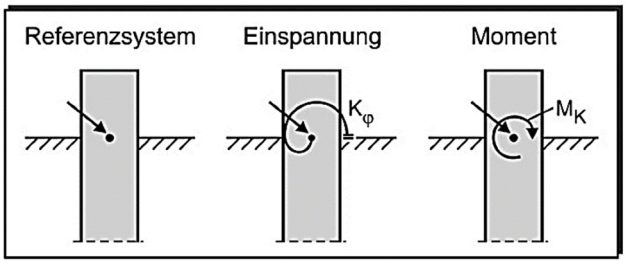


Abb. 3.35: Beispiele für Pfahlkopfrandbedingungen aus [4]

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.

Generell kann man den Interaktionseinfluss von Pfahlkopfrandbedingungen auf das vertikale Tragverhalten als größer erachten als auf das horizontale Tragverhalten. Mit den Ergebnissen wurden wiederum Interaktionsdiagramme erstellt [4].

Abschließend wird in [4] noch der Einfluss der kombinierten Belastung auf das innere Tragverhalten, also im Wesentlichen auf die Pfahlbiegemomente, untersucht. Dabei lässt sich sagen, dass eine kombinierte Druckbelastung eine Verminderung bzw. eine kombinierte Zugbelastung eine Erhöhung der Pfahlbiegemomente zur Folge hat. Da dies dem Einfluss von Theorie II. Ordnung widerspricht, liegt die Ursache wiederum in der Beeinflussung des horizontalen Bodenwiderstands. Somit fallen bei einer kombinierten Druckbelastung die Pfahlbiegemomente kleiner aus, weil durch den höheren horizontalen Bodenwiderstand der Großteil der Abtragung der Horizontalkraftkomponente schon im oberen Bereich stattfindet [4].

In der bereits in Abschnitt 3.4.2.3 (*p-y*-Verfahren) zitierten Publikation [7], wird ein Ansatz für *p-y*-Kurven kombiniert belasteter Pfähle präsentiert (siehe Tab. 3.8).

In [21] wurde im Zuge der FE-Berechnungen auch das kombinierte Tragverhalten des betrachteten H-Pfahls (Stahl) untersucht. Dabei wurde zur eingeprägten horizontalen Pfahlkopfverschiebung von 2 cm zusätzlich eine axiale Last von 298 kN aufgebracht. Dies schlug sich jedoch weder nennenswert im Pfahlbiegemoment noch in der horizontalen Verschiebung nieder, was aber auch am geringen Betrag der Axiallast liegen kann.

3.5 Tragverhalten von Pfählen unter nichtruhender Belastung

Hinsichtlich Pfahlwiderstände bei Pfählen unter zyklischen, dynamischen oder stoßartigen Belastungen verweist ÖNORM B 1997-1-3 [39] auf die EA-Pfähle [13].

3.5.1 Zyklische Belastungen

3.5.1.1 Allgemeines

Definitionen

EA-Pfähle [13]: Unter zyklischen Einwirkungen „[…] *werden sich wiederholende Einwirkungen auf die Pfähle verstanden, bei denen Trägheitskräfte des Pfahl-Boden-Systems nicht berücksichtigt werden müssen*, […]“.

Nach der Definition der EA-Pfähle sind die in [19] genannten wiederholten, quasistatischen Beanspruchungen nichts anderes, da aufgrund der geringen Frequenz der Zyklen Beschleunigungseffekte vernachlässigbar sind. Derartige geringzyklische Belastungen kommen beispielsweise bei Widerlagern von integralen Brücken vor, die sich aufgrund der Temperaturschwankungen des Jahreszyklus im Sommer ausdehnen und im Winter zusammenziehen [19]. Betrachtet man temperaturinduzierte Verformungen von Gründungspfählen integraler Brücken über den Tagesverlauf, sind diese entsprechen höherfrequent [25], jedoch immer noch zyklisch.

Unterscheidung zwischen zyklischen und dynamischen Belastungen

Eine zyklische Belastung liegt vor, wenn Gleichung (3.46) erfüllt ist. Dann können dynamische Effekte vernachlässigt werden [13].

$$M \cdot \omega^2 < 0{,}1 \cdot K \tag{3.46}$$

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

mit der Kreisfrequenz $\omega = 2 \cdot \pi / T$, der wirksamen Masse der Pfahlgründung M [t] und der linear-elastischen Steifigkeit K [kN/m]. Bei Einzelpfählen kann für M die Pfahlmasse über die elastische Länge eingesetzt werden, während bei Pfahlgruppen die Masse des eingeschlossenen Bodens berücksichtigt werden muss [13].

Lastanteile, Schwellbelastung, Wechselbelastung

Anhand von Abb. 3.36 werden die Grundbegriffe zyklisch-axialer Belastungen erklärt. Die Bezeichnungen gelten sinngemäß auch für zyklisch-laterale Belastungen (mit H statt F) [13].

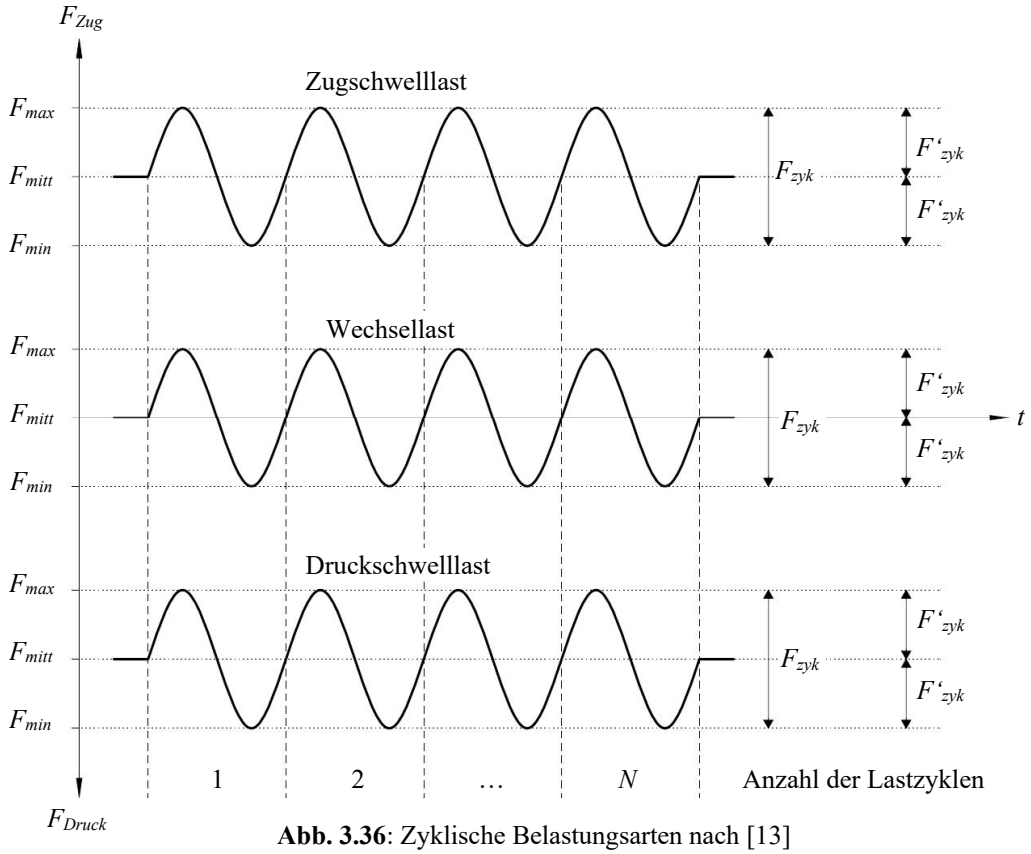


Abb. 3.36: Zyklische Belastungsarten nach [13]

Mit: F_{mitt}….. mittlere Last
F_{min}….. betragsmäßig kleinste Last
F_{max}…..betragsmäßig größte Last
F'_{zyk}…. zyklische Lastamplitude
F_{zyk} …..zyklische Lastspanne

Die mittlere Last ergibt sich in der Regel zu:

$$F_{mitt} = F_{G,k} + F_{Q,rep} \tag{3.47}$$

mit der ständigen Einwirkung $F_{G,k}$ und der repräsentativen, veränderlichen Einwirkung $F_{Q,rep}$ [13].

Bei zyklischen Belastungen wird zwischen Schwell- und Wechselbelastung unterschieden. Bei einer Schwellbelastung haben F_{min} und F_{max} gleiches Vorzeichen, d.h. beide sind Druckkräfte bzw. beide sind Zugkräfte. Bei einer Wechselbelastung haben F_{min} und F_{max} umgekehrte Vorzeichen, d.h. F_{min} ist eine Druckkraft und F_{max} ist eine Zugkraft [13].

Das mittlere Lastniveau axial belasteter sowie kurzer, starrer querbelasteter Pfähle ist nach [13]:

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

$$X_{mitt} = \frac{F_{mitt}}{R_{ult}} \quad bzw. \quad X_{mitt} = \frac{H_{mitt}}{R_{ult}} \tag{3.48}$$

Analog ergibt sich das zyklische Lastniveau nach [13] zu:

$$X_{zyk} = \frac{F'_{zyk}}{R_{ult}} \quad bzw. \quad X_{mitt} = \frac{H'_{zyk}}{R_{ult}} \tag{3.49}$$

wobei R_{ult} der Pfahlwiderstand im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist. Da für lange, biegeweiche zyklisch belaste Pfähle R_{ult} schwer anzugeben ist, gelten die Gleichungen (3.48) und (3.49) hier vorerst nicht [13].

Bei zyklischen Belastungen wird also auch zwischen axialer und lateraler Belastung unterschieden. Das Tragverhalten zyklisch-axial belasteter Pfähle hängt nach [20] von zahlreichen Einflussfaktoren ab, weshalb ein einheitliches Bemessungskonzept schwierig zu gestalten ist.

- Bodeneigenschaften: Bodenart, Festigkeitsparameter, Lagerungsdichte, Sättigungsgrad, Plastizitätszahl, Konsolidierungsgrad und Spannungszustand
- Belastung: Belastungsart (Zugschwell-, Druckschwell- oder Wechsellast), zyklische und statische Lastanteile, Anzahl der Lastzyklen
- Pfahleigenschaften: Pfahlsystem, -durchmesser und -länge sowie Pfahlmantelrauigkeit

Trotz dieser Vielzahl an Einflussfaktoren lassen sich die Auswirkungen mit zunehmender Anzahl der Lastzyklen auf zwei wesentliche beschränken [20]:

- Änderung der Pfahltragfähigkeit
- Akkumulation der plastischen Verschiebungen

Wegen des Hintergrunds der vorliegenden Arbeit wird ab Abschnitt 0 zwar vorwiegend das Pfahltragverhalten unter zyklisch-lateraler Belastung betrachtet, dennoch gelten die in [20] unter dem axial-zyklischen Tragverhalten angeführten Hypothesen tendenziell auch für die Änderung des zyklisch-lateralen Trag- und Verformungsverhaltens (siehe Tab. 3.11). Bei zyklisch-kombinierten Belastungen kommen derartige Effekte ohnehin auch zum Tragen.

Tab. 3.11: Hypothesen zur Veränderung im Trag- und Verformungsverhalten bei steigender Anzahl an Lastzyklen nach [20]

Hypothese bzw. Ursache	Wirkung
Strain-Softening nach Erreichen der Grenzmantelreibung	Abnahme der Mantelreibung
Umorientierung der Kornstruktur (nichtbindige Böden) oder Umlagerung von Bodenpartikeln (bindige Böden)	Steifigkeitsverlust (bei bindigen Böden niedriger aufgrund der Kompressibilität)
Volumenverringerung durch Kornbruch infolge von Schleifvorgängen am Pfahlmantel	Abnahme der Normalspannung am Pfahlmantel
Fließen von Sandkörnern unter den Pfahlfuß während der Hebungsphase	stetige Hebungszunahme, weil der Pfahl nicht mehr in die Ausgangslage zurückkehren kann

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.5.1.2 Folgen zyklisch-lateraler Belastungen

Veränderung des passiven Erddrucks

Nach der Shakedown-Theorie gibt es zwei Arten von Reaktionsmöglichkeiten eines zyklisch beanspruchten Systems [19]:

- Inkrementeller Kollaps: schrittweises Versagen mit linearer Zunahme der plastischen Verschiebungen (bei Erddruckproblemen nicht bekannt)
- Shakedown: Beruhigung der Verschiebungszunahme mit steigender Anzahl der Lastzyklen (stellt den Regelfall dar)

In verschiedenen experimentellen Versuchen wurde eine Erhöhung des passiven Erddrucks mit steigender Zyklenanzahl beobachtet [19]. Einen möglichen Grund dafür zeigt Abb. 3.37.

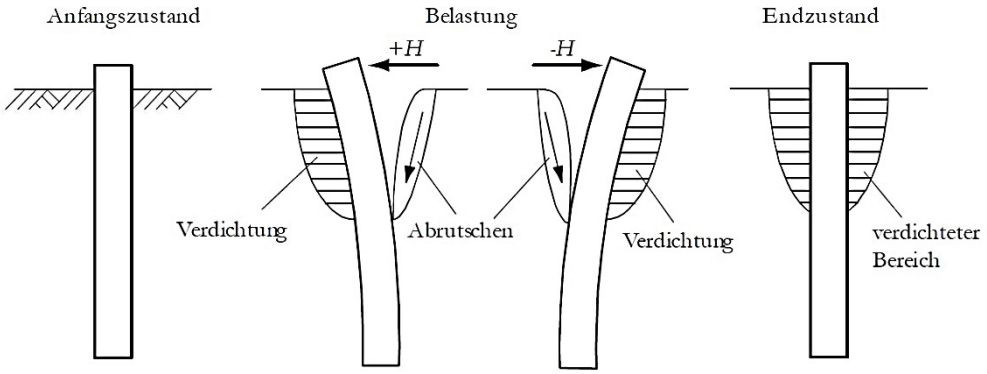


Abb. 3.37: Verdichtungseffekt infolge von wechselnden Horizontallasten aus [15]

Diese Theorie setzt allerdings einen rolligen Boden voraus, der „nachrutschen" kann. Eine Erhöhung des passiven Erddrucks steht im Widerspruch zur Verminderung des Bettungsmoduls (siehe Unterabschnitt „Veränderung des Bettungsmoduls")

Veränderung des Bettungsmoduls

Infolge zyklischer Horizontallasten kann der Bettungsmodul im Vergleich zu jenem zufolge statischer Horizontallast deutlich abfallen [20].

API 2000 [35] gibt für zyklisch beanspruchte Gründungen von Bohrplattformen lediglich eine Abminderung der Bodenwiderstände von 10% an [20].

Verformungsakkumulation

In zahlreichen Modellversuchen wurde die Änderung der plastischen Verformungen mit steigender Anzahl der Lastzyklen untersucht. Unter dränierten Verhältnissen wurde meist eine Abnahme der Verformungsrate beobachtet [15]. Dies entspricht in Abb. 3.38 dem Verhalten „Beruhigen", bei dem die Verformungsrate gegen einen kleinen Wert konvergiert [12]. Unter undränierten Bedingungen können jedoch Porenwasserüberdrücke entstehen, woraus der gegenteilige Effekt entsteht und die Verformungsrate zunehmend ansteigt [15]. In Abb. 3.38 entspricht dies einem „progressiven Versagen" [12]. Die Verformungszunahme kann aber auch nach einer gewissen Anzahl an Lastzyklen gegen Null konvergieren, d.h. die plastische Verformung bleibt konstant. Man spricht dann vom „Einspielen" [12].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

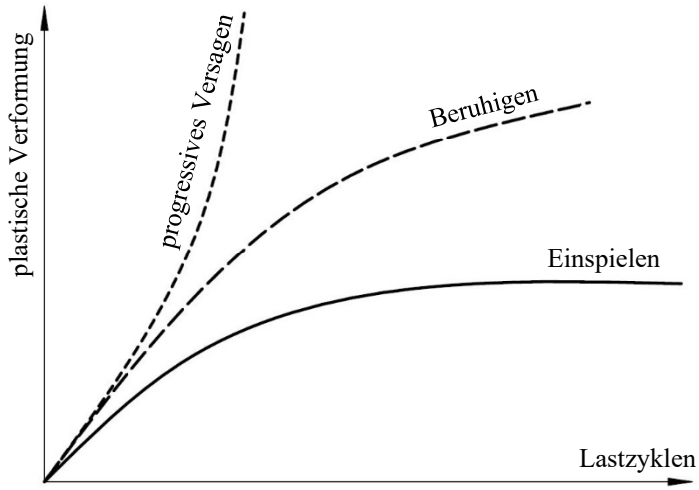


Abb. 3.38: Verformungsakkumulation bei einem kombiniert belasteten Modellpfahl nach [12]

Aus horizontalen Schwelllasten resultieren in der Regel größere akkumuliere Verformungen als bei symmetrischen Wechsellasten. Die Verformungsakkumulation infolge einer asymmetrischen Wechsellast kann jedoch wiederum jene infolge Schwelllast übertreffen [13].

3.5.1.3 Experimentelle Methoden

Zu den experimentellen Methoden zählen beispielsweise Elementversuche und 1g-Versuche. Großversuche, werden ohnehin in den Kapiteln 4 bzw. 5 beschrieben.

3.5.1.4 Berücksichtigung in den Berechnungsverfahren

Empirische Ansätze für Akkumalionsfunktionen

Im Allgemeinen wird die Verschiebung y_N im N-ten Zyklus über eine Akkumulationsfunktion f_N mit der Verschiebung im 1. Zyklus verknüpft [12]:

$$y_N = y_1 \cdot f_N \tag{3.50}$$

mit der Verschiebung y_1 im 1. Zyklus. Für den Bettungsmodul gilt analog dazu:

$$k_N = k_1 \cdot f_N \tag{3.51}$$

mit dem Bettungsmodul k_1 im 1. Zyklus.

Für die Akkumulationsfunktion f_N gibt es verschiedene Ansätze, von denen nachfolgend einige angeführt werden.

Einer der ersten Ansätze geht auf die in [22] durchgeführten Feldversuche von 1986 an sechs Pfählen in Sand zurück. Dabei wurden u.a. zwei Stahlbeton-Bohrpfähle ($D \sim 0{,}92$ m und $D \sim 1{,}07$ m) einer niedrigen Anzahl an horizontalen Lastzyklen ($N = 21$) unterzogen. Anhand dessen wurden die Bettungsmoduln k aus den Last-Verschiebungslinien für unterschiedliche Lastzyklenzahlen zurückgerechnet. Dabei wurde die Abnahme des Bettungsmoduls mit steigender Zyklenzahl beobachtet und in schließlich mit einer Potenzfunktion beschrieben [2]:

$$\frac{k_N}{k_1} = f_N = N^{-a} \tag{3.52}$$

mit dem Degradationsparameter $a = 0{,}04$ bis $0{,}09$.

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.

Die Verschiebung ergibt sich ebenfalls mithilfe des Degradationsparameters *a* [2]:

$$\frac{y_N}{y_1} = f_N = N^a \tag{3.53}$$

Ein anderer Ansatz für die Akkumulationsfunktion wurde anhand ausgewerteter Probebelastungen an Pfählen in Sand abgeleitet. Dieser gilt für lange Pfähle, die bis zu 100 Lastzyklen erfahren [2]:

$$\frac{k_N(z)}{k_1(z)} = f_N = N^{-t} \tag{3.54}$$

wobei der Bettungsmodul tiefenabhängig ist [12]. Der Parameter *t* ist das Maß der Verformungsakkumulation. Dieser ist vom zyklischen Lastverhältnis $R_H = H_{min}/H_{max}$ abhängig und wird ermittelt mit Gleichung (3.55) [2].

$$t = 0{,}17 \cdot F_L \cdot F_I \cdot F_D \tag{3.55}$$

wobei die Faktoren F_L, F_I und F_D vom Lastverhältnis, von der Herstellungsmethode und von der Lagerungsdichte abhängen (siehe [2]).

Ein anderer, logarithmischer Ansatz für die Verformungsakkumulation lautet [2]:

$$\frac{y_N}{y_1} = f_N = 1 + t \cdot lnN \tag{3.56}$$

Hierin wird für den Parameter *t* folgende Berechnung vorgeschlagen [2]:

$$t = 0{,}032 \cdot \frac{l}{l_0} \cdot \beta \cdot \xi \cdot \phi \tag{3.57}$$

wobei die Faktoren β, ξ und ϕ wiederum vom Lastverhältnis, von der Herstellungsmethode und von der Lagerungsdichte abhängen (siehe [2]). Die elastischen Länge l_0 ergibt sich zu:

$$l_0 = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}} \tag{3.58}$$

mit der Steigung des Bettungsmoduls über die Tiefe: $n_h = k/z$

In [2] sind weitere Ansätze zur Pfahlkopfverformung angeführt. Dabei wird eine exponentielle oder logarithmische Verformungszunahme angesetzt. In Summe ist das zyklische Trag- und Verformungsverhalten aufgrund der Vielfalt empirischer Ansätze unübersichtlich. Einerseits liegen ihnen unterschiedliche Versuche in unterschiedlichen Böden zugrunde, andererseits verhielten sich die Versuchspfähle teilweise starr und teilweise biegeweich. Somit eigenen sie sich meist nur für spezielle Situationen [2].

Bei starren Pfählen kann angenommen werden, dass eine exponentielle Reduktion der Bettungssteifigkeit nach Gleichung (3.52) eine gleichartige Erhöhung des der Pfahlkopfverschiebung nach Gleichung (3.53) bedeutet. Wie sich aber bei langen Pfählen eine Reduktion des Bettungsmoduls auf die Pfahlkopfverschiebung auswirkt, ist von der Belastungsart und Bettungsverlauf über die Tiefe abhängig. Tab. 3.12 zeigt entsprechende Ansätze für einen „unendlich langen“ Pfahl [2]:

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tab. 3.12: Akkumulationsfunktionen f_N für die Pfahlkopfverschiebung langer Pfähle nach [2]

Bettungsmodulverlauf	reine H-Last	reine M-Last
konstant	$N^{0,75\cdot\alpha}$	$N^{0,5\cdot\alpha}$
linear mit der Tiefe zunehmend	$N^{0,6\cdot\alpha}$	$N^{0,4\cdot\alpha}$

Mit den Gleichungen (3.56) bis (3.58) wird zwar die Pfahlsteifigkeit berücksichtigt, doch danach käme für steifere Pfähle eine geringere Akkumulationsrate heraus, was aber im Widerspruch zu einer in Versuchen größeren Akkumulationsrate steht. Ein wichtiger Einfluss wie die Baugrundschichtung wird in keinem der Ansätze berücksichtigt [2].

In [15] werden weitere Ansätze angeführt, allerdings für eher große Zyklenzahlen, weshalb sie hier nicht weiter behandelt werden.

Bettungsmodulverfahren

In [12] werden je nach Pfahlsteifigkeit und Verlauf des Bettungsmoduls verschiedene Abminderungen für den Bettungsmodul bzw. dessen Änderung bei reiner Horizontalkraftbeanspruchung angeführt. Für den Fall reiner Horizontalbelastung werden diese in Tab. 3.13 zusammengefasst.

Tab. 3.13: Bettungsmodulansätze bei zyklischer Horizontalbelastung H nach [12]

Bettungsverlauf	starrer Pfahl	biegeweicher Pfahl
konstant	$k_1 = \frac{4 \cdot H}{D \cdot L} \cdot \frac{1}{y_1}$	$k_1 = \frac{4 \cdot EI}{\left(\sqrt[3]{\frac{2 \cdot EI \cdot y_1}{H}}\right)^4 \cdot D}$
linear zunehmend mit der Tiefe z	$k_1 = \frac{18 \cdot H}{D \cdot L^2} \cdot \frac{z}{y_1}$	$k_1 = \frac{4 \cdot EI}{\left(\sqrt[3]{\frac{EI \cdot y_1}{2{,}43 \cdot H}}\right)^5 \cdot D}$

$k_N = k_1 \cdot f_N^{-1}$ (starrer Pfahl) $\qquad k_N = k_1 \cdot f_N^{-\frac{4}{3}}$ (biegeweicher Pfahl) $\qquad k_N = k_1 \cdot f_N^{-\frac{5}{3}}$ (linear zunehmend mit der Tiefe z)

für f_N kann je nach Situation beispielsweise ein Ansatz des vorangegangenen Abschnitts gewählt werden.

Weiters wir in [20] ein vorläufiger Ansatz zur Abschätzung von Bettungsmoduln unter Verwendung der Beziehung $k_h = E_s/D$ und Steifemoduln aus zyklischen Triaxialversuchen vorgeschlagen.

p-y-Methode

Beim Ansatz nach Gleichung (3.35) wird zur Berücksichtigung zyklischer Lasten in Sand der Parameter $A = 0{,}9$ gesetzt (siehe Gleichung (3.36)). Dies entspricht einer pauschalen Abminderung, die vom Maximum an der Geländeoberkante bis zur Tiefe von $2{,}625 \cdot D$ reicht. Einen Ansatz für *p-y*-Kurven für Pfähle unter zyklischer Belastung in Tonböden zeigt Abb. 3.39 (vgl. Abb. 3.25). Darin wird von einer Entfestigung ab dem Erreichen der Grenzverschiebung $y = 3 \cdot y_{50}$ ausgegangen [2].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

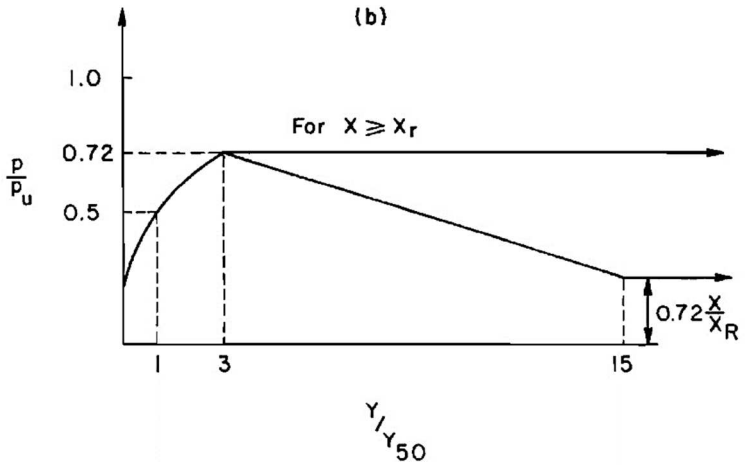


Abb. 3.39: *p-y*-Kurve für weichen Ton und zyklischer Belastung nach [23] aus [27]

In [12] wird ein Ansatz für den Faktor A in Gleichung (3.35) aus zyklischen Modellversuchen in Sand abgeleitet, der jedoch streng genommen nur für Monopiles mit $L/D \sim 5$ gilt [2].

Bei der FE-Berechnung in [17] wurde ein modifiziertes zyklisches Ramberg-Osgood-Modell gewählt, das nichts anderes ist, als eine *p-y*-Kurve für zyklische Belastung (Abb. 3.40).

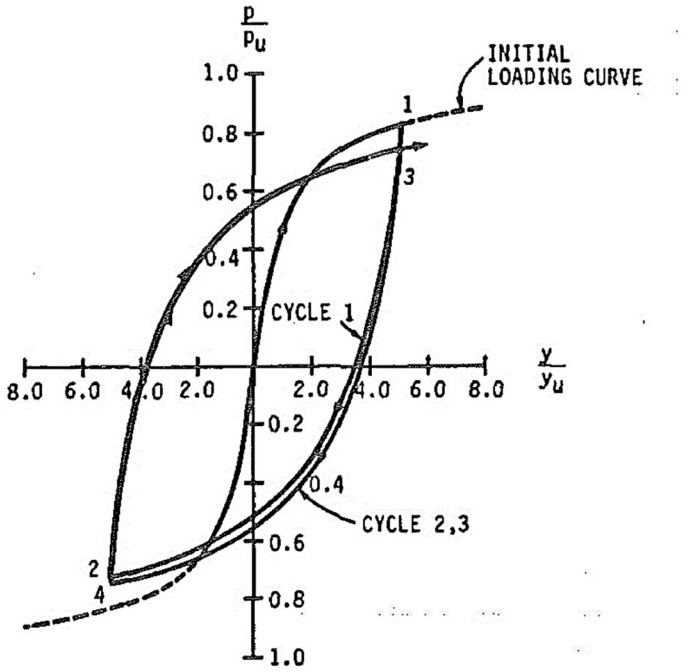


Abb. 3.40: Zyklisches Ramberg-Osgood-Modell aus [17]

Erweitertes Strain-Wedge-Modell

Beim erweiterten Strain-Wedge-Modell (ESWM) wird jenes von Abschnitt 3.4.2.3 entsprechend erweitert, indem mit einem Ansatz zur Berücksichtigung des nichtlinearen Bodenverhaltens bei Be- und Entlastungsvorgängen berücksichtigt wird. Zudem fließt angesichts zyklischer Horizontalbelastung dann ein doppel-logarithmischer Ansatz zur Entwicklung der plastischen Dehnungen im Erdruckkeil mit steigender Zyklenzahl in die Berechnung ein. Hinsichtlich Details dazu siehe [29].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Numerische Verfahren

Die Stiffness-Degradation-Methode (SDM) kombiniert eine 3D-FE-Modell des Pfahl-Boden-Systems mit Versuchsergebnissen aus zyklischen Triaxialversuchen. Das Materialmodell für den Boden unter statischer Last ist ein elastoplastisches Stoffgesetz mit spannungsabhängiger Steifigkeit sowie Bruchkriterium nach Mohr-Coulomb. Die Abnahme des Steifemoduls der zyklischen Triaxialversuche wird mit Gleichung (3.59) ausgedrückt [2].

$$\frac{E_{S,N}}{E_{S,1}} = N^{-b_1 \cdot X^{b_2}} \tag{3.59}$$

mit dem zyklischen Spannungsverhältnis $X = \sigma_{1,cyc} / \sigma_{1,f}$

$\sigma_{1,cyc}$ ..... Maximalwert der zyklisch veränderlichen Hauptspannung
$\sigma_{1,f}$ ..... statische Bruchspannung
b_1, b_2 ..... zyklische Parameter, mithilfe zyklischer Triaxialversuche zu bestimmen

Das Spannungsverhältnis X wird für jedes Element im FE-Modell sowie für N Lastzyklen berechnet. Die mit zunehmender Zyklenzahl sinkende Steifigkeit wird dabei mit Gleichung (3.59) entsprechend abgemindert. So wird das Systemverhalten nach N Lastzyklen ermittelt [2].

Nach EA-Pfähle [13] sollten die Berechnungsmodelle von numerischen Verfahren an vergleichbaren Probebelastung kalibriert werden.

3.5.2 Dynamische Belastungen

Definition nach EA-Pfähle

Unter dynamischen Einwirkungen „[…] *werden sich wiederholende Einwirkungen auf die Pfähle verstanden, bei denen Trägheitskräfte des Pfahl-Boden-Systems berücksichtigt werden müssen*, […]“. Dabei wird zwischen harmonischen, periodischen und transienten Belastungen unterschieden [13].

Dynamische Belastungen können beispielsweise als Folge von verkehrs- oder windinduzierten Schwingungen entstehen, werden hier jedoch nur der Vollständigkeit halber angeführt. Für Näheres wird auf [13] verwiesen.

3.5.3 Stoßartige Belastungen

Definition nach EA-Pfähle

Unter stoßartigen Einwirkungen „[…] *werden einmalige Einwirkungen auf die Pfähle verstanden, die nur eine kurze Zeit wirksam sind. Dabei sind ggf. die Trägheitskräfte des Pfahl-Boden-Systems zu berücksichtigen*, […]“ [13].

Stoßartige Belastungen können beispielsweise aufgrund von Bremskräften von Verkehrsfahrzeugen oder Anprall auftreten, werden hier jedoch nur der Vollständigkeit halber angeführt. Für Näheres wird auf [13] verwiesen.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.6 Abgrenzung zum Tragverhalten von Pfahlgruppen

3.6.1 Allgemeines

Im Allgemeinen beeinflussen sich Pfähle in ihrem Trag- und Verformungsverhalten gegenseitig, wenn sie in hinreichend kleinem Abstand gruppiert angeordnet sind. Unter Umständen kann es sogar sein, dass die Gesamttragfähigkeit der Pfahlgruppe kleiner als die Summe der Einzelwiderstände ihrer Pfähle ist [20]. Die gegenseitige Beeinflussung hängt dabei von zahlreichen Faktoren ab [39]:

- Geometrie (Pfahldurchmesser, -abstand, -position, -neigung, -einbindetiefe, -anzahl)
- Herstellungsweise der Pfähle
- Steifigkeit der Pfahlkopfplatte
- Art und Richtung der Einwirkungen
- Baugrundeigenschaften

Im Folgenden wird zwischen axial und lateral beanspruchten Pfahlgruppen unterschieden.

3.6.2 Axial beanspruchte Pfahlgruppen

Pfahlgruppen können entweder druck- oder zugbeansprucht werden. Das Verhalten des Einzelpfahls hängt dabei von seiner Lage innerhalb der Gruppe ab (Abb. 3.41). Eckpfähle verhalten sich im Gebrauchslastbereich beispielsweise steifer als Randpfähle und erst recht als Zentrumspfähle [20].

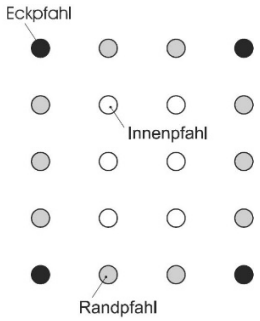


Abb. 3.41: Einzelpfahlbezeichnung nach der Position in der Gruppe aus [24]

Sowohl zur Beschreibung des Setzungsverhalten als auch der Tragfähigkeit gibt es in der Literatur zahlreiche Berechnungsverfahren, wobei heutzutage meist numerische Verfahren zum Einsatz kommen [20].

3.6.3 Lateral beanspruchte Pfahlgruppen

Quer zu Pfahlachse wirkende Lasten verteilen sich auf die Einzelpfähle in Abhängigkeit von der geometrischen Anordnung der Pfähle und der Steifigkeitsverhältnisse zwischen Boden, Pfählen und Überbau [39]. Die ÖNORM B 1997-1-3 [39] verweist zur Ermittlung dieser Lastverteilung auf die EA-Pfähle [13]. Pfähle einer Pfahlgruppe (vgl. Abb. 3.42) beeinflussen sich gegenseitig, wenn

- der Pfahlabstand in Krafteinwirkungsrichtung $a_L < 6 \cdot D$ oder
- der Pfahlabstand quer zur Krafteinwirkungsrichtung $a_Q < 3 \cdot D$ ist.

In der EA-Pfähle darauf hingewiesen, dass die Pfähle einer Gruppe trotz gleicher, horizontaler Kopfverschiebung unterschiedlich stark von der Kraft H_G beansprucht werden. Abb. 3.42 gibt je nach

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Pfahlposition die heranzuziehenden Abminderungsfaktoren an. Die jeweilige Einzeleinwirkung H_i ergibt sich dann zu:

$$H_i = H_G \cdot \frac{\alpha_i}{\sum \alpha_i} \tag{3.60}$$

mit den Werten für die Abminderungsfaktoren α_i gemäß Abb. 3.43.

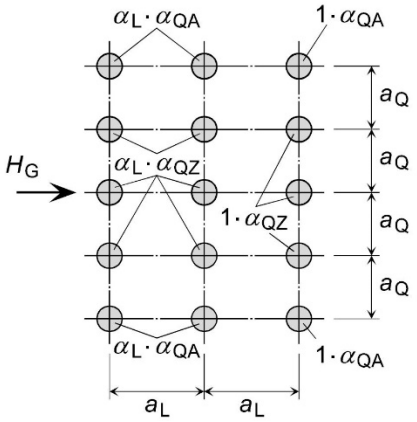


Abb. 3.42: Abminderungsfaktoren α_i für Pfähle in doppelsymmetrischer Anordnung nach [13] aus [24]

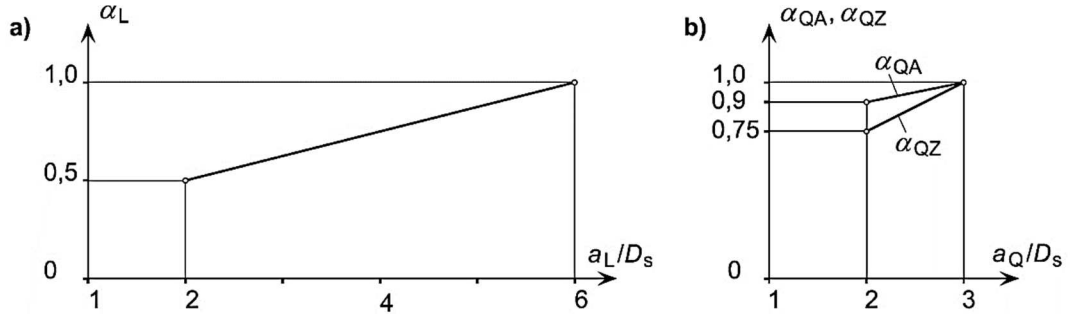


Abb. 3.43:Werte der Abminderungsfaktoren aus Abb. 3.42 nach [13] aus [24]

Auch der Bettungsmodul wird für den Einzelpfahl einer Gruppe entsprechend abgemindert. Dabei wird unterschieden zwischen einem über die Tiefe z

a) linear zunehmenden Bettungsmodul (normal konsolidierte bindige und nichtbinge Böden)
b) und konstanten Bettungsmodul (als obere Grenze in überkonsolidierten bindigen Böden).

Die Abminderungen erfolgen dann gemäß Tab. 3.14. Die darin enthaltenen Gleichungen gelten sowohl für gelenkige als auch für teilweise oder voll eingespannte Anschlüsse der Pfähle an eine Kopfplatte [13].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tab. 3.14: Abminderung des Bettungsmoduls nach [13]

	a)	b)
$k_{s,k}(z) =$	$k_{hE,k} \cdot \frac{z}{D_s}$	$k_{s,k} = const.$
$L_E =$	$\left(\frac{E \cdot I}{k_{hE,k}}\right)^{0,2}$	$\left(\frac{E \cdot I}{k_{sE,k} \cdot D_s}\right)^{0,25}$
für $L/L_E \geq 4$:	$k_{hE,k} = \alpha_i^{1,67} \cdot k_{hE,k}$	$k_{si,k} = \alpha_i^{1,33} \cdot k_{sE,k}$
für $L/L_E \leq 2$:	$k_{hE,k} = \alpha_i \cdot k_{hE,k}$	$k_{si,k} = \alpha_i \cdot k_{sE,k}$

L_E …….elastische Länge des Einzelpfahls
$E{\cdot}I$ ……Biegesteifigkeit des Pfahls
$k_{hE,k}$ ….. char. Wert des Bettungsmoduls des Einzelpfahls in der Tiefe $z = D_s$
$k_{hi,k}$ ….. char. Wert des Bettungsmoduls des Pfahls i der Gruppe in der Tiefe $z = D_s$
$k_{sE,k}$ ……char. Wert des Bettungsmoduls des Einzelpfahls

3.7 Normen und Richtlinien

(Dieser Abschnitt stammt von Anna Freuis [AF]; siehe Kapitel 1 bzw. Tab. 1.1)

ÖNORM EN 1997-1 (2009-05-15)

Das Technische Komitee CEN/TC 250 erarbeitete diese Norm EN 1997-1. Generell behandelt die EN 1997-1 den Entwurf, die Bemessung und Berechnung in der Geotechnik. Es gibt einen Nationalen Anhang für diese Norm (ÖNORM B 1997-1), in welchem alle national festgelegten Kenngrößen für die Bemessung und Planung von Hoch- und Ingenieurbauwerken enthalten sind. Dieser wird im Anschluß genauer behandelt. Im Kapitel sieben dieser Norm wird genauer auf Pfahlgründungen eingegangen [37].

Die zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Diplomarbeit aktuelle Ausgabe der ÖNORM EN 1997-1 stammt aus dem Jahr 2014. Das aktuelle nationale Anwendungsdokument (ÖNORM B 1997-1-1) bezieht sich jedoch auf den Stand 2009.

ÖNORM EN 1536 (2015-08-01)

Wie der Eurocode 7 (ÖNORM EN 1997-1) wurde auch diese Ausführungsnorm vom einem Technischen Komitee des CEN (TC288) erarbeitet. Die Ausführungsphase bei Pfahlgründungen verlangt Erfahrung und Kenntnis, deswegen erfordert dieses spezielle Aufgabengebiet geschultes Fachpersonal. Diese Norm kann somit die Erfahrungen von Fachunternehmen nicht ersetzen. Die EN 1536 wurde als Ergänzung zum EC 7 erarbeitet und beschäftigt sich mit Fragen der Bemessung nur in jenen Fällen, wenn es für die Ausführung notwendig ist. Diese Norm enthält in vollen Umfang die Bauausführung und Überwachung von Pfahlgründungen [42].

ÖNORM B 1997-1-1 (2013-09-01)

Mit dieser Norm wurden die nationalen Festlegungen und Ergänzungen für eine Nachweisführung gemäß Eurocode 7 präzisiert. Wie schon zuvor erwähnt, wurde in der ÖNORM EN 1997-1 Angaben zu Kenngrößen offen gelassen für nationale Anpassungen. Diese hier festgelegten nationalen

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Parameter gelten für den jeweiligen Staat. Diese Norm ist somit gemeinsam mit dem Eurocode 7 anzuwenden [38].

ÖNORM B 1997-1-3 (2015-08-01)

Diese Norm enthält den Entwurf, Berechnung sowie die Bemessung von Pfahlgründungen nach der ÖNORM EN 1997-1. Die Nachweise von Pfahlgründungen in dieser Norm gelten für die Ableitung von Lasten über Pfähle in den Untergrund. Es handelt sich dabei um den Nachweis des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit und der Tragfähigkeit differenziert je nach Art, Baustoff und Herstellungsweise des Pfahls. Im folgenden Kapitel wird genauer auf diese Norm eingegangen im speziellen auf die Bemessung von Pfahlgründungen [39].

ÖBV RL Bohrpfähle (Ausgabe Nov. 2013)

Dies ist eine der Richtlinien, die von der Österreichischen Bautechnik Vereinigung erarbeitet wurde. Richtlinien der ÖBV beinhalten den Stand der Technik und sind ein Hilfsmittel für Planung, Ausführung. In dieser Richtlinie werden Verfahrensgrenzen von den gebräuchlichsten Bohrverfahren aufgezeigt. Die Richtlinie für Bohrpfähle hat ihren Geltungsbereich im Allgemeinen für die Herstellung und Planung von Bohrpfähle, die laut ÖNORM EN 1536 einen kreisrunden Querschnitt und einem Durchmesser von ≥ 30 cm bis 3,0 m haben. Im Folgenden ist eine kurze Übersicht über die Richtlinie zu finden [36].

Vorarbeiten für die Planung von Bohrpfählen werden am Anfang der Richtlinie behandelt. Dies umfaßt unter anderem die Projektangaben, Baugrunduntersuchungen und Erkundung von benachbarten Anlagen. Im Folgenden werden dann Klassifizierungen der Wasserdichtheit von Bohrpfahlwänden erörtert. Es werden dafür je nach Wasserdruckhöhe und Konstruktionsklasse, Anforderungsklassen bestimmt welche, wie in der Richtlinie für „Dichte Schlitzwände“, beginnen mit A3 als dichteste Klasse aufsteigen bis A5. Bei der Planung und Bemessung von Bohrpfählen wird auf die ÖNORM EN 1997-1 bzw. deren nationale Ergänzungsnormen verwiesen. Es sind außerdem Angaben zur konstruktiven Bewehrung sowie zur Fugenausbildung enthalten. Ein Kapitel widmet sich primär den Betonstandards für“ Dichte Bohrpfahlwände“ wobei für die Herstellung, Transport und den Einbau von Beton grundsätzlich die ÖNORM B 4710-1 gilt. Jedoch werden unter Anderem auch genaue Anforderungen an die Betonausgangsstoffe gestellt sowie eine Betonprüfung definiert. Die verschiedenen Verfahren zur Herstellung der Bohrpfähle werden sehr anschaulich dargestellt und die verschiedenen Merkmale der Verfahren zur Wahl der Herstellungsart erläutert. Als Abschluß werden dann Sondermaßnahmen und Sonderlösungen wie z.B. Pfahlfußaufweitung, Pfahlmantelverpressung sowie nachträgliche Abdichtungsmaßnahmen diskutiert [36].

3.8 Bemessung

(Dieser Abschnitt enstand in Zusammenarbeit mit Anna Freuis [AF]; siehe Kapitel 1 bzw. Tab. 1.1)

3.8.1 Allgemeines

Die Bemessung von Pfahlgründungen in Österreich ist in ÖNORM B 1997-1-3 [39] geregelt. Diese nationale Norm basiert auf dem semiprobabilistischen Bemessungskonzept mit Teilsicherheiten gemäß ÖNORM EN 1997-1 (Eurocode 7) [37] und ersetzt seit 2015 die bis dahin gültige Bemessung mit globalen Sicherheiten. ÖNORM EN 1997-1 sieht drei Geotechnische Kategorien (GK 1 bis GK 3) vor, die für die Festlegung von geotechnischen Anforderungen eines Projekts anzu-wenden sind. Diese Kategorien beruhen sowohl auf dem Schwierigkeitsgrad des Bauwerks als auch auf dem Schwierigkeitsgrad des Baugrundes. Zuerst wird ein Projekt vorläufig eingestuft. Diese Einstufung ist aber im Laufe der Planungsphase, besonders nach der geotechnischen Erkundung, zu überprüfen

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

und zu adaptieren [39]. Das Grunddokument ÖNORM EN 1997-1 sieht zunächst folgende Einteilung vor.

In die Geotechnische Kategorie 1 werden kleine und relativ einfache Bauwerke eingeordnet. Diese müssen folgende Eigenschaften erfüllen:

- Der Grund muss aus Erfahrung und qualitativen geotechnischen Untersuchungen die Anforderungen erfüllen.
- Das Risiko muss vernachlässigbar sein.

Zur Geotechnischen Kategorie 2 zählen konventionelle Gründungen und Bauwerke, die kein ungewöhnliches Risiko mit sich bringen sowie keine schwierigen Baugrund- und Belastungs-verhältnisse aufweisen. Die Geotechnische Kategorie 3 beinhaltet alle Bauwerke sowie Bau-werksteile, die nicht in GK 1 oder GK 2 gehören. Im Allgemeinen bedeutet dies, dass in dieser Kategorie große, ungewöhnliche Bauwerke oder zum Beispiel Bauwerke mit außergewöhnlich hohem Risiko umfasst [37]. Das österreichische Anwendungsdokument ÖNORM B 1997-1-1 [38] verweist auf eine davon abweichende Einteilung im Dokument ÖNORM B 1997-2 [40]. Darin sind im Anhang A Beispiele für geotechnische Bauwerke der GK 1 und GK 3 angeführt. Im Unterschied zur ÖNORM EN 1997-1 fallen nun allerdings alle Bauwerke, die nicht der GK 1 oder GK 3 zuzuordnen sind, in GK 2.

Nach ÖNORM EN 1536 [42] sind Pfahlgründungen zumindest der Geotechnischen Kategorie 2 (GK 2) zuzuordnen. Bei Zutreffen eines der folgenden Kriterien fallen diese jedoch unter GK 3:

- Vorliegen von besonders hoher Lasten oder Verformungsempfindlichkeit
- Planung von Mantel- und/oder Fußnachverpressungen zur Erhöhung der Tragfähigkeit
- keine Erfahrung mit vorliegender Wechsel-, Schwell- und dynamischer Beanspruchung
- Ausführung einer Kastengründung oder Kombinierten Pfahl-Plattengründung

Kastengründungen und kombinierte Pfahl-Plattengründungen werden generell der Geotechnischen Kategorie 3 zugeordnet.

3.8.2 Einwirkungen

Folgende Einwirkungen müssen beim Nachweis einer Pfahlgründung nach [39] beachtet werden:

- Ständige und veränderliche Einwirkungen (Eigengewicht, Nutzlast)
- Baugrundabhängige Einwirkungen (negative Mantelreibung, Seitendruck und aus Set-zungen resultierende Biegebeanspruchungen)
- Wasserdrücke und Auftrieb

Generell werden in der Bemessung von Pfählen die charakteristischen Werte der Einwirkungen verwendet und aus diesen leiten sich dann die charakteristischen Beanspruchungen der Pfähle ab.

Seitendruck

Aufgrund von Bodenbewegungen rund um den Pfahl können Seitendrücke auf den Pfahl auftreten diese müssen dann bei der Berechnung berücksichtigt werden [39].

Negative Mantelreibung

Negative Mantelreibung bewirkt eine zusätzliche vertikale Belastung des Pfahlschaftes und tritt dann auf, wenn der umgebende Boden durch flächige Auflasten zusammengedrückt wird. Dies kann vor allem in flüssigen, breiigen, feinkörnigen Bodenschichten, die eine größere Zusammendrückbarkeit haben als die darüber oder darunter liegenden Bodenschichten, auf. Die negative Mantelreibung kann vor allem durch die gewählte Pfahlform und -art beeinflusst werden [39].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Erdbeben

Die Erdbebeneinwirkungen müssen gemäß ÖNORM EN 1998-1 und ÖNORM EN 1998-5 sowie deren nationale Anwendungsdokumente beachtet werden [39].

3.8.3 Widerstände

3.8.3.1 Allgemeines

Die Art der Belastung gibt vor, welche der folgenden Pfahlwiderstände vorhanden sind [39]:

- Pfahlwiderstand durch axiale Druck belastete Pfähle
- Pfahlwiderstand durch axial auf Zug beanspruchte Pfähle
- Pfahlwiderstand durch quer zur Achse beanspruchte Pfähle

Die Belastung gibt vor, welche der folgenden Pfahlwiderstände in der Berechnung berück-sichtigt werden [39]:

- Mantelwiderstand R_s
- Fuß- bzw. Sohlwiderstand R_b bei Druckbeanspruchung; bei Zug wird dies nur berück-sichtigt, wenn eine Fußaufweitung vorhanden ist
- Widerstand quer zur Achse R_{tr}

3.8.3.2 Pfahlwiderstände

Axiale Pfahlwiderstände auf Zug und Druck Belastung in Böden und Fels

Es gibt mehrere Möglichkeiten, um die charakteristischen Werte für axiale Pfahlwiderstände zu erhalten. Die folgenden Daten gelten nur für Einzelpfähle. Pfahlgruppen sowie Pfahlwände haben ein anderes Widerstands-Setzungsverhalten als Einzelpfähle. Die folgende Auflistung enthält die zuvor erwähnten Ermittlungsmöglichkeiten und stammt aus [39]:

- Statische Pfahlprobebelastungen
- Dynamische Pfahlprobebelastungen für axial auf Druck beanspruchte Pfähle nur dann, wenn deren Ergebnisse an statischen Probebelastungen kalibriert wurden.
- Auswertung von Proberammungen mittels anerkannter Rammformeln für Druck be-anspruchte Verdrängungspfähle
- Berechnung mit Hilfe von Tabellenwerten für axial auf Druck und/oder Zug beanspruchte Bohrpfähle gemäß Anhang C der ÖNORM B 1997-1-3 (2015-8-01)
- Ermittlung der Pfahlwiderstände von axial auf Druck beanspruchten verpressten Mikropfählen gemäß Anhang D der ÖNORM B 1997-1-3 (2015-8-01)
- Ermittlung der Pfahlwiderstände von axial auf Druck und/oder Zug beanspruchten Pfählen mit Hilfe von Erfahrungswerten von ausgeführten Pfahlgründungen und/oder Probebelastungen, deren Zuverlässigkeit unter vergleichbaren Bedingungen nachgewiesen wurden.

Der letzte Punkt ist von besonderem Interesse, da sich die Thematik des Forschungsprojekts diesem Teil der Norm widmet.

Pfahlwiderstände quer zur Pfahlachse

Es gibt auch für diese Art der Beanspruchung mehrere Möglichkeiten, die Pfahlwiderstände zu ermitteln [39]:

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

- Statische Pfahlprobebelastung
- Berechnungen
- Erfahrungswerte

Pfahlwiderstände axial und quer zur Pfahlachse

Bei einer kombinierten Pfahlbelastung, also axial und quer zur Pfahlachse, werden für die Nachweisführung die Pfahlwiderstände getrennt voneinander ermittelt [39].

Pfahlwiderstände bei nicht ruhenden Einwirkungen

Für Hinweise auf zu dynamischen, zyklischen und stoßartigen Belastungen wird in [39] auf die EA-Pfähle [13] verwiesen.

Charakteristische Werte der Pfahlwiderstände

Die Werte für den inneren Tragwiderstand $R_{m;k}$ ist nach den Materialien und den Bestimmungen der Bauartnormen zu ermitteln.

Für die charakteristischen Werte des äußeren Tragwiderstandes werden in [39] drei Fälle unterschieden.

(1) Äußerer Tragwiderstand $R_{c;k}$ für **axial auf Druck** beanspruchte Einzelpfähle:

$$R_{c;k} = R_{b;k} + R_{s;k} \tag{3.61}$$

$R_{b;k}$ ..... charakteristischer Wert des Widerstands aus der Mantelreibung [MN]
$R_{s;k}$ ..... charakteristischer Wert des Widerstands aus der Mantelreibung [MN]

Bei Tragwerken, die nicht in der Lage sind, Lasten von „weichen“ zu „steifen“ Pfählen umzulagern gilt hinsichtlich der Auswertung von Pfahlprobebelastungen folgende Beziehung:

$$R_{c;k} = min\left\{\frac{(R_{c;m})_{mitt}}{\xi_1}; \frac{(R_{c;m})_{min}}{\xi_2}\right\} \tag{3.62}$$

$(R_{c;m})_{mitt}$ ... Mittelwert der Messungen aus Pfahlprobebelastungen
$(R_{c;m})_{min}$ ... kleinster Wert von allen Messungen $R_{c;m}$

Hier müssen Streuungsfaktoren ξ_1 und ξ_2 laut ÖNORM EN 1997-1 (genauere Erklärung siehe Abschnitt 3.8.7) angewendet werden. Diese wurden zur Abdeckung von durch Belastungsversuche möglichen Unsicherheiten eingeführt.

Bei Tragwerken, die in der Lage sind Lasten von „schwachen“ zu „starken“ Pfählen umzulagern, gilt folgende Beziehung:

$$R_{c;k} = min\left\{\frac{(R_{c;m})_{mitt}}{\xi_1/1{,}1}; \frac{(R_{c;m})_{min}}{\xi_2/1{,}1}\right\} \tag{3.63}$$

mit $\xi_1/1{,}1 \geq 1{,}0$
$(R_{c;m})_{mitt}$ ... Mittelwert der Messungen aus Pfahlprobebelastungen
$(R_{c;m})_{min}$ ... kleinster Wert von allen Messungen $R_{c;m}$

Wird der Pfahlwiderstand aufgrund der Ergebnisse aus Baugrunduntersuchungen ermittelt, gelten die Gleichungen (3.64) und (3.65):

$$R_{b;k} = A_b \cdot q_{b;k} \tag{3.64}$$

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

$R_{b;k}$ ..... charakteristischer Wert des Pfahlfußwiderstands [MN]
A_b ..... Pfahlfußfläche [m²]
$q_{b;k}$ ..... charakteristischer Wert des Pfahlsohlwiderstands [MN/m²]

Anmerkung: In ÖNORM B 1997-1-3, 7.2.6.2 wird begrifflich nicht zwischen dem Pfahlfußwiderstand $R_{b;k}$ als Kraft [MN] und dem Pfahlfußwiderstand $q_{b;k}$ als Spannung [MN/m²] unterschieden. In Anhang C wird $q_{b;k}$ [MN/m²] wiederum als Pfahlsohlwiderstand bezeichnet, was sich hier zur besseren Unterscheidung zu Nutze gemacht wird.

$$R_{s;k} = \sum_i A_{s;i} \cdot q_{s;i;k} \tag{3.65}$$

$R_{s;k}$ ..... charakteristischer Wert des Widerstands aus der Mantelreibung [MN]
$A_{s;i}$ ..... Pfahlmantelfläche in der Schicht i [m²]
$q_{s;i;k}$ ..... charakteristischer Wert des Pfahlmantelwiderstands in der Schicht i [MN/m²]

Anmerkung: In ÖNORM B 1997-1-3, 7.2.6.2 wird begrifflich nicht zwischen dem Widerstand aus der Mantelreibung $R_{s;k}$ als Kraft [MN] und dem dem Widerstand aus der Mantelreibung $q_{s;k}$ als Spannung [MN/m²] unterschieden. In Anhang C wird $q_{s;k}$ [MN/m²] wiederum als Pfahlmantelwiderstand bezeichnet, was sich hier zur besseren Unterscheidung zu Nutze gemacht wird.

(2) Äußerer Tragwiderstand $R_{t;k}$ für **axial auf Zug** beanspruchte Einzelpfähle:

Hier müssen Streuungsfaktoren ξ_1 und ξ_2 laut ÖNORM B 1997-1-1 angewendet werden. Diese wurden zur Abdeckung von durch Belastungsversuche möglichen Unsicherheiten eingeführt. Der charakteristische Wert des äußeren Zugtragwiderstandes $R_{t;k}$ beträgt dann:

$$R_{t;k} = min\left\{\frac{(R_{t;m})_{mitt}}{\xi_1}; \frac{(R_{t;m})_{min}}{\xi_2}\right\} \tag{3.66}$$

$(R_{t;m})_{mitt}$ ... Mittelwert der Messungen $R_{t;m}$ aus Pfahlprobebelastungen
$(R_{t;m})_{min}$ .... kleinster Wert von allen Messungen $R_{t;m}$

Wird der Pfahlwiderstand aufgrund der Ergebnisse aus Baugrunduntersuchungen ermittelt, gilt folgende Gleichung:

$$R_{t;k} = \sum_i A_{s;i} \cdot q_{s;i;k} \tag{3.67}$$

$A_{s;i}$ ..... Pfahlmantelfläche in der Schicht i [m²]
$q_{s;i;k}$ ..... charakteristischer Wert des Pfahlmantelwiderstands in der Schicht i [MN/m²]

(3) Äußerer Tragwiderstand $R_{tr;k}$ für **quer zur Achse** beanspruchte Einzelpfähle:

Der äußere Pfahlwiderstandes gegenüber Querbelastung $R_{tr;k}$ berechnet sich nach Gleichung (3.68). Werden die charakteristischen Werte des Pfahlwiderstands über Belastungsversuche ermittelt, müssen Streuungsfaktoren ξ_1 und ξ_2 laut ÖNORM EN 1997-1 angewendet werden. Diese wurden zur Abdeckung von durch Belastungsversuche möglichen Unsicherheiten eingeführt.

$$R_{tr;k} = min\left\{\frac{(R_{tr;m})_{mitt}}{\xi_1}; \frac{(R_{tr;m})_{min}}{\xi_2}\right\} \tag{3.68}$$

$(R_{tr;m})_{mitt}$ .. Mittelwert der Messungen $R_{tr;m}$ aus Pfahlprobebelastungen
$(R_{tr;m})_{min}$... kleinster Wert von allen Messungen $R_{tr;m}$

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Werden die Werte des Tragwiderstandes $R_{tr;k}$ mit den Ergebnissen aus Baugrunduntersuchungen sowie Berechnung des Bettungsmoduls bestimmt, gilt die Berechnung gemäß Abschnitt 3.8.4.2.

3.8.4 Grenzzustand der Tragfähigkeit

Im Folgenden wird auf die für die Thematik der Diplomarbeit wesentlichen Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit eingegangen. In ÖNORM EN 1997-1 sind darüber hinaus weitere Nachweismethoden bei Pfahlgründungen angegeben

3.8.4.1 Axial auf Druck beanspruchte Einzelpfähle

Der folgende Nachweis gemäß Gleichung (3.69) gilt für den äußeren Tragwiderstand von Einzelpfählen. Mit diesem Bemessungskriterium gilt eine ausreichende Sicherheit gegen das Versagen, eines Einzelpfahls mit axialer Druckbelastung, durch Bruch des pfahlumgebenden Bodens.

$$F_{c;d} \leq R_{c;d} \tag{3.69}$$

Dabei stellt $F_{c;d}$ den Bemessungswert der Druckbelastung eines Pfahles dar und $R_{c;d}$ den Be-messungswiderstand eines auf Druck belasteten Pfahles. Der Bemessungswert $R_{c;d}$ muss für Druckpfähle nach Gleichung (3.70) oder (3.89) ermittelt werden.

$$R_{c;d} = \frac{R_{c;k}}{\eta_{P;c} \cdot \gamma_t} \tag{3.70}$$

$$R_{c;d} = \frac{R_{b;k}}{\eta_{P;c} \cdot \gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\eta_{P;c} \cdot \gamma_s} \tag{3.71}$$

$\eta_{P;c}$ ..... Modellfaktor für Drückpfähle je nach Ermittlungsverfahren (s. Abschnitt 3.8.6)
γ_b, γ_s, γ_t.... Teilsicherheitsbeiwerte für Pfahlwiderstände gemäß Tab. 3.15

Tab. 3.15: Teilsicherheitsbeiwerte gemäß ÖNORM B 1997-1-1 [38]

Widerstand	Symbol	Wert
Spitzendruck	γ_b	1,10
Mantelreibung	γ_s	1,10
Gesamtwiderstand	γ_t	1,10
Mantelreibung bei Zug	$\gamma_{s;t}$	1,15

Zusätzlich müssen sehr schlanke Pfähle, die in einem sehr weichen bzw. fast flüssigen Boden gebettet sind, mit einem passenden Rechenmodell auf Knickversagen untersucht werden.

3.8.4.2 Quer zur Achse beanspruchte Einzelpfähle

Mit dem Bemessungskriterium gemäß Gleichung (3.72) gilt eine ausreichende Sicherheit gegen das Versagen eines querbeanspruchten Einzelpfahls durch Bruch des pfahlumgebenden Bodens.

$$E_{tr;d} < R_{tr;d} \tag{3.72}$$

$E_{tr;d}$ ..... Bemessungswert der Querbeanspruchung des Pfahls
$R_{tr;d}$ ..... Bemessungswert des Querwiderstands des Pfahls

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Nachweis über Ergebnisse aus statischen Probebelastungen

Der Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit muss mit Kenngrößen berechnet werden, die aus den Ergebnissen von statischen Pfahlprobebelastungen abgeleitet werden. Der Bemessungswert des Querwiderstands ergibt sich dann aus folgender Gleichung:

$$R_{tr;d} = \frac{R_{tr;k}}{\gamma_{R;e}} \tag{3.73}$$

$R_{tr;k}$..... charakteristischer Wert des äußeren Querwiderstands eines Pfahls
$\gamma_{R;e}$..... Teilsicherheitsbeiwert auf den char. Querwiderstand aus Belastungsversuchen

Der Teilsicherheitsbeiwert ist mit $\gamma_{R;e} = 1{,}10$ gleich groß wie jener für Pfähle, die axial auf Druck beansprucht sind.

Nachweis über Ergebnisse aus Baugrunduntersuchungen

Sind die charakteristischen Werte aus den Ergebnissen von Baugrunduntersuchungen abgeleitet, ist der Nachweis der Tragfähigkeit folgendermaßen zu führen:

$$E_{tr;d} \cdot \gamma_E \leq \frac{R_{tr;k}}{\gamma_{R;e}} \tag{3.74}$$

$E_{tr;k}$..... char. Wert der resultierenden Beanspruchung des Bodens
γ_E..... Teilsicherheitsbeiwert auf den char. Wert der Beanspruchung gemäß [38]
$R_{tr;k}$..... char. Wert des resultierenden passiven Erddrucks des Bodens
$\gamma_{R;e}$..... Teilsicherheitsbeiwert auf den char. Wert des Erdwiderstands gemäß [38]

Der Bettungsmodul darf entweder aus vergleichbaren Erfahrungen mit Ergebnissen aus Baugrunduntersuchungen abgeleitet werden oder aus Steifemoduln von Laboruntersuchungen nach Gleichung (3.75) errechnet werden:

$$k_{tr;k} = \frac{E_{s;k}}{b_k} \tag{3.75}$$

$k_{tr;k}$ ..... charakteristischer Wert des Bettungsmoduls [MN/m³]
$E_{s;k}$ ..... char. Wert des Steifemoduls in Richtung der Pfahlverschiebung [MN/m²]
b_k..... maßgebender charakteristischer Wert der Einflussbreite [m]

Die Einflussbreite ergibt sich für Pfahldurchmesser $D \leq 1{,}0$ m zu $b_k = D$ bzw. für $D \geq 1{,}0$ m zu $b_k = 1{,}0$ m. Allerdings kann sich die Einflussbreite in Abhängigkeit der Festigkeits- und Verformungseigenschaften des Baugrunds auf einen Wert von bis zu $3 \cdot D$ erhöhen. Die Festlegung der Einflussbreite bzw. der Bettungsspannungen erfolgt üblicherweise durch den geotechnischen Gutachter und ist gegebenenfalls durch jene Erdwiderstandsspannungen zu begrenzen, die aus der räumlichen Erddruckberechnung resultieren.

Aus den Bettungsmoduln nach Gleichung (3.75) kann ein tiefenabhängiger Bettunsmodul $k_{tr;k}(z)$ mit Gleichung (3.76) berechnet werden (vgl. Abschnitt 3.4.2.3, Bettungsmodulverfahren).

$$k_{tr;k}(z) = k_{tr;k} \left(\frac{z}{d}\right)^n \tag{3.76}$$

d..... Pfahleinbindetiefe [m]
z ..... betrachtete Tiefe [m]
n..... Exponent, der den Bettungsmodulverlauf folgendermaßen beschreibt:
$n = 0$ ..... konstanter (oberer Grenzwert für überkonsolidierte, feinkörnige Böden)

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

n = 1 ..... linear zunehmend (grobkörnige und normalkonsolidierte, feinkörnige Böden)
n = 0,5 .... parabolisch zunehmend (wirklichkeitsnaher Ansatz gem. Verfahren nach *Titze*)

Laterale Probebelastungen (vgl. Abschnitt 3.9.1.3) sind allerdings dann unverzichtbar, wenn keine Erfahrungen zur Pfahl-Bodeninteraktion bei Querbeanspruchung vorliegen bzw. die Verformungen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit maßgend sind.

Grenzzustand der Tragfähigkeit des Pfahlbaustoffs

Das Bemessungskriterium für die Sicherheit gegen Erreichen der inneren Tragsicherheit ist wie folgt definiert:

$$E_d < R_{m;d} \tag{3.77}$$

E_d ..... Bemessungswert der Beanspruchung
$R_{m;d}$ ..... Bemessungswert des inneren Tragwiderstands (z.B. nach EC 2 für STB-Pfähle)

Die Bemessungswerte der Beanspruchung E_d ergeben sich durch Multipliaktion der charakteristischen Schnittgrößen mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ_Q und γ_G gemäß ÖNORM B 1997-1-1 [38].

3.8.5 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Generell werden die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit durch absolute Setzungen und/oder Setzungsdifferenzen angegeben. Es gibt jedoch keine fixen Grenzwerte da diese projektspezifisch an die Anforderungen, die an das gesamte Bauwerk gestellt werden, abzuleiten sind. Der Nachweis kann jedoch auf Probebelastungen, vergleichbaren Erfahrungen oder durch Anwendung der Tabellenwerte gemäß ÖNORM B 1997-1-3 [39] basieren. Liegen eine verformungsempfindliche Konstruktion und ein relativ heterogener Baugrund vor, sind die für den Nachweis maßgebende Kenngrößen mit Hilfe einer Parameterstudie zu berücksichtigen. Das Bemessungskriterium für die Sicherheit gegen Erreichen des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit ist wie folgt definiert:

$$E_d < C_d \tag{3.78}$$

Die Auswirkungen der Einwirkungen – im Regelfall handelt es sich hierbei um Verformungen, Verdrehungen oder Verzerrungen – aufgrund der maßgebenden Lastkombination werden mit E_d bezeichnet. Die Grenze für das maßgebende Gebrauchstauglichkeitskriterium wird mit C_d definiert.

Der Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchung E_d ist bem Nachweis der Gebrauchstauglichkeit mit 1,0 anzunehmen, soweit keine andere spezifische Festlegung vorhanden ist. Der Designwert ist somit gleich dem charakteristischen Wert. Der Modellfaktor η ist für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit ebenfalls 1,0.

Der Grenzwert C_d ist entsprechend den Nutzungsanforderungen und in Absprache mit dem Bauherrn festzulegen. Natürlich muss dies auch den Anforderungen nach ÖNORM EN 1990 genügen.

3.8.5.1 Axial auf Druck beanspruchte Einzelpfähle

Die Verformungen E_d, hervorgerufen durch die Einwirkungen, können im Fall von Pfahlprobebelastungen direkt aus den Ergebnissen dieser Versuche abgeleitet werden. Bei vergleichbaren Baugrundverhältnissen können diese aus den Ergebnissen abgeleiteten Werte auch bei anderen Anwendungsfällen verwendet werden.

Setzungen von Druckpfählen können mit anerkannten Berechnungsmethoden mit Hilfe eines Baugrundmodells abgeschätzt werden. Bei derartigen Berechnungen mit Vertikalverschiebungen muss eine eventuelle negative Mantelreibung berücksichtigt werden.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.8.5.2 Quer zur Achse beanspruchte Einzelpfähle

Die Bemessungswerte der Grenze für den Nachweis der Gebrauchtauglichkeit C_d müssen mit einem geeigneten Berechnungsmodell, zum Beispiel numerisches Verfahren oder Bettungsmodulverfahren, nachgewiesen werden. Die dazu notwendigen Kennwerte werden aus der Baugrunduntersuchung abgeleitet.

Es müssen Probebelastungen quer zur Achse durchgeführt werden, falls die Verformungen des Bauwerks maßgebend beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit sind und keinerlei Erfahrungen des Verhaltens von Baugrund und quer beanspruchten Pfahls vorhanden sind.

3.8.5.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit des Pfahlbaustoffs

Wie beim Beton üblich, müssen Rissweiten, Spannungen und dergleichen für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit nachgewiesen werden.

Es sind Kontrollmessungen, üblicherweise Setzungsmessungen, während und nach Fertigstellung des Bauwerks durchzuführen. In manchen Fällen können diese Kontrollmessungen auch während der gesamten Lebensdauer notwendig sein.

3.8.6 Modellfaktoren

Im Anhang A der ÖNORM B 1997-1-3 [39] sind die Modellfaktoren η erläutert. Diese werden, wie zuvor erwähnt, beim Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit für axial auf Druck und/oder axial auf Zug belastete Pfähle verwendet. Die Modellfaktoren für alle Bemessungssituationen wurden in der vorliegenden Arbeit bereits in Tab. 2.1 angegeben.

3.8.7 Streuungsfaktoren

Wird der Wert des charakteristischen Pfahlwiderstandes nicht durch Berechnung oder Verwendung von Tabellenwerten ermittelt, sondern mit Pfahlprobebelastung, kommen Streuungsfaktoren in den Nachweisverfahren zum Einsatz (siehe Abschnitt 3.8.3.2, Pfahlwiderstände). Diese gelten für alle Bemessungssituationen. In der folgenden Tabelle sind die Streuungsfaktoren ξ je nach Anzahl n der probebelasten Pfähle.

Tab. 3.16: Streuungsfaktoren gemäß ÖNORM B 1997-1-1 [38]

ξ für n =	1	2	3	4	≥ 5
ξ_1	1,40	1,30	1,20	1,10	1,00
ξ_1	1,40	1,20	1,05	1,00	1,00

Diese Festlegung der Streuungsfaktoren ermöglicht eine umso wirtschaftlichere Pfahlbemessung, je mehr Pfahlprobebelastungen unter vergleichbaren Bedingungen durchgeführt werden. Die Anzahl der beim Forschungsprojekt Unteres Hausfeld durchgeführten gleichartigen Pfahlprobebelastungen wurde anhand dieses Kriteriums festgelegt.

3.9 Pfahlprobebelastungen und Pfahlprüfungen

In ÖNORM EN 1536 [42] wird bei Versuchen an Bohrpfählen zwischen Belastungsversuchen an Bohrpfählen und Integritätsprüfungen unterschieden sowie folgendes angemerkt:

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

„Belastungsversuche an Pfählen werden üblicherweise durchgeführt, um die Reaktion eines repräsentativen Pfahles und des angrenzenden Baugrundes auf Einwirkungen sowohl hinsichtlich der Setzung als auch der Grenztragfähigkeit zu bestimmen und umfassen:

- *statische Belastungsprüfungen (lastgesteuerte Probebelastungen oder weggesteuerte Probebelastungen); oder*
- *dynamische Pfahlversuche*

Integritätsprüfungen werden üblicherweise durchgeführt, um die Solidität und die korrekte Ausführung eines Pfahles nachzuweisen. Es werden die akustischen oder die Schwingungseigenschaften des Bohrpfahlbetons gemessen, um das Vorhandensein möglicher Fehlstellen im Pfahlkörper festzustellen.“

Integritätsprüfungen werden in dieser Arbeit nicht behandelt. Informationen dazu findet man beispielsweise in [5] und [20].

3.9.1 Statische Probebelastungen

3.9.1.1 Allgemeines

Statische Probebelastungen sollten lt. ÖNORM B 1997-1-3 [39] dann durchgeführt werden, „*wenn*

- *keine Erfahrungen an vergleichbaren Pfahlgründungen vorliegen,*
- *der tragfähige Untergrund nicht aus mindestens mitteldicht gelagerten grobkörnigen oder mindestens steifen feinkörnigen (bindigen) Böden von ausreichender Schichtdicke aufgebaut ist,*
- *beim Abteufen der Pfähle (Bohren, Rammen, Vibrieren) unerwartete Untergrundverhältnisse angetroffen werden oder Zweifel bei der Ausführung der Pfähle auftreten, oder wenn*
- *Pfähle vorwiegend auf Zug beansprucht werden.*“

Weiters wird angemerkt: „*Probepfähle sind in der Regel keine Bauwerkspfähle. Sie sollten jedoch den geplanten Bauwerkspfählen möglichst entsprechen, und zwar hinsichtlich*

- *der Boden- und Grundwasserverhältnisse,*
- *der Pfahlart und des Herstellungsvorganges,*
- *der Pfahlabmessungen (Durchmesser, Länge bzw. Einbindetiefe) und*
- *der verwendeten Baustoffe (z. B. Beton, Bewehrung).*“

Die ÖNORM B 1997-1-3 [39] verweist hinsichtlich Vorbereitung, Durchführung und Dokumentation auf die EA-Pfähle [13].

3.9.1.2 Axiale Probebelastungen

Herstellung der Probepfähle

Probepfähle sollen an Stellen mit repräsentativen Baugrundverhältnissen für das spätere Bauwerk positioniert werden. Es soll immer mind. ein Probepfahl an der Stelle platziert werden, wo die ungünstigsten Baugrundverhältnisse erwartet werden [13].

Die Mobilisierung von Mantelreibung kann auf Abschnitten des Pfahlschaftes unterbunden werden, indem der Kontakt zwischen Pfahl und Boden verhindert wird. Dies mithilfe folgender Maßnahmen erfolgen [13]:

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

- Ummantelung des Bewehrungskorbes mit Gleitfolien
- Überbohren des Pfahles mit Verohrung und Verfüllen des Ringraums mit Bentonitssuspension
- Auflockerungsbohrungen
- Hülsen mit Gleitmitteln (z.B. Bentonitsuspension)
- Doppelhülsen (vgl. Abschnitt 2.6.1)
- Herstellung eines Magerbetonpfahles größeren Durchmessers und Wiederaufbohren

Es muss ausreichend Aushärtungszeit für den Pfahlbeton eingeplant werden. Erst nach Erreichen der notwendigen Festigkeit dürfen die Probebelastungen durchgeführt werden [13].

Es sollte für jede Pfahlart und für jede geotechnische einheitliche Baugrundsituation mindestens ein Probepfahl hergestellt werden. Jeweils mehrere Probepfähle haben den Vorteil, dass sich die anzusetzenden Streuungsfaktoren nach ÖNORM B 1997-1-3 [39] verringern [13].

Prüflast und Kriechmaß

Prinzipiell soll mit der Prüflast P_p [kN] der Grenzzustand der Tragfähigkeit (Nachweisverfahren GEO-2) erreicht werden. Der Pfahlwiderstand im GZT ist dann erreicht, wenn

- bei einem Druckpfahl die Pfahlsetzung $s = s_g$ nach Gleichung (3.4) oder bei einem Zugpfahl die Hebung $s = s_{sg}$ nach Gleichung (3.3) erreicht ist [13]:

$$R_{c;m} = R(s_g) \; oder \; R_{t;m} = R(s_{sg}) \tag{3.79}$$

- ein definiertes Kriechmaß α_y (häufig: $\alpha_y \sim 2$ mm) auftritt [13]:

$$R_y = R(\alpha_y) \; oder \; R_{t;m} = R(\alpha_y) \tag{3.80}$$

Das Kriechmaß α_y [mm] ist dabei die zeitabhängige Verschiebung des Pfahlkopfes unter konstanter Belastung [13] (hier wird für das Kriechmaß die Bezeichnung α_y aus ÖNORM B 1997-1-3 statt k_s aus EA-Pfähle) und wird nach ÖNORM B 1997-1-3 [39] wie folgt definiert:

$$\alpha_y = \frac{s_2 - s_1}{logt_2 - logt_1} \tag{3.81}$$

mit der Pfahlkopf-Setzungszunahme $s_2 - s_1$ [mm] im Zeitintervall $t_2 - t_1$ [min]. Das Kriechmaß kann im Diagramm ermittelt werden, wobei die Pfahlkopfsetzungen über die Zeit im logarithmischen Maßstab aufgetragen werden (Abb. 3.44 a)). Für die Ermittlung des Kriechmaßes am Ende jeder Laststufe müssen mindestens die letzten drei Wertepaare auf einer Geraden liegen. Der Kriechwiderstand R_y ist in Abb. 3.44 b) dort, wo das Krümmungsmaximum im α-P_p-Diagramm auftritt [39].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

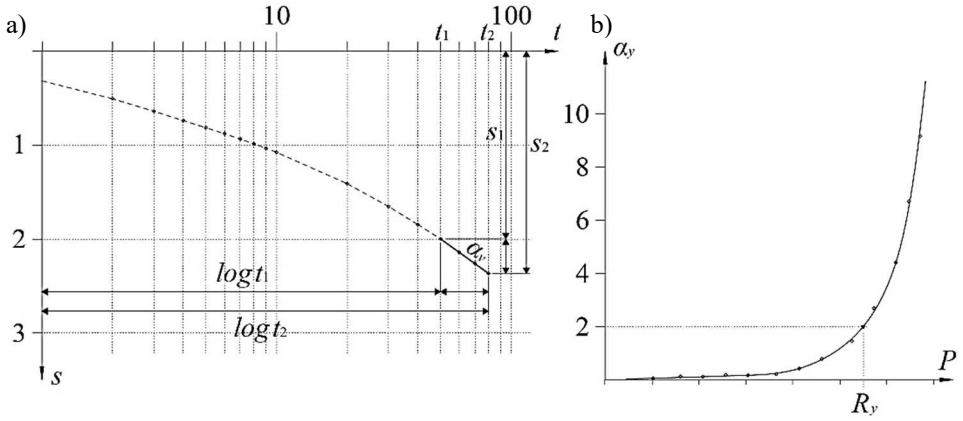


Abb. 3.44: a) Definition des Kriechmaßes α_y, b) Definition des Kriechwiderstands R_y teils nach EA-Pfähle teils nach ÖNORM B 1997-1-3 [39]

Die Prüflast wird für Druck- bzw. Zugbelastung schließlich folgendermaßen festgelegt [13]:

für Druckbelastung: $$P_p = F_{c,d} \cdot \gamma_t \cdot \xi_1 \quad (3.82)$$

für Zugbelastung: $$P_p = F_{t,d} \cdot \gamma_{s,t} \cdot \xi_1 \quad (3.83)$$

$F_{c,d}$ ..... Bemessungswert der Pfahlbeanspruchung auf Druck
$F_{t,d}$ ..... Bemessungswert der Pfahlbeanspruchung auf Zug
γ_t ..... Teilsicherheitsbeiwert für den Gesamtwiderstand eines Pfahls
$\gamma_{s,t}$..... Teilsicherheitsbeiwert für den Zugwiderstand eines Pfahls
ξ_1..... Streuungsfaktor für gemessene Probebelastungswiderstände

Anforderungsstufen

Hinsichtlich Umfang der Instrumentierung gibt es drei Anforderungsstufen laut EA-Pfähle [13]:

a) *Grundsätzliche Anforderungen:*

Erfassung des Pfahlwiderstandes: hierfür sind die Verschiebung des Pfahlkopfes, die aufgebrachte Belastung sowie die Zeit zu messen. Die getrennte Erfassung von Pfahlspitzendruck und Pfahlmantelreibung ist nicht erforderlich.

b) *Erhöhte Anforderungen:*

Erfassung des Pfahlfußwiderstandes und des Pfahlmantelwiderstandes: hierfür sind die Verschiebung des Pfahlkopfes, die aufgebrachte Belastung, der Pfahlspitzendruck q_b sowie die Zeit zu messen. Aus q_b wird der Pfahlfußwiderstand R_b berechnet. Der Pfahlmantelwiderstand R_s ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Gesamtwiderstand des Pfahles und dem Pfahlfußwiderstand. Hierzu ist eine spezielle Instrumentierung am Pfahlfuß erforderlich.

c) *Hohe Anforderungen:*

Erfassung des Pfahlfußwiderstandes und der Längsverteilung der Pfahlmantelreibung: hierfür sind die Verschiebung des Pfahlkopfes, die aufgebrachte Belastung, die Pfahldehnung in verschiedenen, über die Pfahllänge verteilten Querschnitten, der Pfahlspitzendruck q_b sowie die Zeit zu messen. Hierzu ist eine spezielle Instrumentierung am Pfahlfuß und entlang des Pfahlschaftes erforderlich.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Erhöhte oder hohe Anforderungen sind laut EA-Pfähle [13] zu erfüllen:

- *wenn die Mantelreibung nach Überschreitung eines Spitzenwertes auf einen geringeren Restwert abfallen kann,*
- *bei stark geschichtetem Baugrund,*
- *bei zu erwartender größerer negativer Mantelreibung,*
- *wenn die Pfahlköpfe der Probepfähle versuchstechnisch bedingt wesentlich höher liegen als die der Bauwerkspfähle,*
- *wenn besondere Anforderungen an die Begrenzung der Verformungen gestellt werden,*
- *bei Maßnahmen zur Mantelreibungsreduzierung, […]*

Belastungseinrichtung

Dabei ist prinzipiell zwischen Belastungseinrichtungen mit und ohne Widerlager zu unterscheiden. Als Widerlager kann gemäß Abb. 3.46 beispielsweise Folgendes dienen [13]:

1) Totlast
2) parallel zum Probepfahl angeordnete Verpressanker
3) sternförmig angeordnete, geneigte Verpressanker

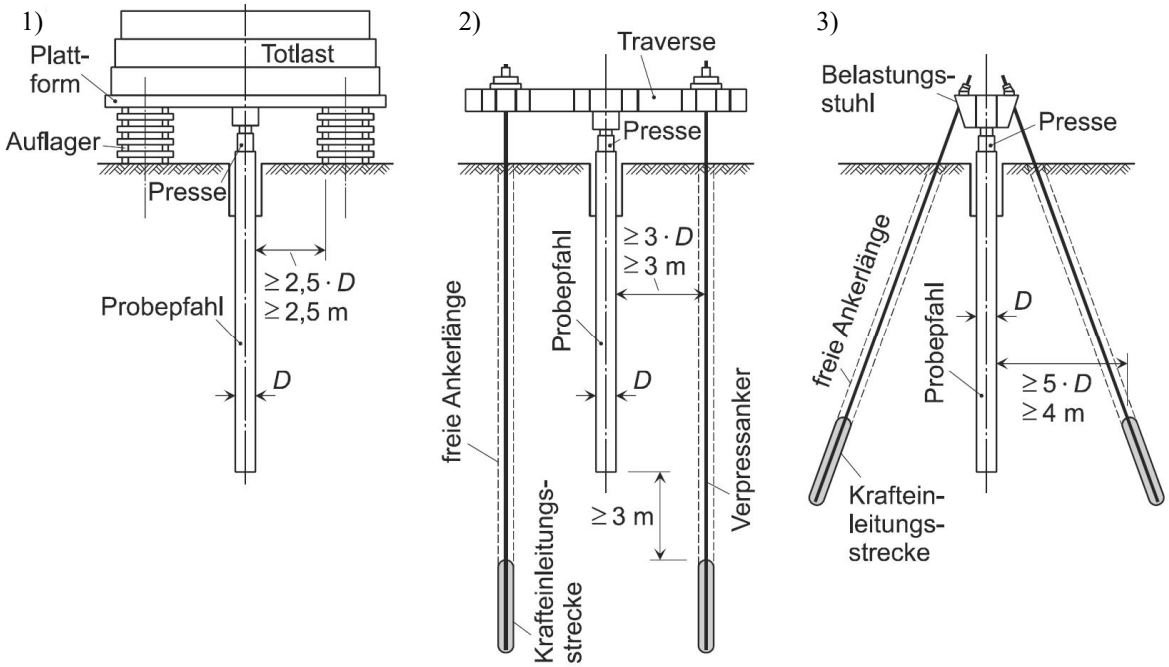


Abb. 3.45: Mögliche Belastungseinrichtungen und geometrische Vorgaben nach EA-Pfähle aus [24]

Dabei sind die Mindestabstände der Verankerungselemente einzuhalten. Als Widerlager können auch neben dem Probepfahl hergestellte Zugpfähle herangezogen werden (Abb. 3.46). Diese Belastungseinrichtung eignet sich gut für Druck- und Zugprobebelastungen. Dabei sind dieselben Abstände wie in Abb. 3.45 1) einzuhalten. Für reine Zugprobebelastungen kann bei geeigneter Widerlagerkonstruktion (z.B. Kreuzstoß) aber auch der umliegende Untergrund als Widerlager genutzt werden [13].

Die Lastaufbringung erfolgt entweder mit einer oder mehreren hydraulischen Pressen, kann aber auch mittels Totlast erfolgen. Die Last wird dabei von einem Lastverteilungsträger (Traverse), einer Plattform oder einem Belastungsstuhl auf den Probepfahl übertragen [13].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

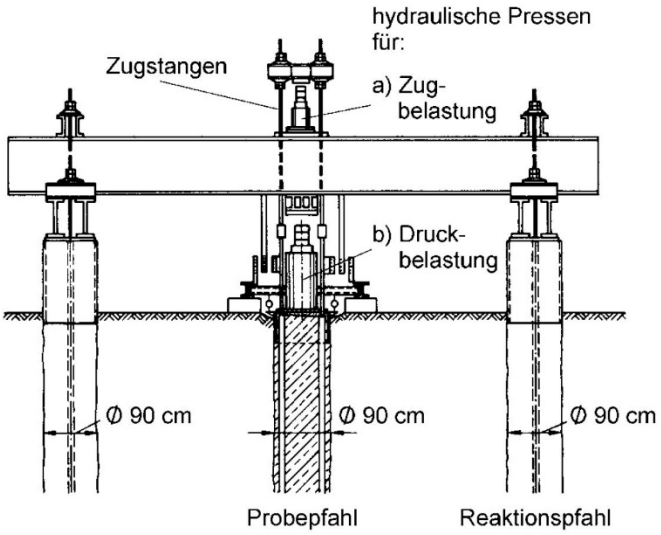


Abb. 3.46: Belastungseinrichtung Druck- und Zugbelastungen [24]

Zwischen Zylinderkolben und Lastverteilungskonstruktion empfiehlt sich ein Kalottenlager zum Ausgleich von Schiefstellungen. Bei zu geringem Kolbenhub muss dazwischen zusätzlich ausgefüttert werden (z.B. mit Stahlplatten). Für die Hydraulikpresse und die Pfahlkopfinstrumentierung muss der Pfahlkopf genügend Platz bieten und ist gegebenenfalls aufzuweiten. In diesem Fall muss unterhalb des Pfahlkopfes ausreichend Platz vorgesehen werden, sodass dieser infolge der Setzung nicht am Boden „aufsitzt“ [13].

Eine Variante, bei der der Probepfahl selbst oder Teile von ihm als Widerlager dienen, ist die Probebelastung mit einbetonierten Osterberg-Pressen (Abb. 3.47). In Abb. 3.47 a) wird das Prinzip des Single-Leveltests mit einer Osterberg-Presse und in Abb. 3.47 b) des Muli-Level-Tests mit zwei Osterberg-Pressen erläutert. Die Widerlagerkräfte werden dabei über Mantelreibung bzw. Spitzendruck abgetragen [13].

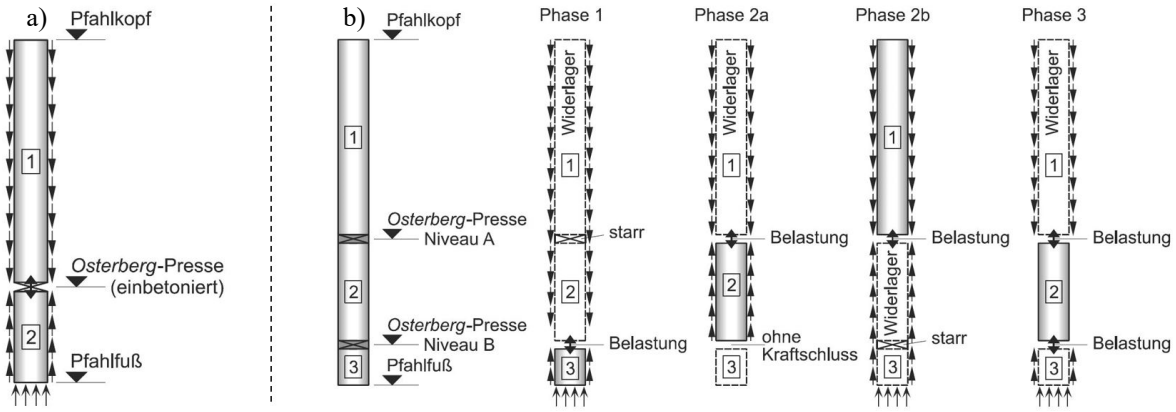


Abb. 3.47: Aufbau und Belastungsablauf beim a) Single-Level Test und b) Multi-Level Test aus [24]

Dieser Versuchsaufbau erfordert aufwändige Instrumentierungen für Kraft- und Verschiebungsmessungen. Er eignet sich deshalb für hohe Anforderungen sowie beengte Verhältnisse ohne Platz für Widerlagerkonstruktionen ober Tage [13].

Messbrücke und Pfahlkopfinstrumentierung

Für die Anbringung der Pfahlkopfinstrumentierung ist eine entsprechende Messbrücke (Referenzsystem) zu errichten, deren Auflager die Mindestabstände zum Probepfahlschaft gemäß Abb. 3.48

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

einhalten müssen. Die Messbrücke besteht aus den beiden Auflagerkonstruktionen (z.B. Kreuzstoß aus Kanthölzern) sowie zwei Messträgern und ggf. weiteren Querträgern. Die Messbrücke und die Instrumentierung ist während der Probebelastung vor Erschütterungen und vor Witterungseinflüssen (Temperaturschwankungen, Niederschlag, Frost) zu schützen [13].

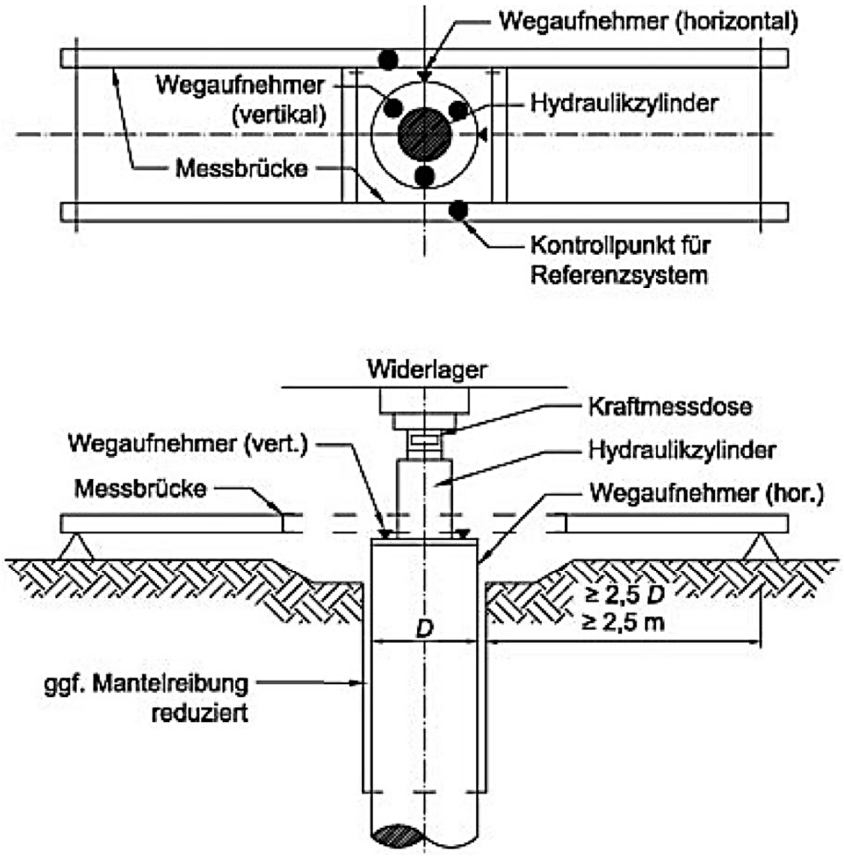


Abb. 3.48: Anordnung der Messbrücke und Pfahlkopfinstrumentierung aus [13]

In Tab. 3.17 ist der erforderliche Umfang an Instrumentierungen im Pfahlkopfbereich und deren Anforderungen zusammengefasst. Die Abtastpunkte der Wegaufnehmer sollten möglichst reibungsfrei gestaltet werden. Die kann beispielsweise durch Anbringen von Glasplättchen erfolgen. Die Wegaufnehmer sollten einen den erwarteten Setzungen angepassten Messbereich aufweisen, um allzu häufiges Umsetzen während der Probebelastung zu vermeiden [13].

Tab. 3.17: Instrumentierung am Pfahlkopf und auf der Messbrücke nach EA-Pfähle [13]

Instrumentierung	Anzahl	Zweck	Anforderung
Kraftmessdose	1	Messung der Prüflast	Kalibrierung < 12 Monate Genauigkeitsklasse I
elektronische Vertikalwegaufnehmer	2-3	Messung der Vertikalverschiebung	Anordnung: symmetrisch Genauigkeit: 0,01 mm
mechanische Feinmessuhr	1	redundante Messung der Vertikalverschiebung	Anordnung: bei elektr. WA Genauigkeit: 0,01 mm
elektronische Horizontalwegaufnehmer	2	Messung der Horizontalverschiebungen	Anordnung: orthogonal Genauigkeit: 0,01 mm
Messstellen für Präzisionsnivellement	2	Kontrollmessung der Messbrücke	Nivelliergerät außerhalb des Einflussbereichs

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Pfahlinstrumentierung

Die Pfahlinstrumentierung dient im Wesentlichen zur Ermittlung des Pfahlfuß- und Pfahlmantelwiderstands und befindet sich innerhalb des Pfahlbetons.

Der Pfahlfußwiderstand kann mithilfe von hydraulischen oder elektrischen Druckmesskissen (Abb. 3.49) erfasst werden. Sie werden unterhalb der der Pfahlsohlfläche im Zuge der Herstellung eingebaut. Wichtig dabei ist, dass die mit der Setzung mobilisierte Pfahlfußkraft gleichmäßig und vollständig über das Druckmesskissen hinweggeleitet wird. Moosgummieinlagen können bei der Herstellung eines ordnungsgemäßen Kraftschlusses helfen. Für die formschlüssige Auflage des Druckmesskissens wird ebenjenes schon vor der Herstellung in ein Mörtelbett (Fertigbeton) mit gekrümmter Untersicht gebettet. Der damit hergestellte Pfahlfuß wird gemeinsam mit dem Bewehrungskorb schließlich eingebaut und dabei in einer Ortbeton-Ausgleichsschicht gebettet [13]. (Moosgummi wird von *Geokon* kritisch gesehen und wurde daher beim FPUH nicht ausgeführt.)

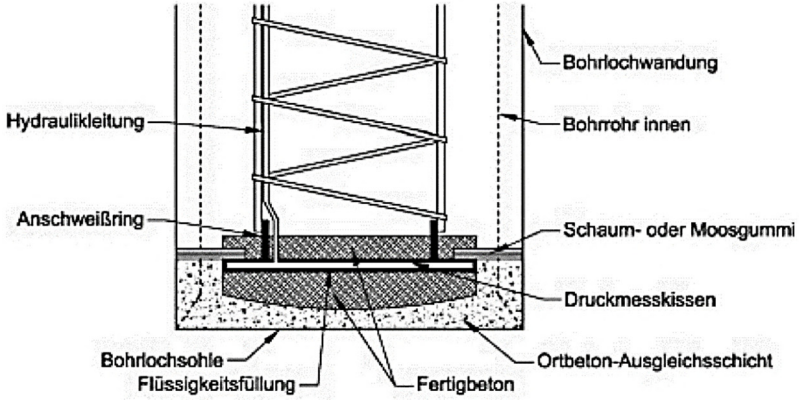


Abb. 3.49: Druckmesskissen im Pfahlfußbereich aus [13]

Nach [13] ist die Erfassung des Pfahlmantelwiderstands nur über indirektem Wege möglich. Dies erfolgt entweder

- durch Differenzbildung aus gemessener, aufgebrachter Prüflast und gemessenem, aktivierten Pfahlfußwiderstand (Abb. 3.50 a)) oder
- durch Erfassung der Pfahllängsdehnungen und Ermittlung der Pfahllängskraft über Hooke'sche Gesetz ($\sigma = E \cdot \varepsilon$) (Abb. 3.50 b) bis d))

Zur Messung der Pfahllängsdehnungen gibt es demnach drei Möglichkeiten (Abb. 3.50) [13]:

  - Betondehnungsaufnehmer (Abb. 3.50 b):
    Die Ermittlung der Längsdehung erfolgt mittels elektronischer Dehnmessstreifen oder Schwingsaitenaufnehmern, von denen zwei bis drei je festgelegten Horizont am Bewehrungskorb vor dessen Einbringung montiert werden. Durch den Verbund kann somit die Betondehnung gemessen werden, womit die Längenänderungen und schließlich der Längskraftverlauf errechnet werden können.
  - Extensometer (Abb. 3.50 c)):
    Die Ermittlung der Längsdehnung von Abschnitten verschiedener Länge erfolgt mit mehreren Extensometern. Durch Differenzbildung erhält man die Dehnungsverteilung über die Pfahllänge, womit die Längenänderungen und schließlich der Längskraftverlauf errechnet werden können. (Alternativ kann statt mehreren Extensometern ein Kettenextensometer verwendet werden, das alleine schon die Ermittlung Längsdehnungen von festgelegten Abschnitten über die ganze Pfahllänge ermöglicht.)

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

- Gleitmikrometer (Abb. 3.50 d)):
  Die Messung der Pfahldehnung erfolgt mit einer mobilen Sonde im Rohr mit vormontierten Fixpunkten. Für die Messungen muss das Rohr zugänglich sein.

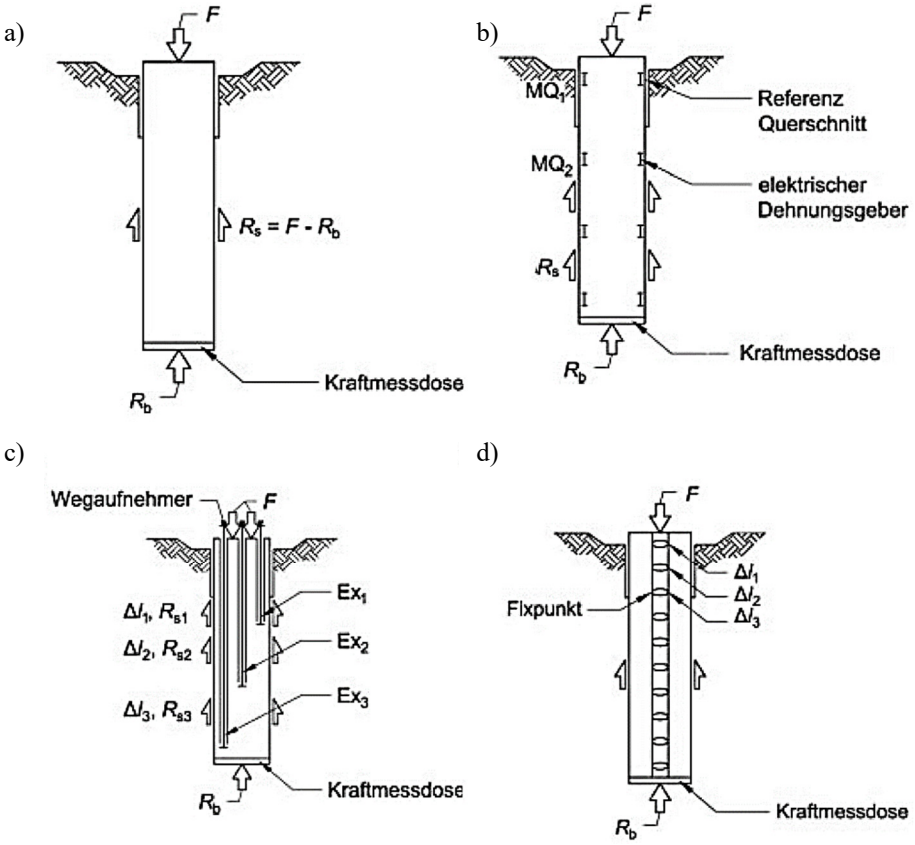


Abb. 3.50: Möglichkeiten zur Erfassung des Pfahlfußwiderstands aus [13]

Versuchsablauf

Die Probebelastung sollte mind. 2 Lastzyklen umfassen (Abb. 3.51). Die Maximallaststufe des 1. Zyklus sollte auf Höhe des charakteristischen Werts der Pfahlbeanspruchung F_k (Gebrauchslast) liegen und wird in 4 Laststufen aufgebracht. Die Maximallast im letzten (hier 2.) Zyklus ist gleich der Prüflast P_p. Sie wird bis zum Wiedererreichen der Gebrauchslast in den selben Laststufen wie jene des 1. Zyklus aufgebracht - danach in 4 weiteren Laststufen. Die Mindestbeobachtungszeiten auf den Laststufen sowie die Mindestzeit der Laststufenaufbringung sind Abb. 3.51 zu entnehmen. Bei erhöhten und hohen Anforderungen (siehe oben) kommt zu den Mindestbeobachtungszeiten noch das Kriterium zum Abklingen der Verschiebungsgeschwindigkeit unter einen bestimmten Wert hinzu. Im 1. Lastzyklus muss bis zum Erreichen der Gebrauchslast die Verschiebungsgeschwindigkeit auf der jeweiligen Laststufe bis auf einen Wert von 0,1 mm in 20 mm abgeklungen sein. Auf allen weiteren Laststufen darf die Verschiebungsgeschwindigkeit maximal 0,1 mm in 5 mm betragen, ehe die nächste Laststufe aufgebracht werden kann. Bei Entlastungen gibt es nur Vorgaben hinsichtlich Mindestbeobachtungszeit [13].

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

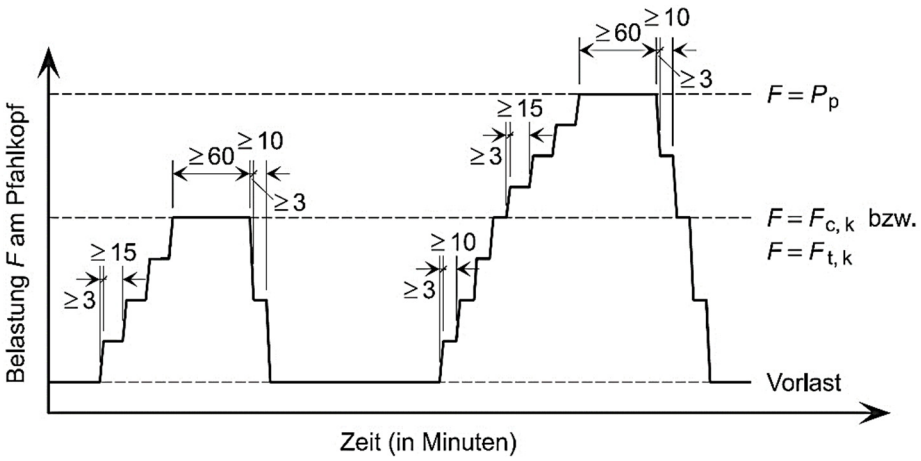


Abb. 3.51: Möglichkeiten zur Erfassung des Pfahlfußwiderstands nach [13] aus [24]

Bei grundsätzlichen Anforderungen kann die Last auf den Laststufen manuell konstant gehalten werden. Bei erhöhten und hohen Anforderungen ist eine automatische Lastkonstanthaltung nötig [13].

Messintervalle und Aufzeichnungen

Diesbezüglich wird auf die EA-Pfähle [13] verwiesen.

Auswertung

Der erforderliche Umfang der Auswertung richtet sich nach den Anforderungen [13]:

- *grundsätzliche Anforderungen*: nur WSL bzw. WHL
- *erhöhte Anforderungen*: WSL/WHL, Zeit-Verschiebungslinie, Kriechmaßbestimmung
- *hohe Anforderungen*: WSL/WHL, Zeit-Verschiebungslinie, Kriechmaßbestimmung, Darstellung des Dehnungsverlaufs, Längskraftverlaufs und Mantelreibungsverlauf

Generell sind die Pfahlwiderstandsanteile darzustellen, sofern sie getrennt erfasst wurden [13].

Dokumentation und Berichte

Für die erforderlichen Inhalte der Dokumentation sowie des Versuchs- und Ergebnisberichts wird auf die EA-Pfähle [13] verwiesen.

3.9.1.3 Laterale Probebelastungen

Allgemeines

Laterale oder horizontale Probebelastungen eignen sich für die Untersuchung des lateralen Trag- und Verformungsverhaltens von Pfählen, also die Ermittlung der horizontalen Bettung im Gebrauchs- und Bruchzustand, wobei letzterer bei langen biegeweichen meist nicht erreicht werden kann [13].

Die Empfehlungen in [13] gelten nur für planmäßig lateral belastete Pfähle, jedoch nicht für Belastungen aus Seitendruck. In diesem Abschnitt wird das Wesentliche daraus wiedergegeben.

Grundlagen

Aus horizontalen Probebelastungen werden Widerstands-Verschiebungslinien (vgl. *p-y*-Kurven) sowie Zeitverschiebungslinien erhalten. Grundsätzlich sollte beachtet werden, dass ausschließlich horizontal belastete Probepfähle ein anderes Steifigkeitsverhalten aufweisen als etwaige spätere

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.

Bauwerkspfähle unter kombinierter Belastung (vgl. Abschnitt 3.4.3). Auch würden sich zusätzliche axiale Lasten insofern günstig auswirken, da beispielsweise der Querschnitt eines Stahlbetonpfahls vorgedrückt wird und der Zustand II erst bei sehr großer Horizontalbeanspruchung erreicht werden kann. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich ein Stahlbetonpfahl in Zustand I befindet, solange die Biegezugspannung f_{ctm} im Beton nicht größer ist als [13]:

$$f_{ctm} = 0{,}3 \cdot f_{ck}^{1/3}) \tag{3.84}$$

Für die möglichst lange Erhaltung des Zustands I muss der Pfahlbeton bis zum Tag der Probebelastung mindestens 80% seiner Nennfestigkeit entwickelt haben [13].

Für die spätere Bewertung der erhaltenen Ergebnisse sowie für die Übertragung von Bettungsmoduln auf Pfähle in vergleichbarem Baugrund ist eine Untergrunderkundung bzw. Bestimmung der Steifemoduln erforderlich [13].

Prüflast

Die Prüflast wird in Abhängigkeit von Einteilung nach der Pfahlsteifigkeit (vgl. Abschnitt 3.4.2.1) wie folgt festgelegt [13]:

- lange, biegeweiche Pfähle: $P_p = F_{tr,d}$ (3.85)
- kurze, starre Pfähle: $P_p = F_{tr,d} \cdot \gamma_{R,e}$ (3.86)

$F_{tr,d}$..... Bemessungswert der Querbelastung eines Pfahls
$\gamma_{R,e}$..... Teilsicherheitsbeiwert für den Erdwiderstand

Anforderungsstufen

Im Gegensatz zu axialen Probebelastungen gibt es hier nur eine Anforderungsstufe [13]: „*Erfassung des Pfahlwiderstands quer zur Pfahlachse und der Biegelinie*“. Dies erfordert die Messung der Pfahlkopfverschiebungen, der aufgebrachten Last, der inkrementellen Pfahlneigungsänderung und der Zeit. Aus der Pfahlneigung kann die Biegelinie und daraus wiederum der Bettungsmodul ermittelt werden [13].

Belastungszustände

Vor dem Hintergrund der vorliegenden Arbeit sind hier insbesondere folgende Anmerkungen von Bedeutung [13]: „*Sind bei einem Bauwerk bestimmte Belastungsänderungen mit definiertem zeitlichen Ablauf zu erwarten, beispielsweise wiederholte Schwell- und Wechselbelastung infolge von Bremslasten oder Temperaturänderung aus einem Brückenüberbau, so sollten solche Belastungsabläufe im Versuch simuliert werden. Die Zunahme der Verschiebung s_h des Pfahlkopfes und die Veränderung der Biegelinie infolge von Kriechverformungen bindiger Böden unter Dauerlast sollte ebenfalls im Versuch ermittelt werden*, […]“

Und weiters [13]: „*Unter zyklischen Querbelastungen nehmen die Pfahlkopfverschiebungen mit der Anzahl der Lastwiederholungen zu. Diese Verschiebungen streben bei Boden-Pfahlsystemen, bei denen keine Porenwasserdruckakkumulation auftritt, einem Endwert zu. Zur Ableitung einer Gesetzmäßigkeit zwischen den akkumulierten Pfahlverschiebungen und der Anzahl der Lastwiederholungen gemäß Anhang D ist es erforderlich, den Probepfahl mit einer ausreichenden Anzahl an Lastwiederholungen zu belasten.*“

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Belastungseinrichtung

Abb. 3.52 zeigt mögliche Belastungseinrichtungen, bei denen zwei benachbarte Pfähle als gegenseitige Widerlager benutzt werden. Die darin enthaltenen Mindestabstände sind einzuhalten [13].

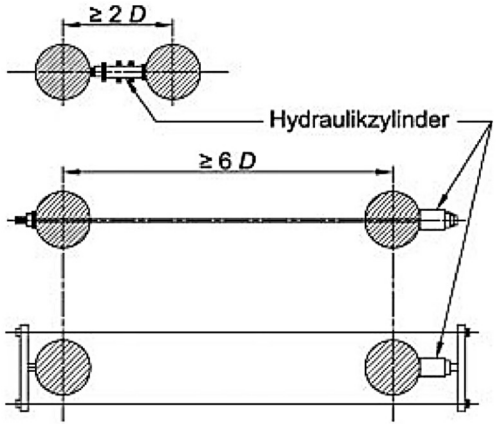


Abb. 3.52: Möglichkeiten für Horizontalbelastungseinrichtungen aus [13]

Die Aufbringung der Prüflast sollte immer mit Hydraulikpressen erfolgen. Außerdem sollte eine automatische Lastkonstanthaltung zum Einsatz kommen [13].

Messbrücke und Pfahlkopfinstrumentierung

Analog zu axialen Probebelastungen ist eine entsprechende Messbrücke unter Einhaltung der Mindestabstände gemäß Abb. 3.53 errichtet werden [13].

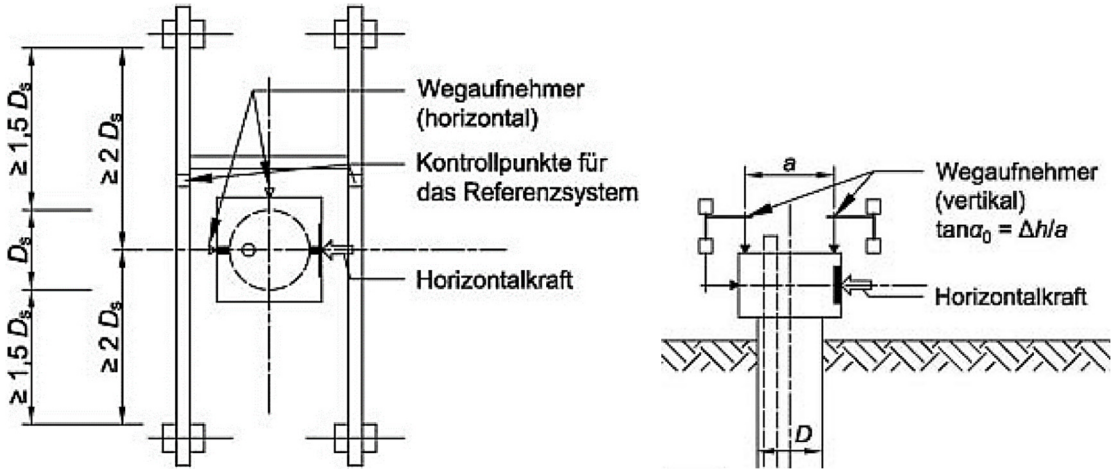


Abb. 3.53: Anordnung der Messbrücke u. Pfahlkopfinstrumentierung bei Horizontalbelastung aus [13]

In Tab. 3.18 ist der erforderliche Umfang an Instrumentierungen im Pfahlkopfbereich und deren Anforderungen zusammengefasst:

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tab. 3.18: Instrumentierung am Pfahlkopf und auf der Messbrücke bei horizontalen Probebelastungen nach EA-Pfähle [13]

Instrumentierung	Anzahl	Zweck	Anforderung
Kraftmessdose	1	Messung der Prüflast	Kalibrierung < 12 Monate Genauigkeitsklasse I
elektronische Vertikalwegaufnehmer	2-3	Messung der Vertikalverschiebung	Anordnung: symmetrisch Genauigkeit: 0,01 mm
mechanische Feinmessuhr	1	redundante Messung der Horizontalverschiebung	Anordnung: in Lastrichtung Genauigkeit: 0,01 mm
elektronische Horizontalwegaufnehmer	2	Messung der Horizontalverschiebungen	Anordnung: orthogonal Genauigkeit: 0,01 mm
Messstellen für Präzisionsnivellement	2	Kontrollmessung der Messbrücke	Nivelliergerät außerhalb des Einflussbereichs

Pfahlinstrumentierung

Die Messung der Biegelinie mittels Inklinometer oder Deflektometer wird zwischen stationärer Messung mit festeingebauten Messketten und instationärer Messung mit mobilen Messsonden unterschieden. Im Fall letzterer muss das Messrohr zugänglich sein [13].

Versuchsablauf

Die Aufbringung der Gebrauchslast $F_{tr,k}$ im 1. Zyklus erfolgt hinsichtlich Laststufenanzahl und Mindestzeiten analog zu axialen Probebelastungen [13].

Die Aufbringung der maximalen Prüflast P_p des 2. Lastzyklus

- nach Gleichung (3.85) erfolgt bei einem langen, biegeweichen Pfahl in 6 Stufen sowie die Entlastung in 3 Stufen
- nach Gleichung (3.86) erfolgt bei einem kurzen, starren Pfahl in 8 Stufen sowie die Entlastung in 4 Stufen

Das zu unterschreitende Kriterium zum Abklingen der Verschiebungsgeschwindigkeit ist sowohl bei der Erstbelastung als auch Entlastung definiert zu 0,1 mm in 5 mm. Die Mindestzeiten entsprechen wiederum jenen axialer Probebelastungen [13].

Messintervalle und Aufzeichnungen

Diesbezüglich wird auf die EA-Pfähle [13] verwiesen.

Auswertung

Im Zuge der Auswertung gehen Widerstands-Verschiebungslinien und Biegelinien für jede Laststufe hervor [13].

Dokumentation und Berichte

Für die erforderlichen Inhalte der Dokumentation sowie des Versuchs- und Ergebnisberichts wird auf die EA-Pfähle [13] verwiesen.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.9.2 Dynamische Probebelastungen

3.9.2.1 Allgemeines

Aufgrund der wesentlich rascheren Versuchsdurchführung als bei statischen Probebelastungen lassen sich mit dynamischen Probebelastungen in der selben Zeit wesentlich mehr Probepfähle testen. Verglichen statischen Probebelastungen, sind die Ergebnisse daraus als gute Abschätzung der Pfahltragfähigkeit zu betrachten. Ergebnisinterpretationen verlangen große Erfahrung im Bereich der bodendynamischen Messtechnik. Außerdem ist die Kalibrierung an statischen Probebelastung zu empfehlen [5].

3.9.2.2 Grundlagen

Das Prinzip dynamischer Probebelastungen ist der Rückschluss auf die Tragfähigkeit anhand der Messung des zeitlichen Dehnungs- und Beschleunigungsverlaufs einer Stoßwellenantwort, die aus einer vorangegangenen Anregung am Pfahlkopf mittels Fallgewicht stammt (Abb. 3.54)[5].

Bei Betrachtung eines Pfahls, der nicht in Wechselwirkung mit dem Untergrund steht, ist die Geschwindigkeit v infolge der Stoßwelle proportional zur Pfahlkopfkraft F [5]:

$$F = \frac{E \cdot A}{c} \cdot v \tag{3.87}$$

mit dem E-Modul des Pfahls E, der Pfahlquerschnittsfläche A und der Wellengeschwindigkeit c. Der als „Impedanz“ bezeichnete Proportionalitätsfaktor $E{\cdot}A/c$ ist ein Maß für den dynamischen Gesamtwiderstand eines Pfahls [5].

Die Geschwindigkeit eines angeregten Pfahls, der in Wechselwirkung mit dem Untergrund steht, ist der Pfahlkopfkraft hingegen nicht mehr proportional bzw. geringer, da die Mantelreibung der Anregung entgegenwirkt. Aus den Abweichungen von der Proportionalität in Gleichung (3.87) können somit Rückschlüsse auf den Mantelwiderstand gezogen werden. Während ein Teil der Welle durch den Mantelwiderstand reflektiert wird, kommt der andere Teil am Pfahlfuß an und wird erst dort reflektiert. Aus dieser Pfahlfußreaktion kann der dynamische Gesamtwiderstand R_{ges} ermittelt werden [5]:

$$R_{ges} = \frac{1}{2}\left((F_1 + v_1) - (F_2 - v_2)\right) \tag{3.88}$$

F_1 ..... eingeleitete Stoßkraft
v_1 ..... eingeleitete Stoßgeschwindigkeit
F_2 ..... Kraft der Fußreflexion
v_1 ..... Geschwindigkeit der Fußreflexion

Die Geschwindigkeiten ergeben sich dabei durch Aufintegrieren der gemessenen Beschleunigung und die Kräfte über die gemessene Dehnung mithilfe der Beziehung $F = E{\cdot}A{\cdot}\varepsilon$. Der statische Pfahlwiderstand folgt dann ergibt sich dann mit [20]:

$$R_{stat} = R_{ges} - R_{dyn} \tag{3.89}$$

Zur Ermittlung des dyn. Widerstands R_{dyn} gibt es verschiedene Verfahren (siehe Abschnitt 3.9.2.3).

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

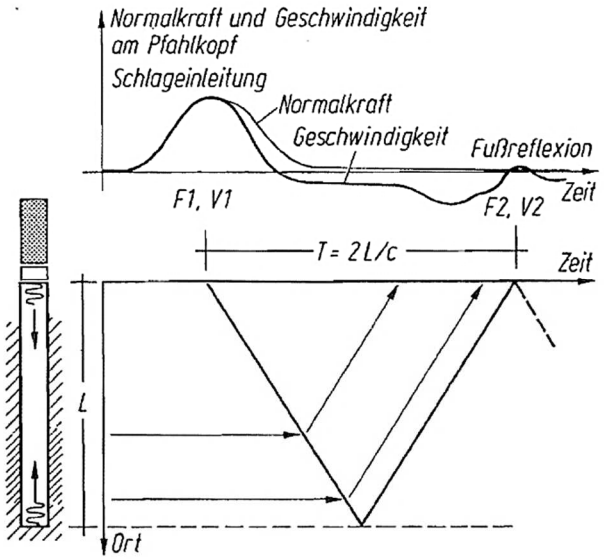


Abb. 3.54: Prinzip dynamischer Probebelastungen aus [5]

3.9.2.3 Standardverfahren

Direkte Verfahren

Das CASE-Verfahren beruht auf Erfahrungswerten und der Berechnung der Pfahlfußgeschwindigkeit mit der eindimensionalen Wellentheorie [5].

Im TNO-Verfahren wird der dynamische Widerstand getrennt für den Pfahlmantel und Pfahlfuß bestimmt [20]. Die Pfahlkopfbewegung wird dabei mithilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera analysiert [5].

Indirekte Verfahren

Das CAPWAP-Verfahren ist im Gegensatz zum CASE-Verfahren keine analytische, sondern eine numerische Methode. Für die Computersimulation wird dabei die Pfahl-Boden-Wechselwirkung modelliert [5].

3.9.2.4 Horizontaler dynamischer Pfahltest

In [16] wird der horizontale dynamische Pfahltest (H-DPT, Abb. 3.55) im Kontext von Monopile-Gründungen von Offshore-Windenergieanlagen vorgestellt. Dabei handelt es sich um ein Verfahren, mit dem anhand des Schwingungsverhaltens des Pfahls Rückschlüsse auf dessen Bettung geschlossen werden können. Damit kann auch die Veränderung der Bodeneigenschaften im Rahmen der Pfahlherstellung berücksichtigt werden [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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

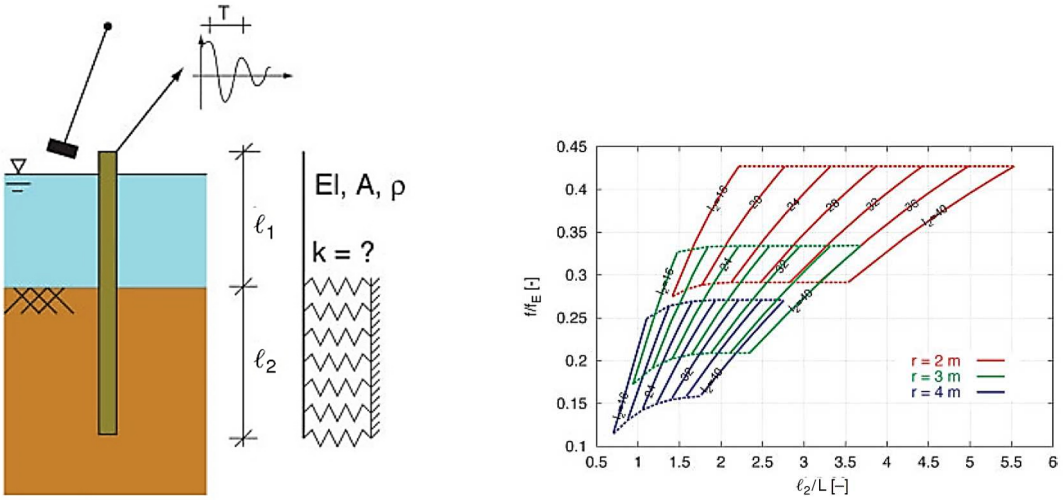


Abb. 3.55: a) Systemskizze H-DPT, b) Auswertediagramm aus [16]

3.9.2.5 Statnamische Pfahlprüfung

Diese spezielle Form der dynamischen Probebelastung ermöglicht die direkte Messung der Widerstands-Setzungslinie. Dabei wird der Pfahlkopf mit einer Reaktionskraft beansprucht, die aus der Beschleunigung einer Reaktionsmasse zufolge der Detonation einer Treibladung resultiert [20].

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.

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 4

Horizontalverschiebeversuche

4.1 Allgemeines

4.1.1 Motivation und Zielsetzung

Die Idee zur Durchführung der gegenständlichen Horizontalverschiebeversuche (HVV) im Rahmen des Forschungsprojekts Unteres Hausfeld entstand im Zusammenhang mit integralen Brücken, die in den letzten 15 Jahren aufgrund zahlreicher Vorteile zunehmend an Bedeutung gewonnen haben. Sowohl bei der Bemessung als auch Ausführung von integralen Brücken ist eine ganzheitliche Betrachtung des Gesamtsystems von Überbau, Unterbau und Gründung aufgrund deren Wechselwirkungen zueinander unabdingbar. [14] Durch die monolithischen bzw. fugenlosen Verbindungen werden Verformungen im Überbau auf den Unterbau übertragen und müssen schließlich von der Gründung aufgenommen werden [25]. Ursachen für derartige Verformungen sind beispielsweise Kriechen und Schwinden des Betons und insbesondere Temperaturschwankungen, woraus eine Winterstellung (Verkürzung des Überbaus) sowie eine Sommerstellung (Ausdehnung des Überbaus) des Tragwerks resultiert (Abb. 4.1) [8]. Winter- und Sommerstellung stellen somit einen Jahreszyklus mit maximaler Verschiebungsspanne dar (vgl. Wechselbelastung in Abschnitt 3.5.1.1). Betrachtet man temperaturinduzierte Verschiebungen in kleineren Zeiträumen von Wochen, Tagen oder Stunden, so handelt es sich um höherfrequente Schwelllastzyklen.

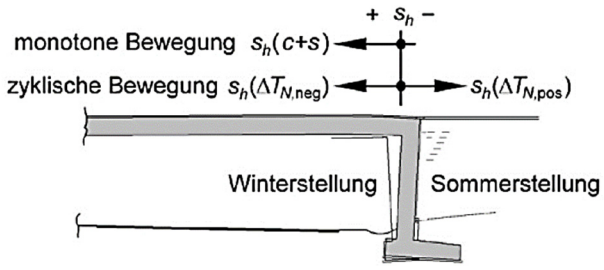


Abb. 4.1: Verschiebungen infolge von Verformungen im Überbau aus [8]

Vor allem bei größeren Stützweiten (> 25 m) sind integrale Brücken häufig auf Pfählen gegründet. Dies ermöglicht einerseits eine Lastabtragung in tiefere, tragfähige Untergrundschichten und anderseits Flexibilität zur Abtragung von Zwangskräften. Dazu ist eine Gründung mit lediglich einer Pfahlreihe gegenüber mehrreihigen Pfahlgruppen zu bevorzugen (Abb. 4.2) [14].

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.

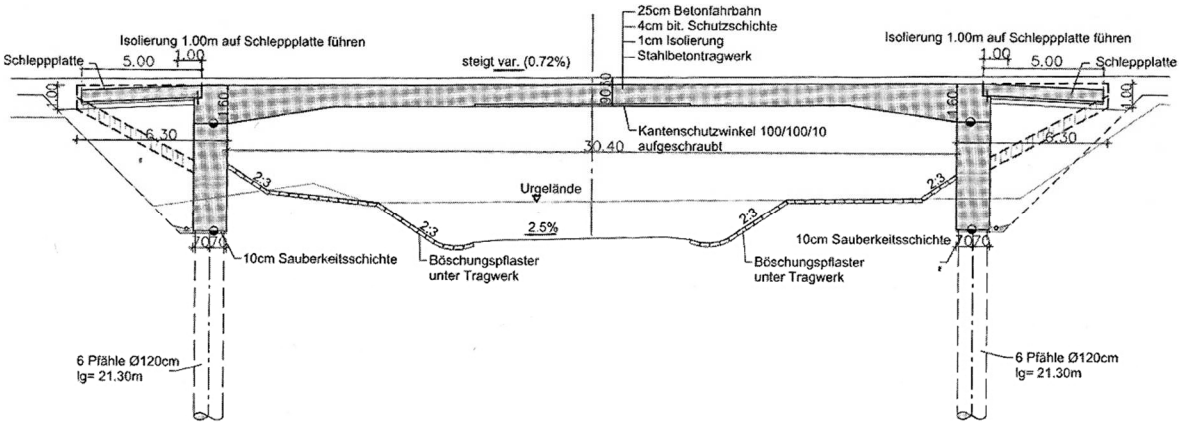


Abb. 4.2: Integrale Brücke, gegründet mit jeweils einer Pfahlreihe aus [14]

Jeder einzelne Pfahl erfährt aufgrund der von der Widerlagerkonstruktion weitergegeben Temperaturverformung eine Horizontalkrafteinwirkung am Pfahlkopf, die vom Pfahl über die seitliche Bettung im Untergrund abgetragen wird (vgl. Abb. 4.3). In weiterer Folge müssen bei der Bemessung i. A. nicht nur die für Maximalverschiebungen maßgebliche untere Grenzwerte für den Bettungsmodul angenommen werden. Zusätzlich sind auch obere Grenzwerte zu betrachten, da durch größere Gründungssteifigkeit höhere Zwangskräfte im Tragwerk entstehen können [14].

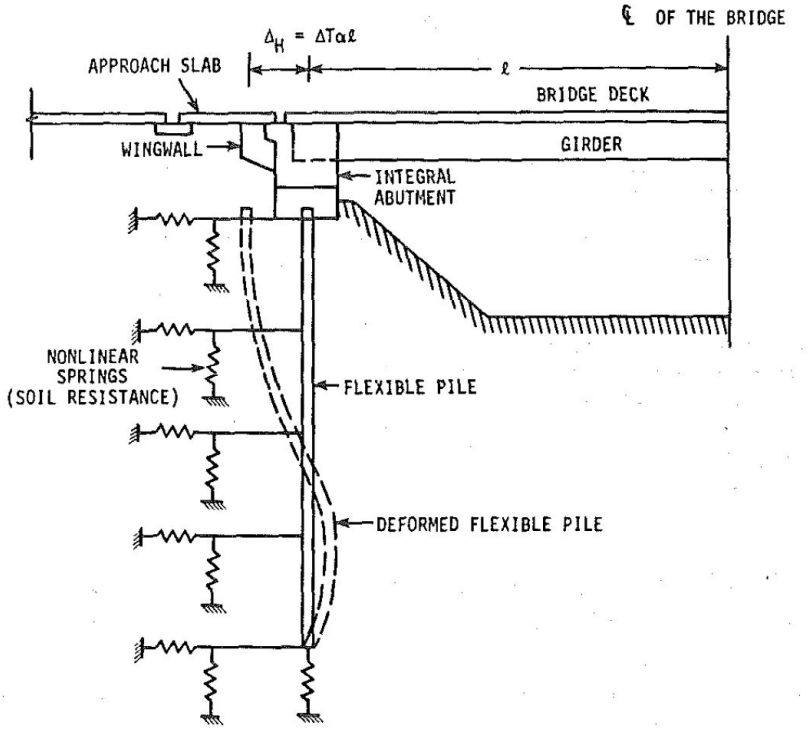


Abb. 4.3: Prinzip der Abtragung von temperaturinduzierter Horizontalkraftbeanspruchung aus [17]

Laut EA-Pfähle liegt zum Tragverhalten „[…] *besonders unter zyklischen Einwirkungen nur ein geringer Kenntnisstand vor*“ und die in [37] „[…] *enthaltene Forderung nach Pfahlprobebelastungen zur Abbildung von wirklichkeitsgetreuen Belastungssituationen ist besonders bezüglich der Anzahl der Lastzyklen in der Praxis kaum umzusetzen. Aber auch eine geringe Anzahl der Lastzyklen kann bei einer Pfahlprobebelastung wichtige Hinweise für ein gegenüber statischer Belastung verändertes Pfahltragverhalten liefern,* […]“

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Auch in [20] wird „[…] *darauf hingewiesen, dass bezüglich des Pfahlverhaltens bei nicht ruhenden Einwirkungen erhebliche Kenntnisdefizite vorliegen und Forschungsbedarf besteht.*“

Die EA-Pfähle [13] deutet in einer Anmerkung bezüglich Pfahlprobebelastungen auf jene Problematik hin, die mithilfe der Horizontalverschiebeversuche untersucht werden sollte: „*Wenn an einem Pfahl Probebelastungen sowohl in axialer Richtung als auch quer zur Pfahlachse durchgeführt werden sollen, sind die axialen Probebelastungen zuerst auszuführen. Bei umgekehrter Reihenfolge können die Größe und die Entwicklung der Mantelreibung sowie der zu ihrer Mobilisierung erforderliche Verschiebungsbetrag beeinflusst werden.*“

In vielen Publikationen wird darauf hingewiesen, dass horizontale Pfahlkopfverschiebungen einen Einfluss auf die Mantelreibung haben können. Die im Zuge des FPUH durchgeführten Horizontalverschiebeversuche haben daher einerseits das Ziel, den Einfluss horizontaler Verschiebungen auf das vertikale Tragverhalten zu untersuchen. Zum anderen sollen die Bettungseigenschaften sowie das Verformungsverhalten von Großbohrpfählen untersucht werden. Dabei werden die Pfahlprobebelastungen analog zu den anderen Probebelastungen (Abschnitt 2.6) im repräsentativen Wiener Baugrund durchgeführt.

4.1.2 Versuchsprinzip

Für die Konzeption der Versuchsdurchführung zur Untersuchung der genannten Aspekte wurde die TU Wien als wissenschaftliche Begleitung beauftragt. Da das dabei entstandene „Prüfkonzept Horizontalverschiebeversuche“ [67] von mir persönlich verfasst wurde, wird es im vorliegenden Kapitel nicht ständig zitiert, wenngleich der Großteil des nachfolgenden Inhalts darauf basiert oder teilweise gleiche Formulierungen enthält. Die zugrundeliegenden Projektunterlagen sind im Quellenverzeichnis angeführt ([48] bis [72]).

Das Versuchsprinzip der Horizontalverschiebeversuche bestand zunächst in der Aufbringung einer Vertikalkraft auf den Pfahlkopf, deren Wert jener Gebrauchslast entspricht, der ein Großbohrpfahl unter einer integralen Brücke mittlerer Spannweite ausgesetzt ist. Unter Konstanthaltung dieser vertikalen Gebrauchslast wurden die Versuchspfähle anschließend zyklisch, horizontal verschoben. Die Verschiebung erfolgte in abwechselnder Richtung um die vertikale Ausgangsstellung, womit Jahresverschiebungszyklen simuliert wurden (vgl. Abb. 4.1). Danach wurden beide Pfähle noch bis zu einer Maximallast ausschließlich vertikal belastet, bevor schlussendlich die Entlastung erfolgte. Einzelheiten zur Versuchsdurchführung werden in Abschnitt 4.3 erläutert.

Folglich handelt es sich um Probebelastungen unter kombinierter Belastung mit zyklischer Horizontalkraftaufbringung. Derartige Probebelastungen erfordern die Berücksichtigung der Aspekte aus Abschnitt 3.4 und 3.5.1 sowie aufwändige Belastungs- und Messeinrichtungen. Nicht zuletzt deshalb wurden vergleichbare Versuche bisher selten durchgeführt.

Weiters sei ebenfalls hervorgehoben, dass nur Einzelpfähle getestet wurden, obwohl in der Praxis meist zumindest eine Reihe von Pfählen ausgeführt wird, die sich in ihrem Tragverhalten gegenseitig beeinflussen können (vgl. Abschnitt 3.6).

4.1.3 Pfahlgeometrie und Pfahlherstellung

Für die Horizontalverschiebeversuche wurden zwei verschiedene Großbohrpfähle als Probepfähle hergestellt. Tab. 4.1 fasst deren Pfahlabmessungen zusammen.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tab. 4.1: Abmessungen und Höhenlage der Probepfähle

Probepfahl	Bodenart im Lastabtragungsbereich	PKOK[1] [m ü. A.]	POK[2] = PKUK[3] [m ü. A.]	PUK[4] [m ü. A.]	Länge [m]	*D* [cm]
B.HK[5]	Quartär	156,80[7]	156,00	150,00	6	60
B.HM[6]	Quartär & Miozän	156,80[8]	156,00	140,00	16	90

[1] PKOK Pfahlkopfoberkante
[2] POK Pfahloberkante
[3] PKUK Pfahlkopfunterkante
[4] PUK Pfahlunterkante
[5] B.HK „Bohrpfahl Horizontal Kies“
[6] B.HM „Bohrpfahl Horizontal Miozän“
[7] Planmaß (lt. Vermessung Porr PKOK = 156,78 m ü. A.)
[8] Planmaß (lt. Vermessung Porr PKOK = 156,77 m ü. A.)

Die Probepfähle unterscheiden sich nicht nur in ihren Abmessungen, sondern auch in ihrer Herstellungsweise. Die Pfahlherstellung erfolgte nach den technischen Ausführungsberichten sowie den Schalungs- und Bewehrungsplänen. Die folgende Tabelle ordnet den Versuchs- und Reaktionspfählen die entsprechenden Projektunterlagen aus dem Quellenverzeichnis zu.

Tab. 4.2: Abmessungen und Höhenlage der Probepfähle

Großbohrpfahl	Technischer Ausführungsbericht	Schalungsplan	Bewehrungsplan
B.HK	[61]	[53]	[54]
B.HM	[62]	[51]	[52]
R6 (B.HM)	[62]	[55]	[56]
R51, R52, R53 (B.HM)	[62]	[57]	[58]
R65, R66 (B.HK)	[61]	[59]	[60]

Der Pfahl B.HM wurde im Kelly-Bohrverfahren mit Verrohrung hergestellt. Dafür war ein Großdrehbohrgerät BG 28 H der Fa. Bauer im Einsatz. Das an der Kellystange geführte Bohrwerkzeug wurde je nach aktuellen Untergrundgegebenheiten variiert [62]. Laut Bohrpfahlprotokoll [70] kam in den obersten zwei Metern eine herkömmliche Bohrschnecke zum Einsatz. Danach erfolgte der Aushub mittels Bohreimer bis zur Bohrlochendtiefe. Eine Felsschnecke war demnach nicht notwendig. Das Grundwasser wurde in 2,13 m Tiefe ab GOK angetroffen. Die Bohrung erfolgte ab hier bis 12,00 m Tiefe ohne aktive Wasserauflast, danach bis zur Endtiefe mit aktiver Wasserauflast [70]. Als Bohrrohre wurden doppelwandige Bohrrohre (D = 900 mm) verwendet [62]. Die Betonage erfolgt mit der Betonsorte C25/30 BS-TB1, GK22, F59. Die gesamte Herstellung erfolgte am 05.04.2017 [70].

Der Pfahl B.HK wurde im SOB-Verfahren hergestellt. Dabei kam wieder das Großdrehbohrgerät BG 28 H zum Einsatz, nun jedoch in Kombination mit einer Endlosschnecke (D = 600 mm) [62]. Bohren im Grundwasser erfolgte wiederum ab 2,13 m u. GOK, jedoch ohne aktive Wasserauflast bis zur Endtiefe. Im Unterschied zum Pfahl B.HM wurde der Pfahl B.HK durch den Einbau eines Doppelwandrohrs bis in eine Tiefe von 1,50 m ab GOK vom umgebenden Untergrund entkoppelt. Die eigentliche Mantelstrecke beginnt erst weitere 20 cm darunter, da der Pfahl dort durch ein Stahlblech und eine Abdichtung vom Baugrund getrennt ist (siehe Detail E in Abb. 4.5) [53]. Das Doppelwandrohr wurde zum einen ausgeführt, um dieselbe Pfahlgeometrie wie bei den konventionellen Probebelastungen und damit eine Eliminierung der Mantelreibung zu erlangen. Zum anderen hatte der

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

damit erzeugte Luftspalt das Ziel, eine deutlichere Ausbildung der Biegelinie zufolge Horizontalbelastung zu ermöglichen. Laut Schalungsplan [53] (Abb. 4.5, Schnitt D) stehen dafür in beide Richtungen 40,5 mm an Luftspalt zur Verfügung. Die verbaute Betonsorte ist bis auf das kleinere Größtkorn dieselbe wie beim Pfahl B.HM: C25/30 BS-TB1, GK16, F59. Die gesamte Herstellung erfolgte am 07.04.2017 [70].

Sowohl beim Probepfahl B.HM als auch B.HK erfolgte der Einbau des Bewehrungskorbes mitsamt den montierten Bewehrungssensoren sowie dem Extensometer- und Inklinometerrohr (vgl. Abschnitt 4.2.3.3). Für beide Probepfähle wurde der konventionelle Zementtyp CEM II/A-M (S-L) verwendet.

Wie bereits aus Tab. 4.1 hervorgeht, wurden auf den Probepfählen Pfahlköpfe mit einer Größe von 1,20 x 1,20 x 0,80 m angeordnet. Die geplante Versuchsdurchführung erforderte dabei die Anordnung von Durchbrüchen in den Pfahlköpfen, durch die GEWI-Stabstähle sowohl als Spannglieder für die Horizontalbelastung als auch zur Verankerung zwischen Reaktionspfählen (B.HM) dienten (vgl. Abb. 4.4 und Abb. 4.5).

Die Reaktionspfähle wurden grundsätzlich in gleicher Weise wie die Probepfähle hergestellt, jedoch durchwegs ohne Doppelwandrohr ausgeführt [62]. Auch sie wurden mit Pfahlköpfen versehen, die zur Lagerung der Vertikalbelastungskonstruktion dienten.

Die Funktionsfähigkeit der bereits im Zuge der Pfahlherstellung verbauten Messtechnik (Bewehrungssensoren) wurde vor der Installation am Bewehrungskorb, vor und nach dem Einbau des Bewehrungskorbes sowie nach der Betonage des Pfahls mittels Handauslesegerät (siehe Abb. 4.17 rechts) überprüft und in Prüfprotokollen dokumentiert.

4.1.4 Lage- und Baugrundsituation

Die beiden Probepfähle befinden sich auf dem Prüffeld 2. Dementsprechend kommen sie in dem in Abschnitt 2.3 beschriebenen, geologischen Untergrund zu liegen. Der Planausschnitt in Abb. 2.14 (Abschnitt 2.6.5.3) zeigt die Lage der beiden Kernbohrungen KB-13 und KB-37.

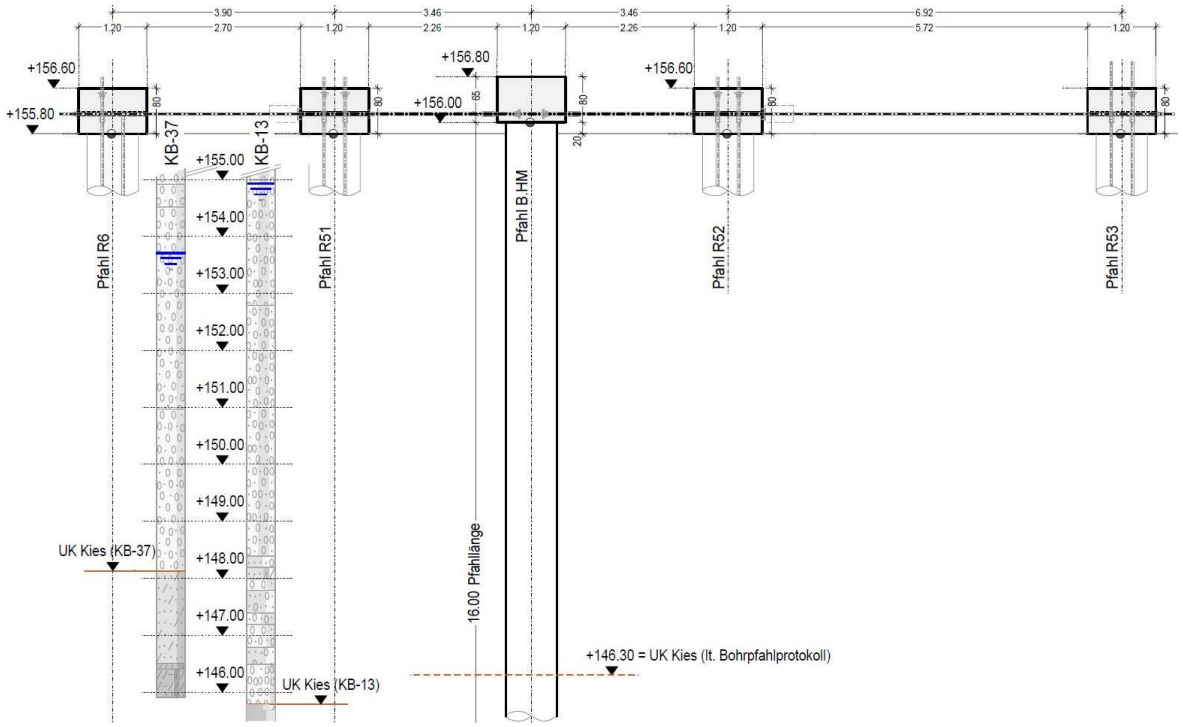


Abb. 4.4: Probe- und Reaktionspfahlanordnung des Versuchs B.HM, Planausschnitt aus [51] (adaptiert)

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Der Probepfahl B.HM liegt zwischen diesen Kernbohrungen. Für die spätere Auswertung scheint die lt. Bohrpfahlprotokoll ([70], ANHANG C) angetroffene Unterkante der Kiesschicht in einer Höhe von 146,30 m. ü. A. als plausible Annahme. Mit der Pfahlunterkante in einer Höhe von 140,00 m. ü. A. ergibt das eine Einbindung in das Miozän auf einer Länge von 6,30 m. Der 16,00 m lange Pfahl B.HM befindet folglich auf einer Strecke von 9,5 m im Kies.

Die Länge des Probepfahls B.HK wurde so gewählt, dass sich dieser ausschließlich in der Kiesschicht befindet. Seine Einbindetiefe von 5,80 m teilt sich in einen Bereich ohne Mantelreibung von 1,70 m Länge und in die Mantelreibungsstrecke von 4,10 m auf (Abb. 4.5).

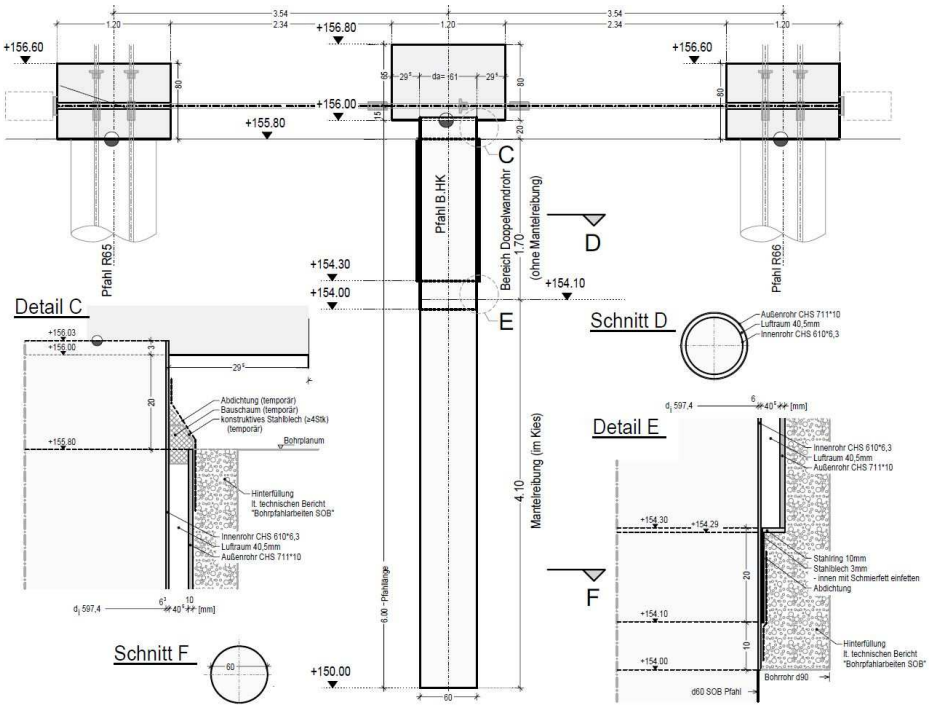


Abb. 4.5: Probe- und Reaktionspfahlanordnung des Versuchs B.HK, Planausschnitt aus [53] (adaptiert)

Die bei der Herstellung angetroffenen Bodenarten wurden in den Bohrpfahlprotokollen (siehe ANHANG C) von der ARGE FPUH dokumentiert.

Bei einigen ausgewählten Bohrpfählen wurden im Zuge des Pfahlaushubs von der ARGE FPUH repräsentative Proben entnommen und in Fächerkisten gelagert. Seitens der TU Wien wurden einige Bodenproben bodenphysikalisch untersucht (siehe Laborprüfprogramm TU Wien).

Durch die MA 39 erfolgte die Entnahme von Probekörpern aus dem frischen Pfahlbeton, um im entsprechenden Prüfalter eine labortechnische Bestimmung des E-Moduls als Vergleich zu den Verformungsmessungen im Pfahl zu erhalten.

4.2 Versuchsaufbau

4.2.1 Allgemeines

Das Versuchskonzept, welches insbesondere die Messinstrumentierung festlegt, wurde unter weitgehender Berücksichtigung der EA-Pfähle [13] erstellt, da die ÖNORM B 1997-1-3 [39] hinsichtlich Vorbereitung, Durchführung und Dokumentation darauf verweist.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Für lateral belastete Probepfähle gibt es nach EA-Pfähle lediglich eine Anforderungsstufe: „*Erfassung des Pfahlwiderstands quer zur Pfahlachse und der Biegelinie*.“ (vgl. Abschnitt 3.9.1.3)

Abgesehen von der direkten Erfassung des Pfahlfußwiederstands mittels Druckmessdose, wurde die Instrumentierung bzw. der Versuchsaufbau im Sinne „*hoher Anforderungen*“ (vgl. Abschnitt 3.9.1.2) konzeptioniert.

4.2.2 Belastungseinrichtungen

Die gesamte Belastungseinrichtung der Horizontalverschiebeversuche zeigt Abb. 4.7.

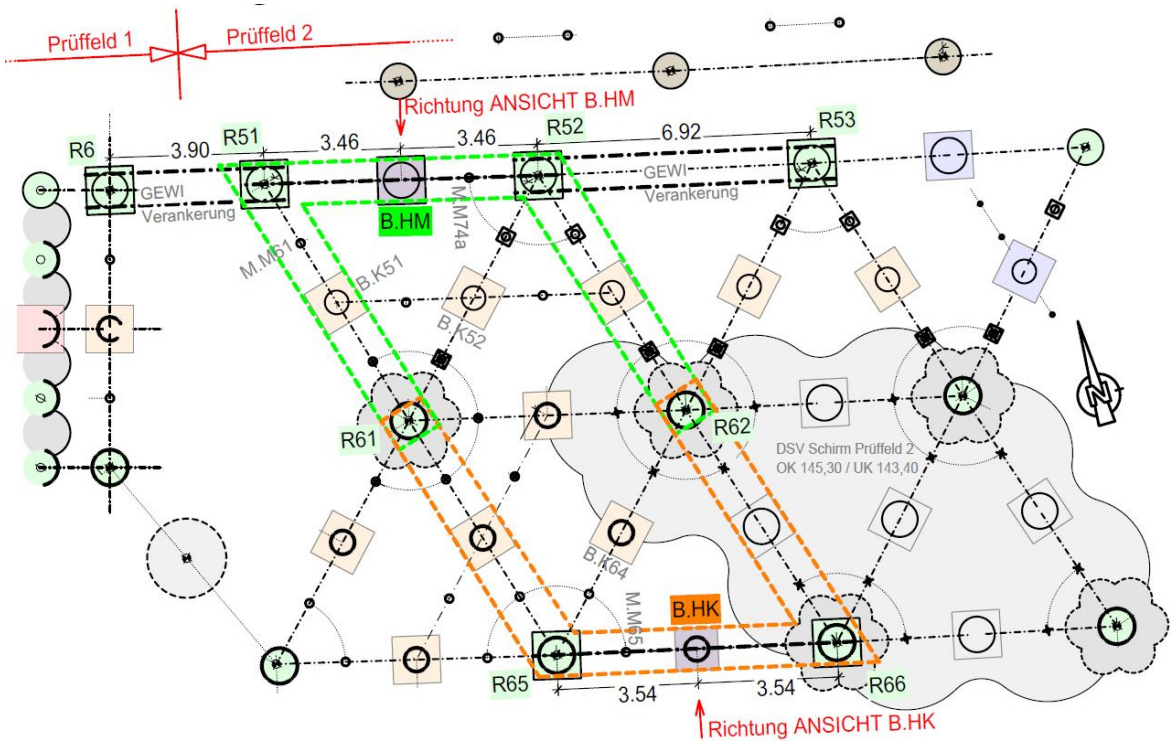


Abb. 4.6: Anordnung der Stahlkonstruktion gemäß Abb. 4.7 für den Versuch B.HM (hellgrün) sowie für den Versuch B.HK (orange), Planausschnitt aus [50] (adaptiert)

Abb. 4.6 zeigt die jeweilige Anordnung dieser Belastungseinrichtung für die beiden Versuche und anderseits die Blickrichtungen der Ansicht, die für die Bezugsherstellung zum Koordinatensystem in Abb. 4.11 bzw. Abb. 4.12 dient.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

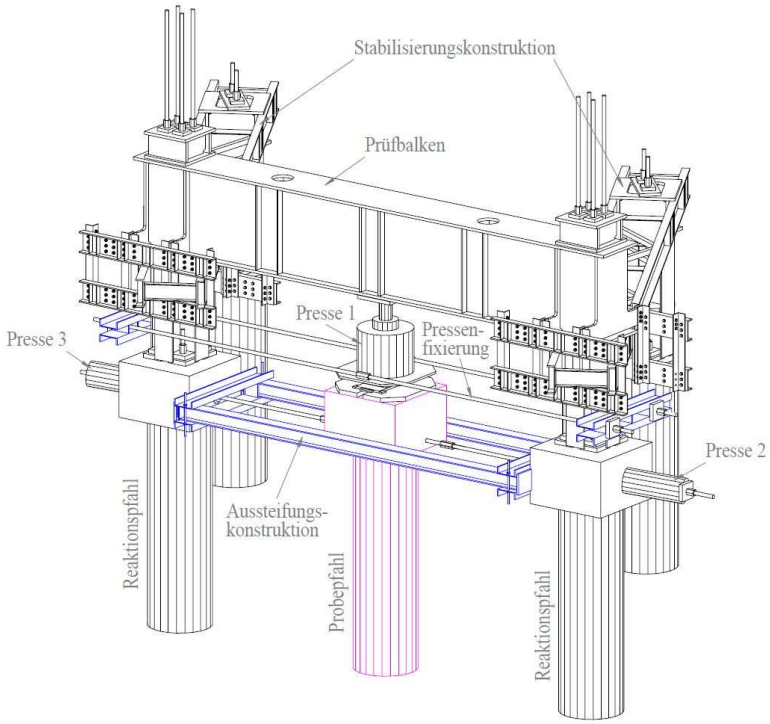


Abb. 4.7: Gesamte Belastungseinrichtung, Planausschnitt aus [74] (adaptiert)

In weiterer Folge wird zwischen horizontaler und vertikaler Belastungseinrichtung unterschieden.

4.2.2.1 Vertikale Belastungseinrichtung

Die vertikale Belastungseinrichtung war für die beiden unterschiedlichen Pfähle gleich und lässt sich wie folgt beschreiben:

Die Prüflast wurde zentrisch und axial mittels hydraulischer Zylinderpresse (Typ *ZPE 1000*) auf den Pfahlkopf aufgebracht. Das Widerlager für die Presse bildete ein auf den Reaktionspfählen befestigter Stahlrahmen, der in Querrichtung mit Stabilisierungsträgern (wiederum über Stahlstiele auf weiteren Reaktionspfählen gelagert) gegen Kippen gesichert war (siehe Abb. 4.7 bzw. [63]).

Zur Kompensation von Schiefstellungen der Presse infolge der Horizontalverschiebungen des Pfahlkopfes wurde zwischen Kraftmessdose (KMD 1) und Stahlrahmen eine Kugelkalotte vom Typ *1-C6/500T/ZK* eingebaut (vgl. Abb. 4.9 und Abb. 4.11).

Während den Beobachtungszeiten sowie der Phase der Horizontalverschiebungszyklen musste die Vertikallast konstant gehalten werden. Dies erfolgte mit einer automatischen Konstanthaltung des hydraulischen Drucks.

4.2.2.2 Horizontale Belastungseinrichtung

Die horizontale Belastungseinrichtung war ebenso für beide Versuche prinzipiell gleich, jedoch dienten beim Versuch B.HM je Seite zwei miteinander gekoppelte Reaktionspfähle zur Ableitung der Verankerungskräfte (vgl. Abb. 4.4), während beim Versuch B.HK lediglich ein Reaktionspfahl je Seite das Widerlager für die Horizontalbelastung bildete (vgl. Abb. 4.5). Durch horizontale Verstrebungen (Aussteifungskonstruktion, Abb. 4.7) übertrug der jeweils als Pressenwiderlager dienende Reaktionspfahlkopf die Verankerungskräfte allerdings auch auf den gegenüberliegenden Reaktionspfahl. Somit handelte es sich beim Pfahl B.HK um eine Kopplung von zwei Reaktionspfählen bzw. beim Pfahl B.HM um eine Kopplung von vier Reaktionspfählen.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die Horizontalverschiebung wurde mit je einer Hydraulikpresse je Seite (Typ *ZPE 200*) abwechselnd weggesteuert bis zum Sollwert (siehe Abschnitt 4.3.2.4) unter gleichzeitiger Kontrolle der Last aufgebracht. Um ein Bewegen der Presse bzw. des Pressenstempels infolge der eingebrachten Horizontalverschiebungen (Lagerreibungskräfte) zu verhindern, wurde die direkt unterhalb der Presse angeordnete Stahlplatte mit zwei GEWI-Stabstählen an den Prüfrahmenstielen fixiert. Diese Stahlplatte lag auf einem Brückenlager (quergeführtes Kalottengleitlager des Typs *KGe 5000* der Fa. *Maurer*) auf, das die Horizontalverschiebung ermöglichte.

An den Stahlrahmen wurde eine Holzkonstruktion zur Einhausung angebaut (Abb. 4.9 zeigt dies während der Herstellung). Im fertiggestellten Zustand schützte eine Vliesabdeckung die Mess- und Belastungseinrichtungen vor der Witterung (insbesondere Frost und Schneefall).

4.2.2.3 Fotodokumentation

Die nachfolgende Fotodokumentation zeigt die oben beschriebenen Bestandteile der Versuchseinrichtung.

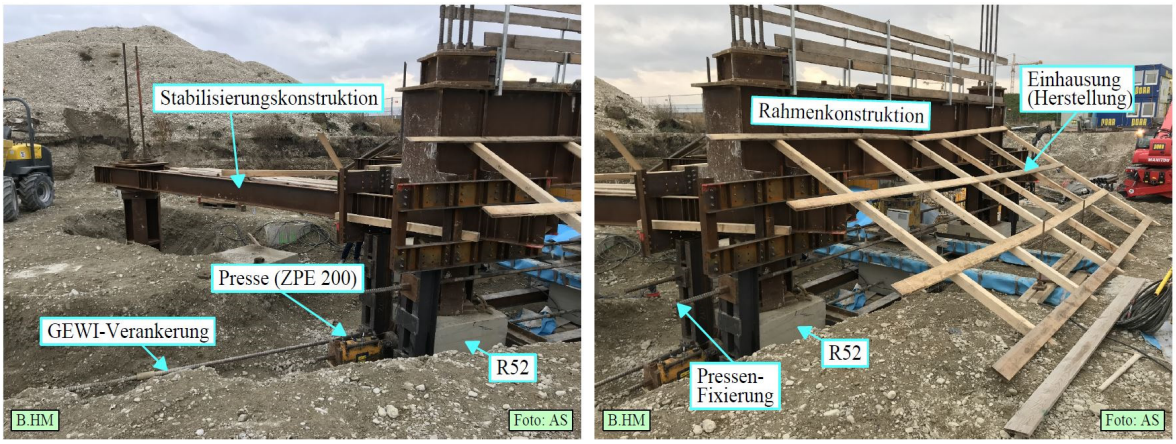


Abb. 4.8: Fotodarstellung der Belastungseinrichtung am Beispiel des Versuchs B.HM [AS], Teil 1

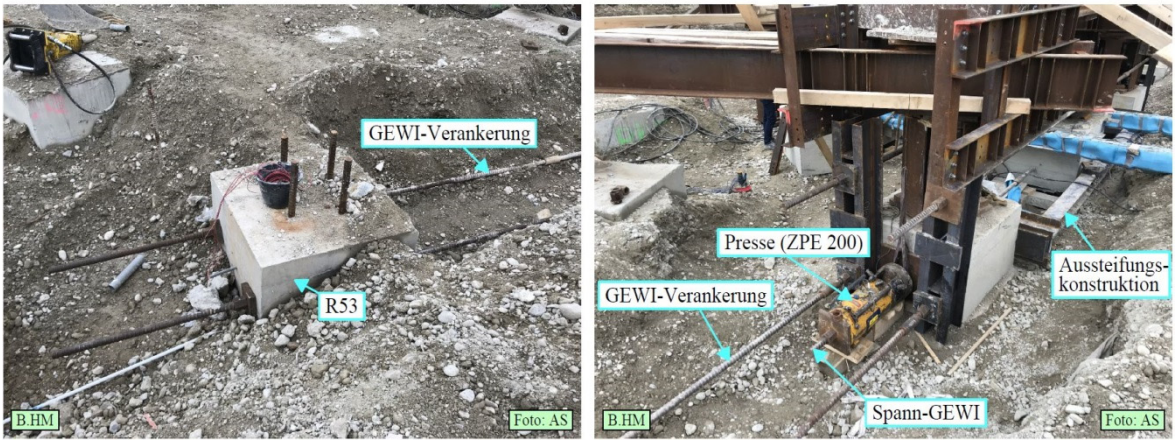


Abb. 4.9: Fotodarstellung der Belastungseinrichtung am Beispiel des Versuchs B.HM [AS], Teil 2

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

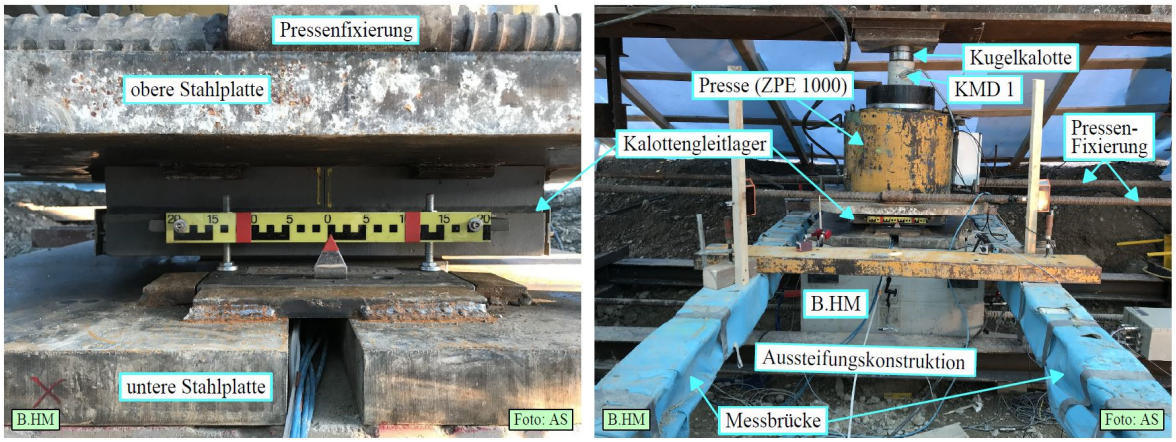


Abb. 4.10: Fotodarstellung der Belastungseinrichtung am Beispiel des Versuchs B.HM [AS], Teil 3

4.2.3 Messeinrichtungen

4.2.3.1 Allgemeines

Für die Erfassung der diversen Messgrößen wurden die beiden bisher verwendeten Messwerterfassungssysteme (MWES I & II) der konventionellen (vertikalen) Probebelastungen nach Abschnitt 2.6.1 bis 2.6.3 um ein Messwertfassungssystem III (MWES III) ergänzt. Tab. 4.3 fasst die Messwerterfassungssysteme zusammen, welche in den Folgeabschnitten einzeln beschrieben werden. Die Anordnung der Messtechnik war für beide HVV prinzipiell gleich und wird daher gemeinsam betrachtet. Etwaige Unterschiede werden ergänzt.

Tab. 4.3: Messwerterfassungssysteme (MWES) für die Horizontalverschiebeversuche

MWES	Erfassung der	Instrumentierung
I	vertikalen und horizontalen Pfahlkopfbelastungen und -verschiebungen	elektronische Wegaufnehmer und mechanische Messuhr
II	Längsdehnungen und der Untergrundtemperatur (punktuell und abschnittsweise)	Bewehrungssensoren (Schwingsaite) und Kettenextensometer
III	Biegelinie und Untergrundtemperatur (punktuell)	Ketteninklinometer

4.2.3.2 Messwerterfassungssystem I

Für die kontinuierliche Messung der Vertikalverschiebung am Pfahlkopf wurden 3 Stk. induktive Wegaufnehmer der Fa. *HBM* vom Typ *Wegtaster WA20* mit einem Messbereich von 0 – 20 mm und einer Linearitätsabweichung von 0,1 % verwendet. Zusätzlich wurde die Vertikalverschiebung mit einer mechanischen Messuhr vom Typ *GM 80-100T* jeweils am Beginn und Ende jeder Laststufe festgehalten. Die Anordnung erfolge symmetrisch bezüglich der Pfahlachse (vgl. Abb. 4.12).

Für die Messung der Horizontalverschiebung dienten 5 Stk. induktive Wegaufnehmer der Fa. *HBM* vom Typ *WA/100MM-T* mit einem Messbereich 0 – 100 mm. Davon wurden 2°Stk. für eine redundante Messung des Versuchspfahls in Verschiebungsrichtung und 1 Stk. für die Verschiebung in Querrichtung verwendet. Von den beiden übrigen Wegaufnehmern wurde je einer zur Kontrollmessung der Verschiebung jener Reaktionspfähle herangezogen, auf denen der Prüfrahmen montiert ist (vgl. Abb. 4.12).

Die Wegaufnehmer wurden allesamt an einer von der Probebelastung unabhängigen Messbrücke befestigt und zeichneten die Verschiebungen kontinuierlich auf. Die Auflagerpunkte der Mess-

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

brücke waren gemäß EA-Pfähle [13] mindestens 2,5 m vom Pfahlmantel entfernt angeordnet. Für den Aufbau der Messbrücke wurden dieselben Messträger wie bei den konventionellen Probebelastungen verwendet. Die Auflager der Messbrücke wurden mit Stößen aus Kanthölzern aufgebaut. Deren Lagefixierung erfolgte mit Ankerstäben, sodass Verschiebungen der Messbrücke über die Toleranz hinaus verhindert wurden. Dazu wurden die Auflager als entsprechen Beton-Blockfundamenten mit in frostfreier Tiefe liegender Gründungssohle (≥ 80 cm) hergestellt (vgl. Abb. 4.13).

Details zur Auflagerung und Lagefixierung der Messbrücke sowie zur Anordnung der der Instrumentierung des MWES I sind Abb. 4.11 bis Abb. 4.14 zu entnehmen.

Hinweis: Für die an die Horizontalbelastungszyklen anschließende vertikale Probebelastung beim Versuch B.HK wurde die Anordnung der Wegaufnehmer insofern verändert, dass die Vertikalverschiebungen mit den 5 Stk. induktiven Wegaufnehmern der Fa. *HBM* vom Typ *WA/100MM-T* mit einem Messbereich 0 – 100 mm gemessen wurden. Die Anordnung der Messinstrumentierung erfolgte dabei analog zu den konventionellen Probelastungen gemäß [68].

Die Prüfkräfte der Kraftmessdosen (KMD 1 – 3) wurde gemeinsam mit dem Zeitsignal kontinuierlich vom MWES I aufgezeichnet. Die Hydraulikpresse und die Kraftmessdose mussten eine aktuelle Kalibrierung (< 1 Jahr) aufweisen. In der Nähe der Prüfpresse wurde mit einem Temperaturfühler vom Typ *PT 1000* auch die Temperatur kontinuierlich aufgezeichnet.

An zwei an der Messbrücke markierten Kontrollpunkten (1 Kontrollpunkt je Auflager) wurden allfällige, unbeabsichtigte Vertikalverschiebungen der Messbrücke kontinuierliche mittels Präzisionsnivellement kontrolliert. Gleiches gilt für die Prüfrahmenstiele bzw. die Reaktionspfähle, auf denen diese befestigt waren (siehe [20]).

Sämtliche Messungen bzw. Messinstrumente wurden in das MWES I zeitsynchron eingebunden und mittels Einhausung vor direkter Sonneneinstrahlung, Frost und Erschütterungen geschützt.

Zusätzlich wurden die Messwerte des MWES I in einem Feldprotokoll (ANHANG H) händisch zu folgenden Zeitpunkten aufgezeichnet:

- Nullmessung vor Versuchsbeginn
- am Beginn und Ender jeder Laststufe bzw. Verschiebung

In Tab. 4.4 sind die Komponenten des MWES I noch einmal zusammengefasst.

Tab. 4.4: Komponenten des Messwerterfassungssystems I (MWES I)

Komponente	Bez.	Typ	Beschreibung	Stk
Kraftmessdose	KMD 1	*HBM 1-C6A/5MN*	Messung der Vertikalkraft	1
Kraftmessdose	KMD 2/3	*HBM 1-C6A/2MN*	Messung der jeweiligen Horizontalkraft	2
Manometer		*k. A.*	Messung und Kontrolle des hydr. Drucks	1
Temperaturfühler	T	*PT 1000*	Temperaturmessung am Probepfahlkopf	1
Wegaufnehmer vertikal	$W_{V,1-3}$	*HBM WA20* 0,1% Linearitätsabw.	Messung der Vertikalverschiebung am Probepfahlkopf	3
mechanische Messuhr	W_{mech}	*GM 80/100 T*	Kontrolle der Vertikalverschiebung am Probepfahlkopf	1
Wegaufnehmer horizontal	$W_{H,1-5}$	*HBM WA100* 0,1% Linearitätsabw.	Messung der Horizontalverschiebung am Probepfahlkopf	5

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Präzisions-nivellement	$W_{VP,1-4}$	*LE 71*	Kontrolle der Vertikalverschiebung der Messbrücke und Reaktionspfähle	1
Nivellement		k. A.	Ermittlung des Messniveaus und einzelne Kontrollmessungen	1
A/D-Wandler + Software		*Gantner Q.raxx A107 + SignaSoft 6000*	Sammlung und Darstellung der elektr. Messwerte	1
Desktop-PC/ Laptop		k. A.	Auslesung und Sicherung der Daten	2

(Tab. 4.4: Fortsetzung)

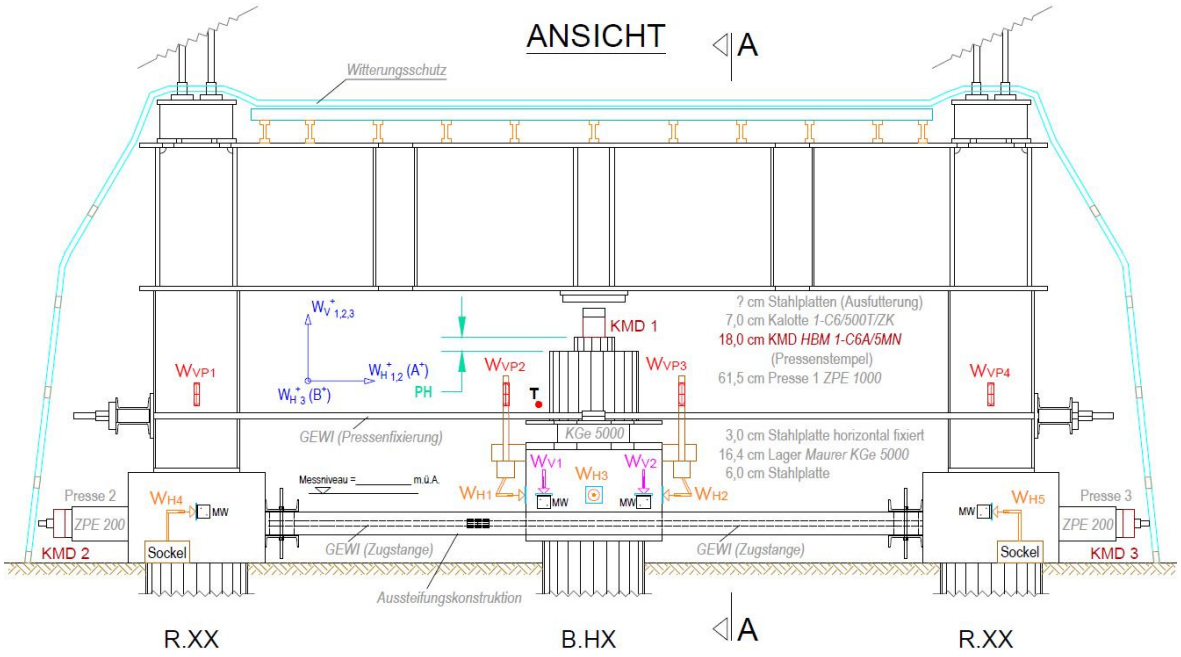


Abb. 4.11: Idealisierte Darstellung des Versuchsaufbaus mit den Belastungseinrichtungen und Anordnung der Instrumentierung des MWES I – ANSICHT, Planausschnitt aus [69] (adaptiert)

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

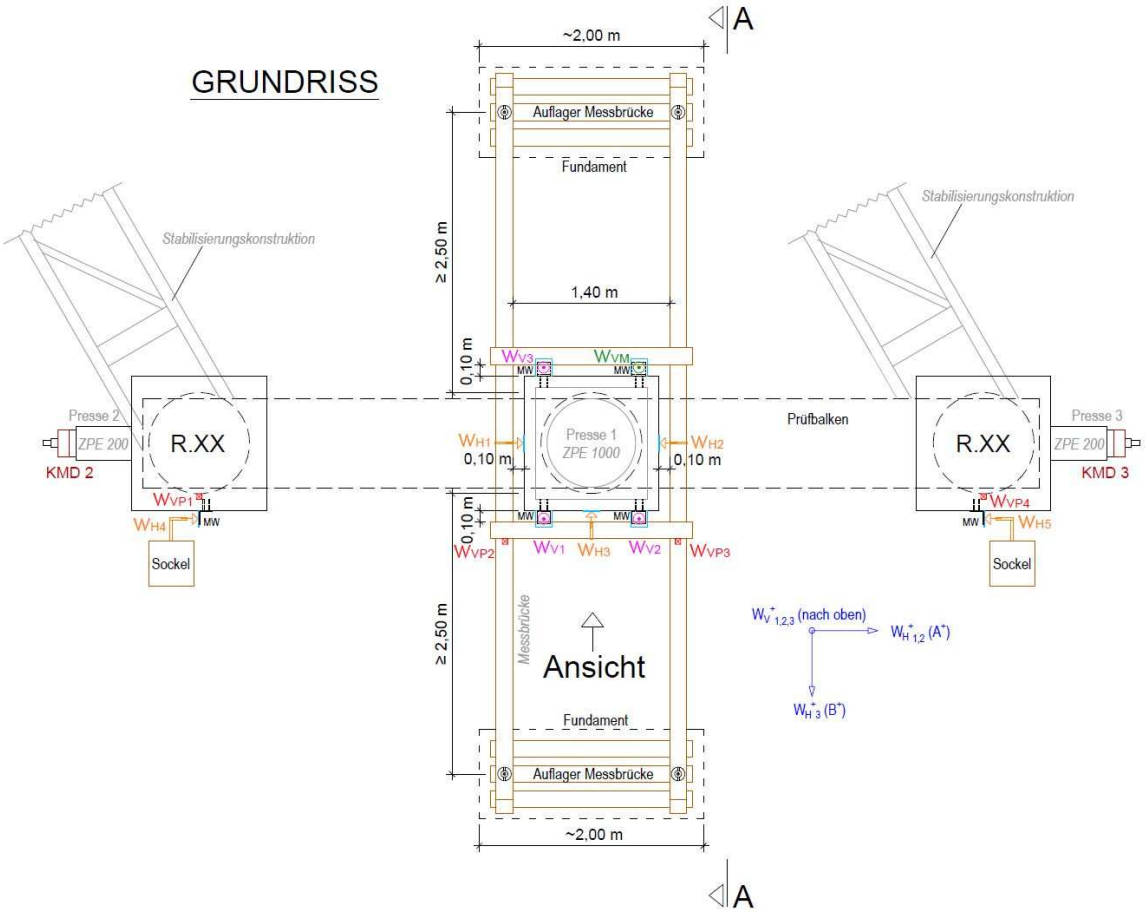


Abb. 4.12: Idealisierte Darstellung des Versuchsaufbaus mit den Belastungseinrichtungen und Anordnung der Instrumentierung des MWES I – GRUNDRISS, Planausschnitt aus [69] (adaptiert)

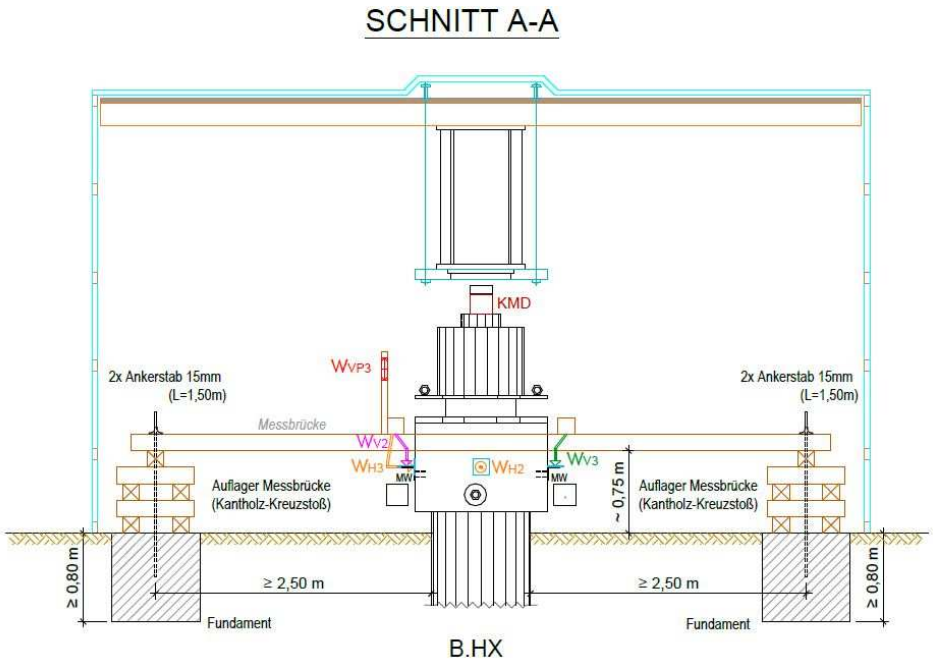


Abb. 4.13: Idealisierte Darstellung des Versuchsaufbaus mit den Belastungseinrichtungen und Anordnung der Instrumentierung des MWES I – SCHNITT A-A, Planausschnitt aus [69] (adaptiert)

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

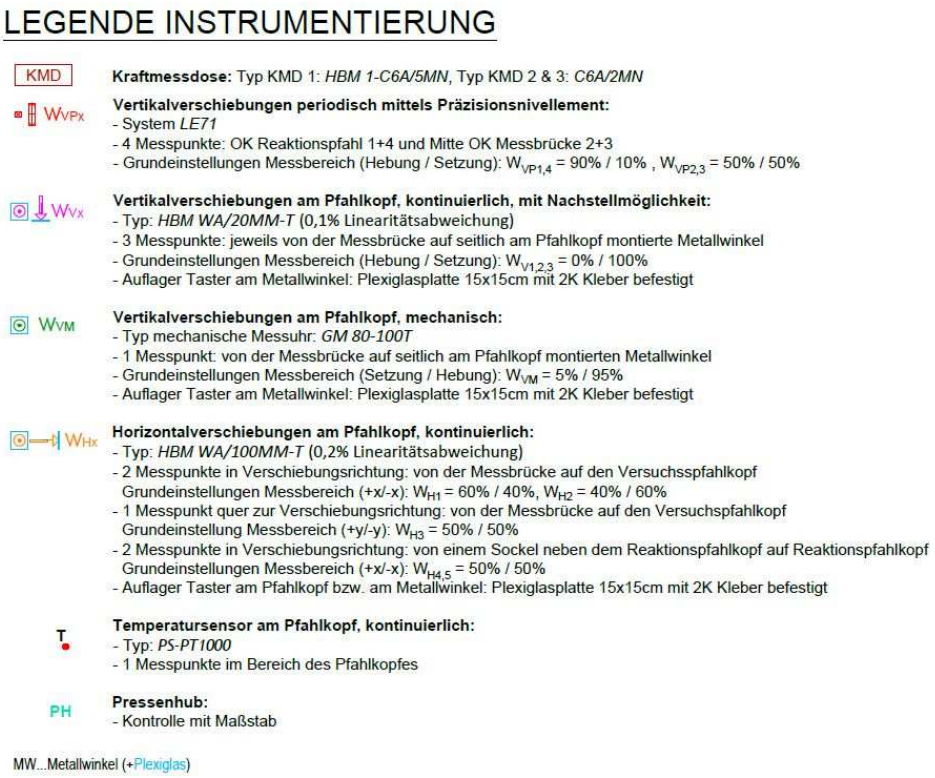


Abb. 4.14: Legende zu Abb. 4.11 bis Abb. 4.13, Planausschnitt aus [69] (adaptiert)

4.2.3.3 Messwerterfassungssystem II

Das Messwerterfassungssystem II (MWES II) band prinzipiell die Messinstrumente ein, die sich innerhalb des Probepfahls befanden.

Erfassung des Pfahlfußwiderstandes

In beiden Versuchen erfolgte keine direkte Erfassung des Pfahlfußwiderstands. Stattdessen ist eine Rückrechnung des Pfahlfußwiderstands aus der verbleibenden Pfahllängskraft möglich, die der Differenz aus aufgebrachter Vertikalkraft und der bis zum Pfahlfuß über Mantelreibung abgebauten Kraft entspricht (siehe Kapitel 5).

Erfassung des Pfahlmantelwiderstandes

Die Ermittlung des Pfahlmantelwiderstandes erfolgte in beiden Versuchen über die Erfassung der Pfahllängsdehnungen sowohl mittels eines Kettenextensometers als auch mittels Dehnungsaufnehmern (Bewehrungssensoren).

Die **Dehnungsaufnehmer** vom Typ *Geokon 4911* (*Sister Bars*, Abb. 4.15) wurden in 5 Messhorizonten zu je 2 Aufnehmern angeordnet (Abb. 4.16 zeigt beispielhaft die Anordnung in lediglich 3 Horizonten). Dabei handelt es sich um Schwingsaitenaufnehmer (Vibrating Wire…VW). Die Montage erfolgte bei der Herstellung über Abstandhalter am Bewehrungskorb. Die Abstände der Sister Bars (Soll-Lage) kann den Bewehrungsplänen ([52] bzw. [54]) entnommen werden (Die tatsächliche Ist-Lage wurde vor dem Einbau gemessen; siehe Kapitel 5). Die Messkabel wurden am Bewehrungskorb befestigt und über Tage geführt. Für die Verlegung der Kabel vom Pfahlkopf zu einem Messcontainer waren ca. 10 m zusätzliche Kabellänge vorzusehen. Die Messdaten der Dehnungsaufnehmer wurden (gemeinsam mit den Daten des Kettenextensometers) mit dem Datenlogger *Geokon 8002-16-1 (LC-2x16)* aufgezeichnet (siehe Abb. 4.17 links).

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

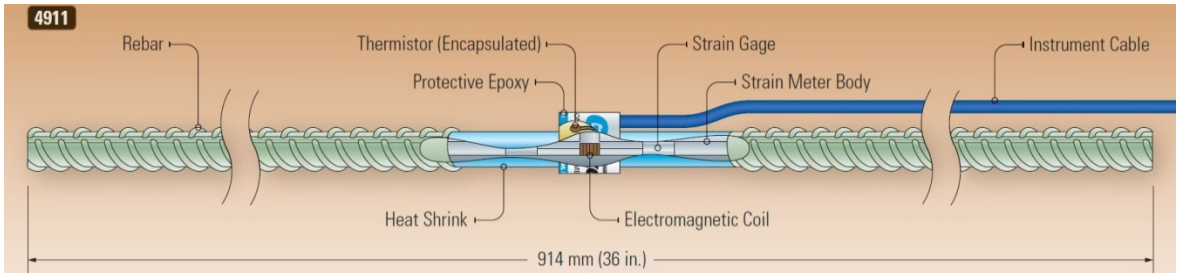


Abb. 4.15: Aufbau der Dehnungsaufnehmer (*Sister Bars*) aus [79]

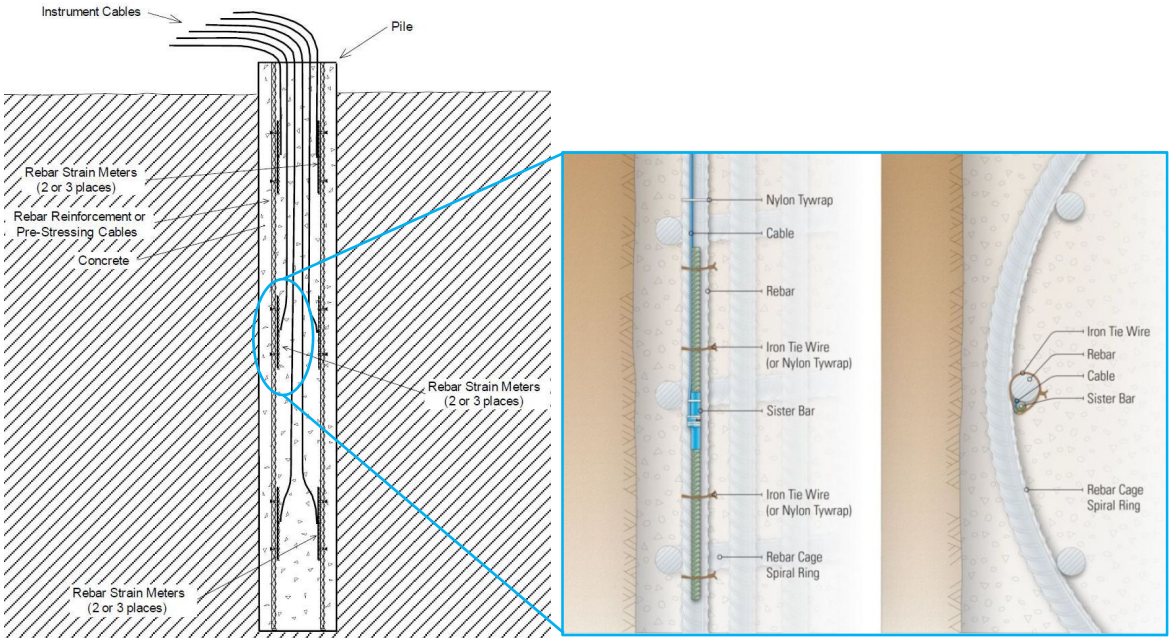


Abb. 4.16: Anordnung und Montage der *Sister Bars* im Pfahl aus [78]

Abb. 4.18 rechts zeigt das Handauslesegerät vom Typ *Geokon GK-404*, das für die zahlreichen Überprüfungen der Funktionstüchtigkeit sämtlicher Sensoren verwendet wurde.



Abb. 4.17: Datenlogger *Geokon 8002-16-1 (LC-2x16)* (links) aus [81] und Handauslesegerät *Geokon GK-404* (rechts) aus [82]

Das **Kettenextensometer** vom Typ *Geokon 1300-A9* (Abb. 4.18) bestimmte durch lückenlos aneinander gekoppelte Segmente die Längsdehnungsverlauft über die gesamte Pfahllänge. Damit steht

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

sowohl eine lückenlose Information über die integrale Verformung jedes einzelnen Pfahlabschnitts, als auch die Gesamtverformung des Pfahls zwischen Pfahlkopf und Pfahlfuß als Messergebnis zur Verfügung. Da die Längen der einzelnen Abschnitte deutlich größer waren als bei den Dehnungsaufnehmern, können Fehlinterpretationen aufgrund lokaler Abweichungen des Pfahlquerschnitts gegenüber diesen reduziert werden.

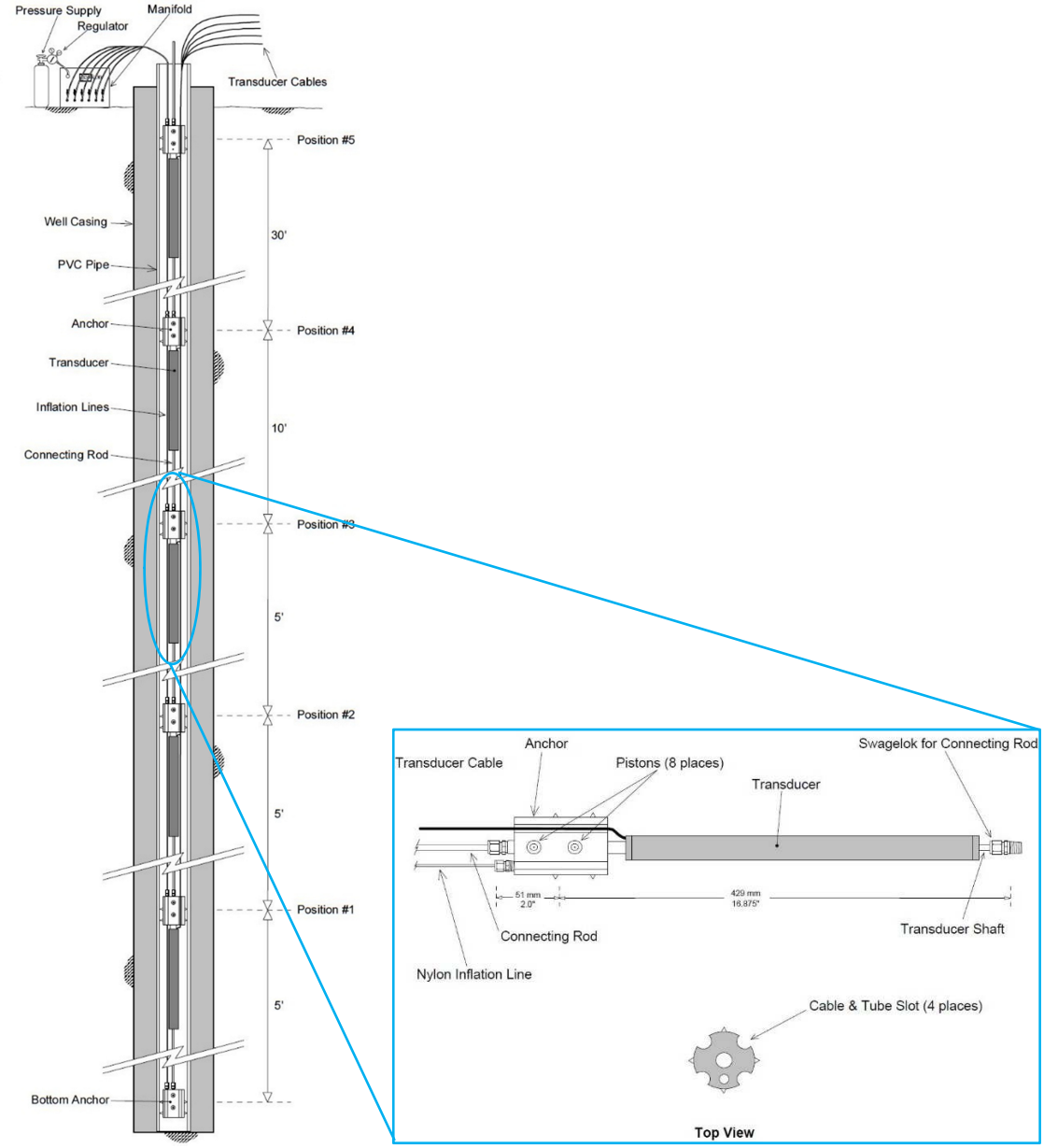


Abb. 4.18: Anordnung und Aufbau des Kettenextensometers (*Geokon 1300-A9)* aus [77]

Das Kettenextensometer war wiedergewinnbar und somit als Messsystem für beide Versuchspfähle verwendbar. Es besteht aus pneumatisch aktivierbaren Ankerpunkten, die in beliebiger Tiefe im Pfahl gesetzt und mittels Dornen verankert werden konnten. Hierzu wurde in der Achse des Pfahls ein unten verschlossenes Stahlrohr mit 51,2 mm Innendurchmesser einbetoniert, in welches das Extensometer im Zuge des Versuchsaufbaus installiert wurde. Die exakte Einhaltung dieses Durchmessers war für die Funktion der Ankerdorne wesentlich. Für die Druckluftversorgung waren zwei (redundante) Druckluftflaschen beizustellen und bei Bedarf nachzufüllen.

Die Einteilung der Messabschnitte erfolgte gemäß der entsprechenden Extensometerkonfiguration (ANHANG A). Dabei wurden die Ankerpunkte in 6 Horizonten (5 Messabschnitte) verankert, wobei

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

(streng genommen nur beim Probepfahl B.HK) jedenfalls ein kurzer Abschnitt im Pfahlkopfbereich vorgesehen war, in dem die Mantelfläche vom Baugrund entkoppelt werden soll. In diesem Pfahlabschnitt kann der E-Modul des Pfahlschaftes bestimmt werden, der für die spätere Auswertung (Umrechnung Dehnungen – Spannungen bzw. Lasten) benötigt wurde (Beim Probepfahl B.HM war eine Entkoppelung des oberen Pfahlbereichs vom Baugrund aufgrund der Ausführung ohne Doppelwandrohr nicht gegeben). Aus der Extensometerkonfiguration ergaben sich die Längen der Kohlefasergestänge (*Connecting Rod*), die zwischen den Ankerpunkten eingeschraubt wurden.

Die Messkabel sowie die Pneumatikleitungen jedes Verankerungspunktes wurden im zentralen Stahlrohr zum Pfahlkopf geführt und seitlich neben der Hydraulikpresse herausgeführt. Für die Verlegung der Kabel vom Pfahlkopf zu einem Messcontainer waren ca. 10 m zusätzliche Kabellänge vorzusehen. Die Messdaten des Kettenextensometers wurden (gemeinsam mit den Daten der Dehnungsaufnehmer) mit dem Datenlogger des MWES II (Abb. 4.17 links) aufgezeichnet.

Die Inbetriebnahme des Datenloggers sowie die Auslesung und Sicherung der Daten erfolgte mittels Laptop und der Software *Geokon Log View* [80].

In Tab. 4.5 sind die Komponenten des MWES II noch einmal zusammengefasst.

Tab. 4.5: Komponenten des Messwerterfassungssystems II (MWES II)

Komponente	Bez.	Typ	Beschreibung	Stk
Dehnungsaufnehmer (Bewehrungssensoren)	BS	*Geokon 4911 (Sister Bars)*	Messung der Axialdehnungen und Temperatur	5x2
Kettenextensometer	KEX	*Geokon 1300-A9*	Messung der Axialdehnungen	1
Datenlogger		*Geokon 8002-16-1 (LC-2x16)*	Aufzeichung und Zwischenspeicherung der Messdaten	1
Laptop + Software		Laptop TU + *Geokon LogView*	Auslesung und Sicherung der Daten	1

4.2.3.4 Messwerterfassungssystem III

Das Messwerterfassungssystem III (MWES III) diente zur Erfassung der Biegelinie zufolge der Horizontalbelastung. Dies erfolgte mit einem **Ketteninklinometer** vom Typ *Glötzl SNMGD*. Diese Neigungsmesskette besteht aus zweiachsigen (A- und B-Achse) Neigungssonden mit je 1 m Länge (insgesamt 15 Stk), die über kardanische Gelenke miteinander verbunden sind (Abb. 4.20 und Abb. 4.21). Die Konfiguration für den Probepfahl B.HM hatte eine Gesamtlänge von 15 m (Pfahllänge von B.HM maßgebend). Für die Verwendung des wiedergewinnbaren Inklinometers beim Pfahl B.HK war es auf die Konfiguration mit 5 m Länge (5 Stk Neigungssonden) umzubauen. Das Ketteninklinometer wurde im Zuge des Versuchsaufbaus in die einbetonierten Neigungsmessrohre des Typs *Glötzl ABS50* installiert (Abb. 4.19) [83].

Ein Ketteninklinometer misst die Neigung bzw. Auslenkung in jedem Segment. Die Gesamtverformung ergibt sich dann aus der Addition der einzelnen Auslenkungen bezogen auf eine Erstmessung [83]. Wesentlich für Inklinometermessungen ist, dass entweder der Fußpunkt als unverschieblich anzusehen ist (z.B. bei langen Pfählen) oder, falls dies aufgrund einer geringen Pfahllänge nicht zu erwarten ist, die Kopfverformungen durch zusätzliche Messungen erfasst werden.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

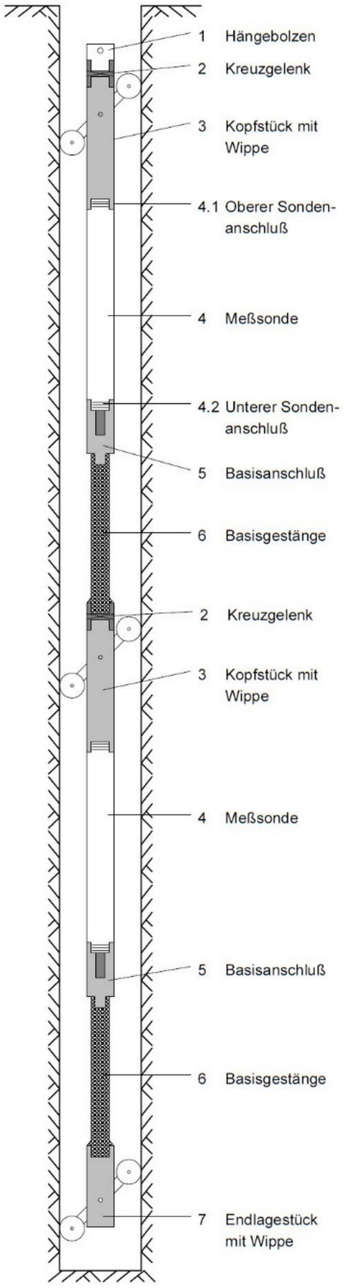


Abb. 4.21: Aufbau des Ketteninklinometers aus [83]



Abb. 4.19: Installation des Ketteninklinometers, Foto [AS]

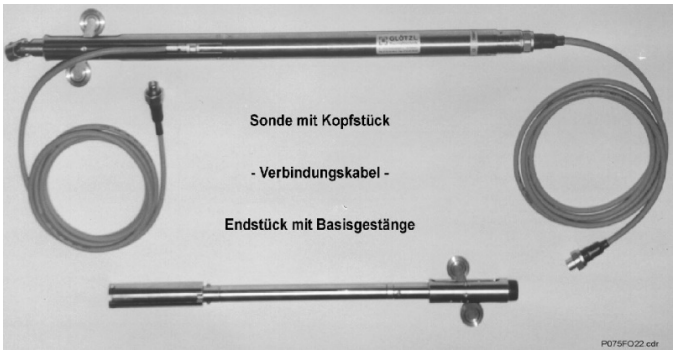


Abb. 4.20: Einzelne Messsonde und Endstück aus [83]



Abb. 4.22: Messanlage *Glötzl GMCC 5.0 S* aus [83]

Die Messwerte wurden von einem internen 16-Bit-AD-Wandler erfasst, von einem Mikrokontroller verrechnet und zur Messwerterfassungsanlage des Typs *Glötzl MCC 5.0 S* (Abb. 4.22) übertragen [83]. Von dort wurden die Daten in Echtzeit mittels Modem auf einen Server der Fa. *Glötzl* gesendet. Die Daten konnten somit während der Versuche über einen Zugang zum *GLA*-Server verfolgt werden. Die Fa. *Glötzl* exportierte in weiterer Folge die Daten von der *GLA*-Software in *Excel* und stellte sie zur weiteren Verwendung zur Verfügung.

Die Orientierung der Achsen A und B für die beiden Probepfähle ist im Koordinatensystem von Abb. 4.12 eingetragen.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

In Tab. 4.6 sind die Komponenten des MWES III noch einmal zusammengefasst.

Tab. 4.6: Komponenten des Messwerterfassungssystems III (MWES III)

Komponente	Bez.	Typ	Beschreibung	Stk
Ketteninklinometer (Neigungsmesskette)	KIN	*Glötzl SNMGD*	Messung der Biegelinie	1
Automatische Steuerungs- und Messanlage		*Glötzl MCC 5.0 S*	Messung der Axialdehnungen	1
Datenserver bzw. -Software		*Glötzl GLA*	Verfolgung bzw. Auswertung	1

4.2.4 Schutz der Mess- und Belastungseinrichtungen

Zum Schutz der Mess- und Belastungseinrichtungen wurde von der ARGE FPUH eine Einhausung der Stahlkonstruktion errichtet (Abb. 4.23). Diese schützte sowohl vor Niederschlägen als auch vor zu niedrigen Temperaturen. Die Vorgabe der Frostfreiheit im inneren der Einhausung wurde gewährleistet, indem während der Versuche der Innenraum mit Heizstrahlern auf einer Temperatur von etwa 5-12°C gehalten wurde.



Abb. 4.23: Einhausung beim Versuch B.HK, Foto [AS]

4.3 Versuchsdurchführung

4.3.1 Allgemeines

Die Konzeptionierung des Versuchsablaufs erfolgte auf Basis der EA-Pfähle [13] und Vorgaben des Auftraggebers (MA 29), dessen Planer (AKPSA Mayer/Ö+P/LIS) und eigenen Überlegungen der TU Wien.

Hinsichtlich generellem Versuchsablauf gilt für beide Versuche das in Abschnitt 4.1.2 beschriebene Versuchsprinzip.

4.3.2 Versuchsabläufe

4.3.2.1 Allgemeines

Zur Versuchsdurchführung wurde je Probepfahl eine Arbeitswoche anberaumt. Die Versuche schließlich in folgenden Wochen statt:

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

- B.HM 19.02.2018 – 23.02.2018 (KW 8)
- B.HK 19.03.2018 – 23.03.2018 (KW 12)

Im Zeitraum dazwischen wurde der Versuchsaufbau für den Probepfahl B.HK umgesetzt.

Der generelle Ablauf einer Versuchswoche ist in Tab. 4.7 wiedergegeben.

Tab. 4.7: Grober Ablauf einer Versuchswoche

Tag	Zeit (ca.)	Typ
Montag	07:00	Aufbau und Kontrolle der Messtechnik
	11:00	Aufbringung der Vertikallast und anschließende Beobachtung
	15:30	Aufbringung der 1. Horizontalversschiebung
	16:00	Beobachtung in ausgelenkter Stellung (bis nächsten Tag)
Dienstag	07:00	Kontrolliertes (horizontales) Entlasten
	08:00	Aufbringung der 2. Horizontalverschiebung
	…	…
Mittwoch	…	…
	Analoge Vorgangsweise bei den weiteren Verschiebungszyklen: Bis (einschließlich) Freitag wurden insgesamt 10 Verschiebungszyklen (= 20 Verschiebungen) durchgeführt, wobei über Nacht immer ins ausgelenkter Stellung verharrt wurde.	
Donnerstag	…	…
Freitag	Vormittag	Horizontale Entlastung nach der 20. Verschiebung
		danach allfälliger Umbau der Belastungseinrichtung und Messtechnik
		danach vertikale Laststeigerung bis zur Maximallast von 5000 kN
	Nachmittag	Entlastung und Versuchsende

Vom Planer (AKPSA Mayer/Ö+P/LIS) wurde in einer statischen Berechnung [72] vorab untersucht, welche aufzubringenden Horizontalkräfte man erwarten konnte, um die gewünschte Pfahlkopfverschiebung zu erlangen. Die gewünschte, einzuprägende Pfahlkopfverschiebung wurde für beide Probepfähle als übliche maximale Verformungsamplitude bei integralen Brücken infolge jährlicher Temperaturextrema mit 20 mm festgelegt. Die beiden Versuche unterschieden sich nun

- in der gewünschten Tiefe, wo die festgelegte Verschiebung auftreten sollte und damit
- in der am Pfahlkopf einzuprägenden Größe der Horizontalverschiebung,
- in der Größe der konstant zu haltenden Vertikalkraft während er Horizontalverschiebungen und
- in der Anzahl und Größe der Vertikallaststufen.

Die Größe der Vertikallast wurde vom Planer aus üblichen Gebrauchslasten integraler Brücken für Pfahlgründungen mit diesen Abmessungen und vergleichbaren Untergrundeigenschaften abgeleitet.

Nach Aktivierung und Kontrolle der Messwerterfassungssysteme wurde der jeweilige Versuch gemäß Abschnitt 4.3.2.3 bzw. 4.3.2.4 durchgeführt.

4.3.2.2 Detaillierter Zyklusablauf

Vorab wird nun der detaillierte Ablauf eines Horizontalverschiebungszyklus auf Basis der tatsächlichen Durchführung definiert. Dies erfolgt im Folgenden am Beispiel des Versuchs B.HM. Dazu wurden die einzelnen Punkte im nach dem System gemäß Tab. 4.8 durchnummeriert.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tab. 4.8: Nummerierungssystem für einzelne Versuchszeitpunkte

Horizontalbelastung	-		-		-	Vertikalbelastung	-		-		-	Anfang /Ende
H	-	Verschiebungszyklus Nr.	-	Zyklusstufe Nr.	-	V	-	Lastzyklus Nr.	-	Laststufe Nr.	-	A/E

Beispiele:

V-1-4-A …(noch keine Horizontallast) - Vertikallastzyklus 1 - Laststufe 4 - Anfang

H-2-1-V-1-5-E …Verschiebungszyklus 2 - Zyklusstufe 1 - Vertikallastzyklus 1 - Vertikallaststufe 5 – Ende

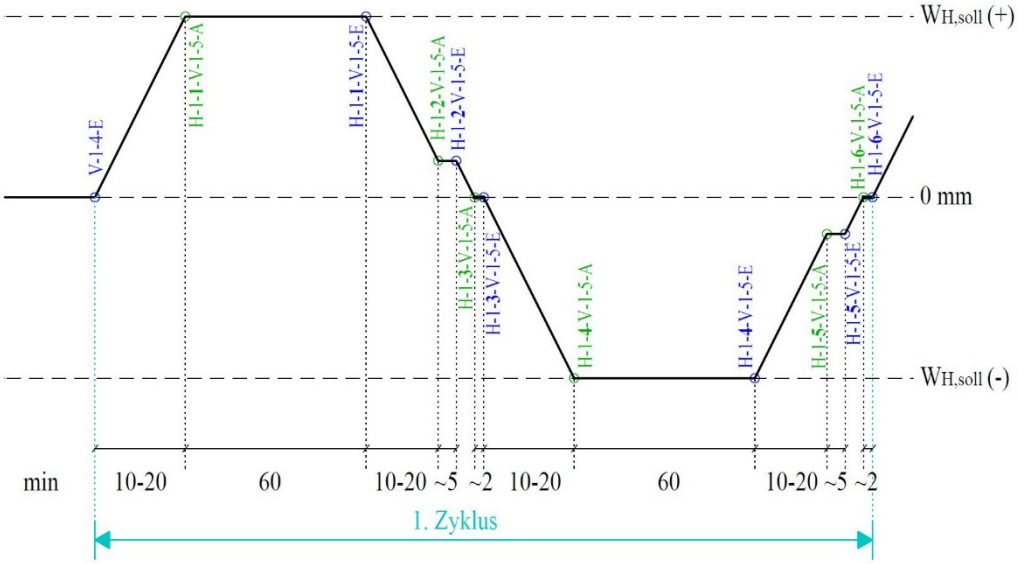


Abb. 4.24: Einhausung beim Versuch B.HK

Abb. 4.24 veranschaulicht die Namensgebung für die einzelnen Zykluspunkte. Eine Zyklusstufe wurde demnach durch einen Anfangs- und Endzeitpunkt mit gleicher Horizontalverschiebung definiert. Ein Zyklus umfasst damit 6 Zyklusstufen bzw. 12 Zykluspunkte. Die Teilvorgänge können folgendermaßen beschrieben werden:

- Nullstellung (V-1-4-E)
- horizontales Verschieben bzw. Belasten (10-20 min)
- Soll-Verschiebung erreicht (H-1-1-V-1-5-A)
- Beobachtungsphase (60 min)
- vor Entlastung (H-1-1-V-1-5)
- horizontales Entlasten (10-20 min)
- horizontal entlastet (H-1-2-V-1-5-A)
- Beobachtungsphase (~5 min)
- vor Verschiebung in Nullstellung (H-1-2-V-1-5-E)
- Verschieben in Nullstellung
- Nullstellung erreicht (H-1-3-V-1-5-A)
- Beobachtungsphase (~2 min)
- …Die Verschiebung in die andere Richtung erfolgt analog.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die Teilvorgänge findet man in den Prüfabläufen (ANHANG F) und in den ausgefüllten Feldprotokollen (ANHANG H) wieder, in denen zu jedem der 12 Zykluszeitpunkte jeweils die Daten des MWES I notiert wurden.

4.3.2.3 Versuchsablauf B.HM

Abb. 4.25 zeigt den Versuchsablauf zum Probepfahl B.HM. Dabei wurde, ausgehend von einer Vorlast von 50 kN, zuerst die Vertikallast (rote Linie) von 4000 kN in 4 gleichen Stufen zu je rund 1000 kN aufgebracht. Die einzelnen Vertikallaststufen waren jeweils solange aufrecht zu erhalten, bis der vertikale Verschiebungszuwachs unter 0,1 mm / 20 min abgeklungen war. Die Mindestbeobachtungszeiten von 15 min je Laststufe waren dabei jedenfalls einzuhalten (vgl. [13]). Nach Erreichen der Gebrauchslast fand ein Beobachtungszeitraum von 3 Stunden statt, ehe mit den Horizontalverschiebungen begonnen wurde. Diese längere Beobachtungsdauer war deshalb vorgesehen, weil der Probepfahl hinsichtlich Verschiebungen völlig zur Ruhe kommen musste, um die in weiterer Folge erwarteten vertikalen Verschiebungszuwächse eindeutig dem Einfluss der Horizontalverschiebungen zuordnen zu können.

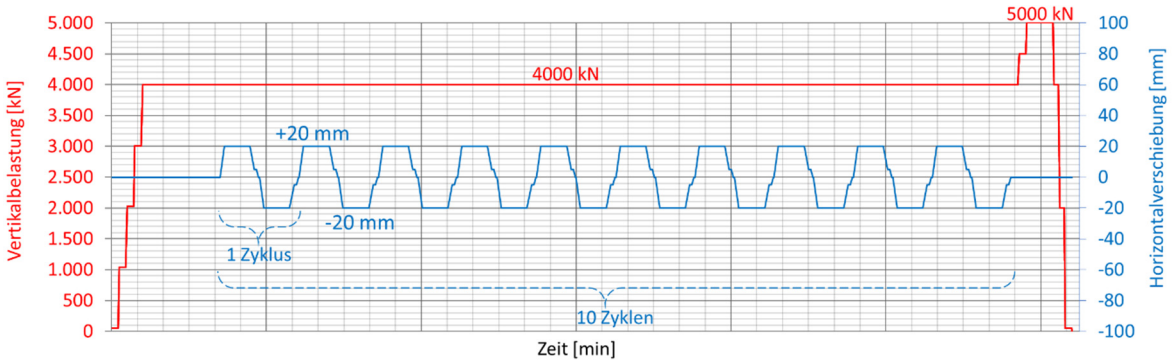


Abb. 4.25: Versuchsablauf beim Probepfahl B.HM

Beim Probepfahl B.HM konnte die horizontale Zielverschiebung von 20 mm der tatsächlich gemessenen Pfahlkopfverschiebung gleichgesetzt werden, da hier kein Doppelwandrohr ausgeführt wurde.

Abb. 4.26 zeigt die statischen Ansätze des Planers (AKPSA Mayer/Ö+P/LIS) zur Ermittlung der voraussichtlich erforderlichen Horizontalkraft, die am Pfahlkopf angreifen musste, um die Zielverschiebung zu erreichen.

Demnach wäre für den Probepfahl B.HM eine Horizontalkraft von 560 kN nötig gewesen, um 20 mm Horizontalverschiebung zu erlangen. Die tatsächlich erforderlichen Kräfte der jeweiligen Verschiebungen sind in Kapitel 5 ersichtlich.

Es ist jedoch zu beachten, dass die an der jeweiligen Kraftmessdose (KMD 2 / KMD 3) gemessene Spannkraft nicht exakt jener Horizontalkraft entsprach, die am Pfahlkopf angriff. Dies lag zum einen an der Rückstellkraft, die zufolge Exzentrizität der über die Kalotte eingeleiteten Vertikallast entstand. Die tatsächlich am Pfahlkopf ankommende Horizontalkraft war also kleiner als die gemessene. Mit anderen Worten: Die Vertikalkraft wirkte sich versteifend auf das System aus (vgl. Abschnitt 3.4.3). Zum anderen wirkte eine durch die Vertikallast aktivierte Lagerreibungskraft entgegen. Beides wurde in der Auswertung bisher nicht berücksichtigt, da noch entsprechende Angaben seitens des Planers fehlen.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

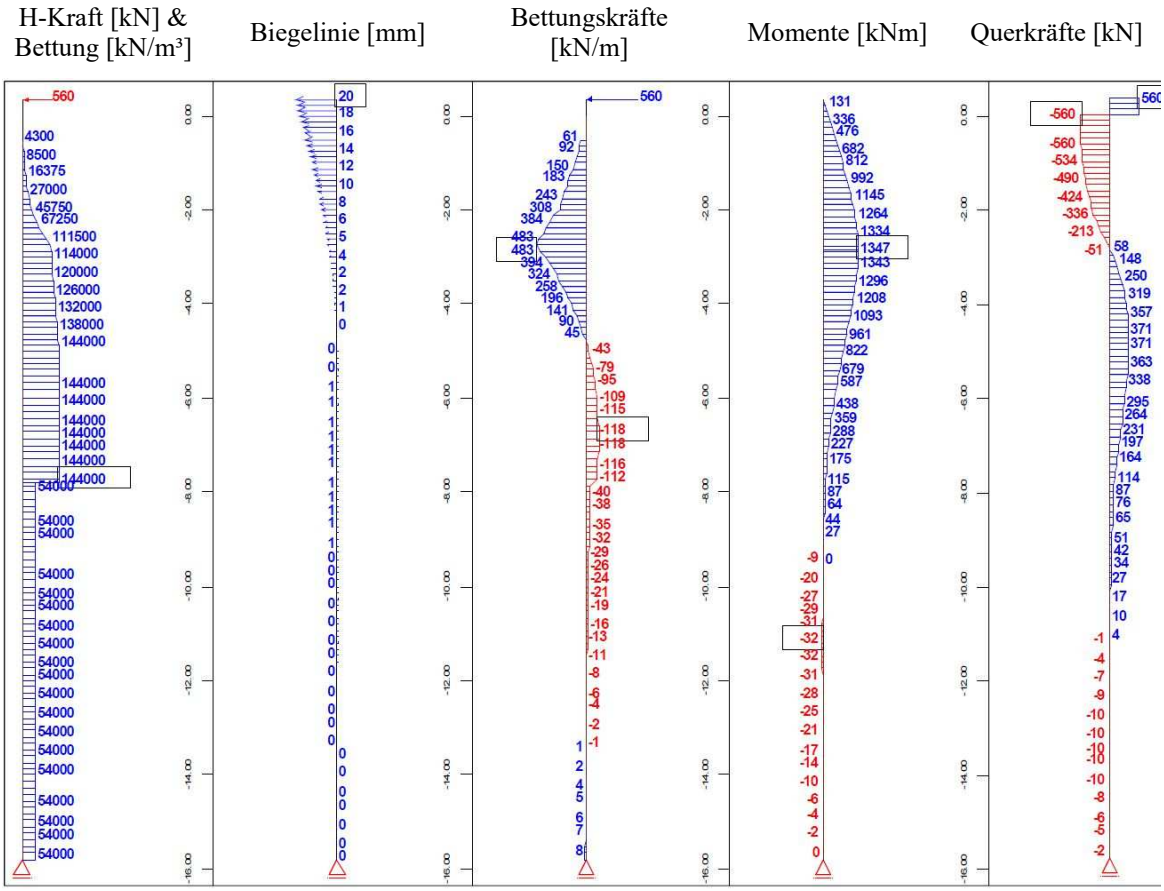


Abb. 4.26: Statische Berechnung zur Abschätzung der erforderlichen Horizontalkraft- B.HM, aus [72]

Nach Erfassung der Ausgangsstellung (Nullstellung) konnte mit den Horizontalverschiebungszyklen begonnen werden. Beim Probepfahl B.HM erfolgte die 1. Verschiebung in positive Richtung der Horizontalwegaufnehmer ($W_H{}^{+}{}_{1,2}$) gemäß dem Koordinatensystem in Abb. 4.11 bzw. Abb. 4.12. Betrachtet man Abb. 4.6 in „Richtung ANSICHT B.HM“, entspricht dies einem Ziehen nach rechts. Die Verschiebungseinprägung erfolgte unter feinfühliger manueller Bedienung des Hydraulikaggregats und gleichzeitiger Kontrolle der Verschiebungsgeschwindigkeit, die in der Regel zwischen 1 – 2 mm/min lag.

Nach dem Erreichen der Soll-Verschiebung wurde die aktuelle Stellung mithilfe einer GEWI-Mutter fixiert. Danach folgte eine Beobachtungphase, die für den Probepfahl B.HM anfangs mit 3 Stunden gelegt wurde, um einen Abbau von allfälligen Porenwasserdrücken zu ermöglichen. Es zeigte sich jedoch, dass das der maximal zulässige, horizontale Verschiebungszuwachs von 0,1 mm / 5 min durchwegs bald nach Erreichen der Soll-Verschiebung unterschritten wurde, weshalb die Beobachtungszeit in ausgelenkter Stellung auf 1 Stunde festgelegt wurde (dies gilt auch für den Versuch B.HK).

Am 1. Versuchstag (Montag) wurde lediglich die erste Verschiebung eingeprägt und über Nacht belassen. Die Verschiebungsanzahl war über die Versuchswoche folgendermaßen aufgeteilt:

- Montag: 1 Verschiebung
- Dienstag: 3 Verschiebungen
- Mittwoch: 7 Verschiebungen
- Donnerstag: 7 Verschiebungen
- Freitag: 2 Verschiebungen

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Dabei wurde der Probepfahl jeweils über Nacht in ausgelenkter Stellung belassen. Nach der 20. Verschiebung wurde der Pfahl in die geometrische, horizontale Nullstellung gebracht und anschließend in 2 weiteren Laststufen bis 5000 kN gemäß Abb. 4.25 vertikal belastet. Nach einer erneuten Beobachtungsphase von einer Stunde wurde schließlich in 3 Stufen bis auf die Vorlast entlastet, womit der Versuch beendet war.

Der geplante Versuchsablauf ist detailliert im ANHANG F in tabellarischer Form zu finden. Der tatsächliche Ablauf kann anhand des Feldprotokolls (ANHANG H) bzw. der Auswertung (Kapitel 5) nachvollzogen werden.

4.3.2.4 Versuchsablauf B.HK

Abb. 4.27 zeigt den Versuchsablauf zum Probepfahl B.HK. Dabei wurde, wiederum ausgehend von einer Vorlast von 50 kN, zuerst die Vertikallast (rote Linie) in 4 gleichen Stufen bis 800 kN aufgebracht. Die einzelnen Vertikallaststufen waren wiederum solange aufrecht zu erhalten, bis der vertikale Verschiebungszuwachs unter 0,1 mm / 20 min abgeklungen war. Die Mindestbeobachtungszeiten von 15 min je Laststufe waren dabei jedenfalls einzuhalten. Auf der Laststufe von 800 kN wurde, analog zu den konventionellen Probebelastungen, 1 Stunde lang beobachtet, ehe die Vertikallast um weitere 200 kN bis zur Gebrauchslast von 1000 kN gesteigert wurde. Nach Erreichen der Gebrauchslast fand eine Beobachtungsphase von knapp 2 Stunden statt, ehe mit den Horizontalverschiebungen begonnen wurde.

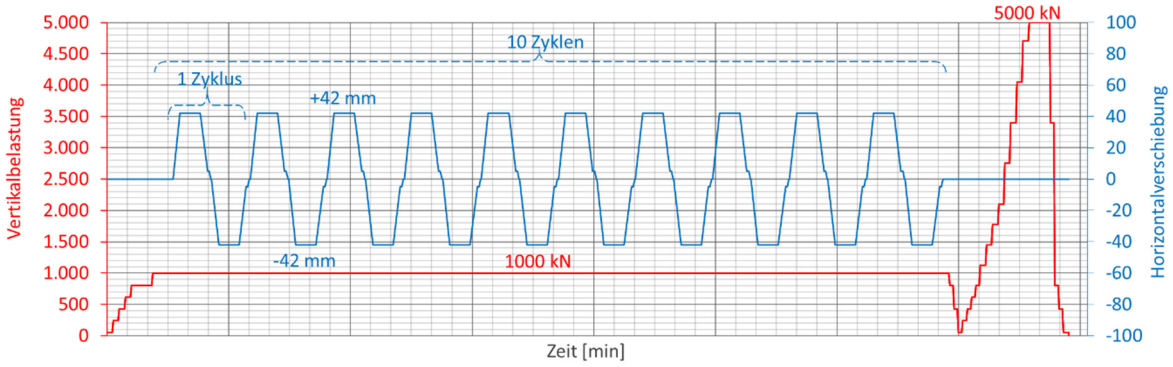


Abb. 4.27: Versuchsablauf beim Probepfahl B.HK

Beim Probepfahl B.HK konnte die horizontale Zielverschiebung von 20 mm der tatsächlich gemessenen Pfahlkopfverschiebung nicht gleichgesetzt werden, da ein Doppelwandrohr ausgeführt wurde. Mit dem Ziel 20 mm Verschiebung in jener Tiefe zu erreichen, wo die Bettung des Pfahls beginnt (~ UK Doppelwandrohr), war laut der statischen Berechnung des Planers (ZT Mayer) eine in Höhe des Pfahlkopfes einzuprägende Verschiebung von 42 mm notwendig (siehe Abb. 4.28). Die hierfür erforderliche Kraft wurde mit 290 kN angegeben.

Es ist jedoch wiederum zu beachten, dass die an der jeweiligen Kraftmessdose (KMD 2 / KMD 3) gemessene Spannkraft nicht exakt jener Horizontalkraft entsprach, die am Pfahlkopf angriff. Auch hier wirkte eine gewisse Rückstellkraft sowie Lagerreibungskraft. Beides wurde in der Auswertung bisher nicht berücksichtigt, da noch entsprechende Angaben seitens des Planers fehlen.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

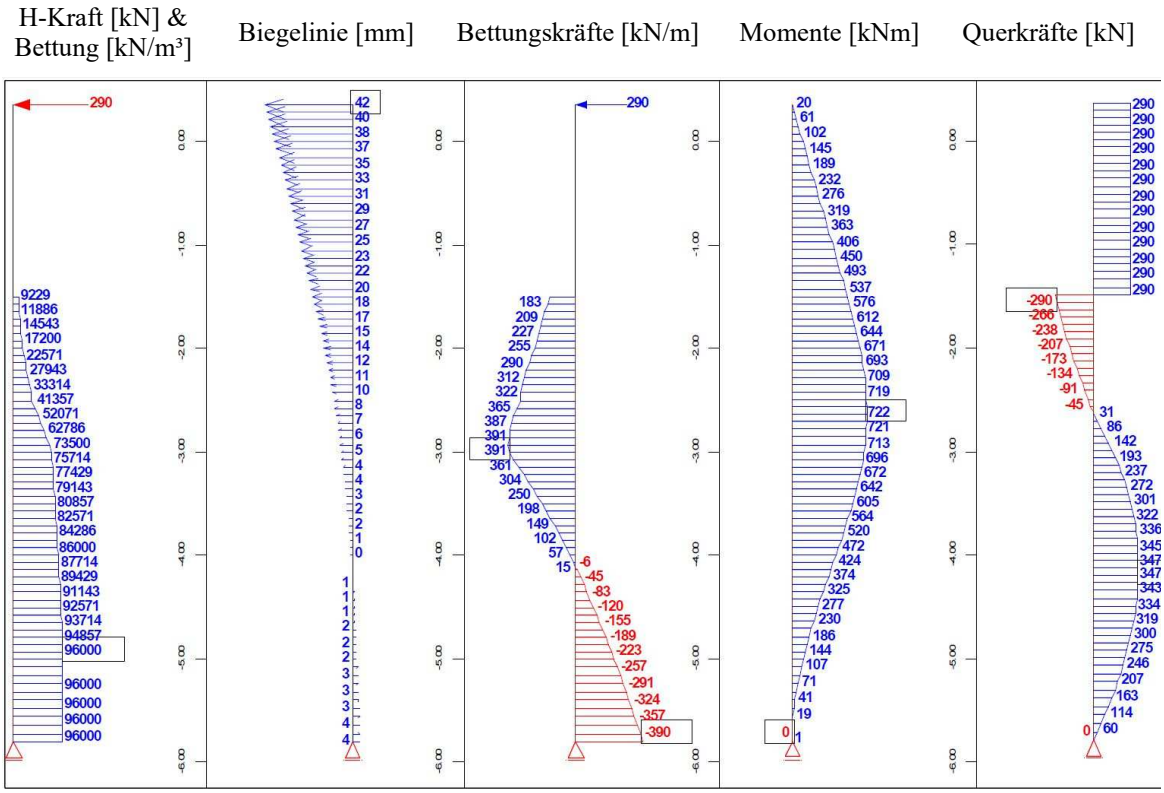


Abb. 4.28: Statische Berechnung zur Abschätzung der erforderlichen Horizontalkraft- B.HK, aus [72]

Nach Erfassung der Ausgangsstellung (Nullstellung) konnte mit den Horizontalverschiebungszyklen begonnen werden. Beim Probepfahl B.HK erfolgte die 1. Verschiebung in negative Richtung der Horizontalwegaufnehmer ($W_{H}^{-}{}_{1,2}$) gemäß dem Koordinatensystem in Abb. 4.11 bzw. Abb. 4.12. Betrachtet man Abb. 4.6 in „Richtung ANSICHT B.HK“, entsprach dies einem Ziehen nach links. Die Verschiebungseinprägung erfolgte unter feinfühliger manueller Bedienung des Hydraulikaggregats und gleichzeitiger Kontrolle der Verschiebungsgeschwindigkeit, die in der Regel zwischen 1 – 2 mm/min lag.

Nach dem Erreichen der Soll-Verschiebung wurde die aktuelle Stellung mithilfe einer GEWI-Mutter fixiert. Danach folgte eine Beobachtungphase von 1 Stunde. Nach dieser Dauer musst der maximal zulässige, horizontale Verschiebungszuwachs von 0,1 mm / 5 min wiederum unterschritten sein, was immer der Fall war.

Die Verschiebungsanzahl war über die Versuchswoche folgendermaßen aufgeteilt:

- Montag: 2 Verschiebungen
- Dienstag: 7 Verschiebungen
- Mittwoch: 7 Verschiebungen
- Donnerstag: 4 Verschiebungen

Dabei wurde der Probepfahl jeweils über Nacht in ausgelenkter Stellung belassen. Die 20. Verschiebung konnte demnach bereits am Donnerstag abgeschlossen werden. Danach wurde der Pfahl in Nullstellung gezogen und anschließend analog zu den konventionellen Probebelastungen bis zur Vorlast von 50 kN entlastet. Die Vorlast wurde die Nacht hindurch konstant gehalten.

Am Freitag war eine konventionelle vertikale Probebelastung vorgesehen, jedoch lediglich deren zweite Lastschleife. Dieses Vorgehen sowie die angeordnete Laststufe von 800 kN vor den Horizontalverschiebungen machen eine allfällige spätere Vergleichbarkeit des Probepfahls B.HK mit den

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

konventionell belasteten Großbohrpfählen im Kies möglich, da im Grunde dieselbe vertikale Belastungsgeschichte vorliegt. Am Morgen wurde zunächst die neue Anordnung der Wegaufnehmer (MWES I) konfiguriert. Nun wurden, wiederum analog zu den konventionellen Probebelastungen, die Wegaufnehmer vom Typ *WA/100MM-T* mit einem Messbereich 0 – 100 mm zur Erfassung der Vertikalverschiebung verwendet. Der Grund dafür war, dass zufolge der bevorstehenden Vertikalbelastung größere Verschiebungen erwartet wurden und man ein Umsetzen der Wegaufnehmer mit 0 – 20 mm Messbereich vermeiden wollte. Danach wurde die 2. Lastschleife gemäß Prüfablauf (ANHANG F) bzw. Abb. 4.27 durchgeführt.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

KAPITEL 5

Auswertung und Ergebnisse der Horizontalverschiebeversuche

5.1 Allgemeines

5.1.1 Zeitraum der Versuchsdurchführung

Der erste Horizontalverschiebeversuch fand am Probepfahl B.HM von 19.02.2018 bis 23.02.2018 statt. Der Probepfahl B.HK wurde schließlich exakt ein Monat später von 19.03.2018 bis 23.03.2018 einem etwas anderen Versuchsprogramm unterzogen. Demzufolge nahmen beide Versuche eine Arbeitswoche in Anspruch, wobei die Versuche auch die Nacht hindurchliefen (vgl. Abschnitt 4.3.2).

5.1.2 Generelle Auswertungsmethodik

5.1.2.1 Aufzeichnung und Sicherung der Versuchsdaten

Während den Versuchen wurden einerseits die Daten der Messwerterfassungssysteme I bis III automatisch aufgezeichnet und andererseits zu markanten Zeitpunkten Messwerte des Messwerterfassungssystems I (MWES I) am Feldprotokoll (Abb. 5.1) aufgezeichnet. Das Feldprotokoll wurde für die Zwecke der Horizontalverschiebeversuche angepasst. Die Originalaufzeichnungen befinden sich im ANHANG H.

Feldprotokoll Horizontalverschiebeversuche

Prüfkörper: **B.HM**	*Wetterbedingungen:*	*Anwesende:*	*besondere Versuchsbedingungen:*
Prüfung Nr.: **59**			
Datum: **19.02.-23.02.2018**			

LASTSTUFEN			VERSUCHSPFAHL							Presse VERTIKAL		Pressen HORIZONTAL			REAKTIONSPFÄHLE				MESSBRÜCKE	
			Vertikal-verschiebung			Mech.	Horizontal-verschiebung			KMD 1	Mano-meter	KMD 2 ( )	KMD 3 ( )	Mano-meter	Horizontal-verschiebung		Vertikal-verschiebung		Vertikal-verschiebung	
			w_{V1}	w_{V2}	w_{V3}	w_{VM}	w_{H1}	w_{H2}	w_{H3}	Kraft	Druck	Kraft	Kraft	Druck	w_{H4}	w_{H5}	w_{VP1}	w_{VP4}	w_{VP2}	w_{VP3}
Last-stufe	Bemerkungen	Zeit	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[bar]	[kN]	[kN]	[bar]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
	Sollwert						+20	-20												
	Warnwert		18							4950		990	990				10		1	
[Nr.]	Abbruchwert	[hh:mm]								5000		1000	1000				15			

Abb. 5.1: Feldprotokoll (am Beispiel des Versuchs B.HM)

Die Feldprotokolle waren für die spätere Auswertung vor allem eine essentielle Orientierungshilfe, damit man sich in der großen Datenmenge zurechtfinden konnte.

Die Daten des MWES I wurden automatisch von der ARGE FPUH gesichert. Seitens der TU Wien wurden Datenausgaberaten festgelegt, gemäß denen die Fa. *Red Bernard* (als Subunternehmer der

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

ARGE FPUH) im Anschluss die Daten als mehrere *Excel*-Dateien zur Verfügung stellte. Die Ausgaberaten betrugen

- 1 Messwert alle 2 Sekunden (0,5 Hz) für die Versuchszeit während des Tages und
- 1 Messwerte pro Minute (1/60 Hz) für die Versuchszeit in der Nacht (keine Lastwechsel).

Zeitlich gliedern sich die Einzeldateien gemäß Abb. 5.2 auf. In weiterer Folge wurden die Datenreihen verschiedener Aufzeichnungsrate in einer Datei zusammengeführt.

Ausgaberate Messdaten MWES I - B.HM						Ausgaberate Messdaten MWES I - B.HK					
von		*bis*		*Ausgaberate*		*von*		*bis*		*Ausgaberate*	
Datum	Uhrzeit	Datum	Uhrzeit	Hz	1 Messwert pro [s]	Datum	Uhrzeit	Datum	Uhrzeit	Hz	1 Messwert pro [s]
19.02.2018	11:27	19.02.2018	17:17	1/2	2	19.03.2018	11:08	19.03.2018	18:26	1/2	2
19.02.2018	17:17	20.02.2018	11:00	1/60	60	19.03.2018	18:26	20.03.2018	07:00	1/60	60
20.02.2018	11:00	20.02.2018	18:06	1/2	2	20.03.2018	07:00	20.03.2018	20:18	1/2	2
20.02.2018	18:06	21.02.2018	07:25	1/60	60	20.03.2018	20:18	21.03.2018	06:50	1/60	60
21.02.2018	07:25	21.02.2018	18:45	1/2	2	21.03.2018	06:50	21.03.2018	20:34	1/2	2
21.02.2018	18:45	22.02.2018	07:37	1/60	60	21.03.2018	20:34	22.03.2018	07:30	1/60	60
22.02.2018	07:37	22.02.2018	18:08	1/2	2	22.03.2018	07:30	22.03.2018	19:00	1/2	2
22.02.2018	18:08	23.02.2018	07:05	1/60	60	22.03.2018	19:00	23.03.2018	09:35	1/60	60
23.02.2018	07:05	23.02.2018	13:30	1/2	2	23.03.2018	09:35	23.03.2018	16:02	1/2	2

Abb. 5.2: Feldprotokoll (am Beispiel des Versuchs B.HM)

Die Daten des MWES II wurden vorerst automatisch vom Datenlogger gespeichert. Aufgrund dessen beschränkter Speicherkapazität mussten bei der Aufzeichnungsrate von 1 Messwert pro Minute die Daten spätestens alle 50 Stunden mittels Laptop gesichert werden. Aus der daraus resultierenden Anzahl an Dateien wurde später wiederum eine Sammeldatei erstellt, nachdem sie zuvor in *Excel* importiert wurden.

Wie bereits im Abschnitt 4.2.3.4 erwähnt, wurden die Daten des MWES III per Internet-Verbindung auf einem Server der Fa. *Glötzl* gespeichert. Schlussendlich wurden die Daten ebenfalls als *Excel*-Dateien zur Verfügung gestellt. Die Daten wurden ebenfalls mit 1 Messwert pro Minute aufgezeichnet.

5.1.2.2 Rohdatenaufbereitung

MWES I

Als nächster Schritt erfolgte die Rohdatenaufbereitung in Excel. Es mussten sämtliche außerplanmäßige Aufzeichnungen und „Vorfälle“, die auf dem Feldprotokoll vermerkt wurden, in den Daten korrigiert werden. Dies umfasste im Wesentlichen:

- Nullungen
- Umsetzen oder Nachjustieren der Wegaufnehmer
- Umbau der Wegaufnehmer (im Fall des B.HK)

Eine Anleitung zur Durchführung der Rohdatenaufbereitung befindet sich in ANHANG J.

MWES II

Bei den Daten des MWES II waren lediglich die Zeitpunkte des tatsächlichen Versuchsbeginns und -endes zu markieren sowie jene Werte zu interpolieren, die aufgrund der Zwischenspeicherung während des Versuchs nicht aufgezeichnet werden konnten, da dafür der Logging-Vorgang gestoppt wurde.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

MWES III

Die Inklinometermessdaten des Versuchs B.HM konnten nach der Markierung von Versuchsbeginn- und ende direkt weiterverwendet werde.

Beim Probepfahl B.HK wurde im Zuge Ausbaus der Messkette eine herstellungsbedingte, generelle Verdrehung des Inklinometerrohres um $\alpha_1 = 22°$ bezüglich der Sollachse „A+ korrigiert“ festgestellt. Zudem war die Sonde Nr. 5 (2. Sonde von oben) um $\alpha_2 = 73°$ bezüglich der Sollachse – also um weitere 51° – verdreht. Deshalb musst eine Korrekturtransformation gemäß Abb. 5.3 durchgeführt werden, um die entsprechenden Messwerte in Verschiebungsrichtung („A+ korrigiert“) zu erhalten.

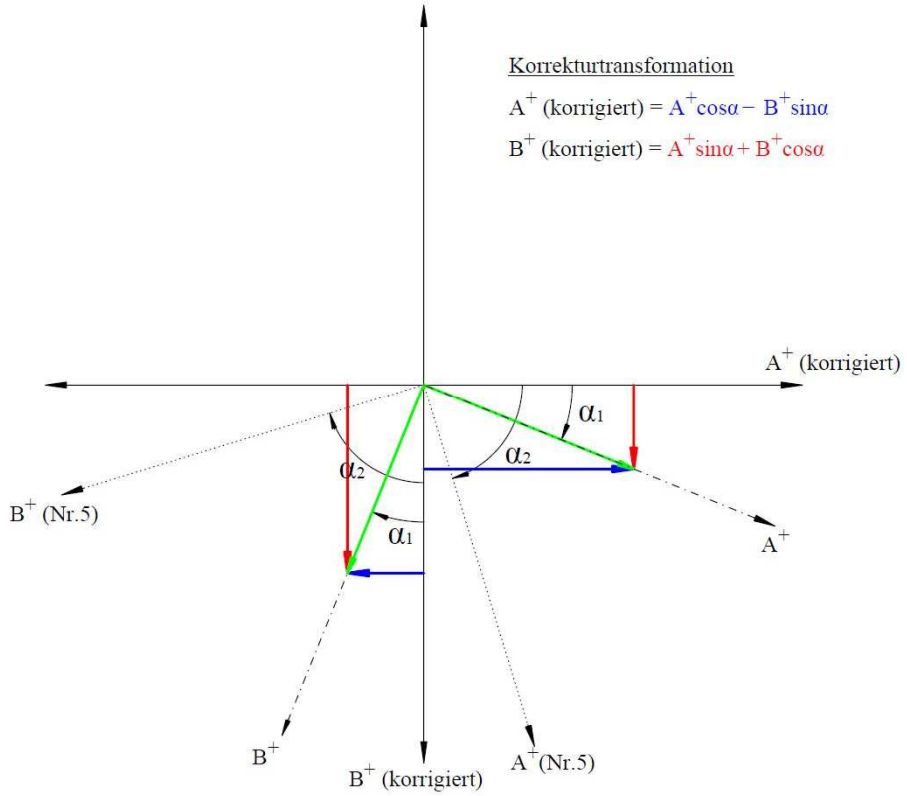


Abb. 5.3: Korrektur der Verdrehung mittels Koordinatentransformation beim Versuchs B.HK

5.1.2.3 Auswertung

Die Auswertung der Horizontalverschiebeversuche erfolgte ebenso mit *Excel* wie die jene der anderen Probebelastungen. Im Laufe des Forschungsprojekts entstand Schritt für Schritt ein *Excel*-File zur Auswertung, das für die jeweiligen Versuchsvariationen teilweise schon angepasst wurde bzw. noch angepasst wird. Das Basis-File wurde anhand des vollinstrumentierten (Wegaufnehmer, Bewehrungssensoren, Sohldruckmessdose und Kettenextensometer) Großbohrpfahl B.M5 entwickelt. Details zum Aufbau dieses Basis-Files und dessen einzelner Berechnungsannahmen finden sich in der Projektarbeit von *Manuel Stadlbauer* [MS] (vgl. Tab. 1.1). Aufgrund des zusätzlichen Messwerterfassungssystems III und der zusätzlichen Betrachtung der Horizontalverschiebungszyklen musste für die nachfolgende Auswertung das Basis-File in größerem Umfang erweitert werden. Dies ist in Tab. 5.1 überblicksmäßig dargestellt.

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.

Tab. 5.1: Erweiterung der Tabellenblätter bzw. Diagrammblätter für die HVV

Basis-File (B.M5)	File-Erweiterung (B.HM & B.HK)
P1_Versuchsdaten, P2_Instrumentierung, P3_GeometrieMaterial	P1_Versuchsdaten, P2_Instrumentierung, P3_GeometrieMaterial
Daten1 MWES1, Daten2 MWES 2	Daten1 MWES1, Daten2 MWES 2, Daten3 MWES 3
Basis1 MWES1, Basis2 MWES2	Basis1 MWES1, Basis2 MWES2, Basis3 Horizontal, Basis4 MWES2
Focus1 Deckblatt, D_Belastungsstufen, D_Wegaufnehmer, D_WS-Linie, D_Zeitverformung, D_Zeitverformung relativ, D_WK-Linie, D_KEX, D_BS, D_Längenänderung, D_Längskraftverlauf, D_Mantelreibung	Focus1 Deckblatt, D_Belastungsstufen_1, D_Belastungsstufen_2, D_Belastungsstufen_3, D_H-Kraftverlauf, Vergleich wv1 wmech, D_Wegaufnehmer_V, D_Wegaufnehmer_H, D_Inklinometerwerte, D_Setzungszunahme, D_WS-Linie, D_P-y-Kurven, D_Zeitverformung, D_Zeitverformung relativ, D_WK-Linie, D_KEX, D_BS, D_Biegelinien_Gesamt, D_Biegelinien_Detail, D_Biegelinien_Z1, D_Längsdehnungen_V, D_Längskraftverlauf_V, D_Längsdehnungen_NS, D_Längskraftverlauf_NS, D_Mantelreibung

Im Folgenden werden die Auswertung und deren Ergebnisse der beiden Horizontalverschiebeversuche getrennt präsentiert. Hinsichtlich der Eingabewerte und Auswertung werden gegenüber der allgemeinen Auswertungsmethodik (siehe Projektarbeit [MS]) überwiegend die Besonderheiten und Ergänzungen bei den HVV erläutert.

5.1.2.4 Ermittlung der horizontalen Pfahlkopfkräfte

Das unterhalb der vertikalen Presse angeordnete Kalottengleitlager ermöglichte die Einprägung der Horizontalverschiebungen. Die dafür erforderliche Horizontalkraft H_{KMD} wurde außen an den Reaktionspfahlköpfen mit den Kraftmessdosen (KMD 2 und KMD 3) gemessen. Die gemessene Horizontalkraft H_{KMD} entsprach dabei nicht jener Kraft, die auf den Pfahlkopf einwirkte. Die gemessene Kraft muss um die Lagerreibungskraft und eine Rückstellkraft zufolge Exzentrizität korrigiert werden. Dafür wurden seitens des statisch-konstruktiven Planers auf Basis von **Abb. 5.4** folgende Ansätze zur Verfügung gestellt.

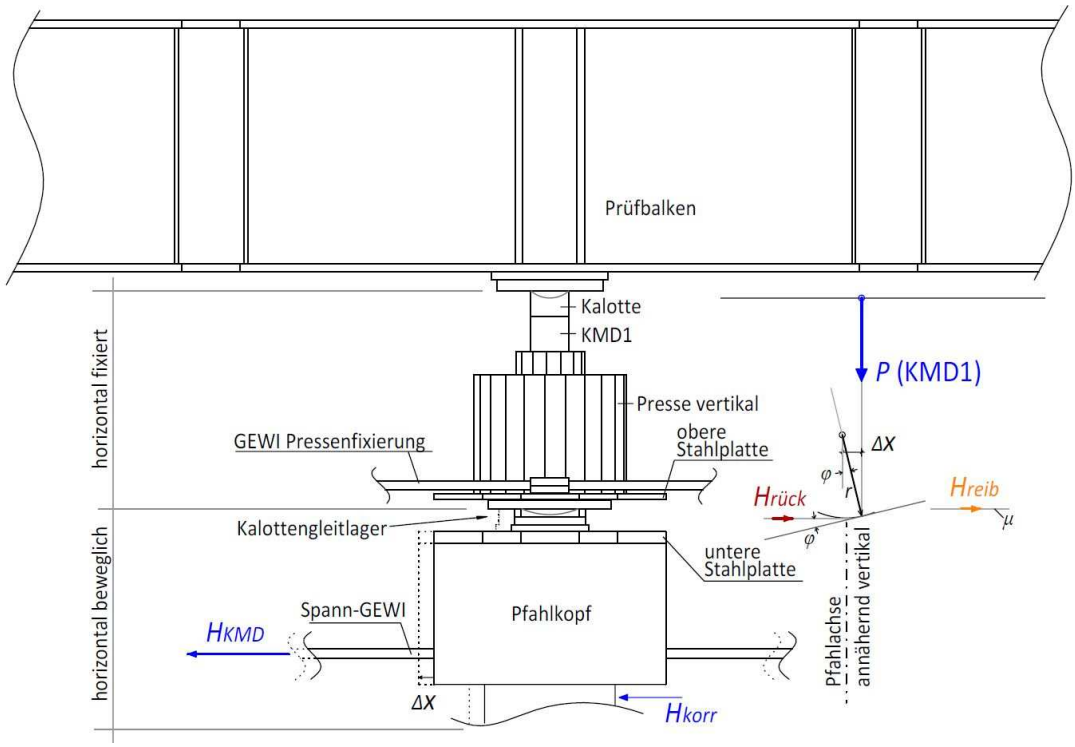


Abb. 5.4: Skizze zur Ermittlung der Rückstellkraft aus Vertikallast infolge Horizontalverschiebung (nach einer Handskizze des statisch-konstruktiven Planers)

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Rückstellkraft

Es wurde angenommen, dass die obere Konstruktion (kleine Kalotte/KMD1/vertikale Presse/obere Stahlplatte/obere Gleitplatte des Lagers) durch die horizontalen GEWI-Stäbe („GEWI Pressenfixierung“) gehalten wurde, damit mit dem Stahlrahmen starr verbunden war und somit vertikal ausgerichtet blieb. Die untere Konstruktion (untere Gleitplatte des Lagers/Lagerkalotte/untere Stahlplatte/Pfahlkopf) wurde annähernd horizontal verschoben. Damit wirkte die Vertikalkraft P (KMD 1) nicht in der Achse der Lagerkalotte, sondern um Δx versetzt und drückte damit auf eine geneigte Kalottenteilfläche die entsprechend abtreibende (rückstellende) Kräfte verursachte.

Die rückstellende Kraft Hrück ergibt sich zu:

$$H_{rück} = P \cdot tan\,\varphi = P \cdot \frac{sin\,\varphi}{cos\,\varphi} \tag{5.1}$$

Mit $\Delta x = r \cdot \sin \varphi$ folgt:

$$\varphi = arcsin\frac{\Delta x}{r} \tag{5.2}$$

Unter Berücksichtigung von

$$cos\left(arcsin\frac{\Delta x}{r}\right) = \sqrt{1 - \left(\frac{\Delta x}{r}\right)^2} \tag{5.3}$$

folgt schließlich

$$H_{rück} = P \cdot \sqrt{\frac{\Delta x^2}{r^2 - \Delta x^2}} \tag{5.4}$$

In der Auswertung wurde für Δx jeweils die aktuelle mittlere Horizontalverschiebung $w_{h,m}$ eingesetzt und P entspricht der jeweiligen Vertikalkraft zu diesem Zeitpunkt. Der Kalottenradius r beträgt 50 cm.

Für die Sollverschiebungen der beiden Probepfähle ergeben sich beispielsweise folgende Rückstellkräfte:

- B.HM: $P = 4000$ kN, $w_{h,m} = 20$ mm, $r = 500$ mm → $H_{rück} = 160$ kN
- B.HK: $P = 1000$ kN, $w_{h,m} = 42$ mm, $r = 500$ mm → $H_{rück} = 84$ kN

Die jeweils errechnete Rückstellkraft wird aufgrund der idealisierten Annahmen als obere Grenze für diesen Effekt (maximale Abmindering der Horizontalkraft am Pfahlkopf) gesehen.

Lagerreibungskraft

Über eine gewisse Reibung zwischen den Gleitflächen, wurde aufgrund der Vertikallast eine Reibungskraft hervorgerufen. Mit den Reibungszahlen μ laut Lagerhersteller und der Formel $H_{reib} = P \cdot \mu$ ergeben sich die Reibungskräfte zu:

- B:HM: $P = 4000$ kN, $\mu = 0{,}022$ → $H_{reib} = 88$ kN
- B.HK: $P = 1000$ kN, $\mu = 0{,}055$ → $H_{reib} = 55$ kN

Eine Unterscheidung zwischen Haft- und Gleitreibung wurde im obenstehenden Ansatz nicht berücksichtigt.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Berechnung der korrigierten Kräfte

In der *Excel*-Auswertung wurden die tatsächlich auf den Pfahlkopf einwirkenden Kräfte folgendermaßen berechnet:

$$H_{korr} = H_{KMD} - H_{rück} - H_{reib} \tag{5.5}$$

Da die Lagerreibungskraft mit dem Ansatz $H_{reib} = P \cdot \mu$ nur von der Vertikalkraft P abhängig ist, würde sie mit Gleichung (5.5) auch im horizontal kraftlosen Zustand subtrahiert werden. Um dies zu verhindern, wurde folgende „Wenn-Formel" angewandt:

$$= wenn(H_{KMD} - H_{rück} - H_{reib} < 0; 0; H_{KMD} - H_{rück} - H_{reib}) \tag{5.6}$$

Somit wurde die Rückstellkraft und die Reibungskraft nur dann subtrahiert, sobald deren Summe größer als die gemessene Horizontalkraft H_{KMD} war.

Den genannten Ansätzen liegen idealisierten Annahmen zugrunde, sodass die Reduzierung der Horizontalkraft zu unteren Grenzen derselben führt. Gleichzeitig stellt die gemessene Horizontalkraft eine obere Grenze dar. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass die tatsächliche Horizontalkraft innerhalb dieser Grenzen lag. Jene Diagramme (Abschnitt 5.2.4.2 bzw. 5.3.4.2), in denen Horizontalkraftverläufe dargestellt sind, enthalten grundsätzlich jeweils diese obere Grenze H_{KMD} und untere Grenze H_{korr}. Lediglich die „*P*-*y*-Kurven" wurde ausschließlich für die gemessenen Kräfte (H_{KMD}) dargestellt, weil mit den obenstehenden Reduktionsansätzen keine zufriedenstellende Darstellung ohne Verfälschung der beobachteten Effekte erzielt werden kann.

5.1.2.5 Untersuchungen zum Bettungsverlauf

Abschließend wurden in der Auswertung Untersuchungen zum Bettungsverlauf durchgeführt. Zweckmäßigerweise wurde dies nur für den Probepfahl B.HM durchgeführt, nicht jedoch für den Probepfahl B.HK. Bei letzterem ist eine Untersuchung des Bettungswiderstands mit der später gezeigten Methode der Rückrechnung nicht zielführend. Die Verformungen dieses „kurzen, starren" Pfahls können nicht treffsicher einem Bettungsmodul zugeordnet werden, weil die Verformungscharakteristik des Pfahls infolge der eingeprägten, horizontalen Pfahlkopfverschiebungen auch maßgeblich von einer Rotation um einen sich verändernden Drehpunkt gekennzeichnet ist (vgl. Abb. 5.83).

5.1.3 Anmerkung zu den Tabellen und Diagrammen

In den folgenden Abschnitten 5.2 und 5.3 werden die Ergebnisse anhand von Diagrammen erklärt. Die Tabellenwerte, die u.a. den Diagrammen zugrunde liegen, sind für den Pfahl B.HM im Anhang ANHANG K sowie für den Pfahl B.HK im ANHANG L zu finden. Zusätzlich liegen dort jeweils auch noch einmal alle Diagramme gesammelt bei.

Üblicherweise wird in der Geotechnik für Belastungen auf Druck ein positives Vorzeichen definiert. Die vorliegende Arbeit weicht davon ab und verwendet die im konstruktiven Ingenieurbau übliche Definition (Druck negativ und Zug positiv). Aus Gründen der Konformität werden Setzungen mit negativem und Hebungen mit positivem Vorzeichen definiert. Dies ist in den entsprechenden Diagrammen gekennzeichnet.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5.2 Versuch B.HM

5.2.1 Eingabedaten

Im ersten Tabellenblatt „P1_Versuchsdaten“ wurden allgemeine Daten zum Versuch sowie die aus den Messdaten herausgesuchten charakteristischen Versuchszeitpunkte händisch eingegeben. Die allgemeinen Daten dienen vorrangig für das Deckblatt („Focus1 Deckblatt“). Die charakteristischen Versuchszeitpunkte sind für das „Abgreifen“ jener Daten notwendig, die den jeweiligen Versuch in den daraus generierten Diagrammen beschreiben. Die Bezeichnung der Zeitpunkte der Laststufen bzw. Zyklusstufen folgt dem in 4.3.2.2 definierten System und ist im Prüfablauf (ANHANG F) gesamtheitlich ersichtlich.

5.2.1.1 Charakteristische Versuchszeitpunkte

Vertikallaststufen

Beim gegenständlichen Versuch B.HM fanden Beginn und Ende der Vertikallaststufen nach Abb. 5.5 statt. Die Laststufen V-1-0 bis V-1-4 stellen demnach die Aufbringung der Gebrauchslast dar. Die Laststufe V-1-5 bezeichnet die konstant gehaltene Last bei den Horizontalverschiebungszyklen, während es sich bei den Laststufen V-1-6 bis V-1-11 um die anschließende weitere vertikale Probebelastung handelt.

Vertikallaststufen					
V…Vertikal		19.02.2018			
1…Zyklus 1	Laststufe	Beginn	Ende	Prüflast Soll	Tag Ende LS
0-11…Laststufen	Vertikal	[hh:mm]	[hh:mm]	[kN]	[Kalendertag]
V-1-0	0	**11:37:01**	**11:54:39**	-50	19
V-1-1	1	**12:01:59**	**12:19:19**	-1038	19
V-1-2	2	**12:25:55**	**12:43:31**	-2025	19
V-1-3	3	**12:51:11**	**13:09:37**	-3013	19
V-1-4	4	**13:19:27**	**15:52:23**	-4000	19
V-1-5	5	**15:52:23**	*10:56:55*	-4000	23
V-1-6	6	*10:56:55*	*10:59:55*	-4000	23
V-1-7	7	*11:02:39*	*11:19:09*	-4500	23
V-1-8	8	*11:22:41*	*12:27:03*	-5000	23
V-1-9	9	*12:32:33*	*12:45:09*	-4000	23
V-1-10	10	*12:53:53*	*13:04:29*	-2000	23
V-1-11	11	*13:12:23*	*13:28:37*	-50	23
		23.02.18			

Abb. 5.5: Beginn- und Endzeitpunkte der Vertikallaststufen beim Versuch B.HM

Zyklusstufen

In Abb. 5.6 sind die Beginn- und Endzeitpunkte am Beispiel des 1. Horizontalverschiebungszyklus dargestellt. Zu diesen Zeitpunkten änderte sich jeweils die Horizontalbelastung (nicht die Horizontalverschiebung). Man könnte sie auch als „Horizontalkraft-Wechselzeitpunkte“ beschreiben. Sämtliche Zeitpunkte aller 10. Verschiebungszyklen sind in ANHANG K ersichtlich.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Zyklusstufen (ZS) Kraftwechselzeitpunkte		Beginn	angenommene Restverschiebung		Verschiebung
		Ende	Sollverschiebung		horizontal
	Zykluspunkt	ZS-Bezeichnung	Zeit	Kalendertag	Soll [mm]
	0	V-1-4-E	15:52:09	19	0
Zyklus 1	1	H-1-1-V-1-5-A	16:09:13	19	20
Zyklus 1	2	H-1-1-V-1-5-E	11:02:55	20	20
Zyklus 1	3	H-1-2-V-1-5-A	11:19:59	20	5
Zyklus 1	4	H-1-2-V-1-5-E	12:01:41	20	5
Zyklus 1	5	H-1-3-V-1-5-A	12:03:01	20	0
Zyklus 1	6	H-1-3-V-1-5-E	12:06:21	20	0
Zyklus 1	7	H-1-4-V-1-5-A	12:14:37	20	-20
Zyklus 1	8	H-1-4-V-1-5-E	14:08:49	20	-20
Zyklus 1	9	H-1-5-V-1-5-A	14:20:55	20	-5
Zyklus 1	10	H-1-5-V-1-5-E	15:02:37	20	-5
Zyklus 1	11	H-1-6-V-1-5-A	15:07:29	20	0
Zyklus 1	12	H-1-6-V-1-5-E	15:09:01	20	0

Abb. 5.6: Beginn- und Endzeitpunkte der Zyklusstufen (ZS) beim Versuch B.HM

Weg-Nullstellungen

Einige der später angeführten Diagramme beziehen sich auf die Zeitpunkte der Nullstellungen, in denen sich der Probepfahl jeweils in vertikaler Ausgangsposition befand. Abb. 5.7 zeigt diese Zeitpunkte der insgesamt 20 Nullstellungen (inkl. der Ausgangsnullstellung „0“ auf Laststufe V-1-4 vor den Verschiebungszyklen). Mithilfe des Eingrenzungsbereichs und bedingter Formatierung konnten diese Zeitpunkte in *Excel* schneller gefunden werden.

Nullstellungen von $w_{h,m}$				
Eingrenzungsbereich für $w_{h,m}$				Prüfkraft
-0,02 mm	0,02 mm			KMD 1
Nullstellung	LS-Bezeichnung	Zeit	Kalendertag	Soll [kN]
0	V-1-4	15:49:59	19	-4000
1	H-1-3-V-1-5	12:02:35	20	-4000
2	H-1-6-V-1-5	15:10:11	20	-4000
3	H-2-3-V-1-5	16:54:43	20	-4000
4	H-2-6-V-1-5	08:15:55	21	-4000
5	H-3-3-V-1-5	09:50:03	21	-4000
6	H-3-6-V-1-5	11:20:59	21	-4000
7	H-4-3-V-1-5	12:55:51	21	-4000
8	H-4-6-V-1-5	14:24:57	21	-4000
9	H-5-3-V-1-5	15:56:45	21	-4000
10	H-5-6-V-1-5	17:36:57	21	-4000
11	H-6-3-V-1-5	08:00:07	22	-4000
12	H-6-6-V-1-5	09:23:05	22	-4000
13	H-7-3-V-1-5	10:49:47	22	-4000
14	H-7-6-V-1-5	12:27:15	22	-4000
15	H-8-3-V-1-5	13:54:27	22	-4000
16	H-8-6-V-1-5	15:29:19	22	-4000
17	H-9-3-V-1-5	16:56:33	22	-4000
18	H-9-6-V-1-5	07:30:03	23	-4000
19	H-10-3-V-1-5	08:58:55	23	-4000
20	H-10-6-V-1-5	10:38:45	23	-4000

Abb. 5.7: Zeitpunkte der Nullstellungen (NS) ($w_{h,m} = 0$) beim Versuch B.HM

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5.2.1.2 Instrumentierungsparameter

Im Tabellenblatt „P2_Instrumentierung“ wurden die Parameter zur Instrumentierung eingegeben sowie die Höhenlage der verschiedenen Sensoren berechnet.

Bewehrungssensoren

In Abb. 5.8 sind die Eingabeparameter für die Bewehrungssensoren ersichtlich. Diese wurden gemäß Überprüfungsprotokoll der Instrumentierung (siehe ANHANG D) sowie der Kalibrierprotokolle von *Geokon* eingegeben. Für die Umrechnung der gemessenen Dehnungen von der Einheit [digits] in die Einheit [mm] wurden die linearen *Gage-Faktoren* verwendet.

MQ	Sensor	Serien-nummer	Gage Factor Linear	Gage Factor Polynomial			Sensor-Höhe
				A	B	C	
Bewehrungsensoren			[microstrain/digit]				[m ü.A.]
1	BS1.1	8,25 - 1712044	0,357				155,28
	BS1.2	8,25 - 1712042	0,345				155,28
2	BS2.1	19,1 - 1712073	0,349				151,68
	BS2.2	19,1 - 1712072	0,346				151,68
3	BS3.1	20,8 - 1712077	0,355				147,88
	BS3.2	20,8 - 1712076	0,347				147,88
4	BS4.1	22,5 - 1712081	0,348				144,13
	BS4.2	22,5 - 1712078	0,349				144,13
5	BS5.1	24,2 - 1712085	0,346				140,38
	BS5.2	24,2 - 1712083	0,348				140,38

Abb. 5.8: Seriennummern, Gage-Faktoren und errechnete BS-Höhen beim Versuch B.HM

Die Spalte der Höhenlage der Sensoren wurde anhand der im Zuge der Abnahme jeweils von OK Bewehrungskorb gemäß Abb. 5.9 gemessenen Längen errechnet (Der Wert „UK-Bewehrung“ sowie „L6“ ist aufgrund der fehlenden Druckmessdose hier nicht erforderlich).

Werte aus Protokoll Zuordnung und Überprüfung der Instrumentierung & Ausführungspläne					
Bezugshöhe (OK-Stabstahl)=			156,38	m ü. A.	*Vergleich Vermessung ARGE / TU*
1.1 O	O 1.2	L1=	1,10	m	*L1-L6 Länge von OK Stabstahl bis Messhorizont*
2.1 O	O 2.2	L2=	4,70	m	
3.1 O	O 3.2	L3=	8,50	m	
4.1 O	O 4.2	L4=	12,25	m	
5.1 O	O 5.2	L5=	16,00	m	
	UK-Bewehrung=			m	*(UK Bewehrungskorb bis OK DMD, Planmaß)*
	O DMD	L6=		m	

Abb. 5.9: Gemessene Lage der Bewehrungssensoren beim Versuch B.HM

Kettenextensometer

In Abb. 5.10 sind die Eingabeparameter für das Kettenextensometer ersichtlich. Diese wurden gemäß Einbauprotokoll (siehe ANHANG B) sowie der Kalibrierprotokolle von *Geokon* eingegeben. Für die Umrechnung der gemessenen Dehnungen von der Einheit [digits] in die Einheit [mm] wurden die polynomialen *Gage-Faktoren* verwendet.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

MQ	Sensor	Serien-nummer	Gage Factor Linear	Gage Factor Polynomial			Sensor-Höhe
				A	B	C	
Kettenextensometer			[mm/digit]				[m ü.A.]
1	KEX1	1639033	0,006155	1,4488E-08	0,006014	-17,10	156,62
2	KEX2	1639034	0,006170	1,5853E-08	0,006021	-16,18	153,17
3	KEX3	1639035	0,006084	2,0104E-08	0,005893	-15,94	149,72
4	KEX4	1639036	0,006144	1,8307E-08	0,005969	-16,52	146,27
5	KEX5	1639037	0,006156	1,3665E-08	0,006028	-16,06	143,3
6	Anker						140,32

Abb. 5.10: Seriennummern, Gage-Faktoren und errechnete KEX-Sensorhöhen beim Versuch B.HM

Die Spalte der Höhenlage der Sensoren wurde anhand der im Zuge des Einbaus gemessenen Längen jeweils von Ankerpunktmitte zu Ankerpunktmitte gemäß Abb. 5.11 errechnet (Der Wert „UK-Bewehrung“ sowie „L6“ ist aufgrund der fehlenden Druckmessdose nicht erforderlich).

Position aus Protokoll Einbau Kettenextensometer							
Überstand KEX- Rohr=			0	m	Messwert [dg]	Einbauwert	Abschnittslängen
Messwert L_{ges} KEX-Rohr=			16,515	m	nach Einbau	[m]	[m]
	O 1	L1=	0,157	m	6100	0,0201	
	O 2	L2=	3,43	m	5920	0,0200	3,45
	O 3	L3=	3,43	m	5940	0,0198	3,45
	O 4	L4=	3,43	m	6054	0,0203	3,45
	O 5	L5=	2,957	m	5926	0,0201	2,97
	X	L6=	2,957	m			2,98
		L7=	0,062	m			

Abb. 5.11: Gemessene Abschnittslänge sowie Einbauwerte der KEX-Sensoren beim Versuch B.HM

Zu den Längen „L2“ bis „L6“ ist noch der im Zuge der Installation eingestellte Soll-Dehnweg von 2 cm = 0,02 m (vgl. „Einbauwert“) hinzuzurechnen, um die jeweilige Abschnittslänge zu erhalten (vgl. Extensometerkonfiguration B.HM, ANHANG A).

Ketteninklinometer

Abb. 5.12 zeigt die Abschnittslängen und Absoluthöhen der Inklinometersonden. Die Absoluthöhen ergeben sich aus der Inklinomterkonfiguration (Abb. 5.13).

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Ketteninklinometer		
Messwert Rohrlänge = 16,595 m		
Sensor	**Abschnittslänge**	**Höhe**
Nr.	zum nächsten Sensor	m.ü.A.
	Rohr-/Pfahlkopf-OK =	156,780
16	0,595 m	156,185
15	1,000 m	155,185
14	1,000 m	154,185
13	1,000 m	153,185
12	1,000 m	152,185
11	1,000 m	151,185
10	1,000 m	150,185
9	1,000 m	149,185
8	1,000 m	148,185
7	1,000 m	147,185
6	1,000 m	146,185
5	1,000 m	145,185
4	1,000 m	144,185
3	1,000 m	143,185
2	1,000 m	142,185
1	1,000 m	141,185
0	1,000 m	140,185
	Pfahlunterkante =	140,000

Abb. 5.12: Abschnittslängen gemäß Inklinometerkonfiguration (Abb. 5.13) sowie errechnete Sondenhöhen beim Versuch B.HM

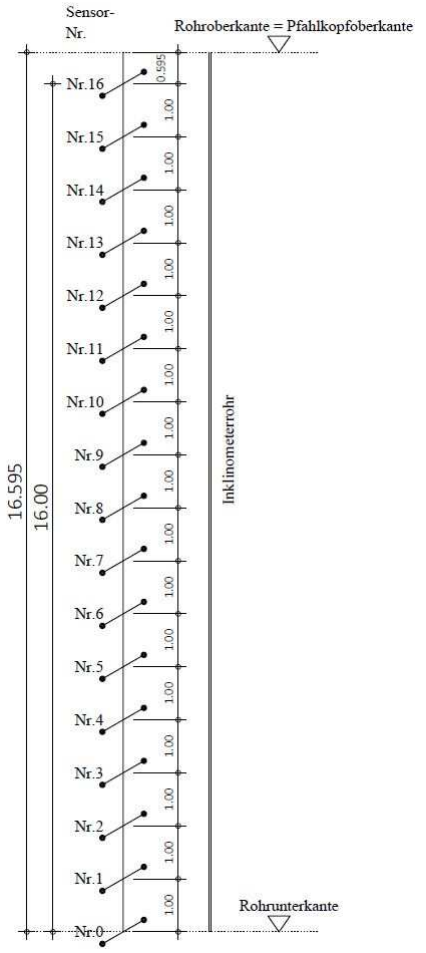


Abb. 5.13: Inklinometerkonfiguration, B.HM

5.2.1.3 Pfahlgeometrie und Materialkennwerte

Im Tabellenblatt „P3_GeometrieMaterial“ wurden die Pfahlgeometrie und Materialkennwerte eingetragen, die man auf dem Deckblatt (Abb. 5.15 bis Abb. 5.17) wiederfindet. Hier fand auch die Festlegung und Berechnung der für die jeweiligen Messquerschnitte relevanten Querschnittswerte statt, deren Zusammenfassung Abb. 5.14 zeigt. Darin bezeichnen:

E_c E-Modul des Pfahlbetons gemäß Betonprüfung [75] (auf 34 kN/mm² gerundet)

Hinweis: Für weitere Berechnungen ist der E-Modul hinsichtlich nichtlinearem Materialverhaltens und der Erhärtungsbedingungen im Bohrloch genaueren Untersuchungen zu unterziehen.

E_{SS} E-Modul des Stabstahls (hier nicht vorhanden)

E_{BS} E-Modul des Bewehrungsstahls

E_S E-Modul des Baustahls (hier: KEX-Rohr)

A_{ges} Gesamtquerschnittsfläche ($A_{ges} = D^2 \cdot \pi/4$)

A_{SS} Querschnittsfläche des Stabstahls (hier nicht vorhanden)

A_{BS} Querschnittsfläche des Bewehrungsstahls (gemäß Bewehrungsplan [52] bzw. [54])

A_S Querschnittsfläche des Baustahls (hier: KEX-Rohr)

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

A_c Betonquerschnittsfläche ($A_c = A_{ges} - A_{SS} - A_{BS} - A_S$)

A_{ci} ideelle Betonquerschnittsfläche (nach Gleichung (5.7))

$\Sigma E_{Stahl} A_{Stahl}$ Summe der Dehnsteifigkeiten aller Stahlquerschnitte (nach Gleichung (5.8))

Querschnittswerte / Geometrie													KEX-Rohr			
Nr.	Bezeichnung	Ø [mm]	OK [müA]	UK [müA]	Länge [m]	E_C [kN/mm²]	E_{SS} [kN/mm²]	E_{BS} [kN/mm²]	E_S [kN/mm²]	A_{ges} [mm²]	A_{SS} [mm²]	A_{BS} [mm²]	A_S [mm²]	A_C [mm²]	A_{ci} [mm²]	$\Sigma E_{Stahl} A_{Stahl}$ [mm²]
Standardbereiche (hier irrelevant)																
1	Freispielstrecke	900	156,00	155,28	0,72	34,00	0,00	200	210	636173	0	variiert	493	variiert	variiert	
2	Krafteinleitungsstrecke	900	155,28	140,00	15,28	34,00	0,00	200	210	636173	0	variiert	493	variiert	variiert	
ZUSATZBEREICHE (relevante Messquerschnitte)																
3	BS1	900			0,00	34,00	0,00	200	210	636173	0	12741	493	618504	696495	2651706
4	BS2	900			0,00	34,00	0,00	200	210	636173	0	16990	493	614255	717239	3501446
5	BS3	900			0,00	34,00	0,00	200	210	636173	0	16990	493	614255	717239	3501446
6	BS4	900			0,00	34,00	0,00	200	210	636173	0	14865	493	616380	706865	3076506
7	BS5	900			0,00	34,00	0,00	200	210	636173	0	8495	493	622750	675764	1802486
8	mittel KEX1	900			0,00	34,00	0,00	200	210	636173	0	15143	493	616102	708223	3132106
9	mittel KEX2	900			0,00	34,00	0,00	200	210	636173	0	16990	493	614255	717239	3501446
10	mittel KEX3	900			0,00	34,00	0,00	200	210	636173	0	16990	493	614255	717239	3501446
11	mittel KEX4	900			0,00	34,00	0,00	200	210	636173	0	15536	493	615709	710141	3210706
12	mittel KEX5	900			0,00	34,00	0,00	200	210	636173	0	9179	493	622066	679104	1939306

Abb. 5.14: Querschnittswerte der Messquerschnitte beim Versuch B.HM

Die ideelle Querschnittsfläche wurde mit folgender Gleichung ermittelt:

$$A_{ci} = A_c + \frac{E_{SS}}{E_c} \cdot A_{SS} + \frac{E_{BS}}{E_c} \cdot A_{BS} + \frac{E_S}{E_c} \cdot A_S \tag{5.7}$$

Die später benötigte Summe der Stahl-Dehnsteifigkeiten wurde folgendermaßen berechnet:

$$\sum E_{Stahl} \cdot A_{Stahl} = E_{SS} \cdot A_{SS} + E_{BS} \cdot A_{BS} + E_S \cdot A_S \tag{5.8}$$

Die Berechnung der Querschnittsflächen des Bewehrungsstahls (A_{BS}) erfolgte je Messquerschnitt (Nr. 3 bis 7) sowie je nach Lage der Bewehrungssensoren gemäß Abb. 5.9. Befand sich ein Sensor genau im Stoßbereich zweier Bewehrungsquerschnitte, wurde deren (arithmetisches) Mittel herangezogen. Für die maßgebenden Stahlquerschnitte in den Messquerschnitten (Nr.8 bis Nr. 12) des Kettenextensometers gilt sinngemäß dasselbe, allerdings wurden hier Querschnittssprünge durch eine Mittelung über die entsprechende Bewehrungseisenlänge berücksichtigt.

Anmerkung: Mit dem Ansatz von A_{ci} bzw. der späteren Anwendung von Gleichung (5.10) wurde davon ausgegangen, dass der Verbund zwischen Beton und Bewehrung intakt ist. Dies gilt demnach nur solange, wie sich der Beton im Zustand I befindet. Ob sich der Pfahl unter den Einwirkungen aus Axial- und Horizontallast noch im Zustand I befand, kann mit folgendem Kriterium überprüft werden.

$$\sigma_c = \frac{N}{A_c} + \frac{M}{W_c} < f_{ctm} \tag{5.9}$$

f_{ctm} ..... 2,6 N/mm² für einen Beton C25/30

Aufgrund der über den Pfahl veränderlichen Normalkraft müsste dies nicht nur an der Stelle des maximalen Moments, sondern auch an allen anderen Stellen entlang des Pfahls überprüft werden.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5.2.2 Messdaten

5.2.2.1 Daten MWES I

Das Tabellenblatt „Daten1 MWES1“ wurde im Vergleich zum Basisfile für die zusätzlichen Kraftmessungen (KMD 2 & 3) sowie zusätzlichen Horizontalverschiebungsmessungen ($w_{h,1}$ bis $w_{h,3}$) entsprechend erweitert. Hier finden diverse Umrechnungen statt (siehe [MS]).

5.2.2.2 Daten MWES II

Das Tabellenblatt „Daten2 MWES2“ konnte direkt aus dem Basis-File übernommen und diverse Umrechnungen durchgeführt werden. In der Umrechnung wurden die Messwerte auf die Werte der Nullmessung vor Versuchsbeginn bezogen.

5.2.2.3 Daten MWES III

Im Tabellenblatt „Daten3 MWES3“ wurden die Daten der Inklinometermessungen (Achse A, Achse B, Temperatur) eingefügt. Beim Probepfahl B.HM wurden zur Messung der Biegelinie insgesamt 16 Sonden verwendet. Hier erfolgte auch die Aufsummierung der Einzelwerte (= Einzelverschiebungen zufolge Sensorneigung) von einem auf Rohrunterkante befindlichen, angenommenen Ruhepunkt, dessen Annahme durch die spätere Auswertung gerechtfertigt wurde. Die absolute Durchbiegung des Pfahls [mm] in Höhe einer Sonde entspricht also der bis zu dieser Höhe aufsummierten Einzelwerte vom in Ruhe befindlichen Fußpunkt aus. Diese Ermittlung der kumulierten Verschiebungen erfolgte vorerst nur für die vorrangig relevante Achse A (= Verschiebungsrichtung).

5.2.3 Basisdaten

5.2.3.1 Basis MWES I

Das Tabellenblatt „Basis1 MWES1“ konnte direkt vom Basis-File übernommen werden. Es ist die Grundlage für diverse Diagramme (siehe [MS]).

5.2.3.2 Basis MWES II

Das Tabellenblatt „Basis2 MWES2“ konnte weitgehend vom Basis-File übernommen werden. Hier erfolgte die Berechnung des E-Moduls (Gleichung (5.10)) anhand der obersten beiden Bewehrungssensoren (BS) im Messquerschnitt 1 (MQ1). Dabei wurde vorausgesetzt, dass im MQ1 noch nichts von der eingeleiteten Kraft (F_{KMD1}) verloren gegangen ist.

$$E_{c,MQ1} = \frac{\frac{F_{KMD1}}{\varepsilon_{BS,MQ1}} - \sum E_{Stahl} \cdot A_{Stahl}}{A_c} \tag{5.10}$$

Dieser E-Modul kann streng genommen jedoch nur für die Berechnung der Normalkraft im obersten Messquerschnitt herangezogen werden, was unter Verwendung von Gleichung (5.11) zwangsläufig und logischerweise wieder zur eingeleiteten Kraft führt.

$$N_{c,MQ1} = \varepsilon_{BS,MQ1} \cdot \left(A_c + \frac{\sum E_{Stahl} \cdot A_{Stahl}}{E_{c,MQ1}} \right) \cdot E_{c,MQ1} = F_{KMD1} \tag{5.11}$$

Für die Berechnung der Normalkraft der tieferliegenden Messquerschnitte wurde vorerst der aus den Betonprüfung der MA 39 stammende E-Modul von 34 N/mm² (gerundet) pauschal angesetzt.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Ebenso erfolgte in diesem Tabellenblatt die Berechnung der über die Messabschnittslängen konstant angesetzten Mantelreibungen.

Das Tabellenblatt „Basis4 MWES2“ greift wie die das Tabellenblatt „Basis2 MWES2“ ebenso auf die Daten des MWES II (Dehnungen) zurück. Dies geschieht allerdings nicht zu den Zeitpunkten der Vertikallaststufen, sondern zu den Zeitpunkten der Weg-Nullstellungen (Abb. 5.7).

5.2.3.3 Basis 3 Horizontal

Das Tabellenblatt „Basis3 Horizontal“ greift auf Daten des MWES I und III zurück. Es bildet die Grundlage für die Betrachtung verschiedener Messwerte zu den Zeitpunkten der Weg-Nullstellungen sowie der Zyklusstufen (Kraftwechselzeitpunkte). Es bildet außerdem die Grundlage für die Kraft-verschiebungslinien (*P*-*y*-Kurven) je Zyklus.

5.2.4 Darstellung und Beschreibung der Ergebnisse

5.2.4.1 Deckblatt

Das Deckblatt enthält allgemeine Angaben zum Versuch und Probepfahlmaterial (Abb. 5.15 bis Abb. 5.17).

Allgemeine Angaben:	
Prüfkörper:	**B.HM**
Prüffeld:	2
Versuch:	Horizontalverschiebeversuch
Bodenschicht Krafteinleitungsstrecke:	Kies + Miozän
Pfahlinstrumentierung (MWES II):	
Kettenextensometer (KEX):	ja
Bewehrungssensoren (BS):	ja
Sohldruckmessdose (DMD):	nein
Ketteninklinometer (KIN):	ja
Versuchsdaten:	
Prüfung Nr.:	59
Prüfdatum:	19.02.2018 - 23.02.2018
Versuchsbeginn:	11:27 Uhr
Versuchsende:	13:30 Uhr
Wetterbedingungen:	19.02.2018 09:00, wolkenlos, Außentemperatur: 0°C / 12:00 in Einhausung: 6°C
besondere Versuchsbedingungen:	KEX3 auf Channel 16, weil Channel 13 nicht funktioniert

Abb. 5.15: Allgemeine Angaben, Pfahlinstrumentierung und Versuchsdaten des Versuchs B.HM

Neben den überwiegend selbsterklärenden Angaben in Abb. 5.16 sei erwähnt, dass das „Messniveau“ die Höhenlage der vertikalen Wegaufnehmer kennzeichnet. Die Gesamtquerschnittsfläche ist dabei die Bruttoquerschnittsfläche des Pfahls von $A_{ges} = D^2 \cdot \pi/4$. Die „OK Krafteinleitungsstrecke“ wurde für den Pfahl B.HM mit 155,28 m. ü. A. auf Höhe des ersten Messhorizonts der Bewehrungssensoren gewählt. Die 0,52 m bis zur GOK von 155,80 m. ü. A. werden somit (in etwa bei der Berechnung der Mantelreibung) nicht in Rechnung gestellt. Die Länge der Krafteinleitungsstrecke beträgt folglich 15,28 m. Der Bemessungs- und Bauwasserstand wurden gemäß [48] übernommen, fanden vorerst allerdings in keiner Berechnung Anwendung.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Geometrie:		
Bohrdurchmesser:	900,00	mm
Querschnittsfläche A_{ges}=	636172,51	mm²
OK Pfahlkopf:	156,78	müA
Messniveau:	156,73	müA
OK Pfahl:	156,00	müA
GOK:	155,80	müA
OK Krafteinleitungsstrecke:	155,28	müA
Bemessungswasserstand:	154,83	müA
Bauwasserstand:	154,38	müA
UK Pfahl:	140,00	müA
Länge "Freispielstrecke":	0,72	m
Länge Krafteinleitungsstrecke:	15,28	m
Pfahllänge:	16,00	m

Abb. 5.16: Angaben zur Geometrie des Versuchs B.HM

In Abb. 5.17 sind Materialkennwerte zum Pfahlbeton und allen vorkommenden Stahlbauteilen angeführt. Der E-Modul des Pfahlbetons von 34 kN/mm² wurde gemäß Prüfbereicht der MA 39 [75] übernommen. Stabstahl bezeichnet hier die GEWI-Stähle der Mikropfähle und ist im gegenständlichen Fall somit irrelevant. Die Bewehrungsquerschnitte variieren abschnittsweise (vgl. Abb. 5.14 bzw. [52]). Das Feld „Güte Baustahl" wurde hier zur Berücksichtigung des Kettenextensometerrohres (KEX-Rohres) genutzt. Ebenso sind die Innen- und Außendurchmesser der beiden Führungsrohre angegeben, unter deren Berücksichtigung die Betonquerschnittsfläche errechnet wurde.

Materialkennwerte:		
Betongüte:	**C25/30 / BS-TB1**	
Zement:	**CEM II/A-M(S-L)**	
W/B-Wert Zemetsuspension:	-	
E-Modul Beton / Zementstein E_C =	34,00	kN/mm²
Typ, Güte Stabstahl (nur Mikropfähle):	-	
Nennquerschnitt Stabstahl A_{SS} =	0,00	mm²
E-Modul Stabstahl E_{SS} =	0,00	kN/mm²
Güte Bewehrungsstahl:	**B 550B**	
Gesamtquerschnitt Bewehrungsstahl A_{BS}=	variiert	mm²
E-Modul Bewehrungsstahl E_{BS} =	200,00	kN/mm²
Güte Baustahl (KEX-Rohr):	**S235**	
Gesamtquerschnitt Baustahl A_S=	492,88	mm²
E-Modul Baustahl E_S =	200,00	kN/mm²
Führungsrohre:		
KEX-Rohr d_a =	57,00	mm
KEX-Rohr d_i =	51,20	mm
KIN-Rohr d_a=	55,00	mm
KIN-Rohr d_i =	47,00	mm

Abb. 5.17: Kennwerte des Pfahlmaterials sowie Führungsrohre des Versuchs B.HM

5.2.4.2 Diagramme

Belastung und mittlere Vertikalverschiebung

Der gesamte Versuchsverlauf wird nun anhand der folgenden drei Diagramme beschrieben. In Abb. 5.18 ist die Aufbringung der vertikalen Gebrauchslast von 4000 kN in den vier Stufen zu je 1000 kN zu sehen (schwarze Linie). Dazu ist der Mittelwert der drei vertikalen Wegaufnehmer (rotstrichlierte Linie) auf der rechten Achse aufgetragen. Nach der Beobachtungszeit bzw. einer Versuchsdauer von rund 4 h betrug die mittlere Vertikalverschiebung 5,5 mm.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

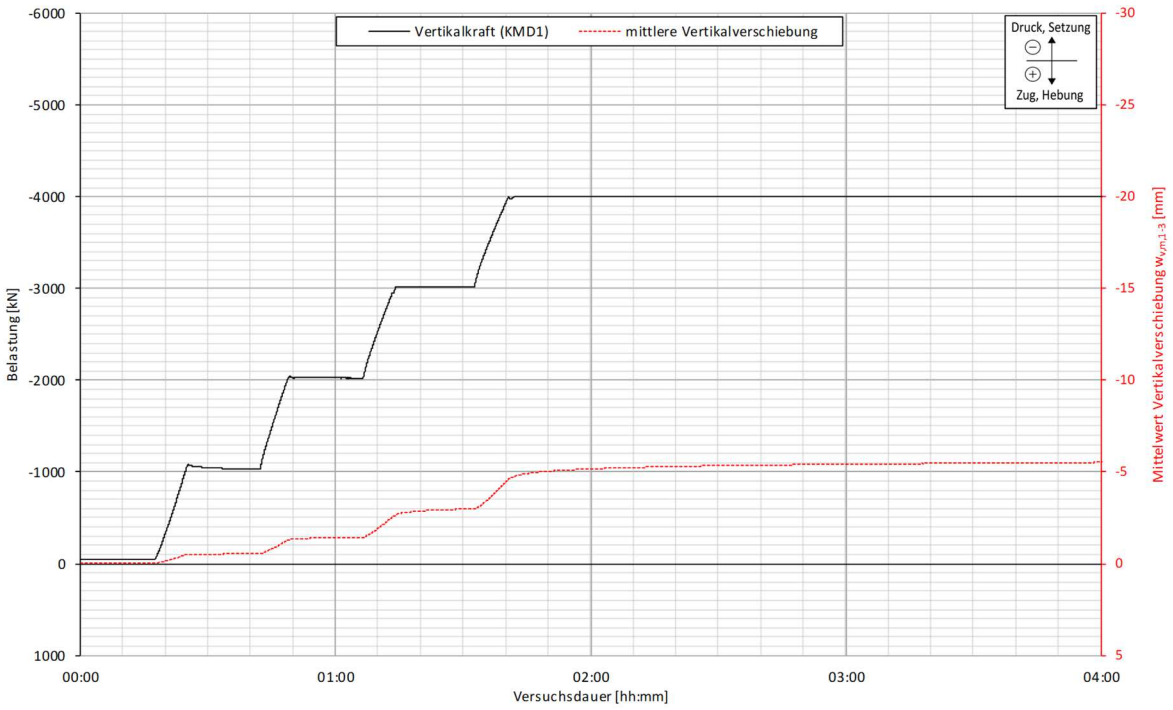


Abb. 5.18: Belastung und mittlere Vertikalverschiebung beim Versuch B.HM – Teil 1

Der Versuch setzte nun gemäß Abb. 5.19 fort. Hier kommt nun die wechselseitige, horizontale Belastung (KMD 2/KMD 3, blaue Linie) hinzu (im Gegensatz zu den beiden anderen dargestellten Verläufen handelt es sich hierbei bereits um eine idealisierte Linie, deren definierende Einzelpunkte herausgesucht wurden; Der Horizontalkraftverlauf mit allen Messwerten ist in Abb. 5.21 ersichtlich). Dabei stellt die blau-durchgezogene Linie den gemessenen Horizontalkraftverlauf dar, während die blau-strichlierte Linie die korrigierten Horizontalkräfte zeigt.

Die Vertikalkraft (KMD 1) konnte in der Horizontalverschiebungsphase weitgehend konstant gehalten werden. Die leichten Schwankungen von rund +100 kN bis -50 kN resultierten aus Zwangskräften infolge der Verschiebungseinprägung. Der Einfluss dieser maximalen Abweichung von rund 2,5 % von der vertikalen Sollkraft scheint vernachlässigbar klein hinsichtlich damit einhergehender Pfahlsetzungen.

Jede Amplitude der Horizontalbelastung stellt eine Verschiebung dar. Zwei Verschiebungen ergeben wiederum einen Verschiebungszyklus. Die langgestreckten Phasen in „ausgelenkter“, festgehaltener Stellung stellen jeweils die Beharrungszustände über Nacht dar. Es ist erkennbar, dass bei festgehaltener Horizontalverschiebung die zugehörige Horizontalkraft innerhalb der Beobachtungszeit (tagsüber 1 Stunde) jeweils abgefallen ist, ehe wieder entlastet und anschließend die nächste Verschiebung in Gegenrichtung vollzogen wurde. Der Horizontalkraftabfall in ausgelenkter Stellung spielte sich in einer Bandbreite von 2 bis 8 % (bei den gemessenen Werten) ab. Insgesamt zeigt sich auch, dass die für die horizontale Soll-Verschiebung erforderliche Horizontalkraft mit steigender Zyklenzahl im Wesentlichen abnahm, sofern keine (unplanmäßige) Überschreitung der Soll-Verschiebung neuen Bodenwiderstand aktivierte (vgl. Versuch B.HK). Die letzte Verschiebung (Nr. 20) ist in der Abbildung teilweise abgeschnitten, setzt jedoch in Abb. 5.20 fort.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

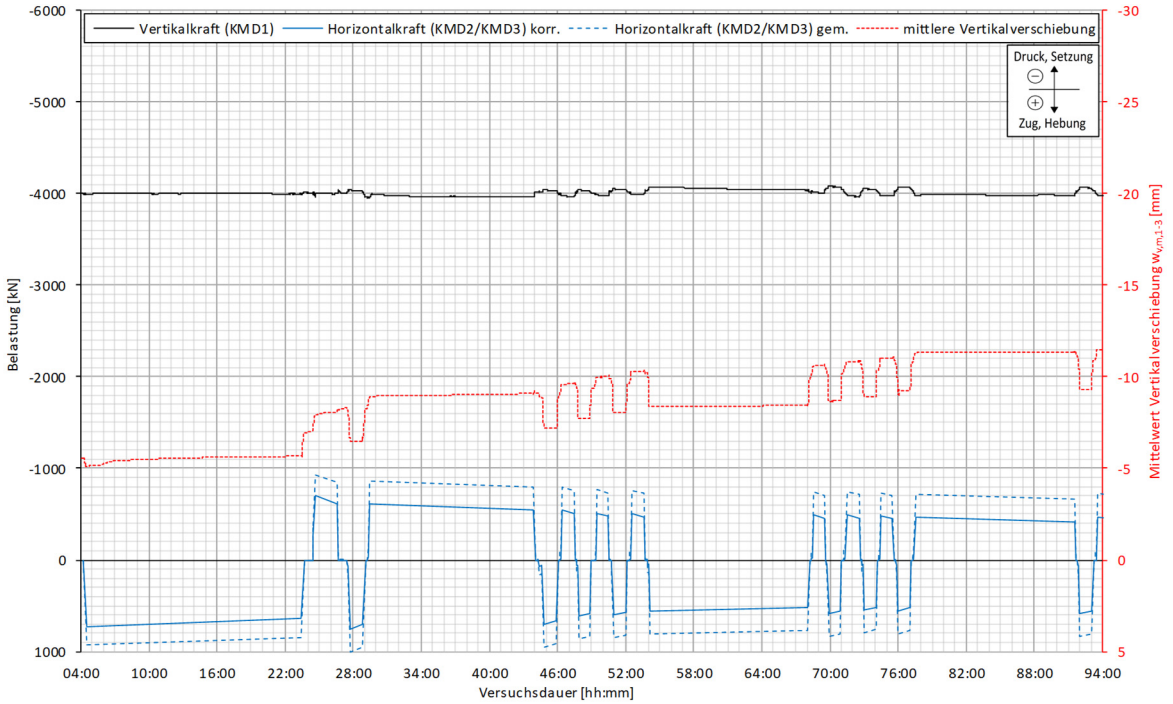


Abb. 5.19: Belastung und mittlere Vertikalverschiebung beim Versuch B.HM – Teil 2

Im Wesentlichen ist eine Zunahme der mittleren Vertikalverschiebung (Pfahlsetzung) während der Horizontalverschiebunsgzyklen zu beobachten. Grund für die zur Horizontalbelastung synchron verlaufenden Schwankungen der mittleren Vertikalverschiebung ist die geometrische Anordnung der Wegaufnehmer (vgl. Abb. 4.12). Demnach lagen zwei der drei Wegaufnehmer auf derselben Seite und zeichneten aufgrund der Verkippung des Pfahlkopfes zufolge Horizontalbelastung Werte umgekehrten Vorzeichens auf als der verbleibende, einzelne Wegaufnehmer auf der anderen Seite auf. In der (arithmetischen) Mittelwertbildung fließt der Einfluss dieser beiden Wegaufnehmer folglich stärker ein. Deshalb werden bei spätere Detailbetrachtungen zur Pfahlsetzung in der (geometrischen) Nullstellung betrachtet, in der sich Pfahl in vertikaler Stellung befand.

Abb. 5.20 setzt nun genau am Übergang des vorherigen Diagramms (bei 94:00) fort. Hier ist noch der Abschluss der 20. Verschiebung zu sehen. Die letzte kurze Horizontalkraftsteigerung stellt das „Zurückziehen“ in die geom. Nullstellung dar. Der in dieser Stellung wiederum repräsentative Mittelwert der Vertikalverschiebung betrug nach den Horizontalverschiebungen als rund 11 mm, was also einem Zuwachs von 5,5 mm innerhalb der Horizontalverschiebungsphase entspricht.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

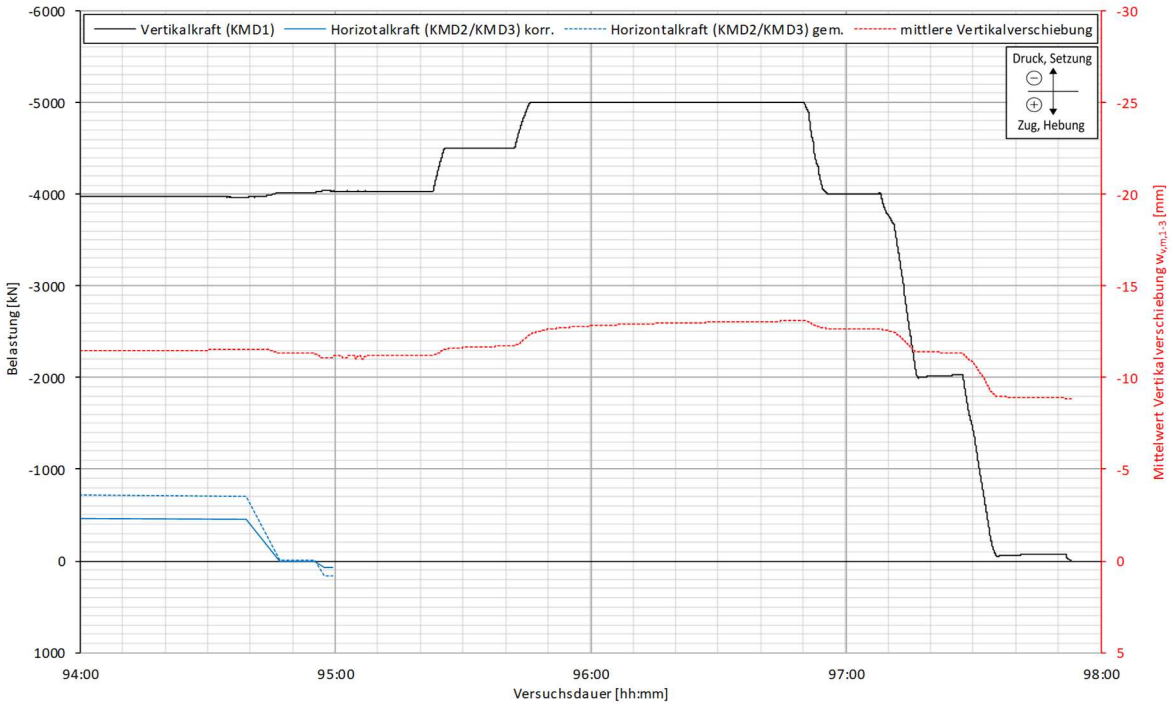


Abb. 5.20: Belastung und mittlere Vertikalverschiebung beim Versuch B.HM – Teil 3

Zum Schluss wurde die vertikale Laststeigerung bis 5000 kN durchgeführt, wobei der Probepfahl eine maximale Setzung von 13 mm aufwies. Durch die Entlastung fand wieder eine Hebung von rund 4 mm statt, sodass ca. 9 mm Restsetzung schlussendlich verblieben. Eine Prüfung bis zum Erreichen der axialen Tragfähigkeit war beim Pfahl B.HM naturgemäß nicht vorgesehen.

Horizontalbelastung und mittlere Vertikalverschiebung

In der folgenden Abb. 5.21 ist nun der Horizontalkraftverlauf anhand aller Messwerte dargestellt und dazu wiederum die mittlere Vertikalverschiebung über die Versuchsdauer aufgetragen. Der gemessene Verlauf der Horizontalkräfte ist dabei strichliert dargestellt, während die durchgezogenen Linien den korrigierten Werten entsprechen (vgl. Abschnitt 5.1.2.4). Je nach Richtung der Verschiebung betrifft das entweder die (von der „Richtung Ansicht B.HM“ gemäß Abb. 4.6 aus gesehen links angeordnete) KMD 2 oder (rechts angeordnete) KMD 3. Beim Versuch B.HM erfolgte nach dieser Definition die 1. Verschiebung nach rechts bzw. in positive Richtung der horizontalen Wegaufnehmer. Deutlich erkennbar ist wiederum der Kraftabfall nach Festhalten der Verschiebung und fortwährend über die Beobachtungszeit. Die „Kraftspitzen“ am Ende dieser Beobachtungszeit sind auf das Wiederanspannen zum Lösen der Verankerungsmutter vor der Entlastung zurückzuführen.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

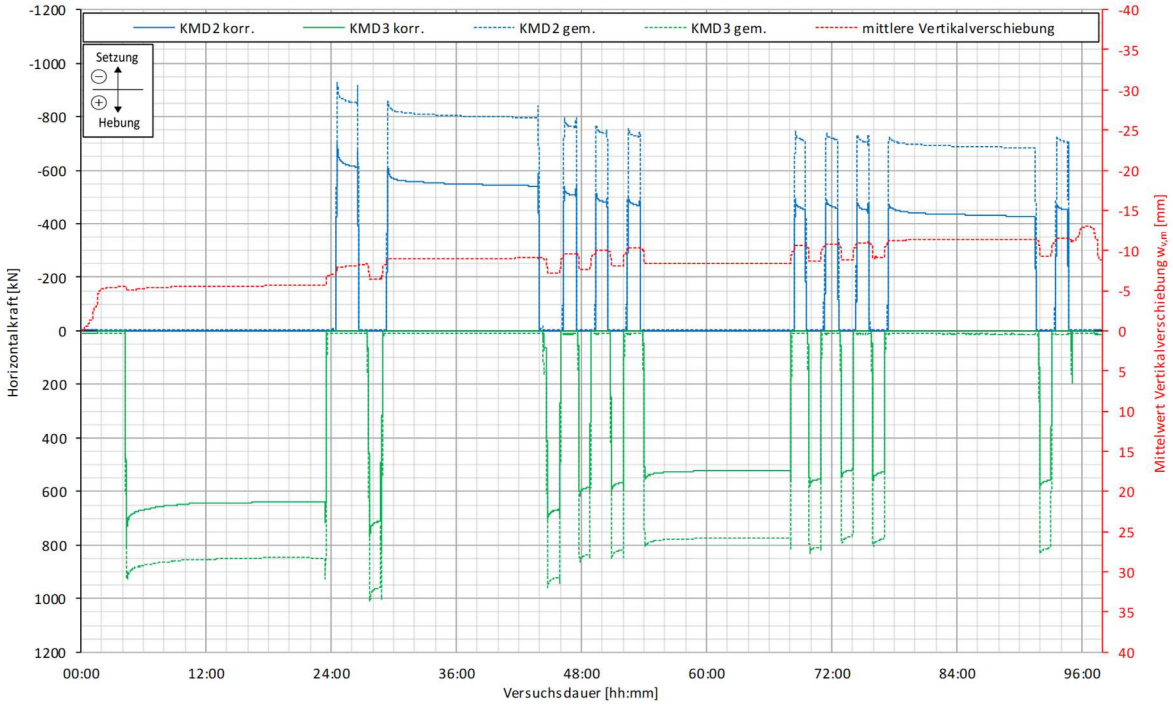


Abb. 5.21: Horizontalbelastung und mittlere Vertikalverschiebung beim Versuch B.HM

Der Verlauf der mittleren Vertikalverschiebung entspricht dem bereits anhand der Abb. 5.19 bereits beschriebenen Linie.

Vertikale Pfahlkopfverschiebung

Die einzelnen Verläufe der zur Mittelung der Vertikalverschiebung herangezogenen Wegaufnehmer sind in Abb. 5.22 dargestellt. Zur Rechtfertigung der Mittelwertbildung, wurde die Plausibilität des Wegaufnehmers $W_{v,1}$ anhand der mechanischen Messuhr überprüft (siehe ANHANG K). Das Diagramm spiegelt auch die Lage der Wegaufnehmer $W_{v,2}$ und $W_{v,3}$ auf der einen Seite sowie jene des Wegaufnehmers $W_{v,1}$ auf der anderen Seite wieder. Aussagen über den Mittelwert der Vertikalverschiebung sind aufgrund der Verkippung des Pfahlkopfes nur in der geom. Nullstellung sinnvoll.

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.

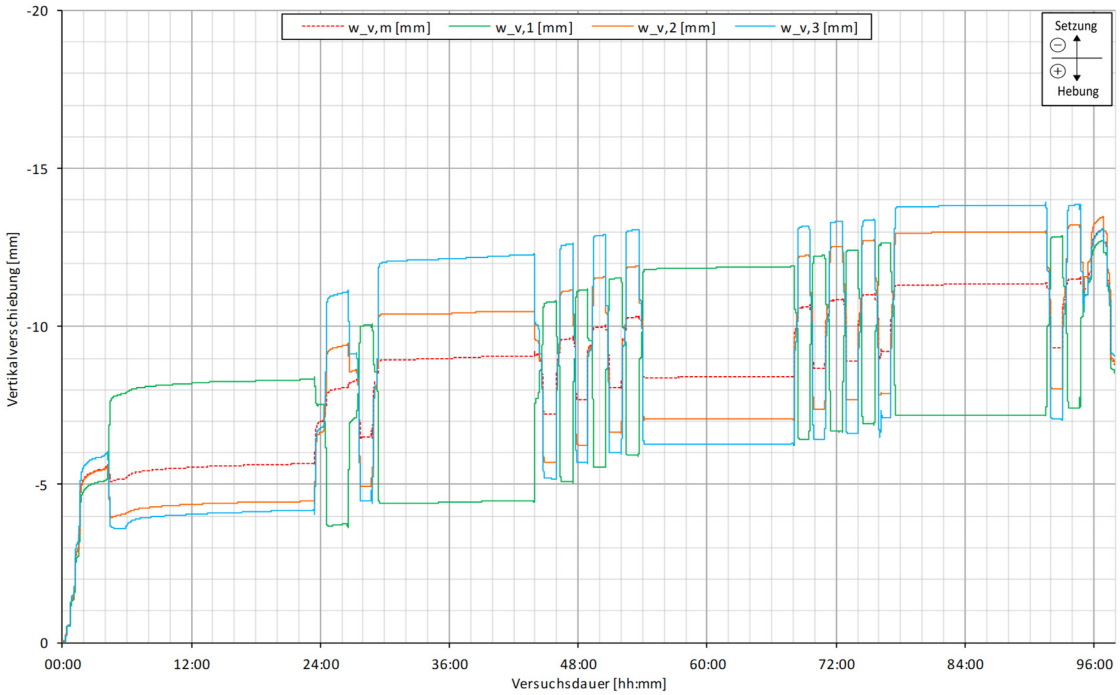


Abb. 5.22: Einzelwerte und Mittelwert der vertikalen Wegaufnehmer beim Versuch B.HM

Horizontale Pfahlkopfverschiebung

Ein analoges Diagramm (Abb. 5.23) wurde für die horizontalen Pfahlkopfverschiebungen $w_{h,1}$ und $w_{h,2}$ erstellt.

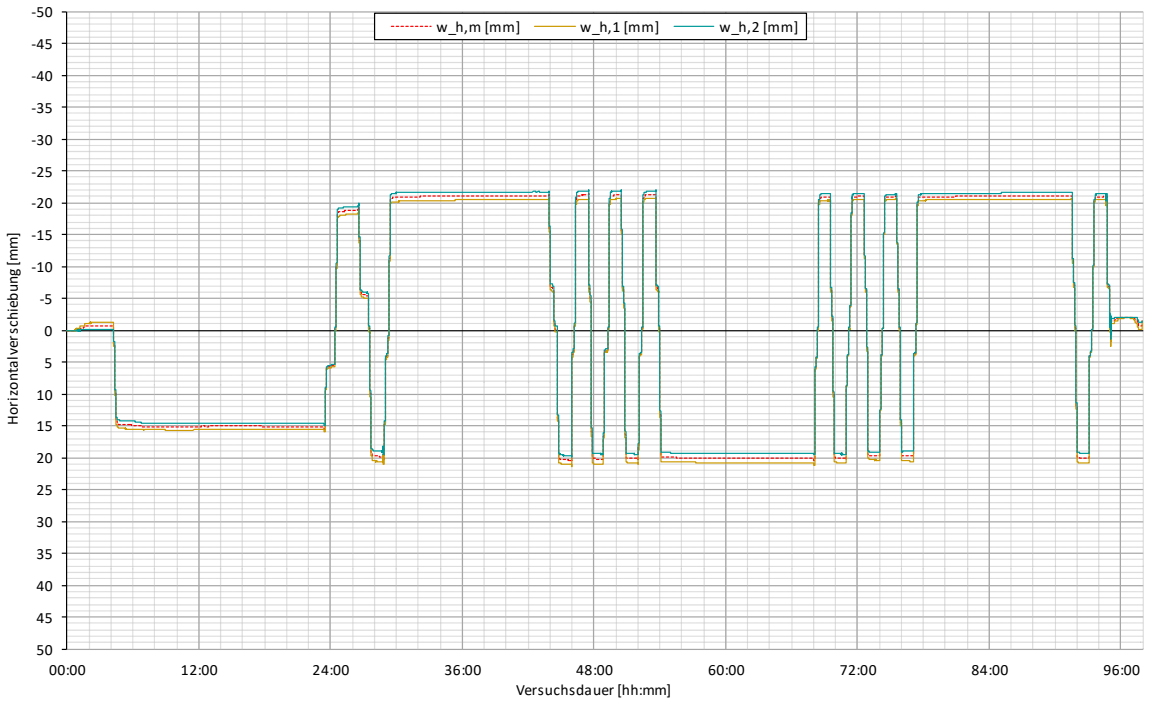


Abb. 5.23: Einzelwerte und Mittelwert der horizontalen Wegaufnehmer beim Versuch B.HM

Es zeigt, dass bei der ersten Verschiebung der Soll-Wert von 20 mm noch nicht erreicht wurde, sondern lediglich 15 mm im Mittel. Dies lag daran, dass die 1. Verschiebung vorerst einmal mit Vorsicht

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

eingeprägt wurde, da sich für die Soll-Verschiebung eine erforderliche Kraft von deutlich über 1000 kN (gemessener Wert) angedeutet hatte (vgl. Abb. 5.35). Diese 1000 kN wurden zuvor als (vorsichtiger) Richtwert für die maximale Spannkraft festgelegt. Dies ist in der Streckgrenzkraft der Spann-GEWI von 1080 kN begründet [72]. Bei der zweiten Verschiebung wurden im Mittel bereits 19 mm und bei allen anderen Verschiebungen eine durchaus zufriedenstellende Gleichmäßigkeit der Soll-Verschiebung (20 bis 21 mm) erreicht.

Zum Vergleich dazu ist in Abb. 5.24 der Verlauf der obersten Inklinometersonde (Nr. 16) dargestellt. Dies entspricht den vom Fußpunkt des Inklinometers bis zur obersten Sonde aufsummierten Einzelwerte. Eine Darstellung dessen in Abb. 5.23 erübrigte sich, da die Inklometermessung aufgrund der außerordentlich guten Übereinstimmung den Verlauf der Wegaufnehmer überdecken würde.

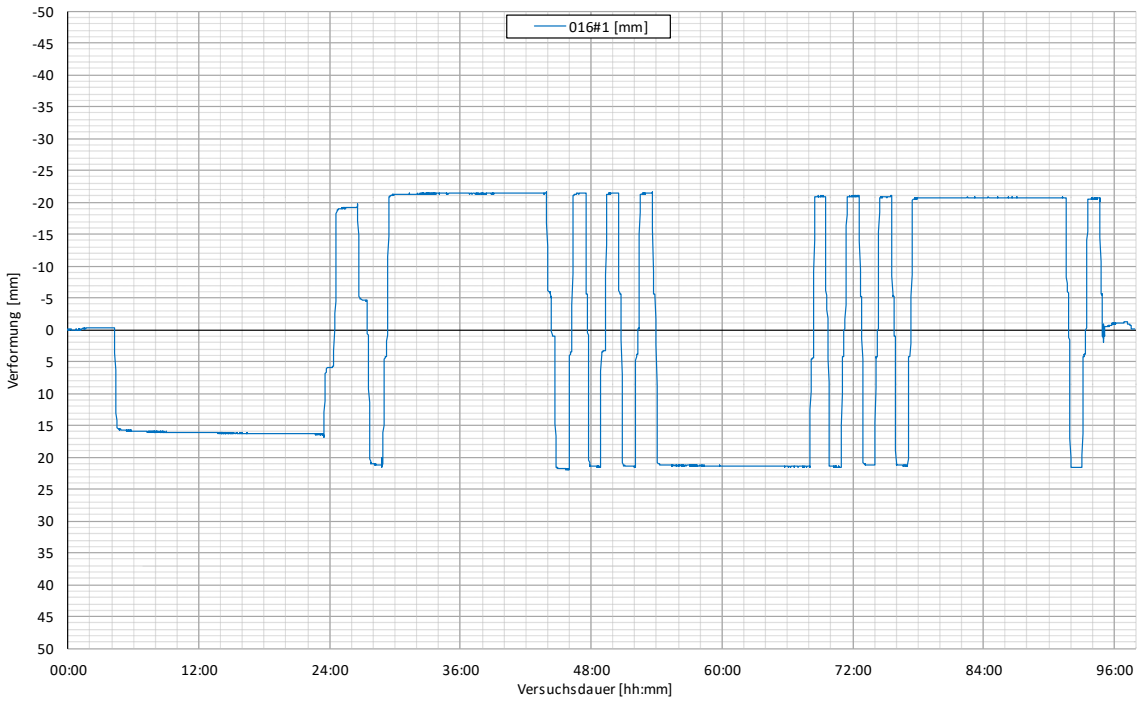


Abb. 5.24: Horizontale Pfahlkopfverformung lt. oberster Inklinometersonde (#16) beim Versuch B.HM

Setzungszunahme während den Horizontalverschiebungszyklen

Das folgende Diagramm (Abb. 5.25) gibt Antwort auf die primäre Fragestellung, wie sich die Horizontalverschiebungen im Setzungsverhalten äußern würden. Bereits weiter oben wurde schon erkannt, dass es in der Horizontalverschiebungsphase zu einer zusätzlichen Pfahlsetzung von 5,6 mm kam. Für die Betrachtung der Setzungsentwicklung wurde die mittlere Vertikalverschiebung über die Anzahl der Weg-Nullstellungen aufgetragen (rote Achsen). Zur Verdeutlichung der zwischenzeitlichen Horizontalverschiebungen wurde der (gemessene und korrigierte) Verlauf der Horizontalkraft ebenfalls über die Anzahl der Nullstellungen aufgetragen (blaue Achsen). Die zeitliche Übereinstimmung von mittlerer Vertikalverschiebung und Horizontalkraft ist nur in den Nullstellungen korrekt. Dazwischen wurden die Horizontalkraftzyklen gleichmäßig aufgeteilt, weshalb beispielsweise die gedehnten Nacht-Beobachtungsphasen in dieser Darstellung nicht sichtbar sind. Die Grafik zeigt, dass die Setzungszunahme mit steigender Zyklenzahl zwar abnimmt, nach 20 Verschiebungen allerdings noch kein vollständiger Abschluss der Setzungszunahme erfolgt ist.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

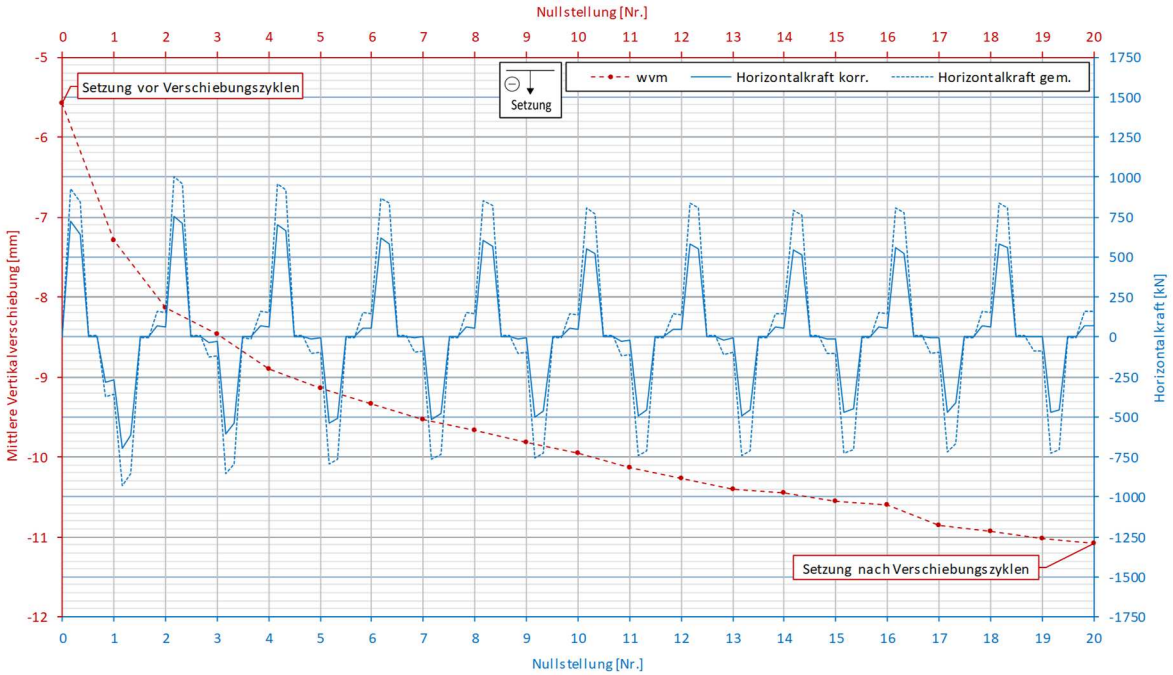


Abb. 5.25: Mittlere Pfahlkopfsetzung während der Horizontalverschiebungsphase beim Versuch B.HM

Es lässt sich ebenfalls ableiten, dass die erforderliche (gemessene) Horizontalkraft zur Erreichung der Soll-Verschiebung nach etwa 5 Zyklen einen Endwert erreicht hatte, der auf der einen Seite rund 800 bis 850 kN betrug und auf der anderen Seite mit knapp 750 kN annähernd gleichblieb.

Zeitverläufe der Längsverformungen

In den folgenden beiden Diagrammen sind die umgerechneten Messwerte der Längsverformungen dargestellt. Abb. 5.26 stellt die gemessenen Stauchungen gemäß Kettenextensometer dar. Zur Identifikation der Extensometer-Abschnitte (KEX 1 bis KEX 5) ist die Extensometerkonfiguration des Probepfahls B.HM zu betrachten (ANHANG A).

Dass sich infolge Vertikalbelastung der oberste Abschnitt (KEX 1) am meisten stauchte, ist naheliegend. Der Einfluss der Horizontalverschiebungen machte sich jedoch im nächsttieferen Abschnitt (KEX 2) noch deutlicher bemerkbar, während ab dem dritten Abschnitt (KEX 3) alle anderen Abschnitte vergleichweise wenig von der Horizontalbelastung beeinflusst wurden.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

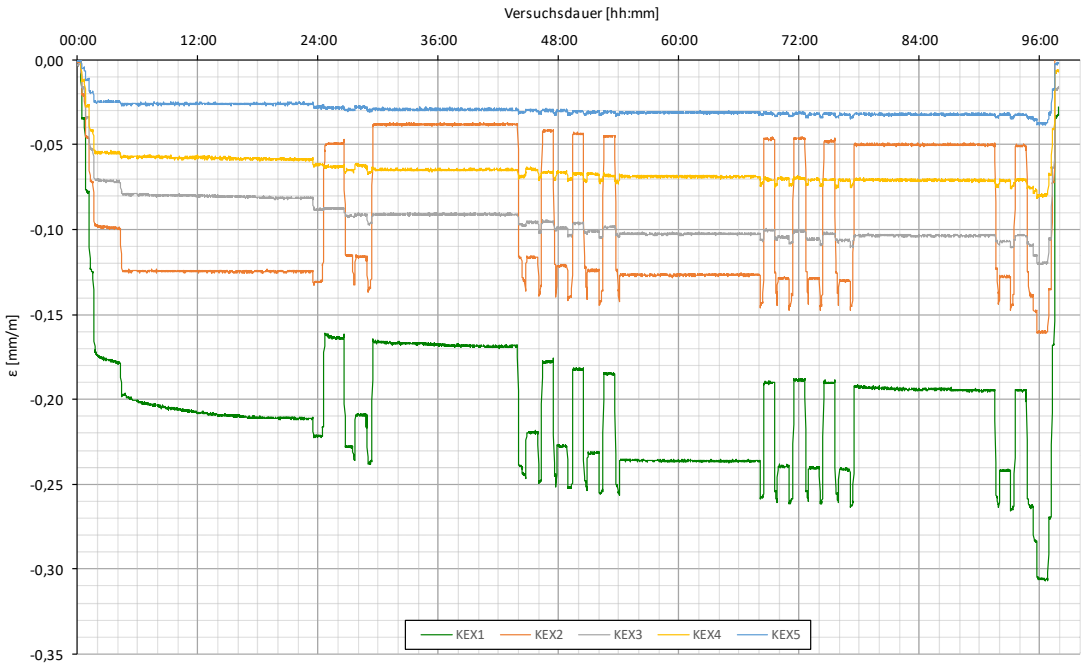


Abb. 5.26: Stauchungen lt. Kettenextensometer beim Versuch B.HM

Abb. 5.27 zeigt die Stauchungen der paarweise auf einem Messhorizont liegenden Bewehrungssensoren. Zur Identifikation ihrer Lage wird auf den Bewehrungsplan [52] verwiesen. Bei der vertikalen Laststeigerung zu Beginn fällt auf, dass der Bewehrungssensor BS1.1 (1. Horizont) eine geringere Stauchung erfuhr als der tieferliegende BS2.2 (2. Horizont). Wird der Mittelwert gebildet (wie es auch später für die Berechnung der Längskräfte gemacht wurde), ergibt sich wieder ein plausibles Größenverhältnis der Stauchungen verschiedener Messhorizonte, d.h. dass von oben nach unten die Stauchungen abnehmen.

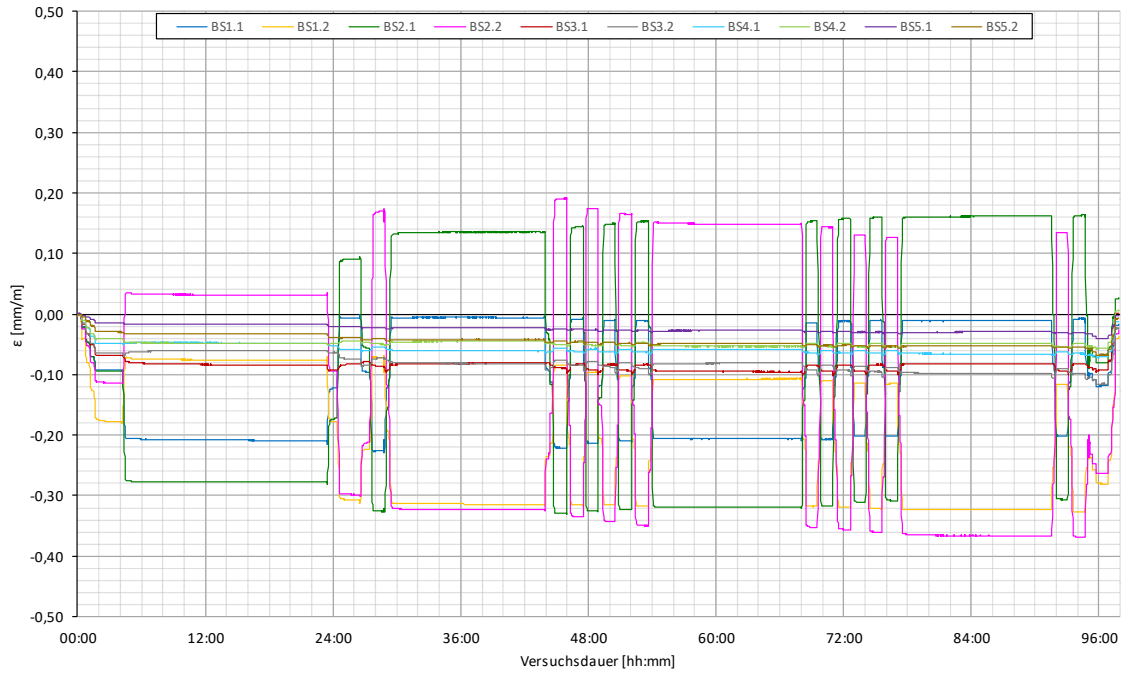


Abb. 5.27: Stauchungen und Dehnungen lt. Bewehrungssensoren beim Versuch B.HM

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Widerstands-Setzungslinie

Für den Versuch B.HM wurde eine Widerstands-Setzungslinie ausgewertet (Abb. 5.28), wobei sinnvollerweise nur die Vertikallaststufen (und keine horizontalen Zyklusstufen) betrachtet wurden. Die Laststufen LS 1 bis LS 11 entsprechen den dabei den Laststufen V-1-1 bis V-1-11. Die Zunahme der Pfahlkopfsetzung in der Horizontalverschiebungsphase ist deutlich zu erkennen. Danach verhält sich das Pfahl-Boden-System wieder steifer als vor der HV-Phase (zw. LS 6 und LS 7). Erst bei der Laststeigerung von LS 7 auf LS 8 nehmen die Setzungen wieder in etwa gleichem Maße zu wie vor der HV-Phase. Wegen der besonders guten Identifizierbarkeit werden die wichtigsten Punkte hier noch einmal genauer zusammengefasst:

- Setzung bei Axialkraft 4000 kN vor HV-Phase: 5,6 mm
- Setzung bei Axialkraft 4000 kN nach HV-Phase: 11,2 mm (Zunahme: 5,6 mm)
- Setzung bei Axialkraft 5000 kN (Maximallast): 13,1 mm
- Restsetzung nach axialer Entlastung (Vorlast): 8,9 mm

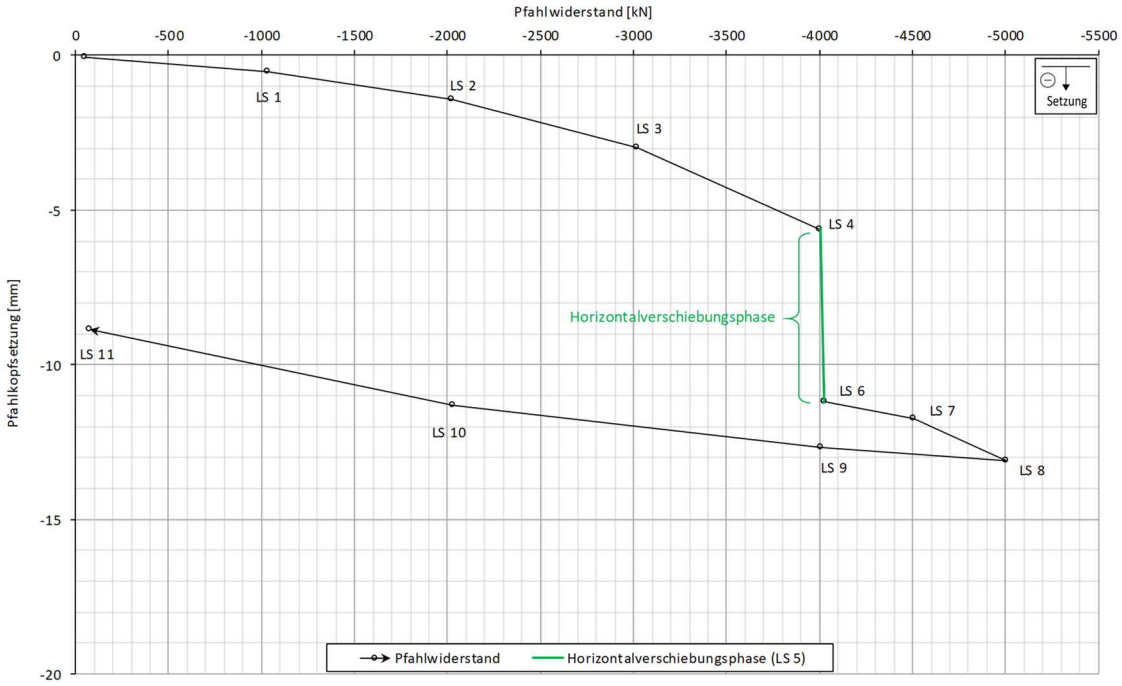


Abb. 5.28: Widerstands-Setzungslinie zufolge Vertikallast beim Versuch B.HM

Zeit-Verformungs-Verhalten

Wie Abb. 5.28 bereits zeigt, waren LS 1 bis LS 4 sowie LS 7 und LS 8 die Belastungsstufen des Versuchs B.HM. Für diese Laststufen wurde die sogenannte „Zeitverformung“ dargestellt, wie sie auch in der EA-Pfähle [13] angeführt wird. Sie stellt den Zusammenhang zwischen der Pfahlkopfsetzung und dem Logarithmus der Beobachtungszeit auf jeder Laststufe dar. Dabei zeigt zuerst Abb. 5.29 die absolute Zeitverformung, die aufgrund der Skalierung wenig aussagekräftig ist.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

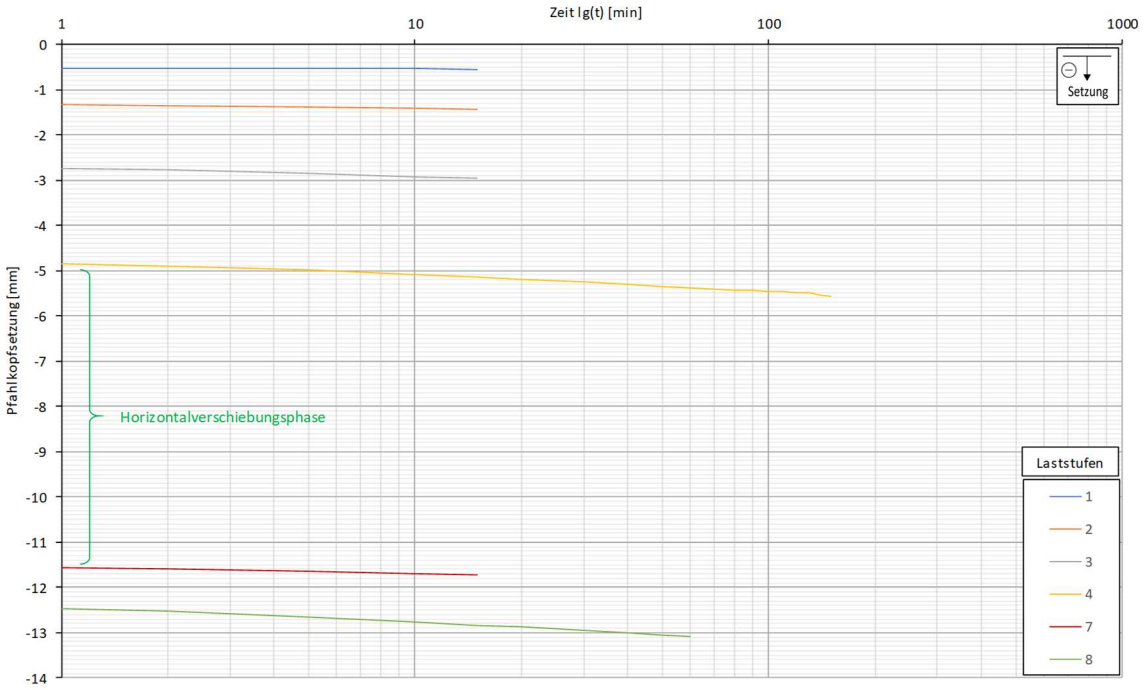


Abb. 5.29: Absolute Zeitverformung je vertikaler Erstbelastungsstufe beim Versuch B.HM

Bei der Abb. 5.30 handelt es sich nun prinzipiell um dasselbe Diagramm, jedoch wurden die einzelnen Linien auf den jeweiligen Wert zu Beginn der Laststufe normiert. Anhand der erhaltenen relativen Zeitverformung lässt sich unter geeigneter Wahl die Steigungsgerade (rot-strichlierte Linien) für die Kriechmaßbestimmung festlegen. Das Kriechmaß entspricht der Steigung der Tangente an die Zeitverformungslinie (vgl. Gleichung (3.81) bzw. Abb. 3.44).

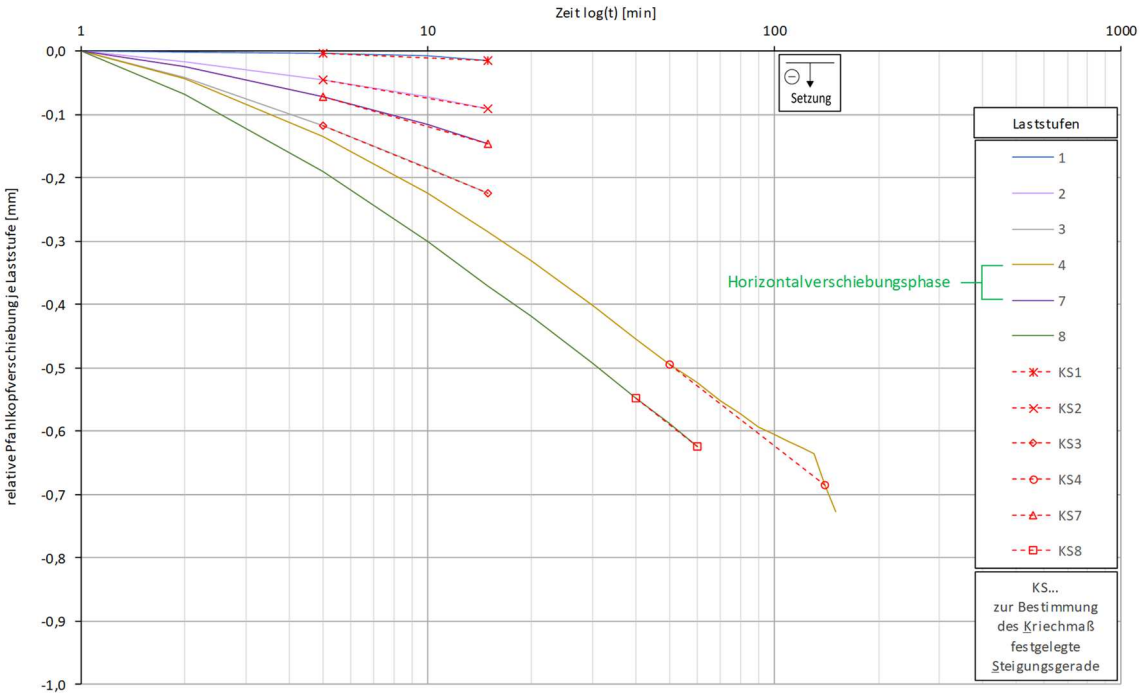


Abb. 5.30: Relative Zeitverformung je vertikaler Erstbelastungsstufe beim Versuch B.HM

Hier lässt sich erstmals erkennen, dass die Steigung der Gerade KS4 (vor HV-Phase) größer als jene der Gerade KS7 nach HV-Phase ist.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Widerstands-Kriechmaßlinie

In der *Excel*-Auswertung wurden die Kriechmaße der einzelnen Belastungsstufen errechnet und daraus die Widerstands-Kriechmaßlinie (Abb. 5.31) generiert. Sie verdeutlicht nun die zwischenzeitliche Abnahme des Kriechmaßes aufgrund der Horizontalverschiebungen besonders. Generell sind die Kriechmaße bei einem Maximum von 0,43 mm auf LS 8 als sehr gering zu bewerten. Vom Kriechmaß von 2 mm, das gemäß EA-Pfähle [13] oft für den Grenzzustand der Tragfähigkeit definiert wird, war der Probepfahl B.HM jedenfalls deutlich entfernt.

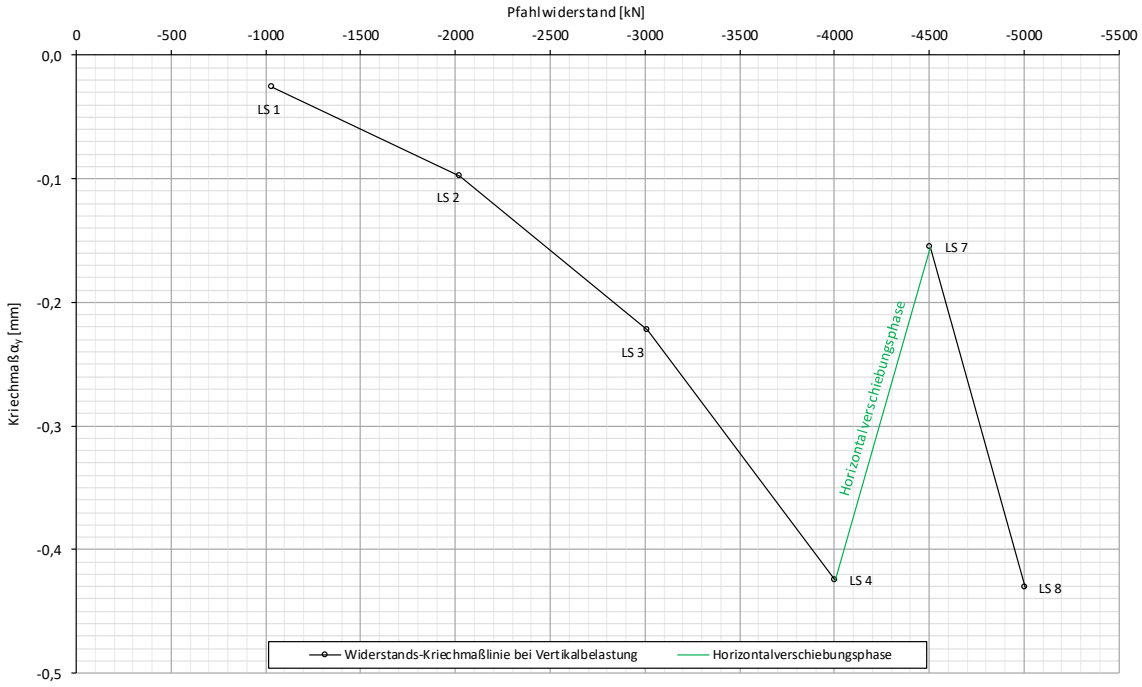


Abb. 5.31: Widerstands-Kriechmaßlinie je Vertikallaststufe beim Versuch B.HM

Stauchungen über die Pfahllänge

Die Stauchungen der Bewehrungssensoren und der Extensometerabschnitte wurden zu den Zeitpunkten am Ende jeder Belastungsstufe ausgelesen. Die zwei Werte der Bewehrungssensoren je Messhorizont wurden gemittelt und in Abb. 5.32 gemäß ihrer Tiefenlage im Pfahl punktuell eingetragen. Das Kettenextensometer registrierte die Stauchungen über den vorgegebenen Abschnitt, weswegen sie im Diagramm abschnittsweise konstant dargestellt sind.

Betrachtet man die Bewehrungssensoren (durchgezogene Linien), so fand mit steigender Last (Laststufen 1-BS bis 4-BS) eine Zunahme der Stauchung in jedem Messhorizont statt. Während der ersten Laststufe (1-BS) von 1000 kN wurde im Fußbereich des Pfahls (BS5) nahezu keine Dehnung gemessen. Dies bedeutet, dass bei dieser Last beinahe die gesamte Kraft noch über Mantelreibung in den oberen Abschnitten das Pfahlmantels abgetragen wurde und kein Pfahlfußwiderstand aktiviert wurde. Die mit steigender Last zunehmenden Stauchungen im untersten Messhorizont (BS5) deuten auf die allmähliche Aktivierung des Pfahlfußwiderstands hin.

Die Laststufe 6-BS (noch 4000 kN) zeigt den Dehnungsverlauf nach der Horizontalverschiebungsphase. Die Tatsache, dass die Steigung der obersten Verbindungslinie (BS1-BS2) zugenommen hat, deutet erwartungsgemäß auf eine Abnahme der Mantelreibung zufolge der Horizontalverschiebungsphase in diesem Bereich hin. Im darunterliegenden Bereich (BS2-BS3) zeigt die Linie bis zur letzten Laststufe 8-BS (5000 kN) einen flacheren Verlauf. Dies ist durch eine Umlagerung der Mantelwiderstände in tieferliegendere Abschnitte bedingt. Im Bereich BS4-BS5, der sich bereits im Miozän

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

befindet, ist in den höchsten Laststufen kein Zuwachs an Mantelreibung mehr erkennbar, da die Grenzmantelreibung offenbar bereits erreicht war.

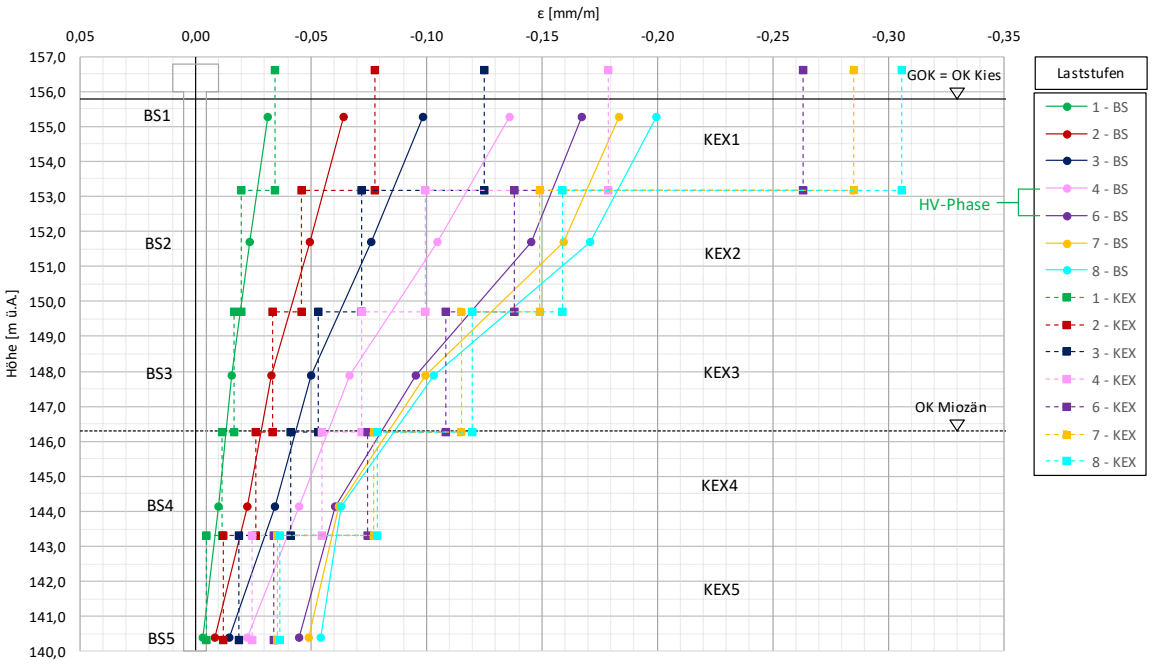


Abb. 5.32: Stauchungen über die Pfahllänge je Vertikallaststufe lt. KEX und BS beim Versuch B.HM

Die Messwerte je Extensometer-Abschnitt zeigen ein ähnliches Verformungsverhalten. Demnach nahmen die Stauchungen mit steigender Vertikallast in jedem Abschnitt zu. Auffällig hierbei ist die der deutliche Sprung der Stauchungen im obersten Abschnitt (KEX1) zwischen 4-BS (vor HV-Phase) und 6-BS (nach HV-Phase). In diesem Bereich scheint die Mantelreibung durch die Horizontalverschiebungen am stärksten herabgesetzt worden sein.

Eine analoge Darstellung der Stauchungen über die Pfahllänge erfolgte auch für Horizontalverschiebungsphase. Dabei wurden die Messwerte jeweils zu den Zeitpunkten der Weg-Nullstellung abgegriffen. Mit zunehmender Zyklenzahl wurden die Stauchungen infolge Vertikallast sowohl in den Messhorizonten der Bewehrungssensoren als auch in den Messabschnitten des Kettenextensometers größer. Während zwischen den ersten drei bis vier Nullstellungen die Stauchung noch deutlicher zunahm, reduzierte sich dieser Effekt mit steigender Zyklenzahl deutlich (deswegen liegen die Linien gegen Ende der HV-Phase teilweise übereinander).

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

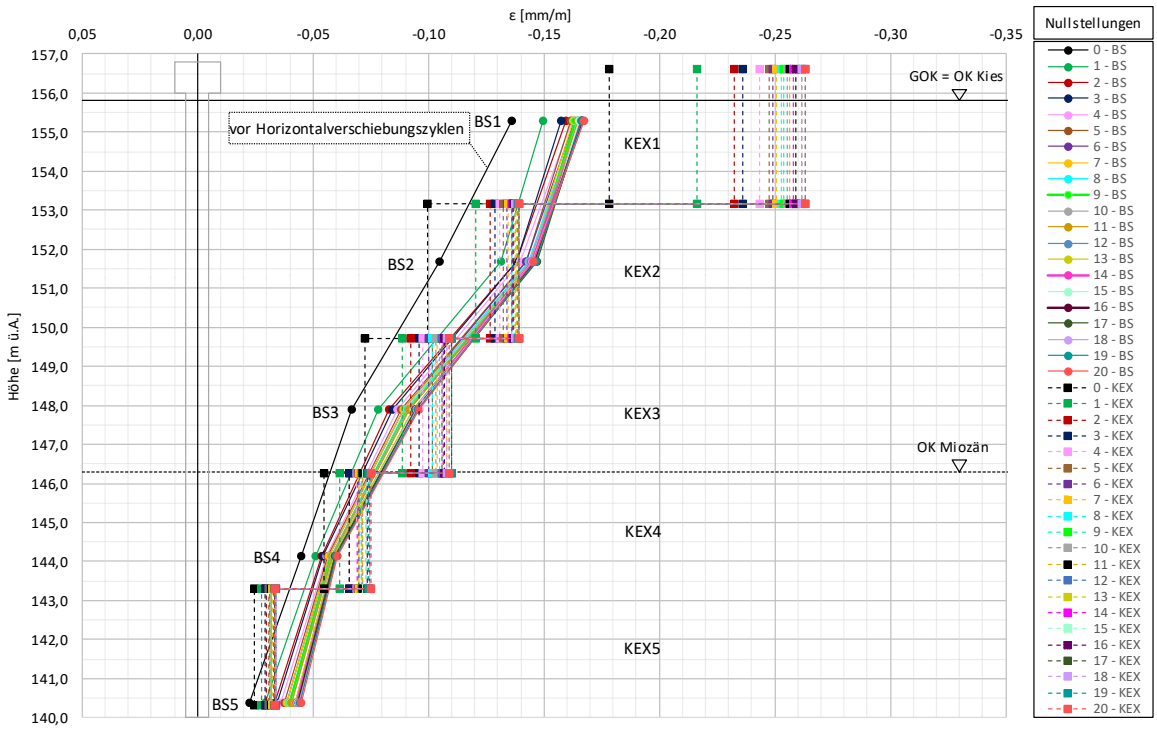


Abb. 5.33: Stauchungen über die Pfahllänge je Weg-Nullstellung lt. KEX und BS beim Versuch B.HM

Längskraftverläufe

Aus dem Mittelwert der von den Bewehrungssensoren gemessenen Längsdehnungen wurden mit Gleichung (5.11) die Längskräfte in den Messhorizonten berechnet und in Abb. 5.34 dargestellt.

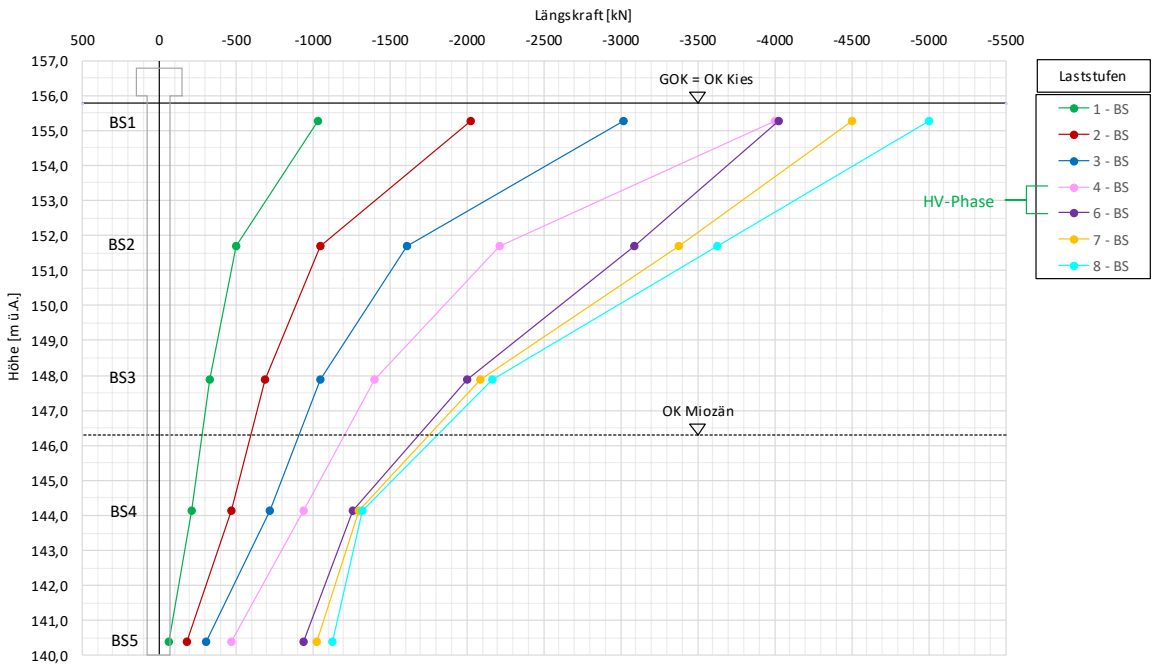


Abb. 5.34: Längskraftverlauf je Vertikallastufe lt. Bewehrungssensoren beim Versuch B.HM

Dabei wurde im obersten Horizont der dort für die mantelreibungsfreie Strecke errechnete E-Modul herangezogen. Naturgemäß entspricht somit die errechnete Kraft in diesem Abschnitt der eingeleiteten Vertikalkraft. Für alle anderen Horizonte wurde vorerst der E-Modul von 34 kN/mm² gemäß [75]

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

angesetzt. Eine Detailauswertung der E-Moduli des Pfahlbetons (nichtlineares Verhalten, Erhärtungsbedingungen) erfolgt in einer späteren Projektphase und ist daher nicht Gegenstand dieser Diplomarbeit. Anzumerken ist jedoch, dass der Einfluss des E-Moduls auf die rechnerische Auswertung der Pfahlkräfte und somit auch der Mantelreibungen essentiell ist und durch diese vorläufige Vorgangweise die Längskraft in diesen Horizonten entweder über- oder unterschätzt wird. Deren Verlauf sollte daher lediglich für eine qualitative Aussage herangezogen werden. Die Längskraftverläufe, die sich aus den Dehnungen gemäß Kettenextensometer ergeben würden, sind nicht dargestellt, da eine Berechnung des E-Moduls aufgrund der abschnittsweisen Dehnungen nicht analog zu den Bewehrungssensoren erfolgen konnte.

Nichtsdestotroz ist zumindest eine (qualitative) Aussage möglich: Je weiter die Linie nach rechts wandert, desto mehr Längskraft kommt am Pfahlfuß an. Die Längskraft im untersten Horizont (BS5) entspricht also im Wesentlichen der Pfahlfußwiderstandskraft.

Mantelreibungsverlauf

Eine Ableitung des Mantelreibungsverlaufs aus den Längskräften ist aufgrund der Kenntnisdefizite hinsichtlich der Last- sowie Tiefenabhängigkeit des E-Moduls derzeit noch nicht zweckmäßig. Aus diesem Grund wird hinsichtlich Mantelreibungverteilung auf zukünftige Untersuchungen verwiesen.

P-y-Kurven auf Höhe des Pfahlkopfes

Das folgende Diagramm in Abb. 5.35 stellt den Zusammenhang zwischen der (gemessenen) Horizontalkraft und der zugehörigen horizontalen Pfahlkopfverschiebung ($w_{h,m}$) dar. Im Prinzinp handelt es sich um die *P*-*y*-Kurven (*P*…Horizontalkraft, *y*…Horizontalverschiebung) auf Höhe des Pfahlkopfes. Die Trennung für die Darstellung der einzelnen Verschiebungen (abwechselnd durchgezongene und strichlierte Linien) erfolgte dabei an den Wegnullstellungen, wo sich das Vorzeichen der Verschiebung änderte.

Beim Versuch B.HM erfolgte die 1. Verschiebung ab Versuchsbeginn definitionsgemäß in positive Richtung (grün-durchgezogene Linie), die bekanntlich noch nicht die Soll-Verschiebung von 20 mm erreichte. Dieser Verlauf bestätigt den Anschein, als wäre dafür eine Spannkraft von deutlich mehr als 1000 kN nötig gewesen. Nach dem Erreichen der maximalen Kraft P_{max} (+) folgte die Beobachtungszeit, in der die Kraft etwas abfiel. Die Spitzen am Ende jeder Verschiebung zeigen das kurze Wiederanspannen, das zur Lockerung der GEWI-Mutter erforderlich war, ehe bis zur kraftlosen Stellung entlastet wurde. Die bleibende Horizontalverschiebung im horizontal kraftlosen Zustand zeigt weiterhin eine Auslenkung in positiver Richtung. Danach erfolgt der Wechsel auf die gegenüberliegende Presse, mit der der Pfahlkopf anschließend in die 1. Weg-Nullstellung gebracht wurde. Nach kurzem Anhalten und Dokumentation der Nullstellung folgte die zweite Verschiebung (grün-strichlierte Linie) nach gleichem Schema.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

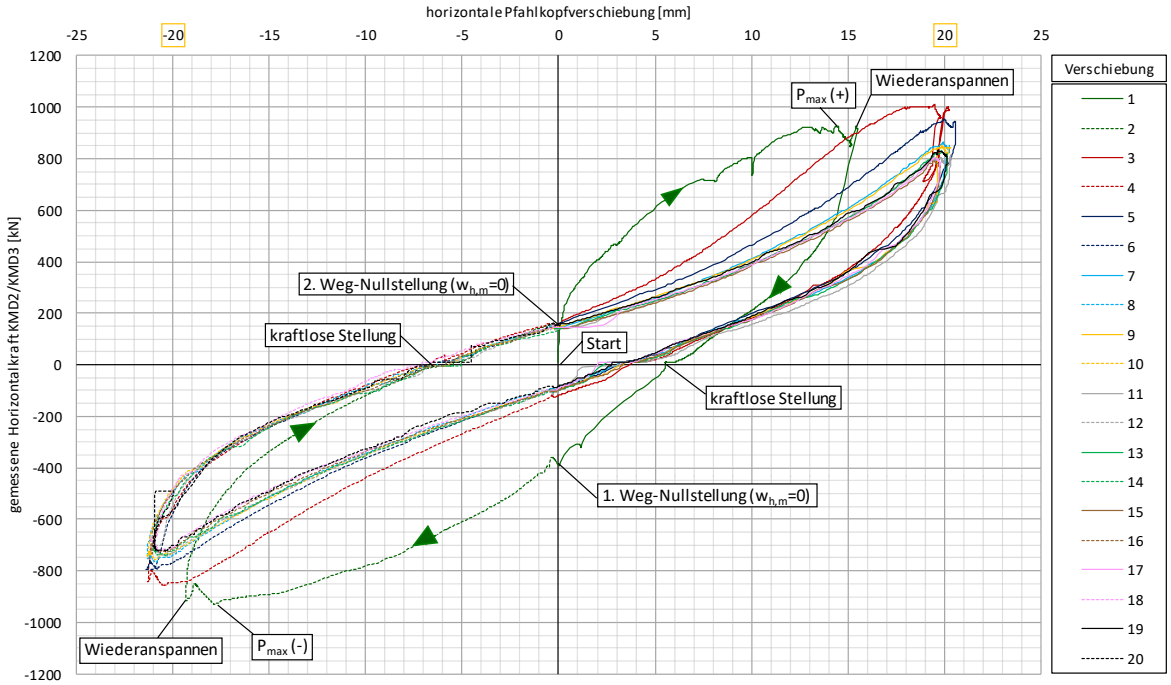


Abb. 5.35: Kraft-Verschiebungslinien („*P-y*-Kurven“) der 20 Verschiebungen beim Versuch B.HM

Bemerkenswert ist auch der überlineare Verlauf der jeweils ersten Verschiebung je Richtung. Ab der zweiten Verschiebung je Richtung (Verschiebung 3) stieg die Horizontalkraft dann bereits nur mehr unterlinear an. Mit steigender Verschiebungsanzahl sind hier wiederum die Verminderung der erforderlichen Horizontalkraft sowie der Wert, bei dem diese dann mehr oder weniger gleichblieb, gut erkennbar.

Biegelinien

Zuerst werden nun die Biegelinien der einzelnen Zyklusstufen (1-6) betrachtet (Abb. 5.36). Am Beispiel des 1. Zyklus wird der Zyklusablauf noch einmal verdeutlicht. Die durchgezogene Linie ist dabei jeweils die Biegelinie am Anfang (A) der Zyklusstufe – die strichlierte Linie die Biegelinie am Ende (E) der Zyklusstufe nach einer Beobachtungsphase von 60 Minuten. Letztere stellt somit die Verformungen des Pfahlschaftes zufolge Relaxation dar. Die Inklinometermesswerte wurden dabei auf die Verformungen zufolge Vertikalbelastung zum Zeitpunkt V-1-4-E normiert. Nach chronologischer Reihenfolge wurde zuerst die 1. Verschiebung eingeprägt (grün-durchgezogene Linie). Die Durchbiegung nahm anschließend bis zum Ende der Zyklusstufe zu (grün-strichlierte Linie). Nach der Entlastung (blau-durchgezogenen Linie) ging der Pfahl noch ein wenig nach (blau-strichlierte Linie). Die graue Linie zeigt die Biegelinie in der darauffolgenden Weg-Nullstellung. Danach erfolgte die 2. Verschiebung bzw. 4. Zyklusstufe in die entgegengesetzte Richtung (gelb-durchgezogene Linie). Wiederum wuchs die Durchbiegung innerhalb der Beobachtungszeit (gelb-strichlierte Linie). Nach der anschließenden Entlastung (rot-durchgezogene Linie) ging der Pfahl erneut ein wenig nach (rot-strichlierte Linie), ehe der Pfahl in die 2. Nullstellung gebracht wurde (violette Linie).

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

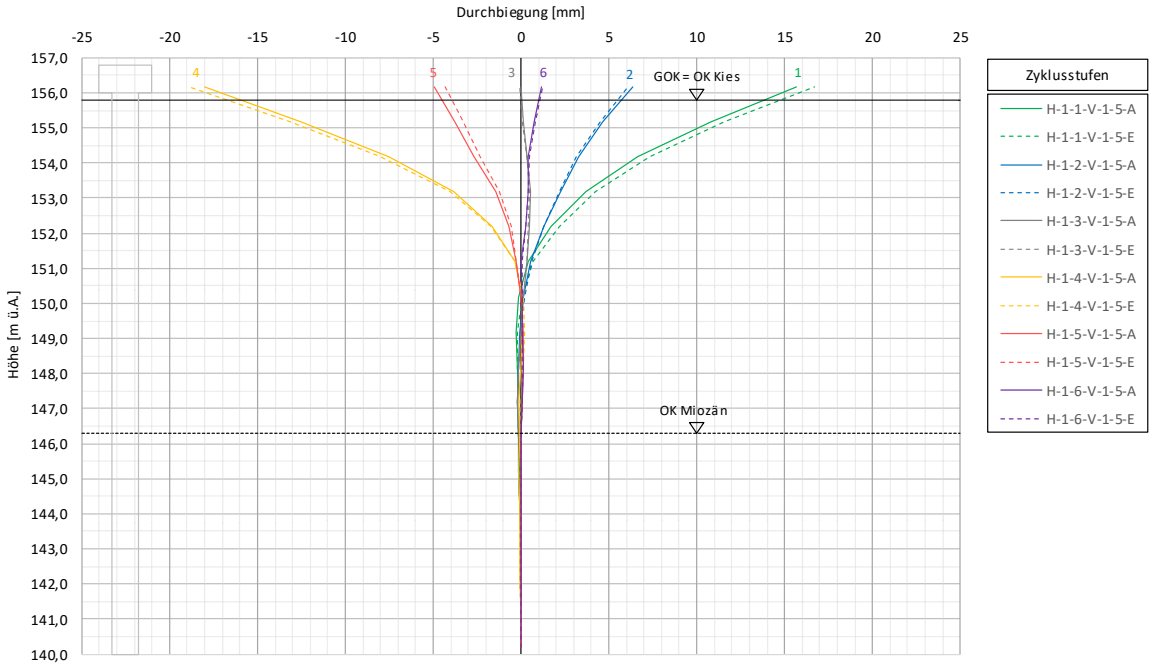


Abb. 5.36: Biegelinie am Anfang und Ende der 6 Zyklusstufen im 1. Zyklus beim Versuch B.HM

In der Abb. 5.37 sind nun die Biegelinien aller 20 Verschiebungen jeweils zum Ende der Zyklusstufe dargestellt. Die Tatsache, dass demnach so gut wie keine Verformungen im Bereich des Pfahlfuß auftraten, rechtfertigt die Aufsummierung der einzelnen Messwerte der Inklinometersonden von unten nach oben. Die einzelnen Biegeformen ähneln sich so stark, dass einige Linien trotz der großmaßstäblichen Darstellung übereinander liegen. Unterhalb der OK Miozän scheint es nahezu keine Verformungen gegeben zu haben. Zur genaueren Betrachtung dient der in Abb. 5.38 dargestellte Detailausschnitt.

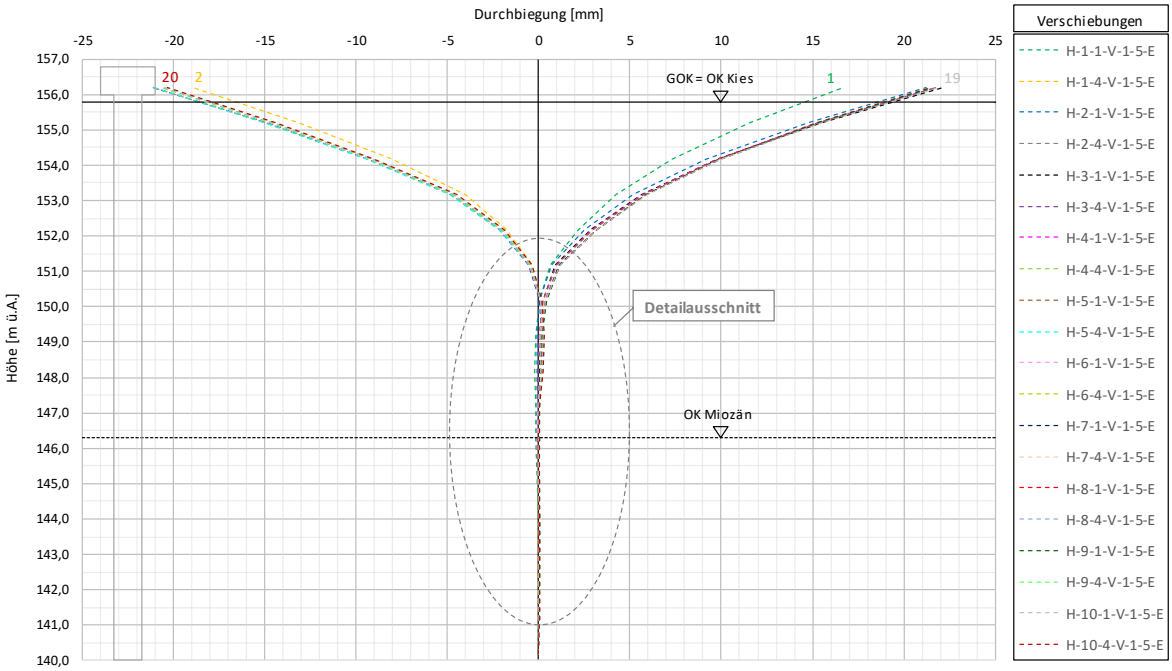


Abb. 5.37: Biegelinien am Ende aller 20 Verschiebungen beim Versuch B.HM

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die folgende Abbildung ermöglicht eine genauere Betrachtung der Biegeform im Bereich der Schichtgrenze. Während die nach rechts verlaufenden Biegelinien eher eine einfache S-Form aufweisen, erkennt man bei den nach links verlaufenden Biegelinien eine Doppel-S-Form.

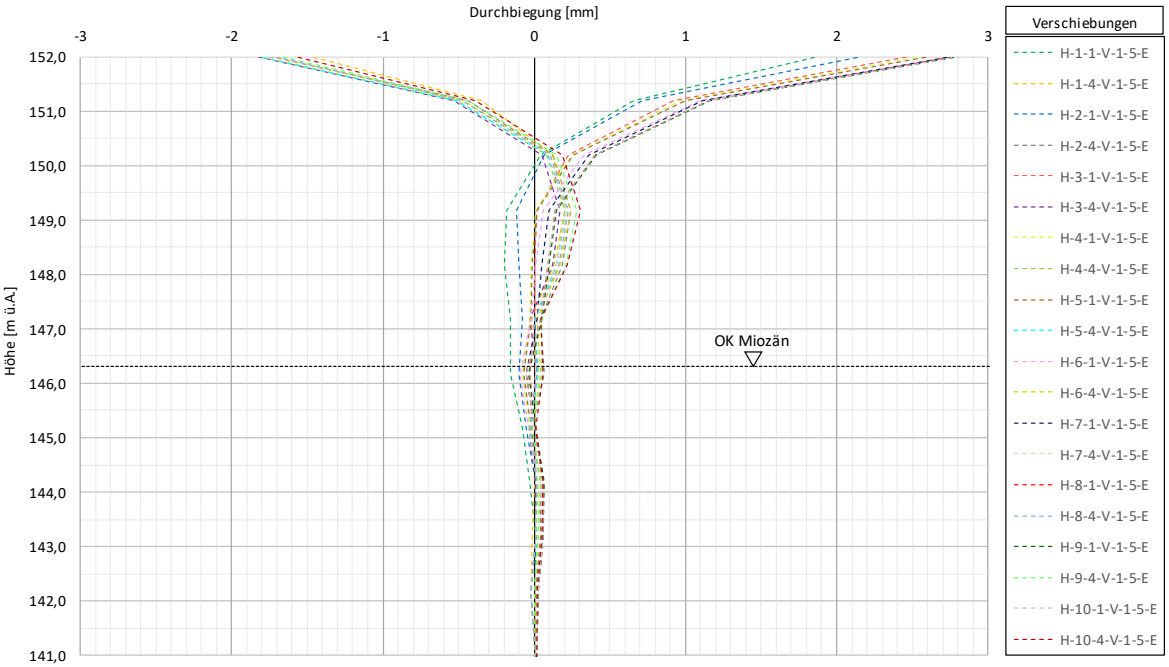


Abb. 5.38: Detailausschnitt aus Abb. 5.37

5.2.4.3 Ermittlung des Bettungsverlaufs

Mithilfe des Stabwerkprogramms *RStab* (Fa. *Dlubal*) wurde eine iterative Ermittlung des Bettungsverlaufs durchgeführt. Dies erfolgte für eine gemessene Biegelinie (Verschiebung 19) am Ende des Horizontalverschiebeversuchs (Zyklus 10). Diese Verschiebung 19 stellt folglich die letzte Auslenkung in positive Richtung der horizontalen Wegaufnehmer dar ($W_H{}^{+}{}_{1,2}$) bzw. der Inklinometermesswerte am Ende der Beobachtungszeit dar. Demnach handelt es sich um die Zyklusstufe H-10-1-V-1-5-E.

Die grundsätzliche Vorgangsweise beinhaltete folgende Schritte:

- Modellierung des Probepfahls B.HM
- Ansetzen von Stabbettungen C [kN/m² = kN/m/m] (Annahme)
- Ansetzen der Horizontalkraft H
- Berechnung des Systems und Vergleich der berechneten Knotenverschiebungen mit den Inklinometermessungen
- Anpassung der Stabbettungen bis zur möglichst guten Übereinstimmung (auf ganze mm gerundet)

Anmerkung: Die Vertikallast wurde bei der Nachrechnung vernachlässigt, da ohnehin nach Theorie I. Ordnung gerechnet wurde. Somit wurde ausschließlich die horizontale Pfahlbeanspruchung betrachtet. Das Pfahl-Eigengewicht wurde somit ebenfalls vernachlässigt.

Der Pfahl wurde mit einem kreisrunden Querschnitt mit einem Durchmesser von 900 mm modelliert. Die Betongüte wurde mit C25/30 festgelegt, jedoch mit dem im Zuge des Forschungsprojekts ermittelten E-Modul von 34 kN/mm² (statt $E_{C25/30}$ = 31 kN/mm² nach EC 2) definiert. Weiters wurden weder die Lasten noch die Materialkennwerte mit Teilsicherheitsbeiwerten belegt (γ = 1,0).

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die Nachrechung erfolgte jeweils für den gemessenen Wert (gem.) und für den hinsichtlich Lagerreibung und Rückstellkraft korrigierten Wert (korr.) der Horizontalkraft. Die Modellbildung für den Pfahl ist in Abb. 5.39 dargestellt. Dabei wurden die Stablängen (analog zu den Inklinometer-Messabschnitten) mit 1,00 m gewählt. Die Stabknoten entsprechen in ihrer Lage somit den Inklinometer-Messpunkten. Dadurch konnten die zu erzielenden Inklinometermesswerte einfach als jeweilige Knotenverformung abgelesen werden. In der Abbildung ist auch ein „Modellierungsbereich“ gekennzeichnet. Dies soll verdeutlichen, dass die schlussendlich erhaltenen Stabbettungen bzw. Bettungsmoduln lediglich in diesem Bereich plausible Werte darstellen. Im darunterliegenden „Bereich sehr kleiner Verschiebungen“ mussten die Stabbettungen zur Nachmodellierung der gemessenen Verformungen in einer unplausiblen Größe gewählt werden. Dies ist auf die zunehmende Ungenauigkeit der verschiebungsabhängigen Bettungen mit abnehmenden Verformungswerten zurückzuführen. Demnach sollte für weitere Ableitungen aus den nachfolgend angeführten Ergebnissen lediglich die Werte des Modellierungsbereichs herangezogen werden. Zur Verdeutlichung wurden in Abb. 5.39 die gemessenen Biegelinien nebenan dargestellt. Demnach traten größere Verformungen erst ab etwa 148 m ü. A. (ungefähr auf Höhe des Knotens #8) auf.

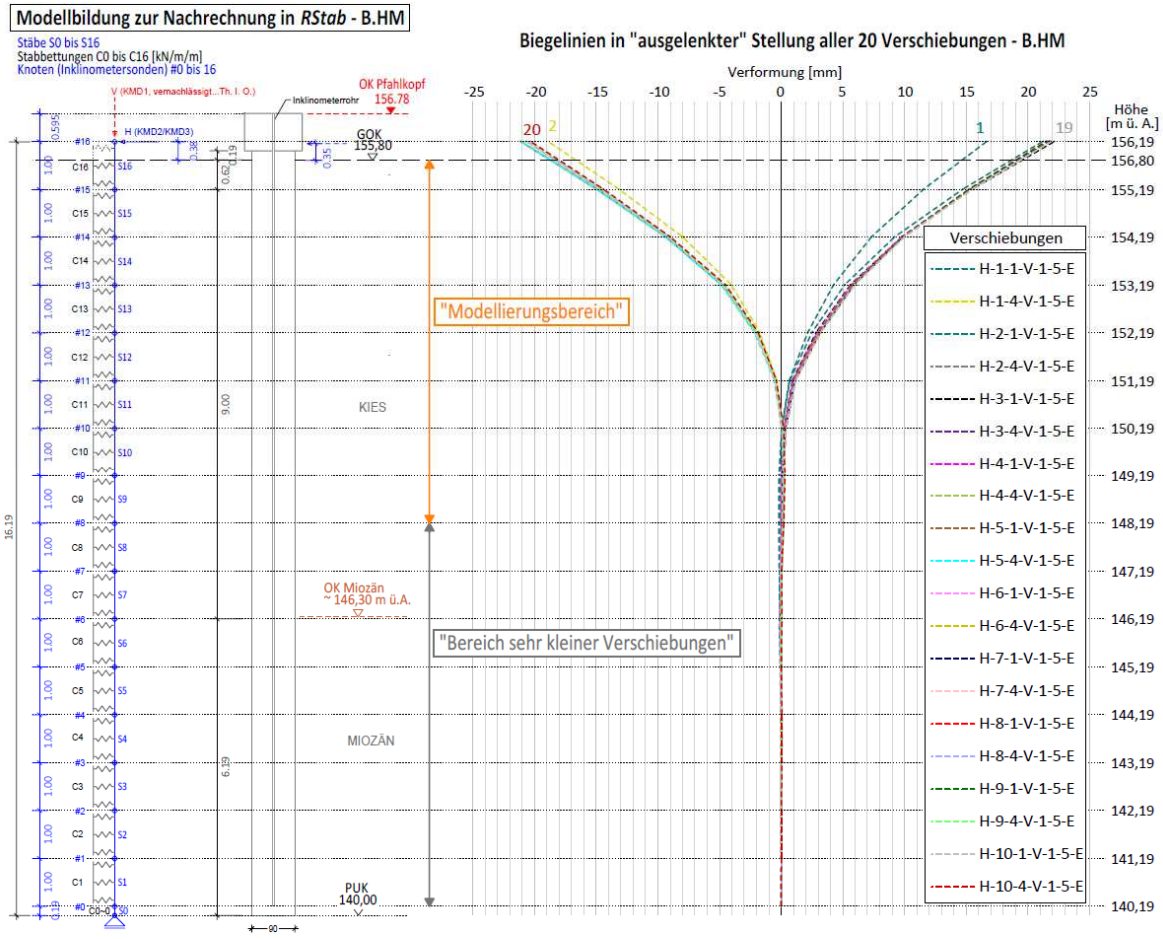


Abb. 5.39: Modellbildung zur Nachrechnung des Pfahls B.HM in *RStab*

Der Verlauf der Stabbettung C entspricht qualitativ jenem des Bettungsmoduls. Dies wird anhand von Abb. 5.40 und folgenden Umformungen deutlich:

$$C = \left[kN/m_{(y)}/m_{(Pfahl)}\right] = [kN/m^2\,] \tag{5.12}$$

Mit der mittleren (horizontalen) Knoten-Verschiebung y_m ergibt sich die Bettungskraft pro Meter Pfahl zu:

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.

$$P_h = C \cdot y_m = \left[kN/m_{(y)}/m_{(Pfahl)}\right] \cdot \left[m_{(y)}\right] = [kN/m] \tag{5.13}$$

Die Bettungsspannung p_h ist dann die Bettungskraft P_h bezogen auf den Pfahldurchmesser D:

$$\sigma_h = \frac{P_h}{D} = [kN/m^2] \tag{5.14}$$

Aus der Definition des Bettungsmoduls k_{tr} folgt

$$k_{tr} = \frac{\sigma_h}{y_m} = \frac{P_h}{D \cdot y_m} = \frac{C \cdot y_m}{D \cdot y_m} = \frac{C}{D} = [kN/m^3] \tag{5.15}$$

Somit ist der jeweilige Bettungsmodul nichts anderes als die auf den Pfahldurchmesser bezogene Stabbettung.

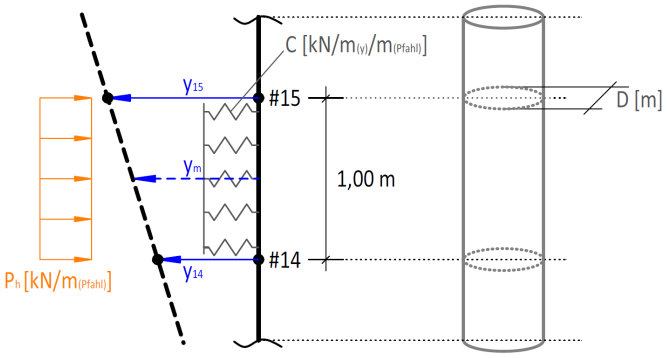


Abb. 5.40: Erläuterungsskizze zur Stabbettung

Eine tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse sowie Bettungsverläufe der *RStab*-Berechnung ist für den Fall der gemessenen Horizontalkraft in Abb. 5.42 ersichtlich. Bei der iterativen Berechnung wurde für eine 1. Annahme ein linearer Verlauf der Stabbettungen angenommen. Dieser wurde in weiterer Folge solange angepasst, bis die errechneten Knoten-Verformungen den gemessenen Werten laut Inklinometer möglichst gut (mm-Genauigkeit) entsprachen. Die erhaltenen Verläufe der Verformungen und Schnittgrößen zeigt Abb. 5.43.

Die ermittelten Bettungsverläufe weichen sowohl für die obere Grenze (810 kN) als auch für die untere Grenze (557 kN) nur geringfügig von der linearen, ersten Annahme ab. In Abb. 5.41 sind einen Vergleich die gewählten Stabbettungen des Modellierbereichs herausgegriffen (hier: lineare Verbindung der Stabmitten statt stabweise konstanter Darstellung). Demnach ergab sich für die obere Grenze (810 kN) im oberen Bereich eine höhere Bettung, während sich dies im unteren Bereich genau umgekehrt darstellte.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Stab	C [kN/m/m] H = 810 kN	C [kN/m/m] H = 557 kN
16	2600	1000
15	34000	7000
14	45000	45000
13	58000	57000
12	70000	62000
11	80000	110000
10	110000	150000
9	170000	190000
8	200000	200000
Ausschnitt "Modellierungsbereich"		

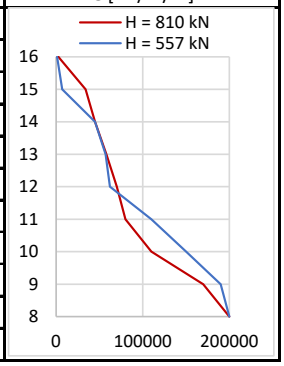


Abb. 5.41: Vergleich der oberen und unteren Grenze

Für eine weitere Interpretationsmöglichkeit (außerhalb der vorliegenden Arbeit) wurde die Stabbettung in Anlehnung an die diesbezüglichen Möglichkeiten der ÖNORM B 1997-1-3 auf den 1-, 2- und 3-fachen Pfahldurchmesser bezogen und somit eine Bandbreite für den Fall einer Spannungsausbreitung im Boden erhalten (vgl. Abschnitt 3.8.4.2). Dies verdeutlicht den Ermessensspielraum in der Frage, auf welche Breite sich der Bettungswiderstand ausbreitet. Eine grafische Gegenüberstellung dieser drei Bettungsverläufe wurde schließlich in Abb. 5.46 dargestellt.

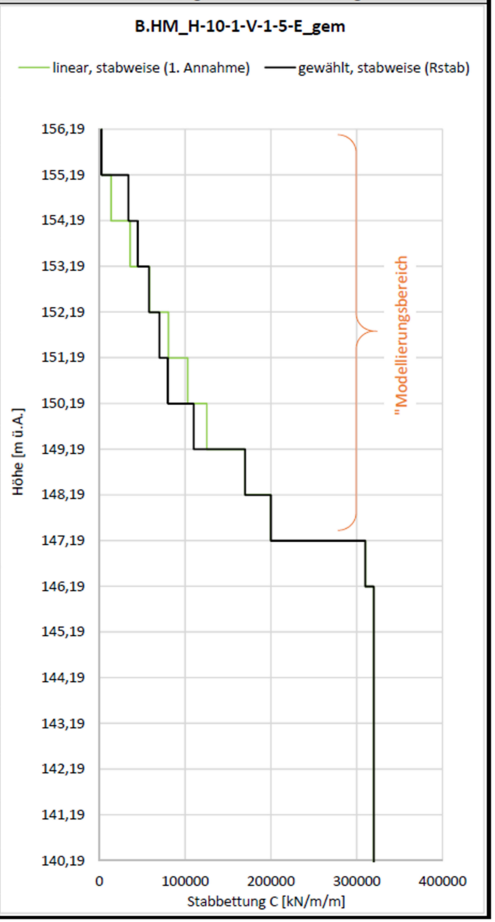
Bei der Festlegung der Breite des Spannungsausbreitungsbereichs muss die sich daraus ergebende Bettungspannung jedenfalls mit dem passiven (im Bedarfsfall auch räumlichen passiven) Erddruck begrenzt sein.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Abb. 5.42: Ergebnisse der Nachrechnung mit der gemessenen Horizontalkraft (H_{KMD} = 810 kN)

Grenzwertbetrachtung:								Horizontalkraft an Belastungseinrichtung gemessen (obere Grenze)									
				Kies	Startwert	Datei: B.HM_H-10-1-V-1-5-E_gem		H=810 kN (gemessen)				(P_v = -4059 kN)				Verlauf der gewählten Stabbettungen	
Bettungsermittlung				Miozän	Max. Kies	Stabbettung		Bettungsmodul k_{tr} = C/b				Knoten-Verschiebung		Schnittgrößen			
Probepfahl B.HM				ca. OK Miozän	konst. Wert Miozän	linear	RStab	aus Rstab-Werten berechnet				Inklinometer	RStab				
					Übergangsbereich	1. Annahme	gewählt	b = 1·D	b = 2·D	b = 3·D		gemessen	berechnet (in Klammer Max./Min.)				
	Sensor = Knoten	Tiefe [m u. GOK]	Stab Nr	Stab OK/UK	Höhe [m ü.A.]	Länge [m]	mittlere Höhe [m]	C [kN/m²]	C [kN/m²]	k_{tr} [kN/m³]	k_{tr} [kN/m³]	k_{tr} [kN/m³]	y [mm]	y [mm]	V_z [kN]	M_y [kNm]	
"Modellierungsbereich"	#16	-0,38	16	OK	156,19	1,00	155,69	2600	2600	2889	1444	963	21,92	21,92	810 (810)	0	
		0,62		UK	155,19			2600	2600	2889	1444	963					
	#15	0,62	15	OK	155,19	1,00	154,69	13729	34000	37778	18889	12593	15,52	15,55	761	-784	
	#14	1,62		UK	154,19			13729	34000	37778	18889	12593	10,00	9,91	332	-1315	
		1,62	14	OK	154,19	1,00	153,69	36054	45000	50000	25000	16667					
	#13	2,62		UK	153,19			36054	45000	50000	25000	16667	5,96	5,49	-10	-1459 (max.)	
		2,62	13	OK	153,19	1,00	152,69	58378	58000	64444	32222	21481					
	#12	3,62		UK	152,19			58378	58000	64444	32222	21481	3,19	2,43	-233	-1323	
		3,62	12	OK	152,19	1,00	151,69	80703	70000	77778	38889	25926					
	#11	4,62		UK	151,19			80703	70000	77778	38889	25926	1,15	0,59	-333	-1029	
		4,62	11	OK	151,19	1,00	150,69	103027	80000	88889	44444	29630					
	#10	5,62		UK	150,19			103027	80000	88889	44444	29630	0,40	-0,31	-339 (-345)	-687	
		5,62	10	OK	150,19	1,00	149,69	125351	110000	122222	61111	40741					
	#9	6,62		UK	149,19			125351	110000	122222	61111	40741	0,14	-0,59	-285	-373	
		6,62	9	OK	149,19	1,00	148,69	170000	170000	188889	94444	62963					
	#8	7,62		UK	148,19			170000	170000	188889	94444	62963	0,09	-0,52	-188	-138	
		7,62	8	OK	148,19	1,00	147,69	200000	200000	222222	111111	74074					
	#7	8,62		UK	147,19			200000	200000	222222	111111	74074	0,04	-0,34	-100	3	
		8,62	7	OK	147,19	1,00	146,69	310000	310000	344444	172222	114815					
"Bereich sehr kleiner Verschiebungen"	#6	9,62		UK	146,19			310000	310000	344444	172222	114815	-0,05	-0,17	-21	59	
		9,62	6	OK	146,19	1,00	145,69	320000	320000	355556	177778	118519					
	#5	10,62		UK	145,19			320000	320000	355556	177778	118519	0,00	-0,06	13	60 (64)	
		10,62	5	OK	145,19	1,00	144,69	320000	320000	355556	177778	118519					
	#4	11,62		UK	144,19			320000	320000	355556	177778	118519	0,06	0,00	21	41	
		11,62	4	OK	144,19	1,00	143,69	320000	320000	355556	177778	118519					
	#3	12,62		UK	143,19			320000	320000	355556	177778	118519	0,06	0,02	17	22	
		12,62	3	OK	143,19	1,00	142,69	320000	320000	355556	177778	118519					
	#2	13,62		UK	142,19			320000	320000	355556	177778	118519	0,03	0,02	10	8	
		13,62	2	OK	142,19	1,00	141,69	320000	320000	355556	177778	118519					
	#1	14,62		UK	141,19			320000	320000	355556	177778	118519	0,02	0,02	4	2	
		14,62	1	OK	141,19	1,00	140,69	320000	320000	355556	177778	118519					
	#0 (#17)	15,62		UK	140,19			320000	320000	355556	177778	118519	0,00	0,01	0	0	
		15,62	17	OK	140,19	0,19	140,09	320000	320000	355556	177778	118519					
	#18	15,80		UK	140,00			320000	320000	355556	177778	118519	.	.	.	.	



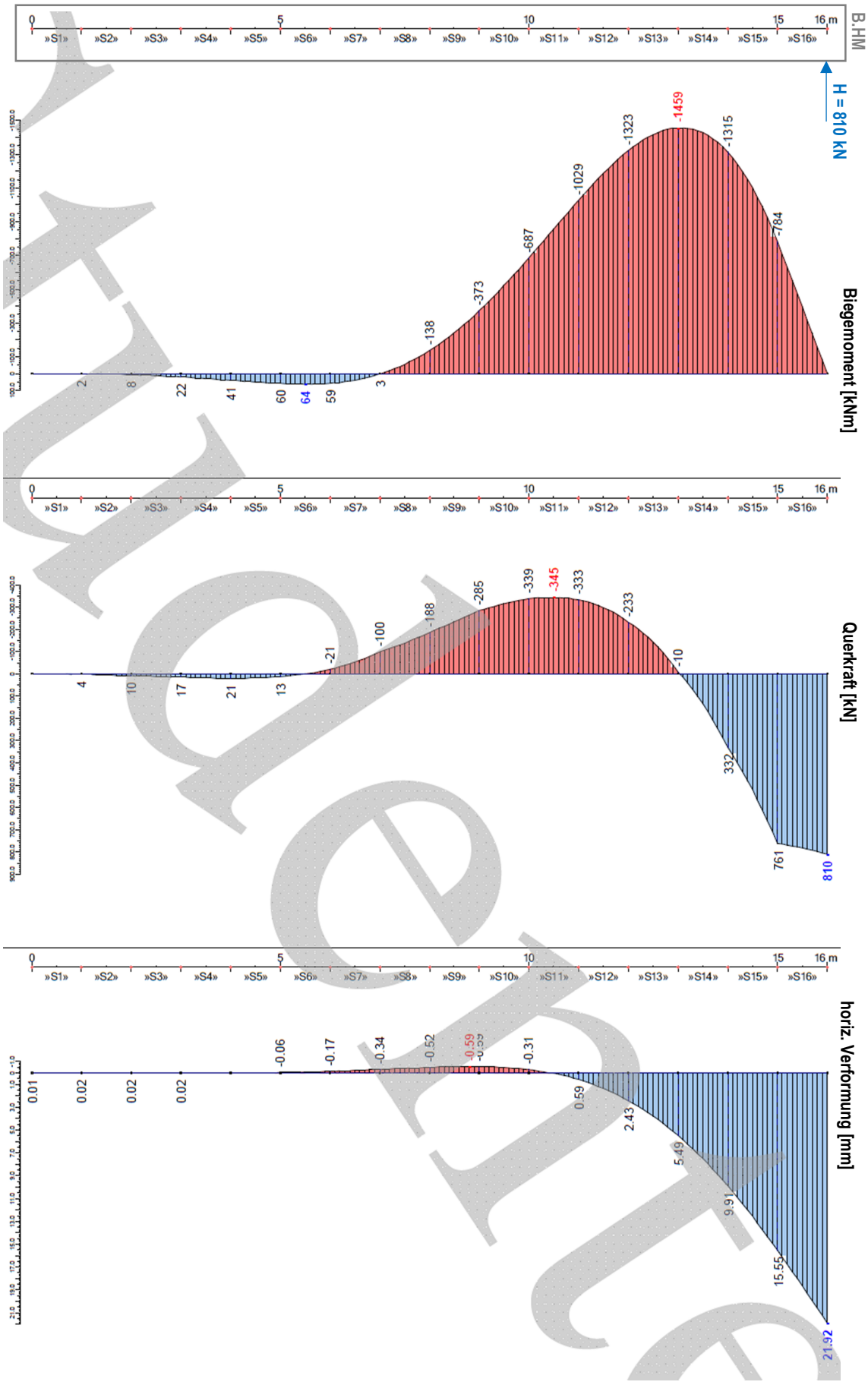


Abb. 5.43: Verlauf von Biegemoment, Querkraft und horizontaler Verformung aus *RStab* (H_{KMD} = 810 kN)

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

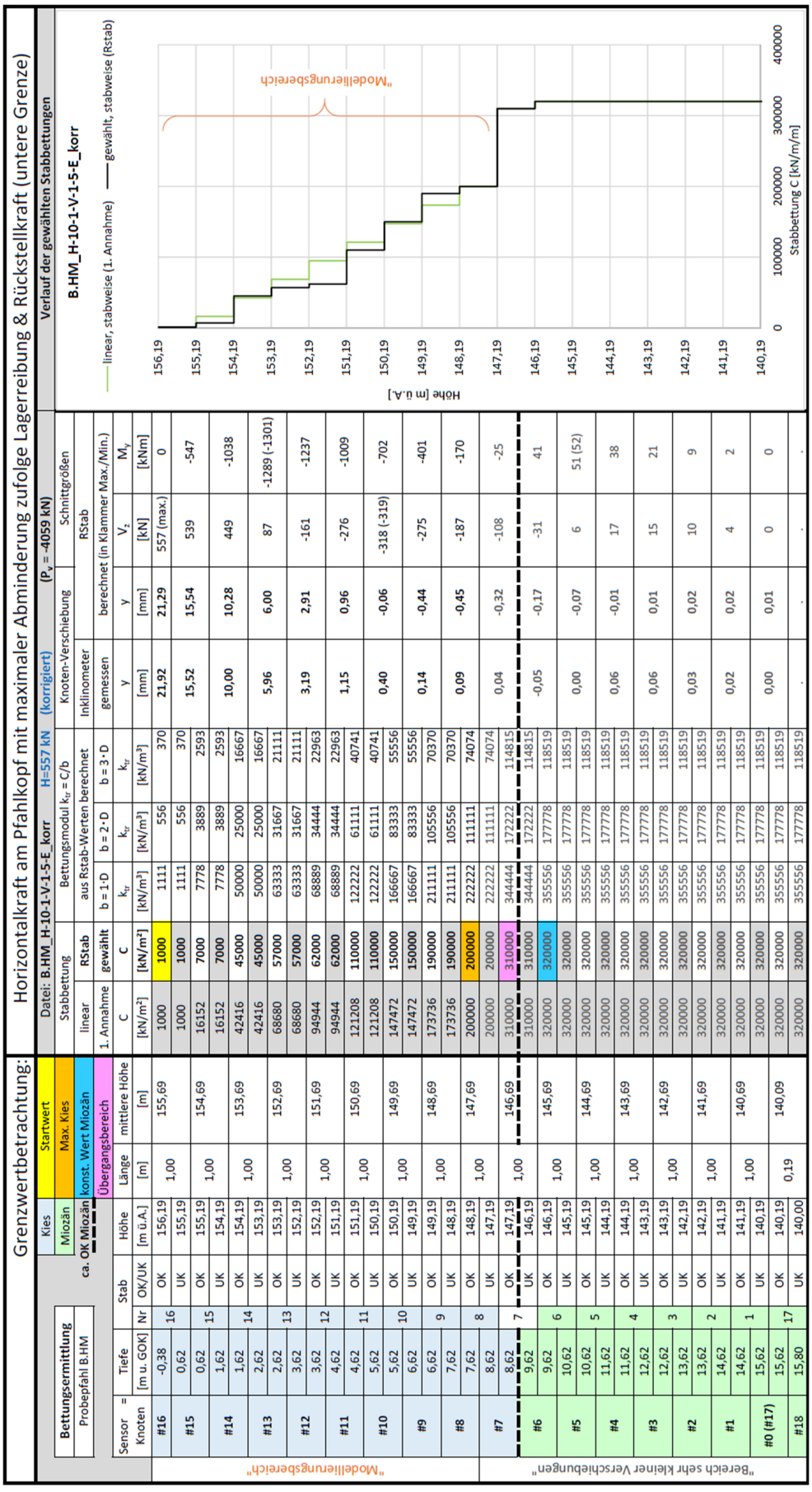


Abb. 5.44: Ergebnisse der Nachrechnung mit der gemessenen Horizontalkraft (H_{korr} = 557 kN)

TU Bibliothek Your knowledge hub
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.

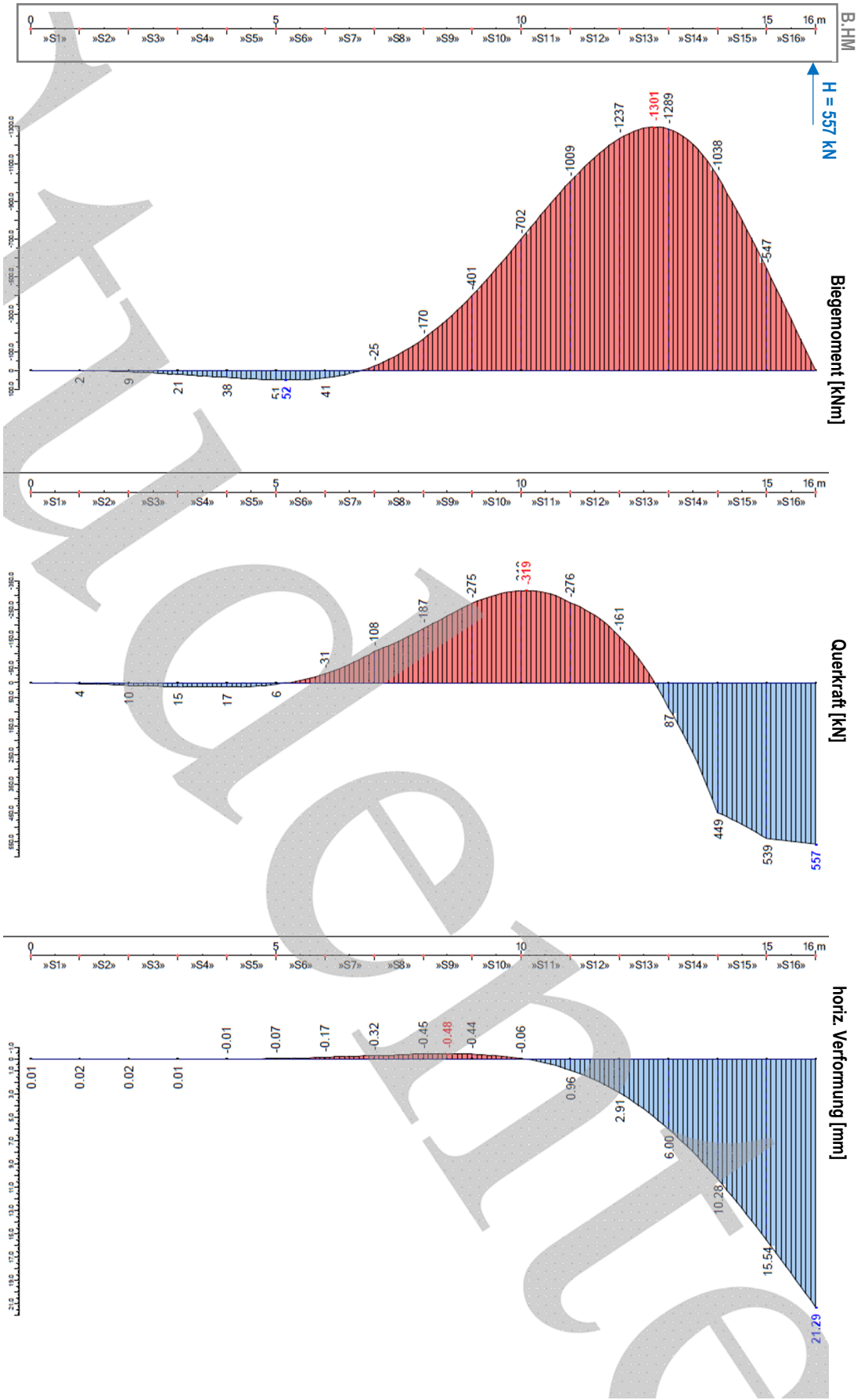


Abb. 5.45: Verlauf von Biegemoment, Querkraft und horizontaler Verformung aus *RStab* (H_{korr} = 557 kN)

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

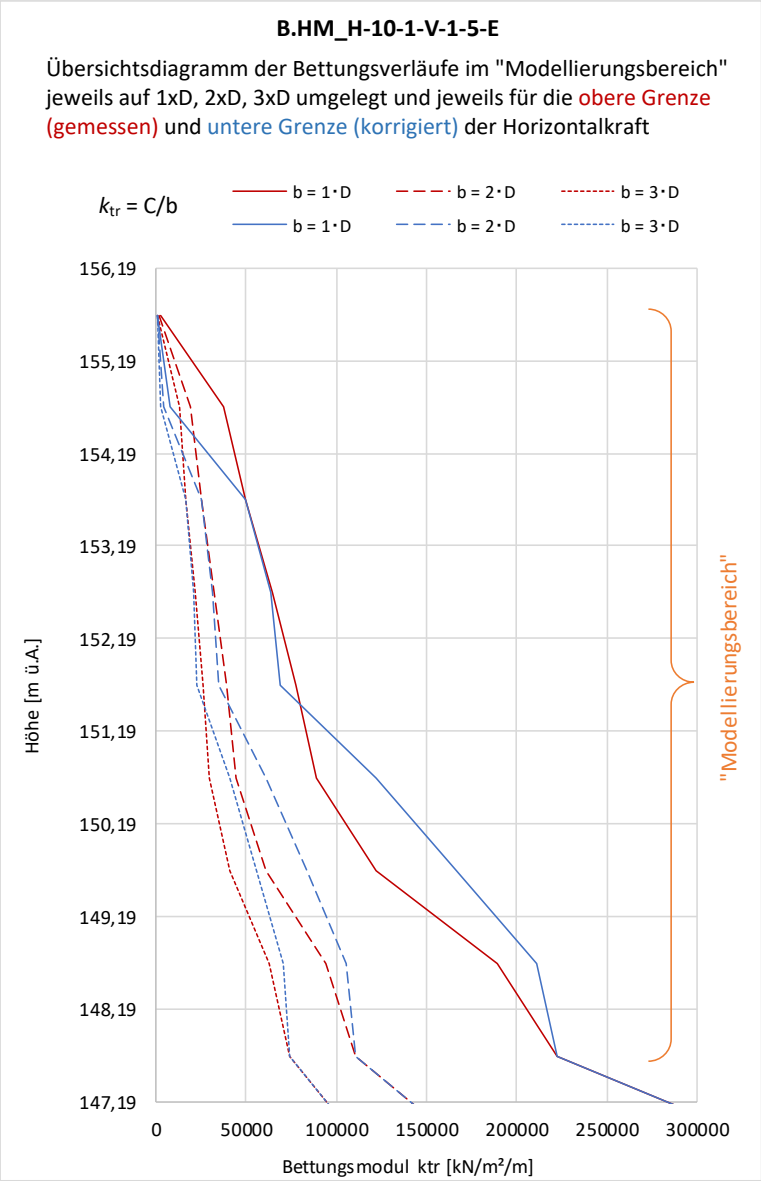


Abb. 5.46: Verläufe der Bettungsmoduln für die obere und unter Grenze der Horizontalkraft jeweils für eine Spannungsausbreitung auf den 1-, 2- und 3-fachen Pfahldurchmesser.

5.3 Versuch B.HK

5.3.1 Eingabedaten

Im ersten Tabellenblatt „P1_Versuchsdaten“ wurden allgemeine Daten zum Versuch sowie die aus den Messdaten entnommenen charakteristischen Versuchszeitpunkte händisch eingegeben. Die allgemeinen Daten dienen vorrangig als Übersicht für das Deckblatt („Focus1 Deckblatt“). Die charakteristischen Versuchszeitpunkte sind für das „Abgreifen“ jener Daten notwendig, die den jeweiligen Versuch in den daraus generierten Diagrammen beschreiben. Die Bezeichnung der Zeitpunkte der Laststufen bzw. Zyklusstufen folgt wiederum dem in Abschnitt 4.3.2.2 definierten System und ist im Prüfablauf (ANHANG F) gesamtheitlich ersichtlich.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Vertikallaststufen

Beim Versuch B.HK fanden Beginn und Ende der Vertikallaststufen nach Abb. 5.5 statt. Die Laststufen V-1-0 bis V-1-5 stellten dabei die Aufbringung der Gebrauchslast dar. Die Laststufe V-1-6 bezeichnet die konstant gehaltene in der Horizontalverschiebungsphase, während es sich bei den Laststufen V-1-7 bis V-2-17 um die weitere ausschließlich vertikale Probebelastung handelt.

Vertikallaststufen					
V…Vertikal		19.02.2018			
1,2…Lastschleife	Laststufe	Beginn	Ende	Prüflast Soll	Tag Ende LS
0-17…Laststufen	Vertikal	[hh:mm]	[hh:mm]	[kN]	[Kalendertag]
V-1-0	0	**11:13:01**	**11:29:23**	-50	**19**
V-1-1	1	**11:31:13**	**11:47:45**	-238	**19**
V-1-2	2	**11:53:39**	**12:10:43**	-425	**19**
V-1-3	3	**12:19:49**	**12:31:45**	-613	**19**
V-1-4	4	**12:39:51**	**13:40:43**	-800	**19**
V-1-5	5	**13:44:13**	**15:12:31**	-1000	**19**
V-1-6	6	**15:33:45**	*16:03:19*	-1000	*22*
V-1-7	7	*16:34:57*	*16:45:39*	-1000	*22*
V-1-8	8	*16:48:47*	*16:59:21*	-800	*22*
V-1-9	9	*17:03:11*	*17:14:43*	-425	*22*
V-2-0	10	*17:20:41*	9:47:35	-50	23
V-2-1	11	9:49:37	10:01:03	-238	23
V-2-2	12	10:02:39	10:14:33	-425	23
V-2-3	13	10:17:13	10:27:27	-613	23
V-2-4	14	10:29:05	10:42:43	-800	23
V-2-5	15	10:45:31	11:01:13	-1125	23
V-2-6	16	11:05:27	11:21:57	-1450	23
V-2-7	17	11:28:17	11:49:11	-1775	23
V-2-8	18	11:54:01	12:42:51	-2100	23
V-2-9	19	12:46:59	13:06:57	-2750	23
V-2-10	20	13:15:41	13:37:01	-3400	23
V-2-11	21	13:45:39	14:14:51	-4050	23
V-2-12	22	14:20:11	14:44:25	-4700	23
V-2-13	23	*14:45:01*	*14:46:01*	-5000	23
V-2-14	24	14:47:05	14:57:25	-3400	23
V-2-15	25	*15:06:41*	*15:19:27*	-800	23
V-2-16	26	15:25:25	15:37:13	-425	23
V-2-17	27	*15:45:31*	*16:01:01*	-50	23
		22.02.2018 / 23.02.2018			

Abb. 5.47: Beginn- und Endzeitpunkte der Vertikallaststufen beim Versuch B.HK

Zyklusstufen

In Abb. 5.48 sind die Beginn- und Endzeitpunkte am Beispiel des 1. Horizontalverschiebungszyklus dargestellt. Zu diesen Zeitpunkten änderte sich jeweils die Horizontalbelastung (nicht die Horizontalverschiebung). Man könnte sie wiederum als „Horizontalkraft-Wechselzeitpunkte“ beschreiben. Sämtliche Zeitpunkte aller 10 Verschiebungszyklen sind in ANHANG G ersichtlich.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Zyklusstufen (ZS) Kraftwechselzeitpunkte		Beginn	angenommene Restverschiebung		Verschiebung
		Ende	Sollverschiebung		horizontal
	Zykluspunkt	ZS-Bezeichnung	Zeit	Kalendertag	Soll [mm]
	0	V-1-5-E	15:12:31	19	0
Zyklus 1	1	H-1-1-V-1-6-A	15:33:45	19	-42
Zyklus 1	2	H-1-1-V-1-6-E	16:39:47	19	-42
Zyklus 1	3	H-1-2-V-1-6-A	16:50:31	19	5
Zyklus 1	4	H-1-2-V-1-6-E	16:56:27	19	5
Zyklus 1	5	H-1-3-V-1-6-A	17:04:33	19	0
Zyklus 1	6	H-1-3-V-1-6-E	17:14:47	19	0
Zyklus 1	7	H-1-4-V-1-6-A	17:25:09	19	42
Zyklus 1	8	H-1-4-V-1-6-E	07:07:39	20	42
Zyklus 1	9	H-1-5-V-1-6-A	07:15:25	20	-5
Zyklus 1	10	H-1-5-V-1-6-E	07:45:11	20	-5
Zyklus 1	11	H-1-6-V-1-6-A	07:45:25	20	0
Zyklus 1	12	H-1-6-V-1-6-E	07:45:29	20	0

Abb. 5.48: Beginn- und Endzeitpunkte der Zyklusstufen (ZS) beim Versuch B.HK

Weg-Nullstellungen

Einige der später angeführten Diagramme beziehen sich wiederum auf die Zeitpunkte der Nullstellungen, in denen sich der Probepfahl jeweils in vertikaler Ausgangsposition befand. Abb. 5.49 zeigt diese Zeitpunkte der insgesamt 20 Nullstellungen (inkl. der Ausgangsnullstellung „0“ auf Laststufe V-1-5 vor den Verschiebungszyklen). Mithilfe des Eingrenzungsbereichs und bedingter Formatierung konnten diese Zeitpunkte in *Excel* schneller gefunden werden.

Nullstelllungen von $w_{h,m}$				
Eingrenzungsbereich für $w_{h,m}$				Prüfkraft
-0,02 mm	0,02 mm			KMD 1
Nullstellung	LS-Bezeichnung	Zeit	Kalendertag	Soll [kN]
0	V-1-5	15:12:31	19	-1000
1	H-1-3-V-1-6	17:08:37	19	-1000
2	H-1-6-V-1-6	07:45:27	20	-1000
3	H-2-3-V-1-6	09:30:41	20	-1000
4	H-2-6-V-1-6	11:32:17	20	-1000
5	H-3-3-V-1-6	13:33:03	20	-1000
6	H-3-6-V-1-6	15:29:03	20	-1000
7	H-4-3-V-1-6	17:19:55	20	-1000
8	H-4-6-V-1-6	18:53:43	20	-1000
9	H-5-3-V-1-6	07:16:47	21	-1000
10	H-5-6-V-1-6	08:55:55	21	-1000
11	H-6-3-V-1-6	10:59:11	21	-1000
12	H-6-6-V-1-6	13:22:39	21	-1000
13	H-7-3-V-1-6	15:13:17	21	-1000
14	H-7-6-V-1-6	17:13:25	21	-1000
15	H-8-3-V-1-6	19:01:47	21	-1000
16	H-8-6-V-1-6	08:05:47	22	-1000
17	H-9-3-V-1-6	09:56:27	22	-1000
18	H-9-6-V-1-6	12:07:29	22	-1000
19	H-10-3-V-1-6	14:01:41	22	-1000
20	H-10-6-V-1-6	16:00:09	22	-1000

Abb. 5.49: Zeitpunkte der Nullstellungen (NS) ($w_{h,m} = 0$) beim Versuch B.HK

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5.3.1.1 Instrumentierungsparameter

Im Tabellenblatt „P2_Instrumentierung“ wurden die Parameter zur Instrumentierung eingegeben sowie die Höhenlage der verschiedenen Sensoren berechnet.

Bewehrungssensoren

In Abb. 5.50 sind die Eingabeparameter für die Bewehrungssensoren ersichtlich. Diese wurden gemäß Überprüfungsprotokoll der Instrumentierung (siehe ANHANG D) sowie der Kalibrierprotokolle von *Geokon* eingegeben. Für die Umrechnung der gemessenen Dehnungen von der Einheit [digits] in die Einheit [mm] wurden die linearen *Gage-Faktoren* verwendet.

MQ	Sensor	Serien-nummer	Gage Factor Linear	Gage Factor Polynomial			Sensor-Höhe
				A	B	C	
	Bewehrungsensoren		[microstrain/digit]				[müA]
1	BS1.1	8,25 - 1712041	0,349				155,54
	BS1.2	8,25 - 1712043	0,346				155,54
2	BS2.1	10,0 - 1712047	0,347				153,99
	BS2.2	10,0 - 1712048	0,357				153,99
3	BS3.1	11,05 - 1712061	0,351				153,09
	BS3.2	11,05 - 1712060	0,347				153,09
4	BS4.1	12,1 - 1712063	0,347				152,19
	BS4.2	12,1 - 1712062	0,349				152,19
5	BS5.1	13,15 - 1712066	0,35				151,29
	BS5.2	13,15 - 1712069	0,347				151,29

Abb. 5.50: Seriennummern, Gage-Faktoren und errechnete BS-Höhen beim Versuch B.HK

Die Spalte der Höhenlage der Sensoren wurde anhand der im Zuge der Abnahme jeweils von OK Bewehrungskorb gemäß Abb. 5.51 gemessenen Längen errechnet (Der Wert „UK-Bewehrung“ sowie „L6“ ist aufgrund der fehlenden Druckmessdose hier nicht erforderlich).

Werte aus Protokoll Zuordnung und Überprüfung der Instrumentierung & Ausführungspläne					
Bezugshöhe (OK-Stabstahl)=			156,44	müA	*Vergleich Vermessung ARGE / TU*
1.1 O	O 1.2	L1=	0,90	m	*L1-L6 Länge von OK Stabstahl bis Messhorizont*
2.1 O	O 2.2	L2=	2,45	m	
3.1 O	O 3.2	L3=	3,35	m	
4.1 O	O 4.2	L4=	4,25	m	
5.1 O	O 5.2	L5=	5,15	m	
	UK-Bewehrung=			m	*(UK Bewehrungskorb bis OK DMD, Planmaß)*
	O DMD	L6=		m	

Abb. 5.51: Gemessene Lage der Bewehrungssensoren beim Versuch B.HK

Kettenextensometer

In Abb. 5.52 sind die Eingabeparameter für das Kettenextensometer ersichtlich. Diese wurden gemäß Einbauprotokoll (siehe ANHANG B) sowie der Kalibrierprotokolle von *Geokon* eingegeben. Für die Umrechnung der gemessenen Dehnungen von der Einheit [digits] in die Einheit [mm] wurden die polynomialen *Gage-Faktoren* verwendet.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

MQ	Sensor	Serien-nummer	Gage Factor Linear	Gage Factor Polynomial			Sensor-Höhe
				A	B	C	
Kettenextensometer [mm/digit]							
1	KEX1	1639033	0,006155	1,4488E-08	0,006014	-17,1	156,61
2	KEX2	1639034	0,00617	1,5853E-08	0,006021	-16,18	154,08
3	KEX3	1639035	0,006084	2,0104E-08	0,005893	-15,94	153,22
4	KEX4	1639036	0,006144	1,8307E-08	0,005969	-16,52	152,36
5	KEX5	1639037	0,006156	1,3665E-08	0,006028	-16,06	151,50
6	Anker						150,64

Abb. 5.52: Seriennummern, Gage-Faktoren und errechnete KEX-Sensorhöhen beim Versuch B.HK

Die Spalte der Höhenlage der Sensoren wurde anhand der im Zuge des Einbaus gemessenen Längen jeweils von Ankerpunktmitte zu Ankerpunktmitte gemäß Abb. 5.53 errechnet (Der Wert „UK-Bewehrung“ sowie „L6“ ist aufgrund der fehlenden Druckmessdose nicht erforderlich).

Position aus Protokoll Einbau Kettenextensometer							
Überstand KEX- Rohr=			0	m	Messwert [dg]	Einbauwert	Abschnittslängen
Messwert L_{ges} -Rohr=			6,205	m	nach Einbau	[m]	[m]
	O 1	L1=	0,16	m	6099	0,0201	
	O 2	L2=	2,509	m	5926	0,0201	2,53
	O 3	L3=	0,843	m	5989	0,0201	0,86
	O 4	L4=	0,841	m	6035	0,0202	0,86
	O 5	L5=	0,839	m	5961	0,0204	0,86
	X	L6=	0,841	m			0,86
		L7=	0,062	m			

Abb. 5.53: Gemessene Abschnittslänge sowie Einbauwerte der KEX-Sensoren beim Versuch B.HK

Zu den Längen „L2“ bis „L6“ ist noch der im Zuge der Installation eingestellte Soll-Dehnweg von 2 cm = 0,02 m (vgl. „Einbauwert“) hinzuzurechnen, um die jeweilige Abschnittslänge zu erhalten (vgl. Extensometerkonfiguration B.HK, ANHANG A).

Ketteninklinometer

Abb. 5.54 zeigt die Abschnittslängen und Absoluthöhen der Inklinometersonden (die Klammerwerte bei der Sensor-Nr. zeigen lediglich eine Zuordnung für die *Excel*-Auswertung). Die Absoluthöhen ergeben sich wiederum aus der Inklinomterkonfiguration (Abb. 5.55).

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Ketteninklinometer		
Messwert Rohrlänge =	6,125 m	
Sensor	**Abschnittslänge**	**Höhe**
Nr.	zum nächsten Sensor	m.ü.A.
Rohr-/Pfahlkopf-OK =		156,770
6 (16)	0,125 m	156,645
5 (15)	1,000 m	155,645
4 (14)	1,000 m	154,645
3 (13)	1,000 m	153,645
2 (12)	1,000 m	152,645
1 (11)	1,000 m	151,645
0	1,000 m	150,645
Pfahlunterkante =		150,000

Abb. 5.54: Abschnittslängen gemäß Inklinometerkonfiguration (Abb. 5.13) sowie errechnete Sondenhöhen beim Versuch B.HK

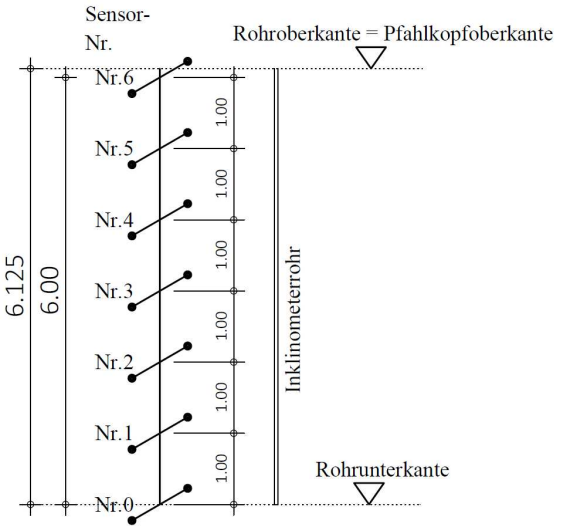


Abb. 5.55: Inklinometerkonfiguration, B.HK

5.3.1.2 Pfahlgeometrie und Materialkennwerte

Im Tabellenblatt „P3_GeometrieMaterial“ wurden die Pfahlgeometrie und Materialkennwerte eingetragen, die man auf dem Deckblatt (Abb. 5.57 bis Abb. 5.59) wiederfindet. Hier fand auch die Festlegung und Berechnung der für die jeweiligen Messquerschnitte relevanten Querschnittswerte statt, deren Zusammenfassung Abb. 5.14 zeigt. Für die darin enthaltenen Bezeichnungen siehe Abschnitt 5.2.1.3.

Querschnittswerte / Geometrie													KEX-Rohr			
Nr.	Bezeichnung	Ø [mm]	OK [müA]	UK [müA]	Länge [m]	E_C [kN/mm²]	E_{SS} [kN/mm²]	E_{BS} [kN/mm²]	E_S [kN/mm²]	A_{ges} [mm²]	A_{SS} [mm²]	A_{BS} [mm²]	A_S [mm²]	A_C [mm²]	A_{Ci} [mm²]	$\Sigma E_{Stahl} A_{Stahl}$ [mm²]
Standardbereiche (hier irrelevant)																
1	Freispielstrecke	600	156,00	154,10	1,90	34,00	0,00	200,00	210,00	282743,34	0,00	variiert	492,88	variiert	variiert	
2	Krafteinleitungsstrecke	600	154,10	150,00	4,10	34,00	0,00	200,00	210,00	282743,34	0,00	variiert	492,88	variiert	variiert	
ZUSATZBEREICHE																
3	BS1	597,4			0,00	34,00	0	200	210	280298	0	18271	493	257100	367620	3757706
4	BS2	600			0,00	34,00	0	200	210	282743	0	8256	493	269560	321169	1754706
5	BS3	600			0,00	34,00	0	200	210	282743	0	8256	493	269560	321169	1754706
6	BS4	600			0,00	34,00	0	200	210	282743	0	7313	493	270503	316565	1566106
7	BS5	600			0,00	34,00	0	200	210	282743	0	6371	493	271445	311966	1377706
8	mittel KEX1	600			0,00	34,00	0	200	210	282743	0	4612	493	273204	303377	1025906
9	mittel KEX2	600			0,00	34,00	0	200	210	282743	0	1885	493	275931	290063	480506
10	mittel KEX3	600			0,00	34,00	0	200	210	282743	0	1885	493	275931	290063	480506
11	mittel KEX4	600			0,00	34,00	0	200	210	282743	0	5328	493	272488	306873	1169106
12	mittel KEX5	600			0,00	34,00	0	200	210	282743	0	6371	493	271445	311966	1377706

Abb. 5.56: Querschnittswerte der Messquerschnitte beim Versuch B.HK

5.3.2 Messdaten

5.3.2.1 Daten MWES I

Das Tabellenblatt „Daten1 MWES1“ wurde im Vergleich zum Basisfile für die zusätzlichen Kraftmessungen (KMD 2 & 3) sowie zusätzlichen Horizontalverschiebungsmessungen ($w_{h,1}$ bis $w_{h,3}$) entsprechend erweitert. Hier finden diverse Umrechnungen statt (siehe [MS]).

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5.3.2.2 Daten MWES II

Das Tabellenblatt „Daten2 MWES2“ konnte direkt aus dem Basis-File übernommen und diverse Umrechnungen durchgeführt werden. In der Umrechnung wurden die Messwerte auf die Werte der Nullmessung vor Versuchsbeginn bezogen.

5.3.2.3 Daten MWES III

Im Tabellenblatt „Daten3 MWES3“ wurden die Daten der Inklinometermessungen (Achse A, Achse B, Temperatur) eingefügt. Beim Probepfahl B.HK wurden zur Messung der Biegelinie insgesamt 6 Sonden verwendet (vgl. Abb. 5.55). Hier lieferte die Aufsummierung der Einzelwerte (= Einzelverschiebungen zufolge Sensorneigung) von einem auf Rohrunterkante befindlichen, angenommenen Ruhepunkt aus, wie erwartet unplausible Biegelinien, da der Fußpunkt im Gegensatz zum Probepfahl B.HM nicht in Ruhe war. Deshalb wurden beim Probepfahl B.HK die Biegelinien am aktuellen Mittelwert der Horizontalverschiebung „eingehängt“. Die absolute Durchbiegung des Pfahls [mm] in Höhe einer Sonde entspricht also der von oben nach unten aufsummierten Einzelwerte. Dabei entspricht der Wert der obersten Sonde (Nr.6) eben dem Wert von $w_{h,m}$. Diese Ermittlung der kumulierten Verschiebungen erfolgte vorerst nur für die vorrangig relevante Achse A (= Verschiebungsrichtung).

5.3.3 Basisdaten

5.3.3.1 Basis MWES I

Das Tabellenblatt „Basis1 MWES1“ konnte wiederum direkt vom Basis-File übernommen werden. Es ist die Grundlage für diverse Diagramme (siehe [MS]).

5.3.3.2 Basis MWES II

Das Tabellenblatt „Basis2 MWES2“ konnte weitgehend vom Basis-File übernommen werden. Hier erfolgte die Berechnung des E-Moduls (Gleichung (5.10)) abermals anhand der obersten beiden Bewehrungssensoren (BS) im Messquerschnitt 1 (MQ1). Dabei wurde vorausgesetzt, dass im MQ1 noch nichts von der eingeleiteten Kraft (F_{KMD1}) verloren gegangen ist.

Dieser E-Modul kann streng genommen jedoch nur für die Berechnung der Normalkraft im obersten Messquerschnitt herangezogen werden, was unter Verwendung von Gleichung (5.11) zwangsläufig und logischerweise wieder zur eingeleiteten Kraft führt.

Für die Berechnung der Normalkraft der tieferliegenden Messquerschnitte wurde vorerst der aus der Betonprüfung der MA 39 [75] stammende E-Modul von 34 N/mm² (gerundet) pauschal angesetzt.

Ebenso erfolgte in diesem Tabellenblatt die Berechnung der über die Messabschnittslängen konstant angesetzten Mantelreibungen.

Das Tabellenblatt „Basis4 MWES2“ greift wie die das Tabellenblatt „Basis2 MWES2“ ebenso auf die Daten des MWES II (Dehnungen) zurück. Dies geschieht allerdings nicht zu den Zeitpunkten der Vertikallaststufen, sondern zu den Zeitpunkten der Weg-Nullstellungen (Abb. 5.49).

5.3.3.3 Basis 3 Horizontal

Das Tabellenblatt „Basis3 Horizontal“ greift auf Daten des MWES I und III zurück. Es bildet die Grundlage für die Betrachtung verschiedener Messwerte zu den Zeitpunkten der Weg-Nullstellungen sowie der Zyklusstufen (Kraftwechselzeitpunkte). Es bildet außerdem die Grundlage für die Kraftverschiebungslinien (P-y-Kurven) je Zyklus.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5.3.4 Darstellung und Beschreibung der Ergebnisse

5.3.4.1 Deckblatt

Das Deckblatt enthält allgemeine Angaben zum Versuch und Probepfahlmaterial (Abb. 5.57 bis Abb. 5.59).

Allgemeine Angaben:	
Prüfkörper:	**B.HK**
Prüffeld:	2
Versuch:	Horizontalverschiebeversuch
Bodenschicht Krafteinleitungsstrecke:	Kies
Pfahlinstrumentierung (MWES II):	
Kettenextensometer (KEX):	ja
Bewehrungssensoren (BS):	ja
Sohldruckmessdose (DMD):	nein
Ketteninklinometer (KIN):	ja
Versuchsdaten:	
Prüfung Nr.:	80
Prüfdatum:	19.03.2018 - 23.03.2018
Versuchsbeginn:	11:08 Uhr
Versuchsende:	16:01 Uhr
Wetterbedingungen:	19.03.2018 11:00, bewölkt, Außentemperatur: -3°C / in Einhausung: 7°C
besondere Versuchsbedingungen:	KEX3 auf Channel 16, weil Channel 13 nicht funktioniert (wie bei B.HM)

Abb. 5.57: Allgemeine Angaben, Pfahlinstrumentierung und Versuchsdaten des Versuchs B.HK

Neben den großteils selbsterklärenden Angaben in Abb. 5.58 sei erwähnt, dass das „Messniveau“ die Höhenlage der vertikalen Wegaufnehmer kennzeichnet. Die Gesamtquerschnittsfläche ist dabei die Bruttoquerschnittsfläche des Pfahls von $A_{ges} = D^2 \cdot \pi/4$. Die „Oberkante (OK) Krafteinleitungsstrecke“ liegt beim Pfahl B.HK gemäß Schalungsplan [53] auf einer Höhe von 154,10 m. ü. A., da sich darüber das Doppelmantelrohr befindet. Dies ergibt eine „Freispielstrecke“ von 1,70 m bis zur GOK Pfahl von 155,80 m. ü. A. Diese 1,70 m bis zur GOK werden somit (in etwa bei der Berechnung der Mantelreibung) nicht in Rechnung gestellt. Die Länge der Krafteinleitungsstrecke beträgt demnach 4,10 m. Der Bemessungs- und Bauwasserstand wurden gemäß [48] übernommen, fanden vorerst allerdings in keiner Berechnung Anwendung.

Geometrie:		
Bohrdurchmesser:	600,00	mm
Querschnittsfläche A_{ges}=	282743,34	mm²
OK Pfahlkopf:	156,77	müA
Messniveau:	156,72	müA
OK Pfahl:	156,00	müA
GOK:	155,80	müA
OK Krafteinleitungsstrecke:	154,10	müA
Bemessungswasserstand:	154,83	müA
Bauwasserstand:	154,38	müA
UK Pfahl:	150,00	müA
Länge "Freispielstrecke":	1,90	m
Länge Krafteinleitungsstrecke:	4,10	m
Pfahllänge:	6,00	m

Abb. 5.58: Angaben zur Geometrie des Versuchs B.HK

In Abb. 5.59 sind Materialkennwerte zum Pfahlbeton und allen vorkommenden Stahlbauteilen angeführt. Der E-Modul des Pfahlbetons von 34 N/mm² wurde gemäß Prüfbericht der MA 39 [75] übernommen. Stabstahl bezeichnet hier wiederum die GEWI-Stähle der Mikropfähle und ist im gegenständlichen Fall somit irrelevant. Die Bewehrungsquerschnitte variieren abschnittsweise (vgl.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abb. 5.56 bzw. [54]). Das Feld „Güte Baustahl“ wurde hier zur Berücksichtigung des Kettenextensometerrohres (KEX-Rohres) genutzt. Ebenso sind die Innen- und Außendurchmesser der beiden Führungsrohre angegeben, unter deren Berücksichtigung die Betonquerschnittsfläche errechnet wurde.

Materialkennwerte:		
Betongüte:	**C25/30 / BS-TB1**	
Zement:	**CEM II/A-M(S-L)**	
W/B-Wert Zemetsuspension:	-	
E-Modul Beton / Zementstein E_C =	34,00	kN/mm²
Typ, Güte Stabstahl (nur Mikropfähle):	-	
Nennquerschnitt Stabstahl A_{SS} =	0,00	mm²
E-Modul Stabstahl E_{SS} =	0,00	kN/mm²
Güte Bewehrungsstahl:	**B 550B**	
Gesamtquerschnitt Bewehrungsstahl A_{BS}=	variiert	mm²
E-Modul Bewehrungsstahl E_{BS} =	200,00	kN/mm²
Güte Baustahl (KEX-Rohr):	**S235**	
Gesamtquerschnitt Baustahl A_S=	492,88	mm²
E-Modul Baustahl E_S =	200,00	kN/mm²
Führungsrohre:		
KEX-Rohr d_a =	57,00	mm
KEX-Rohr d_i =	51,20	mm
KIN-Rohr d_a=	55,00	mm
KIN-Rohr d_i =	47,00	mm

Abb. 5.59: Kennwerte des Pfahlmaterials sowie Führungsrohre des Versuchs B.HK

5.3.4.2 Diagramme

Belastung und mittlere Vertikalverschiebung

Der gesamte Versuchsverlauf wird nun wieder anhand dreier Diagramme beschrieben. In Abb. 5.60 ist die Aufbringung der vertikalen Gebrauchslast von zunächst 800 kN in den vier Stufen zu sehen (schwarze Linie). Nach der Beobachtungszeit erfolgte eine weitere Laststeigerung auf 1000 kN für die HV-Phase. Dazu ist der Mittelwert der drei vertikalen Wegaufnehmer (rot-strichlierte Linie) auf der rechten Achse aufgetragen. Nach der Beobachtungszeit bzw. einer Versuchsdauer von rund 4 h betrug die mittlere Vertikalverschiebung 4,3 mm.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

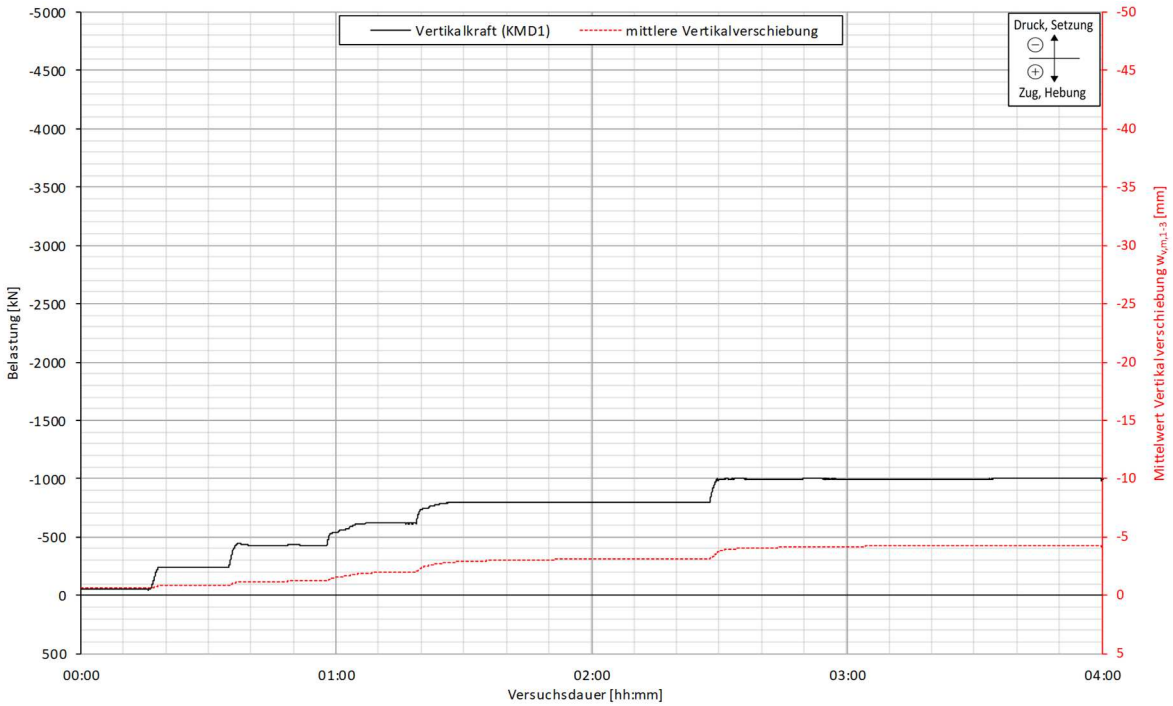


Abb. 5.60: Belastung und mittlere Vertikalverschiebung beim Versuch B.HK – Teil 1

Der Versuch setzte nun gemäß Abb. 5.61 fort. Hier kommt nun die wechselseitige, horizontale Belastung (KMD 2/KMD 3, blaue Linie) hinzu (im Gegensatz zu den beiden anderen dargestellten Verläufen handelt es sich hierbei bereits um eine idealisierte Linie, deren definierende Einzelpunkte ausgewählt wurden; Der Horizontalkraftverlauf mit allen Messwerten ist in Abb. 5.64 ersichtlich). Dabei stellt die blau-durchgezogene Linie den gemessenen Horizontalkraftverlauf dar, während die blau-strichlierte Linie die korrigierten Horizontalkräfte zeigt.

Die Konstanthaltung der Vertikalkraft (KMD 1) in der Horizontalverschiebungsphase war aufgrund höherer Zwangskräfte aus der Belastungseinrichtung beim Versuch B.HK schwieriger zu bewerkstelligen. Die maximalen Abweichungen zur Soll-Kraft von 1000 kN betrugen rund +230 kN bis -60 kN, also +23% und 6%. Hier ist der Einfluss der Vertikalkraftschwankungen auf mögliche Pfahlsetzungen zu hinterfragen. Jedenfalls stieg die Abweichung von der Sollkraft (auch in der Weg-Nullstellung) mit fortwährender Versuchsdauer tendenziell an.

Jede Amplitude der Horizontalbelastung stellt wieder eine Verschiebung dar. Zwei Verschiebungen ergeben wiederum einen Verschiebungszyklus. Die langgestreckten Phasen in „ausgelenkter“, festgehaltener Stellung stellen jeweils die Beharrungszustände über Nacht dar. Es ist auch hier wieder erkennbar, dass bei festgehaltener Horizontalverschiebung die zugehörige Horizontalkraft innerhalb der Beobachtungszeit (tagsüber 1 Stunde) jeweils abgefallen ist, ehe wieder entlastet und anschließend die nächste Verschiebung in Gegenrichtung vollzogen wurde. Der Horizontalkraftabfall in ausgelenkter Stellung spielte sich in einer Bandbreite von 3 bis 12 % ab.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

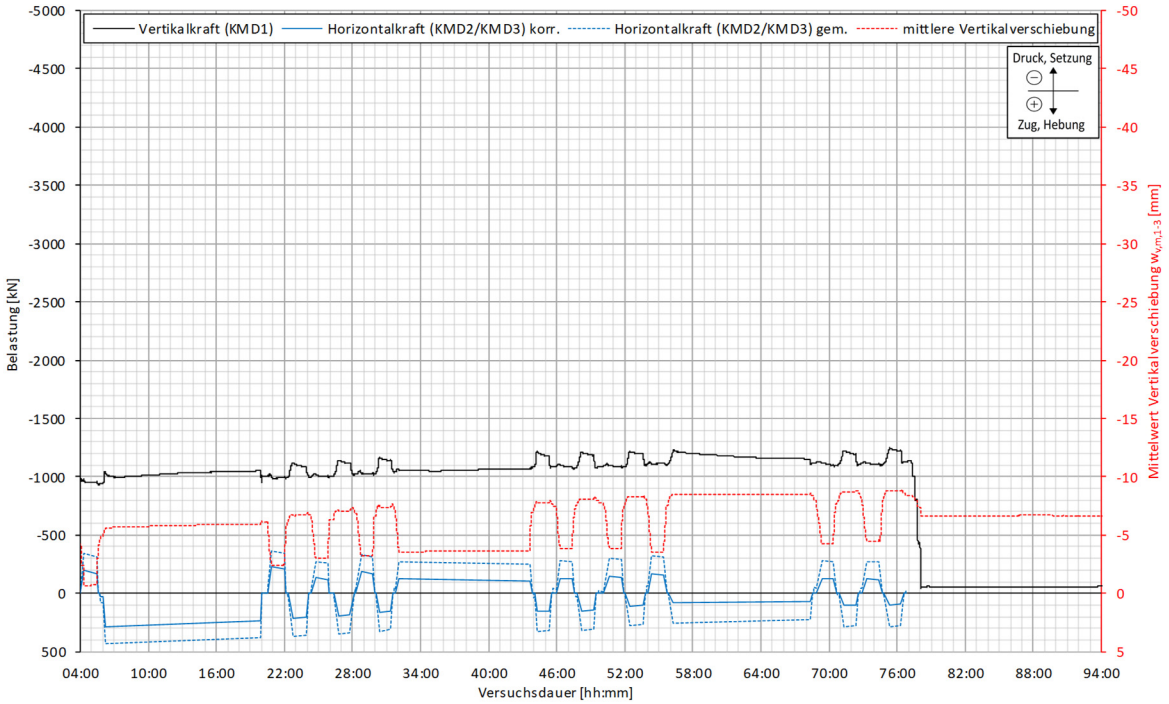


Abb. 5.61: Belastung und mittlere Vertikalverschiebung beim Versuch B.HK – Teil 2

Insgesamt zeigt sich auch, dass die für die horizontale Soll-Verschiebung erforderliche Horizontalkraft mit steigender Zyklenzahl im Wesentlichen abnahm, sofern keine (unplanmäßige) Überschreitung der Soll-Verschiebung neuen Bodenwiderstand aktivierte. Genau das passierte jedoch offensichtlich in der 2. Hälfte der HV-Phase (vgl. dazu Abb. 5.64). Der Grund dafür lag vermutlich in einer ungenauen Annahme der tatsächlichen Nullstellung, nachdem aufgrund divergierender Messwerte die horizontalen Wegaufnehmer neu justiert werden mussten (siehe Feldprotokoll im ANHANG H). Die Messwerte der Horizontalwegaufnehmer lagen zwischenzeitlich bis zu 8 mm auseinander (vgl. Abb. 5.66). Dies resultierte wahrscheinlich aus einer gegenüber dem Versuch B.HM größeren Pfahlkopfverkippung aufgrund des kurzen Pfahles. Die letzte Verschiebung (Nr. 20) fand am Probepfahl B.HK noch am Donnerstagabend statt, ehe vertikal entlastet wurde und über Nacht auf Vorlast verharrt wurde.

Im Wesentlichen ist wieder eine Zunahme der mittleren Vertikalverschiebung (Pfahlsetzung) zu beobachten, jedoch könnten im Fall von Pfahl B.HK die unplanmäßigen Vertikalkraftschwankungen dafür teilweise verantwortlich sein. Grund für die zur Horizontalbelastung synchron verlaufenden Schwankungen der mittleren Vertikalverschiebung ist wiederum die Anordnung der Wegaufnehmer (vgl. Abb. 4.12). Demnach lagen zwei der drei Wegaufnehmer auf derselben Seite und zeichneten aufgrund der Verkippung des Pfahlkopfes zufolge Horizontalbelastung Werte umgekehrten Vorzeichens auf als der verbleibende, einzelne Wegaufnehmer auf der anderen Seite auf. In der (arithmetischen) Mittelwertbildung fließt der Einfluss dieser beiden Wegaufnehmer folglich stärker ein. Deshalb werden bei späteren Detailbetrachtungen zur Pfahlsetzung in der (geometrischen) Nullstellung betrachtet, in der sich Pfahl in vertikaler Stellung befand. Die mittlere Vertikalverschiebung betrug nach Abschluss der HV-Phase 8,3 mm.

Abb. 5.62 setzt nun genau am Übergang des vorherigen Diagramms (bei 94:00) fort und stellt den letzten Versuchstag dar, an dem eine rein vertikale Probebelastung durchgeführt wurde.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

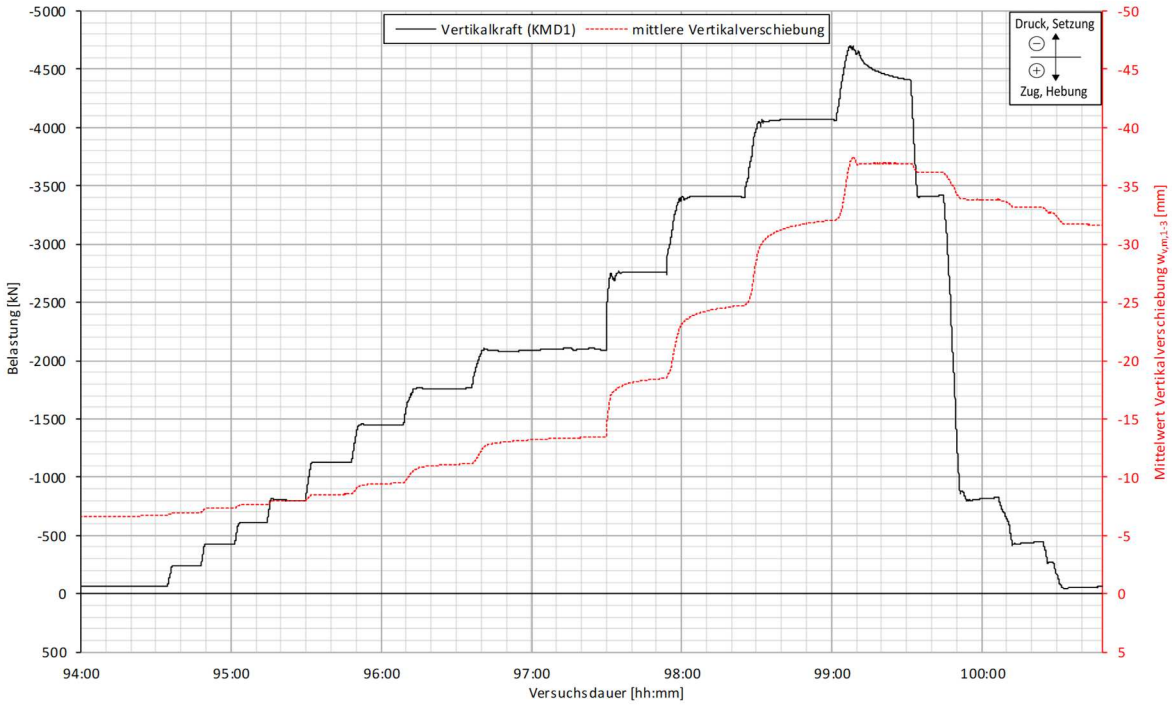


Abb. 5.62: Belastung und mittlere Vertikalverschiebung beim Versuch B.HK – Teil 3

Die Laststufen wurden dabei analog zu den anderen SOB-Pfählen im Kies des FPUH aufgebracht. Kurz nach Erreichen der Laststufe V-2-12 (4700 kN), begann der Probepfahl B.HK seitlich auszuweichen und der Versuch musste aus Sicherheitsgründen abgebrochen werden (vgl. Abb. 5.63). Die maximale Pfahlkopfsetzung betrug dabei 37,5 mm. Zunächst wurde im Zuge des Abbruchs einfach das Hydraulikaggregat abgeschaltet, wodurch die Kraft bis auf einen Wert von ca. 4400 kN abfiel. Danach wurde mit den Entlastungsstufen gemäß Prüfablauf (ANHANG F) fortgesetzt. Auf der Vorlast verblieb schlussendlich eine Restsetzung von 31,7 mm.



Abb. 5.63: Schiefstellung nach Abbruch des Versuchs B.HK

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Horizontalbelastung und mittlere Vertikalverschiebung

In der folgenden Abb. 5.64 ist nun der Horizontalkraftverlauf anhand aller Messwerte dargestellt und dazu wiederum die mittlere Vertikalverschiebung über die Versuchsdauer aufgetragen. Je nach Richtung der Verschiebung betrifft das entweder die (von der „Richtung Ansicht B.HK“ gemäß Abb. 4.6 aus gesehen links angeordnete) KMD 2 oder (rechts angeordnete) KMD 3. Beim Versuch B.HK erfolgte nach dieser Definition die 1. Verschiebung nach links bzw. in negative Richtung der horizontalen Wegaufnehmer. Deutlich erkennbar ist wiederum der Kraftabfall nach Festhalten der Verschiebung und fortwährend über die Beobachtungszeit. Da beim zweiten Versuch nach Vorschlag der ARGE die Festhaltung der Verschiebung ausschließlich über die Hydraulik bewerkstelligt wurde, entfielen hier die „Kraftspitzen“ zufolge Wiederanspannen für das Lockern der GEWI-Mutter am Ende der Beobachtungszeit.

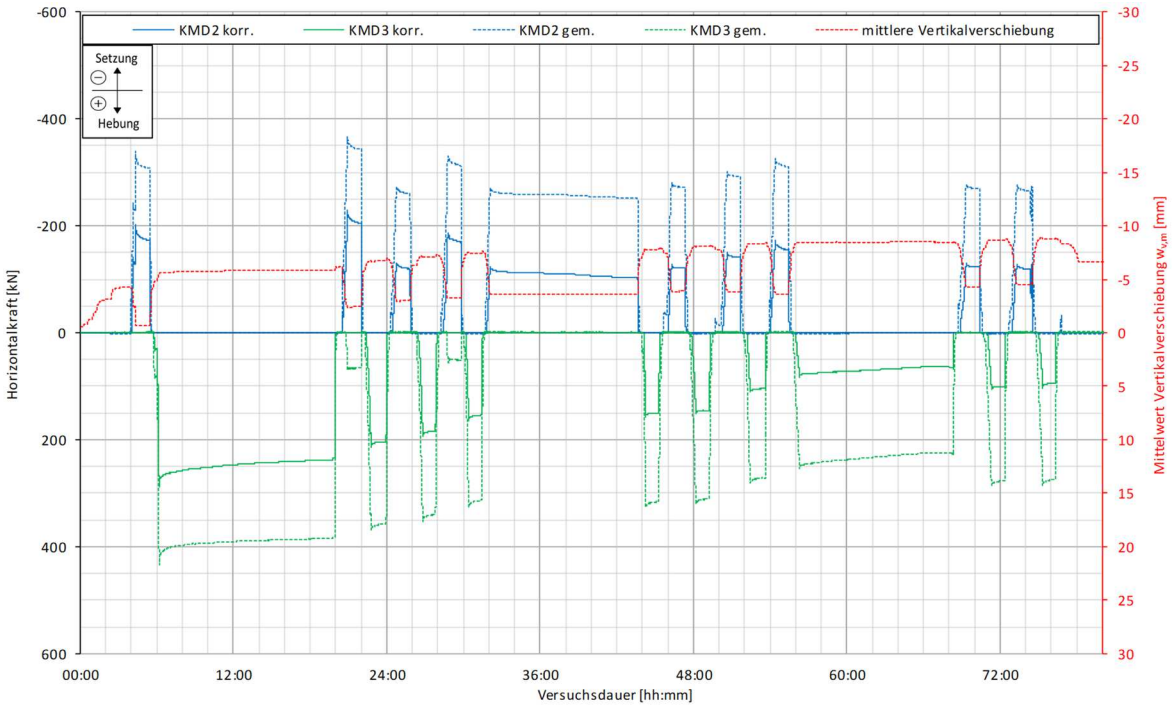


Abb. 5.64: Horizontalbelastung und mittlere Vertikalverschiebung beim Versuch B.HK

Die Tendenz zur Abnahme der erforderlichen Horizontalkraft ist auch hier erkennbar, wurde aber jedoch aufgrund der falsch angenommen Nullstellung und dadurch zusätzlich aktivierter Bodenwiderstände etwas verfälscht. Beim Versuch B.HK lag die erforderliche Horizontalkraft in einem Bereich von 433 kN bis 254 kN (gemessene Werte).

Der Verlauf der mittleren Vertikalverschiebung entspricht dem bereits anhand der Abb. 5.61 bereits beschriebenen Linie.

Vertikale Pfahlkopfverschiebung

Die einzelnen Verläufe der zur Mittelung der Vertikalverschiebung herangezogenen Wegaufnehmer sind in Abb. 5.65 dargestellt. Zur Rechtfertigung der Mittelwertbildung, wurde die Plausibilität des Wegaufnehmers $W_{v,3}$ anhand der mechanischen Messuhr überprüft (siehe ANHANG L). Das Diagramm spiegelt auch die Lage der Wegaufnehmer $W_{v,1}$ und $W_{v,2}$ auf der einen Seite sowie jene des Wegaufnehmers $W_{v,3}$ auf der anderen Seite wieder. Aussagen über den Mittelwert der Vertikalverschiebung sind aufgrund der Verkippung des Pfahlkopfes nur in der geom. Nullstellung sinnvoll.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

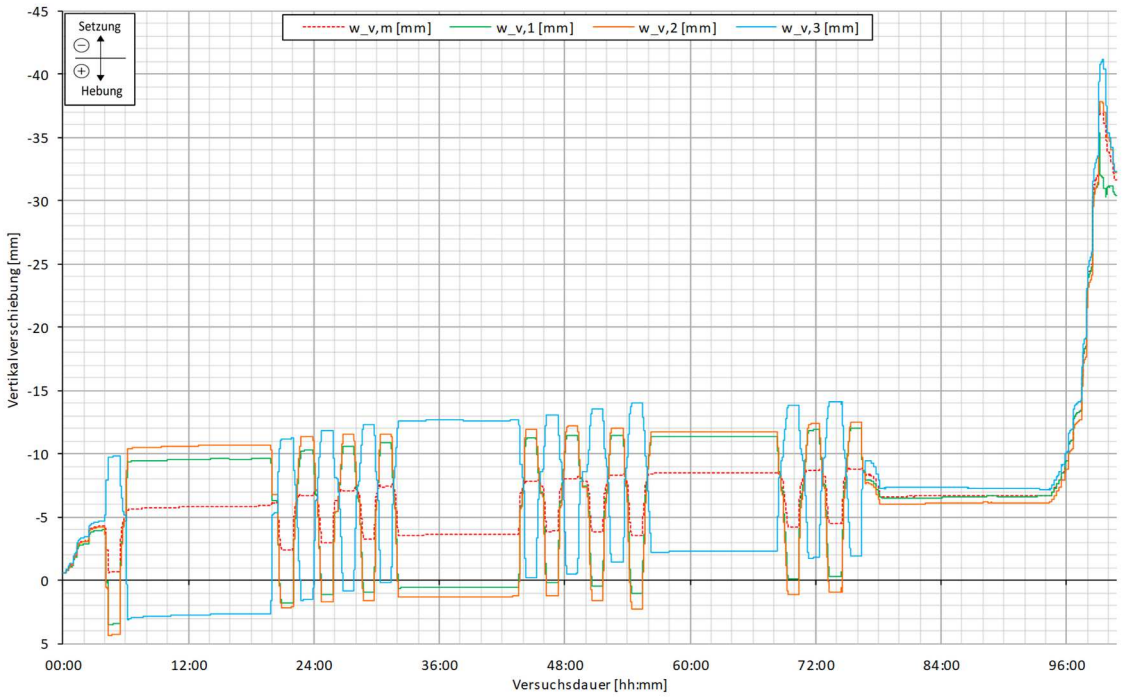


Abb. 5.65: Einzelwerte und Mittelwert der vertikalen Wegaufnehmer beim Versuch B.HK

Horizontale Pfahlkopfverschiebung

Ein analoges Diagramm (Abb. 5.23) wurde für die horizontalen Pfahlkopfverschiebungen $w_{h,1}$ und $w_{h,2}$ erstellt.

Es zeigt, dass schon bei der ersten Verschiebung der Soll-Wert von 42 mm erreicht wurde. Ab dem 7. Zyklus ist dann die erhöhte Diskrepanz der beiden Hoirzontalwegaufnehmer erkennbar. Bei der Versuchsdurchführung wurde danach getrachtet, die Soll-Verschiebung im Mittel zu erreichen (am Monitor wurden nur die Einzelwerte angezeigt). Bei der Auswertung wurden dann sämtliche Justierungen berücksichtigt und die nachstehenden Verläufe ermittelt.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

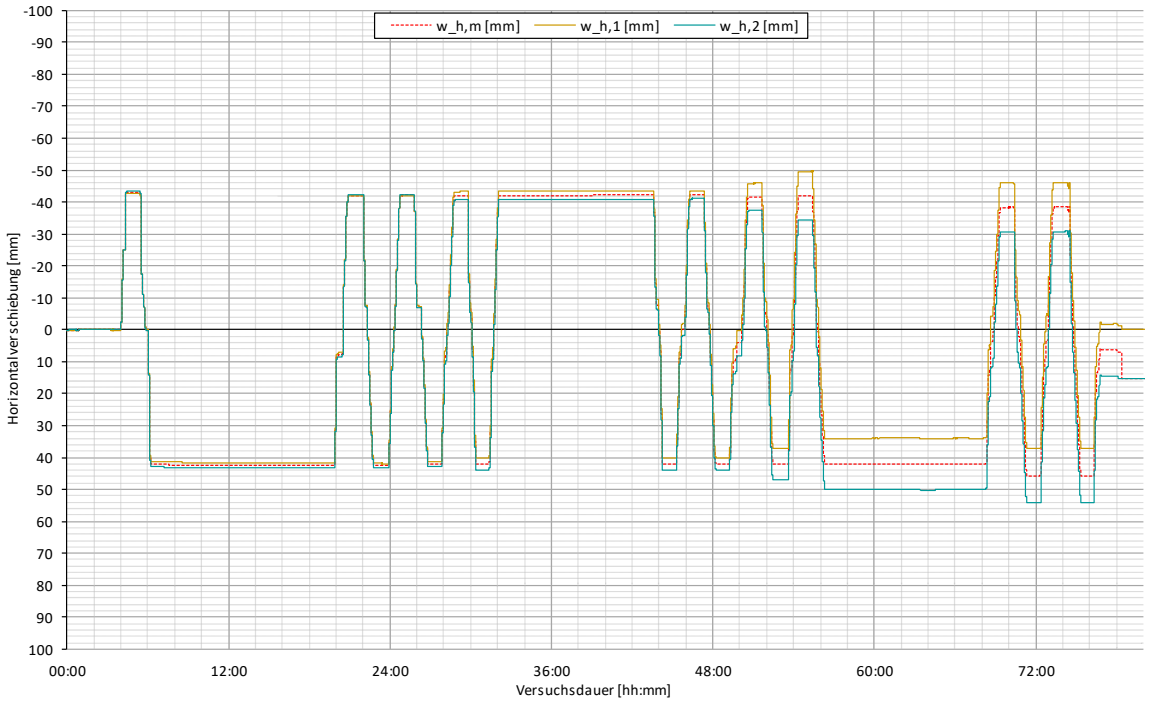


Abb. 5.66: Einzelwerte und Mittelwert der horizontalen Wegaufnehmer beim Versuch B.HK

Zum Vergleich ist in Abb. 5.67 wieder der Verlauf der obersten Inklinometersonde (Nr. 6) dargestellt. Fälschlicherweise wurde dieser durch Aufsummierung der Einzelwerte von unten nach oben ermittelt. Beim Probepfahl B.HM war diese Vorgangsweise korrekt. Da jedoch beim Probepfahl B.HK bei der Verschiebung des Pfahlkopfes der Fußpunkt in die Gegenrichtung auswich, zeigt der Verlauf also die totale Durchbiegung über die Nullstellung hinweg (vgl. Skizze in Abb. 5.67).

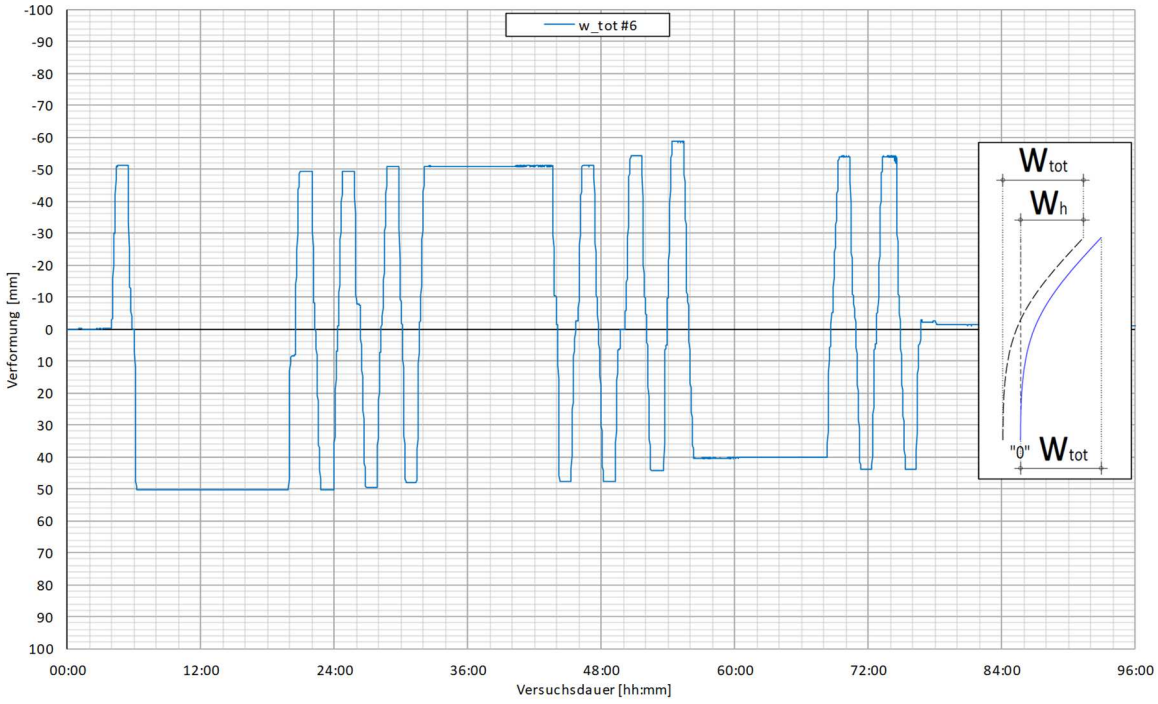


Abb. 5.67: Totale horizontale Pfahlkopfverformung lt. oberster Inklinometersonde (#6) beim Versuch B.HK

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Setzungszunahme während den Horizontalverschiebungszyklen

Das folgende Diagramm (Abb. 5.68) gibt auch hier Antwort auf die primäre Fragestellung, wie sich die Horizontalverschiebungen im Setzungsverhalten des Pfahles unter Gebrauchslast äußern würden. Für die Betrachtung der Setzungsentwicklung wurde die mittlere Vertikalverschiebung über die Anzahl der Weg-Nullstellungen aufgetragen (rote Achsen). Zur Verdeutlichung der zwischenzeitlichen Horizontalverschiebungen wurde der (gemessene und korrigierte) Verlauf der Horizontalkraft ebenfalls über die Anzahl der Nullstellungen aufgetragen (blaue Achsen). Die zeitliche Übereinstimmung von mittlerer Vertikalverschiebung und Horizontalkraft ist nur in den Nullstellungen korrekt. Dazwischen wurden die Horizontalkraftzyklen gleichmäßig aufgeteilt, weshalb beispielsweise die gedehnten Nacht-Beobachtungsphasen hier in dieser Darstellung nicht sichtbar sind.

Vor Beginn der Verschiebungszyklen betrug die Pfahlkopfsetzung 4,3 mm und nahm bis zu einer Setzung von 8,3 mm nach dem letzten Zyklus zu. Der vertikale Verschiebunszuwachs in der HV-Phase betrug somit 4 mm.

Die Grafik zeigt, dass die Setzungszunahme mit steigender Zyklenzahl zwar abnimmt, nach 20 Verschiebungen allerdings nicht vollständig abgeschlossen ist. Es stellt sich die Frage, inwiefern die Aktivierung von zusätzlichem Bodenwiderstand die Setzungsentwicklung gegen Ende der HV-Phase beeinflusst hat. Ein plausiblerer Verlauf bei exakter Versuchsdurchführung ist grün-strichliert eingetragen worden. Der tatsächlich gemessene Verlauf ist jedoch ein Indiz dafür, wie zusätzliche Vertikalverformungen induziert werden können, falls es (z.B. aufgrund eines extrem kalten Winters oder extrem heißens Sommers) zu größeren Verschiebungen kommt.

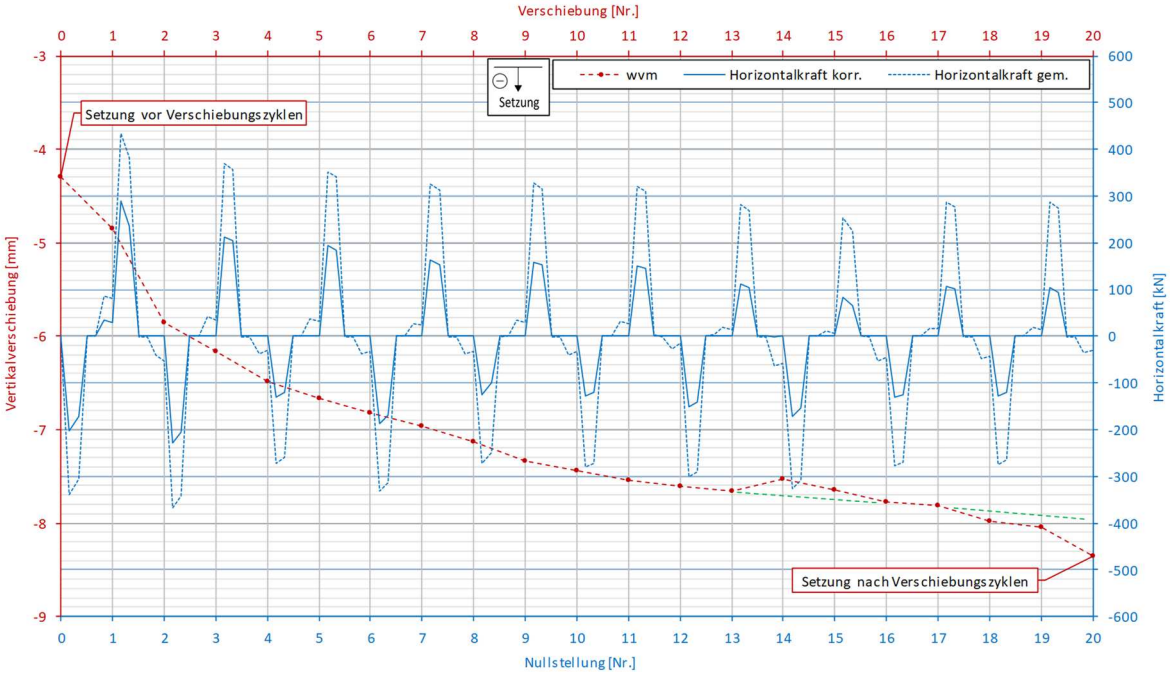


Abb. 5.68: Mittlere Pfahlkopfsetzung während der Horizontalverschiebungsphase beim Versuch B.HK

Zeitverläufe der Längsverformungen

In den folgenden beiden Diagrammen sind die umgerechneten Messwerte der Längsverformungen dargestellt. Abb. 5.69 stellt die gemessenen Stauchungen bzw. Dehnungen gemäß Kettenextensometer dar. Zur Identifikation der Extensometer-Abschnitte (KEX 1 bis KEX 5) ist die Extensometerkonfiguration des Probepfahls B.HK zu betrachten (ANHANG A).

Während die KEX-Abschnitte in jeder Phase des Versuchs B.HM gestaucht wurden, sticht beim Probepfahl B.HK sofort ins Auge, dass die KEX-Abschnitte aufgrund der Horizontalverschiebungen

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

auch beträchtliche Dehnungen erfuhren. Die vergleichweise geringen Dehnungen des obersten Abschnitts (KEX 1) sind darauf zurückzuführen, dass dieser im Bereich des Doppelmantelrohres lag. Letzeres erhöhte die Steifigkeit des ideellen Querschnitts signifikant. Der unterste Abschnitt (KEX 5) wurde sowohl von der Vertikal- als auch Horizontalbelastung am geringsten beeinflusst und wurde ausschließlich gestaucht.

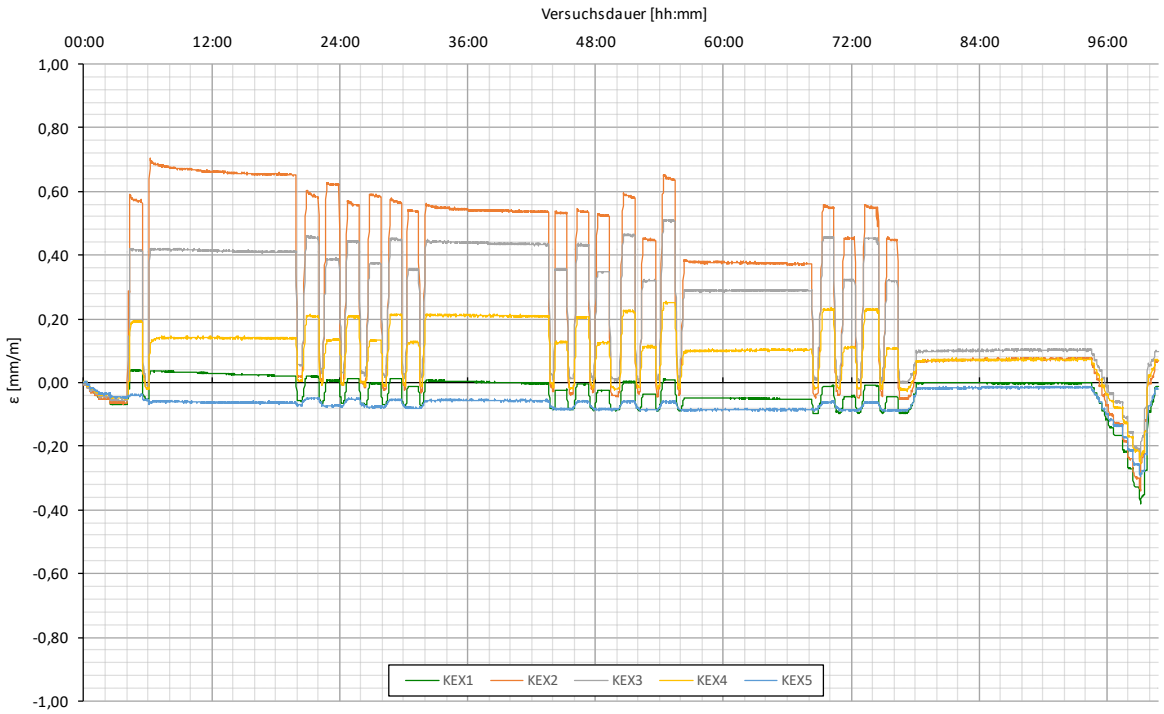


Abb. 5.69: Stauchungen und Dehnungen lt. Kettenextensometer beim Versuch B.HK

Abb. 5.70 zeigt die Stauchungen und Dehnungen der paarweise auf einem Messhorizont gelegenen Bewehrungssensoren. Zur Identifikation ihrer Lage wird auf den Bewehrungsplan [54] verwiesen.

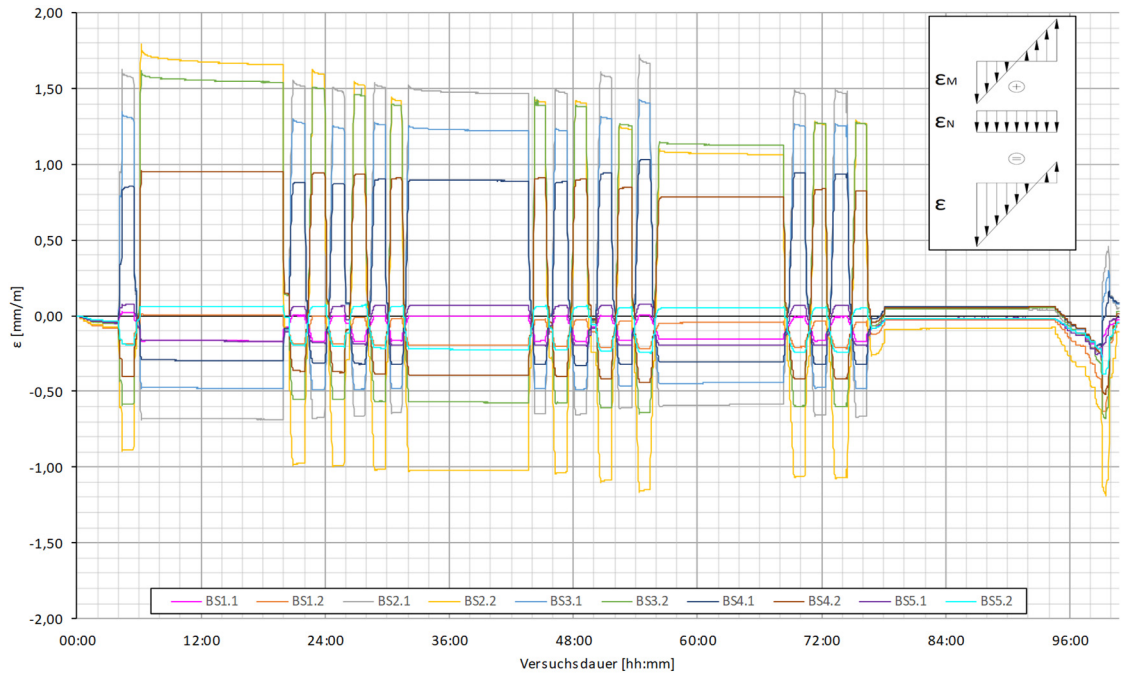


Abb. 5.70: Stauchungen und Dehnungen lt. Bewehrungssensoren beim Versuch B.HK

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bei der vertikalen Laststeigerung zu Beginn traten viel kleinere Verformungen auf als in der HV-Phase auf. Bei den Verschiebungen wurde prinzipiell je Messhorizont ein Bewehrungssensor gestaucht und einer gedehnt (Dehnung zufolge Moment). Dabei erfolgt die Überlagerung mit der Dehnung zufolge Vertikallast (Skizze).

Widerstands-Setzungslinie

Für den Versuch B.HK wurde ebenfalls eine Widerstands-Setzungslinie ausgewertet (Abb. 5.71), welche nun aber zwei Lastschleifen umfasst. Sie gliedert sich folgendermaßen:

- LS 0 (V-1-0) Vorlast, 1. Lastschleife
- LS 1 bis LS 5 (V-1-1 bis V-1-5) Erstbelastung, 1. Lastschleife
- LS 6 (V-1-6) Horizontalverschiebungsphase
- LS 7 bis LS 9 (V-1-7 bis V-1-9) Entlastung, 1. Lastschleife
- LS 10 (V-2-0) Vorlast, 2. Lastschleife
- LS 11 bis LS 14 (V-2-1 bis V-2-4) Wiederbelastung, 2. Lastschleife
- LS 15 bis LS 22 (V-2-5 bis V-2-12) Erstbelastung, 2. Lastschleife
- LS 23 (V-2-13) 5000 kN, nicht erreicht
- LS 24 bis LS 26 (V-2-14 bis V-2-16) Entlastung 2. Lastschleife
- LS 27 (V-2-17) Vorlast, Ende

Die Zunahme der Pfahlkopfsetzung in der Horizontalverschiebungsphase ist deutlich zu erkennen. Nach der Entlastung verhält verhält sich das Pfahl-Boden-System von LS 11 bis LS 17 steifer als vor der HV-Phase (LS 3 bis LS 5). Erst ab der Laststeigerung von LS 17 auf LS 18 nehmen die Setzungen wieder stärker zu als vor der HV-Phase. Wegen der besonders guten Identifizierbarkeit werden die wichtigsten Punkte hier noch einmal genauer zusammengefasst:

- Setzung bei Axialkraft 1000 kN vor HV-Phase: 4,3 mm
- Setzung bei Axialkraft 1000 kN nach HV-Phase: 8,3 mm (Zunahme: 4,0 mm)
- Setzung bei Axialkraft 4700 kN (Maximallast): 37,5 mm*
- Restsetzung nach axialer Entlastung (Vorlast): 31,5 mm

*Anmerkung: Die in Maximalsetzung in der WSL ist mit 36,9 mm etwas geringer, da die WSL zum Ende der Laststufen generiert wurde und sich die Setzung aufgrund des Kraftabfalls wieder vermindert hatte.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

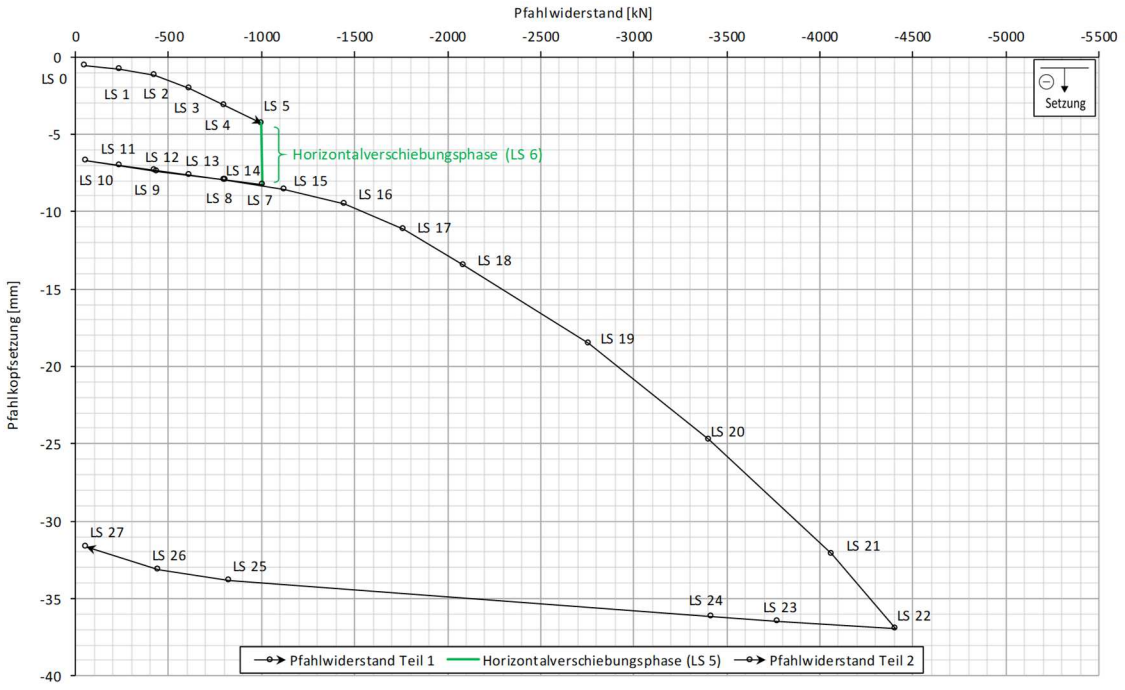


Abb. 5.71: Widerstands-Setzungslinie zufolge Vertikallast beim Versuch B.HK

Zeit-Verformungs-Verhalten

Für die Laststufen der Erstbelastung beider Lastschleifen wurde wieder die sogenannte „Zeitverformung“ dargestellt, wie sie auch in der EA-Pfähle [13] angeführt wird. Sie stellt den Zusammenhang zwischen der Pfahlkopfsetzung und dem Logarithmus der Beobachtungszeit auf jeder Laststufe dar. Dabei zeigt zuerst Abb. 5.72 die absolute Zeitverformung, die aufgrund der Skalierung wenig aussagekräftig ist.

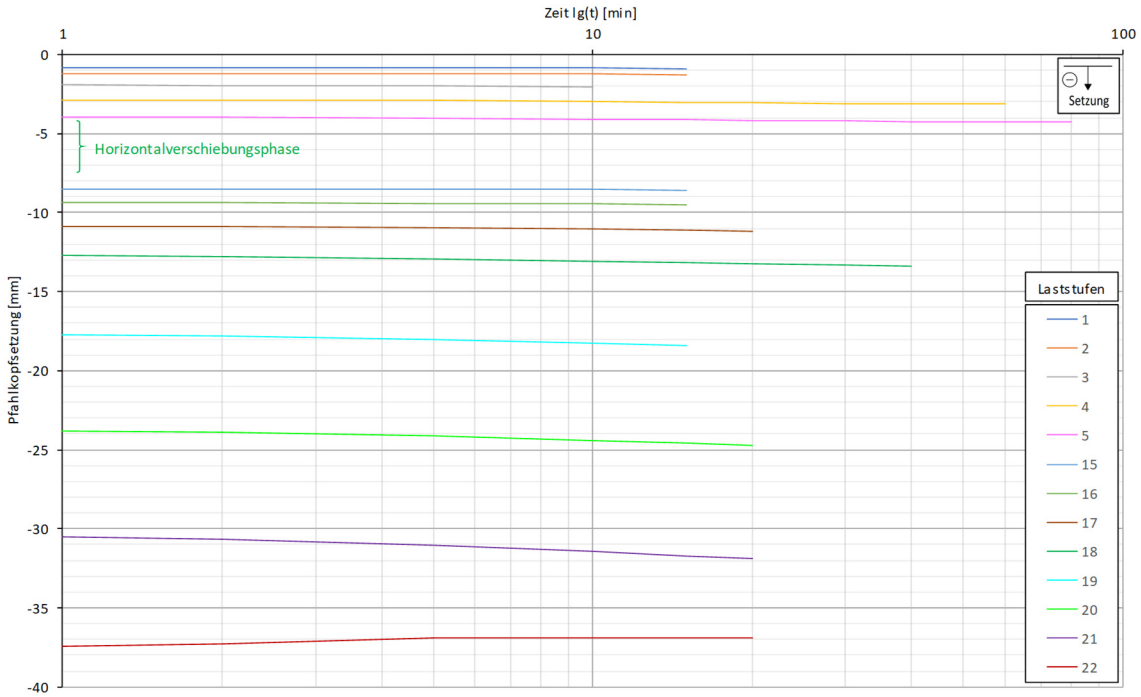


Abb. 5.72: Absolute Zeitverformung je vertikaler Erstbelastungsstufe beim Versuch B.HK

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

In Abb. 5.73 wurden die einzelnen Linien wiederum auf den jeweiligen Wert zu Beginn der Laststufe normiert. Anhand der erhaltenen relativen Zeitverformung lässt sich unter geeigneter Wahl die Steigungsgerade (rot-strichlierte Linien) für die Kriechmaßbestimmung festlegen. Das Kriechmaß beschreibt wieder die Steigung der Tangente an die Zeitverformungslinie (vgl. Gleichung (3.81) bzw. Abb. 3.44).

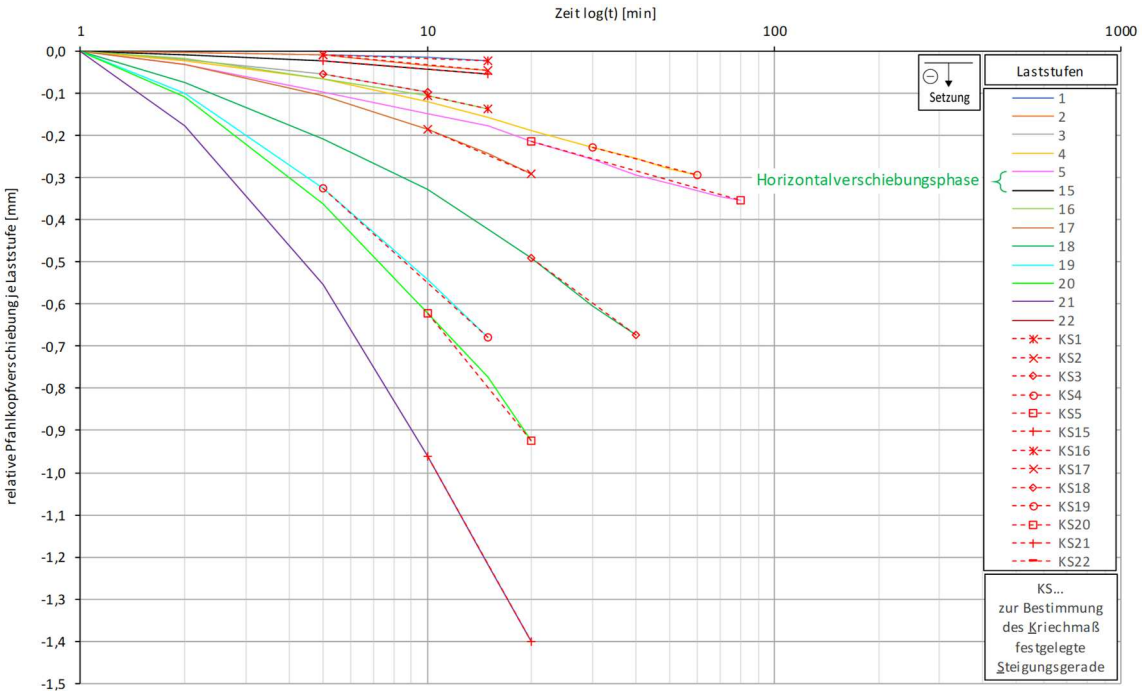


Abb. 5.73: Relative Zeitverformung je vertikaler Erstbelastungsstufe beim Versuch B.HK

Auch hier ist die Steigung der Gerade vor der HV-Phase (KS5) größer als jene der Gerade nach HV-Phase (KS15).

Widerstands-Kriechmaßlinie

In der *Excel*-Auswertung wurden die Kriechmaße der einzelnen Belastungsstufen errechnet und daraus die Widerstands-Kriechmaßlinie generiert (Abb. 5.74). Sie verdeutlicht auch hier die zwischenzeitliche Abnahme des Kriechmaßes aufgrund der Horizontalverschiebungen. Das maximale Kriechmaß von 1,46 mm trat auf LS 21 bei 4065 kN auf und lag damit noch deutlich unter 2 mm, was gemäß EA-Pfähle [13] oft für den Grenzzustand der Tragfähigkeit definiert wird.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

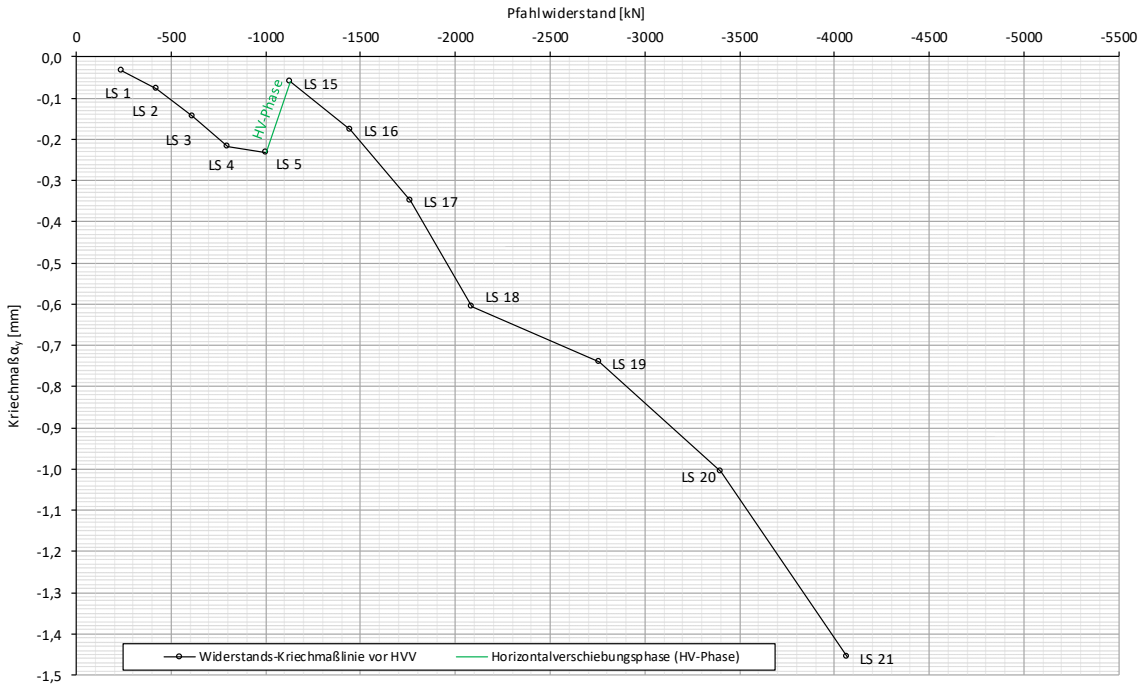


Abb. 5.74: Widerstands-Kriechmaßlinie je Vertikallaststufe beim Versuch B.HK

Stauchungen über die Pfahllänge

Die Stauchungen der Bewehrungssensoren und der Extensometerabschnitte wurden zu den Zeitpunkten am Ender jeder Belastungsstufe ausgelesen. Die beiden Werte der Bewehrungssensoren je Messhorizont wurden gemittelt und in Abb. 5.75 gemäß ihrer Höhenlage im Pfahl punktuell eingetragen. Das Kettenextensometer registrierte die Stauchungen über den vorgegebenen Abschnitt, weswegen sie im Diagramm abschnittsweise konstant dargestellt sind.

Betrachtet man die Bewehrungssensoren (durchgezogene Linien), so fand mit steigender Last eine Zunahme der Stauchung in jedem Messhorizont statt. Der oberste Abschnitt zwischen den Horizonten BS1 und BS2 ist für die Laststufen 1-BS bis 5-BS beinahe senkrecht, da über das Doppelmantelrohr keinerlei Mantelreibung übertragen werden konnte. Zudem stimmt hier die Stauchung sehr gut mit jener laut Kettenextensometer überein. Die leichte Reduktion der Stauchung im Horizont BS2 könnte damit zu tun haben, dass in diesem Horizont bereits eine gewisse Mantelreibung wirkte. Bei den Laststufen nach der HV-Phase (15-BS bis 21-BS) waren die Stauchungen im Horizont BS3 und BS4 deutlich kleiner als im Horizont BS2. Dies könnte daran liegen, dass sich aufgrund der Pfahlverformungen die Mantelreibung in diesem Bereich weitgehend aufrechterhalten werden konnte. Diese Theorie wird anhand der Skizze in Abb. 5.76 verdeutlicht. Das Ausweichen des Pfahls im unteren Abschnit würde auch die Zunahme der Stauchungen im untersten Horizont (BS5) erkären (vgl. dazu die später gezeigten Biegelinien).

Die mit steigender Last zunehmenden Stauchungen im untersten Messhorizont (BS5) deuten auch hier wieder auf die allmähliche Aktivierung des Pfahlfußwiderstands hin.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

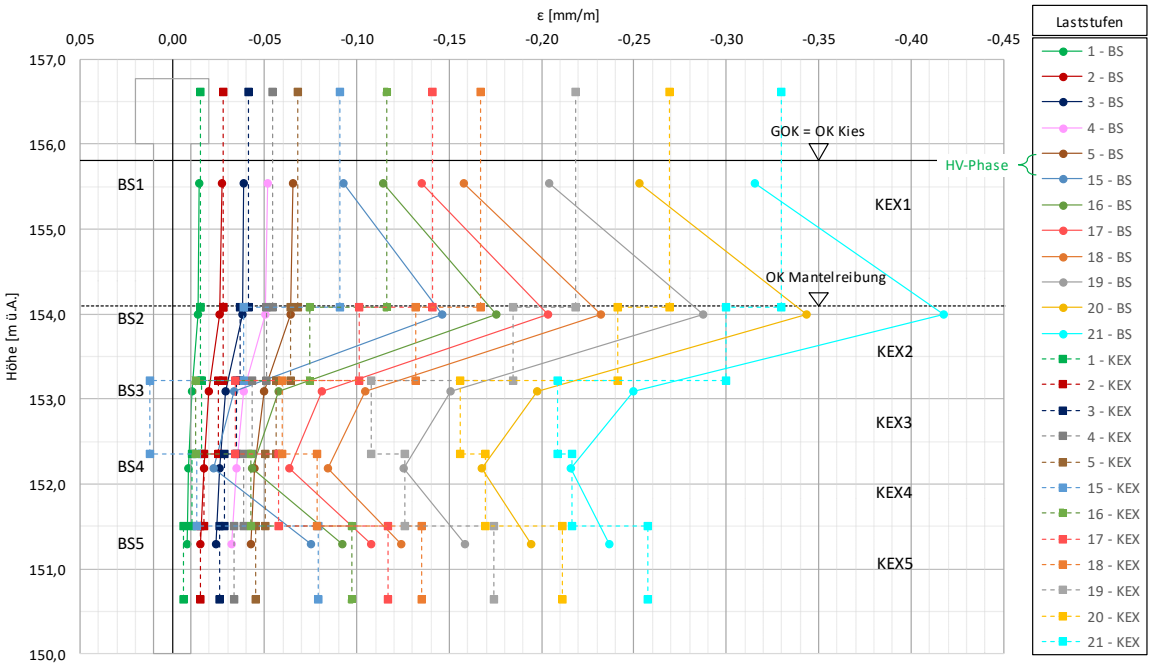


Abb. 5.75: Stauchungen über die Pfahllänge je Vertikallaststufe lt. KEX und BS beim Versuch B.HK

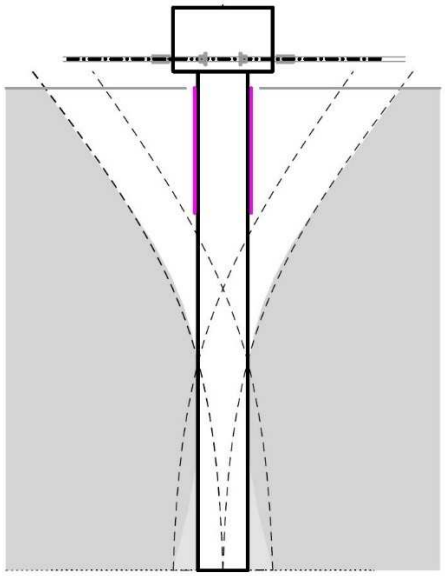


Abb. 5.76: Bestehende Mantelreibung im Bereich BS3 bis BS 4

Die Messwerte je Extensometer-Abschnitt zeigen ein ähnliches Verformungsverhalten. Demnach nahmen die Stauchungen mit steigender Vertikallast in jedem Abschnitt zu. Der Sprung der Stauchungen zwischen der Laststufe 5-KEX (vor HV-Phase) und 15-KEX (nach HV-Phase) fiel hier geringer aus als beim Versuch B.HM.

Eine analoge Darstellung der Stauchungen über die Pfahllänge erfolgte auch für Horizontalverschiebungsphase (Abb. 5.77). Dabei wurden die Messwerte jeweils zu den Zeitpunkten der Weg-Nullstellung abgegriffen. Im Gegensatz zum Pfahl B.HM zeigt sich weniger klares Bild. Vor allem die Dehnungen im mittleren Bereich des Pfahls (BS2 bis BS4 bzw. KEX2 bis KEX4) deuten auf Dehnungen zufolge Biegung hin. Dies könnte zum Teil auch an den Betrachtungszeitpunkten liegen, denn in der Weg-Nullstellung war im Allgemeinen immer eine Horizontalkraft vorhanden, die zur Biegung führte.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

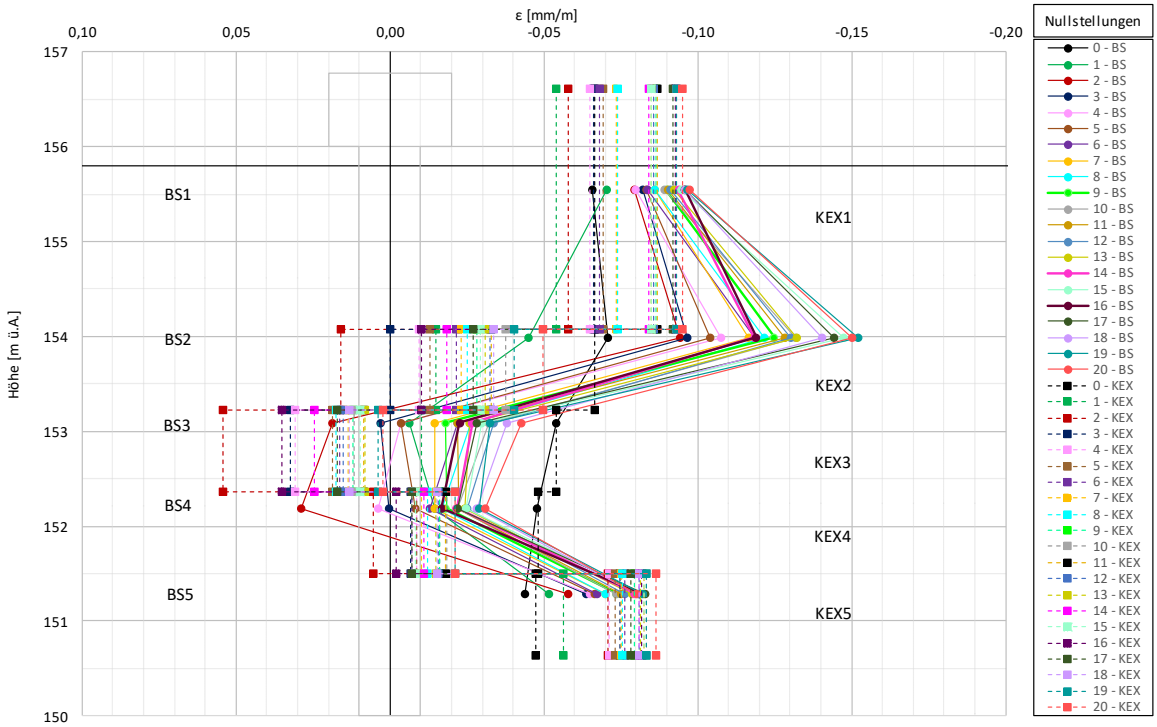


Abb. 5.77: Stauchungen über die Pfahllänge je Weg-Nullstellung lt. KEX und BS beim Versuch B.HK

Längskraftverläufe

Aus dem Mittelwert der von den Bewehrungssensoren gemessenen Längsdehnungen wurden mit Gleichung (5.11) wiederum die Längskräfte in den Messhorizonten berechnet und in Abb. 5.34 dargestellt.

Dabei wurde im obersten Horizont der dort für die mantelreibungsfreie Strecke errechnete E-Modul herangezogen. Naturgemäß entspricht somit die errechnete Kraft in diesem Abschnitt der eingeleiteten Vertikalkraft. Für alle anderen Horizonte wurde vorerst der E-Modul von 34 kN/mm² gemäß [75] angesetzt. Eine Detailauswertung der E-Moduli des Pfahlbetons (nichtlineares Verhalten, Erhärtungsbedingungen) erfolgt in einer späteren Projektphase und ist daher nicht Gegenstand dieser Diplomarbeit. Anzumerken ist jedoch, dass der Einfluss des E-Moduls auf die rechnerische Auswertung der Pfahlkräfte und somit auch der Mantelreibungen essentiell ist und durch diese vorläufige Vorgangweise die Längskraft in diesen Horizonten entweder über- oder unterschätzt wird. Deren Verlauf sollte daher lediglich für eine qualitative Aussage herangezogen werden. Die Längskraftverläufe, die sich aus den Dehnungen gemäß Kettenextensometer ergeben würden, sind nicht dargestellt, da eine Berechnung des E-Moduls aufgrund der abschnittsweisen Dehnungen nicht analog zu den Bewehrungssensoren erfolgen konnte.

Nichtsdestotroz ist zumindest eine (qualitative) Aussage möglich: Je weiter die Linie nach rechts wandert, desto mehr Längskraft kommt am Pfahlfuß an. Die Längskraft im untersten Horizont (BS5) entspricht beim Probepfahl B.HK noch nicht der Pfahlfußwiderstandskraft, da sie bis zum weiter unten liegenden Pfahlfuß noch demensprechend abgebaut wird.

Die Zunahme der Längskraft im untersten Abschnitt hängt direkt mit der Zunahme der Stauchungen zusammen. Ein möglicher Grund dafür wurde bereits im Zusammenhang letzerer erläutert.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

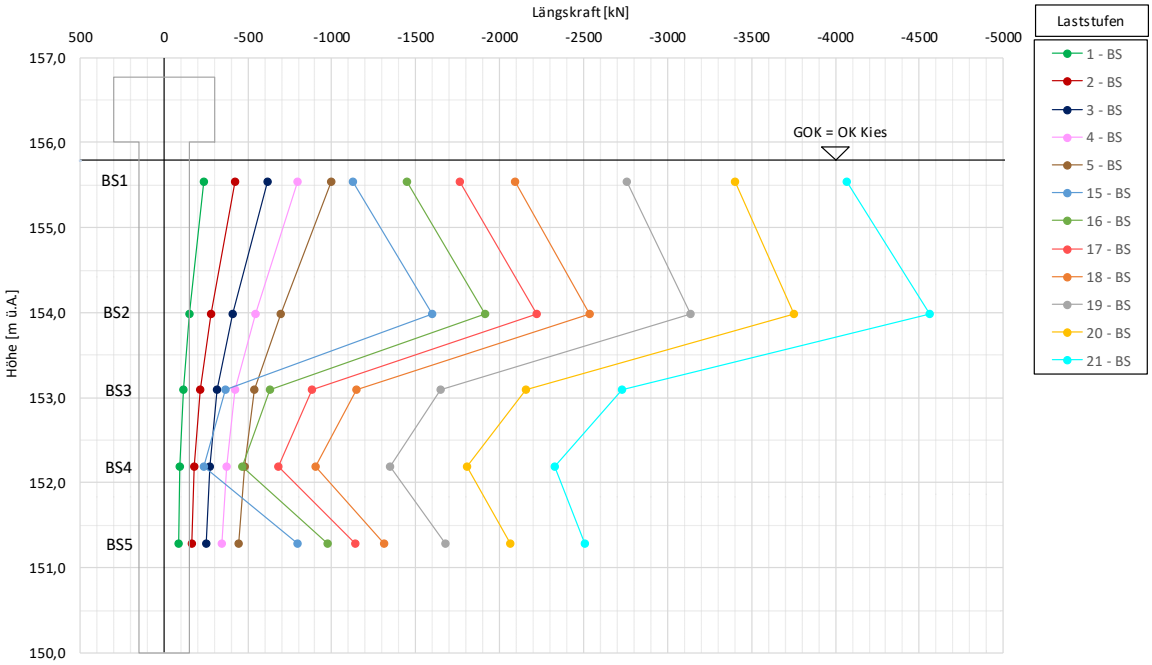


Abb. 5.78: Längskraftverlauf je Vertikallastufe lt. Bewehrungssensoren beim Versuch B.HK

Mantelreibungsverlauf

Eine Ableitung des Mantelreibungsverlaufs aus den Längskräften ist aufgrund der Kenntnisdefizite hinsichtlich der Last- sowie Tiefenabhängigkeit des E-Moduls derzeit noch nicht zweckmäßig. Aus diesem Grund wird hinsichtlich Mantelreibungverteilung auf zukünftige Untersuchungen verwiesen.

P-y-Kurven auf Höhe des Pfahlkopfes

Das folgende Diagramm in Abb. 5.79 stellt den Zusammenhang zwischen der (gemessenen) Horizontalkraft und der zugehörigen horizontalen Pfahlkopfverschiebung ($w_{h,m}$) dar. Im Prinzip handelt es sich um die *P*-*y*-Kurven (*P*…Horizontalkraft, *y*…Horizontalverschiebung) auf Höhe des Pfahlkopfes. Die Trennung für die Darstellung der einzelnen Verschiebungen (abwechselnd strichlierte und durchgezogene Linien) erfolgte dabei an den Weg-Nullstellungen, wo sich das Vorzeichen der Verschiebung änderte.

Beim Versuch B.HK erfolgte die 1. Verschiebung ab Versuchsbeginn definitionsgemäß in negative Richtung (grün-strichlierte Linie). Nach dem Erreichen der maximalen Kraft P_{max} (-) folgte die Beobachtungszeit, in der die Kraft etwas abfiel, die Verschiebung jedoch leicht zunahm. Die Spitzen am Ende zufolge kurzem Wiederanspannen blieben hier aus, da die Festhaltung der Verschiebung allein mit der Hydraulik erfolgte. Nach der Beobachtungszeit wurde wieder entlastet bis zur Kraftlosenstellung, in der eine gewisse Restverschiebung verblieb. Anschließend erfolgte der Wechsel auf die gegenüberliegende Presse, mit der der Pfahlkopf anschließend in die 1. Weg-Nullstellung gebracht wurde. Nach kurzem Anhalten und Dokumentation der Nullstellung folgte die zweite Verschiebung (grün-durchgezogene Linie) nach gleichem Schema.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

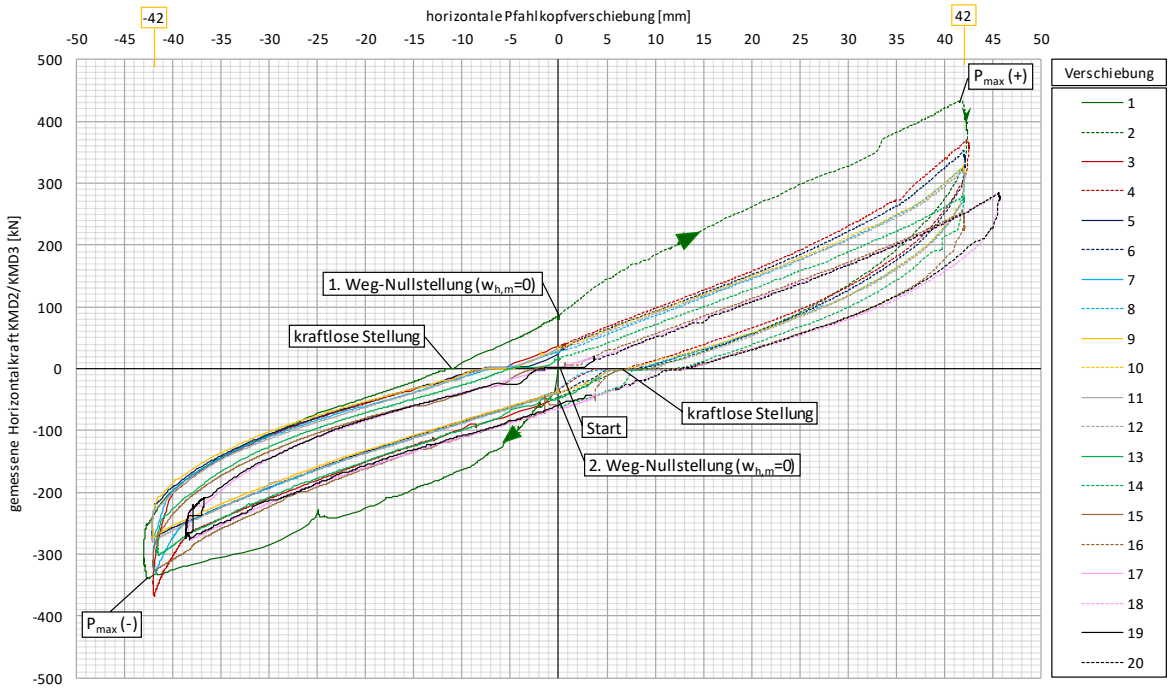


Abb. 5.79: Kraft-Verschiebungslinien („*P*-*y*-Kurven“) der 20 Verschiebungen beim Versuch B.HK

Zumindest bei der 1. Verschiebung trat wiederum der überlineare Verlauf auf. Die Linie der 2. Verschiebung ist mehr oder weniger linear. Ab der 3. Verschiebung stieg die Horizontalkraft mit zunehmender Verschiebung dann bereits nur mehr unterlinear an. Mit steigender Verschiebungsanzahl ist hier wiederum die Verminderung der erforderlichen Horizontalkraft gut erkennbar.

Auffällig sind die teils Reißzahn-ähnlichen Enden der Kraft-Verschiebungslinien. Der naheliegenste Grund ist, dass hier jeweils schon gegen das Außenrohr gezogen wurde (vgl. Abb. 5.80). Dabei erhöhte sich der laterale Widerstand bei nahezu gleichbleibender Verschiebung.



Abb. 5.80: Ausgenutzter Verschiebungsweg, Foto [AS]

Biegelinien

Wie bereits vorhin erwähnt, wurden die Verformungen am aktuellen Wert der mittleren, horizontalen Pfahlkopfverschiebung ($w_{h,m}$) „eingehängt“ und von oben nach unten bis zur Rohrunterkante (#0) aufsummiert (Abb. 5.81). Die Annahme eines unverschieblichen Fußpunktes des Pfahles erscheint aufgrund der geringen Pfahltiefe nicht gerechtfertigt.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

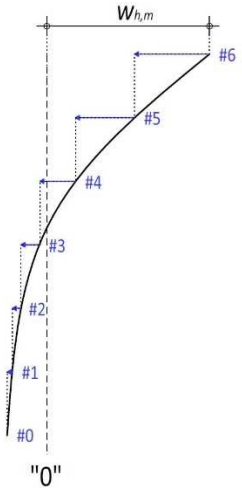


Abb. 5.81: Prinzip der KIN-Auswerung beim Probepfahl B.HK

Zuerst werden nun wieder die Biegelinien der einzelnen Zyklusstufen betrachtet (Abb. 5.82). Am Beispiel des 1. Zyklus wird der Zyklusablauf noch einmal verdeutlicht. Die durchgezogene Linie ist dabei jeweils die Biegelinie am Anfang (A) der Zyklusstufe – die strichlierte Linie die Biegelinie am Ende (E) der Zyklusstufe nach einer Beobachtungsphase von 60 Minuten. Die Inklinometermesswerte wurden dabei auf die Verformungen zufolge Vertikalbelastung zum Zeitpunkt V-1-5-E normiert. Nach chronologischer Reihenfolge wurde zuerst die 1. Verschiebung eingeprägt (grün-durchgezogene Linie). Die Durchbiegung auf Pfahlkopfhöhe blieb während der Beobachtungszeit annähernd gleich (grün-strichlierte Linie). Das Biegemoment im Pfahl baute sich ab, indem der Pfahlfuß in die entgegngesetzte Richtung wanderte. Nach der Entlastung (blau-durchgezogene Linie) verformte sich der Pfahl kaum innerhalb der kurzen Beobachtungszeit (blau-strichlierte Linie). Die grauen Linien zeigen die Biegelinien in der darauffolgenden Weg-Nullstellung, die optisch kaum von der Lotrechten abweicht. Danach erfolgte die 2. Verschiebung bzw. 4. Zyklusstufe in die entgegengesetzte Richtung (gelb-durchgezogene Linie). Wiederum ging wuchs die Durchbiegung am Pfahlkopf innerhalb der Beobachtungszeit leicht an, jedoch erfolgte keine Gegenbewegung (mehr) am Pfahlfuß (gelb-strichlierte Linie). Entweder liegt hier ein Messfehler vor oder der Pfahl war schon nach der 1. Verschiebung gerissen, was auch die Biegelinien im 10. Zyklus vermuten lassen (siehe ANHANG L). Zur Klärung dessen, wäre eine Stellungnahme des Statikers erforderlich. Nach der anschließenden Entlastung (rot-durchgezogene Linie) stellte sich der Pfahl gerader (rot-strichlierte Linie), ehe der Pfahl in die 2. Nullstellung (= 6. Zyklusstufe) gebracht wurde (violette Linie). Die violetten Linien sind deswegen falsch, weil die Excel-Berechnung nur jede Minute Inklinometermesswerte zur Verfügung hat und die 6. Zyklusstufe lediglich 4 Sekunden dauerte (anstatt 5 min; die Nullstellung wurde beim Versuch praktisch vergessen und darüberhinwegverschoben).

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

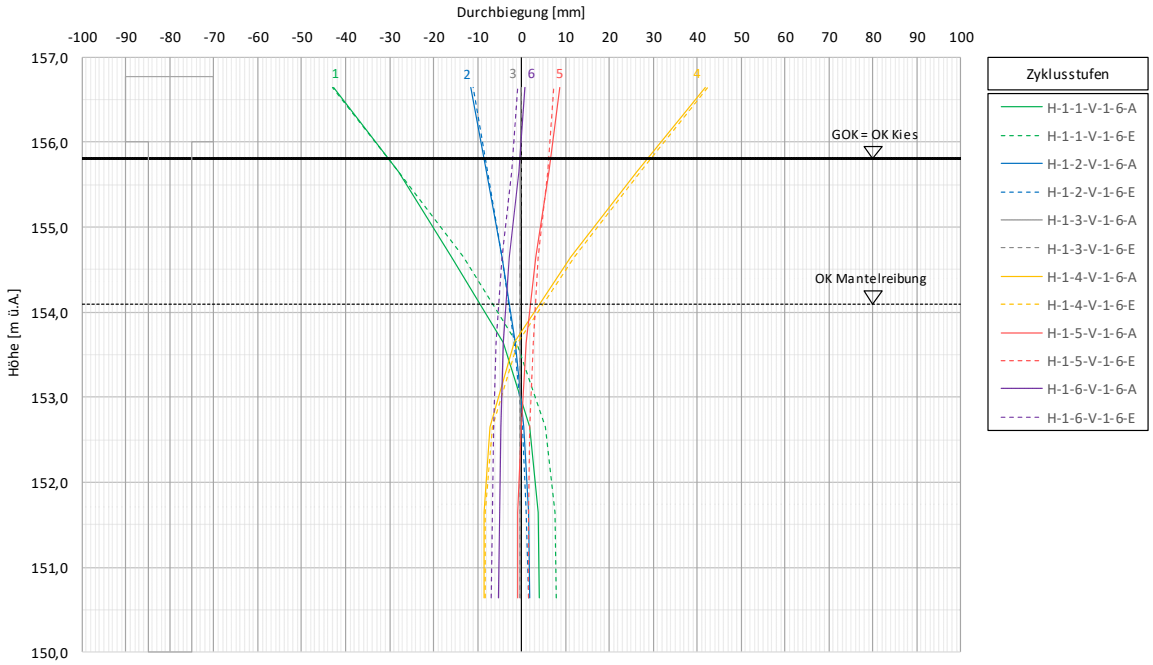


Abb. 5.82: Biegelinie am Anfang und Ende der 6 Zyklusstufen im 1. Zyklus beim Versuch B.HK

In der Abb. 5.83 sind nun die Biegelinien aller 20 Verschiebungen jeweils zum Ende der Zyklusstufe dargestellt. Im Gegensatz zum Probepfahl B.HM wanderte hier der Fußpunkt jeweils in die entgegengesetze Richtung der Verschiebung. Auffällig ist, dass die Bewegung des oberen Bereichs aufgrund des Stahlrohres und der fehlenden Bettung einer Starrkörperrotation ähnelt. Darunter erfuhr der Pfahl allerdings schon jeweils eine Biegeverformung. Die fast senkrechte Neigung des untersten Pfahlabschnitts lässt vermuten, dass etwa bei dieser Tiefe die Einspannwirkung beginngen würde. In allen ausgelenkten Stellungen war die Biegeform einfach gekrümmt.

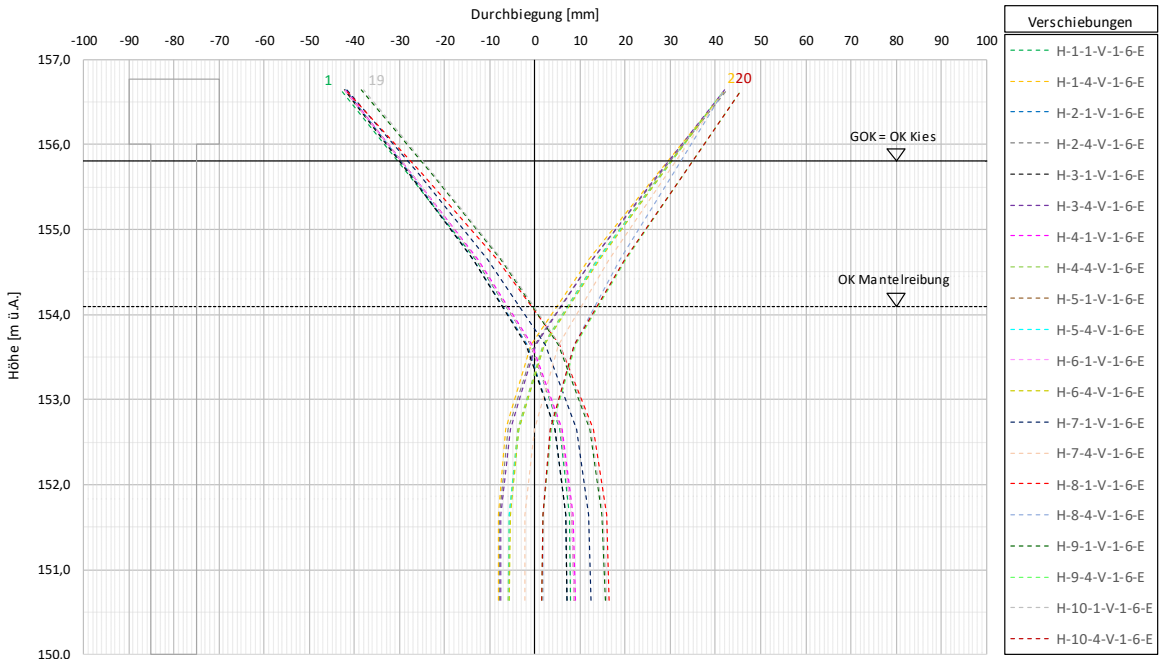


Abb. 5.83: Biegelinien am Ende aller 20 Verschiebungen beim Versuch B.HK

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Unter Berücksichtigung der seitlichen Verlagerung des Drehpunkts kann bei der Pfahlkopfverschiebung von ±42 mm die Gegenbewegung am Pfahlfuß mit etwa ±13 mm festgestellt werden.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

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 6

Schlussfolgerung und Ausblick

6.1 Kritische Beurteilung der Horizontalverschiebeversuche

6.1.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt werden die wesentlichsten Schlussfolgerungen der Horizontalverschiebeversuche zusammengefasst. Aufgrund der Tatsache, dass Literatur und Erfahrungen zu kombinierten Pfahlprobebelastungen kaum vorliegen, werden auch für das Forschungsprojekt Unteres Hausfeld (FPUH) getroffene Annahmen und Festlegungen der Versuchsdurchführungen kritisch hinterfragt.

6.1.2 Konzeption und Durchführung

Unter den verschiedenen Versuchsvariationen des FPUH waren gerade die kombinierten Horizontalverschiebeversuche unter verikaler Gebrauchslast großteils Neuland für alle Projektbeteiligten, speziell für mich als Diplomanden. Eine dementsprechende Herausforderung war es, schon bei der Konzeption der Versuche an alle Eventualitäten der späteren Versuchsdurchführung zu denken. Andererseits herrschte unter den Projektbeteiligten Konsens, mit einer gewissen Flexibilität für Adaptierungen den 1. Versuch (B.HM) zu beginnen und je nach Systemverhalten bei der ersten Verschiebung entsprechende Festlegungen für die weitere Versuchsdurchführung zu treffen.

Während der Auswertung wurde deutlich, dass bei kontinuierlicher Aufzeichnung der Messwerte über eine gesamte Woche, auch sämtliche unplanmäßigen Vorkommnisse und Störungen erfasst werden. Deshalb galt es folgende Einflüsse zu vermeiden:

- Vibrationen oder Stoßwellen von in der Nähe arbeitenden Geräten
- Umsetzen oder Berührung der Wegaufnehmer
- Ausfälle einzelner Messinstrumente/oder ganzer Messsysteme (z.B. wegen leerem Akku)
- Manuelle oder maschinelle Fehler bei der Lastaufbringung
- Abweichende oder unregelmäßige Versuchsdurchführung

Die Durchführung der Versuche im Winter war deswegen vorteilhaft, weil mittels Heizstrahlern der Innenraum der Einhausung gleichmäßig temperiert werden konnte. Im Sommer wären Temperaturschwankungen viel schwieriger zu vermeiden gewesen.

Die Konstruktionsweise der Belastungskonstruktion bedingte, dass aufgrund der horizontalen Verschiebungseinprägung vertikale Zwangskräfte entstanden. Diese fielen beim Versuch B.HM geringer aus als beim Versuch B.HK, wo zu hinterfragen ist, inwiefern die zusätzlichen vertikalen Kräfte die Setzungsentwicklung während der horizontalen Lastwechsel beeinflusst haben. Außerdem gab es gewisse Rückstell- und Lagereibungskräfte, sodass die an der Presse gemessene Horizontalkraft, i.A. nicht jener entsprach, die am Pfahlkopf wirkte. Die Rückrechnung der tatsächlich am Pfahlkopf wirkenden Kräfte mittels baustatischer Überlegungen, ist wiederum mit Unsicherheiten behaftet, welche

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

die Versuchssteuerung erschwerte. Deshalb könnte für weitere derartige Versuche eine Belastungseinrichtung angedacht werden, die eine Messung der Kräfte unmittelbar am Pfahlkopf ermöglicht.

Vor allem beim Aufbau der Messbrücke kam erschwerend hinzu, dass teilweise beengte Platzverhältnisse herrschten und die Anordnung der Messträger aufgrund benachbarter Pfahlköpfe nur beschränkt möglich war.

Im konkreten Fall war die Belastungssteuereung so ausgelegt, dass das Druckkonstanthaltegerät die Vertikallast lediglich erhöhen konnte, jedoch keine automatische Reduktion ermöglichte. Diese Regelung war für reine Vertikalbelastungen ausreichend, zeigte jedoch bei der kombinierten Belastung aufgrund verschiedener Randbedingungen (Zwänge, Temperaturschwankungen des Hydrauliköls, usw.) mitunter Probleme mit von selbst ansteigendem Druck im System. Deshalb wäre für künftige Prüfungen eine zusätzliche automatische Reduktionsmöglichkeit des Drucks von Vorteil.

Aufgrund der langjähren Erfahrung und des Feingefühls des Poliers und des Spannmeisters funktionierte die lastgesteuerte Versuchsdurchführung unter gleichzeitiger Kontrolle der Verschiebungsgeschwindigkeit überaus gut. Dennoch wäre eine automatische Wegsteuerung im Sinne einer gleichmäßigen Verschiebungseinprägung mit vorgegebener Vorschubgeschwindigkeit vorteilhafter gewesen.

Besonders wichtig waren die Funktionstüchtigkeit aller Messwerterfassungssysteme und die ordnungsgemäße Versuchsdurchführung. Dazu gehörten auch die möglichst exakte Installation der Messinstrumente und deren hinreichende Dokumentation (z.B. Orientierung der Bewehrungssensoren, Vordehnung des Kettenextensometers, Orientierung des Ketteninklinometers). Deshalb war die Anwesenheit bzw. Verfügbarkeit aller Projektbeteiligten vor Beginn des Versuchs von Bedeutung, um etwaige Unklarheiten zu den Mess- und Belastungseinrichtungen klären zu können und deren Funktionstüchtigkeit sicherstellen zu können.

Die Vermeidung der Umsetzung oder Nachjustierung von Wegaufnehmern erspart vor allem in der Auswertung viele Korrekturen in den Daten. Korrekturen, die wiederum Annahmen erfordern, können mit Fehler behaftet sein. Für die Auswertung war deshalb die möglichst lückenlose Dokumentation aller Vorkommnisse auf dem Feldprotokoll entscheidend. Das Feldprotokoll diente außerdem zur Orientierung in der großen Datenmenge.

In diesem Zusammenhang ist die teilweise instabile Halterung der verwendeten Wegaufnehmer zu nennen. Durch die Reibung zwischen Wegaufnehmer-Spitze und Tastoberfläche (Plexiglas) wurden die horizontalen Wegaufnehmer infolge der Pfahlkopfverschiebung bzw. -verkippung teilweise verstellt. Dies könnte für weitere Versuche dieser Art hinsichtlich stabilerer Wegaufnehmer, besserer Schmierung der Tastoberfläche oder überhaupt anderer Tastoberfläche (Glas) überdacht werden.

Aufgrund der Horizontalverschiebungen musste der Messbereich der vertikalen Wegaufnehmer 50:50 zur Ausgangsstellung eingestellt werden, damit infolge Pfahlkopfverkippung möglichst viel Messbereich zur Verfügung stand. Beim Versuch B.HM reichte der Messbereich von 20 mm (also ±10 mm) aufgrund der vergleichweise geringen Verkippung aus, sodass ein Umsetzen nicht notwengdig war. Beim Versuch B.HK war die Verkippung entsprechend der größeren Horizontalverschiebung des Pfahlkopfes höher, weshalb die vertikalen Wegaufnehmer mehrmals umgesetzt werden mussten. So gesehen, wären Wegaufnehmer mit größerem Messbereich (z.B. *WA/100*) vorteilhafter gewesen, wenngleich dadurch in der Regel Einbußen bei der Messgenauigkeit resultieren. Bei der Messung der Horizontalverschiebung war selbst der Messbereich von 100 mm knapp bemessen, sodass die Wegaufnehmer sehr genau voreingestellt werden mussten (50mm/50mm).

Zusammenfassend kann jedoch durchaus festgestellt werden, dass die Durchführung der Horizontalverschiebeversuche im Wesentlichen sehr gut funktionierte und die Projektziele erreicht wurden. Dies ist auch in der Regelmäßigkeit der zyklischen Verschiebungen erkennbar.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

6.1.3 Auswertung

Die Festlegung der Aufzeichnungs- bzw. Ausgaberaten der Messdaten sollte schon vor der Versuchsdurchführung gut überlegt werden. Prinzipiell sollte die Messdatenrate dem gewünschten Detailgrad der Betrachtung angepasst werden. Bei Versuchen, die wie im vorliegenden Fall mehrere Tage dauern, spielt dies auch eine wichtige Rolle für die Handhabbarkeit der Datenmenge.

Die gewählte Auswertung in *Excel* ermöglicht eine schnelle Einarbeitung von Projektbeteiligten und Berechnungen sind allgemein nachvollziehbar. So konnte das Auswertungs-File im Laufe des Forschungsprojekts von mehreren Beteiligten der TU Wien Schritt für Schritt entwickelt werden. Aufgrund der großen Datenmenge bei den Horizontalverschiebeversuchen gab es bei der Auswertung jedoch teilweise softwaretechnische Probleme. Auch das Speichern dauerte mit zunehmender Dateigröße immer länger. Häufiges Zwischenspeichern konnte den Verlust von Arbeitsständen weitgehend verhindern.

Verschiedenene Aufzeichnungsraten zwischen den Messwerterfassungssystemen erfordeten teils aufwändigere Überlegungen, wenn Messwerte aller drei Systeme zu einem Zeitpunkt ausgegeben werden sollten. Da das MWES I alle zwei Sekunden Messwerte lieferte und das MWES II sowie MWES III jede Minute nur einen Messwert ausgab, musste die genaue Versuchszeit [*hh:mm:ss*] zur Synchronisation auf ganze Minuten [*hh:mm*] abgestimmt werden. Optimal wäre eine einheitliche Festlegung bzw. Variation der Messdatenrate bei allen Messwerterfassungssystemen oder besser ein einheitliches Messwerterfassungssystem für alle Sensoren.

6.2 Mögliche weitere Untersuchungen

Wie bereits in Kapitel 5 angemerkt, ist eine Berechnung und quantitative Angabe der Mantelreibung aus den Verformungsmessungen im Pfahl nur mit entsprechend guter Kenntnis des E-Moduls möglich. Dieser sollte je nach Spannungsniveau und Querschnittsgeometrie in die Berechnung einfließen. Der zweite entscheidende Faktor dabei ist, welche Querschnittswerte den gemessenen Dehnungen zugeordnet werden. Vor allem in Bereichen, wo sich die Bewehrungsmenge ändert, sind geeignete Annahmen zu treffen. Des Weiteren sind dafür die Werte der Sensoren zu überprüfen, da manche von ihnen unplausibel erscheinen. Die Redundanz der Messsysteme zur Erfassung der Pfahlstauchungen hat sich bewährt, da einzelne unplausible Sensoren verifiziert werden konnten.

Eine zusätzliche Ausstattung der Pfähle mit Pfahlsohldruckmessdosen ermöglicht eine Eichung der - naturgemäß mit Näherungsannahmen - berechneten Mantelreibungen und somit bessere Interpretationsmöglichkeiten.

Der in Kapitel 5 gezeigten Ermittlung des Bettungsverlaufs lagen hinsichtlich Horizontalkräfte idealisierte Annahmen zugrunde – vor allem bei den errechneten Lagerreibungskräften. Für tiefergehende Untersuchungen zum Bettungsverhalten wäre eine genauere Bestimmung des Reibungsverhaltens im Kalottengleitlager notwendig.

Ebenso könnte man anhand der bei Biegung teils gezogenen, teils gedrückten Bewehrungssensoren einen Biegemomentenverlauf über die Pfahllänge errechnen. Sinnvoll wäre dies aber nur, wenn der ordnungsgemäße Einbau der Bewehrungssensoren (gegenüberliegend in Verschiebungsrichtung) bautechnisch sichergestellt wird. Damit könnte das innere Tragverhalten der Pfähle detaillierter untersucht werden.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

6.3 Zusammenfassung

Mit den Horizontalverschiebeversuchen konnte das Last-Verformungsverhalten von zwei unterschiedlichen Großbohrpfahltypen untersucht werden. Die wichtigsten Versuchsdaten bzw. Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tab. 6.1: Zusammenfassung der Horizontalverschiebeversuche

	B.HM	B.HK
Durchmesser:	90 cm	60 cm
Länge:	16 m	6 m
Krafteinleitungsstrecke:	15,28 m	4,10 m
Lastabtragung im:	Kies & Miozän	Kies
Herstellung:	verrohrt	SOB
Doppelmantelrohr:	nein	ja
Gebrauchslast F_k:	4000 kN	1000 kN
Maximale Prüflast F_{max}:	5000 kN	4700 kN[a]
Sollverschiebung am Pfahlkopf:	20 mm	42 mm[b]
Anzahl der Zyklen (Verschiebungen):	10 (20)	10 (20)
Maximale Horizontalkraft[c]:	1000 kN (gem.)	433 kN (gem.)
Setzung bei F_k vor HV-Phase:	5,6 mm	4,3 mm
Setzung bei F_k nach HV-Phase:	11,2 mm	8,3 mm
Setzung bei F_{max}:	13,1 mm	37,5 mm
Restsetzung auf Vorlast nach Entlastung:	8,9 mm	31,5 mm
Maximales Kriechmaß:	0,43 mm bei 5000 kN	1,46 mm bei 4065 kN[d]

[a] Maximallast wurde aufgrund seitlichen Ausweichens des Pfahls nicht erreicht
[b] sollte planmäßig 20 mm auf Höhe UK Doppemantelrohr ergeben
[c] Wert an der Kraftmessdose (nicht am Probepfahlkopf)
[d] die Laststufe von 4700 kN wurde nur wenige Sekunden lang erreicht – die Kraft ist anschließend auf 4065 kN abgefallen.

Die gewählte Anzahl von 10 horizontalen Verschiebungszyklen eignet sich gut für eine qualitative Einschätzung des Setzungsverhaltens. Für die Untersuchung von längerfristigen Folgen wären mehr Zyklen erforderlich, da die Ergebnisse zeigten, dass die Setzungszunahmen nach 10 Vollzyklen nicht vollständig abgeschlossen ist.

Denkbar ist auch eine Steigerung der Horizontalkraft und/oder Horizontalverschiebung nach Abklingen der Setzungszunahmen, um extreme Temperaturbedingungen versuchstechnisch zu simulieren.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

QUELLENVERZEICHNIS

Literatur

[1] ACHMUS, M. (2009): Bemessung von Gründungselementen für Offshore-Windenergieanlagen: Stand des Wissens und offene Fragen. 7. FZK-Kolloquium: Potenziale für die Maritime Wirtschaft. Hannover

[2] ACHMUS, M. (2011): Bemessung von Monopiles für die Gründung von Offshore-Windenergieanlagen: Konzepte und offene Fragen. In: Bautechnik 88, 2011, Heft 9. Berlin: Ernst & Sohn. S. 602-616

[3] ACHMUS, M. (2012): Zum Tragfähigkeitsnachweis für horizontal belastete Pfähle für die Grenzzustände GEO-2 und GEO-3. In: Geotechnik 35, 2012, Heft 2. Berlin: Ernst & Sohn. S. 119-129

[4] ACHMUS, M. & THIEKEN, K. (2012): Untersuchung der Interaktionsbeziehungen kombiniert belasteter Pfähle in bindigen und nichtbindigen Böden. In: Geotechnik 35, 2012, Heft 4. Berlin: Ernst & Sohn. S. 217-228

[5] ADAM, D. (2016): Grundbau und Bodenmechanik: Studienunterlagen zur Vorlesung. Forschungsbereich Grundbau, Boden- und Felsmechanik. Institut für Geotechnik. Technische Universität Wien

[6] ADAM, D. & PIGISCH, N. (2003): Gründungen auf nicht ausreichend tragfähigem Untergrund: Großer Entwurf. Forschungsbereich Grundbau, Boden- und Felsmechanik. Institut für Geotechnik. Technische Universität Wien

[7] AKDAG, C. T., GÜRKAN, Ö. & STOPPER, J. (2014): Nichtlineare p-y-Beziehung von Stahlbetonpfählen und stahlfaserverstärkten Stahlbetonpfählen in mitteldichtem Sand. In: Bautechnik 91, 2014, Heft 9. Berlin: Ernst & Sohn. S. 609-621

[8] BERGER, D., GRAUBNER, C.-A., PELKE, E. & ZINK, M. (2004): Besonderheiten bei Entwurf und Bemessung integraler Betonbrücken. In: Beton- und Stahlbetonbau 99, Heft 4. Berlin: Ernst & Sohn. S. 295-303

[9] BOLEY, C. &°ZIMBELMANN, J. (2012): Kapitel 11 Pfahlgründungen. In: Boley, C. (Hrsg.): Handbuch Geotechnik: Grundlagen, Anwendungen, Praxiserfahrungen. 1. Auflage. Wiesbaden: Vieweg & Teubner

[10] BREIT, K. (2016): Spezialtiefbau: Vortragsfolien zur Vorlesung. Forschungsbereich Grundbau, Boden- und Felsmechanik. Institut für Geotechnik. Technische Universität Wien

[11] DSP Ingenieure & Planer & KAUFMANN, W. (2008): Integrale Brücken: Sachstandsbericht. Für: Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation. Bundesamt für Straßen. Forschungsaufträge AGB 2003/001 und AGB 2005/019 auf Antrag der Arbeitsgruppe Brückenforschung (AGB) und des Tiefbauamtes Graubünden

[12] DÜHRKOP, J. (2009): Zum Einfluss von Aufweitungen und zyklischen Lasten auf das Verformungsverhalten lateral beanspruchter Pfähle in Sand [Dissertation]. Institut für Geotechnik und Baubetrieb. Technische Universität Hamburg-Harburg

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

[13] EA-Pfähle (2012): Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. (Hrsg.). 2. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn

[14] GEIER, R., ANGELMAIER, V., GRAUBNER, C.-A. & KOHOUTEK, J. (2017): Integrale Brücken: Entwurf, Berechnung, Ausführung, Monitoring. Berlin: Ernst & Sohn

[15] GEORGI, S. (2017): Experimentelle Untersuchungen zur Verformungsakkumulation und Tragfähigkeitsreduktion von zyklisch belasteten Pfählen [Dissertation]. Fakultät VI, Planen Bauen Umwelt. Technische Universität Berlin

[16] GRABE, J. &°Mahutka, K.-P. (2005): Abschätzung der horizontalen Bettung mittels dynamischer Pfahlprüfung. In: Bautechnik 82, 2005, Heft 4. Berlin: Ernst & Sohn. S.227-235

[17] GREIMANN, L. F., YANG, P.-S. & WOLDE-TINSAE, A. M. (1986): Nonlinear Analysis of Integral Abutment Bridges. In: Journal of Structural Engineering, Vol.112 (10), October 1986. ASCE. S. 2263-2280

[18] HEGERT, H. (2016): Anwendbarkeit des Bettungsmodulverfahrens mithilfe von Mobilisierungsfunktionen zur Prognose von Wandverschiebungen [Dissertation]. Heft 32. Schriftenreihe des Lehrstuhls Baugrund-Grundbau der Technischen Universität Dortmund

[19] HETTLER, A. (2008): Kapitel 1.6: Erddruck. In: Witt, K.-J. (Hrsg.): Grundbau-Taschenbuch. Teil 1. 7. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn. S. 289-395

[20] KEMPFERT, H.-G. (2009): Kapitel 3.2: Pfahlgründungen. In: Witt, K.-J. (Hrsg.): Grundbau-Taschenbuch. Teil 3. 7. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn. S. 73-277

[21] KHODAIR, Y. & ABDEL-MOHTI, A. (2014): Numerical Analysis of Pile-Soil Interaction under Axial and Lateral Loads

[22] LITTLE, R. L. & BRIAUD, J.-L.°(1988): Full Scale Cyclic Load Lateral Load Tests on Six Piles in Sand. Miscellaneous Paper GL-88-27. Final Report, August 1988. Geotechnical Division, Civil Engineering Department, Texas A&M University

[23] MATLOCK, H. (1970): Correlations for Design of Laterally Loaded Piles in Soft Clay. Proceedings of the Offshore Technology Conference. Houston, Texas. Paper No. OTC 1204

[24] MÖLLER, G. (2012): Geotechnik: Grundbau. 2. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn

[25] RAITHEL, M. (2015): Besondere geotechnische Problemstellungen bei der Gründung von semi-integralen Großbrücken. Tagungsbeitrag in: 11. Erdbaufachtagung „Gründungen“, Bauakademie Sachsen. Leipzig

[26] REESE, L. C., COX, W. R., KOOP, F. D. (1974): Analasys of Laterally Loaded Piles in Sand. Proceedings of the Offshore Technology Conference. Houston, Texas. Paper No. OTC 2080

[27] REESE, L. C. & MEYER, B. J. (1979): Analasys of Single Piles under Lateral Loading. Research Report 244-1. Development of Procedures for the Design of Drilled Foundations For Support of Overhead Signs. Research Study 3-5-78-244. Center for Highway Research. University of Texas at Austin

[28] SCHÄDLICH, B., KIRSCH, F. & RICHTER, T. (2015): Zur lateralen Bettungssteifigkeit von Pfählen mit großem Durchmessern bei kleinen Verformungen. In: Geotechnik 38, 2015, Heft 3. Berlin: Ernst & Sohn. S. 230-234

[29] TASAN, H. E., RACKWITZ, F. & GLASENAPP, R. (2011): Ein Bemessungsmodell für Monopilegründungen unter zyklischen Horizontallasten. In: Bautechnik 88, 2011, Heft 5. Berlin: Ernst & Sohn. S. 301-318

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

[30] ULRICH, Go. & ULRICH, Ge. (2009): Kapitel 2.7 Bohrtechnik. In: Witt, K.-J. (Hrsg.): Grundbau-Taschenbuch. Teil 2. 7. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn. S. 367-399

[31] WIEMANN, J., LESNY, K. & RICHWIEN, W. (2004): Anwendbarkeit von Standardverfahren zur Bemessung von Pfahlgründungen für Offshore-WEA. 3. Symposium Offshore-Windenergie, Bau- und umwelttechnische Aspekte. 16. März 2004. Hannover

Broschüren und Webseiten von Firmen

[32] FRANKI Grundbau GmbH & CoKG (2017): Bohrpfahl: Erschütterungsfrei, Hohe Lastabtragung, Ausführung unter beschränkter Höhe möglich. PDF-Broschüre.

[33] IMPLENIA Spezialtiefbau GmbH: Großbohrpfähle Herstellverfahren. PDF-Broschüre

[34] LIEBHERR International Deutschland GmbH: https://www.liebherr.com/de/aut/produkte/baumaschinen/spezialtiefbau/verfahren/bohren/bohrverfahren.html

Normen und Richtlinien

[35] API (2000): Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms: Working Stress Design. RP 2A-WSD. Washington D.C.: American Petroleum Institute Publishing Services

[36] ÖBV-RiLi-BP (2013): Bohrpfähle, Österreichische Bautechnik Vereinigung, Ausgabe November 2013.

[37] ÖNORM EN 1997-1 2014 11 15: Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln. Österreichisches Normungsinstitut. 1020 Wien

[38] ÖNORM B 1997-1-1 2013 09 01: Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln – Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1997-1 und nationale Ergänzungen. Österreichisches Normungsinstitut. 1020 Wien

[39] ÖNORM B 1997-1-3: Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1-3: Pfahlgründungen. Österreichisches Normungsinstitut. 1020 Wien

[40] ÖNORM EN 1997-2: Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds. Österreichisches Normungsinstitut. 1020 Wien

[41] ÖNORM EN 14199 2016 10 15: Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Mikropfähle. Österreichisches Normungsinstitut. 1020 Wien

[42] ÖNORM EN 1536 2015 12 01: Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Bohrpfähle. Österreichisches Normungsinstitut. 1020 Wien

[43] ÖNORM EN 1537 2015 10 15: Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Verpressanker. Österreichisches Normungsinstitut. 1020 Wien

[44] ÖNORM B 4434 1993 01 01: Erd- und Grundbau: Erddruckberechnung. Österreichisches Normungsinstitut. 1020 Wien

[45] ÖNORM B 4440 2001 09 01: Erd- und Grundbau: Großbohrpfähle, Tragfähigkeit. Österreichisches Normungsinstitut. 1020 Wien

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

[46] ÖNORM EN ISO 22477-5 2016 11 01 (Normenentwurf): Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Prüfung von geotechnischen Bauwerken und Bauwerksteilen; Teil 5: Prüfung von Verpressankern. Österreichisches Normungsinstitut. 1020 Wien

[47] Richtlinie „Erdwärmenutzung mit Massivabsorbern“. Anhang A2.1 Energiepfahl: Belegungsschema bei geteiltem Bewehrungskorb mit Anschlussstelle im Kopfbereich. Letzter Aufruf: 08.03.2017.

Projektunterlagen

[48] Geotechnisches Gutachten für das Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“ in 1220 Wien – Version 1. MA 29 Brückenbau und Grundbau, Fachbereich Grundbau. Nr.: MA 29-G-BER-208460/2016 vom 01.09.2016. Wien.

[49] Technischer Bericht. Ausführungsprojekt. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“. AKPSA Mayer/Ö+P/LIS. Plan-Nr.: S2203-00-16-MA-E-2-0005-0. vom 15.09.2016. 1130 Wien.

[50] Absteckung und Übersicht. Prüffeld 1+2. Ausführungsprojekt. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“. AKPSA Mayer/Ö+P/LIS. Plan-Nr.: S2203-00-16-MA-A-4-0401-G. vom 15.02.2017. 1130 Wien.

[51] d90 Bohrpfähle – Horizontal Miozän (verrohrt), Schalung. Prüffeld 2. Ausführungsprojekt. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“. Plan-Nr.: S2203-00-16-MA-A-5-0554-A vom 22.03.2017. AKPSA Mayer/Ö+P/LIS, 1130 Wien.

[52] d90 Bohrpfähle – Horizontal Miozän (verrohrt), Bewehrung. Prüffeld 2. Ausführungsprojekt. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“. AKPSA Mayer/Ö+P/LIS. Plan-Nr.: S2203-00-16-MA-A-6-0654-B vom 20.03.2017. 1130 Wien.

[53] d60 Bohrpfähle – Horizontal Kies (SOB), Schalung. Prüffeld 2. Ausführungsprojekt. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“. AKPSA Mayer/Ö+P/LIS. Plan-Nr.: S2203-00-16-MA-A-5-0564-A vom 22.03.2017. 1130 Wien.

[54] d60 Bohrpfähle – Horizontal Kies (SOB), Bewehrung. Prüffeld 2. Ausführungsprojekt. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“. AKPSA Mayer/Ö+P/LIS. Plan-Nr.: S2203-00-16-MA-A-6-0664-A vom 22.03.2017. 1130 Wien.

[55] d90 Bohrpfähle – Reaktionspfähle (verrohrt), Schalung. Prüffeld 1. Ausführungsprojekt. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“. AKPSA Mayer/Ö+P/LIS. Plan-Nr.: S2203-00-16-MA-A-5-0501-A vom 01.02.2017. 1130 Wien.

[56] d90 Bohrpfähle – Reaktionspfähle (verrohrt), Bewehrung. Prüffeld 1. Ausführungsprojekt. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“. AKPSA Mayer/Ö+P/LIS Plan-Nr.: S2203-00-16-MA-A-6-0601-B vom 01.02.2017. 1130 Wien.

[57] d90 Bohrpfähle – Reaktionspfähle (verrohrt), Schalung. Prüffeld 2. Ausführungsprojekt. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“. AKPSA Mayer/Ö+P/LIS. Plan-Nr.: S2203-00-16-MA-A-5-551-A vom 09.03.2017. 1130 Wien.

[58] d90 Bohrpfähle – Reaktionspfähle (verrohrt), Bewehrung. Prüffeld 2. Ausführungsprojekt. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“. AKPSA Mayer/Ö+P/LIS. Plan-Nr.: S2203-00-16-MA-A-6-0651-A vom 13.03.2017. 1130 Wien.

[59] d90 Bohrpfähle – Reaktionspfähle (SOB), Schalung. Prüffeld 2. Ausführungsprojekt. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“. AKPSA Mayer/Ö+P/LIS. Plan-Nr.: S2203-00-16-MA-A-5-0552-A vom 09.03.2017. 1130 Wien.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

[60] d90 Bohrpfähle – Reaktionspfähle (SOB), Bewehrung. Prüffeld 2. Ausführungsprojekt. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“ AKPSA Mayer/Ö+P/LIS Plan-Nr.: S2203-00-16-MA-A-6-0652-A vom 09.03.2017. 1130 Wien.

[61] Technischer Ausführungsbericht – Bohrpfähle (SOB). Ausführungsprojekt. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“. ARGE FPUH. Plan-Nr.: S2203-00-16-MA-A-8-0842-A vom 13.01.2017. 1100 Wien.

[62] Technischer Ausführungsbericht – Bohrpfähle (verrohrt). Ausführungsprojekt. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“. ARGE FPUH. Plan-Nr.: S2203-00-16-MA-A-8-0841-A vom 13.01.2017. 1100 Wien.

[63] Übersichts- und Systemplan – Teil 3: Stahlgerüst für Pfahlprüfung. Prüffeld 1. Ausführungsprojekt. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“. Dipl.-Ing. Christian Aue. Plan-Nr.: 003-3 vom 10.04.2017. 1140 Wien

[64] Übersichts- und Systemplan – Teil 2: Stahlgerüst für Pfahlprüfung Energiepfahl. Ausführungsprojekt. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“. Plan-Nr.: S2203-00-16-AU-A-7-0728-0 vom 15.05.2017, Wien

[65] Technischer Bericht – Statische Probebelastung. Ausführungsprojekt. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“. ARGE FPUH. Plan-Nr.: S2203-00-16-MA-A-8-0845-A vom 29.03.2017. 1100 Wien.

[66] Prüfkonzept – Geotechnische Begleitung. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“, Institut für Geotechnik. Forschungsbereich Grundbau, Boden- und Felsmechanik. Technische Universität Wien. Rev.03 vom 07.10.2016. 1040 Wien

[67] Prüfkonzept Horizontalverschiebeversuche – Geotechnische Begleitung. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“, Institut für Geotechnik. Forschungsbereich Grundbau, Boden- und Felsmechanik. Technische Universität Wien. Rev.02 vom 01.02.2018. 1040 Wien

[68] Skizze Instrumentierung Pfahlkopf. Stand: 02.05.2017, Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“, Institut für Geotechnik, Forschungsbereich Grundbau, Boden- und Felsmechanik, Technische Universität Wien

[69] Skizze Instrumentierung Pfahlkopf – Horizontalverschiebeversuche. Stand: 26.01.2018. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“, Institut für Geotechnik, Forschungsbereich Grundbau, Boden- und Felsmechanik, Technische Universität Wien

[70] Bohrpfahlprotokoll Nr. 52 (B.HM). Datum: 05.04.2017. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“. ARGE FPUH. Porr Bau Gmbh, Business Unit 1, Abteilung Spezialtiefbau. Wien.

[71] Bohrpfahlprotokoll Nr. 56 (B.HK). Datum: 07.04.2017. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“. ARGE FPUH. Porr Bau Gmbh, Business Unit 1, Abteilung Spezialtiefbau, Wien.

[72] Statik Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“ – H-Versuch. ZT Mayer GmbH. GZ: 1207. Datum: 15.02.2017. 1130 Wien. S.23-24

[73] Versuchsskizze „Horizontalpfähle“. ZT Mayer GmbH. 1130 Wien

[74] Stahlgerüst für Pfahlprüfung – Horizontalversuch. Übersichts- und Montageplan. Ausführungsprojekt. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“ AKPSA Mayer/Ö+P/LIS Plan-Nr.: S2203-00-16-AU-A-7-0725-A vom 19.12.2017. 1130 Wien.

[75] Prüfbericht über Betonprüfung (Betonsorte C25/30/BS TB1/PB/F59/GK22 mit CEM II/A-LL 42,5 R). MA 39, Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Staddt Wien, Labor für Bautechnik. VFA 2017-0040.01. 12.05.2017, 1110 Wien.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

[76] Versuchskonzept Energiepfahlprüfungen. Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“. Geotechnik Adam ZT GmbH. Brunn am Gebirge, 12.2017

Produktdatenblätter

[77] Geokon Model 1300 (Model A9) – Retrievable Extensometer. Instruction Manual. Doc. Rev. H. 11/10/16. Geokon Inc., Lebanon, USA

[78] Geokon Models 4911A/4911 – VW Rebar Strain Meters. Instruction Manual. Doc. Rev. O 6/13. Geokon Inc., Lebanon, USA.

[79] Geokon Rebar Strain Meters and „Sister Bars“. Spec Sheet. Doc. Rev. F4 06/15. Geokon Inc., Lebanon, USA.

[80] Geokon Log View – Users Guide. Doc. Rev. F 12/6/16. Geokon Inc., Lebanon, USA.

[81] Geokon Model LC-2x16 – 16 Channel VW Datalogger. Doc. Rev. U 11/30/2016

[82] Geokon Model GK 404 – Vibrating Wire Readout. Spec Sheet. Doc. Rev. D.1. 05/15. Geokon Inc., Lebanon, USA.

[83] Glötzl Kettenneigungsmessgeräte für vertikale oder horizontale Deformationsmessungen – Typ SNMGD. Produktdatenblatt. Stand: 05.05.2008/SP/P075.50.00.00.00.001R03.doc. Glötzl Baumesstechnik GmbH, Rheinstetten, Deutschland.

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1.1: Wissenschaftliche Arbeiten im Rahmen der Probebelastungen (PB) des FPUH 14

Tab. 2.1: Modellfaktoren gemäß Anhang A der ÖNORM B 1997-1-3 aus [39] (adaptiert) 17

Tab. 2.2: Charakteristische Wichte und Scherparameter aus [48] (adaptiert) 23

Tab. 2.3: Anzahl hergestellter Bohrpfähle im Prüffeld 1 aus [50] 25

Tab. 2.4: Anzahl hergestellter Bohrpfähle im Prüffeld 2 aus [50] 25

Tab. 2.5: Prüfvariationen Mikropfähle nach [66] 27

Tab. 2.6: Probepfahltypen der Horizontalverschiebeversuche 36

Tab. 2.7: Messwerterfassungssysteme (MWES) für die Horizontalverschiebeversuche 37

Tab. 2.8: Persönlicher Gesamtaufwand am FPUH 37

Tab. 3.1: Einteilung von Pfählen, nach [5] 40

Tab. 3.2: Verdrängungspfähle, nach [5] 41

Tab. 3.3: Mikropfähle, nach [5] 41

Tab. 3.4: Einflussfaktoren auf das laterale Tragverhalten nach [15] 58

Tab. 3.5: Erforderliche Verhältniswerte *s/d* [%] zur Erddruckmobilisierung nach [37] 61

Tab. 3.6: Analytische Verläufe für den Bettungsmodul nach [5] 66

Tab. 3.7: Einheitbettungsmodul k_R je nach Sondierwiderstand q_c aus [20] 67

Tab. 3.8: Ansätze für den Korrekturfaktor A und die max. Pfahl-Boden-Reaktion p_u nach [7] 72

Tab. 3.9: Angesetzte Bodenparameter nach [4] 78

Tab. 3.10: Mobilisierbare Schubspannung τ_{mob} gemäß [4] 78

Tab. 3.11: Hypothesen zur Veränderung im Trag- und Verformungsverhalten bei steigender Anzahl an Lastzyklen nach [20] 84

Tab. 3.12: Akkumulationsfunktionen f_N für die Pfahlkopfverschiebung langer Pfähle nach [2] 88

Tab. 3.13: Bettungsmodulansätze bei zyklischer Horizontalbelastung H nach [12] 88

Tab. 3.14: Abminderung des Bettungsmoduls nach [13] 93

Tab. 3.15: Teilsicherheitsbeiwerte gemäß ÖNORM B 1997-1-1 [38] 99

Tab. 3.16: Streuungsfaktoren gemäß ÖNORM B 1997-1-1 [38] 102

Tab. 3.17: Instrumentierung am Pfahlkopf und auf der Messbrücke nach EA-Pfähle [13] 108

Tab. 3.18: Instrumentierung am Pfahlkopf und auf der Messbrücke bei horizontalen Probebelastungen nach EA-Pfähle [13] 114

Tab. 4.1: Abmessungen und Höhenlage der Probepfähle 122

Tab. 4.2: Abmessungen und Höhenlage der Probepfähle 122

Tab. 4.3: Messwerterfassungssysteme (MWES) für die Horizontalverschiebeversuche 128

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tab. 4.4: Komponenten des Messwerterfassungssystems I (MWES I) 129
Tab. 4.5: Komponenten des Messwerterfassungssystems II (MWES II) 135
Tab. 4.6: Komponenten des Messwerterfassungssystems III (MWES III) 137
Tab. 4.7: Grober Ablauf einer Versuchswoche 138
Tab. 4.8: Nummerierungssystem für einzelne Versuchszeitpunkte 139
Tab. 5.1: Erweiterung der Tabellenblätter bzw. Diagrammblätter für die HVV 148
Tab. 6.1: Zusammenfassung der Horizontalverschiebeversuche 216

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 2.1: Lage der Aufschlussstellen im Gebiet des Forschungsprojektes aus [48] (adaptiert) 19

Abb. 2.2: Kernbohrung KB-37 aus [48] 20

Abb. 2.3: Kernbohrung KB-13 aus [48] 21

Abb. 2.4: Korngrößenverteilungen des Donauschotters aus der weiteren Projektumgebung aus [48] 22

Abb. 2.5: Korngrößenverteilungen miozäner Wechsellagerungen aus der weiteren Projektumgebung aus [48] 22

Abb. 2.6: Lageplan von Prüffeld 1 und 2 des Forschungsprojektes „Unteres Hausfeld“ aus [50] (adaptiert) 24

Abb. 2.7: Widerstands-Setzungslinien Diagramm aus [13] 26

Abb. 2.8: Belastungsstufen aus [13] 26

Abb. 2.9: Belastungsstufen aus [13] 28

Abb. 2.10: Definition von Verankerungen nach ÖNORM B 1997-1-1 aus [38] 30

Abb. 2.11: Variation der Pfahlkopfausbildungen aus [49] 32

Abb. 2.12: Querschnitt Pfahl mit Absorberleitungen aus [47] 33

Abb. 2.13: Probebelastung mit Totlast [47] 34

Abb. 2.14: Lage der Probepfähle der Horizontalverschiebeversuche (HVV), Planausschnitt aus [50] 35

Abb. 2.15: Lage der Probepfähle und zugehöriger Reaktionspfähle, Planausschnitt aus [50] 35

Abb. 2.16: Baugrundsituation & Prinzip der Versuchsanordnung, Planausschnitt aus [73] 36

Abb. 3.1: Greiferbohrverfahren von [34] 43

Abb. 3.2: Kellybohrverfahren von [34] 44

Abb. 3.3: Herstellung von SOB-Pfählen von [34] 45

Abb. 3.4: Doppelkopfbohren im VdW-Verfahren von [34] (adaptiert) 46

Abb. 3.5: Stehender Pfahl (a) und schwimmender Pfahl (b) nach [5] 49

Abb. 3.6: Widerstand-Setzungslinien je nach Anteil Fuß- und Mantelwiderstand aus [9]: a) dimensionslose WSL, b) Mantelwiderstandspfahl, c) Fußwiderstandspfahl 50

Abb. 3.7: „Falltüreffekt“ aus [24] 51

Abb. 3.8: Tragmodell bei einem Druckpfahl aus [24] 51

Abb. 3.9: Tiefenabhängigkeit des Pfahlfußwiderstands q_b aus [9] (adaptiert) 52

Abb. 3.10: Negative Mantelreibung zufolge nachträglicher Schüttungen aus [5] (adaptiert) 53

Abb. 3.11: a) Charakteristische Widerstands-Setzungs-Linie für Bohrpfähle, b) Definition des maßgebenden Pfahldurchmessers D ohne und mit Pfahlfußaufweitung, nach EA-Pfähle [13] aus [5] (adaptiert) 56

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abb. 3.12: aktive (1) und passive (2) Horizontalbelastung aus [24] (adaptiert) 57

Abb. 3.13: Ursachen für Seitendruck auf Pfähle aus [24] 57

Abb. 3.14: a) langer, biegeweicher Pfahl b) und kurzer, starrer Pfahl aus [15] 58

Abb. 3.15: Erddrücke auf a) ruhenden Pfahl und b) um *s* verschobener Pfahl nach [14] 59

Abb. 3.16: Mobilisierung der Erddruckkraft *E* in Abhängigkeit der Pfahlverschiebung *s* nach [14]&[20] 60

Abb. 3.17: Grundbewegungsarten und zugehörige Verschiebungen *s* nach [44] 60

Abb. 3.18: Dalbentheorie nach *Blum* aus [15] (adaptiert) 63

Abb. 3.19: Bettungsmodulverfahren nach [9] und [20] (adaptiert) 64

Abb. 3.20: Bettungsspannungen beim starren Pfahl in geschichtetem Boden nach [20] 65

Abb. 3.21: Prinzip der *p*-*y*-Methode aus [1] 67

Abb. 3.22: *p*-*y*-Kurven nach [26] aus [27] 68

Abb. 3.23: Erddruckmodell zur Ermittlung von p_{us} nach [26] aus [31] 69

Abb. 3.24: Koeffizienten C_1, C_2, C_3 und Steifigkeitsparameter *k* nach API (2000) aus [18] 70

Abb. 3.25: *p*-*y*-Kurve für weichen Ton und statischer Belastung nach [23] aus [27] 71

Abb. 3.26: Idealisierung der Pfahlverformung je nach Pfahlsteifigkeit aus [29] 73

Abb. 3.27: Mobilisierter Erddruckkeil im Strain-Wedge-Modell aus [29] 73

Abb. 3.28: Herstellung des Bezugs zwischen den Spannungen und Dehnungen am Erddruckkeil und den Spannungs-Dehnungsverhältnissen am bodenmechanischen Element im Triaxialversuch aus [29] 74

Abb. 3.29: Beispiele für das Auftreten von kombinieren Belastungen aus [4] (adaptiert) 77

Abb. 3.30: Kombinierte Belastungsarten aus [4] 77

Abb. 3.31: Kontaktdefiniton zwischen Boden und Pfahl aus [4] 79

Abb. 3.32: Horizontale Last-Verschiebungslinien aus [4] 80

Abb. 3.33: Vertikale Lastverschiebungslinien aus [4] 80

Abb. 3.34: Interaktionsdiagramme für kombiniert belastete Pfähle in Sand bzw. Ton aus [4] 81

Abb. 3.35: Beispiele für Pfahlkopfrandbedingungen aus [4] 81

Abb. 3.36: Zyklische Belastungsarten nach [13] 83

Abb. 3.37: Verdichtungseffekt infolge von wechselnden Horizontallasten aus [15] 85

Abb. 3.38: Verformungsakkumulation bei einem kombiniert belasteten Modellpfahl nach [12] ... 86

Abb. 3.39: *p*-*y*-Kurve für weichen Ton und zyklischer Belastung nach [23] aus [27] 89

Abb. 3.40: Zyklisches Ramberg-Osgood-Modell aus [17] 89

Abb. 3.41: Einzelpfahlbezeichnung nach der Position in der Gruppe aus [24] 91

Abb. 3.42: Abminderungsfaktoren α_i für Pfähle in doppelsymmetrischer Anordnung nach [13] aus [24] 92

Abb. 3.43: Werte der Abminderungsfaktoren aus Abb. 3.42 nach [13] aus [24] 92

Abb. 3.44: a) Definition des Kriechmaßes α_y, b) Definition des Kriechwiderstands R_y teils nach EA-Pfähle teils nach ÖNORM B 1997-1-3 [39] 105

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abb. 3.45: Mögliche Belastungseinrichtungen und geometrische Vorgaben nach EA-Pfähle aus [24] 106

Abb. 3.46: Belastungseinrichtung Druck- und Zugbelastungen [24] 107

Abb. 3.47: Aufbau und Belastungsablauf beim a) Single-Level Test und b) Multi-Level Test aus [24] 107

Abb. 3.48: Anordnung der Messbrücke und Pfahlkopfinstrumentierung aus [13] 108

Abb. 3.49: Druckmesskissen im Pfahlfußbereich aus [13] 109

Abb. 3.50: Möglichkeiten zur Erfassung des Pfahlfußwiderstands aus [13] 110

Abb. 3.51: Möglichkeiten zur Erfassung des Pfahlfußwiderstands nach [13] aus [24] 111

Abb. 3.52: Möglichkeiten für Horizontalbelastungseinrichtungen aus [13] 113

Abb. 3.53: Anordnung der Messbrücke u. Pfahlkopfinstrumentierung bei Horizontalbelastung aus [13] 113

Abb. 3.54: Prinzip dynamischer Probebelastungen aus [5] 116

Abb. 3.55: a) Systemskizze H-DPT, b) Auswertediagramm aus [16] 117

Abb. 4.1: Verschiebungen infolge von Verformungen im Überbau aus [8] 119

Abb. 4.2: Integrale Brücke, gegründet mit jeweils einer Pfahlreihe aus [14] 120

Abb. 4.3: Prinzip der Abtragung von temperaturinduzierter Horizontalkraftbeanspruchung aus [17] 120

Abb. 4.4: Probe- und Reaktionspfahlanordnung des Versuchs B.HM, Planausschnitt aus [51] (adaptiert) 123

Abb. 4.5: Probe- und Reaktionspfahlanordnung des Versuchs B.HK, Planausschnitt aus [53] (adaptiert) 124

Abb. 4.6: Anordnung der Stahlkonstruktion gemäß Abb. 4.7 für den Versuch B.HM (hellgrün) sowie für den Versuch B.HK (orange), Planausschnitt aus [50] (adaptiert) 125

Abb. 4.7: Gesamte Belastungseinrichtung, Planausschnitt aus [74] (adaptiert) 126

Abb. 4.8: Fotodarstellung der Belastungseinrichtung am Beispiel des Versuchs B.HM [AS], Teil 1 127

Abb. 4.9: Fotodarstellung der Belastungseinrichtung am Beispiel des Versuchs B.HM [AS], Teil 2 127

Abb. 4.10: Fotodarstellung der Belastungseinrichtung am Beispiel des Versuchs B.HM [AS], Teil 3 128

Abb. 4.11: Idealisierte Darstellung des Versuchsaufbaus mit den Belastungseinrichtungen und Anordnung der Instrumentierung des MWES I – ANSICHT, Planausschnitt aus [69] (adaptiert) 130

Abb. 4.12: Idealisierte Darstellung des Versuchsaufbaus mit den Belastungseinrichtungen und Anordnung der Instrumentierung des MWES I – GRUNDRISS, Planausschnitt aus [69] (adaptiert) 131

Abb. 4.13: Idealisierte Darstellung des Versuchsaufbaus mit den Belastungseinrichtungen und Anordnung der Instrumentierung des MWES I – SCHNITT A-A, Planausschnitt aus [69] (adaptiert) 131

Abb. 4.14: Legende zu Abb. 4.11 bis Abb. 4.13, Planausschnitt aus [69] (adaptiert) 132

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abb. 4.15: Aufbau der Dehnungsaufnehmer (*Sister Bars*) aus [79] 133

Abb. 4.16: Anordnung und Montage der *Sister Bars* im Pfahl aus [78] 133

Abb. 4.17: Datenlogger *Geokon 8002-16-1 (LC-2x16)* (links) aus [81] und Handauslesegerät *Geokon GK-404* (rechts) aus [82] 133

Abb. 4.18: Anordnung und Aufbau des Kettenextensometers (*Geokon 1300-A9)* aus [77] 134

Abb. 4.19: Installation des Ketteninklinometers, Foto [AS] 136

Abb. 4.20: Einzelne Messsonde und Endstück aus [83] 136

Abb. 4.21: Aufbau des Ketteninklinometers aus [83] 136

Abb. 4.22: Messanlage *Glötzl GMCC 5.0 S* aus [83] 136

Abb. 4.23: Einhausung beim Versuch B.HK, Foto [AS] 137

Abb. 4.24: Einhausung beim Versuch B.HK 139

Abb. 4.25: Versuchsablauf beim Probepfahl B.HM 140

Abb. 4.26: Statische Berechnung zur Abschätzung der erforderlichen Horizontalkraft- B.HM, aus [72] 141

Abb. 4.27: Versuchsablauf beim Probepfahl B.HK 142

Abb. 4.28: Statische Berechnung zur Abschätzung der erforderlichen Horizontalkraft- B.HK, aus [72] 143

Abb. 5.1: Feldprotokoll (am Beispiel des Versuchs B.HM) 145

Abb. 5.2: Feldprotokoll (am Beispiel des Versuchs B.HM) 146

Abb. 5.3: Korrektur der Verdrehung mittels Koordinatentransformation beim Versuchs B.HK .. 147

Abb. 5.4: Skizze zur Ermittlung der Rückstellkraft aus Vertikallast infolge Horizontalverschiebung (nach einer Handskizze des statisch-konstruktiven Planers) 148

Abb. 5.5: Beginn- und Endzeitpunkte der Vertikallaststufen beim Versuch B.HM 151

Abb. 5.6: Beginn- und Endzeitpunkte der Zyklusstufen (ZS) beim Versuch B.HM 152

Abb. 5.7: Zeitpunkte der Nullstellungen (NS) ($w_{h,m} = 0$) beim Versuch B.HM 152

Abb. 5.8: Seriennummern, Gage-Faktoren und errechnete BS-Höhen beim Versuch B.HM 153

Abb. 5.9: Gemessene Lage der Bewehrungssensoren beim Versuch B.HM 153

Abb. 5.10: Seriennummern, Gage-Faktoren und errechnete KEX-Sensorhöhen beim Versuch B.HM 154

Abb. 5.11: Gemessene Abschnittslänge sowie Einbauwerte der KEX-Sensoren beim Versuch B.HM 154

Abb. 5.12: Abschnittslängen gemäß Inklinometerkonfiguration (Abb. 5.13) sowie errechnete Sondenhöhen beim Versuch B.HM 155

Abb. 5.13: Inklinometerkonfiguration, B.HM 155

Abb. 5.14: Querschnittswerte der Messquerschnitte beim Versuch B.HM 156

Abb. 5.15: Allgemeine Angaben, Pfahlinstrumentierung und Versuchsdaten des Versuchs B.HM 158

Abb. 5.16: Angaben zur Geometrie des Versuchs B.HM 159

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abb. 5.17: Kennwerte des Pfahlmaterials sowie Führungsrohre des Versuchs B.HM..... 159

Abb. 5.18: Belastung und mittlere Vertikalverschiebung beim Versuch B.HM – Teil 1 160

Abb. 5.19: Belastung und mittlere Vertikalverschiebung beim Versuch B.HM – Teil 2 161

Abb. 5.20: Belastung und mittlere Vertikalverschiebung beim Versuch B.HM – Teil 3 162

Abb. 5.21: Horizontalbelastung und mittlere Vertikalverschiebung beim Versuch B.HM 163

Abb. 5.22: Einzelwerte und Mittelwert der vertikalen Wegaufnehmer beim Versuch B.HM..... 164

Abb. 5.23: Einzelwerte und Mittelwert der horizontalen Wegaufnehmer beim Versuch B.HM... 164

Abb. 5.24: Horizontale Pfahlkopfverformung lt. oberster Inklinometersonde (#16) beim Versuch B.HM..... 165

Abb. 5.25: Mittlere Pfahlkopfsetzung während der Horizontalverschiebungsphase beim Versuch B.HM..... 166

Abb. 5.26: Stauchungen lt. Kettenextensometer beim Versuch B.HM 167

Abb. 5.27: Stauchungen und Dehnungen lt. Bewehrungssensoren beim Versuch B.HM 167

Abb. 5.28: Widerstands-Setzungslinie zufolge Vertikallast beim Versuch B.HM..... 168

Abb. 5.29: Absolute Zeitverformung je vertikaler Erstbelastungsstufe beim Versuch B.HM 169

Abb. 5.30: Relative Zeitverformung je vertikaler Erstbelastungsstufe beim Versuch B.HM 169

Abb. 5.31: Widerstands-Kriechmaßlinie je Vertikallaststufe beim Versuch B.HM..... 170

Abb. 5.32: Stauchungen über die Pfahllänge je Vertikallaststufe lt. KEX und BS beim Versuch B.HM..... 171

Abb. 5.33: Stauchungen über die Pfahllänge je Weg-Nullstellung lt. KEX und BS beim Versuch B.HM..... 172

Abb. 5.34: Längskraftverlauf je Vertikallastufe lt. Bewehrungssensoren beim Versuch B.HM... 172

Abb. 5.35: Kraft-Verschiebungslinien („*P*-*y*-Kurven“) der 20 Verschiebungen beim Versuch B.HM 174

Abb. 5.36: Biegelinie am Anfang und Ende der 6 Zyklusstufen im 1. Zyklus beim Versuch B.HM 175

Abb. 5.37: Biegelinien am Ende aller 20 Verschiebungen beim Versuch B.HM..... 175

Abb. 5.38: Detailausschnitt aus Abb. 5.37 176

Abb. 5.39: Modellbildung zur Nachrechnung des Pfahls B.HM in *RStab* 177

Abb. 5.40: Erläuterungsskizze zur Stabbettung..... 178

Abb. 5.41: Vergleich der oberen und unteren Grenze 179

Abb. 5.42: Ergebnisse der Nachrechnung mit der gemessenen Horizontalkraft (H_{KMD} = 810 kN) 180

Abb. 5.43: Verlauf von Biegemoment, Querkraft und horizontaler Verformung aus *RStab* (H_{KMD} = 810 kN) 181

Abb. 5.44: Ergebnisse der Nachrechnung mit der gemessenen Horizontalkraft (H_{korr} = 557 kN) 182

Abb. 5.45: Verlauf von Biegemoment, Querkraft und horizontaler Verformung aus *RStab* (H_{korr} = 557 kN)..... 183

Abb. 5.46: Verläufe der Bettungsmoduln für die obere und unter Grenze der Horizontalkraft jeweils für eine Spannungsausbreitung auf den 1-, 2- und 3-fachen Pfahldurchmesser. 184

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abb. 5.47: Beginn- und Endzeitpunkte der Vertikallaststufen beim Versuch B.HK 185

Abb. 5.48: Beginn- und Endzeitpunkte der Zyklusstufen (ZS) beim Versuch B.HK 186

Abb. 5.49: Zeitpunkte der Nullstellungen (NS) ($w_{h,m} = 0$) beim Versuch B.HK 186

Abb. 5.50: Seriennummern, Gage-Faktoren und errechnete BS-Höhen beim Versuch B.HK 187

Abb. 5.51: Gemessene Lage der Bewehrungssensoren beim Versuch B.HK 187

Abb. 5.52: Seriennummern, Gage-Faktoren und errechnete KEX-Sensorhöhen beim Versuch B.HK 188

Abb. 5.53: Gemessene Abschnittslänge sowie Einbauwerte der KEX-Sensoren beim Versuch B.HM 188

Abb. 5.54: Abschnittslängen gemäß Inklinometer-konfiguration (Abb. 5.13) sowie errech-nete Sondenhöhen beim Versuch B.HM 189

Abb. 5.55: Inklinometerkonfiguration, B.HK 189

Abb. 5.56: Querschnittswerte der Messquerschnitte beim Versuch B.HK 189

Abb. 5.57: Allgemeine Angaben, Pfahlinstrumentierung und Versuchsdaten des Versuchs B.HK 191

Abb. 5.58: Angaben zur Geometrie des Versuchs B.HK 191

Abb. 5.59: Kennwerte des Pfahlmaterials sowie Führungsrohre des Versuchs B.HK 192

Abb. 5.60: Belastung und mittlere Vertikalverschiebung beim Versuch B.HK – Teil 1 193

Abb. 5.61: Belastung und mittlere Vertikalverschiebung beim Versuch B.HK – Teil 2 194

Abb. 5.62: Belastung und mittlere Vertikalverschiebung beim Versuch B.HK – Teil 3 195

Abb. 5.63: Schiefstellung nach Abbruch des Versuchs B.HK 195

Abb. 5.64: Horizontalbelastung und mittlere Vertikalverschiebung beim Versuch B.HK 196

Abb. 5.65: Einzelwerte und Mittelwert der vertikalen Wegaufnehmer beim Versuch B.HK 197

Abb. 5.66: Einzelwerte und Mittelwert der horizontalen Wegaufnehmer beim Versuch B.HK ... 198

Abb. 5.67: Totale horizontale Pfahlkopfverformung lt. oberster Inklinometersonde (#6) beim Versuch B.HK 198

Abb. 5.68: Mittlere Pfahlkopfsetzung während der Horizontalverschiebungsphase beim Versuch B.HK 199

Abb. 5.69: Stauchungen und Dehnungen lt. Kettenextensometer beim Versuch B.HK 200

Abb. 5.70: Stauchungen und Dehnungen lt. Bewehrungssensoren beim Versuch B.HK 200

Abb. 5.71: Widerstands-Setzungslinie zufolge Vertikallast beim Versuch B.HK 202

Abb. 5.72: Absolute Zeitverformung je vertikaler Erstbelastungsstufe beim Versuch B.HK 202

Abb. 5.73: Relative Zeitverformung je vertikaler Erstbelastungsstufe beim Versuch B.HK 203

Abb. 5.74: Widerstands-Kriechmaßlinie je Vertikallaststufe beim Versuch B.HK 204

Abb. 5.75: Stauchungen über die Pfahllänge je Vertikallaststufe lt. KEX und BS beim Versuch B.HK 205

Abb. 5.76: Bestehende Mantelreibung im Bereich BS3 bis BS 4 205

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abb. 5.77: Stauchungen über die Pfahllänge je Weg-Nullstellung lt. KEX und BS beim Versuch B.HK 206

Abb. 5.78: Längskraftverlauf je Vertikallastufe lt. Bewehrungssensoren beim Versuch B.HK ... 207

Abb. 5.79: Kraft-Verschiebungslinien („*P*-*y*-Kurven“) der 20 Verschiebungen beim Versuch B.HK 208

Abb. 5.80: Ausgenutzter Verschiebungsweg, Foto [AS]..... 208

Abb. 5.81: Prinzip der KIN-Auswerung beim Probepfahl B.HK 209

Abb. 5.82: Biegelinie am Anfang und Ende der 6 Zyklusstufen im 1. Zyklus beim Versuch B.HK 210

Abb. 5.83: Biegelinien am Ende aller 20 Verschiebungen beim Versuch B.HK 210

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

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.

LISTE HÄUFIG VERWENDETER SYMBOLE

Abkürzungen

B.HK	Großbohrpfahl Horizontal Kies (Lastabtragung im Kies)
B.HM	Großbohrpfahl Horizontal Miozän (Lastabtragung im Kies und Miozän)
BS	Bewehrungssensoren (auch Sensorhorizonte werden so bezeichnet)
DSV	Düsenstrahlverfahren
FPUH	Forschungsprojekt Unteres Hausfeld
GEWI	Gewindestabstahl
GK	Geotechnische Kategorie
GOK	Geländeoberkante
GZG	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
GZT	Grenzzustand der Tragfähigkeit
HVV	Horizontalverschiebeversuche (HV-Phase = Horizontalverschiebungsphase)
KEX	Kettenextensometer (auch KEX-Abschnitte werden so bezeichnet)
KIN	Ketteninklinometer
KMD	Kraftmessdose
LS	Laststufe
MA 29	Magistratsabteilung 29 – Brückenbau und Grundbau (Stadt Wien)
MQ	Messquerschnitt
MWES	Messwerterfassungssystem
NS	Nullstellung
OK	Oberkante
SOB	Schnecken(endlos)-Ortbeton-Bohrpfahl
SWM	Strain-Wedge-Modell
UK	Unterkante
VdW	Vor-der-Wand(-Pfähle)
W_{mech}	mechanische Messuhr
W_V	Wegaufnehmer Vertikal
W_H	Wegaufnehmer Horizontal
WSH	Widerstands-Hebungs-Linie
WSL	Widerstands-Setzungs-Linie
ZS	Zyklusstufe

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Griechische Buchstaben

α_y	Kriechmaß
γ_b	Teilsicherheitsbeiwert für den Pfahlfußwiderstand
γ_E	Teilsicherheitsbeiwert für eine Beanspruchung
γ_R	Teilsicherheitsbeiwert für einen Widerstand
$\gamma_{R;e}$	Teilsicherheitsbeiwert für den Erdwiderstand bzw. für den Querwiderstand
γ_s	Teilsicherheitsbeiwert für den Pfahlmantelwiderstand
$\gamma_{s;t}$	Teilsicherheitsbeiwert für den Zugwiderstand eines Pfahls
γ_t	Teilsicherheitsbeiwert für den Gesamtwiderstand eines Pfahls
γ	Wichte
γ'	Wichte unter Auftrieb
δ_p	Wandreibungswinkel für passiven Erddruck
ε	Dehnung
$\eta_{P;c}$	Modellfaktor für druckbeanspruchte Pfähle
$\eta_{P;t}$	Modellfaktor für zugbeanspruchte Pfähle
λ	Schlankheit
ξ_1, ξ_2	Streuungsfaktoren bei der Auswertung von statischen Pfahlprobebelastungen
ξ_3, ξ_4	Streuungsfaktoren bei der Ableitung der Pfahltragfähigkeit aus Baugrunduntersuchungen
ξ_5, ξ_6	Streuungsfaktoren bei der Auswertung von dynamischen Pfahlprobebelastungen
σ_h	horizontale Bettungsspannung
τ_n	negative Mantelreibung
φ	Winkel der inneren Reibung (auch: φ')
ω	Steifigkeitsverhältnis (auch Kreisfrequenz)

Lateinische Buchstaben

A_b	Pfahlfußfläche, Pfahlsohlfläche
$A_{s,i}$	Pfahlmantelfläche in der Schicht i
b_k	Einflussbreite
B	Pfahlbreite
d	Pfahleinbindetiefe (oder auch: Seitenlänge eines quadratischen Pfahls)
D	Pfahldurchmesser
D_b	Pfahlfußdurchmesser
D_s	Pfahlschaftdurchmesser
EI	Pfahlbiegesteifigkeit
e_0	Erdruhedruck
e_{ah}	Horizontalkomponente des aktiven Erddrucks

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

e_{ph}	Horizontalkomponente des passiven Erddrucks
E_h	Horizontalkomponente der Erddruckkraft
E_{ah}	Horizontalkomponente der aktiven Erddruckkraft
E_{ph}	Horizontalkomponente der passiven Erddruckkraft
E_s	Steifemodul
f_N	Akkumulationsfunktion
$F_{c;k}$	charakteristische Pfahlbeanspruchung (Gebrauchslast)
H	Horizontalkraft
k, k_s	Bettung, Bettungsmodul
k_h, k_{sh}	horizontaler Bettungsmodul (auch: k_{tr})
k_1	Bettunsmodul im 1. Zyklus
k_N	Bettungsmodul im N-ten Zyklus
k_R	Einheitsbettungsmodul
K_0	Beiwert für Erdruhedruck
K_{ah}	Beiwert für den horizontalen, aktiven Erddruck
K_{ph}	Beiwert für den horizontalen, passiven Erddruck
l, L	Pfahllänge (auch: charakteristische Länge)
l_0	elastische Pfahllänge
M	Biegemoment
M_{cr}	Rissmoment
n	Anzahl von Pfählen bzw. Versuchen
N	Zyklen(an)zahl
p	Bodenreaktionskraft
p_u	maximal mobilisierbare Bodenreaktionskraft (auch: P_u)
P_p	Prüflast (Traglast)
q_b	Pfahlfußwiderstand (auch: Pfahlsohlwiderstand, früher: Spitzendruck)
q_s	Pfahlmantelwiderstand (auch/früher: Mantelreibung)
R	Pfahlgesamtwiderstand
R_c	Druckwiderstand des Bodens gegen einen Pfahl im GZT
$R_{c;m}$	Versuchswert von R_c aus einer oder mehreren Probebelastungen
R_t	Herauszieh-Widerstand eines Pfahls
$R_{t;m}$	Versuchswert von R_t aus einer oder mehreren Probebelastungen
R_{tr}	Pfahlwiderstand gegen Querbelastung
R_y	Kriechwiderstand
R_b	Pfahlfußwiderstand
R_s	Pfahlmantelwiderstand

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

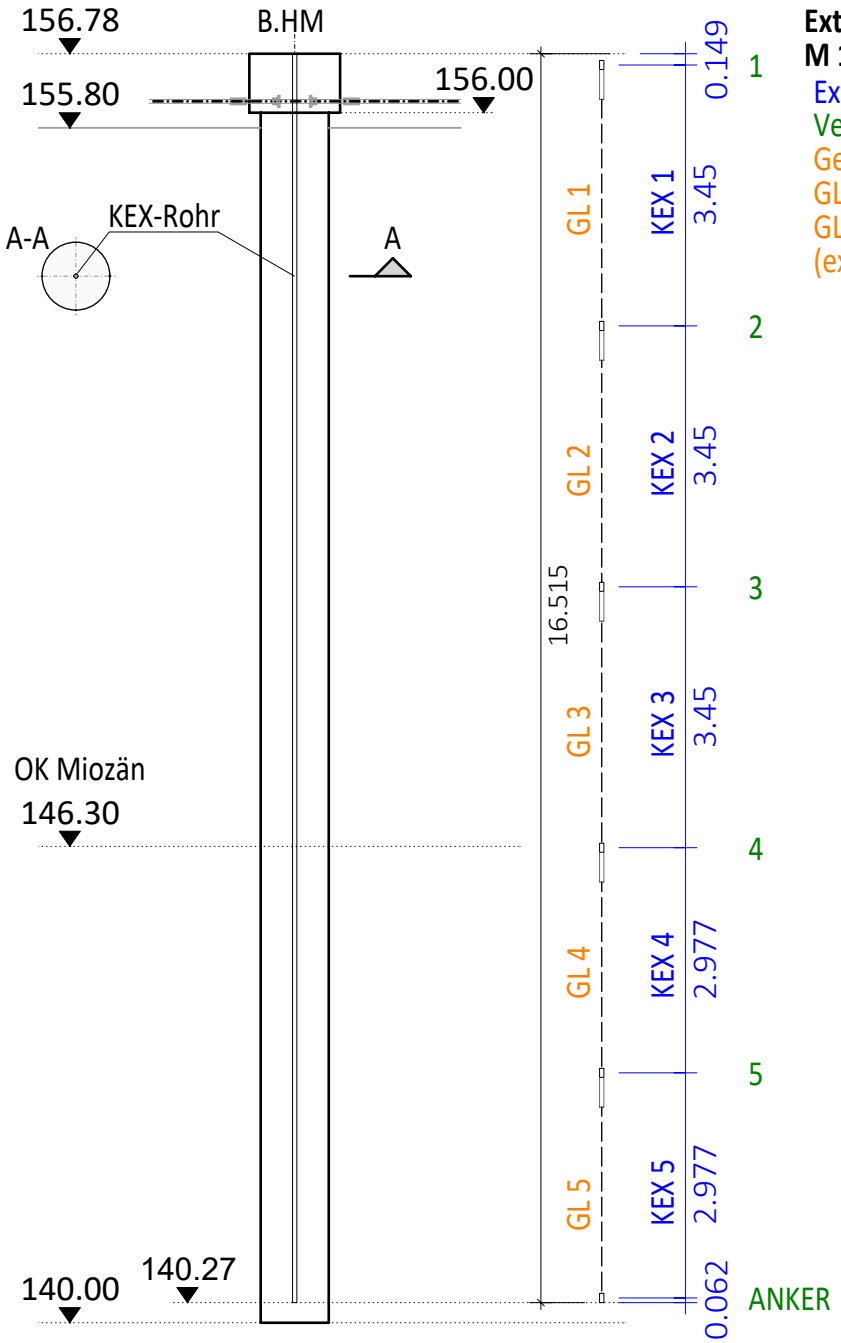
s	Pfahlsetzung, Pfahlkopfsetzung
s_g	Grenzsetzung im Grenzzustand der Tragfähigkeit
s_{sg}	Grenzsetzung mit voll mobilisierter Mantelreibung
t	Pfahleinbindetiefe (auch: d)
w_v	Vertikalverschiebung
w_h	Horizontalverschiebung
y	Horizontalverschiebung
z	Tiefe

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

ANHANG A

Extensometerkonfigurationen

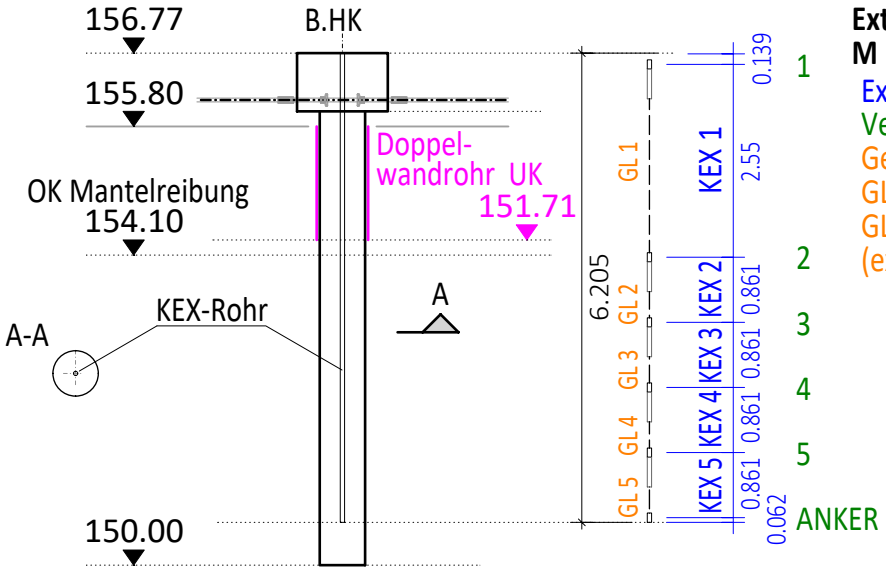
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



Extensometer-Konfiguration B.HM
M 1:100, Maße in m!

Extensometer-Abschnitte
Verankerungspunkte
Gestängelängen (GL)
GL 1 bis 3 = 2,915 m
GL 4 bis 5 = 2,442 m
(exkl. Dehnweg von 2 cm)

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN



Extensometer-Konfiguration B.HK
M 1:100, Maße in m!

Extensometer-Abschnitte
Verankerungspunkte
Gestängelängen (GL)
GL 1 = 2,015 m
GL 2 bis 5 = 0,326 m
(exkl. Dehnweg von 2 cm)

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

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.

ANHANG B

Protokolle: Einbau Kettenextensometer

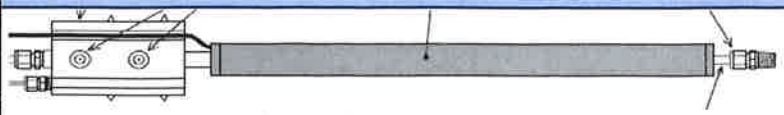
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

TU WIEN bl.geo | MA 29 BRÜCKENBAU GRUNDBAU | KELLER DORR ARGE FPUH

Protokoll: Einbau Kettenextensometer

Bezeichnungen	
Prüfkörper:	B. HM
Prüfung Nr.:	59
Prüfdatum:	KW 7

Sensor Typ Extensometer: Geokon A9



Länge Sensor 515mm

Extensometerrohr			Zuordnung		Messwerte	
Position Messhorizonte			Pos.-nr.	Seriennummer Sensor	Kallibrierwert bei 20mm	Zeitpunkt 1 nach Einbau
OK-Rohr =	156,825	müA			Datum:	08.02.18 12:00 Uhr
○ 1	L_1= (0,157	m	1	1639033	6080	6100
○ 2	L_2= (3,45)	m	2	1639034	5918	5920
○ 3	L_3= (3,45)	m	3	1639035	5977	5940
○ 4	L_4= (3,45)	m	4	1639036	6007	6054
○ 5	L_5= (2,977)	m	5	1639037	5904	5926
X	L_6= (2,977)	m	6	ANKER		
	L_7= (0,062	m	Überstand Ex.- Rohr=		0,045	m
ΣL_{1-7} =		m	Messwert L_{ges} -Rohr=		16,515	m
UK-Rohr =		müA				

Anmerkungen

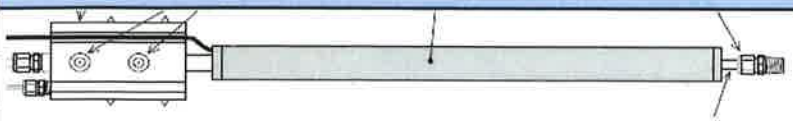
Eingebaut durch:	Datum:	Fertigung:
SC Hofmann	08.02.2018	

TU WIEN bi.geo | MA 29 BRÜCKENBAU GRUNDBAU | KELLER PORR ARGE FPUH

Protokoll: Einbau Kettenextensometer

Bezeichnungen	
Prüfkörper:	B.HK
Prüfung Nr.:	80
Prüfdatum:	KW 12

Sensor Typ Extensometer: Geokon A9



Länge Sensor 515mm

Extensometerrohr			Zuordnung		Messwerte	
Position Messhorizonte			Pos.-nr.	Seriennummer Sensor	Kallibrierwert bei 20mm	Zeitpunkt 1 nach Einbau
OK-Rohr =	156,82	müA			Datum:	08.03.18
O 1	L_1= 2,509	m	1	1639033	6080	6099
O 2	L_2= (2,550) ~~2,661~~	m	2	1639034	5918	5926
O 3	L_3= (0,861) 0,843	m	3	1639035	5977	5989
O 4	L_4= (0,861) 0,841	m	4	1639036	6007	6035
O 5	L_5= (0,861) 0,839	m	5	1639037	5904	5961
X	L_6= (0,861) 0,841	m	6	ANKER		
	L_7= 0,062	m		*Überstand Ex.- Rohr=*	0,050	m
ΣL_{1-7} =		*m*		*Messwert L_{ges} -Rohr=*	6,205	m
UK-Rohr =		*müA*				

Anmerkungen

Eingebaut durch: Schettina, Wagner, Oetner | *Datum:* 7.3.2018 | *Fertigung:*

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.

ANHANG C

Bohrpfahlprotokolle

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.

KELLER PORR
ARGE FPUH

FPUH - Forschungsprojekt unteres Hausfeld

PORR Bau GmbH

Business Unit 1 / Abteilung Spezialtiefbau

Bohrpfahlprotokoll: 52

Pfahl-Daten:

Bohrpfahlnummer:	**B.HM**
Bauteil:	Prüffeld 2
Ausführungstechnik:	verrohrt, einzeln
Austeilungsplan Nr.:	S22030016MAA4401A
Bewehrungstyp:	654
Bewehrungsplan Nr.:	S22030016MAA60654A
Durchmesser:	0,90 [m]
Pfahl-Neigung:	90 [°]

Koten:

			Soll	Ist
Gelände:	OK	[m.ü.A]	155,80	155,80
Pfahl / Beton	OK	[m.ü.A]	156,00	156,00
Pfahl / Beton	UK	[m.ü.A]	140,00	140,00
Bewehrung:	OK	[m.ü.A]	156,50	156,50

Leerbohrung:	[m]	-0,20
Bohrlänge:	[m]	15,80
Betonlänge / Ausbaulänge:	[m]	16,00
Wasserauflast:	[m]	15,80

Geologie: (nicht Maßstäblich)

GW	GOK=0	Geologie und Beschaffenheit	S	BE	FS
	0,30	(A)Betonbruch,grau,kantig	x		
			x		
			x		
2,13	2,00	gG,mG,S,rund,braun	x		
				x	
				x	
				x	
	4,20	mG,gG,S,rund,braun		x	
				x	
				x	
				x	
	6,50	mG,gG,S,rund,braun		x	
				x	
				x	
				x	
	9,50	fS,ms',grau-braun		x	
				x	
				x	
				x	
	10,50	fS,u',gelb-grau		x	
				x	
				x	
	12,00	fs,u',braun		x	
				x	
	13,00	U,fs',gelb-braun		x	
				x	
	15,00	U,fs,grau,weich		x	
				x	
				x	
	15,80	U,fs,grau,weich		x	

verrechnet im AMBL 9206
22.05.17 [signature]

S=Schnecke, FS=Felsschnecke, BE=Bohreimer

Herstellzeiten:

	Beginn Datum/Uhrzeit	Ende Datum/Uhrzeit
Aushub:	05.04 / 11:20	05.04 / 15:00
Bewehrungseinbau:	05.04 / 15:00	05.04 / 15:15
Beton:	05.04 / 15:15	05.04 / 16:45

Hindernisse:

	Beginn Datum/Uhrzeit	Ende Datum/Uhrzeit
[m]	/	/
[m]	/	/

Beton / Verfüllung:

Betonhersteller:	K+K	
Betonart:	C25/30 BS-TB1 GK22 F59	
Außbreitmaß:	58	
Betonkubatur theoretisch:	10,18	[m³]
Angelieferter Frischbeton:	13,00	[m³]
rechnerisches Überprofil:	27,72	[%]

Polier: Ortner
Gerät: BG28
Ort, Datum: Wien 05.04.2017

Anmerkungen,Besonderheiten:

Einbau der freigegebenen Bewehrung - siehe Protokoll Bewehrungsabnahme, Bohren im Grundwassser ab 2,13m v. GOK ohne aktiver Wasserauflast bis 12,00m, Danach Füllen Bohrrohr mit aktiver Wasserauflast von GOK bis UK BPF;

Auftragnehmer:	Auftraggeber:	ÖBA:
ARGE FPUH Keller - Porr Bauleitung	[signature]	

KELLER DORR ARGE FPUH

FPUH - Forschungsprojekt unteres Hausfeld

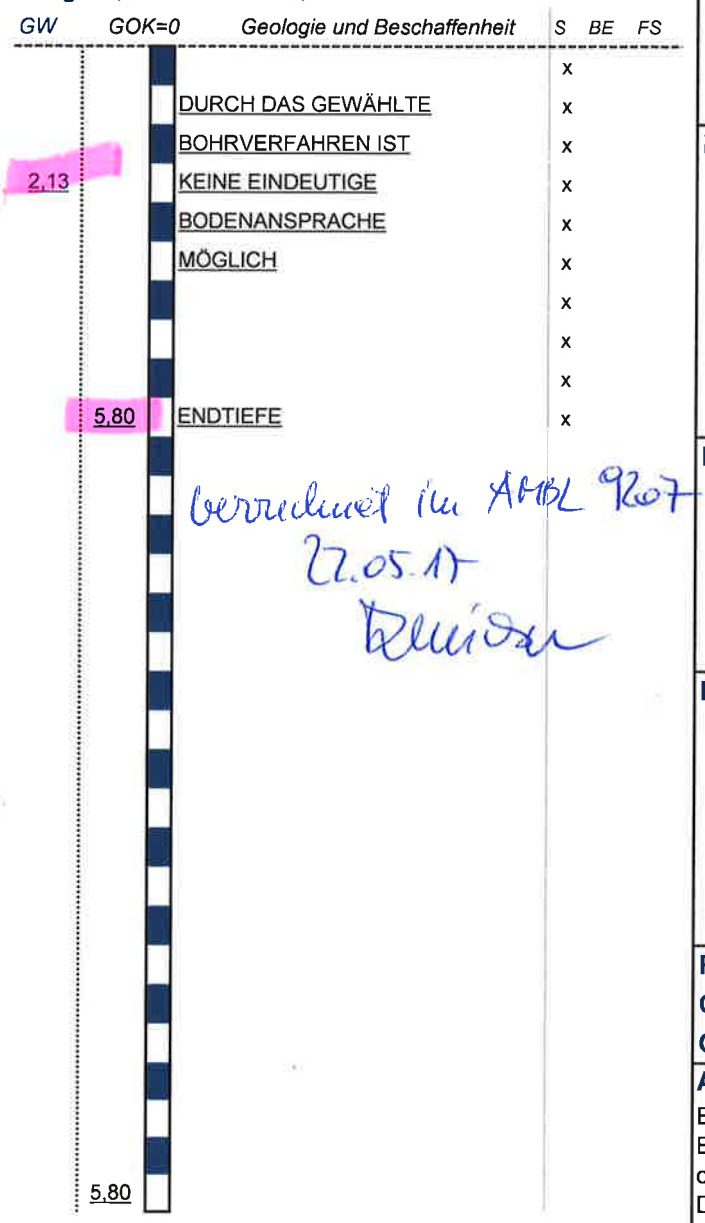
PORR Bau GmbH

Business Unit 1 / Abteilung Spezialtiefbau

Pfahl-Daten:

Bohrpfahlnummer:	**B.HK**	
Bauteil:	Prüffeld 2	
Ausführungstechnik:	SOB,einzeln	
Austeilungsplan Nr.:	S22030016MAA4401A	
Bewehrungstyp:	664	
Bewehrungsplan Nr.:	S22030016MAA60664A	
Durchmesser:	0,60	[m]
Pfahl-Neigung:	90	[°]

Geologie: (nicht Maßstäblich)



S=Schnecke, FS=Felsschnecke, BE=Bohreimer

Bohrpfahlprotokoll: 56

Koten:			Soll	Ist
Gelände:	OK	[m.ü.A]	155,80	155,80
Pfahl / Beton	OK	[m.ü.A]	156,03	156,03
Pfahl / Beton	UK	[m.ü.A]	150,00	150,00
Bewehrung:	OK	[m.ü.A]	156,50	156,50

Leerbohrung:	[m]	-0,23
Bohrlänge:	[m]	5,80
Betonlänge / Ausbaulänge:	[m]	6,03
Wasserauflast:	[m]	5,80

Herstellzeiten:

	Beginn Datum/Uhrzeit	Ende Datum/Uhrzeit
Aushub:	07.04 / 10:00	07.04 / 10:10
Bewehrungseinbau:	07.04 / 11:00	07.04 / 11:20
Beton:	07.04 / 10:10	07.04 / 11:00

Hindernisse:

	Beginn Datum/Uhrzeit	Ende Datum/Uhrzeit
[m]	/	/
[m]	/	/

Beton / Verfüllung:

Betonhersteller:	K+K	
Betonart:	C25/30 BS-TB1 GK16 F59	
Außbreitmaß:	59	
Betonkubatur theoretisch:	1,70	[m³]
Angelieferter Frischbeton:	4,00	[m³]
rechnerisches Überprofil:	134,61	[%]

Polier: Ortner

Gerät: BG28

Ort, Datum: Wien 07.04.2017

Anmerkungen,Besonderheiten:

Einbau der freigegebenen Bewehrung - siehe Protokoll Bewehrungsabnahme, Bohren im Grundwassser ab 2,13m v. GOK ohne aktiver Wasserauflast; BPF OK IST entspricht der OK Doppelwandrohr;Voraushub 1,5m von GOK, Bewehrungskorb mit montiertem Stahlrohr versetzt, Verfüllen Voraushub, Aufbetonieren

Auftragnehmer:	Auftraggeber:	ÖBA:
ARGE FPUH Keller - Porr Bauleitung		

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.

ANHANG D

Protokolle: Zuordnung und Überprüfungen der Instrumentierung

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

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.

Protokoll: Zuordnung und Überprüfungen der Instrumentierung

lfd.Nr.: 22

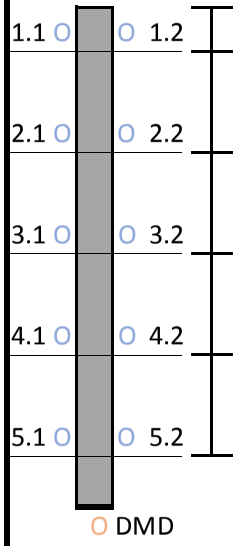
Bezeichnung Prüfkörper:
B.HM

Bauverfahren:	verrohrt	*Typ Instrumentierung:*	4911
Herstellungsart u. Ø	D90	*Pfahllänge:*	
Geologie Sohle:		*Prüffeld:*	

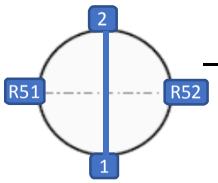
Skizze Messhorizonte

OK Bewehrungskorb=
OK Längseisen (NICHT die Haken!!)

156,38 müA



Lage Bewehrungssensoren [°]:



°

Zuordnung		Überprüfung der Messwerte			
Pos.-nr.	**Seriennummer Sensor**	**Zeitpunkt 1** vor Installation	**Zeitpunkt 2** vor Einbau	**Zeitpunkt 3** vor Betonage	**Zeitpunkt 4** nach Betonage
	Datum:	**03.04.2017**	**4.4.17 - 17:45-18:00**	**05.04.2017 15:00**	**24.04.2017 14:45**
Bewehrungssensoren		*Typ: Sister Bar 4911*			
1.1	8,25 - 1712044	7147,9 - 16,2	7172,0 - 16,5	7205 - 17,8	7209,4 - 10,1
1.2	8,25 - 1712042	6990,7 - 16,5	7027,3 - 16,2	7103 - 17,0	7075,7 - 10,1
2.1	19,1 - 1712073	6968,1 - 16,0	6984,0 - 16,3	6895 - 17,5	6941,0 - 14,8
2.2	19,1 - 1712072	7060,4 - 16,6	7071,0 - 16,3	7130 - 16,5	7063,2 - 14,9
3.1	20,8 - 1712077	6992,7 - 17,1	7016,5 - 16,4	7120 - 17,3	6963,9 - 15,3
3.2	20,8 - 1712076	6976,4 - 19,1	6980,4 - 15,9	7035 - 16,7	6946,1 - 14,9
4.1	22,5 - 1712081	6807,5 - 18,3	6806,9 - 16,4	6908 - 17,0	6766,8 - 15,5
4.2	22,5 - 1712078	6641,0 - 17,6	6645,0 - 16,2	6705 - 17,7	6605 - 15,4
5.1	24,2 - 1712085	6903,3 - 17,4	6907,9 - 16,6	7001 - 17,3	6936,1 - 14,2
5.2	24,2 - 1712083	7267,3 - 14,6,	7305,5 - 16,2	7406 - 17,5	7404,5 - 14,0
Pfahlsohldruckmessdose		*Typ:* *Ø:*			
DMD					
		Freigabe für Einbau am		*Endabnahme am*	
		ARGE	*ÖBA (AG)*	*ARGE*	*ÖBA (AG)*

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.

Protokoll: Zuordnung und Überprüfungen der Instrumentierung

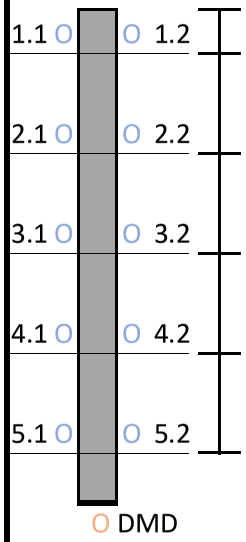
lfd.Nr.: 23

Bezeichnung Prüfkörper:
B.HK

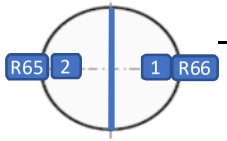
Bauverfahren:	verrohrt	*Typ Instrumentierung:*	4911
Herstellungsart u. Ø	D60	*Pfahllänge:*	
Geologie Sohle:		*Prüffeld:*	

Skizze Messhorizonte

OK Bewehrungskorb=
OK Längseisen (NICHT die Haken!!)
156,44 müA



Lage Bewehrungssensoren [°]:



°

Zuordnung		Überprüfung der Messwerte			
Pos.-nr.	**Seriennummer Sensor**	**Zeitpunkt 1** vor Installation	**Zeitpunkt 2** vor Einbau	**Zeitpunkt 3** vor Betonage	**Zeitpunkt 4** nach Betonage
	Datum:	**03.04.2017**	**07.04.2017 10:00**		**24.04.2017 14:35**
Bewehrungssensoren		*Typ: Sister Bar 4911*			
1.1	8,25 - 1712041	6874,4 - 14,3	6850 - 8,0		6850,4 - 9,8
1.2	8,25 - 1712043	7156,4 - 14,3	7120 - 7,9		7134,5 - 9,3
2.1	10,0 - 1712047	7268,0 - 14,1	7237 - 8,1		7246,1 - 11,4
2.2	10,0 - 1712048	6966,0 - 15,5	6899 - 8,2		6978,7 - 11,5
3.1	11,05 - 1712061	6947,5 - 14,8	6991 - 8,3		7024,0 - 12,6
3.2	11,05 - 1712060	7223,5 - 14,5	7150 - 7,8		7312,0 - 12,4
4.1	12,1 - 1712063	7131,3 - 14,8	7121 - 8,8		7172,5 - 12,6
4.2	12,1 - 1712062	7045,2 - 15,7	6995 - 9,1		7112,8 - 12,3
5.1	13,15 - 1712066	7248,6 - 14,3	7237 - 8,1		7314,9 - 12,0
5.2	13,15 - 1712069	7260,6 - 14,8	7248 - 7,9		7348,3 - 12,4
Pfahlsohldruckmessdose		*Typ:*	*Ø :*		
DMD					
		Freigabe für Einbau am		*Endabnahme am*	
		ARGE	*ÖBA (AG)*	*ARGE*	*ÖBA (AG)*

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.

ANHANG E

Bewehrungspläne mit Lage der Bewehrungssensoren

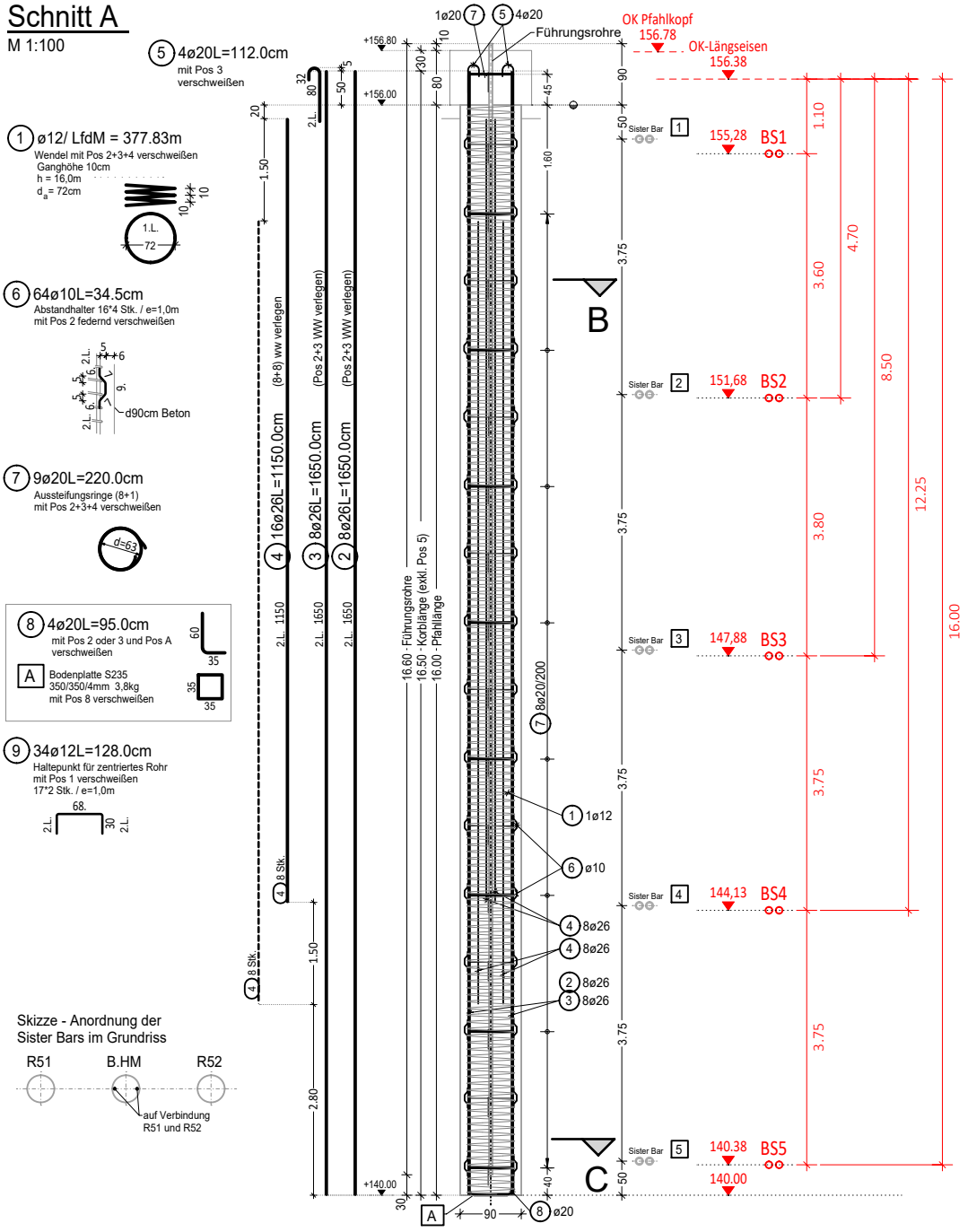
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

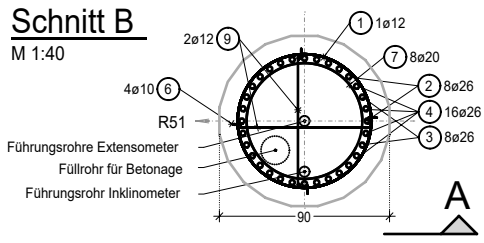
Bewehrungsplan B.HM - Ausschnitt aus Plan-Nr. S2203 00 16 MA 6 0654 B (adaptiert)

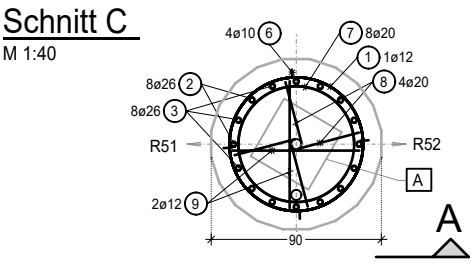
M 1:100/1:40

Planmaße (schwarz)

Im Zuge der Abnahme gemessene Lage der Bewehrungssensoren (BS) = Sister Bars







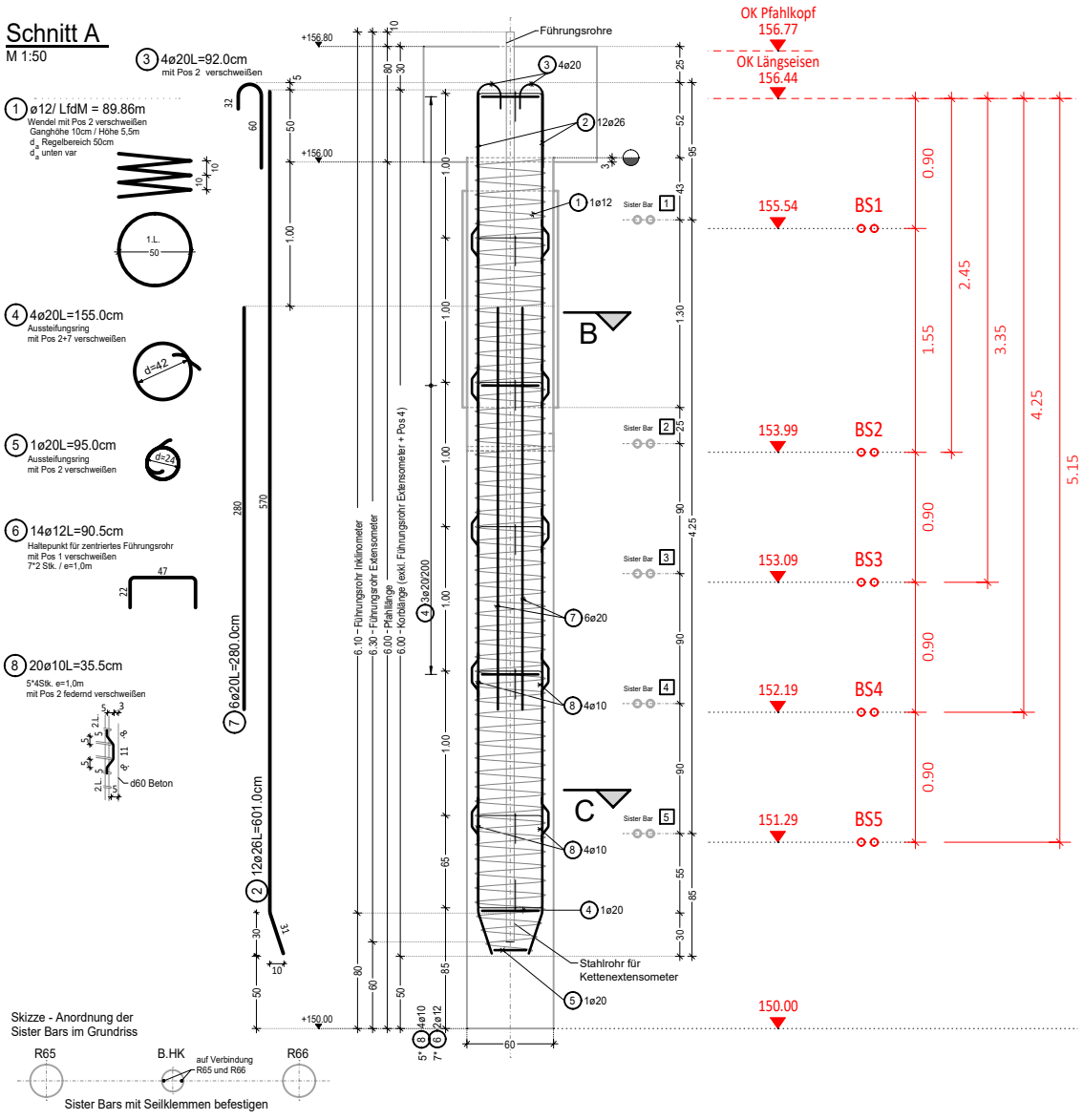
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bewehrungsplan B.HK - Ausschnitt aus Plan-Nr. S2203 00 16 MA 6 0664 A (adaptiert)

M 1:50

Planmaße (schwarz)

Im Zuge der Abnahme gemessene Lage der Bewehrungssensoren (BS) = Sister Bars



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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

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.

ANHANG F

Prüfabläufe

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.

PRÜFABLAUF: Horizontalverschiebeversuch - Großbohrpfahl Ø 90cm - verrohrt - Kies&Miozän (B.HM)

VERSUCH		HYDRAULIKPRESSEN		LASTANGABEN	Standard	HVV	VERSCHIEBUNGEN	HVV
Prüfkörper:	B.HM	Presse vertikal:	ZPE 1000	1809,5 cm2	Vorlast vertikal:	50 kN	50 kN	Horizontalvorschubgeschwindigkeit:	2,00 mm/min (Annahme)
Prüfung Nr.:	59	Pressen horizontal:	ZPE 200	325,7 cm2	Gebrauchslast vertikal:	800 kN	4000 kN	Max. Horizontalverschiebung[1]:	20,00 mm
Datum:	19.02.2018		Erhöhungsfaktor Pressendruck:	1,12	Maximallast vertikal[2]:	5000 kN	-	[1]Verschiebung auf Höhe UK Doppelwandrohr	
		[2]begrenzt durch Brückenlager (Kge 5000)			Laststeigerungsrate:			Abschätzung bleibende Verformung:	5,00 mm

Datum	Versuchs-abschnitt	Bezeichnung der Durchführungsschritte				Zeit		Vertikalbelastung			Horizontalbelastung			
		Laststufe	Beschreibung der Lastufe	Beschreibung Einzelvorgang	Pfahl-bewegung	Mindest-zeit	Gesamt-dauer	Vertikal- Kraft	Pressendruck vertikal	Kriterium: Verschiebungs-zuwachs	Horizontal-Verschiebung	Horizontal-Kraft	Pressendruck horizontal	Kriterium: Verschiebungs-zuwachs
		Nr.				t_i	t_{ges}	F_V	p_V (+12%)		u_{Hi}	F_{Hi}	p_{Hi}	
19.02.2018 bis 23.02.2018		V-1-0-A	Vorlast vertikal	Laststeigerung	↓	**0 min**	0 min	**50 kN**	3 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-0-E		Beobachtung		**15 min**	15 min	**50 kN**	3 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-1-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	18 min	**1038 kN**	57 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-1-E		Beobachtung		**15 min**	33 min	**1038 kN**	64 bar	**< 0,1mm/20min**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-2-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	36 min	**2025 kN**	112 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-2-E		Beobachtung		**15 min**	51 min	**2025 kN**	125 bar	**< 0,1mm/20min**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-3-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	54 min	**3013 kN**	166 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-3-E		Beobachtung		**15 min**	69 min	**3013 kN**	186 bar	**< 0,1mm/20min**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-4-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	72 min	**4000 kN**	221 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-4-E		Beobachtung[3]		**180 min**	252 min	**4000 kN**	248 bar	**0!**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
	Zyklus 1	H-1-1-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung	←	10 min	262 min	4000 kN			20,00 mm			
		H-1-1-V-1-5-E		Beobachtung		60 min	322 min	4000 kN			20,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-1-2-V-1-5-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	→	10 min	332 min	4000 kN			5,00 mm			
		H-1-2-V-1-5-E		Beobachtung		5 min	337 min	4000 kN			5,00 mm			
		H-1-3-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	→	5 min	342 min	4000 kN	221 bar		0,00 mm			
		H-1-3-V-1-5-E		Beobachtung		2 min	344 min	4000 kN	248 bar		0,00 mm			
		H-1-4-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung	→	10 min	354 min	4000 kN			-20,00 mm			
		H-1-4-V-1-5-E		Beobachtung		60 min	414 min	4000 kN			-20,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-1-5-V-1-5-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	←	10 min	424 min	4000 kN			-5,00 mm			
		H-1-5-V-1-5-E		Beobachtung		5 min	429 min	4000 kN			-5,00 mm			
		H-1-6-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	←	5 min	434 min	4000 kN			0,00 mm			
		H-1-6-V-1-5-E		Beobachtung		2 min	436 min	4000 kN			0,00 mm			
	Zyklus 2	H-2-1-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung	←	10 min	446 min	4000 kN			20,00 mm			
		H-2-1-V-1-5-E		Beobachtung		60 min	506 min	4000 kN			20,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-2-2-V-1-5-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	→	10 min	516 min	4000 kN			5,00 mm			
		H-2-2-V-1-5-E		Beobachtung		5 min	521 min	4000 kN			5,00 mm			
		H-2-3-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	→	5 min	526 min	4000 kN	221 bar		0,00 mm			
		H-2-3-V-1-5-E		Beobachtung		2 min	528 min	4000 kN	248 bar		0,00 mm			
		H-2-4-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung	→	10 min	538 min	4000 kN			-20,00 mm			
		H-2-4-V-1-5-E		Beobachtung		60 min	598 min	4000 kN			-20,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-2-5-V-1-5-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	←	10 min	608 min	4000 kN			-5,00 mm			
		H-2-5-V-1-5-E		Beobachtung		5 min	613 min	4000 kN			-5,00 mm			
		H-2-6-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	←	5 min	618 min	4000 kN			0,00 mm			
		H-2-6-V-1-5-E		Beobachtung		2 min	620 min	4000 kN			0,00 mm			
	Zyklus 3	H-3-1-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung	←	10 min	630 min	4000 kN			20,00 mm			
		H-3-1-V-1-5-E		Beobachtung		60 min	690 min	4000 kN			20,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-3-2-V-1-5-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	→	10 min	700 min	4000 kN			5,00 mm			
		H-3-2-V-1-5-E		Beobachtung		5 min	705 min	4000 kN			5,00 mm			
		H-3-3-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	→	5 min	710 min	4000 kN	221 bar		0,00 mm			
		H-3-3-V-1-5-E		Beobachtung		2 min	712 min	4000 kN	248 bar		0,00 mm			
		H-3-4-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung	→	10 min	722 min	4000 kN			-20,00 mm			
		H-3-4-V-1-5-E		Beobachtung		60 min	782 min	4000 kN			-20,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-3-5-V-1-5-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	←	10 min	792 min	4000 kN			-5,00 mm			
		H-3-5-V-1-5-E		Beobachtung		5 min	797 min	4000 kN			-5,00 mm			
		H-3-6-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	←	5 min	802 min	4000 kN			0,00 mm			
		H-3-6-V-1-5-E		Beobachtung		2 min	804 min	4000 kN			0,00 mm			
	Zyklus 4	H-4-1-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung	←	10 min	814 min	4000 kN			20,00 mm			
		H-4-1-V-1-5-E		Beobachtung		60 min	874 min	4000 kN			20,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-4-2-V-1-5-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	→	10 min	884 min	4000 kN			5,00 mm			
		H-4-2-V-1-5-E		Beobachtung		5 min	889 min	4000 kN			5,00 mm			
		H-4-3-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	→	5 min	894 min	4000 kN	221 bar		0,00 mm			
		H-4-3-V-1-5-E		Beobachtung		2 min	896 min	4000 kN	248 bar		0,00 mm			
		H-4-4-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung	→	10 min	906 min	4000 kN			-20,00 mm			
		H-4-4-V-1-5-E		Beobachtung		60 min	966 min	4000 kN			-20,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-4-5-V-1-5-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	←	10 min	976 min	4000 kN			-5,00 mm			
		H-4-5-V-1-5-E		Beobachtung		5 min	981 min	4000 kN			-5,00 mm			
		H-4-6-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	←	5 min	986 min	4000 kN			0,00 mm			
		H-4-6-V-1-5-E		Beobachtung		2 min	988 min	4000 kN			0,00 mm			
	Zyklus 5	H-5-1-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung	←	10 min	998 min	4000 kN			20,00 mm			
		H-5-1-V-1-5-E		Beobachtung		60 min	1058 min	4000 kN			20,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-5-2-V-1-5-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	→	10 min	1068 min	4000 kN			5,00 mm			
		H-5-2-V-1-5-E		Beobachtung		5 min	1073 min	4000 kN			5,00 mm			
		H-5-3-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	→	5 min	1078 min	4000 kN	221 bar		0,00 mm			
		H-5-3-V-1-5-E		Beobachtung		2 min	1080 min	4000 kN	248 bar		0,00 mm			
		H-5-4-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung	→	10 min	1090 min	4000 kN			-20,00 mm			
		H-5-4-V-1-5-E		Beobachtung		60 min	1150 min	4000 kN			-20,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-5-5-V-1-5-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	←	10 min	1160 min	4000 kN			-5,00 mm			
		H-5-5-V-1-5-E		Beobachtung		5 min	1165 min	4000 kN			-5,00 mm			
		H-5-6-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	←	5 min	1170 min	4000 kN			0,00 mm			
		H-5-6-V-1-5-E		Beobachtung		2 min	1172 min	4000 kN			0,00 mm			
	Zyklus 6	H-6-1-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung	←	10 min	1182 min	4000 kN			20,00 mm			
		H-6-1-V-1-5-E		Beobachtung		60 min	1242 min	4000 kN			20,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-6-2-V-1-5-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	→	10 min	1252 min	4000 kN			5,00 mm			
		H-6-2-V-1-5-E		Beobachtung		5 min	1257 min	4000 kN			5,00 mm			
		H-6-3-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	→	5 min	1262 min	4000 kN	221 bar		0,00 mm			
		H-6-3-V-1-5-E		Beobachtung		2 min	1264 min	4000 kN	248 bar		0,00 mm			
		H-6-4-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung	→	10 min	1274 min	4000 kN			-20,00 mm			
		H-6-4-V-1-5-E		Beobachtung		60 min	1334 min	4000 kN			-20,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-6-5-V-1-5-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	←	10 min	1344 min	4000 kN			-5,00 mm			
		H-6-5-V-1-5-E		Beobachtung		5 min	1349 min	4000 kN			-5,00 mm			
		H-6-6-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	←	5 min	1354 min	4000 kN			0,00 mm			
		H-6-6-V-1-5-E		Beobachtung		2 min	1356 min	4000 kN			0,00 mm			
	Zyklus 7	H-7-1-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung	←	10 min	1366 min	4000 kN			20,00 mm			
		H-7-1-V-1-5-E		Beobachtung		60 min	1426 min	4000 kN			20,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-7-2-V-1-5-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	→	10 min	1436 min	4000 kN			5,00 mm			
		H-7-2-V-1-5-E		Beobachtung		5 min	1441 min	4000 kN			5,00 mm			
		H-7-3-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	→	5 min	1446 min	4000 kN	221 bar		0,00 mm			
		H-7-3-V-1-5-E		Beobachtung		2 min	1448 min	4000 kN	248 bar		0,00 mm			
		H-7-4-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung	→	10 min	1458 min	4000 kN			-20,00 mm			
		H-7-4-V-1-5-E		Beobachtung		60 min	1518 min	4000 kN			-20,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-7-5-V-1-5-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	←	10 min	1528 min	4000 kN			-5,00 mm			
		H-7-5-V-1-5-E		Beobachtung		5 min	1533 min	4000 kN			-5,00 mm			
		H-7-6-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	←	5 min	1538 min	4000 kN			0,00 mm			
		H-7-6-V-1-5-E		Beobachtung		2 min	1540 min	4000 kN			0,00 mm			
	Zyklus 8	H-8-1-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung	←	10 min	1550 min	4000 kN			20,00 mm			
		H-8-1-V-1-5-E		Beobachtung		60 min	1610 min	4000 kN			20,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-8-2-V-1-5-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	→	10 min	1620 min	4000 kN			5,00 mm			
		H-8-2-V-1-5-E		Beobachtung		5 min	1625 min	4000 kN			5,00 mm			
		H-8-3-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	→	5 min	1630 min	4000 kN	221 bar		0,00 mm			
		H-8-3-V-1-5-E		Beobachtung		2 min	1632 min	4000 kN	248 bar		0,00 mm			
		H-8-4-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung	→	10 min	1642 min	4000 kN			-20,00 mm			
		H-8-4-V-1-5-E		Beobachtung		60 min	1702 min	4000 kN			-20,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-8-5-V-1-5-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	←	10 min	1712 min	4000 kN			-5,00 mm			
		H-8-5-V-1-5-E		Beobachtung		5 min	1717 min	4000 kN			-5,00 mm			
		H-8-6-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	←	5 min	1722 min	4000 kN			0,00 mm			
		H-8-6-V-1-5-E		Beobachtung		2 min	1724 min	4000 kN			0,00 mm			
	Zyklus 9	H-9-1-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung	←	10 min	1734 min	4000 kN			20,00 mm			
		H-9-1-V-1-5-E		Beobachtung		60 min	1794 min	4000 kN			20,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-9-2-V-1-5-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	→	10 min	1804 min	4000 kN			5,00 mm			
		H-9-2-V-1-5-E		Beobachtung		5 min	1809 min	4000 kN			5,00 mm			
		H-9-3-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	→	5 min	1814 min	4000 kN	221 bar		0,00 mm			
		H-9-3-V-1-5-E		Beobachtung		2 min	1816 min	4000 kN	248 bar		0,00 mm			
		H-9-4-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung	→	10 min	1826 min	4000 kN			-20,00 mm			
		H-9-4-V-1-5-E		Beobachtung		60 min	1886 min	4000 kN			-20,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-9-5-V-1-5-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	←	10 min	1896 min	4000 kN			-5,00 mm			
		H-9-5-V-1-5-E		Beobachtung		5 min	1901 min	4000 kN			-5,00 mm			
		H-9-6-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	←	5 min	1906 min	4000 kN			0,00 mm			
		H-9-6-V-1-5-E		Beobachtung		2 min	1908 min	4000 kN			0,00 mm			
	Zyklus 10	H-10-1-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung	←	10 min	1918 min	4000 kN			20,00 mm			
		H-10-1-V-1-5-E		Beobachtung		60 min	1978 min	4000 kN			20,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-10-2-V-1-5-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	→	10 min	1988 min	4000 kN			5,00 mm			
		H-10-2-V-1-5-E		Beobachtung		5 min	1993 min	4000 kN			5,00 mm			
		H-10-3-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	→	5 min	1998 min	4000 kN	221 bar		0,00 mm			
		H-10-3-V-1-5-E		Beobachtung		2 min	2000 min	4000 kN	248 bar		0,00 mm			
		H-10-4-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung	→	10 min	2010 min	4000 kN			-20,00 mm			
		H-10-4-V-1-5-E		Beobachtung		60 min	2070 min	4000 kN			-20,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-10-5-V-1-5-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	←	10 min	2080 min	4000 kN			-5,00 mm			
		H-10-5-V-1-5-E		Beobachtung		5 min	2085 min	4000 kN			-5,00 mm			
		H-10-6-V-1-5-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	←	5 min	2090 min	4000 kN			0,00 mm			
		H-10-6-V-1-5-E		Beobachtung		2 min	2092 min	4000 kN			0,00 mm			
		V-1-6-E	PAUSE	Vermessung Träger/Pfahl		15 min	2107 min	4000 kN			0,00 mm			
23.02.2018	vertikale Laststeigerung auf 5000 kN und Entlastung	V-1-7-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	3 min	2110 min	4500	249 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-7-E		Beobachtung		15 min	2125 min	4500	279 bar	**< 0,1mm/5min**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-8-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	3 min	2128 min	5000	276 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-8-E		Beobachtung		60 min	2188 min	5000	309 bar	**< 0,1mm/5min**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-9-A	Entlastung vertikal	Lastreduktion	↑	3 min	2191 min	4000	221 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-9-E		Beobachtung		10 min	2201 min	4000	248 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-10-A	1. Belastungszyklus	Lastreduktion	↑	3 min	2204 min	2000	111 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-10-E		Beobachtung		10 min	2214 min	2000	124 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-11-A	1. Belastungszyklus	Lastreduktion	↓	3 min	2217 min	50	3 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-11-E		Beobachtung		15 min	2232 min	50	3 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-12-A	Versuchsende		↑	1 min	2233 min	0	0 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	

[3]vor den Horizontalverschiebungszyklen sollte die Vertikalverformungsrate vollständig abgeklungen sein!

(wenn w_{res} > 0,1*d = 60mm kann der zulässige Verschiebungszuwachs auf 0,5mm/5min erhöht werden)

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.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

PRÜFABLAUF: Horizontalverschiebeversuch - Großbohrpfahl Ø 60cm - SOB - Kies (B.HK)

VERSUCH		HYDRAULIKPRESSEN			LASTANGABEN	Standard	HVV	VERSCHIEBUNGEN	HVV
Prüfkörper:	B.HM	Presse vertikal:	ZPE 1000	1809,5 cm2	Vorlast vertikal:	50 kN	50 kN	Horizontalvorschubgeschwindigkeit:	2,00 mm/min (Annahme)
Prüfung Nr.:	80	Pressen horizontal:	ZPE 200	325,7 cm2	Gebrauchslast vertikal:	800 kN	1000 kN	Max. Horizontalverschiebung[1]:	42,00 mm
Datum:	19.03.2018	Erhöhungsfaktor Pressendruck:		1,12	Maximallast vertikal[2]:	6000 kN	-	[1] lt. Statik auf Höhe Pfahlkopf (sollte 20 mm auf UK Doppelmantelrohr entsprechen)	
		[2] auf 5000 kN begrenzt durch Brückenlager (Kge 5000)			Laststeigerungsrate:			Abschätzung bleibende Verformung:	5,00 mm

Datum	Versuchs-abschnitt	Bezeichnung der Durchführungsschritte				Zeit		Vertikalbelastung			Horizontalbelastung			
		Laststufe Nr.	Beschreibung der Lastufe	Beschreibung Einzelvorgang	Pfahl-bewegung	Mindest-zeit t_i	Gesamt-dauer t_{ges}	Vertikal-Kraft F_V	Pressendruck vertikal p_V (+12%)	Kriterium: Verschiebungs-zuwachs	Horizontal-Verschiebung u_H	Horizontal-Kraft F_H	Pressendruck horizontal p_H	Kriterium: Verschiebungs-zuwachs
19.03.2018 bis 22.03.2018		V-1-0-A	Vorlast vertikal	Laststeigerung	↓	**0 min**	0 min	**50 kN**	3 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-0-E		Beobachtung		**15 min**	15 min	**50 kN**	3 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-1-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	18 min	**238 kN**	13 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-1-E		Beobachtung		**15 min**	33 min	**238 kN**	15 bar	**< 0,1mm/20min**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-2-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	36 min	**425 kN**	23 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-2-E		Beobachtung		**15 min**	51 min	**425 kN**	26 bar	**< 0,1mm/20min**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-3-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	54 min	**613 kN**	34 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-3-E		Beobachtung		**15 min**	69 min	**613 kN**	38 bar	**< 0,1mm/20min**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-4-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	72 min	**800 kN**	44 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-4-E		Beobachtung		**60 min**	132 min	**800 kN**	50 bar	**< 0,1mm/20min**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-5-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	135 min	**1000 kN**	55 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-5-E		Beobachtung[3]		**60 min**	195 min	**1000 kN**	62 bar	**0!**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
	Zyklus 1	H-1-1-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung	←	21 min	216 min	1000 kN			42,00 mm			
		H-1-1-V-1-6-E		Beobachtung		60 min	276 min	1000 kN			42,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-1-2-V-1-6-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	→	21 min	297 min	1000 kN			5,00 mm			
		H-1-2-V-1-6-E		Beobachtung		5 min	302 min	1000 kN			5,00 mm			
		H-1-3-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	→	5 min	307 min	1000 kN	55 bar		0,00 mm			
		H-1-3-V-1-6-E		Beobachtung		2 min	309 min	1000 kN	62 bar		0,00 mm			
		H-1-4-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung	→	21 min	330 min	1000 kN			-42,00 mm			
		H-1-4-V-1-6-E		Beobachtung		60 min	390 min	1000 kN			-42,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-1-5-V-1-6-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	←	21 min	411 min	1000 kN			-5,00 mm			
		H-1-5-V-1-6-E		Beobachtung		5 min	416 min	1000 kN			-5,00 mm			
		H-1-6-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	←	5 min	421 min	1000 kN			0,00 mm			
		H-1-6-V-1-6-E		Beobachtung		2 min	423 min	1000 kN			0,00 mm			
	Zyklus 2	H-2-1-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung	←	21 min	444 min	1000 kN			42,00 mm			
		H-2-1-V-1-6-E		Beobachtung		60 min	504 min	1000 kN			42,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-2-2-V-1-6-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	→	21 min	525 min	1000 kN			5,00 mm			
		H-2-2-V-1-6-E		Beobachtung		5 min	530 min	1000 kN			5,00 mm			
		H-2-3-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	→	5 min	535 min	1000 kN	55 bar		0,00 mm			
		H-2-3-V-1-6-E		Beobachtung		2 min	537 min	1000 kN	62 bar		0,00 mm			
		H-2-4-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung	→	21 min	558 min	1000 kN			-42,00 mm			
		H-2-4-V-1-6-E		Beobachtung		60 min	618 min	1000 kN			-42,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-2-5-V-1-6-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	←	21 min	639 min	1000 kN			-5,00 mm			
		H-2-5-V-1-6-E		Beobachtung		5 min	644 min	1000 kN			-5,00 mm			
		H-2-6-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	←	5 min	649 min	1000 kN			0,00 mm			
		H-2-6-V-1-6-E		Beobachtung		2 min	651 min	1000 kN			0,00 mm			
	Zyklus 3	H-3-1-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung	←	21 min	672 min	1000 kN			42,00 mm			
		H-3-1-V-1-6-E		Beobachtung		60 min	732 min	1000 kN			42,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-3-2-V-1-6-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	→	21 min	753 min	1000 kN			5,00 mm			
		H-3-2-V-1-6-E		Beobachtung		5 min	758 min	1000 kN			5,00 mm			
		H-3-3-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	→	5 min	763 min	1000 kN	55 bar		0,00 mm			
		H-3-3-V-1-6-E		Beobachtung		2 min	765 min	1000 kN	62 bar		0,00 mm			
		H-3-4-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung	→	21 min	786 min	1000 kN			-42,00 mm			
		H-3-4-V-1-6-E		Beobachtung		60 min	846 min	1000 kN			-42,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-3-5-V-1-6-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	←	21 min	867 min	1000 kN			-5,00 mm			
		H-3-5-V-1-6-E		Beobachtung		5 min	872 min	1000 kN			-5,00 mm			
		H-3-6-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	←	5 min	877 min	1000 kN			0,00 mm			
		H-3-6-V-1-6-E		Beobachtung		2 min	879 min	1000 kN			0,00 mm			
	Zyklus 4	H-4-1-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung	←	21 min	900 min	1000 kN			42,00 mm			
		H-4-1-V-1-6-E		Beobachtung		60 min	960 min	1000 kN			42,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-4-2-V-1-6-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	→	21 min	981 min	1000 kN			5,00 mm			
		H-4-2-V-1-6-E		Beobachtung		5 min	986 min	1000 kN			5,00 mm			
		H-4-3-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	→	5 min	991 min	1000 kN	55 bar		0,00 mm			
		H-4-3-V-1-6-E		Beobachtung		2 min	993 min	1000 kN	62 bar		0,00 mm			
		H-4-4-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung	→	21 min	1014 min	1000 kN			-42,00 mm			
		H-4-4-V-1-6-E		Beobachtung		60 min	1074 min	1000 kN			-42,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-4-5-V-1-6-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	←	21 min	1095 min	1000 kN			-5,00 mm			
		H-4-5-V-1-6-E		Beobachtung		5 min	1100 min	1000 kN			-5,00 mm			
		H-4-6-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	←	5 min	1105 min	1000 kN			0,00 mm			
		H-4-6-V-1-6-E		Beobachtung		2 min	1107 min	1000 kN			0,00 mm			
	Zyklus 5	H-5-1-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung	←	21 min	1128 min	1000 kN			42,00 mm			
		H-5-1-V-1-6-E		Beobachtung		60 min	1188 min	1000 kN			42,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-5-2-V-1-6-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	→	21 min	1209 min	1000 kN			5,00 mm			
		H-5-2-V-1-6-E		Beobachtung		5 min	1214 min	1000 kN			5,00 mm			
		H-5-3-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	→	5 min	1219 min	1000 kN	55 bar		0,00 mm			
		H-5-3-V-1-6-E		Beobachtung		2 min	1221 min	1000 kN	62 bar		0,00 mm			
		H-5-4-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung	→	21 min	1242 min	1000 kN			-42,00 mm			
		H-5-4-V-1-6-E		Beobachtung		60 min	1302 min	1000 kN			-42,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-5-5-V-1-6-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	←	21 min	1323 min	1000 kN			-5,00 mm			
		H-5-5-V-1-6-E		Beobachtung		5 min	1328 min	1000 kN			-5,00 mm			
		H-5-6-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	←	5 min	1333 min	1000 kN			0,00 mm			
		H-5-6-V-1-6-E		Beobachtung		2 min	1335 min	1000 kN			0,00 mm			
	Zyklus 6	H-6-1-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung	←	21 min	1356 min	1000 kN			42,00 mm			
		H-6-1-V-1-6-E		Beobachtung		60 min	1416 min	1000 kN			42,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-6-2-V-1-6-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	→	21 min	1437 min	1000 kN			5,00 mm			
		H-6-2-V-1-6-E		Beobachtung		5 min	1442 min	1000 kN			5,00 mm			
		H-6-3-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	→	5 min	1447 min	1000 kN	55 bar		0,00 mm			
		H-6-3-V-1-6-E		Beobachtung		2 min	1449 min	1000 kN	62 bar		0,00 mm			
		H-6-4-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung	→	21 min	1470 min	1000 kN			-42,00 mm			
		H-6-4-V-1-6-E		Beobachtung		60 min	1530 min	1000 kN			-42,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-6-5-V-1-6-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	←	21 min	1551 min	1000 kN			-5,00 mm			
		H-6-5-V-1-6-E		Beobachtung		5 min	1556 min	1000 kN			-5,00 mm			
		H-6-6-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	←	5 min	1561 min	1000 kN			0,00 mm			
		H-6-6-V-1-6-E		Beobachtung		2 min	1563 min	1000 kN			0,00 mm			
	Zyklus 7	H-7-1-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung	←	21 min	1584 min	1000 kN			42,00 mm			
		H-7-1-V-1-6-E		Beobachtung		60 min	1644 min	1000 kN			42,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-7-2-V-1-6-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	→	21 min	1665 min	1000 kN			5,00 mm			
		H-7-2-V-1-6-E		Beobachtung		5 min	1670 min	1000 kN			5,00 mm			
		H-7-3-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	→	5 min	1675 min	1000 kN	55 bar		0,00 mm			
		H-7-3-V-1-6-E		Beobachtung		2 min	1677 min	1000 kN	62 bar		0,00 mm			
		H-7-4-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung	→	21 min	1698 min	1000 kN			-42,00 mm			
		H-7-4-V-1-6-E		Beobachtung		60 min	1758 min	1000 kN			-42,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-7-5-V-1-6-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	←	21 min	1779 min	1000 kN			-5,00 mm			
		H-7-5-V-1-6-E		Beobachtung		5 min	1784 min	1000 kN			-5,00 mm			
		H-7-6-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	←	5 min	1789 min	1000 kN			0,00 mm			
		H-7-6-V-1-6-E		Beobachtung		2 min	1791 min	1000 kN			0,00 mm			
	Zyklus 8	H-8-1-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung	←	21 min	1812 min	1000 kN			42,00 mm			
		H-8-1-V-1-6-E		Beobachtung		60 min	1872 min	1000 kN			42,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-8-2-V-1-6-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	→	21 min	1893 min	1000 kN			5,00 mm			
		H-8-2-V-1-6-E		Beobachtung		5 min	1898 min	1000 kN			5,00 mm			
		H-8-3-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	→	5 min	1903 min	1000 kN	55 bar		0,00 mm			
		H-8-3-V-1-6-E		Beobachtung		2 min	1905 min	1000 kN	62 bar		0,00 mm			
		H-8-4-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung	→	21 min	1926 min	1000 kN			-42,00 mm			
		H-8-4-V-1-6-E		Beobachtung		60 min	1986 min	1000 kN			-42,00 mm			**< 0,1mm/5min**
		H-8-5-V-1-6-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	←	21 min	2007 min	1000 kN			-5,00 mm			
		H-8-5-V-1-6-E		Beobachtung		5 min	2012 min	1000 kN			-5,00 mm			
		H-8-6-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	←	5 min	2017 min	1000 kN			0,00 mm			
		H-8-6-V-1-6-E		Beobachtung		2 min	2019 min	1000 kN			0,00 mm			

TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN
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.

	Zyklus 9	H-9-1-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung	←	21 min	2040 min	1000 kN			42,00 mm			
		H-9-1-V-1-6-E		Beobachtung		60 min	2100 min	1000 kN			42,00 mm			< 0,1mm/5min
		H-9-2-V-1-6-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	→	21 min	2121 min	1000 kN			5,00 mm			
		H-9-2-V-1-6-E		Beobachtung		5 min	2126 min	1000 kN			5,00 mm			
		H-9-3-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	→	5 min	2131 min	1000 kN	55 bar		0,00 mm			
		H-9-3-V-1-6-E		Beobachtung		2 min	2133 min	1000 kN	62 bar		0,00 mm			
		H-9-4-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung	→	21 min	2154 min	1000 kN			-42,00 mm			
		H-9-4-V-1-6-E		Beobachtung		60 min	2214 min	1000 kN			-42,00 mm			< 0,1mm/5min
		H-9-5-V-1-6-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	←	21 min	2235 min	1000 kN			-5,00 mm			
		H-9-5-V-1-6-E		Beobachtung		5 min	2240 min	1000 kN			-5,00 mm			
		H-9-6-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	←	5 min	2245 min	1000 kN			0,00 mm			
		H-9-6-V-1-6-E		Beobachtung		2 min	2247 min	1000 kN			0,00 mm			
	Zyklus 10	H-10-1-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung	←	21 min	2268 min	1000 kN			42,00 mm			
		H-10-1-V-1-6-E		Beobachtung		60 min	2328 min	1000 kN			42,00 mm			< 0,1mm/5min
		H-10-2-V-1-6-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	→	21 min	2349 min	1000 kN			5,00 mm			
		H-10-2-V-1-6-E		Beobachtung		5 min	2354 min	1000 kN			5,00 mm			
		H-10-3-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	→	5 min	2359 min	1000 kN	55 bar		0,00 mm			
		H-10-3-V-1-6-E		Beobachtung		2 min	2361 min	1000 kN	62 bar		0,00 mm			
		H-10-4-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung	→	21 min	2382 min	1000 kN			-42,00 mm			
		H-10-4-V-1-6-E		Beobachtung		60 min	2442 min	1000 kN			-42,00 mm			< 0,1mm/5min
		H-10-5-V-1-6-A	Entlastung horizontal	Verschiebung	←	21 min	2463 min	1000 kN			-5,00 mm			
		H-10-5-V-1-6-E		Beobachtung		5 min	2468 min	1000 kN			-5,00 mm			
		H-10-6-V-1-6-A	Belastung horizontal	Verschiebung in Nullstellung	←	5 min	2473 min	1000 kN			0,00 mm			
		H-10-6-V-1-6-E		Beobachtung		2 min	2475 min	1000 kN			0,00 mm			
		V-1-7-E	PAUSE	Vermessung Träger/Pfahl		15 min	2490 min	1000 kN			0,00 mm			
	Probe-belastung gemäß Standard-prüfablauf	V-1-8-A	Entlastung vertikal	Lastreduktion	↑	**3 min**	2493 min	**800 kN**	44 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-8-E		Beobachtung		**10 min**	2503 min	**800 kN**	50 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-9-A	Entlastung vertikal	Lastreduktion	↑	**3 min**	2506 min	**425 kN**	23 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-1-9-E		Beobachtung		**10 min**	2516 min	**425 kN**	26 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-0-A	Entlastung vertikal	Lastreduktion	↑	**3 min**	2519 min	**50 kN**	3 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-0-E		Beobachtung		**10 min**	2529 min	**50 kN**	3 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-1-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	2532 min	**238 kN**	13 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-1-E		Beobachtung		**10 min**	2542 min	**238 kN**	15 bar	**< 0,1mm/20min**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-2-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	2545 min	**425 kN**	23 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-2-E		Beobachtung		**10 min**	2555 min	**425 kN**	26 bar	**< 0,1mm/20min**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-3-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	2558 min	**613 kN**	34 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-3-E		Beobachtung		**10 min**	2568 min	**613 kN**	38 bar	**< 0,1mm/20min**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-4-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	2571 min	**800 kN**	44 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-4-E		Beobachtung		**10 min**	2581 min	**800 kN**	50 bar	**< 0,1mm/20min**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-5-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	2584 min	**1125 kN**	62 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-5-E		Beobachtung		**15 min**	2599 min	**1125 kN**	70 bar	**< 0,1mm/5min**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-6-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	2602 min	**1450 kN**	80 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-6-E		Beobachtung		**15 min**	2617 min	**1450 kN**	90 bar	**< 0,1mm/5min**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-7-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	2620 min	**1775 kN**	98 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-7-E		Beobachtung		**15 min**	2635 min	**1775 kN**	110 bar	**< 0,1mm/5min**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-8-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	2638 min	**2100 kN**	116 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-8-E		Beobachtung		**15 min**	2653 min	**2100 kN**	130 bar	**< 0,1mm/5min**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-9-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	2656 min	**2750 kN**	152 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
23.03.2018		V-2-9-E		Beobachtung		**15 min**	2671 min	**2750 kN**	170 bar	**< 0,1mm/5min**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-10-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	2674 min	**3400 kN**	188 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-10-E		Beobachtung		**15 min**	2689 min	**3400 kN**	210 bar	**< 0,1mm/5min**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-11-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	2692 min	**4050 kN**	224 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-11-E		Beobachtung		**15 min**	2707 min	**4050 kN**	251 bar	**< 0,1mm/5min**	0,00 mm	0 kN	0 bar	
		V-2-12-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	2710 min	**4700 kN**	260 bar		0,00 mm	0 kN	0 kN	
		V-2-12-E		Beobachtung		**15 min**	2725 min	**4700 kN**	291 bar	**< 0,1mm/5min**	0,00 mm	0 kN	0 kN	
		V-2-13-A	Belastung vertikal	Laststeigerung	↓	**3 min**	2728 min	**5000 kN**	276 bar		0,00 mm	0 kN	0 kN	
		V-2-13-E		Beobachtung		**60 min**	2788 min	**5000 kN**	309 bar	**< 0,1mm/5min**	0,00 mm	0 kN	0 kN	
		V-2-14-A	Entlastung vertikal	Lastreduktion	↑	**3 min**	2791 min	**3400 kN**	188 bar		0,00 mm	0 kN	0 kN	
		V-2-14-E		Beobachtung		**10 min**	2801 min	**3400 kN**	210 bar		0,00 mm	0 kN	0 kN	
		V-2-15-A	Entlastung vertikal	Lastreduktion	↑	**3 min**	2804 min	**800 kN**	44 bar		0,00 mm	0 kN	0 kN	
		V-2-15-E		Beobachtung		**10 min**	2814 min	**800 kN**	50 bar		0,00 mm	0 kN	0 kN	
		V-2-16-A	Entlastung vertikal	Lastreduktion	↑	**3 min**	2817 min	**425 kN**	23 bar		0,00 mm	0 kN	0 kN	
		V-2-16-E		Beobachtung		**10 min**	2827 min	**425 kN**	26 bar		0,00 mm	0 kN	0 kN	
		V-2-17-A	Entlastung vertikal	Lastreduktion	↑	**3 min**	2830 min	**50 kN**	3 bar		0,00 mm	0 kN	0 kN	
		V-2-17-E		Beobachtung		**15 min**	2845 min	**50 kN**	3 bar		0,00 mm	0 kN	0 kN	
		V-2-18-A	**Versuchsende**		↑	1 min	2846 min	0	0 bar		0,00 mm	0 kN	0 bar	

[3]vor den Horizontalverschiebungszyklen sollte die Vertikalverformungsrate vollständig abgeklungen sein!

wenn $w_{vm} > 0{,}1*d = 60mm$ kann der zulässige Verschiebungszuwachs auf 0,5mm/5min erhöht werden

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

ANHANG G

Zeitpunkte der Zyklusstufen

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.

Zyklusstufen B.HM 1/2

Zyklusstufen (ZS)					
Kraftwechselzeitpunkte		Beginn	angenommene Restverschiebung		Verschiebung
		Ende	Sollverschiebung		horizontal
	Zykluspunkt	ZS-Bezeichnung	Zeit	Kalendertag	Soll [mm]
	0	V-1-4-E	15:52:09	19	0
Zyklus 1	1	H-1-1-V-1-5-A	16:09:13	19	20
Zyklus 1	2	H-1-1-V-1-5-E	11:02:55	20	20
Zyklus 1	3	H-1-2-V-1-5-A	11:19:59	20	5
Zyklus 1	4	H-1-2-V-1-5-E	12:01:41	20	5
Zyklus 1	5	H-1-3-V-1-5-A	12:03:01	20	0
Zyklus 1	6	H-1-3-V-1-5-E	12:06:21	20	0
Zyklus 1	7	H-1-4-V-1-5-A	12:14:37	20	-20
Zyklus 1	8	H-1-4-V-1-5-E	14:08:49	20	-20
Zyklus 1	9	H-1-5-V-1-5-A	14:20:55	20	-5
Zyklus 1	10	H-1-5-V-1-5-E	15:02:37	20	-5
Zyklus 1	11	H-1-6-V-1-5-A	15:07:29	20	0
Zyklus 1	12	H-1-6-V-1-5-E	15:09:01	20	0
Zyklus 2	13	H-2-1-V-1-5-A	15:21:23	20	20
Zyklus 2	14	H-2-1-V-1-5-E	16:23:01	20	20
Zyklus 2	15	H-2-2-V-1-5-A	16:42:53	20	5
Zyklus 2	16	H-2-2-V-1-5-E	16:52:17	20	5
Zyklus 2	17	H-2-3-V-1-5-A	16:54:59	20	0
Zyklus 2	18	H-2-3-V-1-5-E	16:57:09	20	0
Zyklus 2	19	H-2-4-V-1-5-A	17:05:55	20	-20
Zyklus 2	20	H-2-4-V-1-5-E	07:28:47	21	-20
Zyklus 2	21	H-2-5-V-1-5-A	07:38:13	21	-5
Zyklus 2	22	H-2-5-V-1-5-E	07:54:01	21	-5
Zyklus 2	23	H-2-6-V-1-5-A	08:02:09	21	0
Zyklus 2	24	H-2-6-V-1-5-E	08:15:37	21	0
Zyklus 3	25	H-3-1-V-1-5-A	08:25:51	21	20
Zyklus 3	26	H-3-1-V-1-5-E	09:32:31	21	20
Zyklus 3	27	H-3-2-V-1-5-A	09:40:57	21	5
Zyklus 3	28	H-3-2-V-1-5-E	09:48:29	21	5
Zyklus 3	29	H-3-3-V-1-5-A	09:50:17	21	0
Zyklus 3	30	H-3-3-V-1-5-E	09:52:21	21	0
Zyklus 3	31	H-3-4-V-1-5-A	09:59:25	21	-20
Zyklus 3	32	H-3-4-V-1-5-E	11:05:39	21	-20
Zyklus 3	33	H-3-5-V-1-5-A	11:11:13	21	-5
Zyklus 3	34	H-3-5-V-1-5-E	11:17:19	21	-5
Zyklus 3	35	H-3-6-V-1-5-A	11:19:31	21	0
Zyklus 3	36	H-3-6-V-1-5-E	11:21:01	21	0
Zyklus 4	37	H-4-1-V-1-5-A	11:28:01	21	20
Zyklus 4	38	H-4-1-V-1-5-E	12:27:39	21	20
Zyklus 4	39	H-4-2-V-1-5-A	12:33:05	21	5
Zyklus 4	40	H-4-2-V-1-5-E	12:54:33	21	5
Zyklus 4	41	H-4-3-V-1-5-A	12:56:13	21	0
Zyklus 4	42	H-4-3-V-1-5-E	12:57:19	21	0
Zyklus 4	43	H-4-4-V-1-5-A	13:03:41	21	-20
Zyklus 4	44	H-4-4-V-1-5-E	14:04:21	21	-20
Zyklus 4	45	H-4-5-V-1-5-A	14:11:15	21	-5
Zyklus 4	46	H-4-5-V-1-5-E	14:21:25	21	-5
Zyklus 4	47	H-4-6-V-1-5-A	14:23:31	21	0
Zyklus 4	48	H-4-6-V-1-5-E	14:24:55	21	0
Zyklus 5	49	H-5-1-V-1-5-A	14:31:39	21	20
Zyklus 5	50	H-5-1-V-1-5-E	15:38:33	21	20
Zyklus 5	51	H-5-2-V-1-5-A	15:45:15	21	5
Zyklus 5	52	H-5-2-V-1-5-E	15:55:03	21	5
Zyklus 5	53	H-5-3-V-1-5-A	15:57:37	21	0
Zyklus 5	54	H-5-3-V-1-5-E	16:01:01	21	0
Zyklus 5	55	H-5-4-V-1-5-A	16:07:29	21	-20
Zyklus 5	56	H-5-4-V-1-5-E	17:12:41	21	-20
Zyklus 5	57	H-5-5-V-1-5-A	17:19:11	21	-5
Zyklus 5	58	H-5-5-V-1-5-E	17:29:41	21	-5
Zyklus 5	59	H-5-6-V-1-5-A	17:32:35	21	0
Zyklus 5	60	H-5-6-V-1-5-E	17:36:51	21	0

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.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Zyklus 6	61	H-6-1-V-1-5-A	17:44:47	21	20
Zyklus 6	62	H-6-1-V-1-5-E	07:39:23	22	20
Zyklus 6	63	H-6-2-V-1-5-A	07:48:59	22	5
Zyklus 6	64	H-6-2-V-1-5-E	07:59:43	22	5
Zyklus 6	65	H-6-3-V-1-5-A	08:00:35	22	0
Zyklus 6	66	H-6-3-V-1-5-E	08:02:25	22	0
Zyklus 6	67	H-6-4-V-1-5-A	08:07:17	22	-20
Zyklus 6	68	H-6-4-V-1-5-E	09:06:51	22	-20
Zyklus 6	69	H-6-5-V-1-5-A	09:11:39	22	-5
Zyklus 6	70	H-6-5-V-1-5-E	09:16:37	22	-5
Zyklus 6	71	H-6-6-V-1-5-A	09:20:49	22	0
Zyklus 6	72	H-6-6-V-1-5-E	09:22:59	22	0
Zyklus 7	73	H-7-1-V-1-5-A	09:30:09	22	20
Zyklus 7	74	H-7-1-V-1-5-E	10:32:37	22	20
Zyklus 7	75	H-7-2-V-1-5-A	10:39:43	22	5
Zyklus 7	76	H-7-2-V-1-5-E	10:47:51	22	5
Zyklus 7	77	H-7-3-V-1-5-A	10:49:59	22	0
Zyklus 7	78	H-7-3-V-1-5-E	10:56:07	22	0
Zyklus 7	79	H-7-4-V-1-5-A	11:06:41	22	-20
Zyklus 7	80	H-7-4-V-1-5-E	12:10:53	22	-20
Zyklus 7	81	H-7-5-V-1-5-A	12:18:23	22	-5
Zyklus 7	82	H-7-5-V-1-5-E	12:25:29	22	-5
Zyklus 7	83	H-7-6-V-1-5-A	12:27:27	22	0
Zyklus 7	84	H-7-6-V-1-5-E	12:29:01	22	0
Zyklus 8	85	H-8-1-V-1-5-A	12:35:57	22	20
Zyklus 8	86	H-8-1-V-1-5-E	13:39:19	22	20
Zyklus 8	87	H-8-2-V-1-5-A	13:44:45	22	5
Zyklus 8	88	H-8-2-V-1-5-E	13:52:15	22	5
Zyklus 8	89	H-8-3-V-1-5-A	13:55:25	22	0
Zyklus 8	90	H-8-3-V-1-5-E	13:57:01	22	0
Zyklus 8	91	H-8-4-V-1-5-A	14:06:25	22	-20
Zyklus 8	92	H-8-4-V-1-5-E	15:02:31	22	-20
Zyklus 8	93	H-8-5-V-1-5-A	15:16:05	22	-5
Zyklus 8	94	H-8-5-V-1-5-E	15:23:35	22	-5
Zyklus 8	95	H-8-6-V-1-5-A	15:26:53	22	0
Zyklus 8	96	H-8-6-V-1-5-E	15:29:13	22	0
Zyklus 9	97	H-9-1-V-1-5-A	15:36:29	22	20
Zyklus 9	98	H-9-1-V-1-5-E	16:40:55	22	20
Zyklus 9	99	H-9-2-V-1-5-A	16:46:21	22	5
Zyklus 9	100	H-9-2-V-1-5-E	16:54:41	22	5
Zyklus 9	101	H-9-3-V-1-5-A	16:57:41	22	0
Zyklus 9	102	H-9-3-V-1-5-E	16:59:13	22	0
Zyklus 9	103	H-9-4-V-1-5-A	17:07:53	22	-20
Zyklus 9	104	H-9-4-V-1-5-E	07:10:05	23	-20
Zyklus 9	105	H-9-5-V-1-5-A	07:17:13	23	-5
Zyklus 9	106	H-9-5-V-1-5-E	07:24:21	23	-5
Zyklus 9	107	H-9-6-V-1-5-A	07:27:29	23	0
Zyklus 9	108	H-9-6-V-1-5-E	07:29:49	23	0
Zyklus 10	109	H-10-1-V-1-5-A	07:37:25	23	20
Zyklus 10	110	H-10-1-V-1-5-E	08:37:43	23	20
Zyklus 10	111	H-10-2-V-1-5-A	08:50:39	23	5
Zyklus 10	112	H-10-2-V-1-5-E	08:56:35	23	5
Zyklus 10	113	H-10-3-V-1-5-A	08:59:41	23	0
Zyklus 10	114	H-10-3-V-1-5-E	09:01:49	23	0
Zyklus 10	115	H-10-4-V-1-5-A	09:13:15	23	-20
Zyklus 10	116	H-10-4-V-1-5-E	10:16:07	23	-20
Zyklus 10	117	H-10-5-V-1-5-A	10:24:03	23	-5
Zyklus 10	118	H-10-5-V-1-5-E	10:32:07	23	-5
Zyklus 10	119	H-10-6-V-1-5-A	10:34:19	23	0
Zyklus 10	120	H-10-6-V-1-5-E	10:36:19	23	0

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Zyklusstufen B.HK 1/2

Zyklusstufen (ZS) Kraftwechselzeitpunkte		Beginn	angenommene Restverschiebung		Verschiebung
		Ende	Sollverschiebung		horizontal
	Zykluspunkt	ZS-Bezeichnung	Zeit	Kalendertag	Soll [mm]
	0	V-1-5-E	15:12:31	19	0
Zyklus 1	1	H-1-1-V-1-6-A	15:33:45	19	-42
Zyklus 1	2	H-1-1-V-1-6-E	16:39:47	19	-42
Zyklus 1	3	H-1-2-V-1-6-A	16:50:31	19	5
Zyklus 1	4	H-1-2-V-1-6-E	16:56:27	19	5
Zyklus 1	5	H-1-3-V-1-6-A	17:04:33	19	0
Zyklus 1	6	H-1-3-V-1-6-E	17:14:47	19	0
Zyklus 1	7	H-1-4-V-1-6-A	17:25:09	19	42
Zyklus 1	8	H-1-4-V-1-6-E	07:07:39	20	42
Zyklus 1	9	H-1-5-V-1-6-A	07:15:25	20	-5
Zyklus 1	10	H-1-5-V-1-6-E	07:45:11	20	-5
Zyklus 1	11	H-1-6-V-1-6-A	07:45:25	20	0
Zyklus 1	12	H-1-6-V-1-6-E	07:45:29	20	0
Zyklus 2	13	H-2-1-V-1-6-A	08:06:47	20	-42
Zyklus 2	14	H-2-1-V-1-6-E	09:14:21	20	-42
Zyklus 2	15	H-2-2-V-1-6-A	09:22:47	20	5
Zyklus 2	16	H-2-2-V-1-6-E	09:30:09	20	5
Zyklus 2	17	H-2-3-V-1-6-A	09:30:51	20	0
Zyklus 2	18	H-2-3-V-1-6-E	09:33:31	20	0
Zyklus 2	19	H-2-4-V-1-6-A	10:00:17	20	42
Zyklus 2	20	H-2-4-V-1-6-E	11:10:11	20	42
Zyklus 2	21	H-2-5-V-1-6-A	11:24:11	20	-5
Zyklus 2	22	H-2-5-V-1-6-E	11:32:05	20	-5
Zyklus 2	23	H-2-6-V-1-6-A	11:32:15	20	0
Zyklus 2	24	H-2-6-V-1-6-E	11:34:39	20	0
Zyklus 3	25	H-3-1-V-1-6-A	11:58:47	20	-42
Zyklus 3	26	H-3-1-V-1-6-E	13:02:27	20	-42
Zyklus 3	27	H-3-2-V-1-6-A	13:11:57	20	5
Zyklus 3	28	H-3-2-V-1-6-E	13:32:53	20	5
Zyklus 3	29	H-3-3-V-1-6-A	13:33:07	20	0
Zyklus 3	30	H-3-3-V-1-6-E	13:35:43	20	0
Zyklus 3	31	H-3-4-V-1-6-A	14:03:15	20	42
Zyklus 3	32	H-3-4-V-1-6-E	15:00:31	20	42
Zyklus 3	33	H-3-5-V-1-6-A	15:22:11	20	-5
Zyklus 3	34	H-3-5-V-1-6-E	15:24:59	20	-5
Zyklus 3	35	H-3-6-V-1-6-A	15:29:09	20	0
Zyklus 3	36	H-3-6-V-1-6-E	15:32:51	20	0
Zyklus 4	37	H-4-1-V-1-6-A	15:58:55	20	-42
Zyklus 4	38	H-4-1-V-1-6-E	17:00:27	20	-42
Zyklus 4	39	H-4-2-V-1-6-A	17:11:21	20	5
Zyklus 4	40	H-4-2-V-1-6-E	17:16:11	20	5
Zyklus 4	41	H-4-3-V-1-6-A	17:17:57	20	0
Zyklus 4	42	H-4-3-V-1-6-E	17:19:53	20	0
Zyklus 4	43	H-4-4-V-1-6-A	17:37:19	20	42
Zyklus 4	44	H-4-4-V-1-6-E	18:36:37	20	42
Zyklus 4	45	H-4-5-V-1-6-A	18:48:39	20	-5
Zyklus 4	46	H-4-5-V-1-6-E	18:53:33	20	-5
Zyklus 4	47	H-4-6-V-1-6-A	18:53:45	20	0
Zyklus 4	48	H-4-6-V-1-6-E	18:56:35	20	0
Zyklus 5	49	H-5-1-V-1-6-A	19:17:53	20	-42
Zyklus 5	50	H-5-1-V-1-6-E	06:50:45	21	-42
Zyklus 5	51	H-5-2-V-1-6-A	07:01:35	21	5
Zyklus 5	52	H-5-2-V-1-6-E	07:09:47	21	5
Zyklus 5	53	H-5-3-V-1-6-A	07:10:29	21	0
Zyklus 5	54	H-5-3-V-1-6-E	07:16:43	21	0
Zyklus 5	55	H-5-4-V-1-6-A	07:28:49	21	42
Zyklus 5	56	H-5-4-V-1-6-E	08:31:37	21	42
Zyklus 5	57	H-5-5-V-1-6-A	08:47:11	21	-5
Zyklus 5	58	H-5-5-V-1-6-E	08:51:41	21	-5
Zyklus 5	59	H-5-6-V-1-6-A	08:55:53	21	0
Zyklus 5	60	H-5-6-V-1-6-E	09:09:01	21	0

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Zyklus 6	61	H-6-1-V-1-6-A	09:30:25	21	-42
Zyklus 6	62	H-6-1-V-1-6-E	10:33:51	21	-42
Zyklus 6	63	H-6-2-V-1-6-A	10:49:27	21	5
Zyklus 6	64	H-6-2-V-1-6-E	10:54:23	21	5
Zyklus 6	65	H-6-3-V-1-6-A	10:55:21	21	0
Zyklus 6	66	H-6-3-V-1-6-E	10:59:03	21	0
Zyklus 6	67	H-6-4-V-1-6-A	11:26:39	21	42
Zyklus 6	68	H-6-4-V-1-6-E	12:28:49	21	42
Zyklus 6	69	H-6-5-V-1-6-A	12:43:35	21	-5
Zyklus 6	70	H-6-5-V-1-6-E	12:56:55	21	-5
Zyklus 6	71	H-6-6-V-1-6-A	12:57:17	21	0
Zyklus 6	72	H-6-6-V-1-6-E	13:21:17	21	0
Zyklus 7	73	H-7-1-V-1-6-A	13:51:03	21	-42
Zyklus 7	74	H-7-1-V-1-6-E	14:53:35	21	-42
Zyklus 7	75	H-7-2-V-1-6-A	15:07:43	21	5
Zyklus 7	76	H-7-2-V-1-6-E	15:12:23	21	5
Zyklus 7	77	H-7-3-V-1-6-A	15:13:23	21	0
Zyklus 7	78	H-7-3-V-1-6-E	15:15:31	21	0
Zyklus 7	79	H-7-4-V-1-6-A	15:41:05	21	42
Zyklus 7	80	H-7-4-V-1-6-E	16:51:29	21	42
Zyklus 7	81	H-7-5-V-1-6-A	17:00:33	21	-5
Zyklus 7	82	H-7-5-V-1-6-E	17:06:21	21	-5
Zyklus 7	83	H-7-6-V-1-6-A	17:09:57	21	0
Zyklus 7	84	H-7-6-V-1-6-E	17:13:29	21	0
Zyklus 8	85	H-8-1-V-1-6-A	17:36:03	21	-42
Zyklus 8	86	H-8-1-V-1-6-E	18:38:09	21	-42
Zyklus 8	87	H-8-2-V-1-6-A	18:55:21	21	5
Zyklus 8	88	H-8-2-V-1-6-E	19:01:43	21	5
Zyklus 8	89	H-8-3-V-1-6-A	19:01:55	21	0
Zyklus 8	90	H-8-3-V-1-6-E	19:03:25	21	0
Zyklus 8	91	H-8-4-V-1-6-A	19:31:03	21	42
Zyklus 8	92	H-8-4-V-1-6-E	07:32:41	22	42
Zyklus 8	93	H-8-5-V-1-6-A	07:45:35	22	-5
Zyklus 8	94	H-8-5-V-1-6-E	07:53:21	22	-5
Zyklus 8	95	H-8-6-V-1-6-A	07:53:37	22	0
Zyklus 8	96	H-8-6-V-1-6-E	08:03:01	22	0
Zyklus 9	97	H-9-1-V-1-6-A	08:35:07	22	-42
Zyklus 9	98	H-9-1-V-1-6-E	09:35:13	22	-42
Zyklus 9	99	H-9-2-V-1-6-A	09:51:11	22	5
Zyklus 9	100	H-9-2-V-1-6-E	09:56:27	22	5
Zyklus 9	101	H-9-3-V-1-6-A	10:00:47	22	0
Zyklus 9	102	H-9-3-V-1-6-E	10:03:13	22	0
Zyklus 9	103	H-9-4-V-1-6-A	10:34:07	22	42
Zyklus 9	104	H-9-4-V-1-6-E	11:34:13	22	42
Zyklus 9	105	H-9-5-V-1-6-A	11:50:01	22	-5
Zyklus 9	106	H-9-5-V-1-6-E	11:55:39	22	-5
Zyklus 9	107	H-9-6-V-1-6-A	12:02:57	22	0
Zyklus 9	108	H-9-6-V-1-6-E	12:06:55	22	0
Zyklus 10	109	H-10-1-V-1-6-A	12:31:19	22	-42
Zyklus 10	110	H-10-1-V-1-6-E	13:36:31	22	-42
Zyklus 10	111	H-10-2-V-1-6-A	13:56:59	22	5
Zyklus 10	112	H-10-2-V-1-6-E	14:01:45	22	5
Zyklus 10	113	H-10-3-V-1-6-A	14:02:05	22	0
Zyklus 10	114	H-10-3-V-1-6-E	14:03:43	22	0
Zyklus 10	115	H-10-4-V-1-6-A	14:33:11	22	42
Zyklus 10	116	H-10-4-V-1-6-E	15:33:17	22	42
Zyklus 10	117	H-10-5-V-1-6-A	15:47:51	22	-5
Zyklus 10	118	H-10-5-V-1-6-E	15:54:43	22	-5
Zyklus 10	119	H-10-6-V-1-6-A	16:00:07	22	0
Zyklus 10	120	H-10-6-V-1-6-E	16:03:19	22	0

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

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.

ANHANG H

Feldprotokolle

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.

TU WIEN bl.geo

MA 29 BRÜCKENBAU GRUNDBAU

KELLER PORR ARGE FPUH

Feldprotokoll Horizontalverschiebeversuche

Prüfkörper: B.HM	Wetterbedingungen:	Anwesende: +SACHS	besondere Versuchsbedingungen:
Prüfung Nr.: 59	09⁰⁰, wolkenlos, 0°C	ARGE / RED: FUCHS, SLHETINA / GLAVAC	KEX3 auf Ch16 ; 17:10 Logging stopped → Datendownload
Datum: 19.02.2018	in Einhausung 12⁰⁰ 6°C	MA29: REIMOSER, KURESCH	(weil Ch13 defekt) 17:31 Logging started (19.02.18)
		TU: STÖGLEHNER, BLOVSKY, WAGNER	

bis 23.02.2018

			VERSUCHSPFAHL							Presse VERTIKAL		Pressen HORIZONTAL			REAKTIONSPFÄHLE				MESSBRÜCKE	
			Vertikal-	verschiebung		Mech.	Horizontal-	verschiebung		KMD 1	Manometer	KMD 2 ~~(links)~~ rechts	KMD 3 ~~(rechts)~~ links	Manometer	Horizontal-verschiebung		Vertikal-verschiebung		Vertikal-verschiebung	
Laststufe	Bemerkungen	Zeit	w_{V1}	w_{V2}	w_{V3}	w_{VM}	w_{H1}	w_{H2}	w_{H3}	Kraft	Druck	Kraft	Kraft	Druck	R51 w_{H4}	R52 w_{H5}	R51 w_{VP1}	R52 w_{VP4}	w_{VP2}	w_{VP3}
	Sollwert						+20	-20				max.	max.							
	Warnwert		18							5800		1000 !	1000 !				10		1	
[Nr.]	Abbruchwert	[hh:mm]								6000		(~~1080~~)	(~~1080~~)				15			
~~Ø~~	Nullmessung	11:27	0	0	0	99,42	0	0	0	7 kN		–	–	–	0	0	0	0	0	0
0	Vorlast	11:39	0,04	0,06	0,02	99,44	0,03	0,01	-0,05	51	7	–	–	–	0,01	0,03	Ø	Ø	Ø	Ø
		11:54	0,52	0,53	0,52	99,44														
1		12:03	~~0,04~~	~~0,07~~	~~-0,15~~	~~99,03~~	0,05	0,07	-0,15	1038	60	–	–	–	-0,09	0,08	1	1	Ø	Ø
		12:18				99,00														
2		12:28	+1,28	1,35	1,42	98,24	-0,30	-0,00	-0,08	2026	117	–	–	–	~~-0,13~~	+0,05	2	2	Ø	Ø
		12:43				98,18														
3		12:52	+2,55	+2,76	+2,97	96,88	-0,68	-0,04	+0,04	3013	173	–	–	–	-0,32	+0,14	4	3	Ø	Ø
		13:07				96,72														
4		13:20	+4,44	+4,76	+5,15	94,92	-1,08	-0,08	+0,27	4000	229	–	–	–	-0,60	+0,09	6	5	Ø	Ø
	Nullung WH1-5	15:49				94,20	Ø	Ø	Ø						Ø	Ø				
5	1. Verschiebung ±	16:17	7,75	8,97	3,63	92,10	15,28	14,06	-0,34	3984	229		897	320	-6,14	-3,69	6	+4	-1	-4
	(20.02.18)	01:00	+8,23	+4,40	+4,08	91,58	+15,51	+14,61	-0,48	3996	230		852		-6,32	-3,82	+06,73	+04,56	-00,51	-00,40
		07:00	+8,29	+4,45	+4,15	91,48	+15,55	+14,61	-0,41	4003	230		846		-6,33	-3,88	+06,71	+04,60	00,36	-00,28
		07:10	/ Datendownload																	
		07:18	Logging started																	

ARGE FPUH
Keller PORR
Absberggasse 47
A-1100 Wien

TU WIEN bl.geo

MA 29 BRÜCKENBAU GRUNDBAU

KELLER PORR ARGE FPUH

LASTSTUFEN			VERSUCHSPFAHL							Presse VERTIKAL		Pressen HORIZONTAL			REAKTIONSPFÄHLE				MESSBRÜCKE	
			Vertikal-	verschiebung		Mech.	Horizontal-	verschiebung		KMD 1	Manometer	KMD 2 (links) rechts	KMD 3 (rechts) links	Manometer	Horizontalverschiebung		Vertikalverschiebung		Vertikalverschiebung	
			w_{V1}	w_{V2}	w_{V3}	w_{VM}	w_{H1}	w_{H2}	w_{H3}	Kraft	Druck	Kraft	Kraft	Druck	w_{H4}	w_{H5}	w_{VP1}	w_{VP4}	w_{VP2}	w_{VP3}
Laststufe	Bemerkungen	Zeit	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[bar]	[kN]	[kN]	[bar]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
	Sollwert						+20	-20				max.	max.							
	Warnwert		18							5800		1000!	1000!				10		1	
[Nr.]	Abbruchwert	[hh:mm]								6000		(1080)	(1080)				15			
	vor Entlastung	11:00	8,33	4,48	4,18	91,45	15,56	14,64	-0,41	3996	230	/	848	300	-6,36	-3,86	7	5	0	0
6	horiz. entlastet	11:20	7,52	5,54	6,68	92,12	6,05	5,66	-0,73	4010	230	/	(9,6)		-2,46	-1,49	7	5	0	0
	vor Versch. in Nullstellung	12:00	7,55	6,68	6,85	92,10	5,72	5,35	-0,73	4004	230	6,3	(9,7)		-2,35	-1,42	7	5	0	0
	„Nullstellung"	12:03	6,73	7,36	7,90	92,59	0,11	-0,55	-0,22	4010	230	365	/	128	-0,95	+0,85	7	5	0	0
	Nullung W_{H1-2}	12:05					Ø	Ø												
7	2. Verschiebung →	12:15	3,70	9,16	10,80	94,87	-17,67	-18,32	+1,78	3967	230	897	/	305	1,72	4,97	8	6	1	1
		14:00	Batteriewechsel W_{VP2} + W_{VP3} (Messbrücke) → genullt														8	6	0	0
	vor Entlastung	14:05	3,76	9,41	11,07	94,91	-18,33	-18,81	+1,81	3998	231	851	/		1,76	4,89	8	6	0	0
8	horiz. entlastet	14:20	6,88	8,58	9,14	92,55	-5,65	-5,88	-0,60	4026	230	4,0	/		-0,27	+0,99	7	6	0	0
	vor Versch. in Nullstellung	15:00	7,12	8,63	9,16	92,40	-5,08	-5,28	-0,68	4001	230	4,0	(9,6)	/	-0,34	+0,91	7	6	Ø	Ø
	„Nullstellung"	15:07	7,85	8,14	8,40	91,85	+0,15	-0,04	-1,05	4021	229		155		-1,43	+0,05	7	6	Ø	Ø
	~~Nullung W_{H1-2}~~		(nicht genullt W_{H1-2})																	
		~~15:00~~	~~7,12~~	~~8,63~~	~~9,16~~		~~-5,08~~	~~-5,28~~	~~-0,68~~											
9	3. Verschiebung ←	15:21	9,98	4,97	4,50	89,95	20,30	19,28	-0,74	4040			997	354	-7,36	-4,54	7	5	-1	-1
	vor Entlastung	16:21	10,06	4,96	4,50	89,91	20,57	19,64	-0,78	4023	229		958	333	-7,38	-4,63	7	5	-1	-1
	~~horiz. entlastet~~	Mutter nicht aufgemacht vor Entlastung → noch einmal belastet → Mutter auf → Entlasten (16:24)																		
10	horiz. entlastet	16:40	8,58	8,00	8,07	91,20	4,51	4,58	-1,75	3966	227	1	(11,5)		-2,06	-1,16	7	5	-1	-1
	vor Versch. in Nullstellung	16:47	8,56	8,07	8,14	91,26	4,20	4,31	-1,76	3961					-2,01	-1,11	7	6	-1	-1
	„Nullstellung"	16:55	8,09	8,56	8,81	91,61	-0,02	-0,04	-1,75	3963	227	118		40	-1,37	-0,08	7	6	0	0

ARGE FPUH
Keller PORR
Absberggasse 47
A-1100 Wien

TU WIEN bi.geo

MA 29 BRÜCKENBAU GRUNDBAU

KELLER PORR ARGE FPUH

LASTSTUFEN			VERSUCHSPFAHL							Presse VERTIKAL		Pressen HORIZONTAL			REAKTIONSPFÄHLE				MESSBRÜCKE	
			Vertikal-	verschiebung		Mech.	Horizontal-	verschiebung		KMD 1	Mano-meter	KMD 2 (links)	KMD 3 (rechts)	Mano-meter	Horizontal-verschiebung		Vertikal-verschiebung		Vertikal-verschiebung	
Last-stufe	Bemerkungen	Zeit	w_{V1}	w_{V2}	w_{V3}	w_{VM}	w_{H1}	w_{H2}	w_{H3}	Kraft	Druck	Kraft	Kraft	Druck	w_{H4}	w_{H5}	w_{VP1}	w_{VP4}	w_{VP2}	w_{VP3}
	Sollwert						+20	-20				max.	max!							
	Warnwert		18							5800		1000	1000				10		1	
[Nr.]	Abbruchwert	[hh:mm]								6000		1080	1080				15			
11	4. Verschiebung →	17:06	4,40	10,34	11,95	94,41	-19,90	-20,68	+1,05	3963	230	847		282	1,71	5,13	8	6	0	0
	(21.02.18)	01:00	+4,45	+10,43	+12,16	94,40	-20,47	-21,11	+1,04	3968	230,4	801		270	+1,75	+5,10	+08,18	+06,25	+00,02	-00,00
	Batteriewechsel	09:05	07:00	+4,48	+10,48	+12,25	94,34	-20,53	-21,11	+1,09	3967	230,4	796		270	+1,75	+5,11	+08,22	+06,34	+00,05	+00,02
	(CH7) Nullung Wvp2+3	07:05	Logging stopped → Data Download MUES2																	
		07:20	Logging started																	
	vor Entlastung	07:25	4,48	10,48	12,25	94,34	-20,53	-21,10	1,08	3966	230,4	796		268	1,76	5,10	8	6	Ø	Ø
12	horiz. entlastet	07:37	7,58	9,59	10,12	92,05	-6,87	-7,07	-1,43	4015	230,4	(5,6)			-0,30	+1,05	8	6	Ø	Ø
	vor Versch. in Nullstellung	07:51	7,74	9,56	10,06	91,95	-6,20	-6,55	-1,51	4014	230,4				-0,36	+0,95	8	6	Ø	Ø
	„Nullstellung"	08:03	8,61	8,96	9,12	91,27	0,17	-0,08	-1,96	4020	229		156		-1,52	-0,08	8	6	Ø	Ø
13	5. Verschiebung ←	8:26	10,71	5,71	5,23	83,33	+20,71	19,94	-1,95	4044	223,6	/	342	337	-7,29	-4,55	7	6	-1	-1
	vor Entlasten	9:30	10,79	5,69	5,19	83,27	+21,04	+20,28	-1,94	4023	228,9	-	919	324	-7,36	-4,65	7	5	-1	-1
14	HZ Entlastet	9:40	9,13	8,75	8,80	90,70	3,88	3,88	-2,33	3997	228,8	/	/	/	-1,88	-1,09	7	6	-0,5	-0,5
	vor Verschiebung "0"	9:46	9,16	8,86	8,91	90,79	3,44	3,53	-2,36	3996	228,8	/	/	/	-1,87	-1,08	7	6	+0,5	-0,5
	"0-Stellung"	3:51	8,77	9,25	9,43	91,08	-0,04	+0,04	-2,36	4000	228,8	96	/	31	-1,38	-0,2	7	6	0,5	0,5
15	6. Verschiebung →	10:00	5,11	11,06	12,54	93,86	-20,31	-20,98	+0,37	3978	228,8	787	/	263	1,55	4,98	8	6	0	0
	vor Entlastung	11:02	5,11	11,16	12,62	93,91	-20,61	-21,24	0,33	3960	228,9	761	-		1,62	4,92	8	6	0	0
16	HZ Entlasten	11:11	8,19	10,04	10,41	91,62	-6,08	-6,52	-2,15	4012	228,8	/	/	/	-0,4	+0,94	8	6	0	0
	vor Verschiebung "0"	11:15	8,29	10,02	10,37	91,57	-5,87	-6,26	-2,20	4008	228,8	(3)	(9)	—	-0,41	0,86	8	6	0	0
	"0"-Stellung	11:20	8,07	8,45	8,50	90,98	+0,29	-0,18	-2,61	4021	—"—		145	50	-1,52	-0,18	8	6	0	0

ARGE FPUH
Keller PORR
Absberggasse 47
A-1100 Wien

TU WIEN bi.geo

MA 29 BRÜCKENBAU GRUNDBAU

KELLER PORR ARGE FPUH

LASTSTUFEN			VERSUCHSPFAHL							Presse VERTIKAL		Pressen HORIZONTAL			REAKTIONSPFÄHLE				MESSBRÜCKE	
			Vertikal-	verschiebung		Mech.	Horizontal-	verschiebung		KMD 1	Mano-meter	KMD 2 (links)	KMD 3 (rechts)	Mano-meter	Horizontal-verschiebung		Vertikal-verschiebung		Vertikal-verschiebung	
Last-stufe	Bemerkungen	Zeit	w_{V1}	w_{V2}	w_{V3}	w_{VM}	w_{H1}	w_{H2}	w_{H3}	Kraft	Druck	Kraft	Kraft	Druck	w_{H4}	w_{H5}	w_{VP1}	w_{VP4}	w_{VP2}	w_{VP3}
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[bar]	[kN]	[kN]	[bar]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
	Sollwert						+20	-20												
	Warnwert		18							5800		1000	1000				10		1	
[Nr.]	Abbruchwert	[hh:mm]								6000		1080	1080				15			
17	7. VERSCHIEBUNG ←	11:28	11,11	6,27	5,71	89,05	20,78	13,76	-1,76	4044	229,7	—	855	305	-7,06	-4,52	7	5	1	1
	VOR ENTLASTUNG	12:27	11,16	6,25	5,69	89,00	21,01	20,05	-1,77	4023	229,8	—	836	—	7,08	4,54	7	6	1	1
18	HZ ENTLASTEN	12:33	9,58	9,21	9,14	90,48	3,62	3,77	-2,96	4000	228,8	—	—	—	-1,89	-1,09	7	6	0,5	0,5
	VOR VERSCHIEBUNG "0"	12:49	9,57	3,34	9,26	90,52	3,34	3,51	-3,0	3997	228,8	—	—	—	-1,82	6,37	0*	0*	0*	0*
	"0"-STELLUNG	12:56	9,20	9,71	9,76	90,81	-0,13	0,02	-3,04	3999	228,8	91	(10)	30	-1,53	+6,83	0	0	0	0
19	8. VERSCHIEBUNG →	13:04	5,57	11,50	12,83	93,60	-20,44	-21,02	-0,03	3984	228,8	757	—	255	1,56	12,15	0	0	0	0
	VOR ENTLASTUNG	14:03	5,55	11,56	12,90	93,61	-20,64	-21,02	-0,08	3976	228,9	735		250	1,63	12,15	0	0	0	0
20	HZ ENTLASTEN	14:11	8,61	10,42	10,68	91,37	-6,30	-6,5	-2,61	4024	229	0	0	—	-0,34	8,31	0	0	0	0
	VOR VERSCHIEBUNG "0"	14:17	8,67	10,41	10,65	91,33	-6,12	-6,26	-2,66	4019	228,8	0	0	0	-0,36	8,33	0	0	0	0
	"0"-STELLUNG	14:24	9,46	9,83	9,77	90,72	0,17	-0,12	-3,08	4030	229,1	—	147	49	-1,48	7,24	0	0	0	0
21	9. VERSCHIEBUNG ←	14:52	11,48	6,68	6,01	88,80	20,6	19,77	-2,12	4052	230,3	—	844	300	-6,93	2,83	0	0	0	0
	VOR ENTLASTUNG	15:32	11,52	6,66	5,99	88,77	20,85	20,02	-2,04	4043	230,0	—	819	278	-6,95	2,69	Ø	Ø	Ø	Ø
22	HZ ENTLASTEN	15:47	9,97	9,55	9,35	90,24	3,97	4,19	-3,33	4012	228,9	—	—	—	-1,90	+5,46	Ø	Ø	Ø	Ø
	VOR VERSCHIEBUNG "0"	15:54	9,95	9,60	9,39	90,29	3,86	4,04	3,35	4010	228,8	—	—	—	-1,86	+5,48	Ø	Ø	Ø	Ø
	"0"-STELLUNG	16:00	9,52	10,04	9,80	90,61	-0,12	+0,05	-3,35	4011	228,8	99,4	—	31	-1,45	6,42	Ø	Ø	Ø	Ø
23	10. VERSCHIEBUNG →	16:10	5,94	11,86	13,00	93,44	-20,53	-21,02	-1,38	3992	228,8	746	—	251	+1,45	+11,85	Ø	Ø	Ø	Ø
23	VOR ENTLASTUNG	17:10	5,93	11,91	13,06	93,47	-20,72	21,18	-1,38	3990	228,8	724	—	241	+1,53	+11,84	Ø	Ø	Ø	Ø
24	HZ Entlastung	17:21	8,97	10,75	10,85	91,21	-6,24	-6,42	-3,82	4035	229,4	—	—	—	-0,44	+8,09	Ø	Ø	Ø	Ø
	VOR VERSCHIEB. "0"	17:27	9,02	10,74	10,82	91,16	-6,10	-6,24	-3,84	4031	229,0	—	—	—	-0,46	+8,07	Ø	Ø	Ø	Ø

*1) ROT. LASER BENEGT SICH MIT

*2) ROT. LASER NEU AUFGESTELLT / NULLUNG LASER

ARGE FPUH
Keller PORR
Absberggasse 47
A-1100 Wien

Stand 18.04.2018

TU WIEN bi.geo

MA 29 BRÜCKENBAU GRUNDBAU

KELLER PORR ARGE FPUH

LASTSTUFEN			VERSUCHSPFAHL							Presse VERTIKAL		Pressen HORIZONTAL			REAKTIONSPFÄHLE				MESSBRÜCKE	
			Vertikal-	verschiebung		Mech.	Horizontal-	verschiebung		KMD 1	Mano-meter	KMD 2 ~~(links)~~ re	KMD 3 ~~(rechts)~~ li	Mano-meter	Horizontal-verschiebung		Vertikal-verschiebung		Vertikal-verschiebung	
Last-stufe	Bemerkungen	Zeit	w_{V1} [mm]	w_{V2} [mm]	w_{V3} [mm]	w_{VM} [mm]	w_{H1} [mm]	w_{H2} [mm]	w_{H3} [mm]	Kraft [kN]	Druck [bar]	Kraft [kN]	Kraft [kN]	Druck [bar]	w_{H4} [mm]	w_{H5} [mm]	w_{VP1} [mm]	w_{VP4} [mm]	w_{VP2} [mm]	w_{VP3} [mm]
	Sollwert						+20	-20												
	Warnwert		18							5800		1000	1000				10		1	
[Nr.]	Abbruchwert	[hh:mm]								6000		1080	1080				15			
	"0"-STELLUNG	17:34	~~11,80~~	10,15	9,93	90,57	+0,19	-0,06	-4,25	4042	229,5	–	138	49	-1,51	+7,01	∅	∅	∅	∅
25	II. VERSCHIEBUNG ←		+11,80	+7,06	+6,27	88,65	+20,53	+19,61	-3,15	4067	231,0	800 →		281	-6,20	+2,82	∅	∅	∅	∅
	ABLESUNG 22.2.	1:00	+11,86	+7,07	+6,27	88,53	+20,76	+19,94	-3,09	4046	231,1	←	774	280	-6,85	+2,78	00,41	00,17	-00,13	-00,14
		7:00	+11,89	+7,08	+6,29	88,56	20,80	+19,97	-3,08	4035	231,0	~~←~~	771	280	-6,84	+2,77	00,36	00,25	-00,20	-00,14
	Justierung W_{H5}	07:12	W_{H5} steht nicht parallel zum Pfahl (irgendwer berührt ? ~~oder Tier ?~~)												-6,85	+2,77				
	W_{H5} justiert	07:15	→ am 21.02. 12:49 vermutlich berührt bei Justierung Rotationslaser													-1,80				
	Sicherung MMES 2	07:17	→ Logging stopped → Data Download																	
		07:30	→ Logging started								Druck wieder auf 230 gestellt									
~~26~~	vor Entlastung	07:37	11,90	7,08	6,30	88,56	20,81	19,97	-3,08	4035	231,3		771		-6,84	-1,80	∅	∅	∅	∅
26	horiz. entlastet	07:49	10,43	9,83	9,45	89,96	4,60	4,89	-4,47	4020	230		(9)		-1,97	+1,52	∅	∅	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	07:58	10,41	9,91	9,53	91,01	~~10,41~~ 4,32	~~9,94~~ 4,65	-4,53	4017	230				-1,88	1,57	∅	∅	∅	∅
	„Nullstellung"																			
~~25~~	~~12. Verschiebung~~ →	08:01	9,94	10,40	10,16	90,42	-0,10	+0,03	-4,53	4029	230,5	109		40	-1,36	2,54	∅	∅	∅	∅
27	12. Verschiebung →	08:09	6,43	12,20	13,13	93,19	-20,19	-20,63	-3,42	4014	230	729		243	1,48	7,50	∅	∅	∅	∅
	vor Entlastung	09:05	6,42	12,26	13,19	93,22	-20,45	-20,84	-3,35	4003	230	709		239	1,53	7,51	∅	∅	∅	∅
28	horiz. entlastet	09:12	9,41	11,08	10,98	90,97	-5,98	-6,16	-5,78	4049	230	–	–	–	-0,45	3,68	∅	∅	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	09:16	9,46	11,07	10,96	90,92	-5,82	-5,95	-5,81	4047	230	–	–	–	-0,52	3,59	∅	∅	∅	∅
	„Nullstellung"	09:21	10,20	10,51	10,12	90,36	0,12	-0,08	-6,18	4058	231	–	139	38	-1,48	2,70	∅	∅	∅	∅
29	13. Verschiebung ←	09:31	12,19	7,39	6,44	88,44	20,59	19,83	-4,94	4082	232	–	825	194	-6,82	-1,32	∅	∅	∅	∅

ARGE FPUH
Keller - PORR
Absberggasse 47
A-1100 Wien

TU WIEN bl.geo

MA 29 BRÜCKENBAU GRUNDBAU

KELLER PORR ARGE FPUH

LASTSTUFEN			VERSUCHSPFAHL							Presse VERTIKAL		Pressen HORIZONTAL			REAKTIONSPFÄHLE				MESSBRÜCKE	
			Vertikal-	verschiebung		Mech.	Horizontal-	verschiebung		KMD 1	Manometer	KMD 2 (links) re	KMD 3 (rechts) li	Manometer	Horizontalverschiebung		Vertikalverschiebung		Vertikalverschiebung	
Laststufe	Bemerkungen	Zeit	w_{V1}	w_{V2}	w_{V3}	w_{VM}	w_{H1}	w_{H2}	w_{H3}	Kraft	Druck	Kraft	Kraft	Druck	w_{H4}	w_{H5}	w_{VP1}	w_{VP4}	w_{VP2}	w_{VP3}
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[bar]	[kN]	[kN]	[bar]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
	Sollwert						+20	-20												
	Warnwert		18							5800		1000	1000				10		1	
[Nr.]	Abbruchwert	[hh:mm]								6000		1080	1080				15			
	vor Entlastung	10:29	12,25	7,39	6,42	88,40	20,76	20,05	-4,95	4068	232		807		-6,85	-1,38	∅	∅	∅	∅
30	horiz. entlastet	10:40	10,70	10,19	9,67	87,87	4,17	4,57	-6,47	4043	230	-	-	-	-1,82	-1,43	∅	∅	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	10:46	10,68	10,24	9,72	89,89	3,99	4,39	-6,49	4038	230	-	-	-	-1,80	+1,49	∅	∅	∅	∅
	„Nullstellung"	10:50	10,23	10,69	10,31	90,31	-0,22	0,17	-6,50	4020	229*	-	-	35	-1,28	+2,33	∅	∅	∅	∅
31	14. Verschiebung →	11:07	6,70	12,48	13,26	93,12	-20,34	-20,65	-6,44	3977	228	735	-	249	1,50	7,49	∅	∅	∅	∅
	vor Entlastung	11:09	6,68	12,53	13,32	93,13	-20,61	-20,84	-6,47	3968	229	714	-	241	1,53	7,55	∅	∅	∅	∅
32	horiz. entlastet	12:19	9,67	11,34	11,10	90,86	-6,15	-6,09	-8,78	4018	229	-	-	-	-0,43	+3,67	∅	∅	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	12:24	9,70	11,33	11,09	90,85	-6,04	-5,94	-8,81	4015	229	-	-	-	-0,44	+3,66	∅	∅	∅	∅
	„Nullstellung"	12:28	10,49	10,70	10,15	91,25	+0,50	+0,45	-9,16	4030	229	-	143	50	-1,56	+2,59	∅	∅	∅	∅
33	15. Verschiebung ←	12:37	12,38	7,68	-20,90 (*)	88,33	20,38 (*)	~~7,68~~	6,63	4055	231	-	783	278	-6,72	-1,30	∅	∅	∅	∅
	Nachjustierung	~12:40			6,68	(vgl. 10:29)														
	vor Entlastung	12:38	12,43	7,67	6,63	88,31	20,34	19,76	6,63	4043	231		761		-6,75	-1,34	∅	∅	∅	∅
34	horiz. entlastet	13:45	10,91	10,39	9,77	89,78	4,12	4,62	5,21	4023	229	-	-	-	-1,79	+1,46	∅	∅	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	13:50	10,89	10,44	9,81	89,84	3,92	4,46	5,18	4020	229	-	-	-	-1,75	+1,50	∅	∅	∅	∅
	„Nullstellung"	13:55	10,43	10,89	10,38	90,22	-0,31	+0,27	5,18	4003	228	101	-	34	-1,30	+2,39	∅	∅	∅	∅
35	16. Verschiebung →	14:06	6,94	12,69	13,33	93,05	-20,37	-20,50	5,19	3977	228	~~269~~ 725 ←		249	+1,51	+7,40	∅	∅	∅	∅
	vor Entlastung	15:03	6,92	12,73	13,38	93,07	-20,60	-20,75	5,12	3973	228	693			+1,48	+7,44	∅	∅	∅	∅
36	horiz. entlastet	15:17	9,87	11,53	11,16	90,83	-6,25	-6,16	2,67	4023	229	-	-	-	-0,43	+3,61	∅	∅	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	15:22	9,90	11,52	11,15	90,78	-6,00	-5,97	2,13	4020	229	-	-	-	-0,46	+3,54	∅	∅	∅	∅

ARGE FPUH
Keller - PORR
Absberggasse 47
A-1100 Wien

* DKHG in Nullstellung von 229 auf 228 bar gestellt

(*) w_{V3} von Plexiglas abgekommen, weil verdreht Stand 18.02.2018
→ dürfte sich durch das Hin- und Herbewegen Stück für Stück verdreht haben → Schmierung

TU WIEN bl.geo

MA 29 BRÜCKENBAU GRUNDBAU

KELLER PORR ARGE FPUH

LASTSTUFEN			VERSUCHSPFAHL							Presse VERTIKAL		Pressen HORIZONTAL			REAKTIONSPFÄHLE				MESSBRÜCKE	
			Vertikal-	verschiebung		Mech.	Horizontal-	verschiebung		KMD 1	Manometer	KMD 2 (links)	KMD 3 (rechts)	Manometer	Horizontalverschiebung		Vertikalverschiebung		Vertikalverschiebung	
Laststufe	Bemerkungen	Zeit	w_{V1}	w_{V2}	w_{V3}	w_{VM}	w_{H1}	w_{H2}	w_{H3}	Kraft	Druck	re Kraft	Li Kraft	Druck	w_{H4}	w_{H5}	w_{VP1}	w_{VP4}	w_{VP2}	w_{VP3}
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[bar]	[kN]	[kN]	[bar]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
	Sollwert						+20	-20												
	Warnwert		18							5800		1000	1000				10		1	
[Nr.]	Abbruchwert	[hh:mm]								6000		1080	1080				15			
	„Nullstellung"	15:27	10,63	10,93	10,28	90,22	+0,04	+0,07	2,13	4035	229		147	50	-1,50	+2,59	∅	∅	∅	∅
37	17. Verschiebung ←	15:38	12,58	7,84	6,73	88,25	20,29	19,64	-39,95*	4064	231	794 → ~~259~~		289	-6,72	-1,29	∅	∅	∅	∅
	Neujustierung W_{H3}	15:55	~~12,63~~	~~7,81~~	~~7,11~~		~~20,52~~	~~19,61~~	-7,50											
	vor Entlastung	16:39	12,63	7,89	7,11	87,97	20,52	19,60	-7,61	4064	230		775	271	-6,74	-1,33	∅	∅	∅	∅
38	horiz. entlastet	16:46	11,11	10,63	10,26	89,51	+4,00	+4,17	-8,56	4038	230	-	-	-	-1,63	+1,63	∅	∅	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	16:53	11,09	10,68	10,31	89,52	3,79	4,02	-8,58	4034	229	-	-	-	-1,72	+1,67	∅	∅	∅	∅
	„Nullstellung"	16:58	10,66	11,11	10,85	90,86	-0,17	+0,15	-8,57	4016	228	97		30	-1,12	+2,48	∅	∅	∅	∅
39	18. Verschiebung →	17:08	7,23	12,92	13,73	92,74	-20,18	-20,60	-6,36	3981	228	722		239	+1,50	+7,34	∅	∅	∅	∅
Batteriewechsel CH4		01:00	+7,19	+12,99	+13,82	92,75	-20,55	-20,94	-6,33	3980	228	688		220	+1,49	+7,19	00,28	00,15	00,09	00,10
20:38, CH1 CH2 21:35		07:00	+7,20	13,00	13,83	92,75	-20,59	-20,94	-6,34	3980	228	683		216	+1,39	+7,44	∅	∅	∅	∅
	Neujustierung und Fixierung W_{H3} mit Zwinge um 07:04								+6,75											
40	~~vor~~ Entlastet	07:17	10,00	11,88	11,75	90,62	-7,03	-7,11	+4,92	4022	229	-	-	-	-0,44	+3,79	∅	∅	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	07:23	10,04	11,86	11,71	90,58	-6,75	-6,90	+4,88	4020	229	-	-	-	-0,48	+3,73	∅	∅	∅	∅
	„Nullstellung"	07:28	10,88	11,18	10,74	89,92	+0,16	-0,04	+4,53	4037	230	-	154	55	-1,64	+2,65	∅	∅	∅	∅
41	19. Verschiebung ←	07:39	12,83	8,04	7,07	87,99	20,62	19,71	5,79	4070	231	-	826	300	-6,86	-1,24	∅1	∅	∅	∅
	vor Entlastung	08:37	12,85	8,02	7,06	87,93	20,82	19,92	5,79	4059	231	-	802	279	-6,90	-1,29	1	∅	∅	∅
42	horiz. entlastet	08:49	11,30	10,88	10,36	89,46	3,67	4,11	4,36	4029	229	-	-	-	-1,82	+1,76	∅	∅	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	08:54	11,26	10,93	10,41	89,51	3,44	3,91	4,34	4025	229	-	-	-	-1,76	+1,80	∅	∅	∅	∅
	„Nullstellung"	09:00	10,87	11,32	10,91	89,88	-0,24	+0,31	4,34	4008	228	87		30	-1,28	+2,59	∅	∅	∅	∅

* W_{H3} wieder abgerutscht

ARGE FPUH
Keller PORR
Absberggasse 47
A-1100 Wien

TU WIEN bl.geo

MA 29 BRÜCKENBAU GRUNDBAU

KELLER PORR ARGE FPUH

LASTSTUFEN			VERSUCHSPFAHL							Presse VERTIKAL		Pressen HORIZONTAL			REAKTIONSPFÄHLE				MESSBRÜCKE	
			Vertikal-	verschiebung		Mech.	Horizontal-	verschiebung		KMD 1	Mano-meter	KMD 2 (links)	KMD 3 (rechts)	Mano-meter	Horizontal-verschiebung		Vertikal-verschiebung		Vertikal-verschiebung	
			w_{V1}	w_{V2}	w_{V3}	w_{VM}	w_{H1}	w_{H2}	w_{H3}	Kraft	Druck	Kraft	Kraft	Druck	w_{H4}	w_{H5}	w_{VP1}	w_{VP4}	w_{VP2}	w_{VP3}
Last-stufe	Bemerkungen	Zeit	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[bar]	[kN]	[kN]	[bar]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
	Sollwert						+20	-20												
	Warnwert		18							5800		1000	1000				10		1	
[Nr.]	Abbruchwert	[hh:mm]								6000		1080	1080				15			
43	20. Verschiebung →	09:13	7,44	13,19	13,81	92,70	-20,33	-20,62	+6,11	3980	228	722		238	1,34	7,38	∅	∅	∅	∅
	vor Entlastung	10:13	7,43	13,23	13,87	92,70	-20,57	-20,85	+6,19	3968	228	706		231	1,28	7,38	∅	∅	∅	∅
	~~horiz. entlastet~~	10:	Mutter nicht aufgemacht vor Entlastung → noch einmal belastet → Mutter auf → Entlasten (10:19)																	
44	horiz. entlastet	10:24	10,26	12,04	11,77	90,52	-6,32	-6,77	+4,36	4020	229	–	–	–	-0,49	+3,69	∅	∅	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	10:30	10,29	12,02	11,73	90,49	-6,56	-6,60	+4,33	4017	229	–	–	–	-0,51	+3,64	∅	∅	∅	∅
	„Nullstellung"	10:35	11,10	11,36	10,78	89,85	0,12	0,01	4,01	4035	229	–	158	51	-1,66	+2,55	∅	∅	∅	∅
	Druckablass Presse horizontal → Pfahl geht wieder nach rechts									(→)	10:37									
	Wiederbelastung ←		um Nullstellung zu erreichen																	
	kraftlose Nullstellung	10:45	11,00	11,57	10,98	89,92	-1,14	-1,28	+3,70	4029	229	–	–	–	-1,07	+2,45	∅	∅	∅	∅
	vor Vertikalbel.	10:57	11,01	11,58	11,00	89,92	-1,17	-1,30	+3,70	4025	229	–	–	–	-1,14	2,44	∅	∅	∅	∅
45	vert. belastet	11:03	11,33	11,97	11,41	89,67	-1,45	-1,42	+3,66	4502	258	–	–	–	-1,28	+2,44	1	1	∅	∅
		11:18	11,46	12,11	11,57	89,53	-1,52	-1,42	3,66	4507	258	–	–	–	-1,23	+2,41	1	1	∅	∅
46	vert. belastet	11:24	12,20	12,92	12,46	88,78	-1,84	-1,42	3,66	5003	286	–	–	–	-1,48	+2,43	2	1	∅	∅
		12:24	12,73	13,47	13,07	88,23	-1,98	-1,40	3,65	5006	286	–	–	–	-1,51	+2,44	2	1	∅	∅
47	vert. Entlastung	12:33	12,35	13,04	12,63	88,57	-1,84	-1,44	+3,65	4002	226	–	–	–	-1,06	+2,44	∅	∅	∅	∅
		12:43	12,35	13,04	12,63	88,57	-1,84	-1,44	+3,65	4009	227	–	–	–	-1,05	+2,44	∅	∅	∅	∅
48	vert. Entlastung	12:54	11,16	11,72	11,27	89,70	-1,33	-1,46	+3,97	2004	114	–	–	–	-0,30	+2,42	-2	-2	∅	∅
		13:04	11,10	11,68	11,26	89,70	-1,15	-1,45	3,99	2026	115	–	–	–	-0,29	+2,41	-2	-1	∅	∅
49	Vorlast	13:13	8,69	9,02	9,17	90,34	-0,21	-0,68	6,53	56	5,7	–	–	–	+0,65	+2,24	-5	-3	∅	∅
	Versuchsende	13:28	8,63	8,95	9,10	91,40	-0,21	-0,66	6,52	73	6,8	–	–	–	+0,66	+2,26	-5	-4	∅	∅
	ENDE	13:30																		

ARGE FPUH
Keller - PORR
Absberggasse 47
A-1100 Wien

TU WIEN bi.geo | MA 29 BRÜCKENBAU GRUNDBAU | KELLER PORR ARGE FPUH

0,025

Feldprotokoll Horizontalverschiebeversuche

Prüfkörper: **B.HK**	Wetterbedingungen:	Anwesende:	besondere Versuchsbedingungen:
Prüfung Nr.: **80**	19.03. 11° bewölkt −3°C in Einhausung: 7°C	ARGE/RED: SCHETTINA, FUCHS/CLAVAC MA29: KURESCH TU: STÖGLEHNER	KEX3 wieder auf Ch 16
Datum: **19.03.2018 - 23.03.2018**			

LASTSTUFEN			VERSUCHSPFAHL							Presse VERTIKAL		Pressen HORIZONTAL			REAKTIONSPFÄHLE				MESSBRÜCKE	
			Vertikal-verschiebung			Mech.	Horizontal-verschiebung			KMD 1	Manometer	KMD 2 (R)	KMD 3 (L1)	Manometer	Horizontal-verschiebung		Vertikal-verschiebung		Vertikal-verschiebung	
Laststufe	Bemerkungen	Zeit	w_{V1}	w_{V2}	w_{V3}	w_{VM}	w_{H1}	w_{H2}	w_{H3}	Kraft	Druck	Kraft	Kraft	Druck	w_{H4}	w_{H5}	w_{VP1}	w_{VP4}	w_{VP2}	w_{VP3}
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[bar]	[kN]	[kN]	[bar]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
	Sollwert						+42	-42												
	Warnwert		18							4950		990	990				10		1	
[Nr.]	Abbruchwert	[hh:mm]								5000		1000	1000				15			
Ø	(19.03.18)	11:08	Ø	Ø	Ø	0,18	Ø	Ø	Ø	0,0	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø
Ø		11:13	+0,58	+0,58	+0,62	99,61	+0,12	+0,10	+0,01	50	5,8	–	–	–	-0,04	+0,08	Ø	Ø	Ø	Ø
Ø		11:28	+Ø			99,61														
1		11:31	+0,75	+0,77	+0,89	99,41	+0,13	+0,05	+0,01	238	17,0	–	–	–	-0,01	+0,89	0	0	0	0
1		11:46				99,39														
2		11:54	+1,08	+1,17	+1,31	99,05	+0,17	+0,08	-0,01	423,5	27,8	–	–	–	0,14	+0,17	0	0	0	0
2		12:09				99,02														
3		12:16	1,62	1,75	1,95	98,32	+0,01	+0,02	+0,08	616	39,5	–	–	–	-0,07	+0,24	0	0,86	0	0
3		12:31				98,25				~~799~~	~~50,7~~									
4		12:40	2,64	2,83	3,12	98,40	-0,01	-0,05	+0,13	800	50,9	–	–	–	-0,18	+0,25	0	1,15	0	0
4		13:50				97,12									~~-0,05~~	~~+0,26~~	~~1~~	~~1~~	~~Ø~~	~~Ø~~
5		13:45	3,63	3,87	4,28	96,32	+0,03	-0,09	+0,20	1000	67	–	–	–	-0,05	+0,26	1	1	Ø	Ø
5		14:45				96,00														
	genaue Justierung 50/50	15:02	W_{H1}, W_{H2}			95,97	+0,08	-0,14												
	Nullung W_{H1}, W_{H2}	15:10				95,97	Ø	Ø												

TU WIEN bl.geo

MA 29 BRÜCKENBAU GRUNDBAU

KELLER DORR ARGE FPUH

LASTSTUFEN			VERSUCHSPFAHL							Presse VERTIKAL		Pressen HORIZONTAL			REAKTIONSPFÄHLE				MESSBRÜCKE	
			Vertikal-verschiebung			Mech.	Horizontal-verschiebung			KMD 1	Manometer	KMD 2 (R)	KMD 3 (L)	Manometer	Horizontal-verschiebung		Vertikal-verschiebung		Vertikal-verschiebung	
Last-stufe	Bemerkungen	Zeit	w_{V1} [mm]	w_{V2} [mm]	w_{V3} [mm]	w_{VM} [mm]	w_{H1} [mm]	w_{H2} [mm]	w_{H3} [mm]	Kraft [kN]	Druck [bar]	Kraft [kN]	Kraft [kN]	Druck [bar]	w_{H4} [mm]	w_{H5} [mm]	w_{VP1} [mm]	w_{VP4} [mm]	w_{VP2} [mm]	w_{VP3} [mm]
	Sollwert						+42	-42												
	Warnwert		18							4950		990	990				10		1	
[Nr.]	Abbruchwert	[hh:mm]								5000		1000	1000				15			
	1. Verschiebung → (Beginn)	15:23	-0,07	-0,56	+7,91	92,50	Stop wegen Ende Weg W_{V1} und W_{V2} aufgrund der Verkippung													
	umsetzen W_{V1}, W_{V2}	auf →	11,24	10,04																
	Nullung W_{V1}, W_{V2}	15:30	∅	∅		92,49														
6	1. Verschiebung →	15:35	-3,43	-3,74	+9,73	90,65	-42,55	-43,08	+0,22	964	68	325			+1,17	+3,77	1	2	∅	∅
	vor Entlastung	16:37	-3,31	-3,65	9,83	90,55	-42,73	-43,28	+0,25	955	68	307		115	+1,27	+3,71	1	2	∅	∅
	horiz. entlastet	16:49	3,00	3,29	6,59	93,85	-12,10	-11,88	+0,21	936	68	∅			+0,40	+1,63	1	2	∅	∅
	vor Vers. in Nullstellung	16:55	3,22	3,52	6,50	93,94	-11,02	-10,76	+0,22	936	68	∅			+0,37	-1,55	1	2	∅	∅
	Nullstellung	17:05	4,80	5,27	5,14	95,26	-0,28	+0,27	+0,22	940			83		-0,24	+1,08	1	2	∅	∅
	~~ev.~~ Umsetzen W_{V1-3}	17:07				95,26														
	Nullung W_{V1-3}	17:13	∅	∅	∅	95,26														
7	2. Verschiebung ←	17:26	4,68	5,69	-8,25	01,32	41,24	42,92	3,13	1030	71		418		-3,24	-0,73	2	2	∅	∅
	(20.03.18)	01:00	4,88	5,97	-7,84	01,81	41,50	43,23	3,24	1035	68		388		-3,33	-0,84	1,47	1,94		0,34
	vor Entl. Unterwasser	07:00	4,89	6,01	-7,77	01,81	41,55	43,22	+3,27	1052	68		382	120	-3,43	-0,86	1,49	1,98	∅	∅
	horiz. entlastet	07:15	~~1,74~~	~~2,28~~	~~-0,20~~		~~2,82~~													
	~~vor~~	↓	1,61	2,13	+0,01	94,19	+7,68	9,26	2,62	~~1004~~	~~68~~	—	∅	∅	-1,16	+0,14	1	2	∅	∅
	vor Vorsch. in Null	07:36	1,59	2,10	0,22	94,03	6,97	8,61	2,57	1006	68	—			-1,13	+0,15	1	2	∅	∅
		07:43	Neujustierung W_{VP2}																	
	Nullstellung ⇒	versehentlich ausgelassen (darüber hinweggefahren)																		
8	3. Verschiebung →	08:07	-6,55	-6,88	+6,07	88,04	-41,90	-41,99	1,13	989	68	361	/	125	+0,79	+3,73	1	2	∅	∅

MWES2: 07:23 Logging Stopped → Collect Data
07:33 Logging started

20.03. 00^{15} – 00^{30} Batteriewechsel W_{VP2}; W_{VP3}

LASTSTUFEN			VERSUCHSPFAHL							Presse VERTIKAL		Pressen HORIZONTAL			REAKTIONSPFÄHLE				MESSBRÜCKE	
			Vertikal-verschiebung			Mech.	Horizontal-verschiebung			KMD 1	Mano-meter	KMD 2 (R)	KMD 3 (L)	Mano-meter	Horizontal-verschiebung		Vertikal-verschiebung		Vertikal-verschiebung	
Last-stufe	Bemerkungen	Zeit	w_{V1}	w_{V2}	w_{V3}	w_{VM}	w_{H1}	w_{H2}	w_{H3}	Kraft	Druck	Kraft	Kraft	Druck	w_{H4}	w_{H5}	w_{VP1}	w_{VP4}	w_{VP2}	w_{VP3}
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[bar]	[kN]	[kN]	[bar]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
	Sollwert						+42	-42												
	Warnwert		18							4950		990	990				10		1	
[Nr.]	Abbruchwert	[hh:mm]								5000		1000	1000				15			
	vor Entlastung	09:09	-6,49	-6,81	+6,09	88,04	-41,94	-42,00	+1,09	992	68	343		125	+0,78	+3,83	1	2	∅	∅
	seit 09:50 ca. Schläge durch Rammbär (ÖBB) deutlich spürbar (nur bei w_{V2} sichtbar) → bis 09:35																			
	horiz. entlastet	09:23	-0,13	+0,29	+2,41	91,70	-7,94	-7,16	1,15	993	68	–	–	–	-0,09	+1,32	1	2	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	09:28	+0,19	+0,36	2,38	91,80	-7,64	-6,85	1,15	994	68	–	–	–	-0,10	1,30	1	2	∅	∅
	Nullstellung	09:31	+1,24	+1,46	1,36	92,75	+0,18	+1,17	1,23	1001	68	–	37		-0,56	+0,98	1	2	∅	∅
9	4. Verschiebung ←	10:01	5,52	6,23*	-6,70	101,03	41,72	43,25	4,06	1115	72		365	130	-3,39	-0,67	2	2	∅	∅
		10:08	Neujustierung w_{V2} neuer Wert 6,03 (d.h. w_{V2} seit 09:50 mit anderem abgleichen)																	
	vor Entlastung	11:08	5,57	6,09	-6,63	101,00	41,83	43,36	4,12	1084	69		357		-3,50	-0,72	2	2	∅	∅
	horiz. entlastet	11:25	2,03	1,83	1,20	93,28	5,91	7,34	2,87	996	68	–	–	–	-1,09	+0,28	1	2	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	11:30	2,02	1,81	1,24	93,25	5,74	7,20	2,84	997	68	–	–	–	-1,09	+0,30	1	2	∅	∅
	Nullstellung	11:33	1,26	0,92	2,11	92,36	-0,82	+0,36	2,57	997	68	32	–	25	-0,79	+0,76	1	2	∅	∅
10	5. Verschiebung →	11:59	-5,89	-7,02	+6,69	87,50	-42,02	-42,07	1,17	1016	69	270	–		+0,78	+3,35	1	2	∅	∅
	vor Entlastung	12:00	-5,87	-6,99	+6,70	87,49	-42,05	-42,14	1,18	1004	68	260	–	84	+0,94	+3,53	1	2	∅	∅
	horiz. entlastet	13:11	+0,51	-0,12	+3,09	90,18	-8,66	-7,88	1,11	1000	68	–	–	–	+0,01	1,41	1	2	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	13:16	+0,69	+0,06	+2,97	91,30	-7,70	-6,86	1,11	1000	68	–	–	–	-0,01	+1,38	1	2	∅	∅
	Nullstellung	13:33∞	1,72	1,15	2,02	92,15	+0,01	+0,97	1,11	1013	68	–	32		-0,50	1,00	1	2	∅	∅
11	6. Verschiebung ←	14:04	5,87	6,23	-6,62	100,40	41,28	42,86	3,78	1138	73	–	347	125	-3,34	-0,66	1	2	∅	∅
	vor Entlastung	15:04	5,90	6,23	-5,98	100,39	41,36	42,91	3,82	1118	70	–	326		-3,35	-0,65	2	2	∅	∅
	horiz. entlastet	15:17	2,51	2,35	1,48	92,94	6,88	11,04	2,85	1019	68	–	–	–	-1,05	+0,25	1	2	∅	∅

* w_{V2} wahrscheinlich seit ~ 09:55 auf 6,23 mm stehen geblieben (wegen Ende)

∞ Batteriewechsel w_{VP2} und w_{VP4}

LASTSTUFEN			VERSUCHSPFAHL							Presse VERTIKAL		Pressen HORIZONTAL			REAKTIONSPFÄHLE				MESSBRÜCKE	
			Vertikal-verschiebung			Mech.	Horizontal-verschiebung			KMD 1	Mano-meter	KMD 2 (R)	KMD 3 (L)	Mano-meter	Horizontal-verschiebung		Vertikal-verschiebung		Vertikal-verschiebung	
Last-stufe	Bemerkungen	Zeit	w_{V1} [mm]	w_{V2} [mm]	w_{V3} [mm]	w_{VM} [mm]	w_{H1} [mm]	w_{H2} [mm]	w_{H3} [mm]	Kraft [kN]	Druck [bar]	Kraft [kN]	Kraft [kN]	Druck [bar]	w_{H4} [mm]	w_{H5} [mm]	w_{VP1} [mm]	w_{VP4} [mm]	w_{VP2} [mm]	w_{VP3} [mm]
	Sollwert						+42	-42												
	Warnwert		18							4950		990	990				10		1	
[Nr.]	Abbruchwert	[hh:mm]								5000		1000	1000				15			
	vor Versch. in Nullst.	15:22	2,38	2,17	1,67	92,90	5,68	9,91	2,76	1020	68	–	–	–	-0,98	+0,35	1	2	∅	∅
*	Nullstellung	15:29	1,52	1,13	2,68	91,75	-1,99	+1,96	2,37	1023	68	36	–		-0,60	+0,89	1	2	∅	∅
12	7. Verschiebung →	15:59	-5,68	-6,90	+7,17	81,98	-43,19	-40,41	1,00	1030	68	327	–	120	+0,86	+3,73	1	2	∅	∅
	vor Entlastung	16:59	-5,66	-6,90	+7,17	86,96	-44,33	-44,59	0,99	1026	68	313	–	115	+0,89	+3,81	1	2	∅	∅
	horiz. entlastet	17:10	+0,96	+0,30	+3,45	90,86	-8,62	-5,27	+0,92	1024	68	–	–	–	-0,06	+1,40	1	2	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	17:15	1,06	0,40	3,37	90,98	-7,97	-4,58	+0,92	1026	68	–	–	–	-0,07	+1,37	1	2	∅	∅
	Nullstellung	17:18	1,86	1,24	2,62	91,61	-1,83	+1,66	+0,93	1034	68	–	26		-0,44	1,08	1	2	∅	∅
13	8. Verschiebung ←	17:37	6,13	6,23	-5,32	99,70	+39,99	+44,09	+3,52	1165	74	–	322	120	-3,32	-0,59	1	2	0	-1
	vor Entlastung	~~18:33~~ 21:00	6,14	6,23	-5,30	99,64	40,09	44,15	+3,54	1138	70	–	314		-3,32	-0,68	2	2	∅	∅
	horiz. entlastet	~~18:49~~ 21:00	2,70	2,43	2,01	92,60	5,62	9,77	2,71	1040	68	–	–	–	-1,02	+0,26	1	2	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	18:52	2,68	2,40	2,05	92,39	5,30	9,53	2,68	1042	68	–	–	–	-1,00	+0,26	1	2	∅	∅
	Nullstellung	18:54	1,85	1,42	2,99	91,41	-1,98	+1,96	2,32	1043	68	32	–	–	-0,64	+0,81	1	2	∅	∅
14	9. Verschiebung →	19:18	-5,33	-6,63	+7,49	81,55	-43,37	-40,62	0,82	1059	68	268	–	–	+0,87	+3,40	1	2	∅	∅
	(21.03.18)	01:00	-5,26	-6,59	+7,52	86,51	-43,49	-40,65	0,78	1055	68	257			0,85	3,52	1,27	2,47	0,45	0,32
~~15~~	Vor Entlastung	~~06:50~~ 07:00	-5,23	-6,56	+7,54	86,52	-43,49	-40,72	0,80	1070	68	252	–	115	0,78	3,50	1	2	∅	∅
	Horiz. entlastet	07:00	+1,13	+0,42	+4,03	90,24	-9,88	-6,59	+0,76	1080	68	108	–	-	-0,08	1,42	1	2	∅	∅
	V.V.-Nullstellung	07:11	+2,24	+1,59	+3,01	91,20	-1,76	+1,75	+0,76	1087	68	–	30	20	-0,53	+1,03	1	2	∅	∅
15	~~10~~. Verschiebung ←	07:23	6,48	+6,23	-4,91	99,27	+40,03	+44,03	+3,55	1217	74		323	115	-3,50	-0,64	2	2	∅	∅
		07:40	umsetzen w_{H2} von 6,23 auf 5,58 wegen Wegende (→ vgl. Veränderung anderer Vertikalaufnehmer)																	

* Auffälligkeit: w_{H1} und w_{H2} sind nun ca. 4 mm auseinander

TU WIEN bl.geo | MA 29 BRÜCKENBAU GRUNDBAU | KELLER PORR ARGE FPUH

LASTSTUFEN			VERSUCHSPFAHL							Presse VERTIKAL		Pressen HORIZONTAL			REAKTIONSPFÄHLE				MESSBRÜCKE	
			Vertikal-verschiebung			Mech.	Horizontal-verschiebung			KMD 1	Manometer	KMD 2 (R)	KMD 3 (L)	Manometer	Horizontal-verschiebung		Vertikal-verschiebung		Vertikal-verschiebung	
Last-stufe	Bemerkungen	Zeit	w_{V1} [mm]	w_{V2} [mm]	w_{V3} [mm]	w_{VM} [mm]	w_{H1} [mm]	w_{H2} [mm]	w_{H3} [mm]	Kraft [kN]	Druck [bar]	Kraft [kN]	Kraft [kN]	Druck [bar]	w_{H4} [mm]	w_{H5} [mm]	w_{VP1} [mm]	w_{VP4} [mm]	w_{VP2} [mm]	w_{VP3} [mm]
	Sollwert						+42	-42												
	Warnwert		18							4950		990	990				10		1	
[Nr.]	Abbruchwert	[hh:mm]								5000		1000	1000				15			
		07:42	6,51	→			gerade richten		→	neuer Wert 6,49, anschließend Schmierung Plexiglas										
	vor Entlastung	08:29	6,47	5,58	-4,90	99,26	40,18	44,13	3,61	1175	70	–	315		-3,48	-0,58	2	2	∅	∅
	horiz. entlastet	08:45	3,09	1,58	2,34	92,20	6,37	10,44	2,81	1082	68	–	–	–	-1,12	+0,40	2	2	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	08:50	2,93	1,37	2,56	91,96	4,96	8,97	2,70	1084	68	–	–	–	-1,10	+0,46	1	2	∅	∅
	Nullstellung	08:56	2,19	0,45	3,44	91,02	-1,88	+1,89	2,33	1088	68	37			-0,75	+0,94	1	2	∅	∅
16	11. Verschiebung →	09:31	-4,96	-7,64	+7,92	86,14	-43,40	-40,81	+0,66	1096	68	277	–	100	+0,81	+3,50	1	3	∅	∅
	vor Entlastung	10:31	-4,91	-7,62	+7,94	86,12	-43,45	-40,86	+0,67	1080	68	272			+0,89	+3,68	1	3	∅	∅
	horiz. entlastet	10:48	+1,47	-0,56	+4,30	89,98	-9,41	-6,22	+1,41	1074	68	–	–	–	-0,14	+1,47	1	2	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	10:53	1,60	-0,42	+4,20	90,07	-8,61	-5,34	1,42	1074	68	–	–	–	-0,16	+1,44	1	2	∅	∅
	Nullstellung	10:55	2,49	0,52	3,34	90,87	-1,75	+1,68	+1,50	1080	68	–	29	20	-0,49	+1,13	1	2	∅	∅
17	12. Verschiebung ←	11:26	6,71	5,77	-4,63	98,97	+40,02	+44,01	+4,33	1211	74	–	317	115	-3,43	-0,53	2	2	∅	∅
	vor Entlastung	12:26	6,74	5,82	-4,58	98,95	40,18	44,13	+4,42	1182	72	–	310	–	-3,43	-0,56	2	2	∅	∅
	horiz. entlastet	12:44	~~6,02~~ 5,29	+1,74	+2,71	91,80	+5,88	+14,13	+2,67	1081	68	–	–	–	-1,13	+0,43	1	2	∅	∅
	vor Versch. Null.	12:50	3,27	+1,70	+2,74	91,71	+5,68	+13,98	+2,65	1083	68	–			-1,12	+0,44	1	2	∅	∅
	Nullstellung	13:00	2,67	0,99	3,45	91,04	0,18	8,19	2,38	1088	68	–	18		-0,83	+0,79	1	2	∅	∅
	umsetzen $W_{H1,2}$ *	13:14	2,69	0,99	3,47	91,02	0,19	8,19	2,38	1090	68	*	wegen Δ ~ 8 mm				W_{H1} belassen nur W_{H2} umgesetzt → neuer Wert -1,05 mm			
	Nullung $W_{H1,2}$	13:20					∅	∅												
18	13. Verschiebung →	13:51	-5,21	-7,98	+8,43	85,57	-46,07	-45,31	+0,52	1097	68	298	–	105	+0,93	3,63	1	3	∅	∅

Nullung $W_{H1,2}$ auf falschem Mittel (≈4 mm) → deshalb bis -46,07 mm verschoben (+4 - 46. = -42)

TU WIEN bi.geo | MA 29 BRÜCKENBAU GRUNDBAU | KELLER DORR ARGE FPUH

LASTSTUFEN			VERSUCHSPFAHL							Presse VERTIKAL		Pressen HORIZONTAL			REAKTIONSPFÄHLE				MESSBRÜCKE	
			Vertikal-verschiebung			Mech.	Horizontal-verschiebung			KMD 1	Mano-meter	KMD 2 (R)	KMD 3 (L)	Mano-meter	Horizontal-verschiebung		Vertikal-verschiebung		Vertikal-verschiebung	
			w_{V1}	w_{V2}	w_{V3}	w_{VM}	w_{H1}	w_{H2}	w_{H3}	Kraft	Druck	Kraft	Kraft	Druck	w_{H4}	w_{H5}	w_{VP1}	w_{VP4}	w_{VP2}	w_{VP3}
Last-stufe	Bemerkungen	Zeit	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[bar]	[kN]	[kN]	[bar]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
	Sollwert						+42	-42												
	Warnwert		18							4950		990	990				10		1	
[Nr.]	Abbruchwert	[hh:mm]								5000		1000	1000				15			
	vor Entlastung	14:51	-5,18	-7,96	+8,43	89,57	-46,16	-45,32	+0,45	1090	68	291	–	95	+0,90	+3,69	1	3	Ø	Ø
	NACH ENTLASTUNG	15:05	+1,65	-0,41	+4,57	89,70	-10,10	-8,83	+1,26	1085	68	–	–	–	-0,05	+1,58	1	2	Ø	Ø
vor Verschiebung in	NULLSTELLUNG	15:10	1,80	-0,25	4,47	89,78	-9,05	-7,93	+1,27	1086	68	–	–	–	-0,09	+1,52	1	2	Ø	Ø
	~~Nullstellung~~	15:13	2,39	+0,38	+3,95	90,27	-4,75	-3,42	1,37	1089	68	–	15		-0,45	+1,29	1	2	Ø	Ø
	Nullung WH1,2	15:15					Ø	Ø												
19	14. Verschiebung ←	15:41	6,72	5,62	-3,70	97,96	41,66	42,17	3,83	1215	73	–	277		-3,13	-0,42	2	2	Ø	Ø
	vor Entlastung	16:50	6,72	5,64	-3,70	97,97	41,75	42,20	3,86	1196	71	–	270		-3,13	-0,45	2	3	Ø	Ø
	horiz. entlastet	17:00	3,49	1,85	2,89	91,57	10,11	15,65	2,44	1101	68	–	–	–	-1,10	0,49	1	2	Ø	Ø
	vor Verschiebung in Nullstellung	17:05	3,38	1,71	3,03	91,41	9,13	14,92	2,37	1102	68	–	–	–	-1,07	+0,48				
	Nullstellung	17:10	1,89	-0,13	4,57	89,70	-3,63	+3,80	1,59	1106	68	–	61		-0,43	+1,39	1	2	Ø	Ø
20	15. Verschiebung →	17:36	-5,78	-8,68	+8,90	85,03	-45,07	-39,08	+0,30	1111	68	–	322		+1,02	+4,03	1	3	Ø	Ø
	vor Entlastung	18:36	-5,74	-8,67	+8,88	85,02	-45,16	-39,14	+0,25	1114	68	–	309		+0,99	+4,04	2	3	Ø	Ø
	horiz. entlastet	18:55	1,87	-0,28	+4,68	89,42	-5,27	+0,97	1,06	1103	68	–	–	–	-0,11	+1,52	1	2	Ø	Ø
	vor Verschiebung in Nullstellung	19:00	1,93	-0,22	+4,65	89,52	-4,99	+1,29	1,06	1103	68	–	–	–	-0,12	+1,51	1	2	Ø	Ø
	Nullstellung	19:02	2,25	0,12	4,36	89,78	-2,58	+3,71	+1,11	1104	68	–	6		-0,27	+1,39	1	2	Ø	Ø
21	16. Verschiebung ←	19:34	6,62	5,36	-2,91	97,07	38,55	45,24	3,42	1223	73	–	250		-3,11	-0,29	2	2	Ø	Ø
	(22.03.18)	01:00	6,64	5,38	-2,84	97,04	38,42	45,38	3,25	1173	69		233		-3,33	-0,33	1,81	2,47	0,35	0,15
		07:00	6,63	5,36	-2,82	97,01	38,51	45,44	3,05	1153	68	–	224	–	-3,49	-0,26	2	3	Ø	Ø
		07:06	Logging stopped → Collect Data																	
		07:30	Logging started																	

(15:34 Messbrücke berührt)

LASTSTUFEN			VERSUCHSPFAHL							Presse VERTIKAL		Pressen HORIZONTAL			REAKTIONSPFÄHLE				MESSBRÜCKE	
			Vertikal-verschiebung			Mech.	Horizontal-verschiebung			KMD 1	Mano-meter	KMD 2 (R)	KMD 3 (L)	Mano-meter	Horizontal-verschiebung		Vertikal-verschiebung		Vertikal-verschiebung	
Last-stufe	Bemerkungen	Zeit	w_{V1}	w_{V2}	w_{V3}	w_{VM}	w_{H1}	w_{H2}	w_{H3}	Kraft	Druck	Kraft	Kraft	Druck	w_{H4}	w_{H5}	w_{VP1}	w_{VP4}	w_{VP2}	w_{VP3}
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[bar]	[kN]	[kN]	[bar]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
	Sollwert						+42	-42												
	Warnwert		18							4950		990	990				10		1	
[Nr.]	Abbruchwert	[hh:mm]								5000		1000	1000				15			
	vor Entlastung	07:30	6,63	5,36	-2,82	97,01	38,40	45,39	3,14	1148	68		226		-3,36	-0,30	2	2	∅	∅
	horiz. entlastet	07:43	3,81	2,13	2,99	91,43	10,55	23,84	2,09	1116	68	–	–	–	-1,62	+0,52	2	2	∅	∅
	Schiefstellung W#2 festgestellt, daher möglicherweise großes Delta																			
	vor Versch. in Nullst.	07:43	3,67	1,96	3,20	91,23	9,11	22,68	2,02	1117	68	–	–	–	-1,51	+0,58	2	2	∅	∅
	Nullstellung	07:54	2,63	0,72	4,35	90,03	0,18	15,60	1,60	1122	68		46		-1,03	1,23	1	2	∅	∅
	Nullung w_{H2}	07:56					0,15	15,60		→ Annahme: w_{H1} ist Nullstellung										
	Nullung w_{H2}	08:01					0,07	∅		+ Schmierung Plexiglas bei w_{H1} und w_{H2}										
22	17. Verschiebung →	08:35	-4,64	-7,55	+8,68	85,24	-41,53	-42,24	-0,02	1120	68	← 274			0,53	4,00	2	3	∅	∅
	vor Entlastung	09:35	-4,64	-7,55	+8,66	85,25	-41,58	-42,34	+0,01	1098	68	269	–		0,65	3,98	2	3	∅	∅
	horiz. entlastet	09:50	+1,99	-0,17	+4,95	89,27	-5,90	-5,76	+0,93	1099	68	–	–	–	-0,28	+1,73	1	3	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	09:55	+2,17	0,03	4,81	89,41	-4,72	-4,50	+0,97	1100	68	–	–	–	-0,32	+1,65	1	2	∅	∅
	Nullstellung	10:01	2,76	0,68	4,29	89,91	-0,22	+0,04	1,00	1102	68	–	16		-0,56	+1,41	1	2	∅	∅
23	18. Verschiebung ←	10:34	7,12	5,95	-3,38	97,62	41,55	42,51	3,52	1224	73	–	283		-3,45	-0,12	2	3	∅	∅
	vor Entlastung	11:34	7,16	6,02	-3,30	97,58	41,66	42,59	3,56	1189	70		277		-3,39	-0,15	2	3	∅	∅
	horiz. entlastet	11:49	3,89	2,24	3,38	91,12	9,64	9,70	2,27	1105	68	–	–	–	-1,24	0,76	1	2	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	11:54	3,80	2,13	3,51	90,98	8,86	9,43	2,26	1103	68	–	–	–	-1,17	0,77	2	3	∅	∅
	Nullstellung	12:03	2,78	0,87	4,63	85,74	-0,32	+0,02	+1,69	1113	68	44	–	–	-0,71	1,42	2	3	1	∅
24	19. Verschiebung →	12:31	-4,44	-7,31	8,95	84,99	-41,40	-42,44	+0,15	1117	68	272	–		+0,80	+3,85	2	3	1	∅
	vor Entlastung	13:35	-4,42	-7,31	8,96	84,99	-41,44	-42,51	+0,17	1105	68		265		+0,84	+3,84	2	3	1	∅

13:40 abermaliges Anspannen, da Mutter ~~nicht gelockert~~ festgesessen

LASTSTUFEN			VERSUCHSPFAHL							Presse VERTIKAL		Pressen HORIZONTAL			REAKTIONSPFÄHLE				MESSBRÜCKE	
			Vertikal-verschiebung			Mech.	Horizontal-verschiebung			KMD 1	Manometer	KMD 2 (R)	KMD 3 (L)	Manometer	Horizontal-verschiebung		Vertikal-verschiebung		Vertikal-verschiebung	
Last-stufe	Bemerkungen	Zeit	w_{V1}	w_{V2}	w_{V3}	w_{VM}	w_{H1}	w_{H2}	w_{H3}	Kraft	Druck	Kraft	Kraft	Druck	w_{H4}	w_{HS}	w_{VP1}	w_{VP4}	w_{VP2}	w_{VP3}
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[bar]	[kN]	[kN]	[bar]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
	Sollwert						+42	-42												
	Warnwert		18							4950		990	990				10		1	
[Nr.]	Abbruchwert	[hh:mm]								5000		1000	1000				15			
	horiz. entlastet	13:56	2,21	0,05	5,20	88,99	-5,73	-5,86	1,00	1108	68	–	–	–	-0,19	+1,79	1	3	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	14:01	2,38	0,23	5,06	89,12	-4,67	-4,74	1,02	1109	68	–	–	–	-0,23	+1,72	1	3	∅	∅
	Nullstellung	14:02	2,99	0,88	4,50	89,65	+0,05	+0,02	1,08	1113	68	–	13		-0,52	1,49	1	3	∅	∅
25	20. Verschiebung ←	14:33	7,33	6,11	-3,24	97,42	41,69	42,43	3,57	1244	74	–	282		-3,30	-0,25	2	3	∅	∅
	vor Entlastung	15:33	7,31	6,09	-3,26	97,45	41,78	42,48	3,62	1222	71	–	273		-3,30	-0,30	2	3	∅	∅
	horiz. entlastet	15:47	3,97	2,24	3,44	90,98	9,54	9,97	2,16	1124	68	–	–	–	-1,16	+0,66	2	3	∅	∅
	vor Versch. in Nullst.	15:52	3,89	2,14	3,55	90,85	8,74	9,12	2,12	1124	68	–	–	–	-1,13	0,67	2	3	∅	∅
	Nullstellung	16:00	3,17	1,27	4,36	90,00	2,27	2,41	1,79	1130	68	31	–	–	-0,80	1,13	1	3	∅	∅
	Entlastung ab	16:30	Zuerst auf 1000 kN																	
		16:35	3,11	1,19	4,15	90,15	2,73	2,87	1,61	1003	60	–	–	–	-0,71	1,02	1	2	∅	∅
		16:45				90,15														
		16:49	2,91	0,93	3,83	90,34	2,71	2,84	1,60	804	47	–	–	–	-0,58	0,88	1	2	∅	∅
		16:59				90,35														
		17:04	2,44	0,38	3,26	90,83	2,61	2,74	1,55	427		–	–	–	-0,38	+0,69	1	2	∅	∅
		17:14				90,84														
		17:21	1,82	-0,33	2,16	91,75	3,39	3,53	1,38	50		–	–	–	-0,31	+0,35	1	1	∅	∅
		17:23	Einschaltung DKHG																	
		17:31				91,77														
	Umbau Wegaufnehmer ab	17:32																		

wenn 1 dann gerade über 0,50

< 0,025/5 min

TU WIEN bi.geo | MA 29 BRÜCKENBAU GRUNDBAU | KELLER DORA ARGE FPUH

LASTSTUFEN			VERSUCHSPFAHL							Presse VERTIKAL		Pressen HORIZONTAL			REAKTIONSPFÄHLE				MESSBRÜCKE	
			Vertikal-verschiebung			Mech.	Horizontal-verschiebung			KMD 1	Manometer	KMD 2 ( )	KMD 3 ( )	Manometer	Horizontal-verschiebung		Vertikal-verschiebung		Vertikal-verschiebung	
Last-stufe	Bemerkungen	Zeit	~~W_{V1}~~ W_{H1} [mm]	~~W_{V2}~~ W_{H4} [mm]	~~W_{V3}~~ W_{H5} [mm]	W_{VM} [mm]	~~W_{H1}~~ [mm]	W_{H2} [mm]	W_{H3} [mm]	Kraft [kN]	Druck [bar]	Kraft [kN]	Kraft [kN]	Druck [bar]	~~W_{HP}~~ [mm]	~~W_{HS}~~ [mm]	W_{VP1} [mm]	W_{VP4} [mm]	W_{VP2} [mm]	W_{VP3} [mm]
	Sollwert						+42	-42												
	Warnwert		18							4950		990	990				10		1	
[Nr.]	Abbruchwert	[hh:mm]								5000 (6000)		1000	1000				15			
	Nullung $W_{H1,4,5}$	17:48	Ø	Ø	Ø			3,60	1,28											
		18:00	bei DKHG noch einmal abgelassen auf 49 kN																	
	(23.03.2018)	01:00	+0,08	+0,10	+0,02	91,81		-3,63	+1,21	50	6,9						0,60	0,99	0,34	0,34
		07:00	+0,13	+0,14	+0,06	91,84		+3,59	-1,26	51	6,9						0,51	0,100	0,33	0,33
	ab	07:20	Durchtrennung bzw. Lockerung Cewi bis 07:30																	
	ab	08:45	Einstellungen durch Red Bernard → neue Konfiguration																	
	Nullung	09:35	Ø	Ø	Ø			3,79	1,30											
	neue Bezeichnung	09:45	W_{V1}	W_{V2}	W_{V3}	W_{med}		W_{H2}	W_{H3}	K1	bar						W_{VP1}	W_{VP4}	W_{VP2}	W_{VP3}
		09:46	+0,04	0,02	0,03	91,92		3,79	1,30	60	7									
	Laststeigerung	09:50	0,22	0,28	0,36	91,60		3,66	1,26	239	17,6						Ø	1	Ø	Ø
		10:00	(0,24	0,29	0,38)	91,58		(3,67	1,26	240	17,6)						(1	1	Ø	Ø)
		10:04	0,55	0,62	0,71	91,27		3,68	1,25	426	28						1	1	Ø	Ø
		10:14				91,24														
		10:17	0,88	0,93	1,03	90,96		3,71	1,27	614	39									
		(10:23	Ballonwechsel Rotationslaser)																	
		10:27				90,93														
		10:32	1,21	1,25	1,36	90,62		3,77	1,30	805	49						1	2	Ø	1*
		10:42				90,62														

(08:49 W_{H2} 3,77 W_{H3} 1,30 — nach Sprung wegen Software: 8,23 / 5,00 — 9)

*10:30 Ballonwechsel W_{VP3}

~~440 bar~~ 144,5 bar = 2614 kN

LASTSTUFEN			VERSUCHSPFAHL							Presse VERTIKAL		Pressen HORIZONTAL			REAKTIONSPFÄHLE				MESSBRÜCKE	
			Vertikal-verschiebung			Mech.	Horizontal-verschiebung			KMD 1	Manometer	KMD 2 ( )	KMD 3 ( )	Manometer	Horizontal-verschiebung		Vertikal-verschiebung		Vertikal-verschiebung	
Laststufe	Bemerkungen	Zeit	~~WV1~~ [mm]	~~WV2~~ [mm]	~~WV3~~ [mm]	W_{VM} [mm]	~~Wm~~ [mm]	W_{H2} [mm]	W_{H3} [mm]	Kraft [kN]	Druck [bar]	Kraft [kN]	Kraft [kN]	Druck [bar]	W_{H4} [mm]	W_{H5} [mm]	W_{VP1} [mm]	W_{VP4} [mm]	W_{VP2} [mm]	W_{VP3} [mm]
	Sollwert						+42	-42												
	Warnwert		18							4950		990	990				10		1	
[Nr.]	Abbruchwert	[hh:mm]	W_{V1}	W_{V2}	W_{V3}	$W_{Mech.}$				5000		1000	1000				15			
		10:46	1,74	1,79	1,91	90,10		3,86	1,36	1125	68						1	2	Ø	1
		11:01				90,05														
		11:06	2,52	2,67	2,83	89,22		3,86	1,37	1448	89						2	3	Ø	1
		11:21				89,07														
		11:29	3,97	4,20	4,50			3,63	1,48	1758	145						2	3	Ø	1
		11:47				87,46														
		11:55	5,82	6,04	6,30	86,91		3,62	1,50	2094	235						3	4	Ø	1
		12:30	Test: DKHG weggeschaltet → Druck auf Aggregat																	
		12:41	6,53	6,77	6,99	85,23		3,62	1,55	2089	~155						3	4	Ø	1
		12:48	10,87	11,18	11,34	81,17		3,56	1,61	2757	160						4	6	Ø	1
		13:06				80,51														
		13:16	16,82	17,07	17,41	75,50		3,56	1,66	3413	196						5	7	Ø	1
		13:37				74,54														
		13:46	23,42	23,33	24,47	68,83		2,03	1,43	4053	234						6	8	Ø	1
		13:47	Sprung horizontal -WA																	
		14:14				66,49														
		14:23	Abbruch weil Lager sich verschiebt und Presse + Kalotte sich verschiebt																	
		14:42	31,59	25,14	33,98	53,73		-23,18	-11,89	4408	254						7	10	Ø	1
		14:47	30,82	24,33	33,22	54,48		-23,65	-12,16	3405							6	9	Ø	1

Theoretisch viel zu hoch; Verlass auf Kraftanzeige

→ würde aber noch weiter sinken

Druck auf DKHG stimmt also nicht

Druck auf DKHG passt wieder mit Manometer zusammen → weitere Belastung mit Aggregat

Wm hebt 2-3 Sprünge davor gezeigt → Mittelwertverfälschung → Kriterium wäre herausnehmen

TU WIEN bi.geo

MA 29 BRÜCKENBAU GRUNDBAU

KELLER DORR ARGE FPUH

LASTSTUFEN			VERSUCHSPFAHL							Presse VERTIKAL		Pressen HORIZONTAL			REAKTIONSPFÄHLE				MESSBRÜCKE	
			Vertikal-verschiebung			Mech.	Horizontal-verschiebung			KMD 1	Manometer	KMD 2 ( )	KMD 3 ( )	Manometer	Horizontal-verschiebung		Vertikal-verschiebung		Vertikal-verschiebung	
			w_{V1}	w_{V2}	w_{V3}	w_{VM}	w_{H1}	w_{H2}	w_{H3}	Kraft	Druck	Kraft	Kraft	Druck	w_{H4}	w_{H5}	w_{VP1}	w_{VP4}	w_{VP2}	w_{VP3}
Last-stufe	Bemerkungen	Zeit	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[bar]	[kN]	[kN]	[bar]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
	Sollwert						+42	-42												
	Warnwert		18							4950		990	990				10		1	
[Nr.]	Abbruchwert	[hh:mm]								5000		1000	1000				15			
		14:57				54,49														
		15:09	28,84	24,46	28,16	61,39		-9,98	-8,13	806	47						2	~~5~~	Ø	1
		15:19				61,44														
		15:27	27,84	24,50	27,04	62,42		-6,46	-5,80	428							1	4	Ø	1
		15:37				62,47														
		15:46	26,17	23,84	25,12	65,22		-2,26	-3,15	48							1	3	Ø	1
	Versuchsende	~~15~~:01				65,30														
		16:02	Logging stopped → Data Collect																	

ARGE FPUH
Keller Dorr
Absberggasse 47
A-1100 Wien

ANHANG I

Auswertungsprotokolle

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.

AUSWERTUNGSPROTOKOLL: B.HM

Stand: 04.04.2018

1) ANMERKUNGEN

KEX3 auf Channel 16 (DMD) weil Channel 13 defekt
20.02.2018, 16:24, Mutter nicht aufgemacht vor Entlastung, abermaliges Anspannen nötig (selbiges gilt für 23.02.2018 ~10:15)
Rotationslaser bewegte sich mit, am 21.02.2018, 16:49, neu aufgestellt
Zur Steuerung der horizontalen Verschiebungseinprägung beim Versuch wurden die Werte der Wegaufnehmer WH1 und WH2 herangezogen. Ergab sich aus etwaigen Gründen im Laufe der Zeit ein Delta zwischen den Werten WH1 und WH2 wurde für den Sollwert (+20/-20 mm) der Mittelwert von WH1 und WH2 angepeilt.
Beim horizontalen Verschieben wurde ein Anstieg der Vertikalkraft (und des Pressendrucks) festgestellt (siehe Feldprotokoll).
Aufgrund von Verdrehungen der Halterung von WH3 im Zuge der Verschiebungen, sind dessen Werte kritisch zu betrachten.
In der ausgelenkten Stellung (+20/-20 mm) konnte an der jeweils gegenüberliegenden Seite des Pfahlmantels ein tangentialer Anriss festgestellt werden, der sich mit steigender Zyklenanzahl vergrößerte (siehe Skizze bzw. Fotos)

2) ROHDATENAUFBEREITUNG

Rohdaten:	**MWES 1**		
Betreff	Anmerkung	nicht behebbar	wurde behoben
Berührung WH5	Bei Neuaufstellung Rotationslaser am 21.02.2018, 12:47:55, WH5 versehentlich berührt (falsche Werte bis 12:48:57) Da sich WH4 nicht änderte wird in diesem Zeitraum davon ausgegangen, dass sich WH5 auch nicht änderte; Aufgefallen und Neujustierung WH5 am 22.02.2018, 07:12		Ja
Nullung WH1-5	Am 19.02.2018 um 15:49:59 sind WH1-5 genullt worden vor Beginn der H-Zyklen. Vor der Nullung zeigten sie folgende Werte WH1_korr [m]: -0,00126; WH2_korr [m]: -0,00016; WH3_korr [m]: 0,00018; WH4_korr [m]: -0,00061; WH5_korr [m]: 0,00013 Diese durch die Vertikalbelastung verursachten Horizontalverschiebungen wurden nicht fortgerechnet mit Beginn der H-Zyklen. D.h. man müsste diese dazuzählen, wenn man aus irgendwelchen Gründen einmal die Absolutverschiebung seit Versuchsbeginn brauchen sollte.		Ja
Verdrehung WH3	Am 22.02.2018, 12:31:47 bis 12:38:47 wurde WH3 durch Horizontalverschiebung und instabiler Halterung/Magneten verdreht. Es wird angenommen, dass sich in dieser Zeit die Querbewegung (WH3) nicht geändert hat. Selbiges gilt für den Zeitraum 15:34:29 bis 15:54:21. Aufgrund der instabilen Halterung kann bis zur Fixierung mit der Schraubzwinge die Richtigkeit der Werte von WH3 schwer verifiziert werden. Bei näherer Verwendung dieser Werte sind sie ausreichend kritisch zu betrachten. Der Wegaufnehmer WH3 wurde schließlich am 23.2.2018, 07:04 mit einer Schraubzwinge fixiert.	teilweise	Ja

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub

Präzisionsnivellem.	20.02.2018, 14:00 Batteriewechsel WVP2,3 21.02.2018, 04:05 Batteriewechsel WVP2,3 22.02.2018, 20:38 Batteriewechsel Ch4 22.02.2018, 21:35 Batteriewechsel Ch1,2		
Ausgaberate MWES1	**Ausgaberate Messdaten MWES I - B.HM**		

von		*bis*		*Ausgaberate*	
Datum	Uhrzeit	Datum	Uhrzeit	Hz	1 Messwert pro [s]
19.02.2018	11:27	19.02.2018	17:17	1/2	2
19.02.2018	17:17	20.02.2018	11:00	1/60	60
20.02.2018	11:00	20.02.2018	18:06	1/2	2
20.02.2018	18:06	21.02.2018	07:25	1/60	60
21.02.2018	07:25	21.02.2018	18:45	1/2	2
21.02.2018	18:45	22.02.2018	07:37	1/60	60
22.02.2018	07:37	22.02.2018	18:08	1/2	2
22.02.2018	18:08	23.02.2018	07:05	1/60	60
23.02.2018	07:05	23.02.2018	13:30	1/2	2

Die Messratenwechsel sind im Rohdatenfile vermerkt.

Festgelegte Zeitpunkte	**Nullmessung MWES1**: 19.02.2018, 11:27:01* **Erreichung Vorlast MWES1**: 19.02.2018, 11:37:01* **Versuchsende MWES1**: 23.02.2018, 13:30:01*

Rohdaten:	**MWES 2**		
Betreff	Anmerkung	nicht behebbar	wurde behoben
Datensicherung	19.02.2018, 17:10, Logging Stopped 19.02.2018, 17:31, Logging Started 20.02.2018, 07:10, Logging Stopped 20.02.2018, 07:18, Logging Started 21.02.2018, 07:05, Logging Stopped 21.02.2018, 07:20, Logging Started 22.02.2018, 07:17, Logging Stopped 22.02.2018, 07:30, Logging Started In der Zeit zwischen Logging Stopped und Logging Started werden die Werte linear interpoliert.		Ja
KEX 3	Da Channel 13 defekt war wurde KEX 3 über Channel 16 (eigentlich DMD) eingelesen. Die Daten wurden im Rohdatenfile folglich in die richtige Spalte kopiert.		Ja
Festgelegte Zeitpunkte	**Nullmessung MWES2**: 19.02.2018, 11:27:00* **Erreichung Vorlast MWES2**: 19.02.2018, 11:37:00* **Versuchsende MWES2**: 23.02.2018, 13:30:00* (*Der Zeitversatz von 1 sec. ist vernachlässigbar.)		

Rohdaten:	**MWES 3**		
Betreff	Anmerkung	nicht behebbar	wurde behoben
Nullung Sonden	Die Inklinometersonden wurden am 19.02. um 09:30 genullt.		
Nullwerte	Gemäß Empfehlung von Fa. Glötzl wird eine Spalte als Sensor „000“ mit lauter Nullen eingefügt. Dieser Sensor stellt das Bohrlochtiefste dar.		
Festgelegte Zeitpunkte	*Nullmessung MWES3: 19.02.2018, 09:30* **Versuchsbeginn MWES3**: 19.02.2018, 11:27:00 (A) / 11:27:02 (B) / 11:27:04 (Temp) **Erreichung Vorlast MWES3**: 19.02.2018, 11:37:00 (A) / 11:37:02 (B) / 11:37:04 (Temp) **Versuchsende MWES3**: 23.02.2018, 13:30:00 (A) / 13:30:02 (B) / 13:30:04 (Temp)		

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.

AUSWERTUNGSPROTOKOLL: B.HK

Stand: 04.04.2018

1) ANMERKUNGEN

KEX3 auf Channel 16 (DMD), weil Channel 13 defekt war
Zur Steuerung der horizontalen Verschiebungseinprägung beim Versuch wurden die Werte der Wegaufnehmer WH1 und WH2 herangezogen. Ergab sich aus etwaigen Gründen im Laufe der Zeit ein Delta zwischen den Werten WH1 und WH2 wurde für den Sollwert (+42/-42 mm) der Mittelwert von WH1 und WH2 angepeilt.
22.03.2018, 13:40, abermaliges Anspannen, da Mutter festgesessen
23.03.2018, ab 07:20 wurden die Verschub-GEWI durchtrennt, und die Fixierungs-GEWI der Platte (unter der Presse) etwas gelockert.
23.03.2018, ab 11:29 ist aufgefallen, dass der Druck am Druckkonstanthaltegerät (DKHG) und auch am Manometer unter Berücksichtigung der Kolbenfläche nicht mit der von der KMD1 angezeigten Kraft zusammenpasst. Bei der nächsten Laststufe um 11:55 war die Differenz zwischen Druck-Ist und Druck-Soll noch größer, was Unsicherheit zur Folge hatte. Zur Ursachenfindung wurde um 12:30 (siehe auch Feldprotokoll) der Kreislauf zum DKHG unterbrochen und zum Aggregat geöffnet. Nach einer Weile sank der Druck am Manometer auf das Druck-Soll ab, und es konnte die Richtigkeit der KMD verifiziert werden. Für die weiteren Laststufen wurde die Last nun mit dem Aggregat und das DKHG nur zur Lastkonstanthaltung verwendet. Dabei stimmte Druck am DKHG und Kraft wieder überein.
VERSUCHSABBRUCH am 23.03.2018, 14:23, wegen Horizontalverschiebung Lager, Presse bzw. Schiefstellung Kalotte -> anschließend Entlastung
Bei der Herstellung kam es zu einer unplanmäßigen Verdrehung des Inklinometerrohres um 22° bezüglich der Hauptmessrichtung (A+ = Verschiebungsrichtung). Zudem kam es zu einem fehlerhaften Einbau des zweiten Inklinometerelements, sodass dieses bei den Messungen um 73° bezüglich der Hauptmessrichtung (A+) verdreht war. Dies ist in der Auswertung von MWES 3 entsprechend zu korrigieren. (siehe auch Fotodokumentation)

2) ROHDATENAUFBEREITUNG

Rohdaten:	**MWES1**		
Betreff	Anmerkung	nicht behebbar	wurde behoben
Justierung WH1,2 50/50	Am 19.03.2018, 15:03:35 wurden die Wegaufnehmer in Verschiebungsrichtung auf den Messbereich 50%/50% eingestellt. Im Zeitraum bis zur anschließenden Nullung wird davon ausgegangen, dass keine Wertveränderung stattfand.		Ja
Wegende WV1,2	Am 19.03.2018, 15:23:01 war der Weg von WV1,2 aufgrund der Verkippung der Pfahlkopfoberfläche zu Ende. Ab diesem Zeitpunkt, über die Justierung hinweg bis zur Nullung, wird davon ausgegangen, dass WV1,2 denselben Weg (nur mit anderem Vorzeichen) wie WV3 zurückgelegt haben.		Ja
Umsetzen WV1-3	Trotz geringfügig unterschiedlicher Umsetzzeitpunkte (ab 19.03.2018, 17:08:01) wird davon ausgegangen, dass bis zur Nullung keine Wertveränderung stattfand (vgl. jeweils mit anderen, schon umgesetzten Wegaufnehmern).		Ja
Wegende WV2	Ab 20.03.2018, 09:55:31 war Weg des WV2 zu Ende. Ab diesem Zeitpunkt, über die Justierung hinweg bis zur Nullung, wird davon ausgegangen, dass WV2 denselben Weg wie WV1 zurückgelegt hat.		Ja

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub

	Selbiges gilt für den Zeitraum 21.03.2018, 07:26:49 bis 07:40:35.		
Verdrehung WV1	Verdrehung aufgrund Reibung 21.03.2018, 07:45:01. Im Zeitraum der Neujustierung wird davon ausgegangen, dass sich die Werte nicht verändert haben. Zur Behebung dieses Problems wurde die Plexiglasoberfläche anschließend gechmiert.		Ja
Umsetzen WH2	Nach Entlastung am 21.03.2018, 12:44 ist ein Delta von ~8mm zwischen WH1 und WH2 aufgefallen (Delta zunächst unerklärlich, spätere Vermutung: ev. aufgrund fehlende Schmierung->Verdrehung). Deshalb wurde WH2 um 13:16:33 umgesetzt (WH1 belassen, da unter Betrachtung der der Lagerskala davon ausgegangen wurde, dass WH1 der wahren Nullstellung am nächsten kommt). Im Zeitraum des Umsetzens bis zur Nullung gab es keine Wertveränderung von WH2 (vgl. WH1). Nach dem Umsetzen wurden WH1 und WH2 genullt*.		Ja
13.Verschiebung	Die 13. Verschiebung (21.03.2018, 13:51) wurde aufgrund der Ansicht, dass auf falschem Mittel (also 4 mm zu früh) genullt wurde*, anschließend bis -46 mm durchgeführt. (vgl. auch Anmerkung auf Feldprotokoll). Nach der anschließenden Entlastung wurde (lediglich) bis -4mm in „Nullstellung“ zurückgeschoben und die WH1 und WH2 in dieser Position genullt.		Ja
Schiefstellung WH2	Am 22.03.2018, 07:43 wurde eine Schiefstellung von WH2 festgestellt, wodurch vermutlich das große Delta (~12mm) zwischen WH1 und WH2 zu erklären ist. Um 07:30 (vor Entlastung) betrug dieses Delta lediglich ~7mm. Es wurde in weiterer Folge davon ausgegangen, dass WH1 den korrekten Weg anzeigt. Deshalb wurde anhand von WH1 anschließend in Nullstellung verschoben. Dort wurde dann WH2 um 07:56 justiert und um 08:01 genullt (WH1 nicht genullt da ohnehin mehr oder weniger Null). Zudem wurden jetzt beide Plexiglasflächen geschmiert. In der Rohdatenaufbereitung wurde schließlich ab 07:30 bis 08:01 die Veränderungsrate von WH1 auch für WH2 übernommen.	teilweise	Ja
Wechsel der Wegaufnehmer	Da für die herkömmliche vertikale Probebelastung am 23.03.2018 die Wegaufnehmer WA100 vorgesehen waren, wurden die Wegaufnehmer am 22.03.2018, ab 17:32 folgendermaßen gewechselt: WV1, WV2, WV3 abgebaut WH1 auf Position von WV1 WH4 auf Position von WV2 WH5 auf Position von WV3 (WH2 und WH3 sind auf ihrer Position geblieben) Somit gibt es ab diesem Zeitpunkt die ursprünglichen Messpositionen WH1, WH4 und WH5 nicht mehr. In der Rohdatenaufbereitung wird davon ausgegangen, dass keine Werteveränderung während des Umbaus stattfand.		Ja
Neu-Konfiguration	Am 23.03.2018 wurde ab 08:50:28 bis 09:34:30 die Kanalzuordnung im SignaSoft von RED neu konfiguriert. Für diesen Zeitraum wird angenommen, dass keine Werteveränderung stattfand. Danach konnten die Werte wieder unter den ursprünglichen Bezeichnungen abgelesen werden: WV1, WV2, WV3 und WH2, WH3 (=5x WA100)		Ja
Sprünge der Wegaufnehmer lt.	23.03.2018, ~13:30, Sprünge WV1 23.03.2018, 13:47, Sprung der Horizontal-Wegaufnehmer und		Nein

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.

Feldprotokoll	WV1 springt alle 90 sec. etwa		
Präzisionsnivellem.	20.03.2018, 00:15-00:30, Batteriewechsel WVP2,3 20.03.2018, 13:33 Batteriewechsel WVP1,4 20.03.2018, 22:25-22:30, Batteriewechsel WVP2,4 21.03.2018, 06:15, Batteriewechsel WVP3 21.03.2018, 19:35, Batteriewechsel WVP1 21.03.2018, 22:25, Batteriewechsel WVP2 22.03.2018, 03:50, Batteriewechsel WVP3 22.03.2018, 06:00, Batteriewechsel WVP4 23.03.2018, 10:23, Batteriewechsel Rotationslaser 23.03.2018, 10:30, Batteriewechsel WVP3		
Ausgaberate MWES1	**Ausgaberate Messdaten MWES I - B.HK** *von* / *bis* / *Ausgaberate* Datum | Uhrzeit | Datum | Uhrzeit | Hz | 1 Messwert pro [s] 19.03.2018 | 11:08 | 19.03.2018 | 18:26 | 1/2 | 2 19.03.2018 | 18:26 | 20.03.2018 | 07:00 | 1/60 | 60 20.03.2018 | 07:00 | 20.03.2018 | 20:18 | 1/2 | 2 20.03.2018 | 20:18 | 21.03.2018 | 06:50 | 1/60 | 60 21.03.2018 | 06:50 | 21.03.2018 | 20:34 | 1/2 | 2 21.03.2018 | 20:34 | 22.03.2018 | 07:30 | 1/60 | 60 22.03.2018 | 07:30 | 22.03.2018 | 19:00 | 1/2 | 2 22.03.2018 | 19:00 | 23.03.2018 | 09:35 | 1/60 | 60 23.03.2018 | 09:35 | 23.03.2018 | 16:02 | 1/2 | 2 Die Messratenwechsel sind im Rohdatenfile vermerkt.		
Festgelegte Zeitpunkte	**Nullmessung MWES 1:** 19.03.2018, 11:08:01* **Erreichung Vorlast MWES 1:** 19.03.2018, 11:13:01* **Versuchsende MWES 1:** 23.03.2018, 16:01:01*		

Rohdaten:	**MWES 2**		
Betreff	Anmerkung	nicht behebbar	wurde behoben
Datensicherung	20.03.2018, 07:23 Logging Stopped 20.03.2018, 07:33 Logging Started 22.03.2018, 07:06 Logging Stopped 22.03.2018, 07:30 Logging Started In der Zeit zwischen Logging Stopped und Logging Started werden die Werte linear interpoliert.		
KEX 3	Da Channel 13 defekt war wurde KEX 3 über Channel 16 (eigentlich DMD) eingelesen. Die Daten wurden im Rohdatenfile folglich in die richtige Spalte kopiert.		Ja
Festgelegte Zeitpunkte	**Nullmessung MWES2:** 19.03.2018, 11:08:00* **Erreichung Vorlast MWES2:** 19.03.2018, 11:13:00* **Versuchsende MWES2:** 23.03.2018, 16:01:00* (*Der Zeitversatz von 1 sec. ist vernachlässigbar.)		

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.

Rohdaten:	**MWES 3**		
Betreff	Anmerkung	nicht behebbar	wurde behoben
Nullung Sonden	Die Inklinometersonden wurden am 19.03. um 09:00 genullt.		
Nullwerte	Gemäß Empfehlung von Fa. Glötzl wird eine Spalte als Sensor „000“ mit lauter Nullen eingefügt. Dieser Sensor stellt das Bohrlochtiefste dar.		
Änderung der Aufzeichnungsrate!	1 Wert pro min erst ab 19.03.2018, 15:08 (davor nur 1 Wert pro 5 min)		
Festgelegte Zeitpunkte	*Nullmessung MWES3: 19.03.2018, 09:00* **Versuchsbeginn MWES3**: 19.03.2018, 11:06:33 (A) / 11:08:30 (B) / 11:04:35 (Temp) **Erreichung Vorlast MWES3**: 19.02.2018, 11:12:26(A) / 11:14:24 (B) / 11:16:21 (Temp) **Versuchsende MWES3**: 23.03.2018, 16:01:00 (A) / 16:01:01 (B) / 16:01:01 (Temp)		

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.

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.

ANHANG J

Anleitung Rohdatenaufbereitung

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.

Anleitung Rohdatenaufbereitung MWES I

Formatierung

- Spalte A markieren → Rechtsklick → *Zellen formatieren* → *Benutzerdefiniert* → Typ: *TT.MM.JJJJ hh:mm:ss*
- Spalte B markieren → Rechtsklick → *Zellen einfügen*
- Spalte A markieren → *Daten* → *Text in Spalten* → *Weiter* → Trennzeichen *Leerzeichen* → *Weiter* → *Fertigstellen*
- Spalte B markieren → Rechtsklick → *Zellen formatieren* → *Benutzerdefiniert* → Typ*: hh:mm:ss*
- Spalte C markieren → Rechtsklick → *Zellen einfügen* = **2x**
- Spalte B markieren → *Daten* → *Text in Spalten* → *Weiter* → Trennzeichen *Andere*: „:“ → *Weiter* → *Fertigstellen*
- Spalten B,C,D markieren → Rechtsklick → *Zellen formatieren* → *Standard*
- Spalten benennen: B = „Stunde“, C = „Minute“, D = „Sekunde“
- Spalte B markieren → Rechtsklick → *Zellen einfügen* = **2x**
- Spalte A markieren → *Daten* → *Text in Spalten* → *Weiter* → Trennzeichen *Andere: „.“* → *Weiter* → *Fertigstellen*
- Spalten A,B,C markieren → Rechtsklick → *Zellen formatieren* → *Standard*
- Spalte A markieren → über Spalte C schieben und überschreiben
- Spalte A markieren → Rechtsklick → *Zellen löschen*
- Spalten benennen: A = „Monat“, B = „Tag“
- Spalte F markieren → Rechtsklick → *Zellen formatieren* → *Zahl* → Dezimalstellen: 0
- Spalten G - K markieren → Rechtsklick → *Zellen formatieren* → *Zahl* → Dezimalstellen: 5
- Spalte L markieren → *Zellen formatieren* → *Zahl* → Dezimalstellen: 2
- Spalte G markieren → Rechtsklick → *Zellen einfügen* = **6x**
- Spalte R markieren und über Spalte L schieben
- Die Spalten sollten schließlich folgendermaßen aussehen:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	Monat	Tag	Stunde	Minute	Sekunde	Kraft	W1korr	W2korr	W3korr	W4korr	W5korr	Temperatur_T1	Weg_W1_WV1	Weg_W2_WV2	Weg_W3_WV3	Weg_W4_WH1	Weg_W5_WH2		Zeitpunkt	mech.Messuhr

(Zeile 1 am besten von einer vorherigen Datenaufbereitung kopieren)
→Die Spalten B bis L werden schlussendlich kopiert und in die Auswertung eingefügt

- Die erste Zeile wird fett markiert und fixiert (*Ansicht → Fenster einfrieren → oberste Zeile)*
- Die Originaldaten werden immer Orange markiert
- Innerhalb der Originaldaten werden jene Werte, die während des Umsetzens aufgezeichnet wurden, fett markiert.
- Zellen, in denen Formeln angewendet wurden, werden Grün markiert
- „Eingefrorene Zellen“ werden grau markiert
- Stellen, an denen Wertveränderungen/Vorkommnisse sind, werden mit Suchwörtern in der Spalte *Zeitpunkt* markiert, die am Tabellenanfang ersichtlich sind.
- Ebenso wird die Zeilennummer mit dem letzten Wert eingetragen
- Der Bereich rechts neben der Tabelle sollte schließlich so aussehen →

S	T	U
Zeitpunkt	**mech.Messuhr**	
umsetzen		
Nullung		
Höchstkraft		
Vorlast		
Letze Zeile:		
11608		
Formatierung:		
Originalwerte		
Formel		
eingefroren		
Fertig?		
nein		

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bereinigung/Berechnung:

- Werte der Spalten M bis Q kopieren und als Verknüpfung in die Spalten G bis K einfügen.
- Der Zeitpunkt des Versuchsbeginns/Umsetzens wird aus dem Feldprotokoll abgelesen, und die Stelle in der Excel-Tabelle herausgesucht.
- In der Spalte *Zeitpunkt* „umsetzen“ an dieser Stelle eintragen sowie den Wert der mech. Messuhr vor dem Umsetzen. Unter dieser Zeile eine schwarze Linie einstellen.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	Monat	Tag	Stunde	Minute	Sekunde	Kraft	W1korr	W2korr	W3korr	W4korr	W5korr	Temperatur_T1	Weg_W1_WV1	Weg_W2_WV2	Weg_W3_WV3	Weg_W4_WH1	Weg_W5_WH2		Zeitpunkt	mech.Messuhr
18160	7	3	17	41	53	795387	0,04311	0,04671	0,04788	-0,00126	-0,00402	26,44	0,04311	0,04671	0,04788	-0,00126	-0,00402			
18161	7	3	17	41	55	795337	0,04311	0,04671	0,04788	-0,00126	-0,00401	26,41	0,04311	0,04671	0,04788	-0,00126	-0,00401			
18162	7	3	17	41	57	795213	0,04311	0,04671	0,04788	-0,00126	-0,00400	26,40	0,04311	0,04671	0,04788	-0,00126	-0,00400			
18163	7	3	17	41	59	795128	0,04311	0,04671	0,04788	-0,00126	-0,00402	26,39	0,04311	0,04671	0,04788	-0,00126	-0,00402			lt. Feldprotokoll
18164	7	3	17	42	1	795039	0,04311	0,04671	0,04788	-0,00126	-0,00400	26,38	0,04311	0,04671	0,04788	-0,00126	-0,00400		umsetzen	0,05567
18165	7	3	17	42	3	795380	0,04311	0,04671	0,04788	-0,00126	-0,00401	26,38	**0,04311**	**0,04672**	**0,04789**	-0,00126	-0,00401			
18166	7	3	17	42	5	795451	0,04311	0,04671	0,04788	-0,00126	-0,00401	26,36	**0,04311**	**0,04672**	**0,04789**	-0,00126	-0,00401			
18167	7	3	17	42	7	795283	0,04311	0,04671	0,04788	-0,00125	-0,00401	26,33	**0,04311**	**0,04672**	**0,04788**	-0,00125	-0,00401			

- Zeitpunkt der Nullung aus der Tabelle heraussuchen. Zeitpunkte wie unten eintragen und Wert der mech. Messuhr eintragen, „delta mech.“ Berechnen. Über den Nullwerten eine schwarze Linie ziehen. (am besten aus einer vorherigen Aufbereitung kopieren)
- Die Werte zwischen den schwarzen Linien löschen und die Zellen in dem Bereich grau markieren.

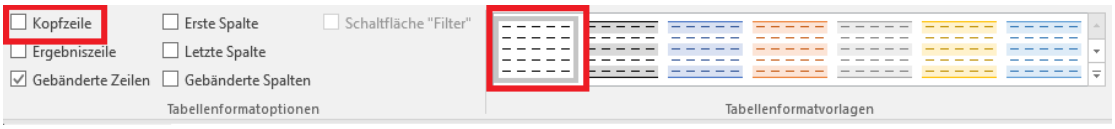
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	Monat	Tag	Stunde	Minute	Sekunde	Kraft	W1korr	W2korr	W3korr	W4korr	W5korr	Temperatur_T1	Weg_W1_WV1	Weg_W2_WV2	Weg_W3_WV3	Weg_W4_WH1	Weg_W5_WH2		Zeitpunkt	mech.Messuhr
18253	7	3	17	44	59	794632	0,04311	0,04671	0,04788	0,00112	0,00556	25,69	**-0,00008**	**0,00081**	**-0,00145**	0,00112	0,00556			
18254	7	3	17	45	1	794561	0,04311	0,04671	0,04788	0,00112	0,00556	25,67	**-0,00008**	**0,00081**	**-0,00145**	0,00112	0,00556			
18255	7	3	17	45	3	794520	0,04311	0,04671	0,04788	0,00112	0,00557	25,66	**-0,00007**	**0,00081**	**-0,00145**	0,00112	0,00557			
18256	7	3	17	45	5	794648	0,04311	0,04671	0,04788	0,00113	0,00557	25,65	**-0,00007**	**0,00081**	**-0,00145**	0,00113	0,00557		**delta mech.**	**0,00033**
18257	7	3	17	45	7	794983	0,04344	0,04704	0,04821	0,00000	0,00000	25,64	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		Nullung	0,05600
18258	7	3	17	45	9	794881	0,04344	0,04704	0,04822	0,00000	0,00000	25,63	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000			lt. Feldprotokoll

- In die grauen Zellen wird überall der letzte gültige Wert übernommen.
- Berechnung von erstem W1korr nach der Nullung: 0,04344 = 0,04311+0,00033 (W2korr,W3korr analog)
- Berechnung von den weiteren W1korr im grünen Bereich mit folgender Formel: =G$18257+M18258-M$18257
  → Formel über Spalten H und I ziehen
  → Formel bis Ende runterziehen
- Schließlich werden die Daten der Spalten B bis L kopiert und als Werte in die Tabelle *FPUH_Testauswertung* kopiert, um eine qualitative Kontrolle durchzuführen.

Anleitung Rohdatenaufbereitung MWES II

Ordner: Probebelastungen – Messdaten – xxxOrdner – MWES II Geokon

- Leere Excel Datei öffnen
- Daten – „aus Text/CSV“ – gewünschte .dat-Datei wählen (neben Dateiname „alle Dateien“ auswählen) – Laden
- Haken bei Kopfzeile weg, Tabellenformatvorlage auf schwarz/weiß



- Mit suchen und ersetzen (Strg + F) „ . “ durch „ , “ ersetzen
- Mit suchen und ersetzen „---" durch „nichts“ ersetzen
- Spalte „Battery voltage“, „internal Temp“ und „array“ löschen
- Zellen mit „-999999“ und „-99“ mit „nichts“ ersetzen bzw. Zellen kontrollieren, ob nicht plausible Zahlen vorkommen

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

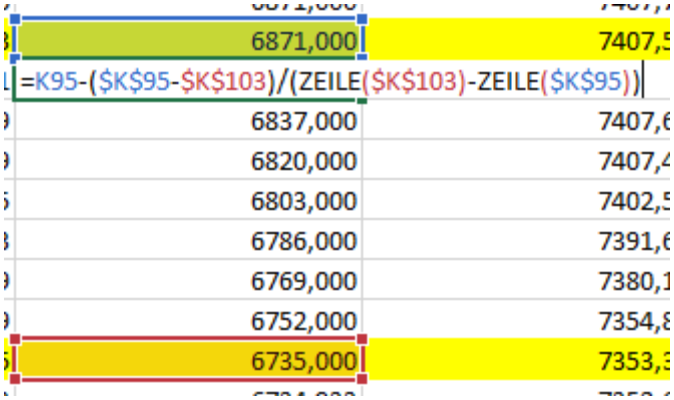
- Mit Feldprotokoll und Excel Dateien aus MWES l Red Bernard vergleichen und festlegen, wann **Versuchsbeginn** und **Versuchsende** war und diese Zeilen markieren und mit Versuchsbeginn und Versuchsende beschriften
- Offsetwert (Nullwert) ebenfalls farblich markieren
- Dateiname ändern

Manuelle Eingabe MWES II

- Wert von der händischen Ablesung aus dem Feldprotokoll zu den jeweiligen Zeiten eintragen und für die bessere Übersichtlichkeit farblich markieren
- Zwischen den Eingabewerten werden die Werte linear interpoliert. Dazu kommt folgende Formel zum Einsatz:

Wert = erste Zelle – (erste Zelle fix – Zweite Zelle fix) / (Zeile (weite Zelle) – Zeile (erste Zelle))

Berechnungsbeispiel:



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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

ANHANG K

Auswertung B.HM

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.

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung: MWES I - VERTIKAL

Laststufen (LS)				Werte bei LS Ende			Mittelwert der Vertikalversch. bei LS Beginn + Δt [min]							Berechnung Kriechmaß				
LS	LS	LS	Tag	Vertikalkraft	Vertikalkraft	Verschiebung	Δt	Δt	Δt	Δt	Δt	Δt	Δt	Berechnungswerte				
vertikal	Beginn	Ende	Ende LS	Soll	Ist	$w_{v,m}$	1 min	2 min	5 min	10 min	15 min	60 min	150 min	Δt_1	Δt_2	$w_{v,m,1}$	$w_{v,m,2}$	Kriechmaß
Nr.	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]	[d]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[min]	[mm]	[mm]	[mm]
0	11:37:01	11:54:39	19	-50	-48	-0,05	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04							
1	**12:01:59**	**12:19:19**	19	**-1038**	**-1035**	**-0,54**	**-0,52**	**-0,52**	**-0,52**	**-0,53**	**-0,54**			**5**	**15**	**-0,52**	**-0,54**	**-0,03**
2	**12:25:55**	**12:43:31**	19	**-2025**	**-2024**	**-1,43**	**-1,34**	**-1,35**	**-1,38**	**-1,41**	**-1,43**			**5**	**15**	**-1,38**	**-1,43**	**-0,10**
3	**12:51:11**	**13:09:37**	19	**-3013**	**-3016**	**-2,99**	**-2,74**	**-2,78**	**-2,86**	**-2,92**	**-2,96**			**5**	**15**	**-2,86**	**-2,96**	**-0,22**
4	**13:19:27**	**15:52:23**	19	**-4000**	**-4002**	**-5,61**	**-4,85**	**-4,90**	**-4,99**	**-5,08**	**-5,14**	**-5,38**	**-5,58**	**50**	**140**	**-5,35**	**-5,54**	**-0,42**
5	15:52:23	10:56:55	23	-4000	-4025	-11,19												
6	10:56:55	10:59:55	23	-4000	-4025	-11,20	-11,19	-11,19										
7	**11:02:39**	**11:19:09**	23	**-4500**	**-4507**	**-11,74**	**-11,57**	**-11,59**	**-11,64**	**-11,69**	**-11,72**			**5**	**15**	**-11,64**	**-11,72**	**-0,16**
8	**11:22:41**	**12:27:03**	23	**-5000**	**-5006**	**-13,11**	**-12,46**	**-12,53**	**-12,65**	**-12,76**	**-12,83**	**-13,08**		**40**	**60**	**-13,01**	**-13,08**	**-0,43**
9	12:32:33	12:45:09	23	-4000	-4009	-12,66	-12,68	-12,68	-12,67	-12,67								
10	12:53:53	13:04:29	23	-2000	-2027	-11,31	-11,38	-11,37	-11,37	-11,35								
11	13:12:23	13:28:37	23	-50	-74	-8,87	-8,95	-8,94	-8,92	-8,91	-8,90							

(**fett** = Laststufen der Erstbelastung)

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung: MWES II - VERTIKAL - Bewehrungssensoren

Laststufen (LS)				**Werte bei LS Ende**		**Verformungsmessungen der Bewehrungssensoren auf** *Höhe in [m ü.A.]*										**Mittelwerte je Messquerschnitt auf** *Höhe in [m ü.A.]*				
LS	LS	LS	Tag	Vertikalkraft	Vertikalkraft	*155,28*		*151,68*		*147,88*		*144,13*		*140,38*		*155,28*	*151,68*	*147,88*	*144,13*	*140,38*
vertikal	Beginn	Ende	Ende LS	Soll	Ist	BS1.1	BS1.2	BS2.1	BS2.2	BS3.1	BS3.2	BS4.1	BS4.2	BS5.1	BS5.2	MQ1	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5
Nr.	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]	[d]	[kN]	[kN]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]
0 - BS	11:37:01	11:54:39	19	-50	-48	-0,001	-0,002	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001	-0,001	-0,001	0,000	0,000
1 - BS	**12:01:59**	**12:19:19**	19	**-1038**	**-1035**	**-0,021**	**-0,041**	**-0,022**	**-0,025**	**-0,016**	**-0,015**	**-0,010**	**-0,011**	**-0,002**	**-0,005**	**-0,031**	**-0,024**	**-0,016**	**-0,010**	**-0,003**
2 - BS	**12:25:55**	**12:43:31**	19	**-2025**	**-2024**	**-0,047**	**-0,081**	**-0,047**	**-0,052**	**-0,034**	**-0,032**	**-0,023**	**-0,022**	**-0,005**	**-0,012**	**-0,064**	**-0,050**	**-0,033**	**-0,023**	**-0,009**
3 - BS	**12:51:11**	**13:09:37**	19	**-3013**	**-3016**	**-0,070**	**-0,127**	**-0,071**	**-0,081**	**-0,051**	**-0,049**	**-0,036**	**-0,033**	**-0,010**	**-0,020**	**-0,099**	**-0,076**	**-0,050**	**-0,035**	**-0,015**
4 - BS	**13:19:27**	**15:52:23**	19	**-4000**	**-4002**	**-0,093**	**-0,179**	**-0,095**	**-0,115**	**-0,069**	**-0,065**	**-0,049**	**-0,041**	**-0,015**	**-0,030**	**-0,136**	**-0,105**	**-0,067**	**-0,045**	**-0,022**
5 - BS	15:52:23	10:56:55	23	-4000	-4025	-0,098	-0,237	-0,061	-0,231	-0,087	-0,104	-0,067	-0,053	-0,033	-0,057	-0,168	-0,146	-0,096	-0,060	-0,045
6 - BS	10:56:55	10:59:55	23	-4000	-4025	-0,098	-0,237	-0,060	-0,231	-0,088	-0,104	-0,067	-0,053	-0,033	-0,058	-0,167	-0,146	-0,096	-0,060	-0,045
7 - BS	**11:02:39**	**11:19:09**	23	**-4500**	**-4507**	**-0,109**	**-0,258**	**-0,070**	**-0,249**	**-0,090**	**-0,109**	**-0,069**	**-0,055**	**-0,036**	**-0,062**	**-0,183**	**-0,160**	**-0,100**	**-0,062**	**-0,049**
8 - BS	**11:22:41**	**12:27:03**	23	**-5000**	**-5006**	**-0,119**	**-0,280**	**-0,080**	**-0,262**	**-0,092**	**-0,115**	**-0,070**	**-0,056**	**-0,041**	**-0,067**	**-0,200**	**-0,171**	**-0,103**	**-0,063**	**-0,054**
9 - BS	12:32:33	12:45:09	23	-4000	-4009	-0,096	-0,240	-0,055	-0,232	-0,077	-0,100	-0,061	-0,046	-0,035	-0,058	-0,168	-0,143	-0,088	-0,054	-0,047
10 - BS	12:53:53	13:04:29	23	-2000	-2027	-0,053	-0,149	-0,006	-0,155	-0,041	-0,066	-0,040	-0,022	-0,020	-0,035	-0,101	-0,080	-0,054	-0,031	-0,028
11 - BS	13:12:23	13:28:37	23	-50	-74	-0,019	-0,040	0,026	-0,032	0,000	-0,024	-0,014	0,005	-0,003	-0,008	-0,029	-0,003	-0,012	-0,004	-0,005

(**fett** = Laststufen der Erstbelastung)

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.

Auswertung: MWES II - VERTIKAL - Kettenextensometer															
Laststufen (LS)				**Werte bei LS Ende**		**Verformungsmessungen der KEX-Abbschnitte auf** *Höhe in [m ü.A.]*									
LS	LS	LS	Tag	Vertikalkraft	Vertikalkraft	*156,62*	*153,17*	*153,17*	*149,72*	*149,72*	*146,27*	*146,27*	*143,30*	*143,30*	*140,32*
vertikal	Beginn	Ende	Ende LS	Soll	Ist	KEX1		KEX2		KEX3		KEX4		KEX5	
Nr.	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]	[d]	[kN]	[kN]	[mm/m]		[mm/m]		[mm/m]		[mm/m]		[mm/m]	
0 - KEX	11:37:01	11:54:39	19	-50	-48	0,000	0,000	-0,002	-0,002	-0,003	-0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
1 - KEX	**12:01:59**	**12:19:19**	19	**-1038**	**-1035**	**-0,035**	**-0,035**	**-0,020**	**-0,020**	**-0,017**	**-0,017**	**-0,011**	**-0,011**	**-0,005**	**-0,005**
2 - KEX	**12:25:55**	**12:43:31**	19	**-2025**	**-2024**	**-0,078**	**-0,078**	**-0,046**	**-0,046**	**-0,033**	**-0,033**	**-0,026**	**-0,026**	**-0,012**	**-0,012**
3 - KEX	**12:51:11**	**13:09:37**	19	**-3013**	**-3016**	**-0,125**	**-0,125**	**-0,072**	**-0,072**	**-0,053**	**-0,053**	**-0,041**	**-0,041**	**-0,019**	**-0,019**
4 - KEX	**13:19:27**	**15:52:23**	19	**-4000**	**-4002**	**-0,179**	**-0,179**	**-0,099**	**-0,099**	**-0,072**	**-0,072**	**-0,055**	**-0,055**	**-0,025**	**-0,025**
5 - KEX	15:52:23	10:56:55	23	-4000	-4025	-0,264	-0,264	-0,139	-0,139	-0,109	-0,109	-0,075	-0,075	-0,033	-0,033
6 - KEX	10:56:55	10:59:55	23	-4000	-4025	-0,263	-0,263	-0,138	-0,138	-0,109	-0,109	-0,075	-0,075	-0,034	-0,034
7 - KEX	**11:02:39**	**11:19:09**	23	**-4500**	**-4507**	**-0,285**	**-0,285**	**-0,149**	**-0,149**	**-0,115**	**-0,115**	**-0,077**	**-0,077**	**-0,036**	**-0,036**
8 - KEX	**11:22:41**	**12:27:03**	23	**-5000**	**-5006**	**-0,306**	**-0,306**	**-0,159**	**-0,159**	**-0,120**	**-0,120**	**-0,079**	**-0,079**	**-0,037**	**-0,037**
9 - KEX	12:32:33	12:45:09	23	-4000	-4009	-0,268	-0,268	-0,134	-0,134	-0,105	-0,105	-0,067	-0,067	-0,031	-0,031
10 - KEX	12:53:53	13:04:29	23	-2000	-2027	-0,168	-0,168	-0,072	-0,072	-0,064	-0,064	-0,041	-0,041	-0,017	-0,017
11 - KEX	13:12:23	13:28:37	23	-50	-74	-0,032	-0,032	0,003	0,003	-0,017	-0,017	-0,007	-0,007	-0,002	-0,002

(**fett** = Laststufen der Erstbelastung)

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung MWES II - Anhand der Bewehrungssensoren errechnete Normalkräfte in den Messquerschnitten (MQ)																
Laststufen (LS)				Werte bei LS Ende		E-Modul	MQ1	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5	MQ1	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5
LS	LS	LS	Tag	Vertikalkraft	Vertikalkraft	an BS1 kalibriert	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	Anteil an	Anteil an	Anteil an	Anteil an	Anteil an
Vertikallast	Beginn	Ende	Ende LS	Soll	Ist	$E_{c,MQ1}$	QS-Nr.:	QS-Nr.:	QS-Nr.:	QS-Nr.:	QS-Nr.:	Ist - Kraft	Ist - Kraft	Ist - Kraft	Ist - Kraft	Ist - Kraft
Nr.	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]	[d]	[kN]	[kN]	[kN/mm²]	3	4	5	6	7	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
0 - BS	11:37:01	11:54:39	19	-50	-48	63	-48	-20	-14	-9	0	100%	41%	29%	19%	-1%
1 - BS	12:01:59	12:19:19	19	**-1038**	**-1035**	**54**	**-1035**	**-504**	**-328**	**-212**	**-67**	**100%**	**49%**	**32%**	**20%**	**7%**
2 - BS	12:25:55	12:43:31	19	**-2025**	**-2024**	**51**	**-2024**	**-1048**	**-690**	**-474**	**-179**	**100%**	**52%**	**34%**	**23%**	**9%**
3 - BS	12:51:11	13:09:37	19	**-3013**	**-3016**	**50**	**-3016**	**-1614**	**-1048**	**-723**	**-306**	**100%**	**54%**	**35%**	**24%**	**10%**
4 - BS	13:19:27	15:52:23	19	**-4000**	**-4002**	**48**	**-4002**	**-2216**	**-1401**	**-940**	**-467**	**100%**	**55%**	**35%**	**23%**	**12%**
5 - BS	15:52:23	10:56:55	23	-4000	-4025	39	**-4025**	**-3087**	**-2004**	**-1261**	**-939**	**100%**	**77%**	**50%**	**31%**	**23%**
6 - BS	10:56:55	10:59:55	23	-4000	-4025	39	-4025	-3085	-2004	-1260	-941	100%	77%	50%	31%	23%
7 - BS	**11:02:39**	**11:19:09**	**23**	**-4500**	**-4507**	**40**	**-4507**	**-3381**	**-2088**	**-1297**	**-1026**	**100%**	**75%**	**46%**	**29%**	**23%**
8 - BS	**11:22:41**	**12:27:03**	**23**	**-5000**	**-5006**	**41**	**-5006**	**-3626**	**-2166**	**-1324**	**-1129**	**100%**	**72%**	**43%**	**26%**	**23%**
9 - BS	12:32:33	12:45:09	23	-4000	-4009	39	-4009	-3033	-1852	-1121	-979	100%	76%	46%	28%	24%
10 - BS	12:53:53	13:04:29	23	-2000	-2027	32	-2027	-1703	-1125	-652	-577	100%	84%	56%	32%	28%
11 - BS	13:12:23	13:28:37	23	-50	-74	4	-74	-67	-246	-85	-113	100%	90%	333%	116%	153%

(**fett** = Laststufen der Erstbelastung) (MQ1→BS1, MQ2→BS2, MQ3→BS3, MQ4→BS4, MQ5→BS5)

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung in den Nullstellungen von $w_{h,m}$: MWES I - VERTIKAL und HORIZONTAL

					V-Kraft	V-Kraft	Verschiebung		H-Kraft	H-Kraft	H-Kraft	Verschiebung
		Zeitpunkt	Zeitpunkt	Zeitpunkt	KMD 1	KMD 1	vertikal		KMD 2	KMD 3	KMD 2/3	horizontal
Nullstellung	Tag	MWES1	MWES1	gerundet	SOLL	IST	$w_{v,m}$	$\Delta w_{v,m}$	gemessen	gemessen	maßgebend	$w_{h,m} \sim 0$
Nr.	[d]	[hh:mm:ss]	[Zahl]	[hh:mm]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]
0	19	15:49:59	0,17567	15:50	-4000	-4006	-5,58	0,00	-4	10		
1	20	12:02:35	1,01775	12:03	-4000	-3997	-7,30	-1,72	-395	11	**-395**	0,01
2	20	15:10:11	1,14803	15:10	-4000	-4021	-8,13	-0,83	-5	156	**156**	-0,02
3	20	16:54:43	1,22063	16:55	-4000	-3960	-8,47	-0,34	-119	10	**-119**	0,02
4	21	8:15:55	1,86035	08:16	-4000	-4017	-8,91	-0,44	-4	160	**160**	0,02
5	21	9:50:03	1,92572	09:50	-4000	-3996	-9,14	-0,23	-94	10	**-94**	0,00
6	21	11:20:59	1,98887	11:21	-4000	-4021	-9,33	-0,20	-4	145	**145**	-0,03
7	21	12:55:51	2,05475	12:56	-4000	-3994	-9,54	-0,20	-84	10	**-84**	0,01
8	21	14:24:57	2,11662	14:25	-4000	-4029	-9,67	-0,14	-4	148	**148**	0,02
9	21	15:56:45	2,18037	15:57	-4000	-4006	-9,82	-0,14	-96	10	**-96**	0,02
10	21	17:36:57	2,24995	17:37	-4000	-4041	-9,95	-0,13	-3	139	**139**	0,09
11	22	8:00:07	2,84938	08:00	-4000	-4008	-10,13	-0,18	-90	10	**-90**	0,00
12	22	9:23:05	2,90699	09:23	-4000	-4057	-10,27	-0,13	-3	139	**139**	-0,02
13	22	10:49:47	2,96720	10:50	-4000	-4022	-10,40	-0,13	-96	10	**-96**	-0,02
14	22	12:27:15	3,03488	12:27	-4000	-4029	-10,45	-0,05	-3	135	**135**	0,02
15	22	13:54:27	3,09544	13:54	-4000	-4003	-10,56	-0,11	-99	10	**-99**	0,00
16	22	15:29:19	3,16132	15:29	-4000	-4035	-10,60	-0,04	-2	146	**146**	-0,01
17	22	16:56:33	3,22190	16:57	-4000	-4019	-10,86	-0,26	-91	10	**-91**	0,00
18	23	7:30:03	3,82850	07:30	-4000	-4037	-10,93	-0,07	-3	160	**160**	-0,03
19	23	8:58:55	3,89021	08:59	-4000	-4011	-11,02	-0,10	-82	11	**-82**	0,01
20	23	10:38:45	3,95954	10:39	-4000	-4032	-11,09	-0,06	-3	147	**147**	-0,03

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung MWES II in den Nullstellungen von $w_{h,m}$ - Bewehrungssensoren																					
Laststufen (LS)		**Zeitpunkt**	**Zeitpunkt**	**Zeitpunkt**		**Verformungsmessungen der Bewehrungssensoren auf** *Höhe in [m ü.A.]*										**Mittelwerte je Messquerschnitt auf** *Höhe in [m ü.A.]*				
LS	Tag	MWES1	MWES1	MWES 2	Vertikalkraft	*155,28*		*151,68*		*147,88*		*144,13*		*140,38*		*155,28*	*151,68*	*147,88*	*144,13*	*140,38*
Vertikallast	NS	exakt	exakt	gerundet	Ist	BS1.1	BS1.2	BS2.1	BS2.2	BS3.1	BS3.2	BS4.1	BS4.2	BS5.1	BS5.2	MQ1	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5
Nr.	[d]	[hh:mm:ss]	[Zahl]	[hh:mm]	[kN]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]
0 - BS	19	15:49:59	0,175671296	15:50	-4006	-0,093	-0,179	-0,095	-0,115	-0,069	-0,065	-0,049	-0,041	-0,015	-0,030	-0,136	-0,105	-0,067	-0,045	-0,022
1 - BS	20	12:02:35	1,01775463	12:03	-4005	-0,084	-0,216	-0,103	-0,160	-0,091	-0,065	-0,054	-0,048	-0,020	-0,038	-0,150	-0,132	-0,078	-0,051	-0,029
2 - BS	20	15:10:11	1,148032407	15:10	-4021	-0,115	-0,204	-0,125	-0,151	-0,082	-0,084	-0,060	-0,048	-0,024	-0,043	-0,160	-0,138	-0,083	-0,054	-0,033
3 - BS	20	16:54:43	1,220625	16:55	-3961	-0,105	-0,210	-0,103	-0,174	-0,091	-0,078	-0,059	-0,050	-0,025	-0,044	-0,157	-0,138	-0,084	-0,055	-0,034
4 - BS	21	08:15:55	1,860347222	08:16	-4017	-0,113	-0,211	-0,126	-0,154	-0,085	-0,088	-0,062	-0,049	-0,026	-0,047	-0,162	-0,140	-0,086	-0,056	-0,036
5 - BS	21	09:50:03	1,925717593	09:50	-3996	-0,108	-0,215	-0,104	-0,181	-0,093	-0,084	-0,061	-0,051	-0,027	-0,048	-0,161	-0,143	-0,088	-0,056	-0,038
6 - BS	21	11:20:59	1,988865741	11:21	-4021	-0,111	-0,216	-0,115	-0,169	-0,087	-0,091	-0,063	-0,051	-0,028	-0,049	-0,163	-0,142	-0,089	-0,057	-0,039
7 - BS	21	12:55:51	2,05474537	12:56	-3994	-0,106	-0,219	-0,096	-0,192	-0,093	-0,086	-0,062	-0,052	-0,028	-0,049	-0,162	-0,144	-0,089	-0,057	-0,039
8 - BS	21	14:24:57	2,11662037	14:25	-4029	-0,111	-0,217	-0,115	-0,172	-0,088	-0,093	-0,064	-0,051	-0,029	-0,051	-0,164	-0,143	-0,090	-0,058	-0,040
9 - BS	21	15:56:45	2,18037037	15:57	-4007	-0,106	-0,221	-0,095	-0,196	-0,093	-0,088	-0,063	-0,053	-0,029	-0,051	-0,163	-0,145	-0,091	-0,058	-0,040
10 - BS	21	17:36:57	2,249953704	17:37	-4041	-0,112	-0,218	-0,120	-0,168	-0,088	-0,095	-0,064	-0,052	-0,030	-0,052	-0,165	-0,144	-0,091	-0,058	-0,041
11 - BS	22	08:00:07	2,849375	08:00	-4013	-0,109	-0,220	-0,094	-0,197	-0,095	-0,090	-0,063	-0,053	-0,029	-0,052	-0,165	-0,145	-0,092	-0,058	-0,041
12 - BS	22	09:23:05	2,906990741	09:23	-4057	-0,108	-0,225	-0,099	-0,193	-0,089	-0,098	-0,066	-0,053	-0,031	-0,054	-0,166	-0,146	-0,093	-0,059	-0,042
13 - BS	22	10:49:47	2,967199074	10:50	-4020	-0,104	-0,227	-0,086	-0,207	-0,094	-0,093	-0,065	-0,053	-0,031	-0,054	-0,166	-0,146	-0,094	-0,059	-0,043
14 - BS	22	12:27:15	3,034884259	12:27	-4026	-0,103	-0,229	-0,084	-0,205	-0,088	-0,100	-0,066	-0,053	-0,031	-0,055	-0,166	-0,145	-0,094	-0,060	-0,043
15 - BS	22	13:54:27	3,095439815	13:54	-4005	-0,105	-0,226	-0,089	-0,204	-0,094	-0,094	-0,065	-0,054	-0,031	-0,055	-0,165	-0,146	-0,094	-0,060	-0,043
16 - BS	22	15:29:19	3,161319444	15:29	-4035	-0,105	-0,228	-0,089	-0,202	-0,088	-0,101	-0,067	-0,053	-0,032	-0,056	-0,167	-0,146	-0,095	-0,060	-0,044
17 - BS	22	16:56:33	3,221898148	16:57	-4017	-0,103	-0,230	-0,082	-0,212	-0,093	-0,097	-0,066	-0,054	-0,032	-0,056	-0,166	-0,147	-0,095	-0,060	-0,044
18 - BS	23	07:30:03	3,82849537	07:30	-4037	-0,104	-0,231	-0,089	-0,201	-0,088	-0,103	-0,067	-0,053	-0,032	-0,056	-0,167	-0,145	-0,095	-0,060	-0,044
19 - BS	23	08:58:55	3,890208333	08:59	-4010	-0,101	-0,232	-0,079	-0,213	-0,093	-0,098	-0,066	-0,054	-0,032	-0,057	-0,166	-0,146	-0,095	-0,060	-0,045
20 - BS	23	10:38:45	3,959537037	10:39	-4033	-0,105	-0,229	-0,091	-0,200	-0,088	-0,103	-0,067	-0,054	-0,033	-0,058	-0,167	-0,145	-0,096	-0,061	-0,045

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung zu den Zykluszeitpunkten: MWES I - VERTIKAL und HORIZONAL												*gemessene Horizontalkräfte*				*korrigierte Horizontalkräfte*					
Zyklus Nr.	Versch. Nr.	Zyklusstufe Bezeichnung	Zeit exakt [hh:mm:ss]	Zeit exakt [Zahl]	Versuchs-dauer exakt [sek]	Dauer Zyklusstufe [hh:mm:ss]	Tag [d]	Verschiebung horizontal Soll [mm]	Zeit aufgerundet abgerundet [hh:mm]	Prüfkraft vertikal KMD1 [kN]	Verschiebung vertikal $w_{v,m}$ [mm]	H-Kraft KMD 2 IST [kN]	H-Kraft KMD 3 IST [kN]	H-Kraft KMD 2/3 maßgebend [kN]	H-Kraft Änderung [kN]	H-Kraft KMD 2 korrigiert [kN]	H-Kraft KMD 3 korrigiert [kN]	H-Kraft horizontal maßgebend [kN]	H-Kraft Änderung [%]	Verschiebung horizontal $w_{h,m}$ [mm]	Verschiebung Änderung $\Delta w_{h,m}$ [mm]
	0	V-1-4-E	15:52:09	0,177176	15308	00:00:00	19	0	15:52	-4006	-5,59	-4	10	0		0	0	0		0,00	
Zyklus 1	1	H-1-1-V-1-5-A	16:09:13	0,189028	16332	00:17:04	19	20	16:10	-3986	-5,10	-5	926	926		0	723	723		14,48	
Zyklus 1	1	H-1-1-V-1-5-E	11:02:55	0,976319	84354	18:53:42	20	20	11:02	-3997	-5,67	-5	848	848	8%	0	639	639	12%	15,10	0,62
Zyklus 1	1	H-1-2-V-1-5-A	11:19:59	0,988171	85378	00:17:04	20	5	11:20	-4011	-6,90	-4	10	10		0	0	0		5,87	
Zyklus 1	1	H-1-2-V-1-5-E	12:01:41	1,017130	87880	00:41:42	20	5	12:01	-4004	-7,04	-22	10	10		0	0	0		5,43	
Zyklus 1	1	H-1-3-V-1-5-A	12:03:01	1,018056	87960	00:01:20	20	0	12:04	-4006	-7,32	-374	11	-374		-284	0	-284		-0,15	
Zyklus 1	1	H-1-3-V-1-5-E	12:06:21	1,020370	88160	00:03:20	20	0	12:06	-4012	-7,35	-361	11	-361	4%	-270	0	-270	5%	-0,29	-0,14
Zyklus 1	2	H-1-4-V-1-5-A	12:14:37	1,026111	88656	00:08:16	20	-20	12:15	-3969	-7,87	-929	11	-929		-700	0	-700		-17,83	
Zyklus 1	2	H-1-4-V-1-5-E	14:08:49	1,105417	95508	01:54:12	20	-20	14:08	-3999	-8,08	-851	11	-851	8%	-612	0	-612	13%	-18,88	-1,05
Zyklus 1	2	H-1-5-V-1-5-A	14:20:55	1,113819	96234	00:12:06	20	-5	14:21	-4030	-8,20	-4	10	-4		0	0	0		-6,08	
Zyklus 1	2	H-1-5-V-1-5-E	15:02:37	1,142778	98736	00:41:42	20	-5	15:02	-4003	-8,32	-4	10	-4		0	0	0		-5,44	
Zyklus 1	2	H-1-6-V-1-5-A	15:07:29	1,146157	99028	00:04:52	20	0	15:08	-4021	-8,13	-5	159	159		0	69	69		-0,27	
Zyklus 1	2	H-1-6-V-1-5-E	15:09:01	1,147222	99120	00:01:32	20	0	15:09	-4021	-8,13	-5	154	154	3%	0	64	64	7%	-0,21	0,06
Zyklus 2	3	H-2-1-V-1-5-A	15:21:23	1,155810	99862	00:12:22	20	20	15:22	-4042	-6,51	-6	1000	1000		0	757	757		19,03	
Zyklus 2	3	H-2-1-V-1-5-E	16:23:01	1,198611	103560	01:01:38	20	20	16:23	-4023	-6,51	-5	958	958	4%	0	709	709	6%	19,82	0,79
Zyklus 2	3	H-2-2-V-1-5-A	16:42:53	1,212407	104752	00:19:52	20	5	16:43	-3964	-8,23	-3	9	9		0	0	0		4,13	
Zyklus 2	3	H-2-2-V-1-5-E	16:52:17	1,218935	105316	00:09:24	20	5	16:52	-3960	-8,27	-4	9	9		0	0	0		3,89	
Zyklus 2	3	H-2-3-V-1-5-A	16:54:59	1,220810	105478	00:02:42	20	0	16:55	-3961	-8,48	-126	10	-126		-37	0	-37		-0,25	
Zyklus 2	3	H-2-3-V-1-5-E	16:57:09	1,222315	105608	00:02:10	20	0	16:57	-3964	-8,50	-118	10	-118	7%	-28	0	-28	25%	-0,35	-0,10
Zyklus 2	4	H-2-4-V-1-5-A	17:05:55	1,228403	106134	00:08:46	20	-20	17:06	-3963	-8,90	-858	11	-858		-609	0	-609		-20,47	
Zyklus 2	4	H-2-4-V-1-5-E	07:28:47	1,827616	157906	14:22:52	21	-20	07:28	-3965	-9,07	-796	10	-796	7%	-541	0	-541	11%	-21,10	-0,63
Zyklus 2	4	H-2-5-V-1-5-A	07:38:13	1,834167	158472	00:09:26	21	-5	07:39	-4015	-9,10	-6	10	-6		0	0	0		-7,09	
Zyklus 2	4	H-2-5-V-1-5-E	07:54:01	1,845139	159420	00:15:48	21	-5	07:54	-4014	-9,13	-9	10	-9		0	0	0		-6,65	
Zyklus 2	4	H-2-6-V-1-5-A	08:02:09	1,850787	159908	00:08:08	21	0	08:03	-4022	-8,90	-4	161	161		0	70	70		-0,27	
Zyklus 2	4	H-2-6-V-1-5-E	08:15:37	1,860139	160716	00:13:28	21	0	08:15	-4018	-8,91	-4	152	152	6%	0	62	62	11%	-0,16	0,12
Zyklus 3	5	H-3-1-V-1-5-A	08:25:51	1,867245	161330	00:10:14	21	20	08:26	-4045	-7,22	-5	956	956		0	705	705		19,97	
Zyklus 3	5	H-3-1-V-1-5-E	09:32:31	1,913542	165330	01:06:40	21	20	09:32	-4023	-7,22	-5	919	919	4%	0	667	667	5%	20,38	0,41
Zyklus 3	5	H-3-2-V-1-5-A	09:40:57	1,919398	165836	00:08:26	21	5	09:41	-3997	-8,93	-3	10	10		0	0	0		3,49	
Zyklus 3	5	H-3-2-V-1-5-E	09:48:29	1,924630	166288	00:07:32	21	5	09:48	-3996	-8,98	-3	10	10		0	0	0		3,17	
Zyklus 3	5	H-3-3-V-1-5-A	09:50:17	1,925880	166396	00:01:48	21	0	09:51	-3997	-9,15	-101	10	-101		-11	0	-11		-0,21	
Zyklus 3	5	H-3-3-V-1-5-E	09:52:21	1,927315	166520	00:02:04	21	0	09:52	-4001	-9,17	-94	10	-94	6%	-3	0	-3	73%	-0,43	-0,22
Zyklus 3	6	H-3-4-V-1-5-A	09:59:25	1,932222	166944	00:07:04	21	-20	10:00	-3980	-9,57	-794	12	-794		-541	0	-541		-20,80	
Zyklus 3	6	H-3-4-V-1-5-E	11:05:39	1,978218	170918	01:06:14	21	-20	11:05	-3959	-9,63	-761	11	-761	4%	-506	0	-506	7%	-21,21	-0,41
Zyklus 3	6	H-3-5-V-1-5-A	11:11:13	1,982083	171252	00:05:34	21	-5	11:12	-4013	-9,55	-3	10	-3		0	0	0		-6,63	
Zyklus 3	6	H-3-5-V-1-5-E	11:17:19	1,986319	171618	00:06:06	21	-5	11:17	-4007	-9,56	-3	10	-3		0	0	0		-6,30	
Zyklus 3	6	H-3-6-V-1-5-A	11:19:31	1,987847	171750	00:02:12	21	0	11:20	-4022	-9,34	-4	149	149		0	59	59		-0,26	
Zyklus 3	6	H-3-6-V-1-5-E	11:21:01	1,988889	171840	00:01:30	21	0	11:21	-4021	-9,32	-4	144	144	3%	0	55	55	6%	0,10	0,36

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung zu den Zykluszeitpunkten: MWES I - VERTIKAL und HORIZONAL												*gemessene Horizontalkräfte*				*korrigierte Horizontalkräfte*					
Zyklus Nr.	Versch. Nr.	Zyklusstufe Bezeichnung	Zeit exakt [hh:mm:ss]	Zeit exakt [Zahl]	Versuchs-dauer exakt [sek]	Dauer Zyklusstufe [hh:mm:ss]	Tag [d]	Verschiebung horizontal Soll [mm]	Zeit aufgerundet abgerundet [hh:mm]	Prüfkraft vertikal KMD1 [kN]	Verschiebung vertikal $w_{v,m}$ [mm]	H-Kraft KMD 2 IST [kN]	H-Kraft KMD 3 IST [kN]	H-Kraft KMD 2/3 maßgebend [kN]	H-Kraft Änderung [kN]	H-Kraft KMD 2 korrigiert [kN]	H-Kraft KMD 3 korrigiert [kN]	H-Kraft horizontal maßgebend [kN]	H-Kraft Änderung [%]	Verschiebung horizontal $w_{h,m}$ [mm]	Verschiebung Änderung $\Delta w_{h,m}$ [mm]
Zyklus 4	7	H-4-1-V-1-5-A	11:28:01	1,993750	172260	00:07:00	21	20	11:29	-4045	-7,70	-5	865	865		0	615	615		19,92	
Zyklus 4	7	H-4-1-V-1-5-E	12:27:39	2,035162	175838	00:59:38	21	20	12:27	-4024	-7,70	-5	836	836	3%	0	584	584	5%	20,24	0,32
Zyklus 4	7	H-4-2-V-1-5-A	12:33:05	2,038935	176164	00:05:26	21	5	12:34	-4003	-9,31	-3	10	10		0	0	0		3,59	
Zyklus 4	7	H-4-2-V-1-5-E	12:54:33	2,053843	177452	00:21:28	21	5	12:54	-3996	-9,40	-3	10	10		0	0	0		3,08	
Zyklus 4	7	H-4-3-V-1-5-A	12:56:13	2,055000	177552	00:01:40	21	0	12:57	-3997	-9,55	-95	10	-95		-4	0	-4		-0,33	
Zyklus 4	7	H-4-3-V-1-5-E	12:57:19	2,055764	177618	00:01:06	21	0	12:57	-4000	-9,56	-91	10	-91	4%	0	0	0	97%	-0,36	-0,04
Zyklus 4	8	H-4-4-V-1-5-A	13:03:41	2,060185	178000	00:06:22	21	-20	13:04	-3986	-9,96	-767	12	-767		-513	0	-513		-20,87	
Zyklus 4	8	H-4-4-V-1-5-E	14:04:21	2,102315	181640	01:00:40	21	-20	14:04	-3976	-10,00	-735	11	-735	4%	-479	0	-479	7%	-21,23	-0,36
Zyklus 4	8	H-4-5-V-1-5-A	14:11:15	2,107106	182054	00:06:54	21	-5	14:12	-4025	-9,91	-3	10	-3		0	0	0		-6,74	
Zyklus 4	8	H-4-5-V-1-5-E	14:21:25	2,114167	182664	00:10:10	21	-5	14:21	-4016	-9,92	-3	10	-3		0	0	0		-6,40	
Zyklus 4	8	H-4-6-V-1-5-A	14:23:31	2,115625	182790	00:02:06	21	0	14:24	-4030	-9,69	-4	150	150		0	60	60		-0,28	
Zyklus 4	8	H-4-6-V-1-5-E	14:24:55	2,116597	182874	00:01:24	21	0	14:24	-4029	-9,68	-4	147	147	3%	0	57	57	4%	-0,10	0,18
Zyklus 5	9	H-5-1-V-1-5-A	14:31:39	2,121273	183278	00:06:44	21	20	14:32	-4053	-8,06	-5	851	851		0	601	601		19,86	
Zyklus 5	9	H-5-1-V-1-5-E	15:38:33	2,167731	187292	01:06:54	21	20	15:38	-4043	-8,06	-5	819	819	4%	0	567	567	6%	20,16	0,30
Zyklus 5	9	H-5-2-V-1-5-A	15:45:15	2,172384	187694	00:06:42	21	5	15:46	-4015	-9,61	-3	10	10		0	0	0		3,94	
Zyklus 5	9	H-5-2-V-1-5-E	15:55:03	2,179190	188282	00:09:48	21	5	15:55	-4010	-9,65	-3	10	10		0	0	0		3,64	
Zyklus 5	9	H-5-3-V-1-5-A	15:57:37	2,180972	188436	00:02:34	21	0	15:58	-4009	-9,84	-103	10	-103		-12	0	-12		-0,30	
Zyklus 5	9	H-5-3-V-1-5-E	16:01:01	2,183333	188640	00:03:24	21	0	16:01	-4011	-9,85	-98	10	-98	5%	-7	0	-7	48%	-0,36	-0,07
Zyklus 5	10	H-5-4-V-1-5-A	16:07:29	2,187824	189028	00:06:28	21	-20	16:08	-3993	-10,26	-757	12	-757		-502	0	-502		-20,90	
Zyklus 5	10	H-5-4-V-1-5-E	17:12:41	2,233102	192940	01:05:12	21	-20	17:12	-3991	-10,30	-725	11	-725	4%	-467	0	-467	7%	-21,23	-0,33
Zyklus 5	10	H-5-5-V-1-5-A	17:19:11	2,237616	193330	00:06:30	21	-5	17:20	-4038	-10,19	-3	10	-3		0	0	0		-6,75	
Zyklus 5	10	H-5-5-V-1-5-E	17:29:41	2,244907	193960	00:10:30	21	-5	17:29	-4030	-10,20	-3	10	-3		0	0	0		-6,43	
Zyklus 5	10	H-5-6-V-1-5-A	17:32:35	2,246921	194134	00:02:54	21	0	17:33	-4043	-9,96	-3	143	143		0	52	52		-0,27	
Zyklus 5	10	H-5-6-V-1-5-E	17:36:51	2,249884	194390	00:04:16	21	0	17:36	-4041	-9,96	-3	138	138	4%	0	47	47	10%	-0,20	0,08
Zyklus 6	11	H-6-1-V-1-5-A	17:44:47	2,255394	194866	00:07:56	21	20	17:45	-4068	-8,38	-5	805	805		0	555	555		19,75	
Zyklus 6	11	H-6-1-V-1-5-E	07:39:23	2,834977	244942	13:54:36	22	20	07:39	-4035	-8,43	-5	771	771	4%	0	520	520	6%	20,12	0,37
Zyklus 6	11	H-6-2-V-1-5-A	07:48:59	2,841644	245518	00:09:36	22	5	07:49	-4020	-9,90	-3	9	9		0	0	0		4,48	
Zyklus 6	11	H-6-2-V-1-5-E	07:59:43	2,849097	246162	00:10:44	22	5	07:59	-4018	-9,95	-3	10	10		0	0	0		4,19	
Zyklus 6	11	H-6-3-V-1-5-A	08:00:35	2,849699	246214	00:00:52	22	0	08:01	-4019	-10,15	-116	10	-116		-26	0	-26		-0,27	
Zyklus 6	11	H-6-3-V-1-5-E	08:02:25	2,850972	246324	00:01:50	22	0	08:02	-4029	-10,16	-108	10	-108	7%	-17	0	-17	33%	-0,33	-0,06
Zyklus 6	12	H-6-4-V-1-5-A	08:07:17	2,854352	246616	00:04:52	22	-20	08:08	-4017	-10,58	-745	11	-745		-493	0	-493		-20,28	
Zyklus 6	12	H-6-4-V-1-5-E	09:06:51	2,895718	250190	00:59:34	22	-20	09:06	-4003	-10,62	-709	11	-709	5%	-453	0	-453	8%	-20,93	-0,65
Zyklus 6	12	H-6-5-V-1-5-A	09:11:39	2,899051	250478	00:04:48	22	-5	09:12	-4050	-10,49	-3	10	-3		0	0	0		-6,43	
Zyklus 6	12	H-6-5-V-1-5-E	09:16:37	2,902500	250776	00:04:58	22	-5	09:16	-4047	-10,50	-3	9	-3	-2%	0	0	0		-6,14	
Zyklus 6	12	H-6-6-V-1-5-A	09:20:49	2,905417	251028	00:04:12	22	0	09:21	-4058	-10,28	-3	142	142		0	50	50		-0,30	
Zyklus 6	12	H-6-6-V-1-5-E	09:22:59	2,906921	251158	00:02:10	22	0	09:22	-4057	-10,28	-3	139	139	2%	0	48	48	5%	-0,21	0,08

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung zu den Zykluszeitpunkten: MWES I - VERTIKAL und HORIZONAL												*gemessene Horizontalkräfte*				*korrigierte Horizontalkräfte*					
Zyklus Nr.	Versch. Nr.	Zyklusstufe Bezeichnung	Zeit exakt [hh:mm:ss]	Zeit exakt [Zahl]	Versuchs-dauer exakt [sek]	Dauer Zyklusstufe [hh:mm:ss]	Tag [d]	Verschiebung horizontal Soll [mm]	Zeit aufgerundet abgerundet [hh:mm]	Prüfkraft vertikal KMD1 [kN]	Verschiebung vertikal $w_{v,m}$ [mm]	H-Kraft KMD 2 IST [kN]	H-Kraft KMD 3 IST [kN]	H-Kraft KMD 2/3 maßgebend [kN]	H-Kraft Änderung [kN]	H-Kraft KMD 2 korrigiert [kN]	H-Kraft KMD 3 korrigiert [kN]	H-Kraft horizontal maßgebend [kN]	H-Kraft Änderung [%]	Verschiebung horizontal $w_{h,m}$ [mm]	Verschiebung Änderung $\Delta w_{h,m}$ [mm]
Zyklus 7	13	H-7-1-V-1-5-A	09:30:09	2,911898	251588	00:07:10	22	20	09:31	-4083	-8,67	-5	833	833		0	581	581		19,83	
Zyklus 7	13	H-7-1-V-1-5-E	10:32:37	2,955278	255336	01:02:28	22	20	10:32	-4069	-8,69	-5	807	807	3%	0	554	554	5%	20,12	0,30
Zyklus 7	13	H-7-2-V-1-5-A	10:39:43	2,960208	255762	00:07:06	22	5	10:40	-4045	-10,18	-3	10	10		0	0	0		4,19	
Zyklus 7	13	H-7-2-V-1-5-E	10:47:51	2,965856	256250	00:08:08	22	5	10:47	-4038	-10,22	-3	10	10		0	0	0		3,87	
Zyklus 7	13	H-7-3-V-1-5-A	10:49:59	2,967338	256378	00:02:08	22	0	10:50	-4020	-10,41	-108	10	-108		-18	0	-18		-0,28	
Zyklus 7	13	H-7-3-V-1-5-E	10:56:07	2,971597	256746	00:06:08	22	0	10:56	-4019	-10,42	-99	10	-99	9%	-8	0	-8	57%	-0,35	-0,07
Zyklus 7	14	H-7-4-V-1-5-A	11:06:41	2,978935	257380	00:10:34	22	-20	11:07	-3978	-10,81	-741	11	-741		-492	0	-492		-20,37	
Zyklus 7	14	H-7-4-V-1-5-E	12:10:53	3,023519	261232	01:04:12	22	-20	12:10	-3967	-10,84	-714	11	-714	4%	-460	0	-460	6%	-21,03	-0,66
Zyklus 7	14	H-7-5-V-1-5-A	12:18:23	3,028727	261682	00:07:30	22	-5	12:19	-4018	-10,70	-2	10	-2		0	0	0		-6,51	
Zyklus 7	14	H-7-5-V-1-5-E	12:25:29	3,033657	262108	00:07:06	22	-5	12:25	-4015	-10,71	-2	10	-2		0	0	0		-6,25	
Zyklus 7	14	H-7-6-V-1-5-A	12:27:27	3,035023	262226	00:01:58	22	0	12:28	-4031	-10,44	-3	149	149		0	59	59		0,15	
Zyklus 7	14	H-7-6-V-1-5-E	12:29:01	3,036111	262320	00:01:34	22	0	12:29	-4030	-10,45	-3	142	142	4%	0	52	52	12%	0,21	0,06
Zyklus 8	15	H-8-1-V-1-5-A	12:35:57	3,040926	262736	00:06:56	22	20	12:36	-4057	-8,90	-5	792	792		0	545	545		19,46	
Zyklus 8	15	H-8-1-V-1-5-E	13:39:19	3,084931	266538	01:03:22	22	20	13:39	-4044	-8,91	-4	762	762	4%	0	513	513	6%	19,78	0,32
Zyklus 8	15	H-8-2-V-1-5-A	13:44:45	3,088704	266864	00:05:26	22	5	13:45	-4024	-10,35	-2	10	10		0	0	0		4,14	
Zyklus 8	15	H-8-2-V-1-5-E	13:52:15	3,093912	267314	00:07:30	22	5	13:52	-4019	-10,38	-2	10	10		0	0	0		3,87	
Zyklus 8	15	H-8-3-V-1-5-A	13:55:25	3,096111	267504	00:03:10	22	0	13:56	-4003	-10,57	-105	10	-105		-14	0	-14		-0,28	
Zyklus 8	15	H-8-3-V-1-5-E	13:57:01	3,097222	267600	00:01:36	22	0	13:57	-4003	-10,57	-101	10	-101	4%	-10	0	-10	29%	-0,32	-0,04
Zyklus 8	16	H-8-4-V-1-5-A	14:06:25	3,103750	268164	00:09:24	22	-20	14:07	-3977	-10,99	-727	11	-727		-475	0	-475		-20,73	
Zyklus 8	16	H-8-4-V-1-5-E	15:02:31	3,142708	271530	00:56:06	22	-20	15:02	-3973	-11,01	-705	11	-705	3%	-451	0	-451	5%	-20,95	-0,22
Zyklus 8	16	H-8-5-V-1-5-A	15:16:05	3,152130	272344	00:13:34	22	-5	15:17	-4024	-10,86	-2	10	-2		0	0	0		-6,62	
Zyklus 8	16	H-8-5-V-1-5-E	15:23:35	3,157338	272794	00:07:30	22	-5	15:23	-4021	-10,86	-2	10	-2		0	0	0		-6,27	
Zyklus 8	16	H-8-6-V-1-5-A	15:26:53	3,159630	272992	00:03:18	22	0	15:27	-4036	-10,61	-2	151	151		0	60	60		-0,26	
Zyklus 8	16	H-8-6-V-1-5-E	15:29:13	3,161250	273132	00:02:20	22	0	15:29	-4035	-10,62	-2	146	146	3%	0	56	56	8%	-0,20	0,06
Zyklus 9	17	H-9-1-V-1-5-A	15:36:29	3,166296	273568	00:07:16	22	20	15:37	-4065	-9,05	-4	804	804		0	556	556		19,52	
Zyklus 9	17	H-9-1-V-1-5-E	16:40:55	3,211042	277434	01:04:26	22	20	16:40	-4064	-9,21	-4	775	775	4%	0	525	525	6%	19,78	0,26
Zyklus 9	17	H-9-2-V-1-5-A	16:46:21	3,214815	277760	00:05:26	22	5	16:47	-4039	-10,66	-2	10	10		0	0	0		3,85	
Zyklus 9	17	H-9-2-V-1-5-E	16:54:41	3,220602	278260	00:08:20	22	5	16:54	-4034	-10,70	-2	10	10		0	0	0		3,61	
Zyklus 9	17	H-9-3-V-1-5-A	16:57:41	3,222685	278440	00:03:00	22	0	16:58	-4016	-10,87	-99	10	-99		-9	0	-9		-0,28	
Zyklus 9	17	H-9-3-V-1-5-E	16:59:13	3,223750	278532	00:01:32	22	0	16:59	-4016	-10,87	-96	10	-96	3%	-6	0	-6	36%	-0,31	-0,03
Zyklus 9	18	H-9-4-V-1-5-A	17:07:53	3,229769	279052	00:08:40	22	-20	17:08	-3982	-11,29	-721	11	-721		-471	0	-471		-20,35	
Zyklus 9	18	H-9-4-V-1-5-E	07:10:05	3,814630	329584	14:02:12	23	-20	07:10	-3980	-11,36	-668	11	-668	7%	-412	0	-412	13%	-21,11	-0,76
Zyklus 9	18	H-9-5-V-1-5-A	07:17:13	3,819583	330012	00:07:08	23	-5	07:18	-4022	-11,21	-3	10	-3		0	0	0		-7,37	
Zyklus 9	18	H-9-5-V-1-5-E	07:24:21	3,824537	330440	00:07:08	23	-5	07:24	-4019	-11,21	-3	10	-3		0	0	0		-7,09	
Zyklus 9	18	H-9-6-V-1-5-A	07:27:29	3,826713	330628	00:03:08	23	0	07:28	-4037	-10,93	-4	161	161		0	70	70		-0,26	
Zyklus 9	18	H-9-6-V-1-5-E	07:29:49	3,828333	330768	00:02:20	23	0	07:29	-4037	-10,94	-3	154	154	4%	0	63	63	9%	-0,19	0,07

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung zu den Zykluszeitpunkten: MWES I - VERTIKAL und HORIZONAL												*gemessene Horizontalkräfte*				*korrigierte Horizontalkräfte*					
Zyklus Nr.	Versch. Nr.	Zyklusstufe Bezeichnung	Zeit exakt [hh:mm:ss]	Zeit exakt [Zahl]	Versuchs-dauer exakt [sek]	Dauer Zyklusstufe [hh:mm:ss]	Tag [d]	Verschiebung horizontal Soll [mm]	Zeit aufgerundet abgerundet [hh:mm]	Prüfkraft vertikal KMD1 [kN]	Verschiebung vertikal $w_{v,m}$ [mm]	H-Kraft KMD 2 IST [kN]	H-Kraft KMD 3 IST [kN]	H-Kraft KMD 2/3 maßgebend [kN]	H-Kraft Änderung [kN]	H-Kraft KMD 2 korrigiert [kN]	H-Kraft KMD 3 korrigiert [kN]	H-Kraft horizontal maßgebend [kN]	H-Kraft Änderung [%]	Verschiebung horizontal $w_{h,m}$ [mm]	Verschiebung Änderung $\Delta w_{h,m}$ [mm]
Zyklus 10	19	H-10-1-V-1-5-A	07:37:25	3,833611	331224	00:07:36	23	20	07:38	-4070	-9,32	-4	834	834		0	584	584		19,69	
Zyklus 10	19	H-10-1-V-1-5-E	08:37:43	3,875486	334842	01:00:18	23	20	08:37	-4059	-9,31	-4	810	810	3%	0	557	557	5%	20,12	0,42
Zyklus 10	19	H-10-2-V-1-5-A	08:50:39	3,884468	335618	00:12:56	23	5	08:51	-4028	-10,86	-3	10	10		0	0	0		3,47	
Zyklus 10	19	H-10-2-V-1-5-E	08:56:35	3,888588	335974	00:05:56	23	5	08:56	-4025	-10,87	-3	10	10		0	0	0		3,37	
Zyklus 10	19	H-10-3-V-1-5-A	08:59:41	3,890741	336160	00:03:06	23	0	09:00	-4009	-11,04	-90	11	-90		0	0	0		-0,22	
Zyklus 10	19	H-10-3-V-1-5-E	09:01:49	3,892222	336288	00:02:08	23	0	09:01	-4008	-11,04	-86	11	-86	4%	0	0	0		-0,26	
Zyklus 10	20	H-10-4-V-1-5-A	09:13:15	3,900162	336974	00:11:26	23	-20	09:14	-3980	-11,48	-726	12	-726		-473	0	-473		-20,74	
Zyklus 10	20	H-10-4-V-1-5-E	10:16:07	3,943819	340746	01:02:52	23	-20	10:16	-3969	-11,51	-707	12	-707	3%	-453	0	-453	4%	-20,99	-0,25
Zyklus 10	20	H-10-5-V-1-5-A	10:24:03	3,949329	341222	00:07:56	23	-5	10:25	-4020	-11,35	-3	10	-3		0	0	0		-7,05	
Zyklus 10	20	H-10-5-V-1-5-E	10:32:07	3,954931	341706	00:08:04	23	-5	10:32	-4017	-11,35	-3	10	-3		0	0	0		-6,83	
Zyklus 10	20	H-10-6-V-1-5-A	10:34:19	3,956458	341838	00:02:12	23	0	10:35	-4036	-11,08	-3	163	163		0	72	72		-0,25	
Zyklus 10	20	H-10-6-V-1-5-E	10:36:19	3,957847	341958	00:02:00	23	0	10:36	-4035	-11,08	-3	158	158	3%	0	67	67	7%	-0,21	0,04

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung zu den Zykluszeitpunkten: MWES III - Absolute Biegeverformungen [mm] im Messhorizont je Zykluspunkt - Inklinometer Achse A

Zykluspunkt	Sensor:	#0	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16
	Höhe:	140,185	141,185	142,185	143,185	144,185	145,185	146,185	147,185	148,185	149,185	150,185	151,185	152,185	153,185	154,185	155,185	156,185
	Min:	*0*	*-0,14*	*-0,10*	*-0,10*	*-0,04*	*-0,04*	*-0,04*	*-0,04*	*-0,04*	*-0,04*	*-0,04*	*-1,33*	*-1,33*	*-4,32*	*-9,46*	*-15,06*	*-21,57*
	Max:	*0*	*0,00*	*0,01*	*0,06*	*0,43*	*0,59*	*0,44*	*1,12*	*1,31*	*1,25*	*1,30*	*1,93*	*4,07*	*6,55*	*10,03*	*15,58*	*21,93*
0	V-1-4-E	0	-0,09	-0,04	-0,04	0,27	0,45	0,32	0,76	0,85	0,76	0,76	0,64	0,82	0,57	0,00	0,03	-0,29
1	H-1-1-V-1-5-A	0	-0,02	-0,02	-0,02	-0,04	-0,07	-0,14	-0,16	-0,23	-0,28	-0,12	0,40	1,73	3,70	6,66	10,79	15,70
2	H-1-1-V-1-5-E	0	0,00	0,01	0,01	-0,03	-0,08	-0,16	-0,16	-0,20	-0,18	0,04	0,66	2,16	4,25	7,33	11,57	16,69
3	H-1-2-V-1-5-A	0	-0,02	-0,02	-0,02	-0,06	-0,12	-0,17	-0,19	-0,16	-0,07	0,15	0,55	1,32	2,24	3,27	4,67	6,39
4	H-1-2-V-1-5-E	0	-0,02	-0,02	-0,02	-0,04	-0,10	-0,14	-0,16	-0,11	-0,02	0,20	0,60	1,32	2,21	3,17	4,49	6,11
5	H-1-3-V-1-5-A	0	0,00	-0,02	-0,02	-0,06	-0,12	-0,14	-0,19	-0,11	-0,01	0,16	0,33	0,45	0,52	0,35	0,12	0,00
6	H-1-3-V-1-5-E	0	-0,02	-0,04	-0,04	-0,06	-0,12	-0,14	-0,19	-0,11	-0,01	0,16	0,33	0,44	0,51	0,33	0,10	-0,04
7	H-1-4-V-1-5-A	0	-0,02	-0,06	-0,06	-0,08	-0,13	-0,08	-0,13	0,00	0,09	0,08	-0,33	-1,62	-3,80	-7,56	-12,55	-18,02
8	H-1-4-V-1-5-E	0	0,00	-0,02	-0,01	0,00	-0,03	0,03	-0,02	0,13	0,20	0,12	-0,35	-1,74	-4,05	-7,99	-13,17	-18,92
9	H-1-5-V-1-5-A	0	0,00	0,00	0,01	0,02	-0,01	0,02	0,09	0,15	0,13	0,01	-0,28	-0,70	-1,46	-2,64	-3,76	-4,96
10	H-1-5-V-1-5-E	0	0,00	0,00	0,01	0,02	-0,01	0,02	0,09	0,15	0,13	0,03	-0,24	-0,58	-1,26	-2,31	-3,28	-4,29
11	H-1-6-V-1-5-A	0	0,00	0,00	0,01	0,02	-0,01	-0,01	0,06	0,11	0,09	0,06	0,03	0,27	0,39	0,44	0,77	1,17
12	H-1-6-V-1-5-E	0	0,00	0,00	0,01	0,01	-0,02	-0,02	0,05	0,10	0,08	0,05	0,04	0,28	0,40	0,47	0,80	1,20
1	H-2-1-V-1-5-A	0	0,00	0,00	0,01	-0,01	-0,06	-0,11	-0,11	-0,13	-0,15	0,01	0,61	2,35	4,96	8,98	14,57	21,10
2	H-2-1-V-1-5-E	0	0,00	0,00	0,01	0,01	-0,05	-0,10	-0,08	-0,10	-0,12	0,07	0,71	2,50	5,16	9,20	14,74	21,24
3	H-2-2-V-1-5-A	0	0,00	0,00	0,01	-0,01	-0,07	-0,11	-0,11	-0,06	-0,01	0,16	0,44	1,04	1,71	2,34	3,33	4,59
4	H-2-2-V-1-5-E	0	-0,02	-0,02	-0,01	-0,01	-0,07	-0,09	-0,09	-0,04	0,03	0,19	0,47	1,03	1,67	2,26	3,18	4,35
5	H-2-3-V-1-5-A	0	0,00	-0,02	-0,01	-0,01	-0,07	-0,07	-0,09	-0,01	0,04	0,13	0,20	0,29	0,29	0,05	-0,01	0,10
6	H-2-3-V-1-5-E	0	-0,02	-0,04	-0,03	-0,03	-0,09	-0,09	-0,11	-0,05	0,00	0,09	0,14	0,21	0,21	-0,04	-0,12	-0,02
7	H-2-4-V-1-5-A	0	0,00	-0,04	-0,03	-0,02	-0,08	-0,03	-0,08	0,05	0,12	0,04	-0,47	-1,98	-4,52	-8,85	-14,43	-20,55
8	H-2-4-V-1-5-E	0	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,01	0,07	0,04	0,19	0,24	0,12	-0,44	-2,05	-4,71	-9,18	-14,86	-21,12
9	H-2-5-V-1-5-A	0	0,00	0,00	0,03	0,06	0,05	0,08	0,17	0,25	0,23	0,08	-0,27	-0,74	-1,68	-3,08	-4,41	-5,83
10	H-2-5-V-1-5-E	0	0,00	0,01	0,04	0,07	0,06	0,09	0,18	0,26	0,24	0,09	-0,25	-0,69	-1,58	-2,93	-4,19	-5,51
11	H-2-6-V-1-5-A	0	0,00	0,01	0,04	0,07	0,04	0,05	0,14	0,20	0,20	0,17	0,16	0,47	0,57	0,54	0,82	1,17
12	H-2-6-V-1-5-E	0	0,00	0,01	0,04	0,07	0,04	0,05	0,14	0,20	0,20	0,19	0,19	0,52	0,62	0,62	0,92	1,29
1	H-3-1-V-1-5-A	0	0,00	0,00	0,03	0,04	-0,01	-0,05	-0,02	-0,01	0,01	0,20	0,85	2,72	5,44	9,53	15,19	21,76
2	H-3-1-V-1-5-E	0	0,02	0,03	0,06	0,06	0,01	-0,03	0,00	0,00	0,02	0,23	0,92	2,84	5,63	9,79	15,51	22,18
3	H-3-2-V-1-5-A	0	0,00	0,00	0,03	0,04	-0,02	-0,04	-0,02	0,04	0,11	0,27	0,53	1,11	1,68	2,17	2,99	4,08
4	H-3-2-V-1-5-E	0	0,00	0,00	0,01	0,01	-0,05	-0,07	-0,07	-0,01	0,06	0,22	0,46	1,01	1,53	1,94	2,70	3,68
5	H-3-3-V-1-5-A	0	0,00	0,00	0,03	0,04	-0,02	-0,02	-0,02	0,06	0,11	0,20	0,25	0,37	0,37	0,08	0,02	0,12
6	H-3-3-V-1-5-E	0	0,00	0,00	0,01	0,02	-0,03	-0,03	-0,03	0,05	0,10	0,19	0,24	0,36	0,36	0,07	0,01	0,11
7	H-3-4-V-1-5-A	0	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,03	0,03	0,00	0,15	0,22	0,12	-0,42	-1,96	-4,60	-9,07	-14,66	-20,78
8	H-3-4-V-1-5-E	0	0,00	-0,02	0,01	0,01	-0,04	0,02	-0,03	0,12	0,17	0,05	-0,53	-2,14	-4,83	-9,33	-14,97	-21,16
9	H-3-5-V-1-5-A	0	0,00	0,01	0,04	0,07	0,04	0,07	0,17	0,25	0,25	0,12	-0,22	-0,64	-1,53	-2,86	-4,09	-5,37
10	H-3-5-V-1-5-E	0	0,00	0,00	0,03	0,04	0,01	0,04	0,14	0,22	0,22	0,09	-0,25	-0,64	-1,50	-2,80	-3,98	-5,20
11	H-3-6-V-1-5-A	0	0,00	0,01	0,04	0,05	0,02	0,02	0,12	0,18	0,20	0,19	0,18	0,47	0,54	0,46	0,71	1,05
12	H-3-6-V-1-5-E	0	0,00	0,01	0,04	0,05	0,02	0,02	0,12	0,18	0,20	0,19	0,19	0,53	0,67	0,69	1,05	1,51

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung zu den Zykluszeitpunkten: MWES III - Absolute Biegeverformungen [mm] im Messhorizont je Zykluspunkt - Inklinometer Achse A

Zykluspunkt	Sensor:	#0	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16
	Höhe:	140,185	141,185	142,185	143,185	144,185	145,185	146,185	147,185	148,185	149,185	150,185	151,185	152,185	153,185	154,185	155,185	156,185
	Min:	*0*	*-0,14*	*-0,10*	*-0,10*	*-0,04*	*-0,04*	*-0,04*	*-0,04*	*-0,04*	*-0,04*	*-0,04*	*-1,33*	*-1,33*	*-4,32*	*-9,46*	*-15,06*	*-21,57*
	Max:	*0*	*0,00*	*0,01*	*0,06*	*0,43*	*0,59*	*0,44*	*1,12*	*1,31*	*1,25*	*1,30*	*1,93*	*4,07*	*6,55*	*10,03*	*15,58*	*21,93*
1	H-4-1-V-1-5-A	0	0,00	0,01	0,04	0,05	-0,01	-0,06	-0,01	0,00	0,03	0,24	0,94	2,86	5,60	9,62	15,13	21,51
2	H-4-1-V-1-5-E	0	0,00	0,00	0,03	0,03	-0,03	-0,08	-0,03	-0,02	0,01	0,25	0,97	2,93	5,70	9,77	15,33	21,78
3	H-4-2-V-1-5-A	0	0,00	0,00	0,03	0,03	-0,03	-0,05	-0,03	0,05	0,12	0,28	0,54	1,12	1,67	2,09	2,88	3,92
4	H-4-2-V-1-5-E	0	0,00	0,00	0,03	0,04	-0,02	-0,04	-0,02	0,06	0,13	0,29	0,53	1,06	1,56	1,92	2,63	3,56
5	H-4-3-V-1-5-A	0	0,00	0,00	0,03	0,03	-0,03	-0,03	-0,03	0,05	0,12	0,21	0,26	0,38	0,35	0,03	-0,07	-0,01
6	H-4-3-V-1-5-E	0	0,00	0,00	0,03	0,03	-0,03	-0,03	-0,03	0,05	0,12	0,21	0,26	0,38	0,35	0,03	-0,07	-0,01
7	H-4-4-V-1-5-A	0	0,00	-0,02	-0,01	-0,01	-0,06	-0,01	-0,06	0,09	0,16	0,06	-0,50	-2,04	-4,72	-9,20	-14,76	-20,85
8	H-4-4-V-1-5-E	0	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,03	0,03	0,00	0,15	0,20	0,08	-0,51	-2,12	-4,85	-9,38	-14,99	-21,14
9	H-4-5-V-1-5-A	0	0,00	0,00	0,03	0,04	0,01	0,02	0,12	0,20	0,20	0,07	-0,28	-0,72	-1,63	-3,00	-4,25	-5,55
10	H-4-5-V-1-5-E	0	0,00	0,01	0,04	0,05	0,02	0,03	0,13	0,21	0,21	0,08	-0,26	-0,65	-1,53	-2,85	-4,03	-5,25
11	H-4-6-V-1-5-A	0	0,00	0,01	0,04	0,05	0,00	0,00	0,10	0,16	0,18	0,17	0,16	0,49	0,54	0,47	0,72	1,06
12	H-4-6-V-1-5-E	0	0,00	0,01	0,04	0,05	0,00	0,00	0,10	0,16	0,18	0,17	0,16	0,49	0,54	0,47	0,72	1,06
1	H-5-1-V-1-5-A	0	0,00	0,00	0,03	0,03	-0,03	-0,08	-0,03	-0,02	0,01	0,23	0,93	2,87	5,61	9,63	15,10	21,43
2	H-5-1-V-1-5-E	0	0,00	0,01	0,04	0,04	-0,02	-0,07	-0,02	-0,01	0,02	0,26	1,00	2,99	5,78	9,85	15,37	21,77
3	H-5-2-V-1-5-A	0	0,00	0,00	0,03	0,03	-0,03	-0,05	-0,02	0,06	0,13	0,30	0,59	1,24	1,84	2,36	3,25	4,39
4	H-5-2-V-1-5-E	0	0,00	0,00	0,03	0,03	-0,03	-0,05	-0,03	0,05	0,12	0,28	0,56	1,18	1,77	2,24	3,06	4,15
5	H-5-3-V-1-5-A	0	0,00	0,00	0,01	0,01	-0,05	-0,05	-0,05	0,05	0,12	0,21	0,26	0,40	0,37	0,07	-0,01	0,07
6	H-5-3-V-1-5-E	0	0,00	0,00	0,03	0,04	-0,02	-0,02	-0,02	0,08	0,15	0,24	0,29	0,41	0,38	0,06	-0,04	0,02
7	H-5-4-V-1-5-A	0	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,04	0,01	-0,02	0,13	0,20	0,08	-0,50	-2,04	-4,73	-9,25	-14,81	-20,88
8	H-5-4-V-1-5-E	0	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,03	0,03	0,00	0,15	0,22	0,09	-0,52	-2,13	-4,87	-9,40	-14,99	-21,11
9	H-5-5-V-1-5-A	0	0,00	0,00	0,03	0,06	0,03	0,04	0,16	0,24	0,24	0,11	-0,26	-0,68	-1,61	-2,99	-4,24	-5,52
10	H-5-5-V-1-5-E	0	0,00	0,01	0,04	0,07	0,04	0,05	0,17	0,25	0,25	0,12	-0,23	-0,62	-1,51	-2,84	-4,02	-5,24
11	H-5-6-V-1-5-A	0	0,00	0,01	0,04	0,07	0,02	0,02	0,14	0,20	0,22	0,21	0,20	0,53	0,58	0,50	0,75	1,10
12	H-5-6-V-1-5-E	0	0,00	0,01	0,04	0,05	0,00	0,00	0,12	0,20	0,22	0,21	0,20	0,53	0,58	0,51	0,77	1,12
1	H-6-1-V-1-5-A	0	0,00	0,00	0,03	0,03	-0,03	-0,08	-0,01	0,02	0,05	0,29	1,01	2,97	5,69	9,66	15,05	21,28
2	H-6-1-V-1-5-E	0	0,02	0,03	0,06	0,04	-0,04	-0,09	-0,02	0,01	0,06	0,33	1,10	3,14	5,93	9,95	15,41	21,74
3	H-6-2-V-1-5-A	0	0,02	0,03	0,06	0,06	0,00	-0,04	0,01	0,09	0,18	0,35	0,66	1,39	2,08	2,74	3,78	5,11
4	H-6-2-V-1-5-E	0	0,02	0,02	0,05	0,06	0,00	-0,02	0,01	0,09	0,18	0,35	0,66	1,36	2,01	2,58	3,53	4,77
5	H-6-3-V-1-5-A	0	0,00	0,00	0,03	0,04	-0,02	-0,04	-0,02	0,08	0,15	0,24	0,29	0,46	0,45	0,16	0,13	0,28
6	H-6-3-V-1-5-E	0	0,02	0,02	0,05	0,06	0,00	0,00	0,03	0,13	0,20	0,29	0,34	0,51	0,50	0,20	0,15	0,30
7	H-6-4-V-1-5-A	0	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,04	0,01	-0,02	0,13	0,20	0,08	-0,48	-1,97	-4,61	-9,04	-14,45	-20,35
8	H-6-4-V-1-5-E	0	0,00	0,00	0,03	0,04	-0,01	0,04	0,02	0,17	0,24	0,12	-0,47	-2,03	-4,72	-9,20	-14,68	-20,65
9	H-6-5-V-1-5-A	0	0,02	0,03	0,06	0,07	0,04	0,05	0,19	0,29	0,31	0,18	-0,17	-0,56	-1,44	-2,74	-3,89	-5,07
10	H-6-5-V-1-5-E	0	0,02	0,03	0,06	0,09	0,06	0,07	0,21	0,31	0,31	0,18	-0,16	-0,51	-1,37	-2,63	-3,73	-4,84
11	H-6-6-V-1-5-A	0	0,00	0,01	0,04	0,07	0,02	0,02	0,14	0,22	0,24	0,23	0,22	0,55	0,60	0,52	0,78	1,17
12	H-6-6-V-1-5-E	0	0,00	0,01	0,04	0,07	0,02	0,02	0,14	0,22	0,24	0,23	0,22	0,56	0,61	0,54	0,82	1,21

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung zu den Zykluszeitpunkten: MWES III - Absolute Biegeverformungen [mm] im Messhorizont je Zykluspunkt - Inklinometer Achse A

Zykluspunkt	Sensor:	#0	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16
	Höhe:	140,185	141,185	142,185	143,185	144,185	145,185	146,185	147,185	148,185	149,185	150,185	151,185	152,185	153,185	154,185	155,185	156,185
	Min:	*0*	*-0,14*	*-0,10*	*-0,10*	*-0,04*	*-0,04*	*-0,04*	*-0,04*	*-0,04*	*-0,04*	*-0,04*	*-1,33*	*-1,33*	*-4,32*	*-9,46*	*-15,06*	*-21,57*
	Max:	*0*	*0,00*	*0,01*	*0,06*	*0,43*	*0,59*	*0,44*	*1,12*	*1,31*	*1,25*	*1,30*	*1,93*	*4,07*	*6,55*	*10,03*	*15,58*	*21,93*
1	H-7-1-V-1-5-A	0	0,02	0,03	0,06	0,07	0,01	-0,04	0,03	0,06	0,11	0,35	1,07	3,06	5,80	9,81	15,27	21,60
2	H-7-1-V-1-5-E	0	0,02	0,03	0,06	0,06	0,00	-0,05	0,02	0,05	0,10	0,36	1,11	3,14	5,91	9,95	15,44	21,80
3	H-7-2-V-1-5-A	0	0,00	0,00	0,03	0,04	-0,04	-0,06	-0,01	0,07	0,16	0,33	0,62	1,34	1,98	2,57	3,52	4,74
4	H-7-2-V-1-5-E	0	0,02	0,03	0,06	0,07	0,01	-0,01	0,04	0,14	0,23	0,40	0,69	1,37	1,97	2,49	3,38	4,54
5	H-7-3-V-1-5-A	0	0,02	0,02	0,05	0,06	0,00	0,00	0,03	0,13	0,20	0,29	0,34	0,51	0,50	0,21	0,15	0,28
6	H-7-3-V-1-5-E	0	0,00	0,00	0,03	0,04	-0,02	-0,02	0,01	0,11	0,18	0,27	0,32	0,48	0,45	0,15	0,09	0,19
7	H-7-4-V-1-5-A	0	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,04	0,01	-0,01	0,14	0,21	0,11	-0,45	-1,92	-4,56	-9,01	-14,46	-20,41
8	H-7-4-V-1-5-E	0	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,04	0,01	-0,01	0,15	0,22	0,10	-0,48	-2,02	-4,71	-9,19	-14,70	-20,72
9	H-7-5-V-1-5-A	0	0,00	0,01	0,04	0,07	0,02	0,03	0,17	0,27	0,29	0,16	-0,19	-0,58	-1,46	-2,76	-3,92	-5,10
10	H-7-5-V-1-5-E	0	0,02	0,03	0,06	0,07	0,02	0,03	0,17	0,27	0,29	0,16	-0,18	-0,55	-1,41	-2,69	-3,81	-4,92
11	H-7-6-V-1-5-A	0	0,02	0,03	0,06	0,09	0,04	0,04	0,18	0,26	0,29	0,29	0,31	0,70	0,82	0,82	1,18	1,67
12	H-7-6-V-1-5-E	0	0,02	0,03	0,06	0,07	0,02	0,02	0,16	0,24	0,27	0,29	0,31	0,70	0,82	0,84	1,22	1,73
1	H-8-1-V-1-5-A	0	0,02	0,03	0,06	0,06	0,00	-0,05	0,04	0,09	0,14	0,38	1,10	3,07	5,76	9,66	15,00	21,17
2	H-8-1-V-1-5-E	0	0,02	0,03	0,06	0,06	0,00	-0,05	0,04	0,09	0,14	0,40	1,15	3,16	5,90	9,85	15,24	21,50
3	H-8-2-V-1-5-A	0	0,00	0,01	0,04	0,05	-0,01	-0,03	0,04	0,14	0,23	0,40	0,71	1,44	2,09	2,66	3,61	4,83
4	H-8-2-V-1-5-E	0	0,02	0,03	0,06	0,07	0,01	-0,01	0,06	0,16	0,25	0,42	0,71	1,41	2,03	2,55	3,44	4,60
5	H-8-3-V-1-5-A	0	0,02	0,02	0,05	0,08	0,02	0,02	0,07	0,18	0,27	0,36	0,41	0,60	0,59	0,29	0,23	0,34
6	H-8-3-V-1-5-E	0	0,02	0,02	0,05	0,03	-0,03	-0,03	0,00	0,11	0,18	0,27	0,31	0,48	0,45	0,11	0,00	0,08
7	H-8-4-V-1-5-A	0	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,04	0,01	-0,01	0,15	0,22	0,12	-0,44	-1,93	-4,59	-9,04	-14,49	-20,44
8	H-8-4-V-1-5-E	0	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,03	0,02	0,00	0,16	0,23	0,11	-0,48	-2,00	-4,69	-9,17	-14,65	-20,62
9	H-8-5-V-1-5-A	0	0,02	0,03	0,06	0,09	0,04	0,05	0,19	0,29	0,31	0,18	-0,17	-0,56	-1,45	-2,80	-3,98	-5,20
10	H-8-5-V-1-5-E	0	0,02	0,03	0,06	0,07	0,02	0,03	0,17	0,27	0,29	0,17	-0,18	-0,53	-1,39	-2,69	-3,82	-4,97
11	H-8-6-V-1-5-A	0	0,02	0,03	0,06	0,09	0,04	0,04	0,18	0,28	0,31	0,31	0,31	0,67	0,72	0,64	0,92	1,32
12	H-8-6-V-1-5-E	0	0,02	0,03	0,06	0,07	0,02	0,02	0,16	0,26	0,29	0,29	0,28	0,66	0,73	0,66	0,94	1,36
1	H-9-1-V-1-5-A	0	0,00	0,01	0,04	0,04	-0,02	-0,07	0,02	0,07	0,12	0,36	1,08	3,07	5,76	9,68	15,06	21,29
2	H-9-1-V-1-5-E	0	0,02	0,03	0,06	0,07	0,01	-0,04	0,05	0,10	0,15	0,41	1,16	3,19	5,93	9,88	15,29	21,57
3	H-9-2-V-1-5-A	0	0,02	0,02	0,05	0,05	-0,01	-0,03	0,04	0,14	0,23	0,40	0,69	1,41	2,01	2,53	3,43	4,62
4	H-9-2-V-1-5-E	0	0,02	0,02	0,05	0,06	0,00	-0,02	0,05	0,15	0,25	0,42	0,71	1,39	1,98	2,49	3,35	4,47
5	H-9-3-V-1-5-A	0	0,02	0,02	0,05	0,06	0,00	0,00	0,05	0,16	0,25	0,34	0,39	0,60	0,60	0,33	0,30	0,45
6	H-9-3-V-1-5-E	0	0,00	0,00	0,03	0,04	-0,02	-0,02	0,03	0,14	0,23	0,32	0,37	0,58	0,57	0,30	0,25	0,40
7	H-9-4-V-1-5-A	0	0,02	0,00	0,03	0,04	-0,02	0,03	0,01	0,17	0,24	0,12	-0,44	-1,88	-4,49	-8,89	-14,25	-20,10
8	H-9-4-V-1-5-E	0	0,02	0,00	0,03	0,04	-0,01	0,05	0,05	0,21	0,28	0,15	-0,44	-1,96	-4,65	-9,12	-14,55	-20,47
9	H-9-5-V-1-5-A	0	0,02	0,03	0,06	0,09	0,06	0,07	0,21	0,32	0,34	0,21	-0,16	-0,58	-1,56	-3,03	-4,36	-5,73
10	H-9-5-V-1-5-E	0	0,02	0,03	0,06	0,09	0,06	0,07	0,21	0,32	0,34	0,21	-0,16	-0,56	-1,52	-2,95	-4,25	-5,57
11	H-9-6-V-1-5-A	0	0,02	0,03	0,06	0,09	0,06	0,06	0,20	0,30	0,33	0,33	0,35	0,74	0,83	0,78	1,08	1,48
12	H-9-6-V-1-5-E	0	0,02	0,03	0,06	0,07	0,02	0,02	0,16	0,26	0,29	0,29	0,31	0,70	0,79	0,74	1,04	1,46

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung zu den Zykluszeitpunkten: MWES III - Absolute Biegeverformungen [mm] im Messhorizont je Zykluspunkt - Inklinometer Achse A																		
Zykluspunkt	Sensor:	#0	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16
	Höhe:	140,185	141,185	142,185	143,185	144,185	145,185	146,185	147,185	148,185	149,185	150,185	151,185	152,185	153,185	154,185	155,185	156,185
	Min:	*0*	*-0,14*	*-0,10*	*-0,10*	*-0,04*	*-0,04*	*-0,04*	*-0,04*	*-0,04*	*-0,04*	*-0,04*	*-1,33*	*-1,33*	*-4,32*	*-9,46*	*-15,06*	*-21,57*
	Max:	*0*	*0,00*	*0,01*	*0,06*	*0,43*	*0,59*	*0,44*	*1,12*	*1,31*	*1,25*	*1,30*	*1,93*	*4,07*	*6,55*	*10,03*	*15,58*	*21,93*
1	H-10-1-V-1-5-A	0	0,02	0,03	0,06	0,07	0,02	-0,02	0,07	0,12	0,17	0,41	1,15	3,14	5,86	9,85	15,31	21,62
2	H-10-1-V-1-5-E	0	0,02	0,03	0,06	0,06	0,00	-0,05	0,04	0,09	0,14	0,40	1,15	3,19	5,96	10,00	15,52	21,92
3	H-10-2-V-1-5-A	0	0,02	0,03	0,06	0,07	0,01	-0,01	0,06	0,17	0,27	0,44	0,73	1,41	1,96	2,40	3,21	4,26
4	H-10-2-V-1-5-E	0	0,02	0,03	0,06	0,07	0,01	-0,01	0,06	0,17	0,27	0,44	0,73	1,40	1,95	2,37	3,16	4,21
5	H-10-3-V-1-5-A	0	0,02	0,02	0,05	0,06	0,00	0,00	0,05	0,16	0,25	0,35	0,42	0,64	0,64	0,35	0,30	0,43
6	H-10-3-V-1-5-E	0	0,02	0,03	0,06	0,07	0,01	0,01	0,06	0,17	0,26	0,36	0,43	0,65	0,65	0,36	0,31	0,44
7	H-10-4-V-1-5-A	0	0,02	0,02	0,05	0,06	0,01	0,06	0,04	0,20	0,29	0,19	-0,35	-1,77	-4,38	-8,80	-14,20	-20,10
8	H-10-4-V-1-5-E	0	0,02	0,02	0,05	0,06	0,01	0,06	0,04	0,22	0,31	0,19	-0,39	-1,86	-4,52	-8,99	-14,42	-20,35
9	H-10-5-V-1-5-A	0	0,02	0,03	0,08	0,11	0,08	0,09	0,24	0,35	0,37	0,24	-0,11	-0,50	-1,44	-2,82	-4,07	-5,34
10	H-10-5-V-1-5-E	0	0,02	0,03	0,06	0,09	0,06	0,07	0,22	0,33	0,35	0,22	-0,13	-0,50	-1,41	-2,78	-3,99	-5,21
11	H-10-6-V-1-5-A	0	0,02	0,03	0,06	0,09	0,04	0,04	0,19	0,29	0,34	0,36	0,38	0,79	0,88	0,83	1,14	1,58
12	H-10-6-V-1-5-E	0	0,02	0,03	0,06	0,07	0,02	0,02	0,17	0,27	0,32	0,34	0,36	0,77	0,86	0,83	1,14	1,60

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Zugehörige Kräfte				Auswertung jeweils in ausgelenkter Stellung: MWES III - Absolute Biegeverformungen [mm] im Messhorizont je Zykluspunkt - Inklinometer Achse A																	
Vertikalkraft	Horizontalkraft		Horizontalkraft			Messwerte Inklinometersonde															
gemessen	gemessen	→	korrigiert	Versch.		#0	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16
[kN]	[kN]		[kN]		ZS Bezeichnung	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
-3986	926	→	723	1	H-1-1-V-1-5-A	0,00	-0,02	-0,02	-0,02	-0,04	-0,07	-0,14	-0,16	-0,23	-0,28	-0,12	0,40	1,73	3,70	6,66	10,79	15,70
-3997	848	→	639	1	H-1-1-V-1-5-E	0,00	0,00	0,01	0,01	-0,03	-0,08	-0,16	-0,16	-0,20	-0,18	0,04	0,66	2,16	4,25	7,33	11,57	16,69
-3969	-929	→	-700	2	H-1-4-V-1-5-A	0,00	-0,02	-0,06	-0,06	-0,08	-0,13	-0,08	-0,13	0,00	0,09	0,08	-0,33	-1,62	-3,80	-7,56	-12,55	-18,02
-3999	-851	→	-612	2	H-1-4-V-1-5-E	0,00	0,00	-0,02	-0,01	0,00	-0,03	0,03	-0,02	0,13	0,20	0,12	-0,35	-1,74	-4,05	-7,99	-13,17	-18,92
-4042	1000	→	757	3	H-2-1-V-1-5-A	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,01	-0,06	-0,11	-0,11	-0,13	-0,15	0,01	0,61	2,35	4,96	8,98	14,57	21,10
-4023	958	→	709	3	H-2-1-V-1-5-E	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	-0,05	-0,10	-0,08	-0,10	-0,12	0,07	0,71	2,50	5,16	9,20	14,74	21,24
-3963	-858	→	-609	4	H-2-4-V-1-5-A	0,00	0,00	-0,04	-0,03	-0,02	-0,08	-0,03	-0,08	0,05	0,12	0,04	-0,47	-1,98	-4,52	-8,85	-14,43	-20,55
-3965	-796	→	-541	4	H-2-4-V-1-5-E	0,00	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,01	0,07	0,04	0,19	0,24	0,12	-0,44	-2,05	-4,71	-9,18	-14,86	-21,12
-4045	956	→	705	5	H-3-1-V-1-5-A	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04	-0,01	-0,05	-0,02	-0,01	0,01	0,20	0,85	2,72	5,44	9,53	15,19	21,76
-4023	919	→	667	5	H-3-1-V-1-5-E	0,00	0,02	0,03	0,06	0,06	0,01	-0,03	0,00	0,00	0,02	0,23	0,92	2,84	5,63	9,79	15,51	22,18
-3980	-794	→	-541	6	H-3-4-V-1-5-A	0,00	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,03	0,03	0,00	0,15	0,22	0,12	-0,42	-1,96	-4,60	-9,07	-14,66	-20,78
-3959	-761	→	-506	6	H-3-4-V-1-5-E	0,00	0,00	-0,02	0,01	0,01	-0,04	0,02	-0,03	0,12	0,17	0,05	-0,53	-2,14	-4,83	-9,33	-14,97	-21,16
-4045	865	→	615	7	H-4-1-V-1-5-A	0,00	0,00	0,01	0,04	0,05	-0,01	-0,06	-0,01	0,00	0,03	0,24	0,94	2,86	5,60	9,62	15,13	21,51
-4024	836	→	584	7	H-4-1-V-1-5-E	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	-0,03	-0,08	-0,03	-0,02	0,01	0,25	0,97	2,93	5,70	9,77	15,33	21,78
-3986	-767	→	-513	8	H-4-4-V-1-5-A	0,00	0,00	-0,02	-0,01	-0,01	-0,06	-0,01	-0,06	0,09	0,16	0,06	-0,50	-2,04	-4,72	-9,20	-14,76	-20,85
-3976	-735	→	-479	8	H-4-4-V-1-5-E	0,00	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,03	0,03	0,00	0,15	0,20	0,08	-0,51	-2,12	-4,85	-9,38	-14,99	-21,14
-4053	851	→	601	9	H-5-1-V-1-5-A	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	-0,03	-0,08	-0,03	-0,02	0,01	0,23	0,93	2,87	5,61	9,63	15,10	21,43
-4043	819	→	567	9	H-5-1-V-1-5-E	0,00	0,00	0,01	0,04	0,04	-0,02	-0,07	-0,02	-0,01	0,02	0,26	1,00	2,99	5,78	9,85	15,37	21,77
-3993	-757	→	-502	10	H-5-4-V-1-5-A	0,00	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,04	0,01	-0,02	0,13	0,20	0,08	-0,50	-2,04	-4,73	-9,25	-14,81	-20,88
-3991	-725	→	-467	10	H-5-4-V-1-5-E	0,00	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,03	0,03	0,00	0,15	0,22	0,09	-0,52	-2,13	-4,87	-9,40	-14,99	-21,11
-4068	805	→	555	11	H-6-1-V-1-5-A	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	-0,03	-0,08	-0,01	0,02	0,05	0,29	1,01	2,97	5,69	9,66	15,05	21,28
-4035	771	→	520	11	H-6-1-V-1-5-E	0,00	0,02	0,03	0,06	0,04	-0,04	-0,09	-0,02	0,01	0,06	0,33	1,10	3,14	5,93	9,95	15,41	21,74
-4017	-745	→	-493	12	H-6-4-V-1-5-A	0,00	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,04	0,01	-0,02	0,13	0,20	0,08	-0,48	-1,97	-4,61	-9,04	-14,45	-20,35
-4003	-709	→	-453	12	H-6-4-V-1-5-E	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04	-0,01	0,04	0,02	0,17	0,24	0,12	-0,47	-2,03	-4,72	-9,20	-14,68	-20,65
-4083	833	→	581	13	H-7-1-V-1-5-A	0,00	0,02	0,03	0,06	0,07	0,01	-0,04	0,03	0,06	0,11	0,35	1,07	3,06	5,80	9,81	15,27	21,60
-4069	807	→	554	13	H-7-1-V-1-5-E	0,00	0,02	0,03	0,06	0,06	0,00	-0,05	0,02	0,05	0,10	0,36	1,11	3,14	5,91	9,95	15,44	21,80
-3978	-741	→	-492	14	H-7-4-V-1-5-A	0,00	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,04	0,01	-0,01	0,14	0,21	0,11	-0,45	-1,92	-4,56	-9,01	-14,46	-20,41
-3967	-714	→	-460	14	H-7-4-V-1-5-E	0,00	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,04	0,01	-0,01	0,15	0,22	0,10	-0,48	-2,02	-4,71	-9,19	-14,70	-20,72
-4057	792	→	545	15	H-8-1-V-1-5-A	0,00	0,02	0,03	0,06	0,06	0,00	-0,05	0,04	0,09	0,14	0,38	1,10	3,07	5,76	9,66	15,00	21,17
-4044	762	→	513	15	H-8-1-V-1-5-E	0,00	0,02	0,03	0,06	0,06	0,00	-0,05	0,04	0,09	0,14	0,40	1,15	3,16	5,90	9,85	15,24	21,50
-3977	-727	→	-475	16	H-8-4-V-1-5-A	0,00	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,04	0,01	-0,01	0,15	0,22	0,12	-0,44	-1,93	-4,59	-9,04	-14,49	-20,44
-3973	-705	→	-451	16	H-8-4-V-1-5-E	0,00	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,03	0,02	0,00	0,16	0,23	0,11	-0,48	-2,00	-4,69	-9,17	-14,65	-20,62
-4065	804	→	556	17	H-9-1-V-1-5-A	0,00	0,00	0,01	0,04	0,04	-0,02	-0,07	0,02	0,07	0,12	0,36	1,08	3,07	5,76	9,68	15,06	21,29
-4064	775	→	525	17	H-9-1-V-1-5-E	0,00	0,02	0,03	0,06	0,07	0,01	-0,04	0,05	0,10	0,15	0,41	1,16	3,19	5,93	9,88	15,29	21,57
-3982	-721	→	-471	18	H-9-4-V-1-5-A	0,00	0,02	0,00	0,03	0,04	-0,02	0,03	0,01	0,17	0,24	0,12	-0,44	-1,88	-4,49	-8,89	-14,25	-20,10
-3980	-668	→	-412	18	H-9-4-V-1-5-E	0,00	0,02	0,00	0,03	0,04	-0,01	0,05	0,05	0,21	0,28	0,15	-0,44	-1,96	-4,65	-9,12	-14,55	-20,47
-4070	834	→	584	19	H-10-1-V-1-5-A	0,00	0,02	0,03	0,06	0,07	0,02	-0,02	0,07	0,12	0,17	0,41	1,15	3,14	5,86	9,85	15,31	21,62
-4059	810	→	557	19	H-10-1-V-1-5-E	0,00	0,02	0,03	0,06	0,06	0,00	-0,05	0,04	0,09	0,14	0,40	1,15	3,19	5,96	10,00	15,52	21,92
-3980	-726	→	-473	20	H-10-4-V-1-5-A	0,00	0,02	0,02	0,05	0,06	0,01	0,06	0,04	0,20	0,29	0,19	-0,35	-1,77	-4,38	-8,80	-14,20	-20,10
-3969	-707	→	-453	20	H-10-4-V-1-5-E	0,00	0,02	0,02	0,05	0,06	0,01	0,06	0,04	0,22	0,31	0,19	-0,39	-1,86	-4,52	-8,99	-14,42	-20,35

Forschungsprojekt "Unteres Hausfeld"

A U S W E R T U N G

der statischen Pfahlprobebelastung gemäß EA-Pfähle

Status: **Endfassung** *Stand:* **05.06.2018**

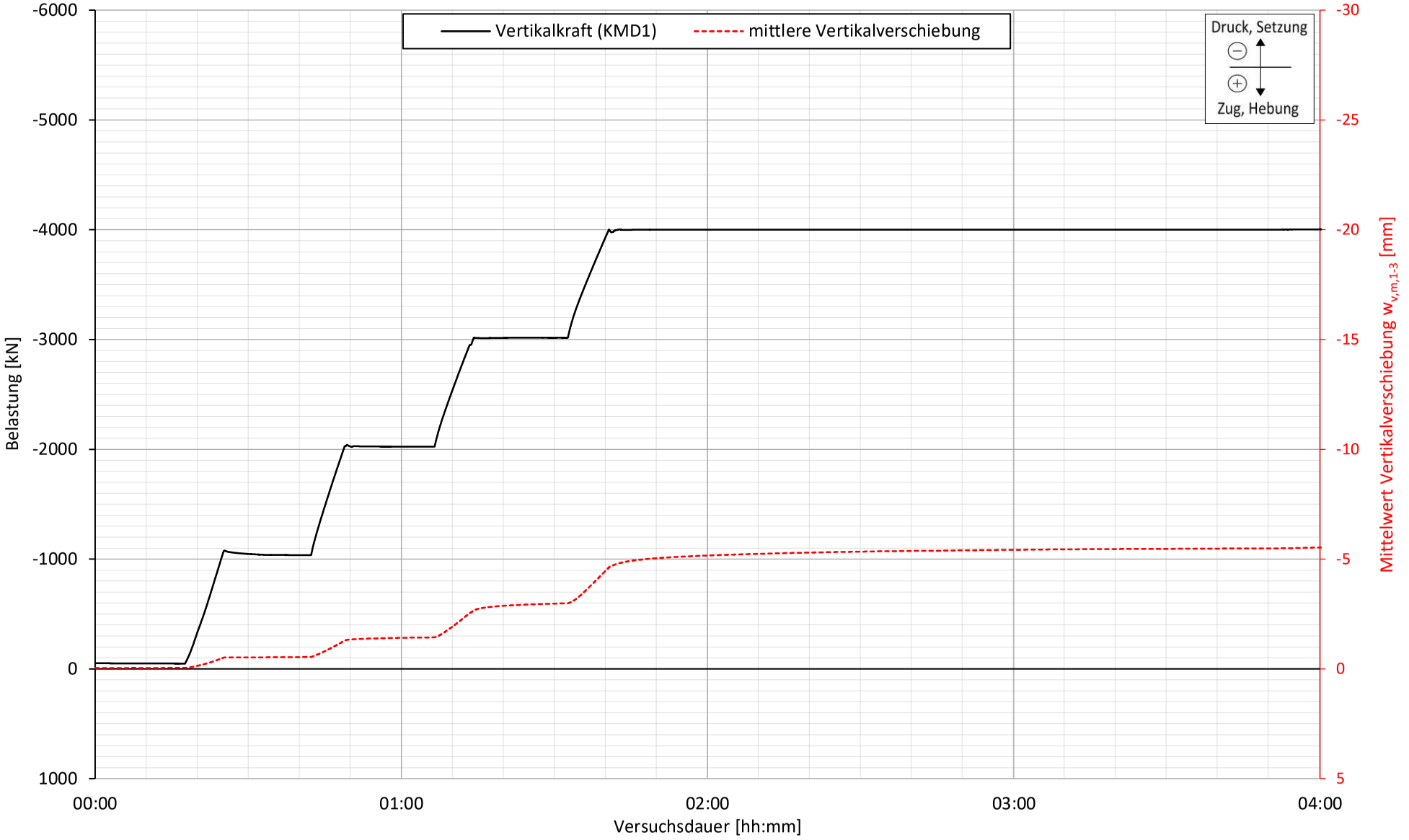
Allgemeine Angaben:		
Prüfkörper:	**B.HM**	
Prüffeld:	2	
Versuch:	Horizontalverschiebeversuch	
Bodenschicht Krafteinleitungsstrecke:	Kies + Miozän	
Pfahlinstrumentierung (MWES II):		
Kettenextensometer (KEX):	ja	
Bewehrungssensoren (BS):	ja	
Sohldruckmessdose (DMD):	nein	
Ketteninklinometer (KIN):	ja	
Versuchsdaten:		
Prüfung Nr.:	59	
Prüfdatum:	19.02.2018 - 23.02.2018	
Versuchsbeginn:	11:27 Uhr	
Versuchsende:	13:30 Uhr	
Wetterbedingungen:	19.02.2018 09:00, wolkenlos, Außentemperatur: 0°C / 12:00 in Einhausung: 6°C	
besondere Versuchsbedingungen:	KEX3 auf Channel 16, weil Channel 13 nicht funktioniert	
Geometrie:		
Bohrdurchmesser:	900,00	mm
Querschnittsfläche A_{ges}=	636172,51	mm²
OK Pfahlkopf:	156,78	müA
Messniveau:	156,73	müA
OK Pfahl:	156,00	müA
GOK:	155,80	müA
OK Krafteinleitungsstrecke:	155,28	müA
Bemessungswasserstand:	154,83	müA
Bauwasserstand:	154,38	müA
UK Pfahl:	140,00	müA
Länge "Freispielstrecke":	0,72	m
Länge Krafteinleitungsstrecke:	15,28	m
Pfahllänge:	16,00	m
Materialkennwerte:		
Betongüte:	**C25/30 / BS-TB1**	
Zement:	**CEM II/A-M(S-L)**	
W/B-Wert Zemetsuspension:	-	
E-Modul Beton / Zementstein E_C =	34,00	kN/mm²
Typ, Güte Stabstahl (nur Mikropfähle):	-	
Nennquerschnitt Stabstahl A_{SS} =	0,00	mm²
E-Modul Stabstahl E_{SS} =	0,00	kN/mm²
Güte Bewehrungsstahl:	**B 550B**	
Gesamtquerschnitt Bewehrungsstahl A_{BS}=	variiert	mm²
E-Modul Bewehrungsstahl E_{BS} =	200,00	kN/mm²
Güte Baustahl (KEX-Rohr):	**S235**	
Gesamtquerschnitt Baustahl A_S=	492,88	mm²
E-Modul Baustahl E_S =	200,00	kN/mm²
Führungsrohre:		
KEX-Rohr d_a =	57,00	mm
KEX-Rohr d_i =	51,20	mm
KIN-Rohr d_a=	55,00	mm
KIN-Rohr d_i =	47,00	mm

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

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.

Probepfahl: **B.HM**

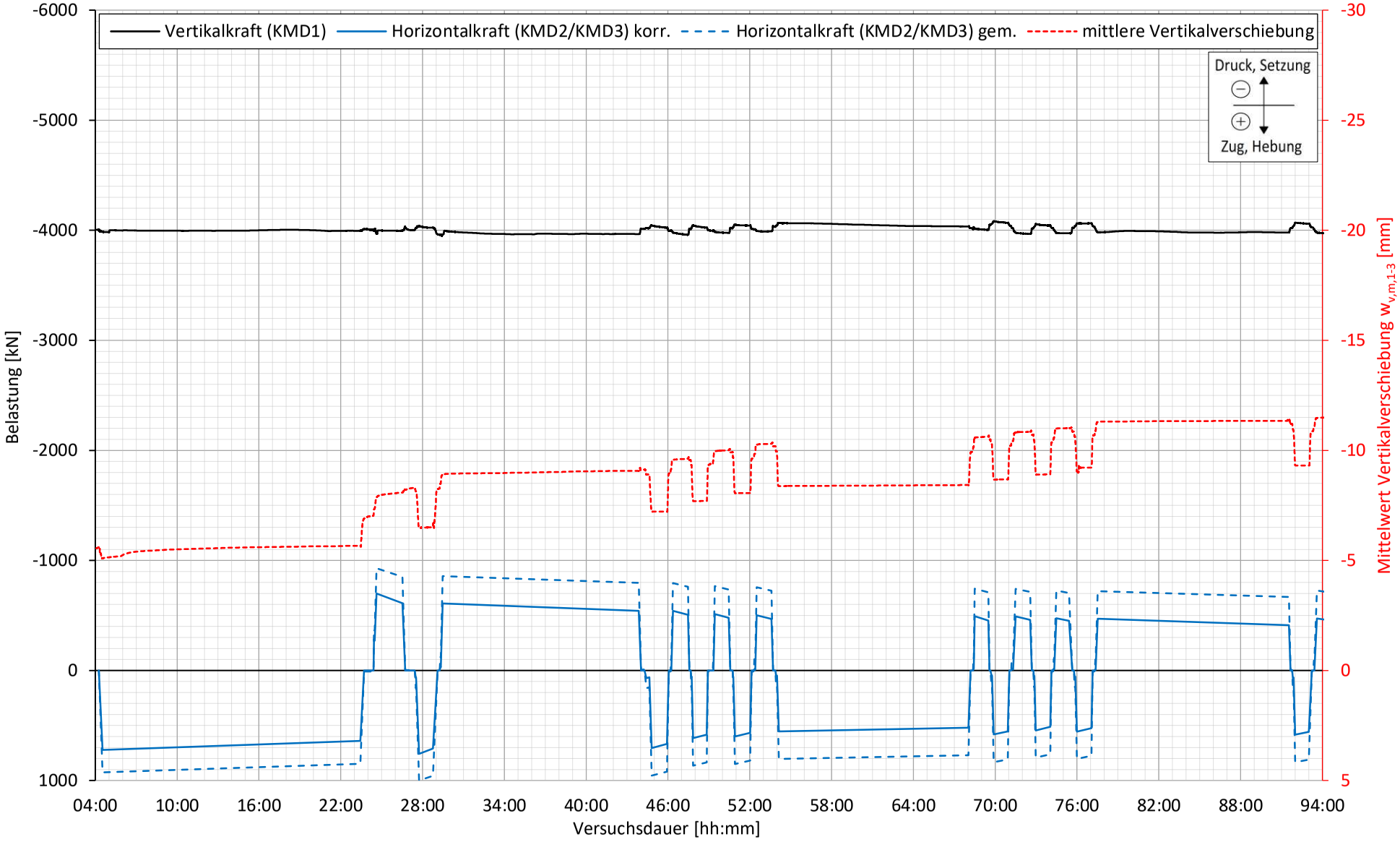
Belastung und vertikale Pfahlkopfverschiebung - Teil 1



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.

Probepfahl: **B.HM**

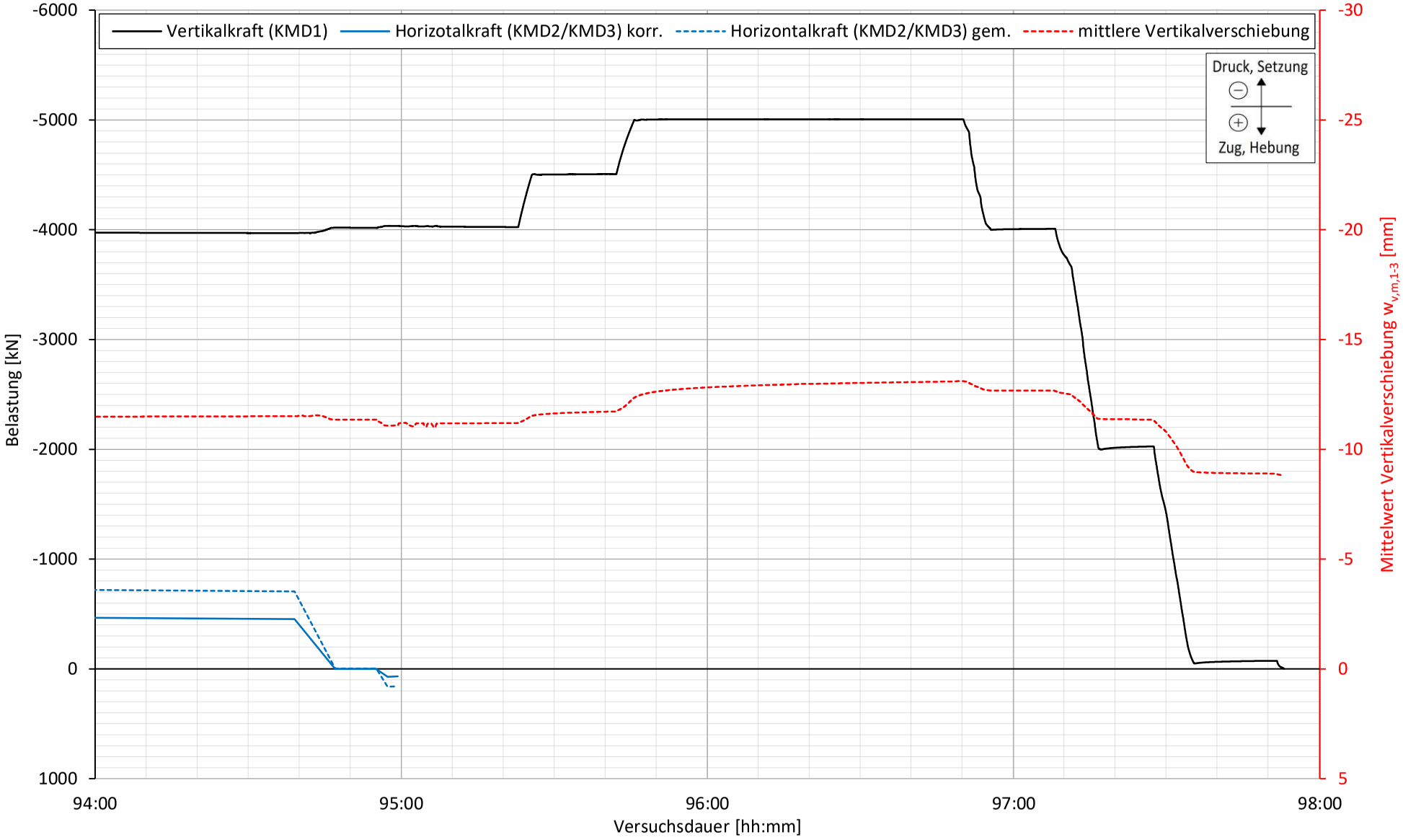
Belastung und vertikale Pfahlkopfverschiebung - Teil 2



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.

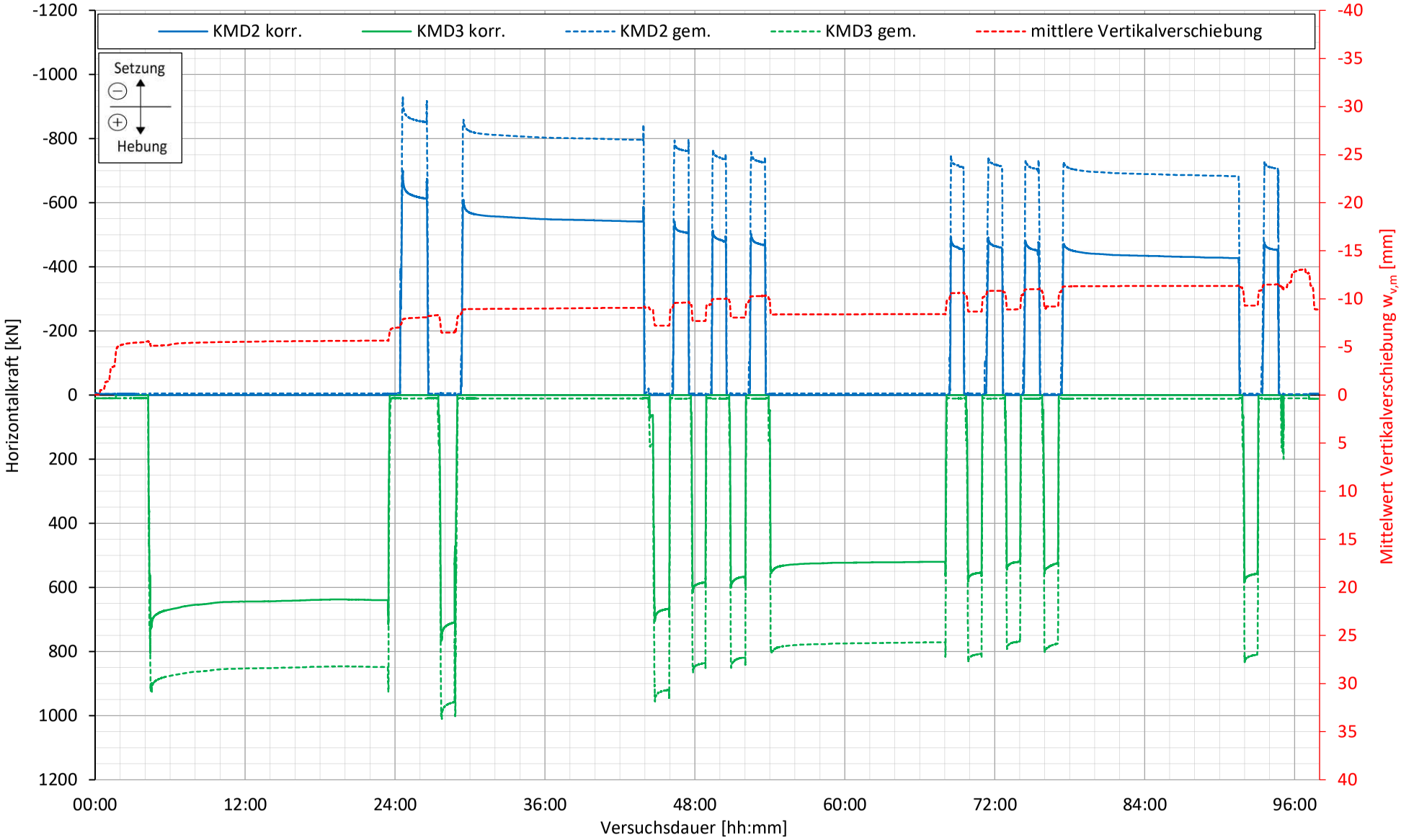
Probepfahl: **B.HM**

Belastung und vertikale Pfahlkopfverschiebung - Teil 3



Probepfahl: **B.HM**

Horizontalbelastung (korrigiert) und mittlere Vertikalverschiebung

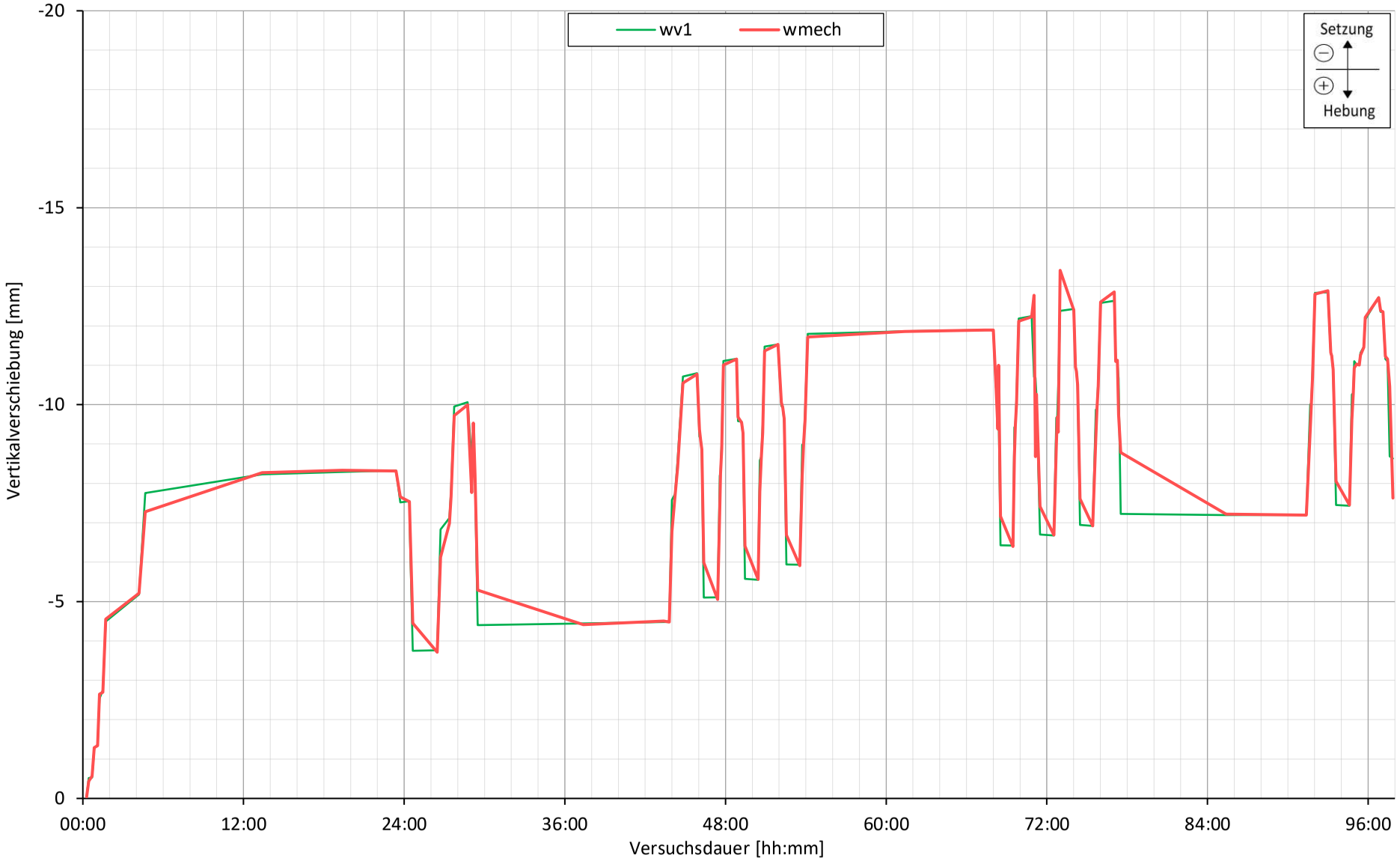


Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

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.

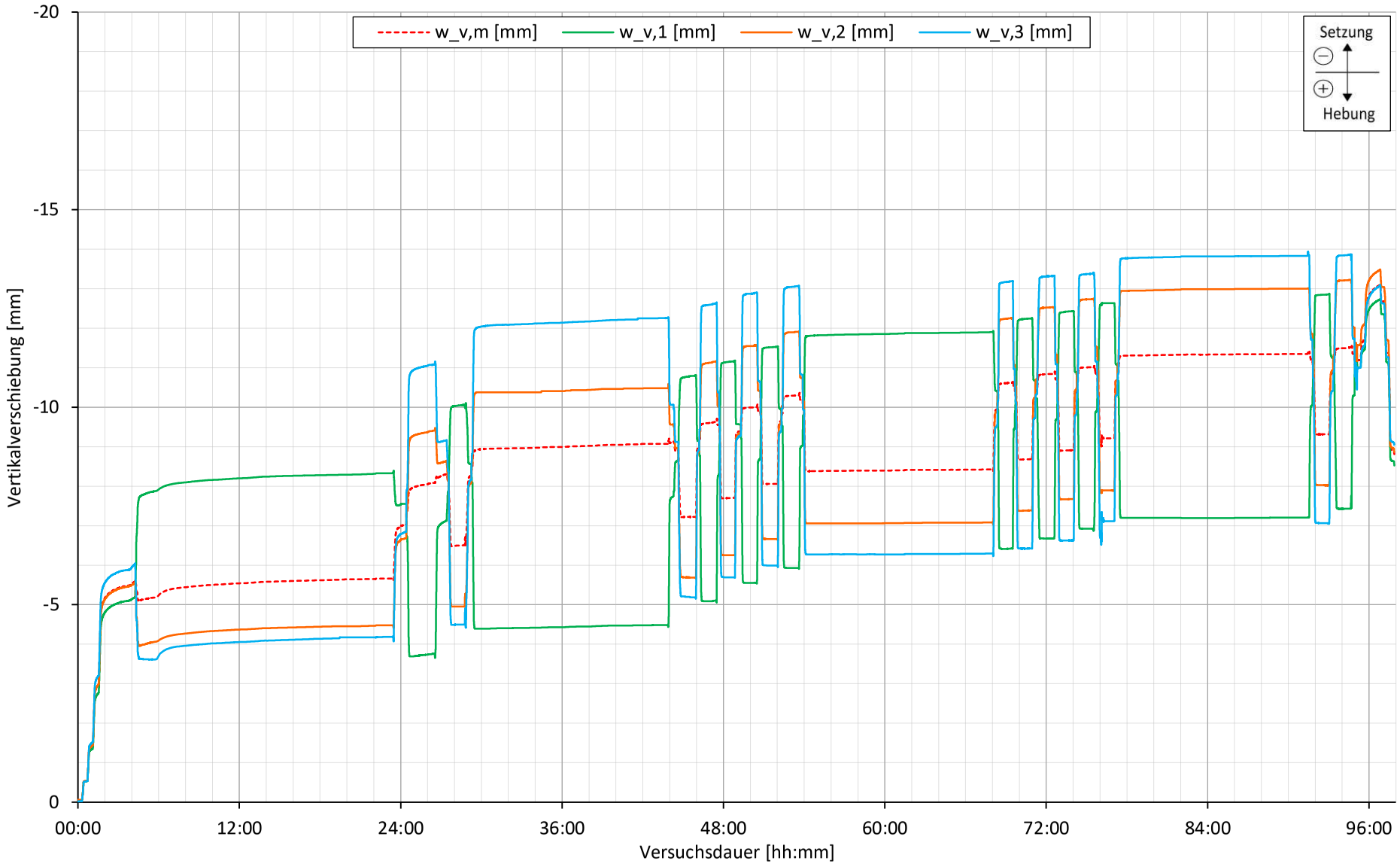
Probepfahl: **B.HM**

Vergleich Wegaufnehmer wv1 mit der mech. Messuhr - Gesamtversuch



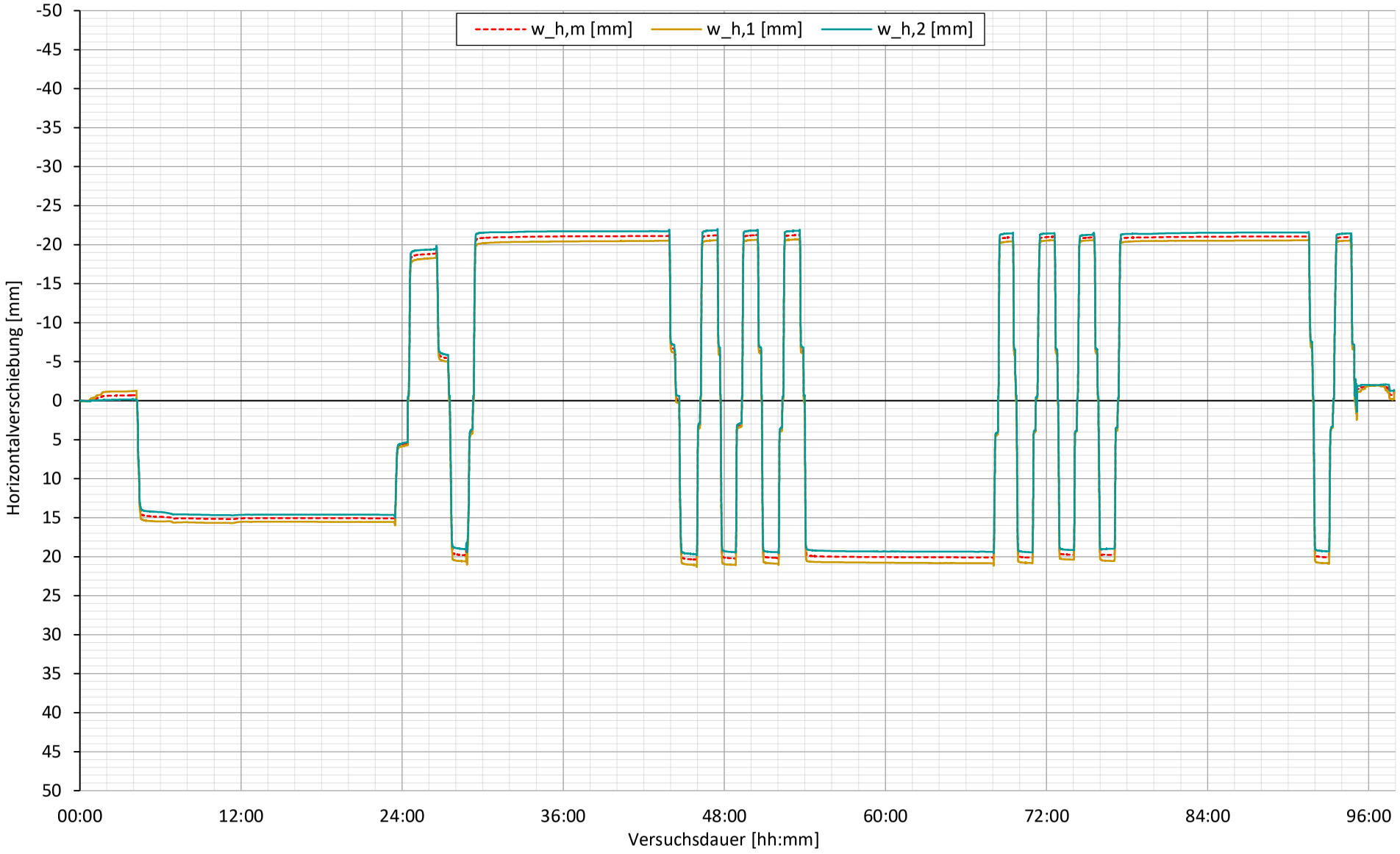
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Probepfahl: **B.HM** **Vertikale Pfahlkopfverschiebung: Einzelwerte und Mittelwert der Wegaufnehmer - Gesamtversuch**



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.

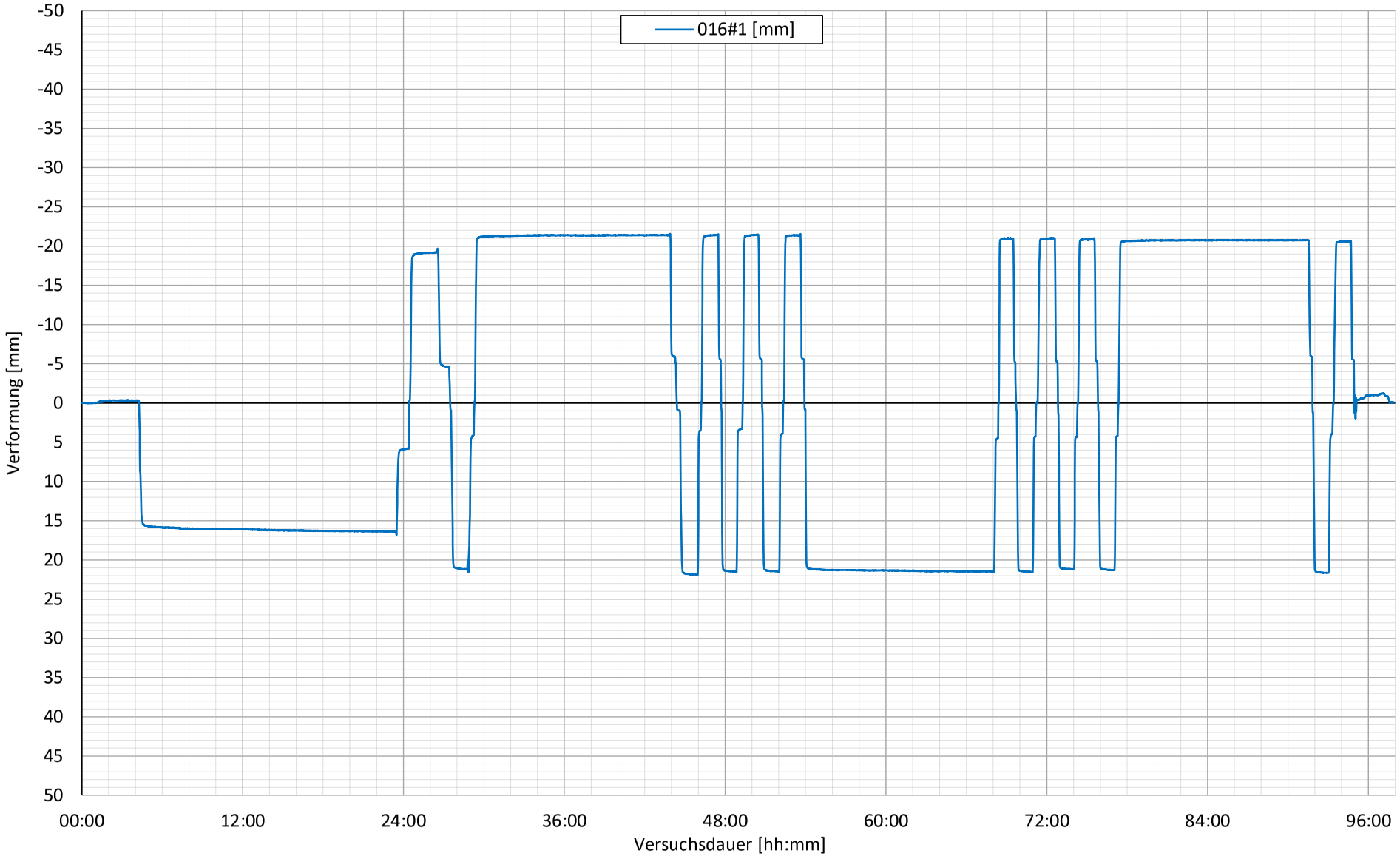
Probepfahl: **B.HM** **Horizontale Pfahlkopfverschiebung: Einzelwerte und Mittelwert der Wegaufnehmer - Gesamtversuch**



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.

Probepfahl: **B.HM**

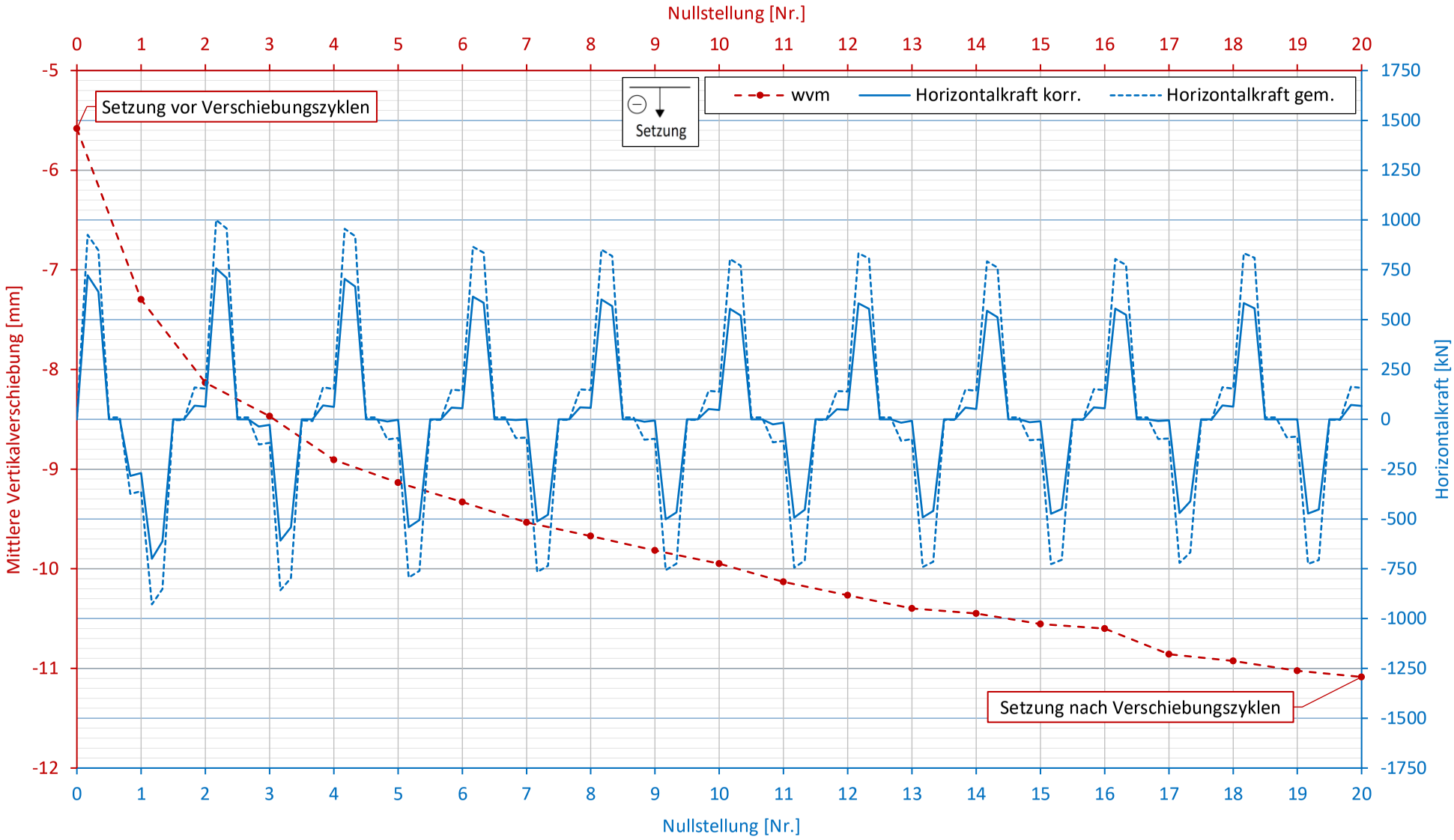
Horizontale Pfahlverformung: Oberster Inklinometersensor - Gesamtversuch



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.

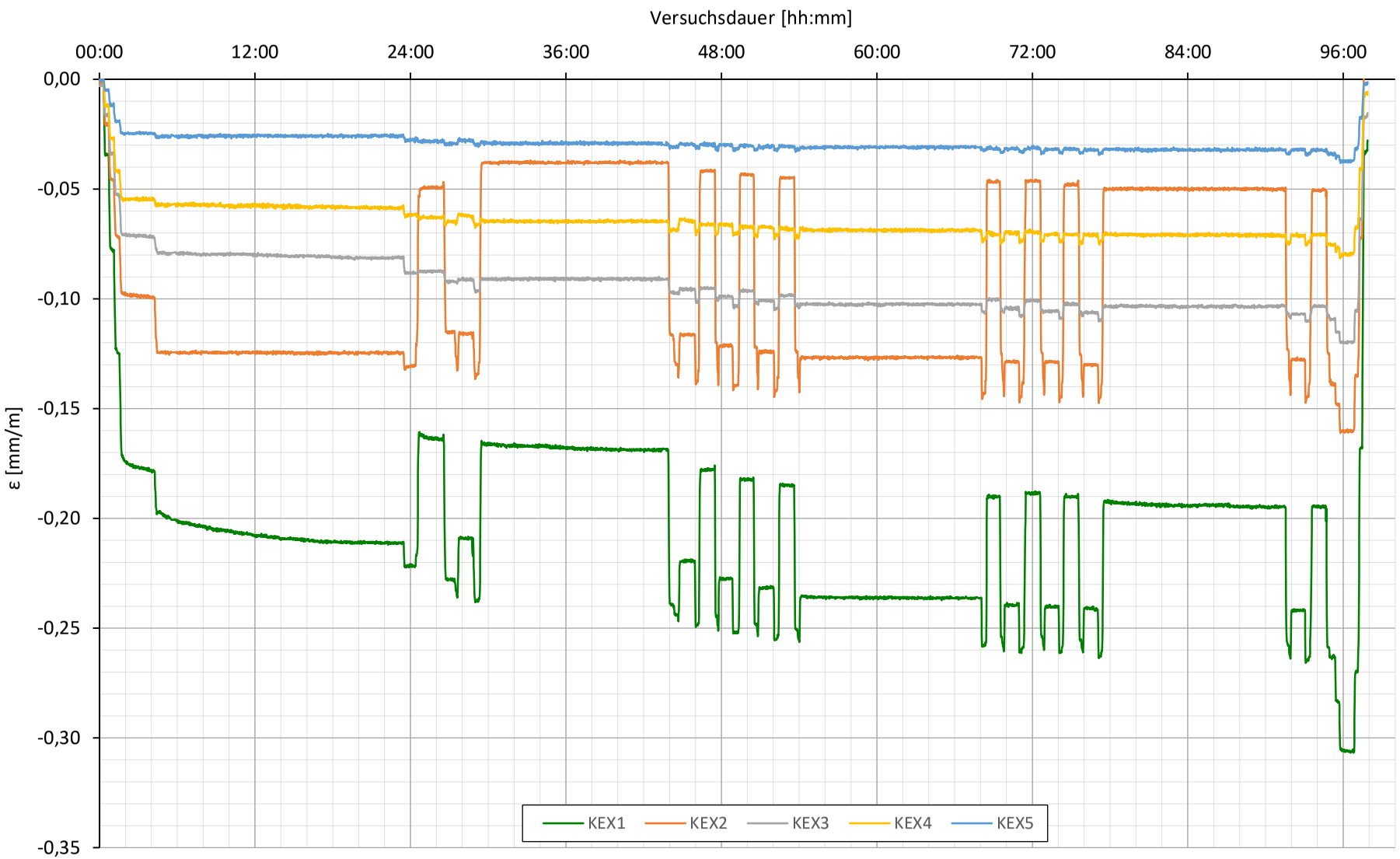
Probepfahl: **B.HM**

Mittlere Pfahlkopfsetzung je Weg-Nullstellung - Gesamtversuch



Probepfahl: **B.HM**

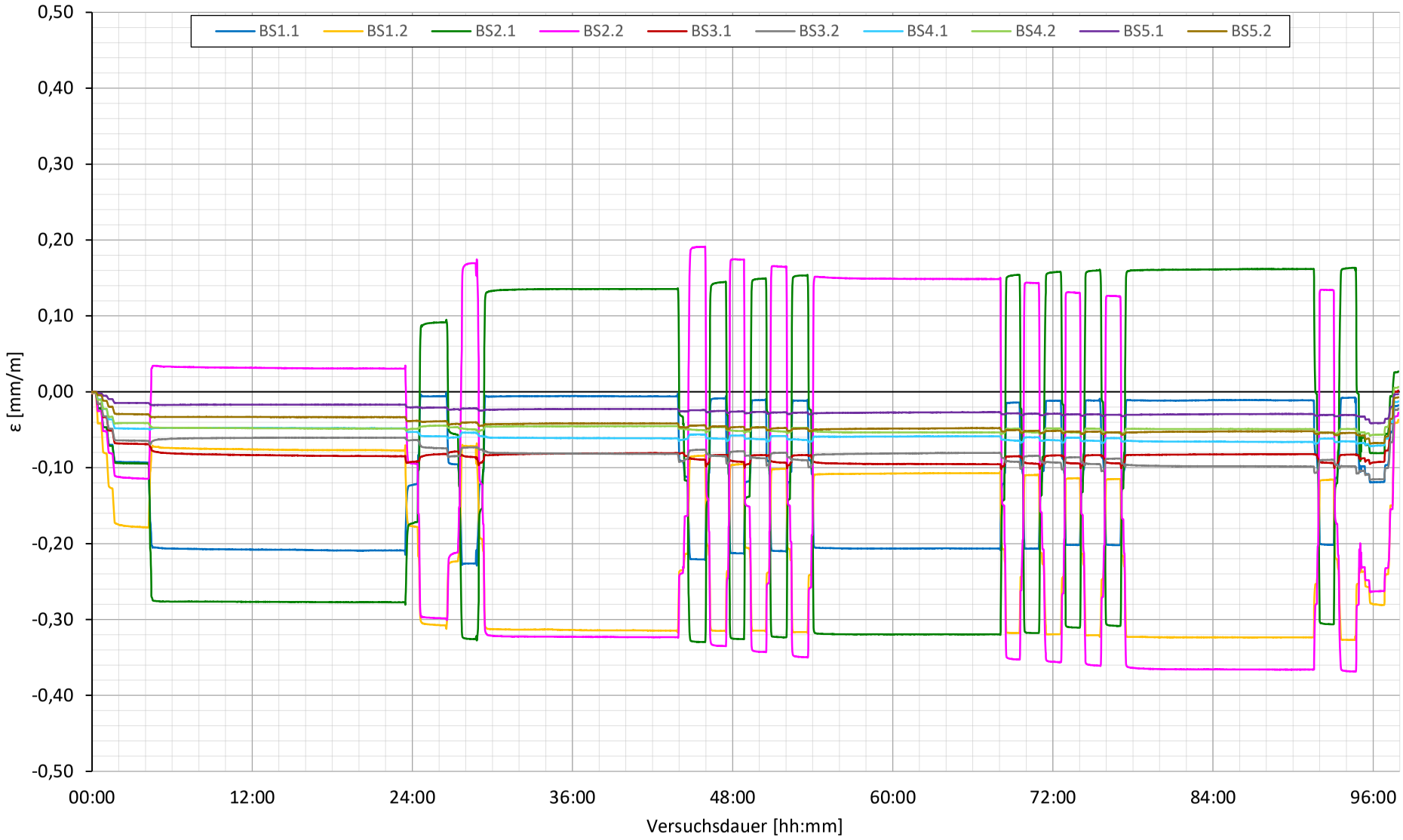
Längsdehnungen (Kettenextensometer...KEX) - Gesamtversuch



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.

Probepfahl: **B.HM**

Längsdehnungen (Bewehrungssensoren...BS) - Gesamtversuch

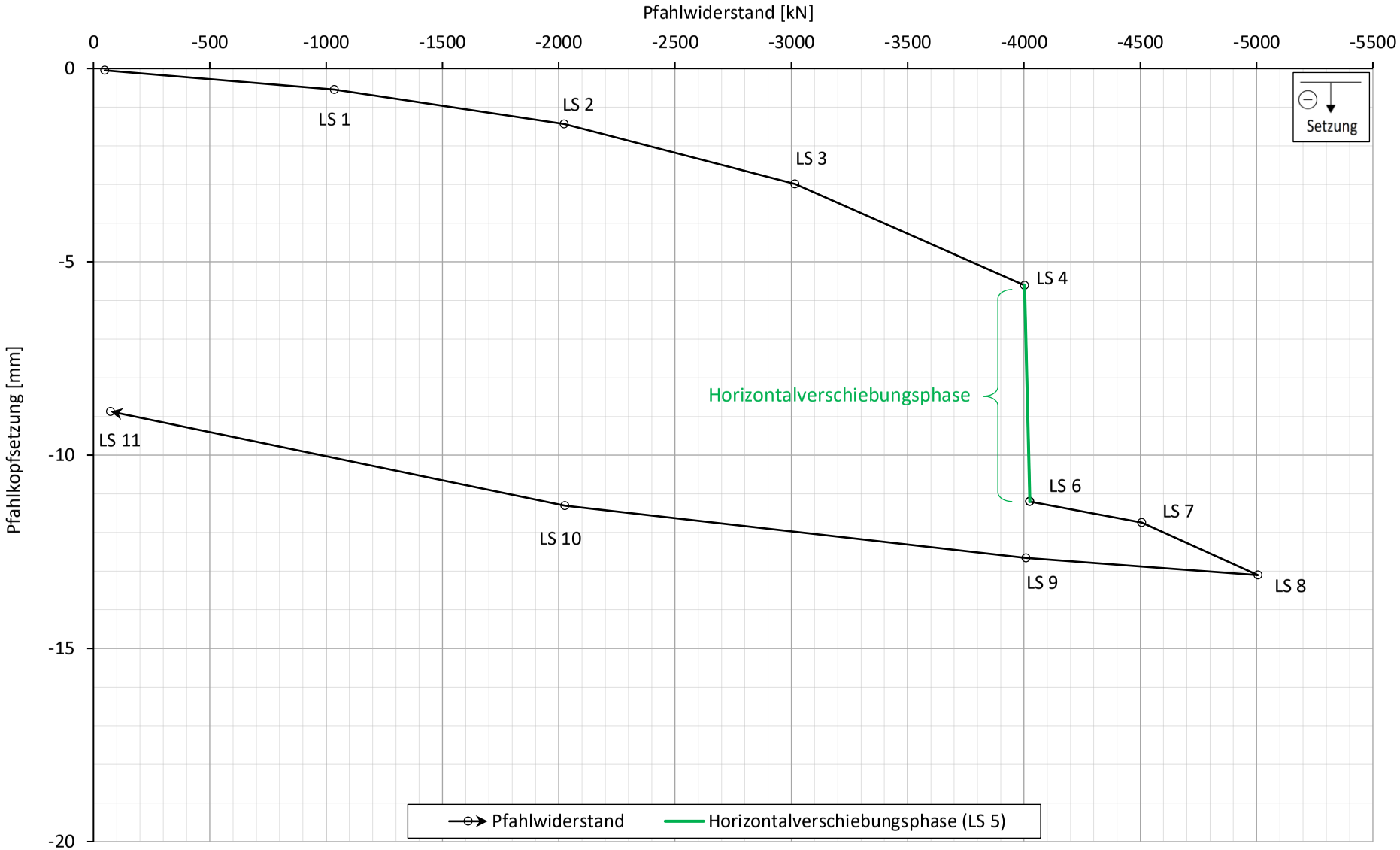


Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

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.

Probepfahl: **B.HM**

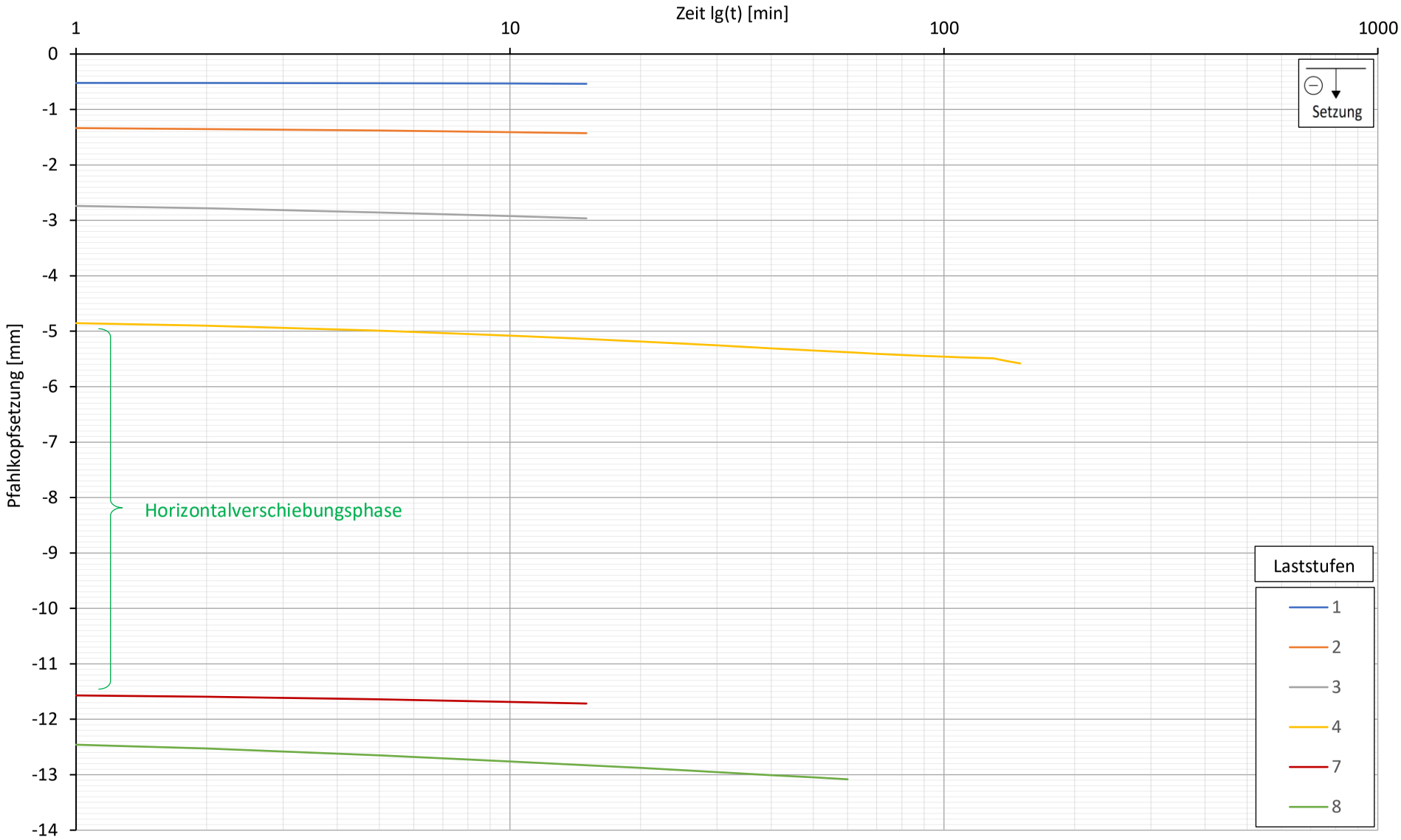
Widerstands-Setzungslinie bei Vertikalbelastung



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.

Probepfahl: **B.HM**

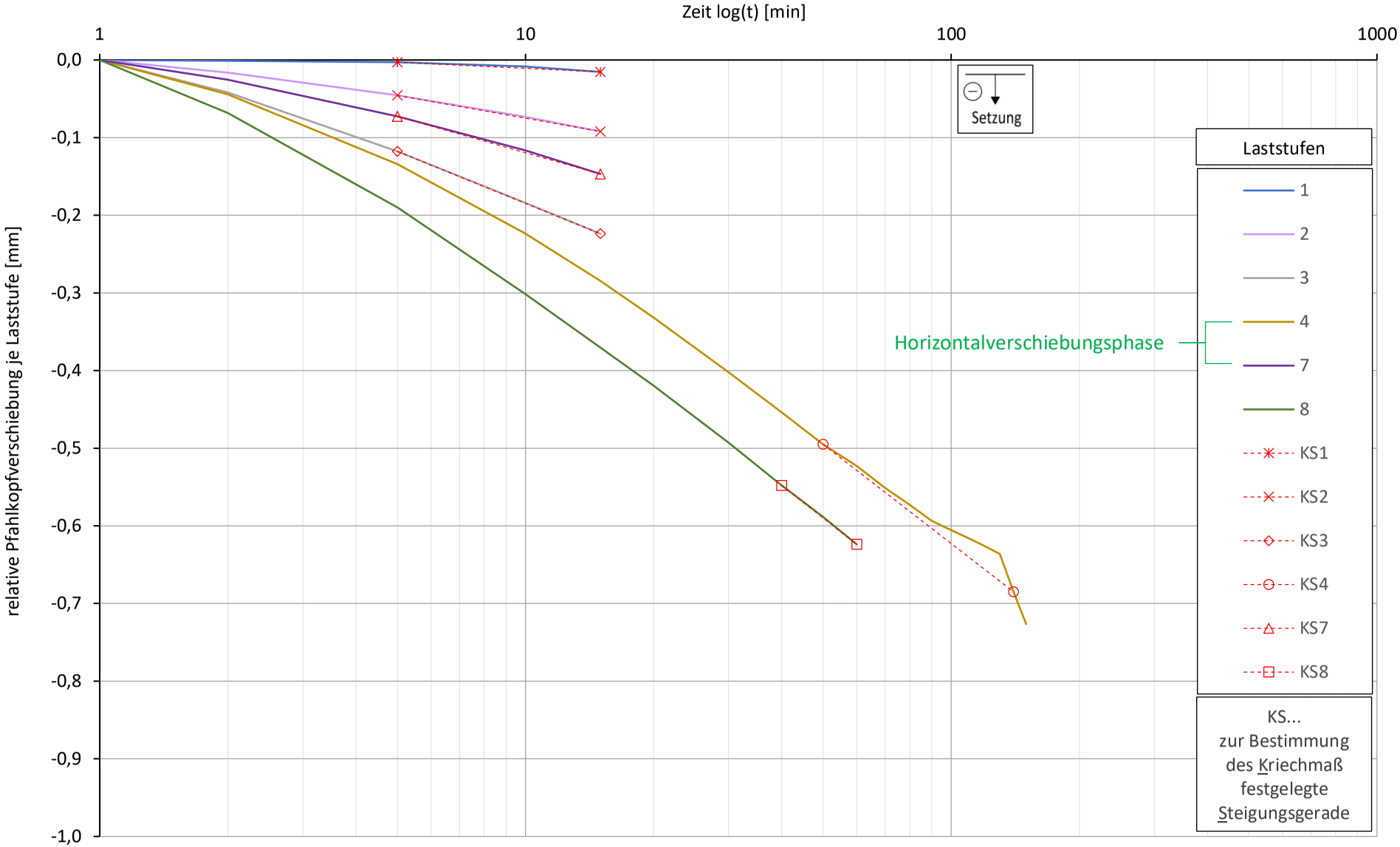
Zeitverformung bei Vertikalbelastung



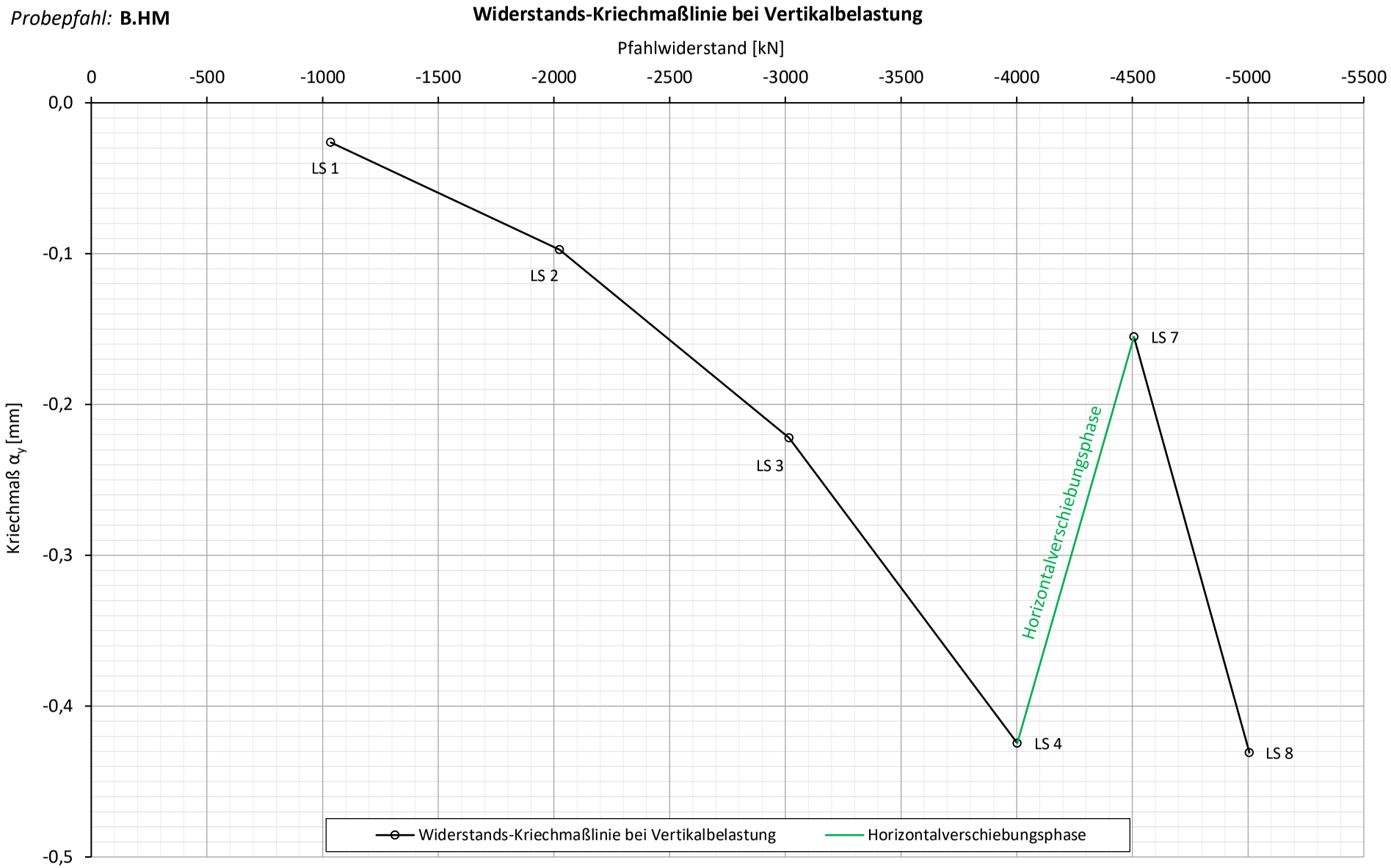
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Probepfahl: **B.HM**

Relative Zeitverformung bei Vertikalbelastung



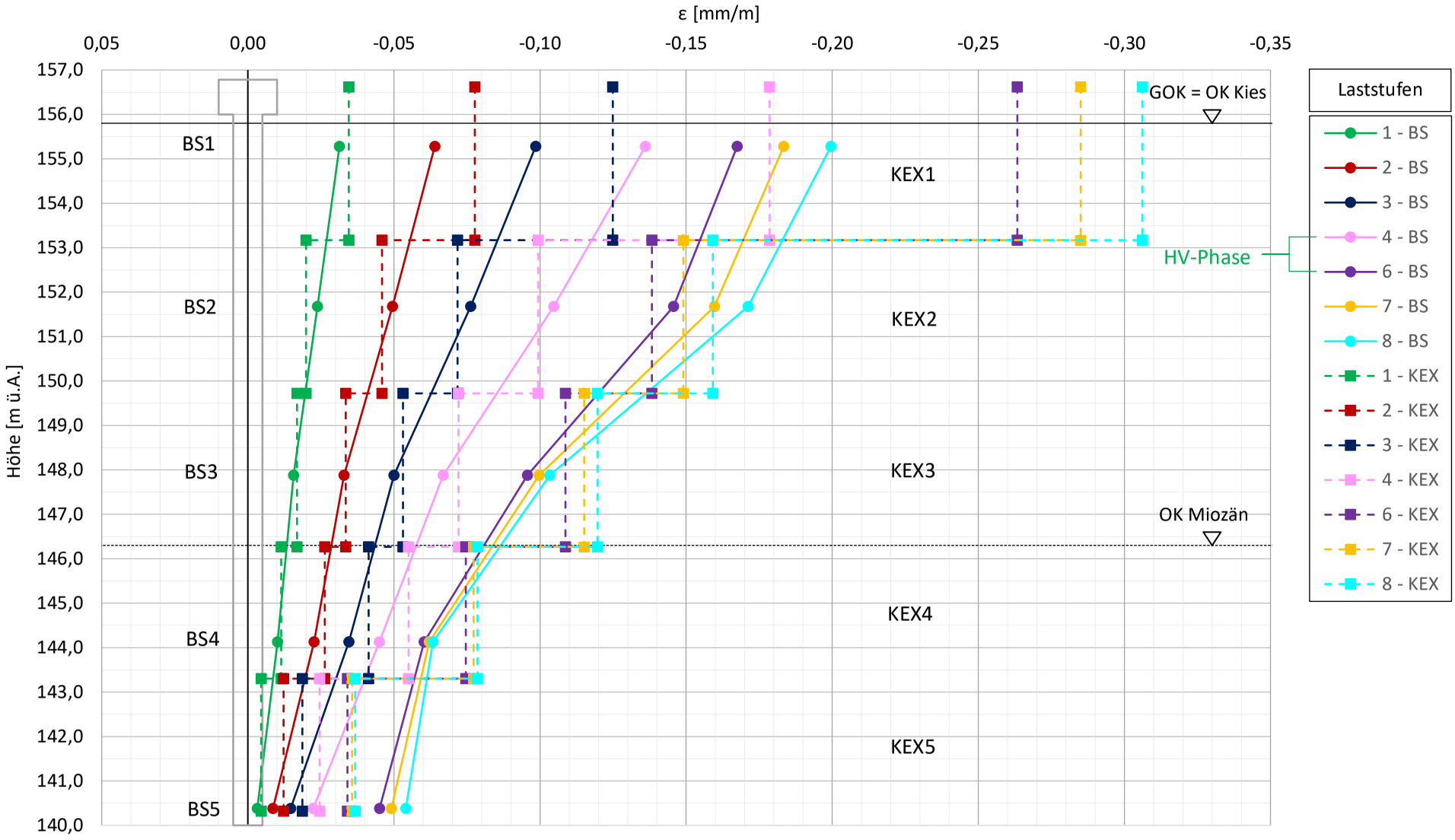
Probepfahl: **B.HM**



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.

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.

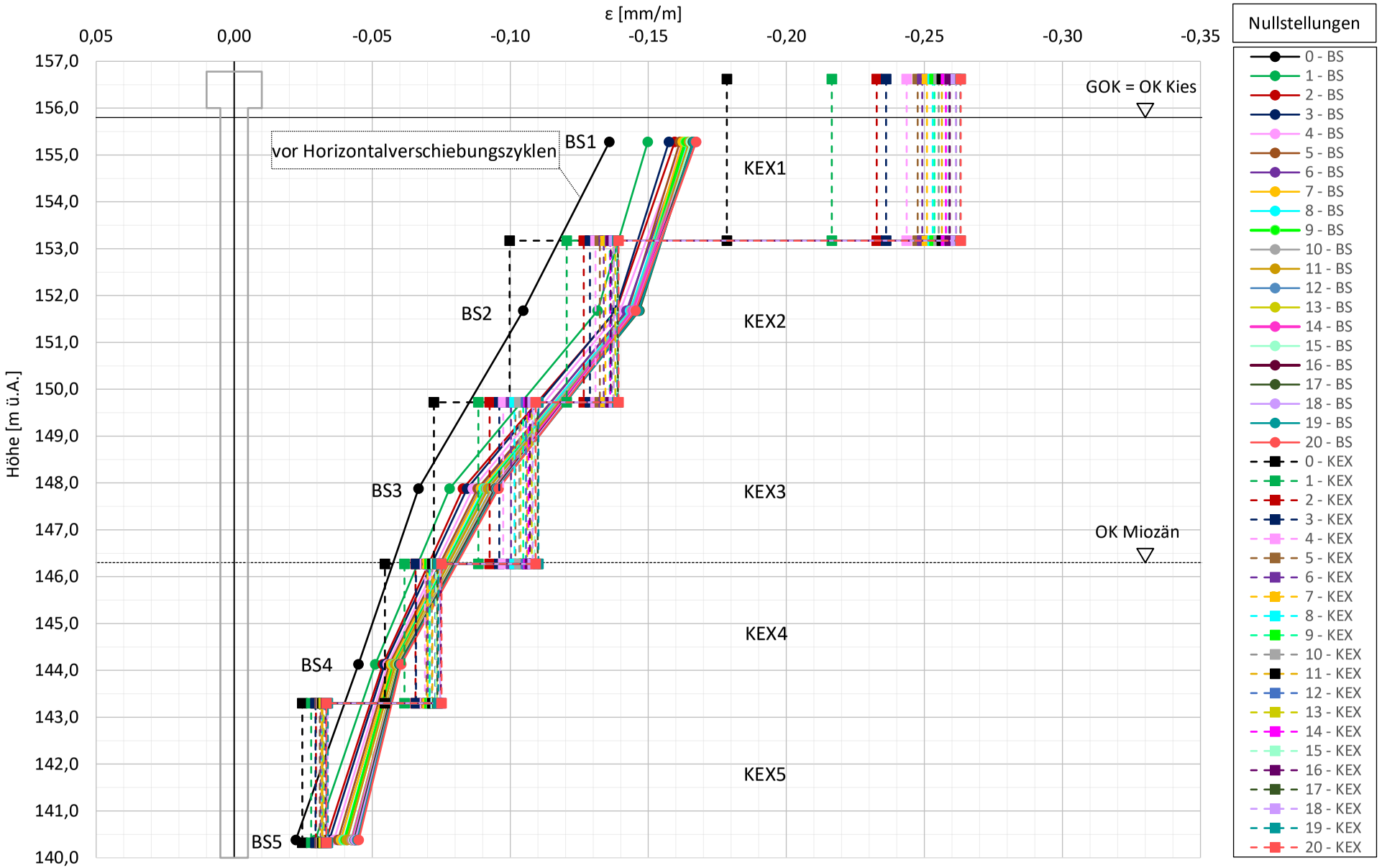
Probepfahl: **B.HM** **Längsdehnungen je Vertikallaststufe (Bewehrungssensoren...BS bzw. Kettenextensometer...KEX)**



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.

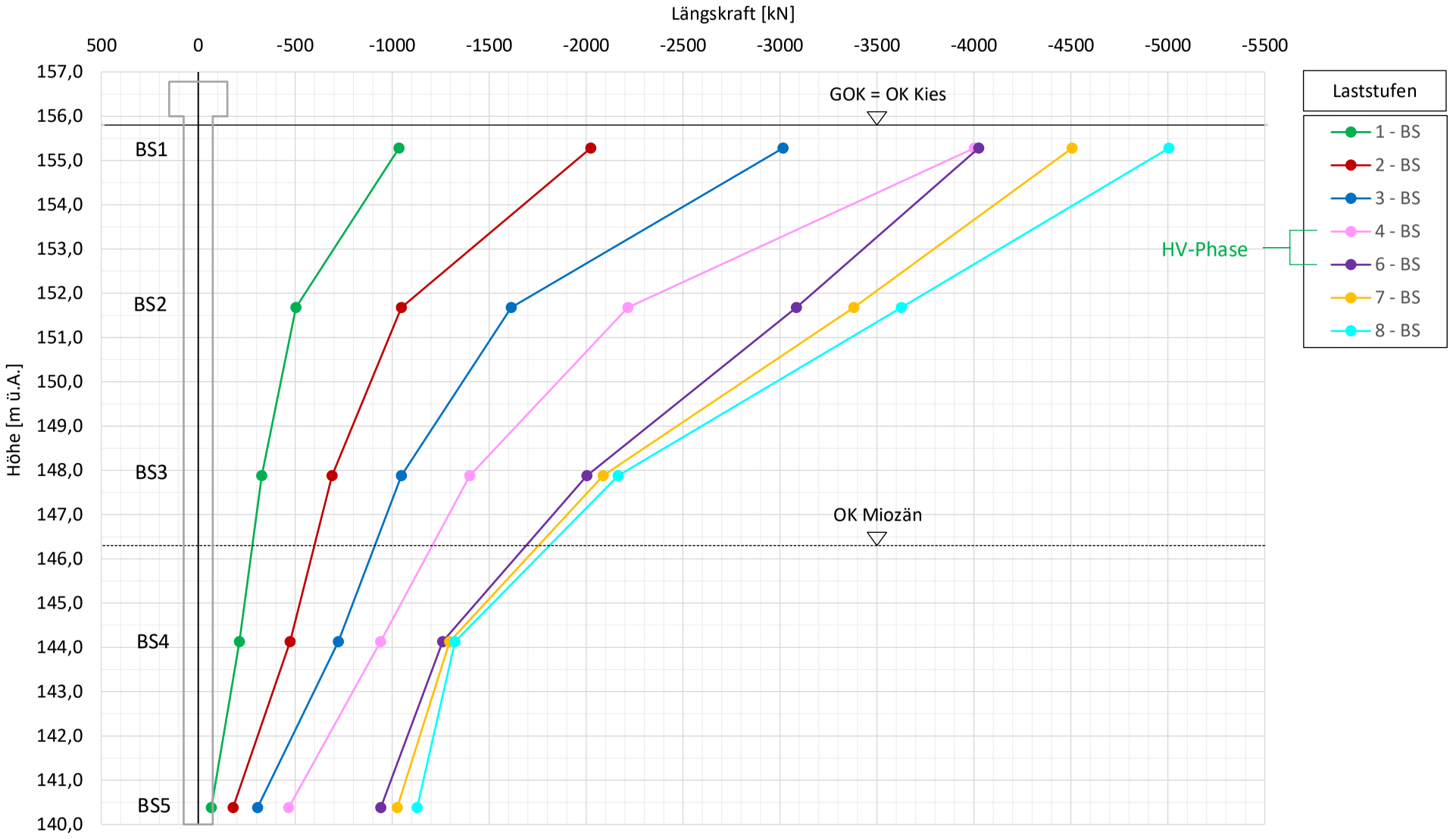
Probepfahl: **B.HM**

Längsdehnungen je Nullstellung (Bewehrungssensoren...BS bzw. Kettenextensometer...KEX)



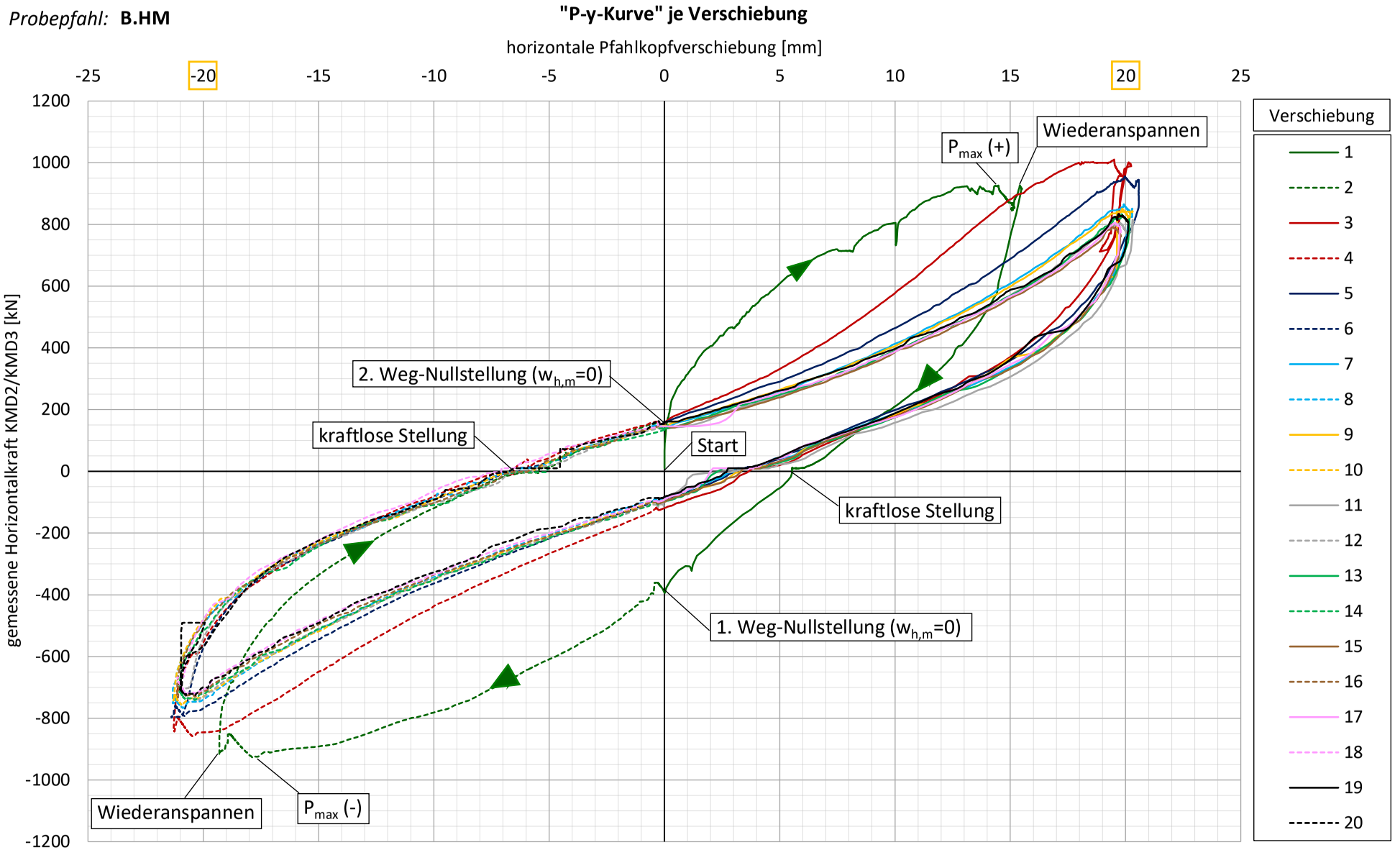
Probepfahl: **B.HM**

Längskraftverlauf je Vertikallaststufe (Bewehrungssensoren...BS)



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.

Probepfahl: **B.HM**

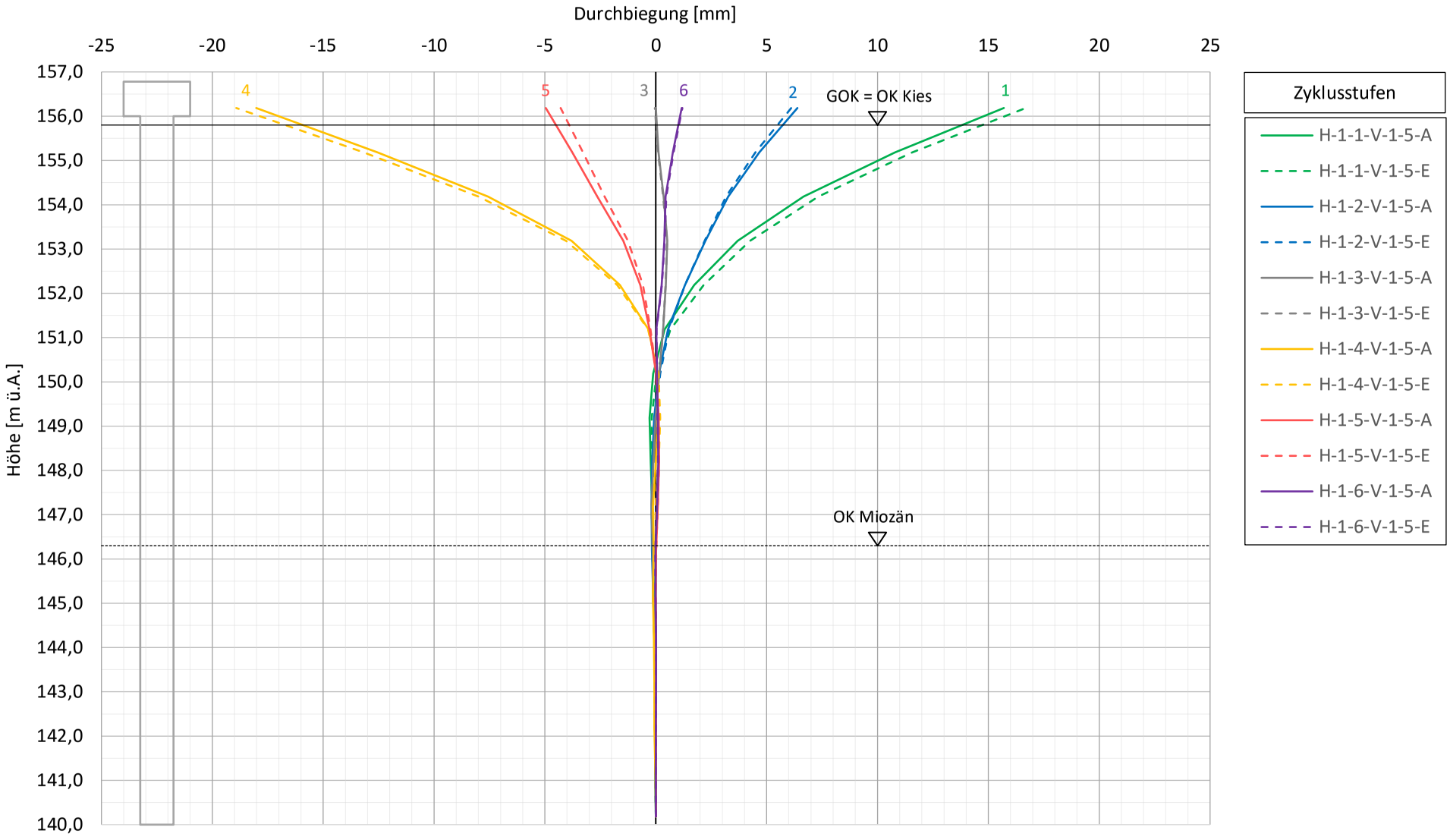


Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

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.

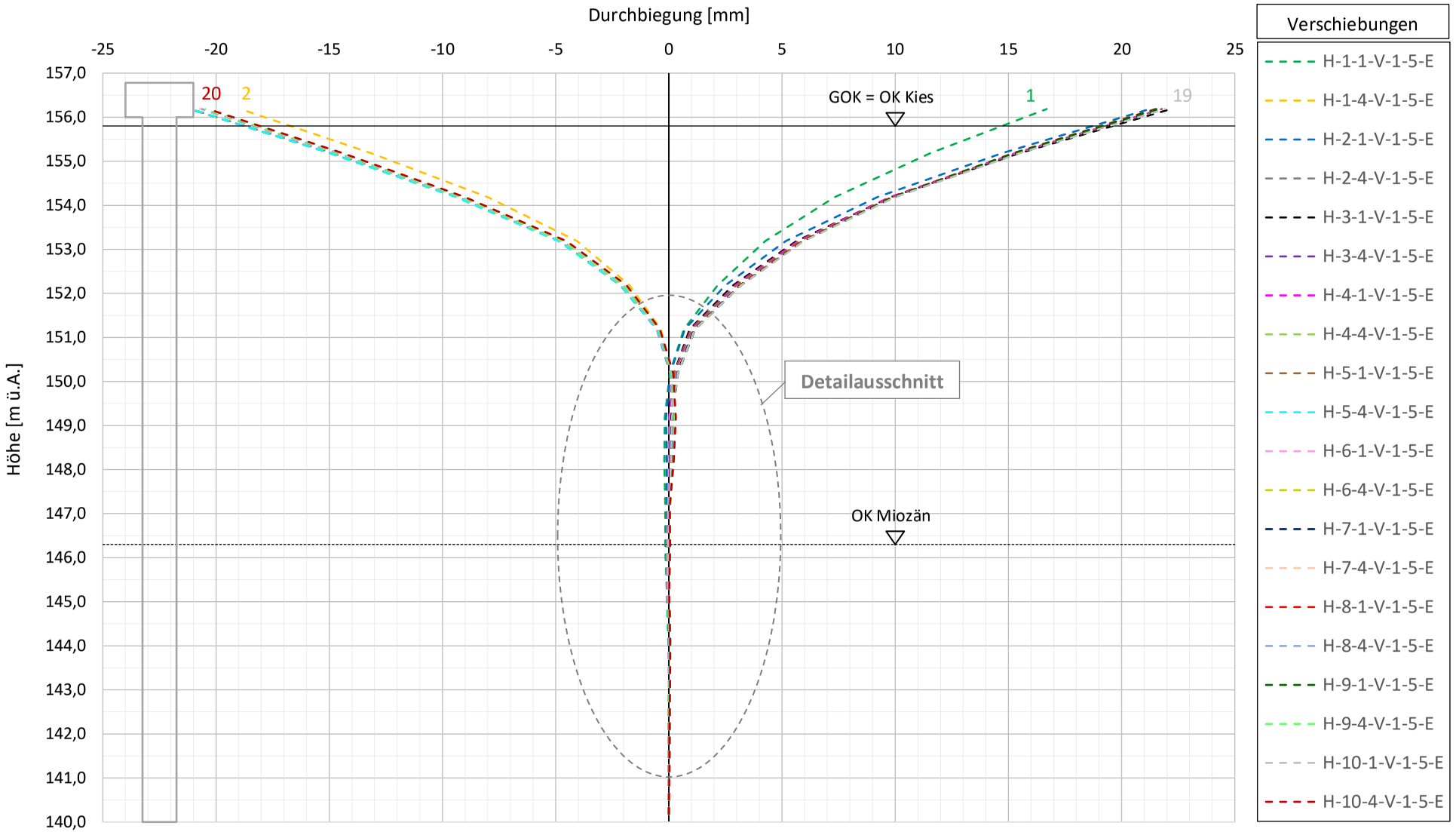
Probepfahl: **B.HM**

Biegelinien am Anfang und Ende jeder Zyklusstufe (1-6) (Ketteninklinometer) - Zyklus 1



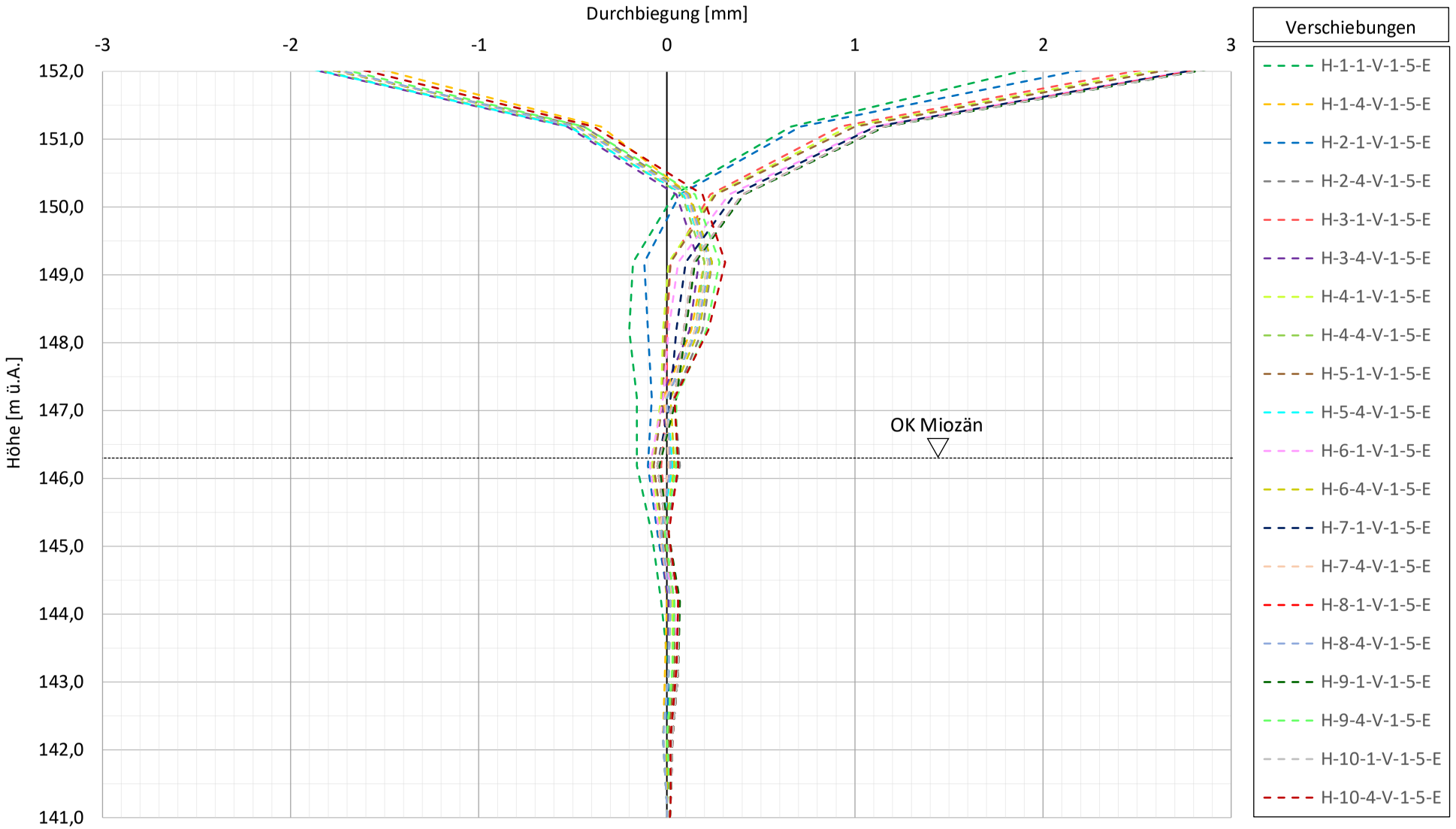
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Probepfahl: **B.HM** **Biegelinien am Ende (E) jeder Verschiebung (Ketteninklinometer) - Gesamtversuch**



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.

Probepfahl: **B.HM** **Biegelinien am Ende (E) jeder Zyklusstufe (20) (Ketteninklinometer) - Gesamtversuch -** Detailausschnitt



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.

ANHANG L

Auswertung B.HK

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.

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung: MWES I - VERTIKAL

Laststufen (LS)				Werte bei LS Ende			Mittelwert der Vertikalversch. bei Beginn LS + Δt [min]									Berechnung Kriechmaß				
LS	LS	LS	Tag	Vertikalkraft	Vertikalkraft	Verschiebung	Δt	Δt	Δt	Δt	Δt	Δt	Δt	Δt	Δt	Berechnungswerte				
vertikal	Beginn	Ende	Ende LS	Soll	Ist	$w_{v,m}$	1 min	2 min	5 min	10 min	15 min	20 min	40 min	60 min	80 min	Δt_1	Δt_2	$w_{v,m,1}$	$w_{v,m,2}$	Kriechmaß
Nr.	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]	[d]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
0	11:13:01	11:29:23	19	-50	-48	-0,59	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,59									
1	**11:31:13**	**11:47:45**	**19**	**-238**	**-237**	**-0,83**	**-0,80**	**-0,80**	**-0,81**	**-0,82**	**-0,83**					**5**	**15**	**-0,81**	**-0,83**	**-0,03**
2	**11:53:39**	**12:10:43**	**19**	**-425**	**-425**	**-1,23**	**-1,18**	**-1,19**	**-1,19**	**-1,22**	**-1,23**					**5**	**15**	**-1,19**	**-1,23**	**-0,08**
3	**12:19:49**	**12:31:45**	**19**	**-613**	**-616**	**-2,03**	**-1,92**	**-1,94**	**-1,97**	**-2,02**						**5**	**10**	**-1,97**	**-2,02**	**-0,14**
4	**12:39:51**	**13:40:43**	**19**	**-800**	**-799**	**-3,15**	**-2,86**	**-2,88**	**-2,92**	**-2,98**	**-3,02**	**-3,05**	**-3,11**	**-3,15**		**30**	**60**	**-3,09**	**-3,15**	**-0,22**
5	**13:44:13**	**15:12:31**	**19**	**-1000**	**-1000**	**-4,30**	**-3,94**	**-3,97**	**-4,03**	**-4,08**	**-4,11**	**-4,15**	**-4,23**	**-4,27**	**-4,29**	**20**	**80**	**-4,15**	**-4,29**	**-0,23**
6	15:33:45	16:03:19	22	-1000	-1131	-8,35	-8,87	-8,89	-8,87	-8,70	-8,62	-8,61								
7	16:34:57	16:45:39	22	-1000	-1007	-8,23	-8,24	-8,24	-8,24	-8,23										
8	16:48:47	16:59:21	22	-800	-807	-7,99	-7,99	-7,99	-7,99	-7,99										
9	17:03:11	17:14:43	22	-425	-436	-7,44	-7,45	-7,44	-7,44	-7,44										
10	17:20:41	9:47:35	23	-50	-60	-6,71														
11	9:49:37	10:01:03	23	-238	-240	-6,98	-6,96	-6,97	-6,97	-6,98										
12	10:02:39	10:14:33	23	-425	-424	-7,32	-7,30	-7,30	-7,31	-7,32										
13	10:17:13	10:27:27	23	-613	-615	-7,65	-7,63	-7,63	-7,64	-7,65										
14	10:29:05	10:42:43	23	-800	-799	-7,96	-7,95	-7,95	-7,95	-7,96										
15	**10:45:31**	**11:01:13**	**23**	**-1125**	**-1126**	**-8,54**	**-8,49**	**-8,50**	**-8,52**	**-8,53**	**-8,54**					**5**	**15**	**-8,52**	**-8,54**	**-0,06**
16	**11:05:27**	**11:21:57**	**23**	**-1450**	**-1449**	**-9,49**	**-9,35**	**-9,37**	**-9,42**	**-9,46**	**-9,49**					**10**	**15**	**-9,46**	**-9,49**	**-0,18**
17	**11:28:17**	**11:49:11**	**23**	**-1775**	**-1765**	**-11,16**	**-10,87**	**-10,90**	**-10,98**	**-11,05**	**-11,11**	**-11,16**				**10**	**20**	**-11,05**	**-11,16**	**-0,35**
18	**11:54:01**	**12:42:51**	**23**	**-2100**	**-2089**	**-13,44**	**-12,73**	**-12,80**	**-12,94**	**-13,06**	**-13,15**	**-13,22**	**-13,40**			**20**	**40**	**-13,22**	**-13,40**	**-0,61**
19	**12:46:59**	**13:06:57**	**23**	**-2750**	**-2758**	**-18,50**	**-17,72**	**-17,82**	**-18,05**	**-18,27**	**-18,40**					**5**	**15**	**-18,05**	**-18,40**	**-0,74**
20	**13:15:41**	**13:37:01**	**23**	**-3400**	**-3404**	**-24,72**	**-23,77**	**-23,88**	**-24,14**	**-24,40**	**-24,55**	**-24,70**				**10**	**20**	**-24,40**	**-24,70**	**-1,00**
21	**13:45:39**	**14:14:51**	**23**	**-4050**	**-4065**	**-32,09**	**-30,47**	**-30,65**	**-31,02**	**-31,43**	**-31,69**	**-31,87**				**10**	**20**	**-31,43**	**-31,87**	**-1,46**
22	**14:20:11**	**14:44:25**	**23**	**-4700**	**-4406**	**-36,91**	**-37,41**	**-37,29**	**-36,88**	**-36,93**	**-36,93**	**-36,93**				**10**	**20**	**-36,93**	**-36,93**	**0,01**
23	14:45:01	14:46:01	23	-5000	-3772	-36,50														
24	14:47:05	14:57:25	23	-3400	-3416	-36,13	-36,13	-36,13	-36,13	-36,13										
25	15:06:41	15:19:27	23	-800	-825	-33,84	-33,83	-33,83	-33,84	-33,84										
26	15:25:25	15:37:13	23	-425	-444	-33,13	-33,16	-33,13	-33,13	-33,13										
27	15:45:31	16:01:01	23	-50	-59	-31,66	-31,72	-31,69	-31,68	-31,67	-31,66									

(**fett** = Laststufen der Erstbelastung)

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung: MWES II - VERTIKAL - Bewehrungssensoren																				
Laststufen (LS)				**Werte bei LS Ende**		**Verformungsmessungen der Bewehrungssensoren auf** *Höhe in [m ü.A.]*										**Mittelwerte je Messquerschnitt auf** *Höhe in [m ü.A.]*				
LS	LS	LS	Tag	Vertikalkraft	Vertikalkraft	*155,54*		*153,99*		*153,09*		*152,19*		*151,29*		*155,54*	*153,99*	*153,09*	*152,19*	*151,29*
Vertikallast	Beginn	Ende	Ende LS	Soll	Ist	BS1.1	BS1.2	BS2.1	BS2.2	BS3.1	BS3.2	BS4.1	BS4.2	BS5.1	BS5.2	MQ1	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5
Nr.	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]	[d]	[kN]	[kN]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]
0 - BS	11:13:01	11:29:23	19	-50	-48	-0,003	-0,004	-0,003	-0,003	-0,002	-0,001	-0,002	0,000	-0,002	0,000	-0,004	-0,003	-0,002	-0,001	-0,001
1 - BS	**11:31:13**	**11:47:45**	**19**	**-238**	**-237**	**-0,010**	**-0,020**	**-0,010**	**-0,018**	**-0,010**	**-0,011**	**-0,009**	**-0,008**	**-0,009**	**-0,007**	**-0,015**	**-0,014**	**-0,011**	**-0,009**	**-0,008**
2 - BS	**11:53:39**	**12:10:43**	**19**	**-425**	**-425**	**-0,019**	**-0,034**	**-0,020**	**-0,032**	**-0,019**	**-0,020**	**-0,018**	**-0,016**	**-0,017**	**-0,014**	**-0,027**	**-0,026**	**-0,020**	**-0,017**	**-0,015**
3 - BS	**12:19:49**	**12:31:45**	**19**	**-613**	**-616**	**-0,028**	**-0,050**	**-0,029**	**-0,046**	**-0,028**	**-0,030**	**-0,027**	**-0,024**	**-0,027**	**-0,020**	**-0,039**	**-0,038**	**-0,029**	**-0,026**	**-0,024**
4 - BS	**12:39:51**	**13:40:43**	**19**	**-800**	**-799**	**-0,038**	**-0,066**	**-0,039**	**-0,062**	**-0,037**	**-0,040**	**-0,037**	**-0,032**	**-0,037**	**-0,028**	**-0,052**	**-0,050**	**-0,039**	**-0,035**	**-0,032**
5 - BS	**13:44:13**	**15:12:31**	**19**	**-1000**	**-1000**	**-0,047**	**-0,083**	**-0,049**	**-0,079**	**-0,047**	**-0,052**	**-0,047**	**-0,042**	**-0,047**	**-0,037**	**-0,065**	**-0,064**	**-0,050**	**-0,045**	**-0,042**
6 - BS	15:33:45	16:03:19	22	-1000	-1131	-0,077	-0,118	-0,035	-0,267	-0,012	-0,074	-0,013	-0,049	-0,074	-0,087	-0,097	-0,151	-0,043	-0,031	-0,080
7 - BS	16:34:57	16:45:39	22	-1000	-1007	-0,064	-0,115	-0,036	-0,248	-0,014	-0,057	-0,014	-0,034	-0,073	-0,074	-0,090	-0,142	-0,036	-0,024	-0,074
8 - BS	16:48:47	16:59:21	22	-800	-807	-0,056	-0,099	-0,018	-0,230	0,000	-0,042	-0,001	-0,021	-0,061	-0,064	-0,077	-0,124	-0,021	-0,011	-0,063
9 - BS	17:03:11	17:14:43	22	-425	-436	-0,040	-0,066	0,022	-0,189	0,029	-0,011	0,029	0,006	-0,037	-0,045	-0,053	-0,083	0,009	0,017	-0,041
10 - BS	17:20:41	9:47:35	23	-50	-60	-0,025	-0,027	0,040	-0,079	0,052	0,052	0,059	0,058	-0,016	-0,016	-0,026	-0,019	0,052	0,058	-0,016
11 - BS	9:49:37	10:01:03	23	-238	-240	-0,031	-0,042	0,024	-0,119	0,041	0,033	0,046	0,042	-0,026	-0,026	-0,036	-0,048	0,037	0,044	-0,026
12 - BS	10:02:39	10:14:33	23	-425	-424	-0,039	-0,057	0,004	-0,149	0,026	0,017	0,031	0,028	-0,036	-0,035	-0,048	-0,073	0,022	0,029	-0,036
13 - BS	10:17:13	10:27:27	23	-613	-615	-0,047	-0,072	-0,016	-0,174	0,011	0,001	0,015	0,014	-0,049	-0,044	-0,060	-0,095	0,006	0,015	-0,046
14 - BS	10:29:05	10:42:43	23	-800	-799	-0,056	-0,088	-0,033	-0,197	-0,003	-0,015	0,000	0,002	-0,061	-0,053	-0,072	-0,115	-0,009	0,001	-0,057
15 - BS	**10:45:31**	**11:01:13**	**23**	**-1125**	**-1126**	**-0,071**	**-0,115**	**-0,060**	**-0,232**	**-0,027**	**-0,040**	**-0,025**	**-0,020**	**-0,082**	**-0,068**	**-0,093**	**-0,146**	**-0,034**	**-0,022**	**-0,075**
16 - BS	**11:05:27**	**11:21:57**	**23**	**-1450**	**-1449**	**-0,086**	**-0,143**	**-0,082**	**-0,269**	**-0,048**	**-0,067**	**-0,045**	**-0,041**	**-0,100**	**-0,084**	**-0,114**	**-0,175**	**-0,058**	**-0,043**	**-0,092**
17 - BS	**11:28:17**	**11:49:11**	**23**	**-1775**	**-1765**	**-0,100**	**-0,171**	**-0,102**	**-0,305**	**-0,068**	**-0,094**	**-0,064**	**-0,063**	**-0,115**	**-0,101**	**-0,135**	**-0,203**	**-0,081**	**-0,063**	**-0,108**
18 - BS	**11:54:01**	**12:42:51**	**23**	**-2100**	**-2089**	**-0,117**	**-0,199**	**-0,125**	**-0,339**	**-0,090**	**-0,119**	**-0,084**	**-0,084**	**-0,132**	**-0,115**	**-0,158**	**-0,232**	**-0,105**	**-0,084**	**-0,124**
19 - BS	**12:46:59**	**13:06:57**	**23**	**-2750**	**-2758**	**-0,153**	**-0,254**	**-0,174**	**-0,401**	**-0,137**	**-0,165**	**-0,129**	**-0,122**	**-0,174**	**-0,143**	**-0,204**	**-0,287**	**-0,151**	**-0,125**	**-0,158**
20 - BS	**13:15:41**	**13:37:01**	**23**	**-3400**	**-3404**	**-0,187**	**-0,319**	**-0,211**	**-0,476**	**-0,175**	**-0,220**	**-0,169**	**-0,167**	**-0,216**	**-0,173**	**-0,253**	**-0,343**	**-0,198**	**-0,168**	**-0,195**
21 - BS	**13:45:39**	**14:14:51**	**23**	**-4050**	**-4065**	**-0,213**	**-0,418**	**-0,213**	**-0,622**	**-0,183**	**-0,317**	**-0,187**	**-0,244**	**-0,251**	**-0,222**	**-0,316**	**-0,418**	**-0,250**	**-0,216**	**-0,237**
22 - BS	**14:20:11**	**14:44:25**	**23**	**-4700**	**-4406**	**-0,119**	**-0,634**	**0,336**	**-1,184**	**0,159**	**-0,682**	**0,005**	**-0,522**	**-0,177**	**-0,389**	**-0,377**	**-0,424**	**-0,262**	**-0,258**	**-0,283**
23 - BS	14:45:01	14:46:01	23	-5000	-3772	-0,096	-0,576	0,396	-1,125	0,220	-0,639	0,055	-0,488	-0,146	-0,361	-0,336	-0,365	-0,210	-0,217	-0,254
24 - BS	14:47:05	14:57:25	23	-3400	-3416	-0,084	-0,539	0,420	-1,084	0,249	-0,609	0,086	-0,468	-0,128	-0,347	-0,312	-0,332	-0,180	-0,191	-0,238
25 - BS	15:06:41	15:19:27	23	-800	-825	-0,061	-0,179	0,128	-0,408	0,117	-0,157	0,116	-0,143	-0,032	-0,139	-0,120	-0,140	-0,020	-0,014	-0,086
26 - BS	15:25:25	15:37:13	23	-425	-444	-0,051	-0,118	0,083	-0,282	0,090	-0,073	0,096	-0,070	-0,023	-0,091	-0,084	-0,099	0,009	0,013	-0,057
27 - BS	15:45:31	16:01:01	23	-50	-59	-0,029	-0,052	0,049	-0,110	0,073	0,025	0,085	0,015	-0,014	-0,039	-0,041	-0,030	0,049	0,050	-0,027

(**fett** = Laststufen der Erstbelastung)

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung: MWES II - VERTIKAL - Kettenextensometer															
Laststufen (LS)				**Werte bei LS Ende**		**Verformungsmessungen der KEX-Abbschnitte auf** *Höhe in [m ü.A.]*									
LS	LS	LS	Tag	Vertikalkraft	Vertikalkraft	*156,61*	*154,08*	*154,08*	*153,22*	*153,22*	*152,36*	*151,50*	*151,50*	*150,64*	*150,64*
Vertikallast	Beginn	Ende	Ende LS	Soll	Ist	KEX1		KEX2		KEX3		KEX4		KEX5	
Nr.	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]	[d]	[kN]	[kN]	[mm/m]		[mm/m]		[mm/m]		[mm/m]		[mm/m]	
0 - KEX	11:13:01	11:29:23	19	-50	-48	-0,004	-0,004	-0,006	-0,006	-0,005	-0,005	0,003	0,003	0,004	0,004
1 - KEX	**11:31:13**	**11:47:45**	**19**	**-238**	**-237**	**-0,015**	**-0,015**	**-0,015**	**-0,015**	**-0,016**	**-0,016**	**-0,011**	**-0,011**	**-0,006**	**-0,006**
2 - KEX	**11:53:39**	**12:10:43**	**19**	**-425**	**-425**	**-0,028**	**-0,028**	**-0,028**	**-0,028**	**-0,025**	**-0,025**	**-0,017**	**-0,017**	**-0,015**	**-0,015**
3 - KEX	**12:19:49**	**12:31:45**	**19**	**-613**	**-616**	**-0,041**	**-0,041**	**-0,037**	**-0,037**	**-0,035**	**-0,035**	**-0,028**	**-0,028**	**-0,025**	**-0,025**
4 - KEX	**12:39:51**	**13:40:43**	**19**	**-800**	**-799**	**-0,054**	**-0,054**	**-0,051**	**-0,051**	**-0,043**	**-0,043**	**-0,039**	**-0,039**	**-0,034**	**-0,034**
5 - KEX	**13:44:13**	**15:12:31**	**19**	**-1000**	**-1000**	**-0,068**	**-0,068**	**-0,064**	**-0,064**	**-0,056**	**-0,056**	**-0,050**	**-0,050**	**-0,045**	**-0,045**
6 - KEX	15:33:45	16:03:19	22	-1000	-1131	-0,095	-0,095	-0,051	-0,051	0,003	0,003	-0,021	-0,021	-0,087	-0,087
7 - KEX	16:34:57	16:45:39	22	-1000	-1007	-0,086	-0,086	-0,042	-0,042	0,009	0,009	-0,016	-0,016	-0,081	-0,081
8 - KEX	16:48:47	16:59:21	22	-800	-807	-0,071	-0,071	-0,028	-0,028	0,026	0,026	0,002	0,002	-0,069	-0,069
9 - KEX	17:03:11	17:14:43	22	-425	-436	-0,040	-0,040	0,011	0,011	0,059	0,059	0,029	0,029	-0,044	-0,044
10 - KEX	17:20:41	9:47:35	23	-50	-60	-0,001	-0,001	0,075	0,075	0,102	0,102	0,071	0,071	-0,014	-0,014
11 - KEX	9:49:37	10:01:03	23	-238	-240	-0,017	-0,017	0,050	0,050	0,083	0,083	0,057	0,057	-0,028	-0,028
12 - KEX	10:02:39	10:14:33	23	-425	-424	-0,033	-0,033	0,030	0,030	0,070	0,070	0,042	0,042	-0,037	-0,037
13 - KEX	10:17:13	10:27:27	23	-613	-615	-0,051	-0,051	0,010	0,010	0,050	0,050	0,025	0,025	-0,051	-0,051
14 - KEX	10:29:05	10:42:43	23	-800	-799	-0,065	-0,065	-0,011	-0,011	0,041	0,041	0,010	0,010	-0,061	-0,061
15 - KEX	**10:45:31**	**11:01:13**	**23**	**-1125**	**-1126**	**-0,091**	**-0,091**	**-0,039**	**-0,039**	**0,012**	**0,012**	**-0,013**	**-0,013**	**-0,079**	**-0,079**
16 - KEX	**11:05:27**	**11:21:57**	**23**	**-1450**	**-1449**	**-0,116**	**-0,116**	**-0,074**	**-0,074**	**-0,012**	**-0,012**	**-0,043**	**-0,043**	**-0,097**	**-0,097**
17 - KEX	**11:28:17**	**11:49:11**	**23**	**-1775**	**-1765**	**-0,141**	**-0,141**	**-0,101**	**-0,101**	**-0,034**	**-0,034**	**-0,057**	**-0,057**	**-0,117**	**-0,117**
18 - KEX	**11:54:01**	**12:42:51**	**23**	**-2100**	**-2089**	**-0,167**	**-0,167**	**-0,132**	**-0,132**	**-0,059**	**-0,059**	**-0,078**	**-0,078**	**-0,135**	**-0,135**
19 - KEX	**12:46:59**	**13:06:57**	**23**	**-2750**	**-2758**	**-0,219**	**-0,219**	**-0,185**	**-0,185**	**-0,108**	**-0,108**	**-0,126**	**-0,126**	**-0,174**	**-0,174**
20 - KEX	**13:15:41**	**13:37:01**	**23**	**-3400**	**-3404**	**-0,269**	**-0,269**	**-0,241**	**-0,241**	**-0,156**	**-0,156**	**-0,170**	**-0,170**	**-0,211**	**-0,211**
21 - KEX	**13:45:39**	**14:14:51**	**23**	**-4050**	**-4065**	**-0,330**	**-0,330**	**-0,300**	**-0,300**	**-0,209**	**-0,209**	**-0,216**	**-0,216**	**-0,258**	**-0,258**
22 - KEX	**14:20:11**	**14:44:25**	**23**	**-4700**	**-4406**	**-0,351**	**-0,351**	**-0,215**	**-0,215**	**-0,165**	**-0,165**	**-0,218**	**-0,218**	**-0,278**	**-0,278**
23 - KEX	14:45:01	14:46:01	23	-5000	-3772	-0,301	-0,301	-0,151	-0,151	-0,105	-0,105	-0,177	-0,177	-0,242	-0,242
24 - KEX	14:47:05	14:57:25	23	-3400	-3416	-0,276	-0,276	-0,120	-0,120	-0,078	-0,078	-0,156	-0,156	-0,224	-0,224
25 - KEX	15:06:41	15:19:27	23	-800	-825	-0,092	-0,092	-0,002	-0,002	0,054	0,054	0,019	0,019	-0,071	-0,071
26 - KEX	15:25:25	15:37:13	23	-425	-444	-0,057	-0,057	0,019	0,019	0,068	0,068	0,042	0,042	-0,047	-0,047
27 - KEX	15:45:31	16:01:01	23	-50	-59	-0,012	-0,012	0,067	0,067	0,098	0,098	0,069	0,069	-0,021	-0,021

(**fett** = Laststufen der Erstbelastung)

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung MWES II - Anhand der Bewehrungssensoren errechnete Normalkräfte in den Messquerschnitten (MQ)																
Laststufen (LS)				Werte bei LS Ende		E-Modul	MQ1	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5	MQ1	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5
LS	LS	LS	Tag	Vertikalkraft	Vertikalkraft	an BS1 kalibriert	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	Anteil an	Anteil an	Anteil an	Anteil an	Anteil an
Vertikallast	Beginn	Ende	Ende LS	Soll	Ist	$E_{c,MQ1}$	QS-Nr.:	QS-Nr.:	QS-Nr.:	QS-Nr.:	QS-Nr.:	Ist - Kraft	Ist - Kraft	Ist - Kraft	Ist - Kraft	Ist - Kraft
Nr.	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]	[d]	[kN]	[kN]	[kN/mm²]	3	4	5	6	7	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
0 - BS	11:13:01	11:29:23	19	-50	-48	37	-48	-31	-18	-12	-9	100%	65%	36%	25%	18%
1 - BS	**11:31:13**	**11:47:45**	**19**	**-238**	**-237**	**48**	**-237**	**-154**	**-117**	**-95**	**-84**	**100%**	**65%**	**49%**	**40%**	**36%**
2 - BS	**11:53:39**	**12:10:43**	**19**	**-425**	**-425**	**47**	**-425**	**-279**	**-216**	**-182**	**-164**	**100%**	**66%**	**51%**	**43%**	**39%**
3 - BS	**12:19:49**	**12:31:45**	**19**	**-613**	**-616**	**47**	**-616**	**-413**	**-315**	**-275**	**-249**	**100%**	**67%**	**51%**	**45%**	**40%**
4 - BS	**12:39:51**	**13:40:43**	**19**	**-800**	**-799**	**46**	**-799**	**-549**	**-422**	**-372**	**-344**	**100%**	**69%**	**53%**	**47%**	**43%**
5 - BS	**13:44:13**	**15:12:31**	**19**	**-1000**	**-1000**	**45**	**-1000**	**-698**	**-542**	**-481**	**-449**	**100%**	**70%**	**54%**	**48%**	**45%**
6 - BS	15:33:45	16:03:19	22	-1000	-1131	31	-1131	-1645	-470	-335	-852	100%	145%	42%	30%	75%
7 - BS	16:34:57	16:45:39	22	-1000	-1007	29	-1007	-1550	-388	-260	-782	100%	154%	39%	26%	78%
8 - BS	16:48:47	16:59:21	22	-800	-807	26	-807	-1352	-232	-117	-663	100%	168%	29%	14%	82%
9 - BS	17:03:11	17:14:43	22	-425	-436	17	-436	-908	99	184	-434	100%	208%	-23%	-42%	100%
10 - BS	17:20:41	9:47:35	23	-50	-60	-6	-60	-210	567	627	-172	100%	348%	-941%	-1040%	285%
11 - BS	9:49:37	10:01:03	23	-238	-240	11	-240	-520	404	473	-274	100%	217%	-169%	-197%	114%
12 - BS	10:02:39	10:14:33	23	-425	-424	20	-424	-792	236	315	-377	100%	187%	-56%	-74%	89%
13 - BS	10:17:13	10:27:27	23	-613	-615	26	-615	-1037	66	157	-492	100%	169%	-11%	-25%	80%
14 - BS	10:29:05	10:42:43	23	-800	-799	29	-799	-1253	-96	11	-603	100%	157%	12%	-1%	76%
15 - BS	**10:45:31**	**11:01:13**	**23**	**-1125**	**-1126**	**33**	**-1126**	**-1596**	**-367**	**-238**	**-798**	**100%**	**142%**	**33%**	**21%**	**71%**
16 - BS	**11:05:27**	**11:21:57**	**23**	**-1450**	**-1449**	**35**	**-1449**	**-1913**	**-629**	**-465**	**-976**	**100%**	**132%**	**43%**	**32%**	**67%**
17 - BS	**11:28:17**	**11:49:11**	**23**	**-1775**	**-1765**	**36**	**-1765**	**-2221**	**-882**	**-682**	**-1142**	**100%**	**126%**	**50%**	**39%**	**65%**
18 - BS	**11:54:01**	**12:42:51**	**23**	**-2100**	**-2089**	**37**	**-2089**	**-2537**	**-1144**	**-905**	**-1313**	**100%**	**121%**	**55%**	**43%**	**63%**
19 - BS	**12:46:59**	**13:06:57**	**23**	**-2750**	**-2758**	**38**	**-2758**	**-3139**	**-1646**	**-1346**	**-1678**	**100%**	**114%**	**60%**	**49%**	**61%**
20 - BS	**13:15:41**	**13:37:01**	**23**	**-3400**	**-3404**	**38**	**-3404**	**-3751**	**-2157**	**-1805**	**-2064**	**100%**	**110%**	**63%**	**53%**	**61%**
21 - BS	**13:45:39**	**14:14:51**	**23**	**-4050**	**-4065**	**35**	**-4065**	**-4562**	**-2728**	**-2325**	**-2509**	**100%**	**112%**	**67%**	**57%**	**62%**
22 - BS	**14:20:11**	**14:44:25**	**23**	**-4700**	**-4406**	**31**	**-4406**	**-4633**	**-2856**	**-2782**	**-3000**	**100%**	**105%**	**65%**	**63%**	**68%**
23 - BS	14:45:01	14:46:01	23	-5000	-3772	29	-3772	-3981	-2291	-2335	-2690	100%	106%	61%	62%	71%
24 - BS	14:47:05	14:57:25	23	-3400	-3416	28	-3416	-3625	-1970	-2060	-2519	100%	106%	58%	60%	74%
25 - BS	15:06:41	15:19:27	23	-800	-825	12	-825	-1528	-219	-145	-910	100%	185%	27%	18%	110%
26 - BS	15:25:25	15:37:13	23	-425	-444	6	-444	-1086	94	141	-610	100%	244%	-21%	-32%	137%
27 - BS	15:45:31	16:01:01	23	-50	-59	-9	-59	-332	536	540	-284	100%	561%	-905%	-912%	479%

(**fett** = Laststufen der Erstbelastung) (MQ1→BS1, MQ2→BS2, MQ3→BS3, MQ4→BS4, MQ5→BS5)

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung in den Nullstellungen von $w_{h,m}$: MWES I - VERTIKAL und HORIZONTAL

					V-Kraft	V-Kraft	Verschiebung		H-Kraft	H-Kraft	H-Kraft	Verschiebung
		Zeitpunkt	Zeitpunkt	Zeitpunkt	KMD 1	KMD 1	vertikal		KMD 2	KMD 3	KMD 2/3	horizontal
Nullstellung	Tag	MWES1	MWES1	gerundet	SOLL	IST	$w_{v,m}$	$\Delta w_{v,m}$	gemessen	gemessen	maßgebend	$w_{h,m} \sim 0$
Nr.	[d]	[hh:mm:ss]	[Zahl]	[hh:mm]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]
0	19	15:12:31	0,16632	15:13	-1000	-1000	-4,30	0,00	1	-1		-0,03
1	19	17:08:37	0,24692	17:09	-1000	-940	-4,85	-0,55	1	81	**81**	-0,01
2	20	7:45:27	0,85586	07:45	-1000	-999	-5,85	-1,01	-47	-1	**-47**	-0,15
3	20	9:30:41	0,92894	09:31	-1000	-1000	-6,17	-0,31	1	35	**35**	-0,03
4	20	11:32:17	1,01338	11:32	-1000	-993	-6,49	-0,32	-37	-1	**-37**	0,01
5	20	13:33:03	1,09725	13:33	-1000	-1006	-6,66	-0,18	1	24	**24**	-0,04
6	20	15:29:03	1,17780	15:29	-1000	-1022	-6,82	-0,16	-39	-1	**-39**	0,00
7	20	17:19:55	1,25479	17:20	-1000	-1034	-6,96	-0,14	2	26	**26**	-0,02
8	20	18:53:43	1,31993	18:54	-1000	-1038	-7,13	-0,17	-36	-1	**-36**	0,00
9	21	7:16:47	1,83595	07:17	-1000	-1087	-7,34	-0,20	1	30	**30**	0,01
10	21	8:55:55	1,90479	08:56	-1000	-1087	-7,44	-0,11	-40	-1	**-40**	0,00
11	21	10:59:11	1,99039	10:59	-1000	-1080	-7,54	-0,10	1	29	**29**	0,00
12	21	13:22:39	2,09002	13:23	-1000	-1092	-7,60	-0,06	-48	-1	**-48**	0,01
13	21	15:13:17	2,16685	15:13	-1000	-1088	-7,65	-0,05	2	17	**17**	0,00
14	21	17:13:25	2,25028	17:13	-1000	-1107	-7,53	0,12	-59	-1	**-59**	0,16
15	21	19:01:47	2,32553	19:02	-1000	-1103	-7,64	-0,11	2	-1	**-1**	0,16
16	22	8:05:47	2,86998	08:06	-1000	-1120	-7,77	-0,13	-65	-1	**-65**	-0,05
17	22	9:56:27	2,94683	09:56	-1000	-1100	-7,81	-0,04	1	-1	**-1**	0,00
18	22	12:07:29	3,03782	12:07	-1000	-1112	-7,98	-0,17	-58	-1	**-58**	0,01
19	22	14:01:41	3,11713	14:02	-1000	-1109	-8,05	-0,07	2	-2	**-2**	0,25
20	22	16:00:09	3,19940	16:00	-1000	-1129	-8,35	-0,30	-34	-1	**-34**	5,97

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung MWES II in den Nullstellungen von $w_{h,m}$ - Bewehrungssensoren																				
Laststufen (LS)		**Zeitpunkt**	**Zeitpunkt**	**Zeitpunkt**		**Verformungsmessungen der Bewehrungssensoren auf** *Höhe in [m ü.A.]*										**Mittelwerte je Messquerschnitt auf** *Höhe in [m ü.A.]*				
LS	Tag	MWES1	MWES1	MWES 2	Vertikalkraft	*155,54*		*153,99*		*153,09*		*152,19*		*151,29*		*155,54*	*153,99*	*153,09*	*152,19*	*151,29*
Vertikallast	NS	exakt	exakt	gerundet	Ist	BS1.1	BS1.2	BS2.1	BS2.2	BS3.1	BS3.2	BS4.1	BS4.2	BS5.1	BS5.2	MQ1	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5
Nr.	[d]	[hh:mm:ss)	[Zahl]	[hh:mm]	[kN]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]	[mm/m]
0 - BS	19	15:12:31	0,166319444	15:13	-991	-0,038	-0,093	-0,002	-0,140	-0,009	-0,099	-0,022	-0,073	-0,035	-0,053	-0,066	-0,071	-0,054	-0,048	-0,044
1 - BS	19	17:08:37	0,246921296	17:09	-940	-0,065	-0,076	-0,066	-0,024	-0,027	0,014	-0,017	-0,012	-0,073	-0,030	-0,071	-0,045	-0,007	-0,015	-0,052
2 - BS	20	07:45:27	0,855856481	07:45	-1007	-0,074	-0,085	-0,101	-0,087	-0,092	0,129	-0,084	0,142	-0,105	-0,011	-0,080	-0,094	0,019	0,029	-0,058
3 - BS	20	09:30:41	0,928935185	09:31	-1001	-0,063	-0,101	-0,053	-0,139	-0,031	0,037	-0,020	0,020	-0,079	-0,048	-0,082	-0,096	0,003	0,000	-0,064
4 - BS	20	11:32:17	1,01337963	11:32	-998	-0,074	-0,086	-0,091	-0,124	-0,081	0,073	-0,077	0,084	-0,099	-0,031	-0,080	-0,107	-0,004	0,004	-0,065
5 - BS	20	13:33:03	1,09724537	13:33	-1005	-0,056	-0,111	-0,028	-0,180	-0,026	0,019	-0,022	0,005	-0,080	-0,053	-0,083	-0,104	-0,003	-0,008	-0,066
6 - BS	20	15:29:03	1,177800926	15:29	-1022	-0,064	-0,103	0,037	-0,274	0,019	-0,063	0,010	-0,036	-0,058	-0,076	-0,084	-0,119	-0,022	-0,013	-0,067
7 - BS	20	17:19:55	1,254791667	17:20	-1033	-0,061	-0,112	-0,034	-0,199	-0,018	-0,011	-0,009	-0,020	-0,072	-0,068	-0,086	-0,117	-0,015	-0,014	-0,070
8 - BS	20	18:53:43	1,319930556	18:54	-1043	-0,067	-0,105	0,029	-0,272	0,011	-0,063	0,005	-0,039	-0,061	-0,079	-0,086	-0,122	-0,026	-0,017	-0,070
9 - BS	21	07:16:47	1,835949074	07:17	-1087	-0,063	-0,117	-0,053	-0,197	-0,030	-0,007	-0,022	-0,014	-0,083	-0,065	-0,090	-0,125	-0,018	-0,018	-0,074
10 - BS	21	08:55:55	1,904791667	08:56	-1088	-0,069	-0,109	0,015	-0,279	0,007	-0,071	-0,001	-0,043	-0,067	-0,080	-0,089	-0,132	-0,032	-0,022	-0,074
11 - BS	21	10:59:11	1,990393519	10:59	-1081	-0,062	-0,118	-0,041	-0,216	-0,021	-0,022	-0,015	-0,029	-0,076	-0,075	-0,090	-0,128	-0,022	-0,022	-0,075
12 - BS	21	13:22:39	2,090023148	13:23	-1092	-0,067	-0,116	0,064	-0,325	0,043	-0,110	0,027	-0,077	-0,051	-0,102	-0,091	-0,130	-0,034	-0,025	-0,076
13 - BS	21	15:13:17	2,166851852	15:13	-1088	-0,058	-0,127	0,003	-0,267	0,016	-0,067	0,021	-0,070	-0,055	-0,103	-0,092	-0,132	-0,026	-0,024	-0,079
14 - BS	21	17:13:25	2,250277778	17:13	-1107	-0,062	-0,125	0,140	-0,377	0,104	-0,158	0,078	-0,121	-0,029	-0,130	-0,094	-0,118	-0,027	-0,022	-0,079
15 - BS	21	19:01:47	2,325532407	19:02	-1104	-0,058	-0,132	0,002	-0,297	0,035	-0,095	0,049	-0,098	-0,039	-0,124	-0,095	-0,147	-0,030	-0,025	-0,082
16 - BS	22	08:05:47	2,869976852	08:06	-1120	-0,063	-0,129	0,152	-0,390	0,125	-0,170	0,101	-0,134	-0,023	-0,139	-0,096	-0,119	-0,023	-0,017	-0,081
17 - BS	22	09:56:27	2,946828704	09:56	-1100	-0,055	-0,136	0,045	-0,334	0,064	-0,120	0,078	-0,123	-0,024	-0,142	-0,096	-0,144	-0,028	-0,022	-0,083
18 - BS	22	12:07:29	3,037824074	12:07	-1113	-0,071	-0,121	0,044	-0,325	0,042	-0,118	0,031	-0,087	-0,049	-0,112	-0,096	-0,140	-0,038	-0,028	-0,080
19 - BS	22	14:01:41	3,11712963	14:02	-1111	-0,063	-0,130	-0,039	-0,265	-0,001	-0,064	0,011	-0,069	-0,060	-0,104	-0,097	-0,152	-0,033	-0,029	-0,082
20 - BS	22	16:00:09	3,199398148	16:00	-1129	-0,078	-0,117	-0,034	-0,267	-0,012	-0,074	-0,013	-0,049	-0,074	-0,087	-0,097	-0,150	-0,043	-0,031	-0,080

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung zu den Zykluszeitpunkten: MWES I - VERTIKAL und HORIZONAL												*gemessene Kräfte*				*korrigierte Kräfte*					
Zyklus Nr.	Verschiebung Nr.	Zyklusstufe Bezeichnung	Zeit exakt [hh:mm:ss]	Zeit exakt [Zahl]	Versuchs-dauer exakt [sek]	Dauer Zyklusstufe [hh:mm:ss]	Tag [d]	Verschiebung horizontal Soll [mm]	Zeit aufgerundet abgerundet [hh:mm]	Kraft vertikal KMD1 [kN]	Verschiebung vertikal $w_{v,m}$ [mm]	H-Kraft KMD 2 IST [kN]	H-Kraft KMD 3 IST [kN]	H-Kraft maßgebend [kN]	H-Kraft Änderung [kN]	H-Kraft KMD 2 korrigiert [kN]	H-Kraft KMD 3 korrigiert [kN]	Kraft horizontal maßgebend [kN]	H-Kraft Änderung [%]	Verschiebung horizontal $w_{h,m}$ [mm]	Verschiebung Änderung $\Delta w_{h,m}$ [mm]
0	0	V-1-5-E	15:12:31	0,166319	14370	00:00:00	19	0	15:12	-1000	-4,30	1	-1	0		0	0	0		-0,03	
Zyklus 1	1	H-1-1-V-1-6-A	15:33:45	0,181065	15644	00:21:14	19	-42	15:34	-970	-0,63	-339	-1	-339		-202	0	-202		-42,66	
Zyklus 1	1	H-1-1-V-1-6-E	16:39:47	0,226921	19606	01:06:02	19	-42	16:39	-955	-0,73	-307	-1	-307	9%	-172	0	-172	15%	-43,03	-0,38
Zyklus 1	1	H-1-2-V-1-6-A	16:50:31	0,234375	20250	00:10:44	19	5	16:51	-937	-4,11	1	-1	1		0	0	0		-11,57	
Zyklus 1	1	H-1-2-V-1-6-E	16:56:27	0,238495	20606	00:05:56	19	5	16:56	-936	-4,20	1	-1	1		0	0	0		-10,89	
Zyklus 1	1	H-1-3-V-1-6-A	17:04:33	0,244120	21092	00:08:06	19	0	17:05	-941	-4,83	1	85	85		0	33	33		-0,08	
Zyklus 1	1	H-1-3-V-1-6-E	17:14:47	0,251204	21704	00:10:12	19	0	17:14	-941	-4,85	1	80	80	6%	0	28	28	15%	0,02	0,09
Zyklus 1	2	H-1-4-V-1-6-A	17:25:09	0,258426	22328	00:10:24	19	42	17:26	-1040	-5,53	1	433	433		0	289	289		41,87	
Zyklus 1	2	H-1-4-V-1-6-E	07:07:39	0,829606	71678	13:42:30	20	42	07:07	-1053	-5,89	1	382	382	12%	0	235	235	19%	42,36	0,49
Zyklus 1	2	H-1-5-V-1-6-A	07:15:25	0,835000	72144	00:07:46	20	-5	07:16	-1006	-6,09	1	-1	-1		0	0	0		8,81	
Zyklus 1	2	H-1-5-V-1-6-E	07:45:11	0,855671	73930	00:29:46	20	-5	07:45	-1007	-6,16	1	-1	-1		0	0	0		7,40	
Zyklus 1	2	H-1-6-V-1-6-A	07:45:25	0,855833	73944	00:00:14	20	0	07:45	-999	-5,89	-41	-1	-41		0	0	0		0,76	
Zyklus 1	2	H-1-6-V-1-6-E	07:45:29	0,855880	73948	00:00:04	20	0	07:45	-999	-5,82	-52	-1	-52	-27%	0	0	0		-0,92	
Zyklus 2	3	H-2-1-V-1-6-A	08:06:47	0,870671	75226	00:21:18	20	-42	08:07	-990	-2,39	-367	65	-367		-230	0	-230		-41,95	
Zyklus 2	3	H-2-1-V-1-6-E	09:14:21	0,917593	79280	01:07:34	20	-42	09:14	-993	-2,45	-343	66	-343	7%	-204	0	-204	11%	-42,00	-0,05
Zyklus 2	3	H-2-2-V-1-6-A	09:22:47	0,923449	79786	00:08:26	20	5	09:23	-993	-5,77	1	-1	1		0	0	0		-7,88	
Zyklus 2	3	H-2-2-V-1-6-E	09:30:09	0,928565	80228	00:07:22	20	5	09:30	-994	-5,83	1	-1	1		0	0	0		-7,20	
Zyklus 2	3	H-2-3-V-1-6-A	09:30:51	0,929051	80270	00:00:42	20	0	09:31	-1001	-6,19	1	41	41		0	0	0		0,63	
Zyklus 2	3	H-2-3-V-1-6-E	09:33:31	0,930903	80430	00:02:40	20	0	09:33	-1001	-6,21	1	36	36	13%	0	0	0		0,65	
Zyklus 2	4	H-2-4-V-1-6-A	10:00:17	0,949491	82036	00:26:46	20	42	10:01	-1120	-6,66	1	370	370		0	213	213		42,41	
Zyklus 2	4	H-2-4-V-1-6-E	11:10:11	0,998032	86230	01:09:54	20	42	11:10	-1084	-6,72	1	357	357	3%	0	205	205	4%	42,57	0,15
Zyklus 2	4	H-2-5-V-1-6-A	11:24:11	1,007755	87070	00:14:00	20	-5	11:25	-995	-6,74	1	-1	-1		0	0	0		6,94	
Zyklus 2	4	H-2-5-V-1-6-E	11:32:05	1,013241	87544	00:07:54	20	-5	11:32	-998	-6,69	1	-1	-1		0	0	0		5,75	
Zyklus 2	4	H-2-6-V-1-6-A	11:32:15	1,013356	87554	00:00:10	20	0	11:33	-992	-6,48	-38	-1	-38		0	0	0		0,01	
Zyklus 2	4	H-2-6-V-1-6-E	11:34:39	1,015023	87698	00:02:24	20	0	11:34	-997	-6,48	-31	-1	-31	19%	0	0	0		-0,26	
Zyklus 3	5	H-3-1-V-1-6-A	11:58:47	1,031782	89146	00:24:08	20	-42	11:59	-1017	-2,98	-273	-1	-273		-131	0	-131		-42,04	
Zyklus 3	5	H-3-1-V-1-6-E	13:02:27	1,075995	92966	01:03:40	20	-42	13:02	-1004	-2,99	-260	-1	-260	5%	-119	0	-119	9%	-42,12	-0,08
Zyklus 3	5	H-3-2-V-1-6-A	13:11:57	1,082593	93536	00:09:30	20	5	13:12	-999	-6,25	1	-1	1		0	0	0		-7,78	
Zyklus 3	5	H-3-2-V-1-6-E	13:32:53	1,097130	94792	00:20:56	20	5	13:32	-1006	-6,33	2	-1	2		0	0	0		-6,97	
Zyklus 3	5	H-3-3-V-1-6-A	13:33:07	1,097292	94806	00:00:14	20	0	13:34	-1011	-6,66	1	38	38		0	0	0		0,26	
Zyklus 3	5	H-3-3-V-1-6-E	13:35:43	1,099097	94962	00:02:36	20	0	13:35	-1013	-6,68	1	31	31	18%	0	0	0		0,46	
Zyklus 3	6	H-3-4-V-1-6-A	14:03:15	1,118218	96614	00:27:32	20	42	14:04	-1142	-7,07	1	352	352		0	193	193		42,00	
Zyklus 3	6	H-3-4-V-1-6-E	15:00:31	1,157986	100050	00:57:16	20	42	15:00	-1117	-7,10	1	340	340	3%	0	184	184	5%	42,11	0,11
Zyklus 3	6	H-3-5-V-1-6-A	15:22:11	1,173032	101350	00:21:40	20	-5	15:23	-1020	-7,12	2	-1	-1		0	0	0		7,91	
Zyklus 3	6	H-3-5-V-1-6-E	15:24:59	1,174977	101518	00:02:48	20	-5	15:24	-1021	-7,10	2	-1	-1		0	0	0		7,44	
Zyklus 3	6	H-3-6-V-1-6-A	15:29:09	1,177870	101768	00:04:10	20	0	15:30	-1023	-6,82	-39	-1	-39		0	0	0		-0,02	
Zyklus 3	6	H-3-6-V-1-6-E	15:32:51	1,180440	101990	00:03:42	20	0	15:32	-1024	-6,82	-33	-1	-33	14%	0	0	0		-0,04	

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung zu den Zykluszeitpunkten: MWES I - VERTIKAL und HORIZONAL												*gemessene Kräfte*				*korrigierte Kräfte*					
Zyklus Nr.	Verschiebung Nr.	Zyklusstufe Bezeichnung	Zeit exakt [hh:mm:ss]	Zeit exakt [Zahl]	Versuchs-dauer exakt [sek]	Dauer Zyklusstufe [hh:mm:ss]	Tag [d]	Verschiebung horizontal Soll [mm]	Zeit aufgerundet abgerundet [hh:mm]	Kraft vertikal KMD1 [kN]	Verschiebung vertikal $w_{v,m}$ [mm]	H-Kraft KMD 2 IST [kN]	H-Kraft KMD 3 IST [kN]	H-Kraft maßgebend [kN]	H-Kraft Änderung [kN]	H-Kraft KMD 2 korrigiert [kN]	H-Kraft KMD 3 korrigiert [kN]	Kraft horizontal maßgebend [kN]	H-Kraft Änderung [%]	Verschiebung horizontal $w_{h,m}$ [mm]	Verschiebung Änderung $\Delta w_{h,m}$ [mm]
Zyklus 4	7	H-4-1-V-1-6-A	15:58:55	1,198542	103554	00:26:04	20	-42	15:59	-1031	-3,24	-331	55	-331		-188	0	-188		-41,80	
Zyklus 4	7	H-4-1-V-1-6-E	17:00:27	1,241273	107246	01:01:32	20	-42	17:00	-1027	-3,25	-313	51	-313	5%	-170	0	-170	10%	-41,99	-0,19
Zyklus 4	7	H-4-2-V-1-6-A	17:11:21	1,248843	107900	00:10:54	20	5	17:12	-1025	-6,63	1	-1	1		0	0	0		-6,75	
Zyklus 4	7	H-4-2-V-1-6-E	17:16:11	1,252199	108190	00:04:50	20	5	17:16	-1026	-6,66	2	-1	2		0	0	0		-6,26	
Zyklus 4	7	H-4-3-V-1-6-A	17:17:57	1,253426	108296	00:01:46	20	0	17:18	-1033	-6,95	2	27	27		0	0	0		-0,14	
Zyklus 4	7	H-4-3-V-1-6-E	17:19:53	1,254769	108412	00:01:56	20	0	17:19	-1034	-6,96	2	25	25	8%	0	0	0		-0,07	
Zyklus 4	8	H-4-4-V-1-6-A	17:37:19	1,266875	109458	00:17:26	20	42	17:38	-1168	-7,39	2	326	326		0	164	164		41,96	
Zyklus 4	8	H-4-4-V-1-6-E	18:36:37	1,308056	113016	00:59:18	20	42	18:36	-1138	-7,41	1	313	313	4%	0	154	154	6%	42,07	0,10
Zyklus 4	8	H-4-5-V-1-6-A	18:48:39	1,316412	113738	00:12:02	20	-5	18:49	-1040	-7,43	2	-1	-1		0	0	0		7,80	
Zyklus 4	8	H-4-5-V-1-6-E	18:53:33	1,319815	114032	00:04:54	20	-5	18:53	-1042	-7,36	2	-1	-1		0	0	0		6,39	
Zyklus 4	8	H-4-6-V-1-6-A	18:53:45	1,319954	114044	00:00:12	20	0	18:54	-1039	-7,13	-39	-1	-39		0	0	0		-0,02	
Zyklus 4	8	H-4-6-V-1-6-E	18:56:35	1,321921	114214	00:02:50	20	0	18:56	-1045	-7,14	-32	-1	-32	18%	0	0	0		-0,07	
Zyklus 5	9	H-5-1-V-1-6-A	19:17:53	1,336713	115492	00:21:18	20	-42	19:18	-1061	-3,56	-272	-1	-272		-125	0	-125		-41,99	
Zyklus 5	9	H-5-1-V-1-6-E	06:50:45	1,817870	157064	11:32:52	21	-42	06:50	-1071	-3,64	-250	-1	-250	8%	-101	0	-101	19%	-42,13	-0,15
Zyklus 5	9	H-5-2-V-1-6-A	07:01:35	1,825394	157714	00:10:50	21	5	07:02	-1081	-6,91	-1	-1	-1		0	0	0		-8,27	
Zyklus 5	9	H-5-2-V-1-6-E	07:09:47	1,831088	158206	00:08:12	21	5	07:09	-1082	-7,07	1	-1	1		0	0	0		-5,83	
Zyklus 5	9	H-5-3-V-1-6-A	07:10:29	1,831574	158248	00:00:42	21	0	07:11	-1088	-7,32	1	35	35		0	0	0		-0,05	
Zyklus 5	9	H-5-3-V-1-6-E	07:16:43	1,835903	158622	00:06:14	21	0	07:16	-1087	-7,34	1	30	30	16%	0	0	0		-0,03	
Zyklus 5	10	H-5-4-V-1-6-A	07:28:49	1,844306	159348	00:12:06	21	42	07:29	-1221	-7,78	1	327	327		0	157	157		41,96	
Zyklus 5	10	H-5-4-V-1-6-E	08:31:37	1,887917	163116	01:02:48	21	42	08:31	-1174	-7,80	1	316	316	4%	0	152	152	3%	42,13	0,17
Zyklus 5	10	H-5-5-V-1-6-A	08:47:11	1,898727	164050	00:15:34	21	-5	08:48	-1084	-7,71	1	-1	-1		0	0	0		7,17	
Zyklus 5	10	H-5-5-V-1-6-E	08:51:41	1,901852	164320	00:04:30	21	-5	08:51	-1084	-7,70	1	-1	-1		0	0	0		6,74	
Zyklus 5	10	H-5-6-V-1-6-A	08:55:53	1,904769	164572	00:04:12	21	0	08:56	-1087	-7,44	-40	-1	-40		0	0	0		0,01	
Zyklus 5	10	H-5-6-V-1-6-E	09:09:01	1,913889	165360	00:13:08	21	0	09:09	-1089	-7,45	-34	-1	-34	14%	0	0	0		-0,04	
Zyklus 6	11	H-6-1-V-1-6-A	09:30:25	1,928750	166644	00:21:24	21	-42	09:31	-1097	-3,86	-281	-1	-281		-128	0	-128		-42,10	
Zyklus 6	11	H-6-1-V-1-6-E	10:33:51	1,972801	170450	01:03:26	21	-42	10:33	-1080	-3,89	-272	-1	-272	3%	-121	0	-121	5%	-42,18	-0,08
Zyklus 6	11	H-6-2-V-1-6-A	10:49:27	1,983634	171386	00:15:36	21	5	10:50	-1075	-7,19	1	-1	1		0	0	0		-7,44	
Zyklus 6	11	H-6-2-V-1-6-E	10:54:23	1,987060	171682	00:04:56	21	5	10:54	-1075	-7,26	2	-1	2		0	0	0		-6,39	
Zyklus 6	11	H-6-3-V-1-6-A	10:55:21	1,987731	171740	00:00:58	21	0	10:56	-1080	-7,54	1	32	32		0	0	0		-0,08	
Zyklus 6	11	H-6-3-V-1-6-E	10:59:03	1,990301	171962	00:03:42	21	0	10:59	-1081	-7,54	1	27	27	14%	0	0	0		-0,06	
Zyklus 6	12	H-6-4-V-1-6-A	11:26:39	2,009468	173618	00:27:36	21	42	11:27	-1212	-8,03	1	320	320		0	152	152		41,96	
Zyklus 6	12	H-6-4-V-1-6-E	12:28:49	2,052639	177348	01:02:10	21	42	12:28	-1182	-8,10	1	311	311	3%	0	146	146	4%	42,13	0,16
Zyklus 6	12	H-6-5-V-1-6-A	12:43:35	2,062894	178234	00:14:46	21	-5	12:44	-1080	-8,00	2	2	2		0	0	0		10,30	
Zyklus 6	12	H-6-5-V-1-6-E	12:56:55	2,072153	179034	00:13:20	21	-5	12:56	-1084	-7,96	2	-1	-1	143%	0	0	0		9,13	
Zyklus 6	12	H-6-6-V-1-6-A	12:57:17	2,072407	179056	00:00:22	21	0	12:58	-1082	-7,79	-27	-1	-27		0	0	0		4,16	
Zyklus 6	12	H-6-6-V-1-6-E	13:21:17	2,089074	180496	00:24:00	21	0	13:21	-1090	-7,81	-14	-1	-14	49%	0	0	0		4,16	

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung zu den Zykluszeitpunkten: MWES I - VERTIKAL und HORIZONAL												*gemessene Kräfte*				*korrigierte Kräfte*					
Zyklus Nr.	Verschiebung Nr.	Zyklusstufe Bezeichnung	Zeit exakt [hh:mm:ss]	Zeit exakt [Zahl]	Versuchs-dauer exakt [sek]	Dauer Zyklusstufe [hh:mm:ss]	Tag [d]	Verschiebung horizontal Soll [mm]	Zeit aufgerundet abgerundet [hh:mm]	Kraft vertikal KMD1 [kN]	Verschiebung vertikal $w_{v,m}$ [mm]	H-Kraft KMD 2 IST [kN]	H-Kraft KMD 3 IST [kN]	H-Kraft maßgebend [kN]	H-Kraft Änderung [kN]	H-Kraft KMD 2 korrigiert [kN]	H-Kraft KMD 3 korrigiert [kN]	Kraft horizontal maßgebend [kN]	H-Kraft Änderung [%]	Verschiebung horizontal $w_{h,m}$ [mm]	Verschiebung Änderung $\Delta w_{h,m}$ [mm]
Zyklus 7	13	H-7-1-V-1-6-A	13:51:03	2,109745	182282	00:29:46	21	-42	13:52	-1098	-3,83	-302	-1	-302		-150	0	-150		-41,49	
Zyklus 7	13	H-7-1-V-1-6-E	14:53:35	2,153171	186034	01:02:32	21	-42	14:53	-1091	-3,85	-291	-1	-291	4%	-140	0	-140	7%	-41,58	-0,09
Zyklus 7	13	H-7-2-V-1-6-A	15:07:43	2,162986	186882	00:14:08	21	5	15:08	-1086	-7,40	2	-1	2		0	0	0		-4,71	
Zyklus 7	13	H-7-2-V-1-6-E	15:12:23	2,166227	187162	00:04:40	21	5	15:12	-1086	-7,49	2	-1	2		0	0	0		-3,55	
Zyklus 7	13	H-7-3-V-1-6-A	15:13:23	2,166921	187222	00:01:00	21	0	15:14	-1089	-7,66	2	18	18		0	0	0		0,06	
Zyklus 7	13	H-7-3-V-1-6-E	15:15:31	2,168403	187350	00:02:08	21	0	15:15	-1088	-7,66	2	14	14	19%	0	0	0		0,11	
Zyklus 7	14	H-7-4-V-1-6-A	15:41:05	2,186157	188884	00:25:34	21	42	15:42	-1218	-8,30	2	281	281		0	111	111		41,96	
Zyklus 7	14	H-7-4-V-1-6-E	16:51:29	2,235046	193108	01:10:24	21	42	16:51	-1197	-8,30	2	270	270	4%	0	103	103	7%	42,05	0,09
Zyklus 7	14	H-7-5-V-1-6-A	17:00:33	2,241343	193652	00:09:04	21	-5	17:01	-1101	-8,13	2	-1	-1		0	0	0		12,27	
Zyklus 7	14	H-7-5-V-1-6-E	17:06:21	2,245370	194000	00:05:48	21	-5	17:06	-1103	-7,99	2	-1	-1		0	0	0		8,75	
Zyklus 7	14	H-7-6-V-1-6-A	17:09:57	2,247870	194216	00:03:36	21	0	17:10	-1106	-7,53	-63	-1	-63		-2	0	-2		0,24	
Zyklus 7	14	H-7-6-V-1-6-E	17:13:29	2,250324	194428	00:03:32	21	0	17:13	-1107	-7,53	-59	-1	-59	7%	0	0	0	100%	0,16	
Zyklus 8	15	H-8-1-V-1-6-A	17:36:03	2,265995	195782	00:22:34	21	-42	17:37	-1112	-3,56	-327	-1	-327		-172	0	-172		-41,95	
Zyklus 8	15	H-8-1-V-1-6-E	18:38:09	2,309120	199508	01:02:06	21	-42	18:38	-1114	-3,59	-309	-1	-309	5%	-154	0	-154	11%	-42,06	-0,11
Zyklus 8	15	H-8-2-V-1-6-A	18:55:21	2,321065	200540	00:17:12	21	5	18:56	-1103	-7,51	2	-2	2		0	0	0		-2,21	
Zyklus 8	15	H-8-2-V-1-6-E	19:01:43	2,325486	200922	00:06:22	21	5	19:01	-1104	-7,57	2	-1	2		0	0	0		-1,40	
Zyklus 8	15	H-8-3-V-1-6-A	19:01:55	2,325625	200934	00:00:12	21	0	19:02	-1104	-7,66	2	10	10		0	0	0		0,63	
Zyklus 8	15	H-8-3-V-1-6-E	19:03:25	2,326667	201024	00:01:30	21	0	19:03	-1104	-7,70	2	6	6	44%	0	0	0		1,38	
Zyklus 8	16	H-8-4-V-1-6-A	19:31:03	2,345856	202682	00:27:38	21	42	19:32	-1227	-8,44	2	254	254		0	84	84		41,91	
Zyklus 8	16	H-8-4-V-1-6-E	07:32:41	2,846991	245980	12:01:38	22	42	07:32	-1148	-8,48	0	226	226	11%	0	66	66	21%	41,96	0,05
Zyklus 8	16	H-8-5-V-1-6-A	07:45:35	2,855949	246754	00:12:54	22	-5	07:46	-1117	-8,36	0	0	0		0	0	0		13,16	
Zyklus 8	16	H-8-5-V-1-6-E	07:53:21	2,861343	247220	00:07:46	22	-5	07:53	-1117	-8,14	0	0	0		0	0	0		7,47	
Zyklus 8	16	H-8-6-V-1-6-A	07:53:37	2,861528	247236	00:00:16	22	0	07:54	-1117	-7,99	-53	-1	-53		0	0	0		3,78	
Zyklus 8	16	H-8-6-V-1-6-E	08:03:01	2,868056	247800	00:09:24	22	0	08:03	-1121	-7,99	-45	-1	-45	15%	0	0	0		3,62	
Zyklus 9	17	H-9-1-V-1-6-A	08:35:07	2,890347	249726	00:32:06	22	-42	08:36	-1121	-4,25	-277	-1	-277		-130	0	-130		-38,26	
Zyklus 9	17	H-9-1-V-1-6-E	09:35:13	2,932083	253332	01:00:06	22	-42	09:35	-1098	-4,24	-270	-1	-270	3%	-125	0	-125	4%	-38,36	-0,10
Zyklus 9	17	H-9-2-V-1-6-A	09:51:11	2,943171	254290	00:15:58	22	5	09:52	-1101	-7,73	1	-1	1		0	0	0		-1,32	
Zyklus 9	17	H-9-2-V-1-6-E	09:56:27	2,946829	254606	00:05:16	22	5	09:56	-1100	-7,81	1	-1	1		0	0	0		0,00	
Zyklus 9	17	H-9-3-V-1-6-A	10:00:47	2,949838	254866	00:04:20	22	0	10:01	-1102	-7,99	1	17	17		0	0	0		3,49	
Zyklus 9	17	H-9-3-V-1-6-E	10:03:13	2,951528	255012	00:02:26	22	0	10:03	-1102	-8,00	1	15	15	10%	0	0	0		3,58	
Zyklus 9	18	H-9-4-V-1-6-A	10:34:07	2,972986	256866	00:30:54	22	42	10:35	-1225	-8,65	1	286	286		0	106	106		45,61	
Zyklus 9	18	H-9-4-V-1-6-E	11:34:13	3,014722	260472	01:00:06	22	42	11:34	-1189	-8,71	1	277	277	3%	0	102	102	4%	45,73	0,12
Zyklus 9	18	H-9-5-V-1-6-A	11:50:01	3,025694	261420	00:15:48	22	-5	11:51	-1106	-8,57	2	-1	-1		0	0	0		13,02	
Zyklus 9	18	H-9-5-V-1-6-E	11:55:39	3,029606	261758	00:05:38	22	-5	11:55	-1107	-8,50	2	-1	-1		0	0	0		10,97	
Zyklus 9	18	H-9-6-V-1-6-A	12:02:57	3,034676	262196	00:07:18	22	0	12:03	-1114	-8,18	-47	-1	-47		0	0	0		3,47	
Zyklus 9	18	H-9-6-V-1-6-E	12:06:55	3,037431	262434	00:03:58	22	0	12:06	-1113	-8,18	-42	-1	-42	10%	0	0	0		3,40	

TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub
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.

Auswertung zu den Zykluszeitpunkten: MWES I - VERTIKAL und HORIZONAL												*gemessene Kräfte*				*korrigierte Kräfte*					
Zyklus Nr.	Verschiebung Nr.	Zyklusstufe Bezeichnung	Zeit exakt [hh:mm:ss]	Zeit exakt [Zahl]	Versuchs-dauer exakt [sek]	Dauer Zyklusstufe [hh:mm:ss]	Tag [d]	Verschiebung horizontal Soll [mm]	Zeit aufgerundet abgerundet [hh:mm]	Kraft vertikal KMD1 [kN]	Verschiebung vertikal $w_{v,m}$ [mm]	H-Kraft KMD 2 IST [kN]	H-Kraft KMD 3 IST [kN]	H-Kraft maßgebend [kN]	H-Kraft Änderung [kN]	H-Kraft KMD 2 korrigiert [kN]	H-Kraft KMD 3 korrigiert [kN]	Kraft horizontal maßgebend [kN]	H-Kraft Änderung [%]	Verschiebung horizontal $w_{h,m}$ [mm]	Verschiebung Änderung $\Delta w_{h,m}$ [mm]
Zyklus 10	19	H-10-1-V-1-6-A	12:31:19	3,054375	263898	00:24:24	22	-42	12:32	-1118	-4,49	-276	-1	-276		-128	0	-128		-38,29	
Zyklus 10	19	H-10-1-V-1-6-E	13:36:31	3,099653	267810	01:05:12	22	-42	13:36	-1105	-4,54	-265	-1	-265	4%	-120	0	-120	6%	-38,06	0,23
Zyklus 10	19	H-10-2-V-1-6-A	13:56:59	3,113866	269038	00:20:28	22	5	13:57	-1109	-7,96	2	-2	2		0	0	0		-1,40	
Zyklus 10	19	H-10-2-V-1-6-E	14:01:45	3,117176	269324	00:04:46	22	5	14:01	-1110	-8,12	2	-2	2		0	0	0		1,63	
Zyklus 10	19	H-10-3-V-1-6-A	14:02:05	3,117407	269344	00:00:20	22	0	14:03	-1112	-8,21	2	19	19		0	0	0		3,64	
Zyklus 10	19	H-10-3-V-1-6-E	14:03:43	3,118542	269442	00:01:38	22	0	14:03	-1113	-8,21	2	13	13	31%	0	0	0		3,64	
Zyklus 10	20	H-10-4-V-1-6-A	14:33:11	3,139005	271210	00:29:28	22	42	14:34	-1247	-8,82	2	286	286		0	103	103		45,65	
Zyklus 10	20	H-10-4-V-1-6-E	15:33:17	3,180741	274816	01:00:06	22	42	15:33	-1222	-8,80	2	273	273	4%	0	94	94	8%	45,63	-0,02
Zyklus 10	20	H-10-5-V-1-6-A	15:47:51	3,190856	275690	00:14:34	22	-5	15:48	-1124	-8,62	2	-1	-1		0	0	0		12,86	
Zyklus 10	20	H-10-5-V-1-6-E	15:54:43	3,195625	276102	00:06:52	22	-5	15:54	-1125	-8,59	2	-1	-1		0	0	0		12,12	
Zyklus 10	20	H-10-6-V-1-6-A	16:00:07	3,199375	276426	00:05:24	22	0	16:01	-1129	-8,35	-34	-1	-34		0	0	0		5,97	
Zyklus 10	20	H-10-6-V-1-6-E	16:03:19	3,201597	276618	00:03:12	22	0	16:03	-1131	-8,35	-31	-2	-31	10%	0	0	0		5,95	

MWES III - Absolute Biegeverformungen [mm] im Messhorizont je Zykluspunkt								
Zykluspunkt	Sensor:	RUK	#1	#2	#3	#4	#5	#6 = $w_{h,m}$
	Höhe:	150,645	151,645	152,645	153,645	154,645	155,645	156,645
	Min:							
	Max:							
0	V-1-5-E	*offset:*	*0,04*	*0,06*	*0,05*	*-0,06*	*0,10*	*-0,27*
1	H-1-1-V-1-6-A	4,19	3,86	1,89	-4,14	-16,03	-28,01	-42,66
2	H-1-1-V-1-6-E	8,00	7,66	5,42	-0,98	-13,25	-28,00	-43,03
3	H-1-2-V-1-6-A	2,01	1,61	0,60	-1,37	-4,45	-7,95	-11,57
4	H-1-2-V-1-6-E	1,53	1,14	0,17	-1,64	-4,46	-7,57	-10,89
5	H-1-3-V-1-6-A	-0,20	-0,31	-0,35	-0,35	-0,41	-0,18	-0,08
6	H-1-3-V-1-6-E	-0,21	-0,31	-0,33	-0,33	-0,33	-0,11	0,02
7	H-1-4-V-1-6-A	-8,61	-8,63	-7,22	-1,66	11,15	26,33	41,87
8	H-1-4-V-1-6-E	-8,13	-8,15	-6,51	-0,77	12,02	27,11	42,36
9	H-1-5-V-1-6-A	-0,93	-0,73	-0,11	1,20	3,39	6,33	8,81
10	H-1-5-V-1-6-E	1,54	1,63	1,93	2,61	3,80	6,09	7,40
11	H-1-6-V-1-6-A	-5,10	-5,02	-4,71	-4,03	-2,84	-0,55	0,76
12	H-1-6-V-1-6-E	-6,78	-6,69	-6,39	-5,71	-4,52	-2,23	-0,92
1	H-2-1-V-1-6-A	7,18	6,77	4,57	-1,64	-13,47	-27,49	-41,95
2	H-2-1-V-1-6-E	7,21	6,77	4,52	-1,76	-13,57	-27,59	-42,00
3	H-2-2-V-1-6-A	1,01	0,64	-0,12	-1,41	-3,25	-5,58	-7,88
4	H-2-2-V-1-6-E	-2,38	-2,63	-3,00	-3,58	-4,41	-6,10	-7,20
5	H-2-3-V-1-6-A	0,95	0,82	0,80	0,87	1,05	0,56	0,63
6	H-2-3-V-1-6-E	-0,45	-0,54	-0,52	-0,37	-0,05	0,42	0,65
7	H-2-4-V-1-6-A	-7,81	-7,77	-5,99	-0,30	12,41	27,35	42,41
8	H-2-4-V-1-6-E	-7,76	-7,70	-5,88	-0,12	12,60	27,55	42,57
9	H-2-5-V-1-6-A	-0,92	-0,68	-0,09	0,97	2,63	5,08	6,94
10	H-2-5-V-1-6-E	-1,01	-0,83	-0,25	0,72	2,21	4,08	5,75
11	H-2-6-V-1-6-A	-1,83	-1,85	-1,82	-1,80	-1,73	0,02	0,01
12	H-2-6-V-1-6-E	0,47	0,44	0,36	0,23	0,06	-0,01	-0,26
1	H-3-1-V-1-6-A	7,04	6,60	4,34	-1,95	-13,73	-27,65	-42,04
2	H-3-1-V-1-6-E	7,21	6,74	4,41	-1,92	-13,73	-27,74	-42,12
3	H-3-2-V-1-6-A	0,72	0,35	-0,41	-1,65	-3,41	-5,54	-7,78
4	H-3-2-V-1-6-E	0,43	0,08	-0,59	-1,71	-3,30	-4,95	-6,97
5	H-3-3-V-1-6-A	-0,42	-0,50	-0,47	-0,38	-0,13	0,15	0,26
6	H-3-3-V-1-6-E	-0,52	-0,59	-0,53	-0,40	-0,16	0,31	0,46
7	H-3-4-V-1-6-A	-7,58	-7,45	-5,59	0,13	12,65	27,28	42,00
8	H-3-4-V-1-6-E	-7,58	-7,44	-5,55	0,25	12,79	27,42	42,11
9	H-3-5-V-1-6-A	1,14	1,37	1,95	2,90	4,38	6,33	7,91
10	H-3-5-V-1-6-E	0,83	1,06	1,66	2,59	4,01	5,87	7,44
11	H-3-6-V-1-6-A	2,12	2,05	1,88	1,51	1,03	0,65	-0,02
12	H-3-6-V-1-6-E	2,11	2,04	1,87	1,50	1,01	0,62	-0,04
1	H-4-1-V-1-6-A	8,60	8,13	5,77	-0,68	-12,78	-27,03	-41,80
2	H-4-1-V-1-6-E	8,83	8,35	5,90	-0,64	-12,75	-27,19	-41,99
3	H-4-2-V-1-6-A	1,79	1,40	0,63	-0,65	-2,43	-4,47	-6,75
4	H-4-2-V-1-6-E	1,93	1,54	0,78	-0,46	-2,18	-4,02	-6,26
5	H-4-3-V-1-6-A	1,41	1,24	1,11	0,88	0,64	0,32	-0,14
6	H-4-3-V-1-6-E	1,12	0,98	0,85	0,67	0,48	0,35	-0,07
7	H-4-4-V-1-6-A	-5,87	-5,73	-3,84	1,78	13,86	27,87	41,96
8	H-4-4-V-1-6-E	-5,99	-5,83	-3,92	1,79	13,89	27,99	42,07
9	H-4-5-V-1-6-A	0,34	0,57	1,20	2,21	3,74	6,17	7,80
10	H-4-5-V-1-6-E	0,26	0,50	1,07	1,96	3,31	4,96	6,39
11	H-4-6-V-1-6-A	-0,60	-0,63	-0,71	-0,89	-1,12	0,41	-0,02
12	H-4-6-V-1-6-E	2,21	2,14	1,94	1,58	1,10	0,62	-0,07
1	H-5-1-V-1-6-A	8,59	8,08	5,68	-0,81	-12,91	-27,17	-41,99
2	H-5-1-V-1-6-E	8,78	8,21	5,68	-0,89	-12,99	-27,34	-42,13
3	H-5-2-V-1-6-A	2,21	1,77	0,85	-0,71	-2,95	-5,40	-8,27
4	H-5-2-V-1-6-E	4,08	3,63	2,77	1,33	-0,77	-3,12	-5,83
5	H-5-3-V-1-6-A	1,92	1,76	1,66	1,45	1,15	0,54	-0,05
6	H-5-3-V-1-6-E	1,30	1,16	1,05	0,87	0,65	0,51	-0,03
7	H-5-4-V-1-6-A	-5,67	-5,54	-3,59	2,05	14,10	28,02	41,96
8	H-5-4-V-1-6-E	-5,74	-5,60	-3,62	2,07	14,15	28,16	42,13
9	H-5-5-V-1-6-A	1,39	1,60	2,16	2,98	4,24	5,89	7,17
10	H-5-5-V-1-6-E	1,22	1,44	1,98	2,80	4,02	5,57	6,74
11	H-5-6-V-1-6-A	2,12	2,04	1,91	1,59	1,08	0,78	0,01
12	H-5-6-V-1-6-E	2,32	2,25	2,11	1,77	1,26	0,77	-0,04

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

MWES III - Absolute Biegeverformungen [mm] im Messhorizont je Zykluspunkt								
Zykluspunkt	Sensor:	RUK	#1	#2	#3	#4	#5	#6 = $w_{h,m}$
	Höhe:	150,645	151,645	152,645	153,645	154,645	155,645	156,645
	Min:							
	Max:							
1	H-6-1-V-1-6-A	8,78	8,24	5,81	-0,73	-12,87	-27,23	-42,10
2	H-6-1-V-1-6-E	8,80	8,25	5,77	-0,82	-12,95	-27,31	-42,18
3	H-6-2-V-1-6-A	2,18	1,75	0,91	-0,48	-2,47	-4,81	-7,44
4	H-6-2-V-1-6-E	2,74	2,31	1,49	0,14	-1,78	-3,83	-6,39
5	H-6-3-V-1-6-A	1,36	1,22	1,11	0,92	0,70	0,46	-0,08
6	H-6-3-V-1-6-E	1,34	1,20	1,09	0,88	0,66	0,53	-0,06
7	H-6-4-V-1-6-A	-5,56	-5,43	-3,48	2,14	14,19	28,10	41,96
8	H-6-4-V-1-6-E	-5,69	-5,55	-3,57	2,11	14,17	28,19	42,13
9	H-6-5-V-1-6-A	3,31	3,56	4,24	5,26	6,77	8,72	10,30
10	H-6-5-V-1-6-E	3,57	3,79	4,34	5,17	6,39	7,93	9,13
11	H-6-6-V-1-6-A	2,33	2,37	2,49	2,60	2,79	4,16	4,16
12	H-6-6-V-1-6-E	4,01	4,01	4,06	4,07	4,10	4,32	4,16
1	H-7-1-V-1-6-A	12,58	12,04	9,49	2,62	-10,26	-25,64	-41,49
2	H-7-1-V-1-6-E	12,48	11,92	9,30	2,34	-10,53	-25,81	-41,58
3	H-7-2-V-1-6-A	5,16	4,70	3,84	2,40	0,36	-1,99	-4,71
4	H-7-2-V-1-6-E	5,84	5,39	4,59	3,20	1,21	-0,94	-3,55
5	H-7-3-V-1-6-A	4,75	4,44	4,06	3,40	2,48	1,44	0,06
6	H-7-3-V-1-6-E	4,64	4,35	3,98	3,31	2,43	1,48	0,11
7	H-7-4-V-1-6-A	-2,29	-2,15	-0,17	5,20	16,36	29,23	41,96
8	H-7-4-V-1-6-E	-2,28	-2,12	-0,10	5,29	16,48	29,34	42,05
9	H-7-5-V-1-6-A	6,64	6,81	7,38	8,19	9,38	11,11	12,27
10	H-7-5-V-1-6-E	3,74	3,92	4,43	5,16	6,26	7,70	8,75
11	H-7-6-V-1-6-A	8,74	8,41	7,72	6,40	4,39	2,81	0,24
12	H-7-6-V-1-6-E	9,63	9,27	8,55	7,16	5,07	2,82	0,16
1	H-8-1-V-1-6-A	16,51	15,94	13,21	5,79	-8,17	-24,77	-41,95
2	H-8-1-V-1-6-E	16,38	15,79	13,00	5,52	-8,43	-24,93	-42,06
3	H-8-2-V-1-6-A	8,55	8,05	7,13	5,57	3,35	0,68	-2,21
4	H-8-2-V-1-6-E	8,68	8,18	7,30	5,79	3,67	1,39	-1,40
5	H-8-3-V-1-6-A	8,94	8,52	7,85	6,69	5,07	2,83	0,63
6	H-8-3-V-1-6-E	8,84	8,42	7,76	6,67	5,16	3,49	1,38
7	H-8-4-V-1-6-A	1,50	1,63	3,42	8,41	18,62	30,35	41,91
8	H-8-4-V-1-6-E	1,73	1,89	3,72	8,75	18,92	30,54	41,96
9	H-8-5-V-1-6-A	7,04	7,21	7,78	8,63	9,97	11,89	13,16
10	H-8-5-V-1-6-E	1,93	2,08	2,65	3,43	4,67	6,30	7,47
11	H-8-6-V-1-6-A	5,12	4,93	4,67	4,15	3,43	4,89	3,78
12	H-8-6-V-1-6-E	8,65	8,41	7,98	7,23	6,16	5,13	3,62
1	H-9-1-V-1-6-A	15,59	14,96	12,27	5,27	-7,50	-22,60	-38,26
2	H-9-1-V-1-6-E	15,55	14,90	12,17	5,14	-7,63	-22,71	-38,36
3	H-9-2-V-1-6-A	8,86	8,34	7,45	5,95	3,87	1,50	-1,32
4	H-9-2-V-1-6-E	9,74	9,23	8,36	6,89	4,89	2,72	0,00
5	H-9-3-V-1-6-A	8,46	8,11	7,66	6,93	6,02	4,97	3,49
6	H-9-3-V-1-6-E	8,44	8,13	7,68	6,95	6,04	5,08	3,58
7	H-9-4-V-1-6-A	1,50	1,59	3,40	8,68	19,90	32,86	45,61
8	H-9-4-V-1-6-E	1,62	1,71	3,55	8,88	20,06	33,02	45,73
9	H-9-5-V-1-6-A	7,89	8,03	8,54	9,26	10,40	11,94	13,02
10	H-9-5-V-1-6-E	6,13	6,26	6,75	7,45	8,55	9,98	10,97
11	H-9-6-V-1-6-A	8,76	8,52	8,08	7,26	6,11	5,07	3,47
12	H-9-6-V-1-6-E	8,95	8,70	8,23	7,42	6,21	5,08	3,40
1	H-10-1-V-1-6-A	15,58	14,93	12,28	5,28	-7,52	-22,62	-38,29
2	H-10-1-V-1-6-E	15,86	15,20	12,47	5,44	-7,34	-22,44	-38,06
3	H-10-2-V-1-6-A	9,29	8,76	7,81	6,26	4,11	1,54	-1,40
4	H-10-2-V-1-6-E	11,63	11,10	10,21	8,75	6,71	4,43	1,63
5	H-10-3-V-1-6-A	8,38	8,06	7,65	6,96	6,03	5,06	3,64
6	H-10-3-V-1-6-E	8,38	8,06	7,65	6,96	6,03	5,06	3,64
7	H-10-4-V-1-6-A	1,65	1,72	3,49	8,74	19,95	32,89	45,65
8	H-10-4-V-1-6-E	1,57	1,65	3,46	8,74	19,94	32,88	45,63
9	H-10-5-V-1-6-A	7,68	7,81	8,31	9,04	10,17	11,79	12,86
10	H-10-5-V-1-6-E	7,41	7,53	8,02	8,66	9,72	11,14	12,12
11	H-10-6-V-1-6-A	8,66	8,49	8,27	7,82	7,27	6,85	5,97
12	H-10-6-V-1-6-E	8,68	8,51	8,28	7,84	7,27	6,85	5,95

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Zugehörige Kräfte				Absolute Biegeverformungen [mm] in jeweils ausgelenkter Stellung								
Vertikalkraft	Horizontalkraft		Horizontalkraft	Versch.		Messwerte Inklinometersonde						
gemessen	gemessen	→	korrigiert			#0	#1	#2	#3	#4	#5	#6
[kN]	[kN]		[kN]		ZS Bezeichnung	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
-970	-339	→	-202	1	H-1-1-V-1-6-A	4,19	3,86	1,89	-4,14	-16,03	-28,01	-42,66
-955	-307	→	-172	1	H-1-1-V-1-6-E	8,00	7,66	5,42	-0,98	-13,25	-28,00	-43,03
-1040	433	→	289	2	H-1-4-V-1-6-A	-8,61	-8,63	-7,22	-1,66	11,15	26,33	41,87
-1053	382	→	235	2	H-1-4-V-1-6-E	-8,13	-8,15	-6,51	-0,77	12,02	27,11	42,36
-990	-367	→	-230	3	H-2-1-V-1-6-A	7,18	6,77	4,57	-1,64	-13,47	-27,49	-41,95
-993	-343	→	-204	3	H-2-1-V-1-6-E	7,21	6,77	4,52	-1,76	-13,57	-27,59	-42,00
-1120	370	→	213	4	H-2-4-V-1-6-A	-7,81	-7,77	-5,99	-0,30	12,41	27,35	42,41
-1084	357	→	205	4	H-2-4-V-1-6-E	-7,76	-7,70	-5,88	-0,12	12,60	27,55	42,57
-1017	-273	→	-131	5	H-3-1-V-1-6-A	7,04	6,60	4,34	-1,95	-13,73	-27,65	-42,04
-1004	-260	→	-119	5	H-3-1-V-1-6-E	7,21	6,74	4,41	-1,92	-13,73	-27,74	-42,12
-1142	352	→	193	6	H-3-4-V-1-6-A	-7,58	-7,45	-5,59	0,13	12,65	27,28	42,00
-1117	340	→	184	6	H-3-4-V-1-6-E	-7,58	-7,44	-5,55	0,25	12,79	27,42	42,11
-1031	-331	→	-188	7	H-4-1-V-1-6-A	8,60	8,13	5,77	-0,68	-12,78	-27,03	-41,80
-1027	-313	→	-170	7	H-4-1-V-1-6-E	8,83	8,35	5,90	-0,64	-12,75	-27,19	-41,99
-1168	326	→	164	8	H-4-4-V-1-6-A	-5,87	-5,73	-3,84	1,78	13,86	27,87	41,96
-1138	313	→	154	8	H-4-4-V-1-6-E	-5,99	-5,83	-3,92	1,79	13,89	27,99	42,07
-1061	-272	→	-125	9	H-5-1-V-1-6-A	8,59	8,08	5,68	-0,81	-12,91	-27,17	-41,99
-1071	-250	→	-101	9	H-5-1-V-1-6-E	8,78	8,21	5,68	-0,89	-12,99	-27,34	-42,13
-1221	327	→	157	10	H-5-4-V-1-6-A	-5,67	-5,54	-3,59	2,05	14,10	28,02	41,96
-1174	316	→	152	10	H-5-4-V-1-6-E	-5,74	-5,60	-3,62	2,07	14,15	28,16	42,13
-1097	-281	→	-128	11	H-6-1-V-1-6-A	8,78	8,24	5,81	-0,73	-12,87	-27,23	-42,10
-1080	-272	→	-121	11	H-6-1-V-1-6-E	8,80	8,25	5,77	-0,82	-12,95	-27,31	-42,18
-1212	320	→	152	12	H-6-4-V-1-6-A	-5,56	-5,43	-3,48	2,14	14,19	28,10	41,96
-1182	311	→	146	12	H-6-4-V-1-6-E	-5,69	-5,55	-3,57	2,11	14,17	28,19	42,13
-1098	-302	→	-150	13	H-7-1-V-1-6-A	12,58	12,04	9,49	2,62	-10,26	-25,64	-41,49
-1091	-291	→	-140	13	H-7-1-V-1-6-E	12,48	11,92	9,30	2,34	-10,53	-25,81	-41,58
-1218	281	→	111	14	H-7-4-V-1-6-A	-2,29	-2,15	-0,17	5,20	16,36	29,23	41,96
-1197	270	→	103	14	H-7-4-V-1-6-E	-2,28	-2,12	-0,10	5,29	16,48	29,34	42,05
-1112	-327	→	-172	15	H-8-1-V-1-6-A	16,51	15,94	13,21	5,79	-8,17	-24,77	-41,95
-1114	-309	→	-154	15	H-8-1-V-1-6-E	16,38	15,79	13,00	5,52	-8,43	-24,93	-42,06
-1227	254	→	84	16	H-8-4-V-1-6-A	1,50	1,63	3,42	8,41	18,62	30,35	41,91
-1148	226	→	66	16	H-8-4-V-1-6-E	1,73	1,89	3,72	8,75	18,92	30,54	41,96
-1121	-277	→	-130	17	H-9-1-V-1-6-A	15,59	14,96	12,27	5,27	-7,50	-22,60	-38,26
-1098	-270	→	-125	17	H-9-1-V-1-6-E	15,55	14,90	12,17	5,14	-7,63	-22,71	-38,36
-1225	286	→	106	18	H-9-4-V-1-6-A	1,50	1,59	3,40	8,68	19,90	32,86	45,61
-1189	277	→	102	18	H-9-4-V-1-6-E	1,62	1,71	3,55	8,88	20,06	33,02	45,73
-1118	-276	→	-128	19	H-10-1-V-1-6-A	15,58	14,93	12,28	5,28	-7,52	-22,62	-38,29
-1105	-265	→	-120	19	H-10-1-V-1-6-E	15,86	15,20	12,47	5,44	-7,34	-22,44	-38,06
-1247	286	→	103	20	H-10-4-V-1-6-A	1,65	1,72	3,49	8,74	19,95	32,89	45,65
-1222	273	→	94	20	H-10-4-V-1-6-E	1,57	1,65	3,46	8,74	19,94	32,88	45,63

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.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Forschungsprojekt "Unteres Hausfeld"

A U S W E R T U N G

der statischen Pfahlprobebelastung gemäß EA-Pfähle

Status: **Endfassung** *Stand:* **05.06.2018**

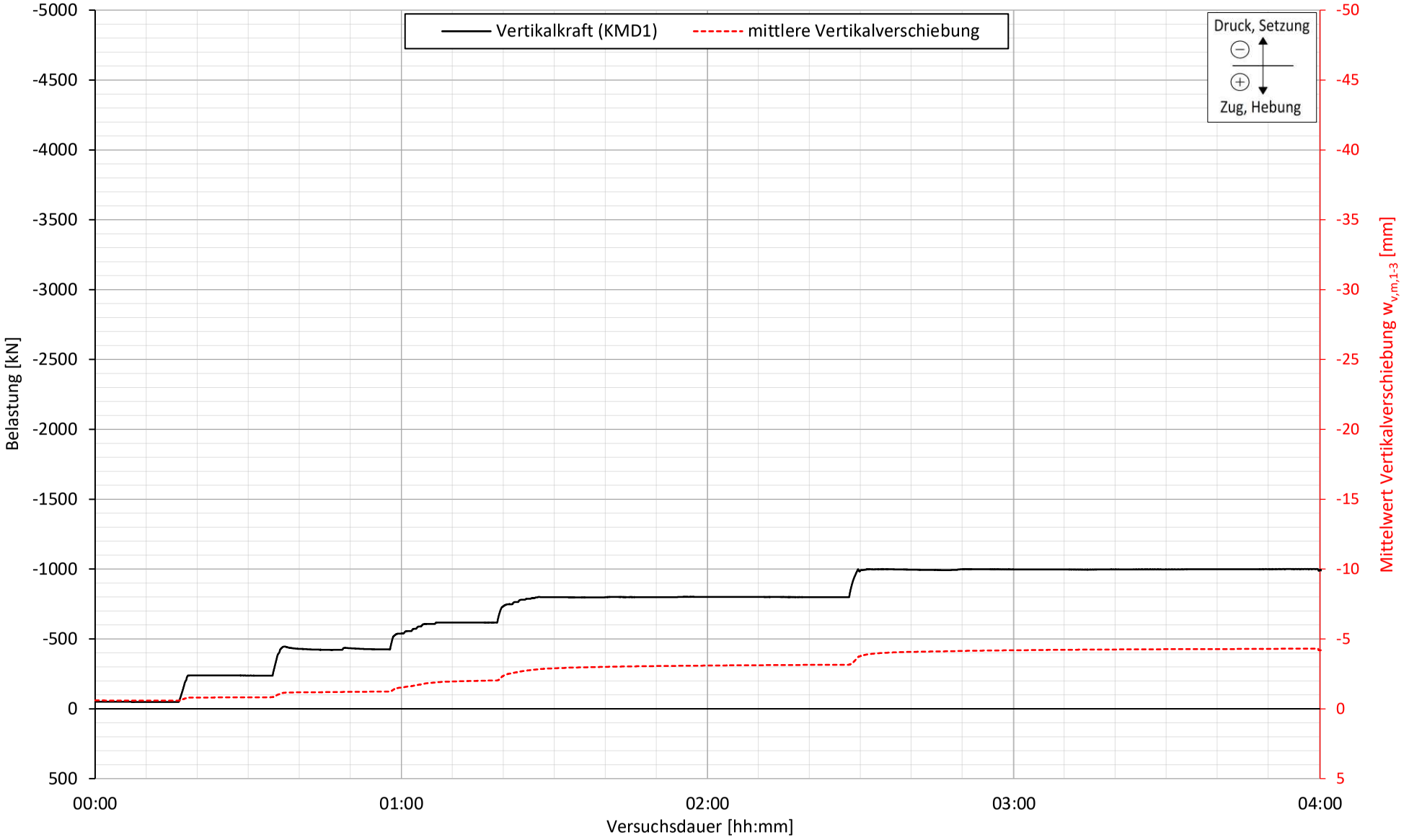
Allgemeine Angaben:		
Prüfkörper:	**B.HK**	
Prüffeld:	2	
Versuch:	Horizontalverschiebeversuch	
Bodenschicht Krafteinleitungsstrecke:	Kies	
Pfahlinstrumentierung (MWES II):		
Kettenextensometer (KEX):	ja	
Bewehrungssensoren (BS):	ja	
Sohldruckmessdose (DMD):	nein	
Ketteninklinometer (KIN):	ja	
Versuchsdaten:		
Prüfung Nr.:	80	
Prüfdatum:	19.03.2018 - 23.03.2018	
Versuchsbeginn:	11:08 Uhr	
Versuchsende:	16:01 Uhr	
Wetterbedingungen:	19.03.2018 11:00, bewölkt, Außentemperatur: -3°C / in Einhausung: 7°C	
besondere Versuchsbedingungen:	KEX3 auf Channel 16, weil Channel 13 nicht funktioniert (wie bei B.HM)	
Geometrie:		
Bohrdurchmesser:	600,00	mm
Querschnittsfläche A_{ges}=	282743,34	mm²
OK Pfahlkopf:	156,77	müA
Messniveau:	156,72	müA
OK Pfahl:	156,00	müA
GOK:	155,80	müA
OK Krafteinleitungsstrecke:	154,10	müA
Bemessungswasserstand:	154,83	müA
Bauwasserstand:	154,38	müA
UK Pfahl:	150,00	müA
Länge "Freispielstrecke":	1,90	m
Länge Krafteinleitungsstrecke:	4,10	m
Pfahllänge:	6,00	m
Materialkennwerte:		
Betongüte:	**C25/30 / BS-TB1**	
Zement:	**CEM II/A-M(S-L)**	
W/B-Wert Zemetsuspension:	-	
E-Modul Beton / Zementstein E_C =	34,00	kN/mm²
Typ, Güte Stabstahl (nur Mikropfähle):	-	
Nennquerschnitt Stabstahl A_{SS} =	0,00	mm²
E-Modul Stabstahl E_{SS} =	0,00	kN/mm²
Güte Bewehrungsstahl:	**B 550B**	
Gesamtquerschnitt Bewehrungsstahl A_{BS}=	variiert	mm²
E-Modul Bewehrungsstahl E_{BS} =	200,00	kN/mm²
Güte Baustahl (KEX-Rohr):	**S235**	
Gesamtquerschnitt Baustahl A_S=	492,88	mm²
E-Modul Baustahl E_S =	200,00	kN/mm²
Führungsrohre:		
KEX-Rohr d_a =	57,00	mm
KEX-Rohr d_i =	51,20	mm
KIN-Rohr d_a=	55,00	mm
KIN-Rohr d_i =	47,00	mm

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.

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.

Probepfahl: **B.HK**

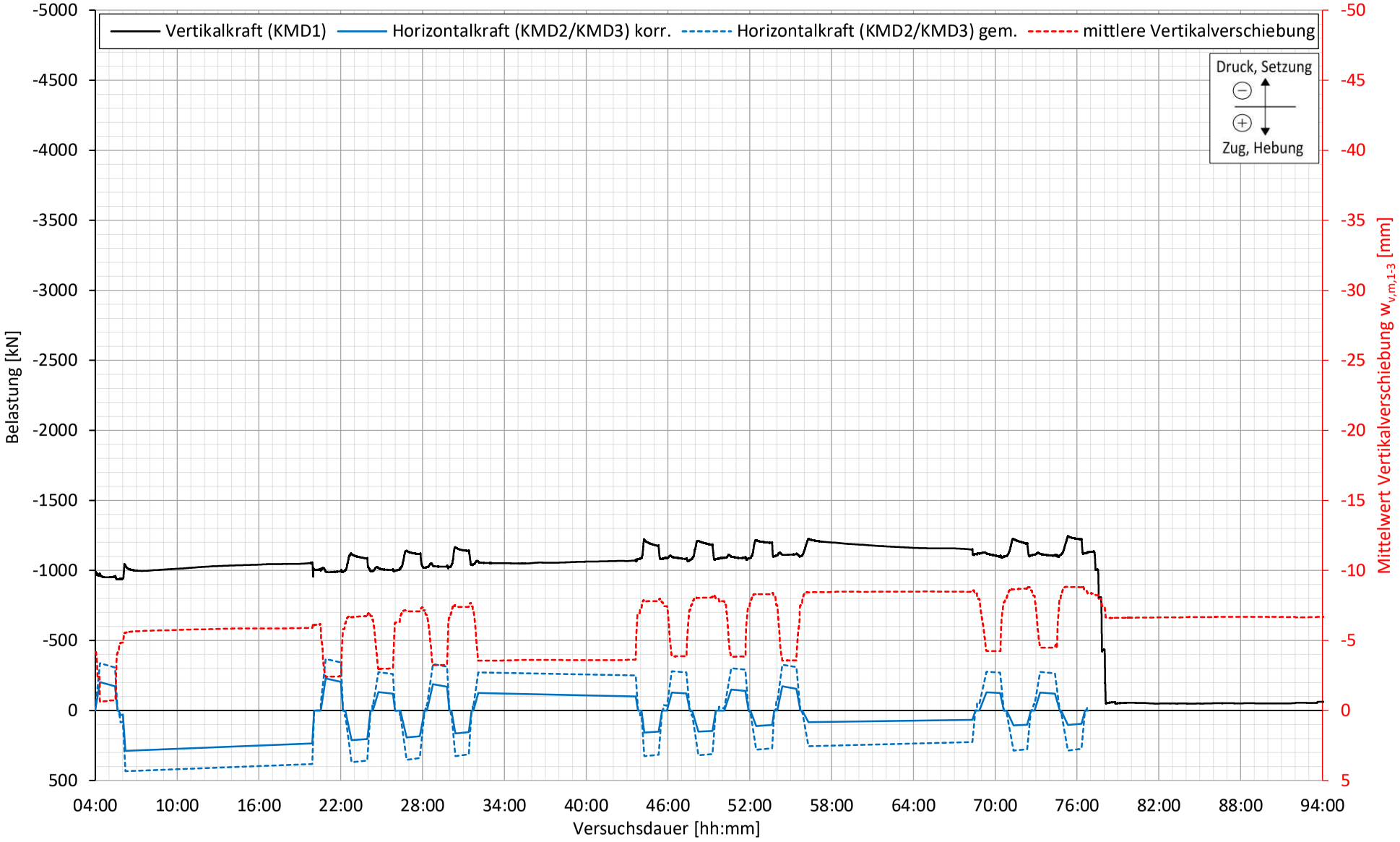
Belastung und vertikale Pfahlkopfverschiebung - Teil 1



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.

Probepfahl: **B.HK**

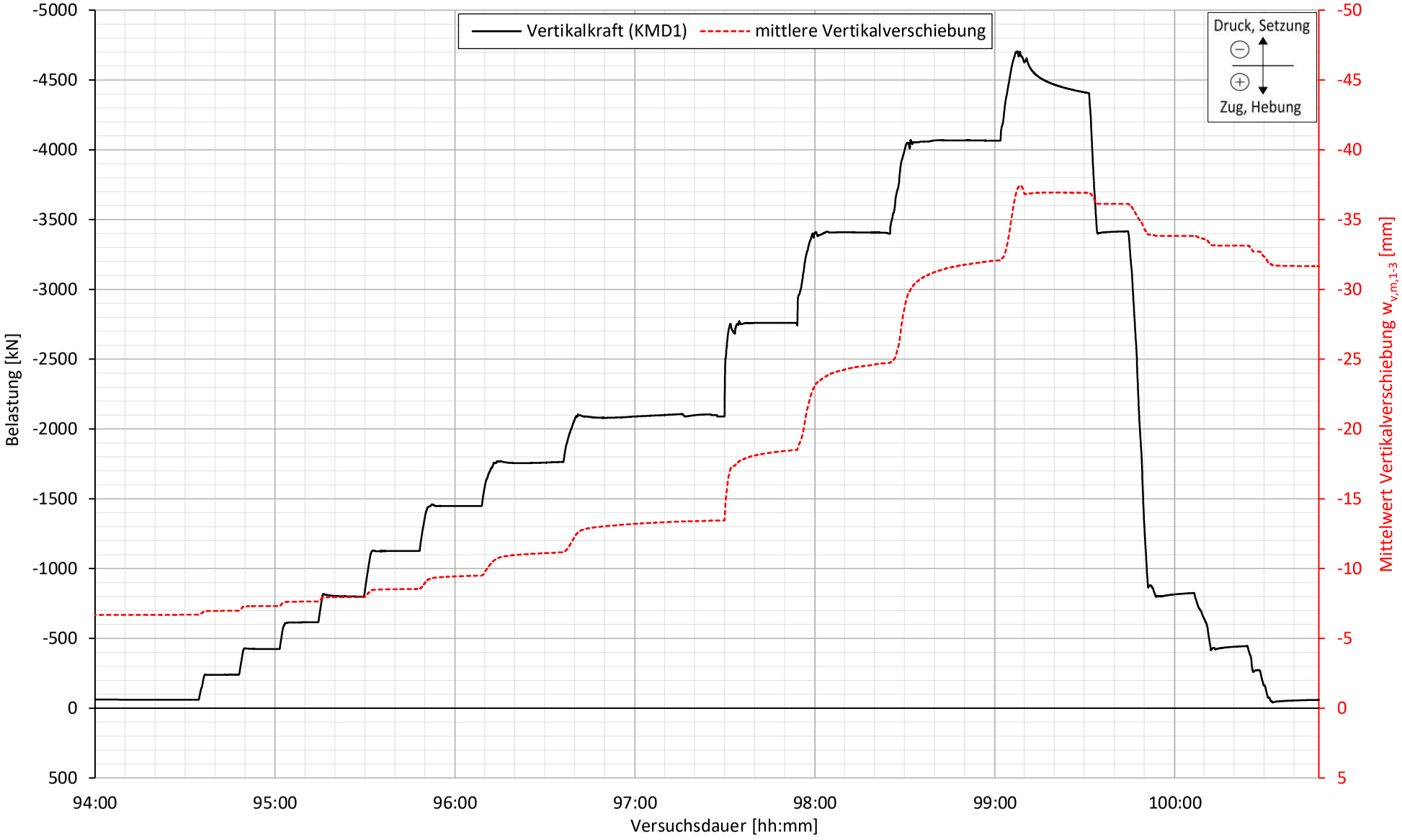
Belastung und vertikale Pfahlkopfverschiebung - Teil 2



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.

Probepfahl: **B.HK**

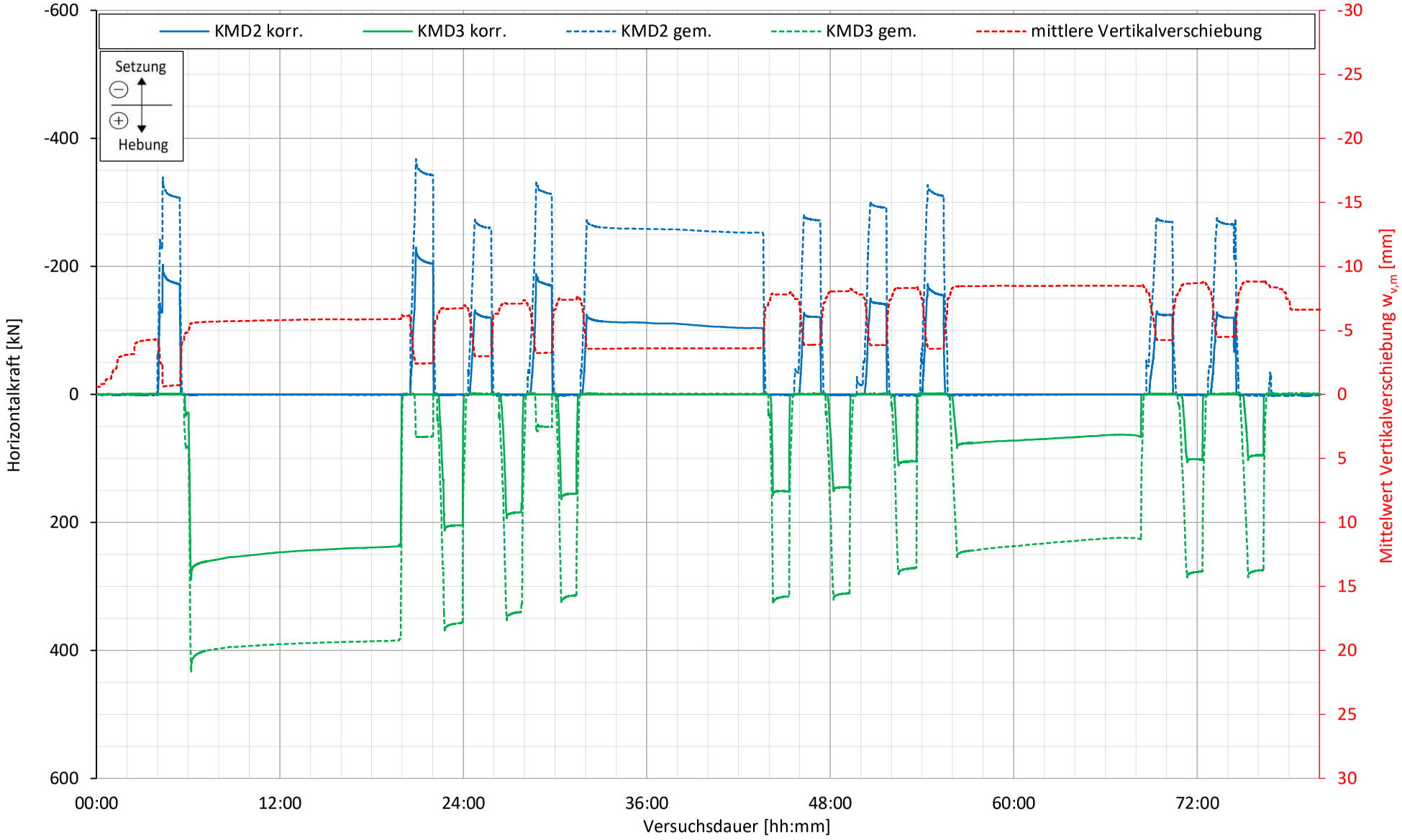
Belastung und vertikale Pfahlkopfverschiebung - Teil 3



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.

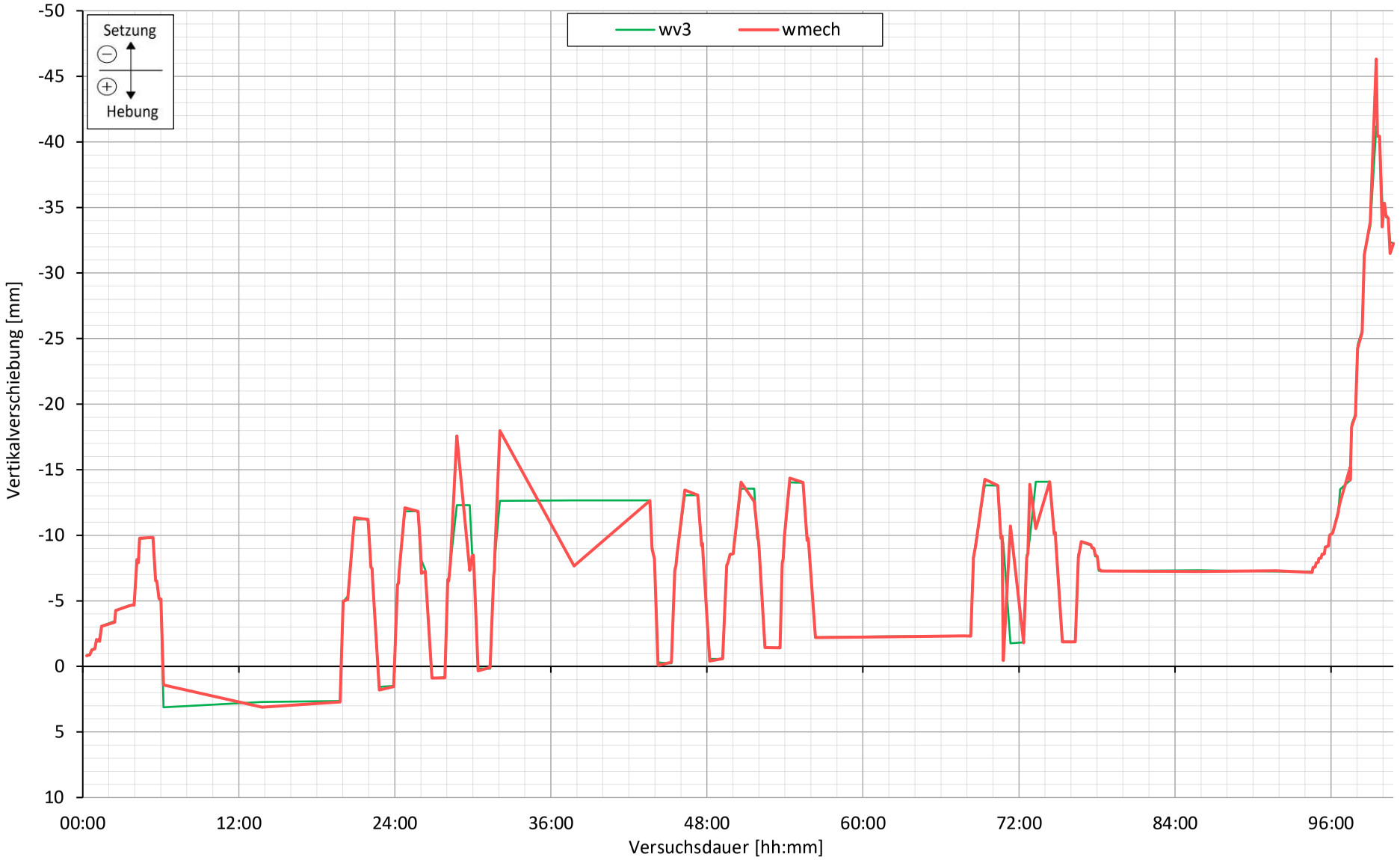
Probepfahl: **B.HK**

Horizontalbelastung und mittlere Vertikalverschiebung



Probepfahl: **B.HK**

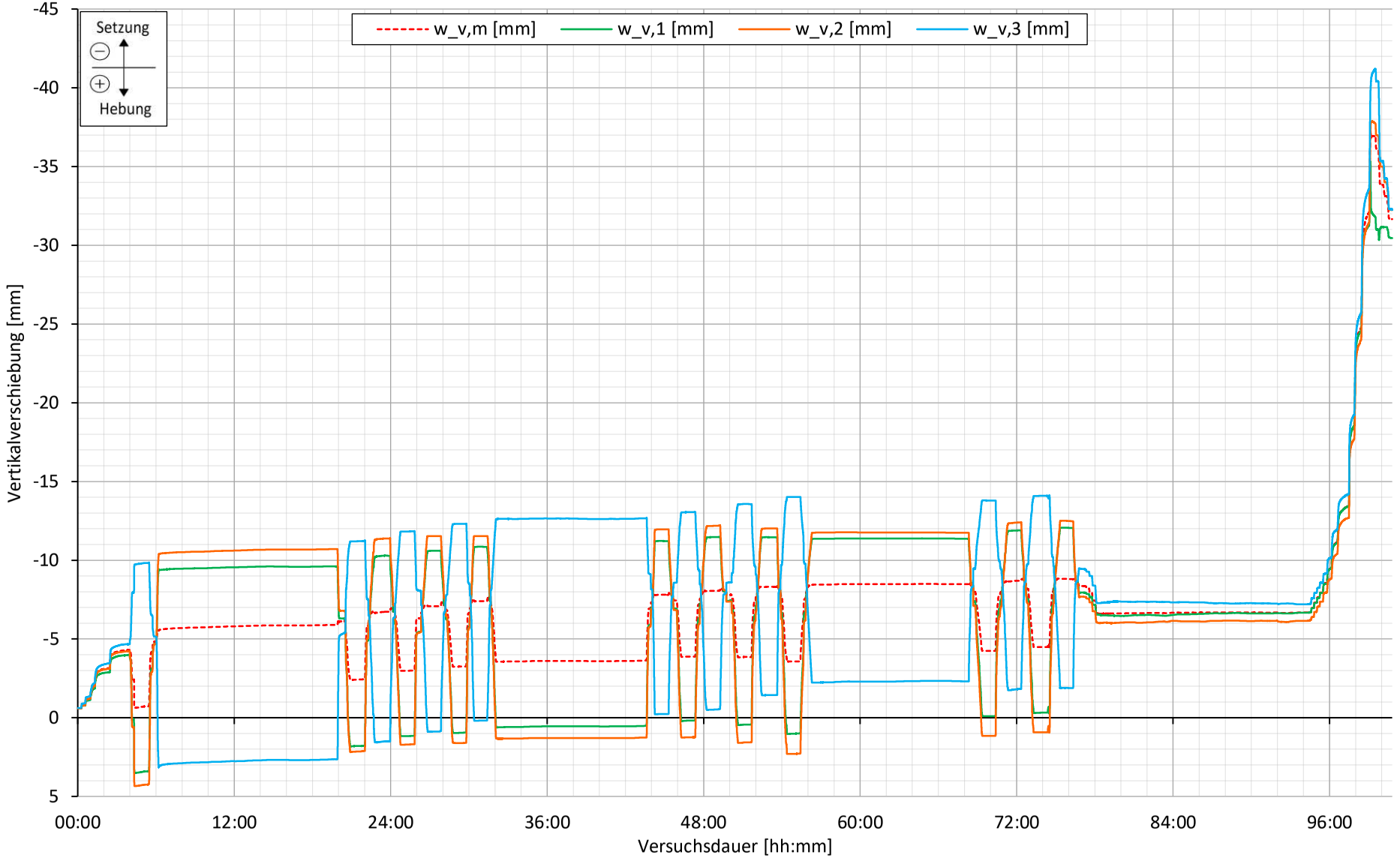
Vergleich Wegaufnehmer wv3 mit der mech. Messuhr - Gesamtversuch



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.

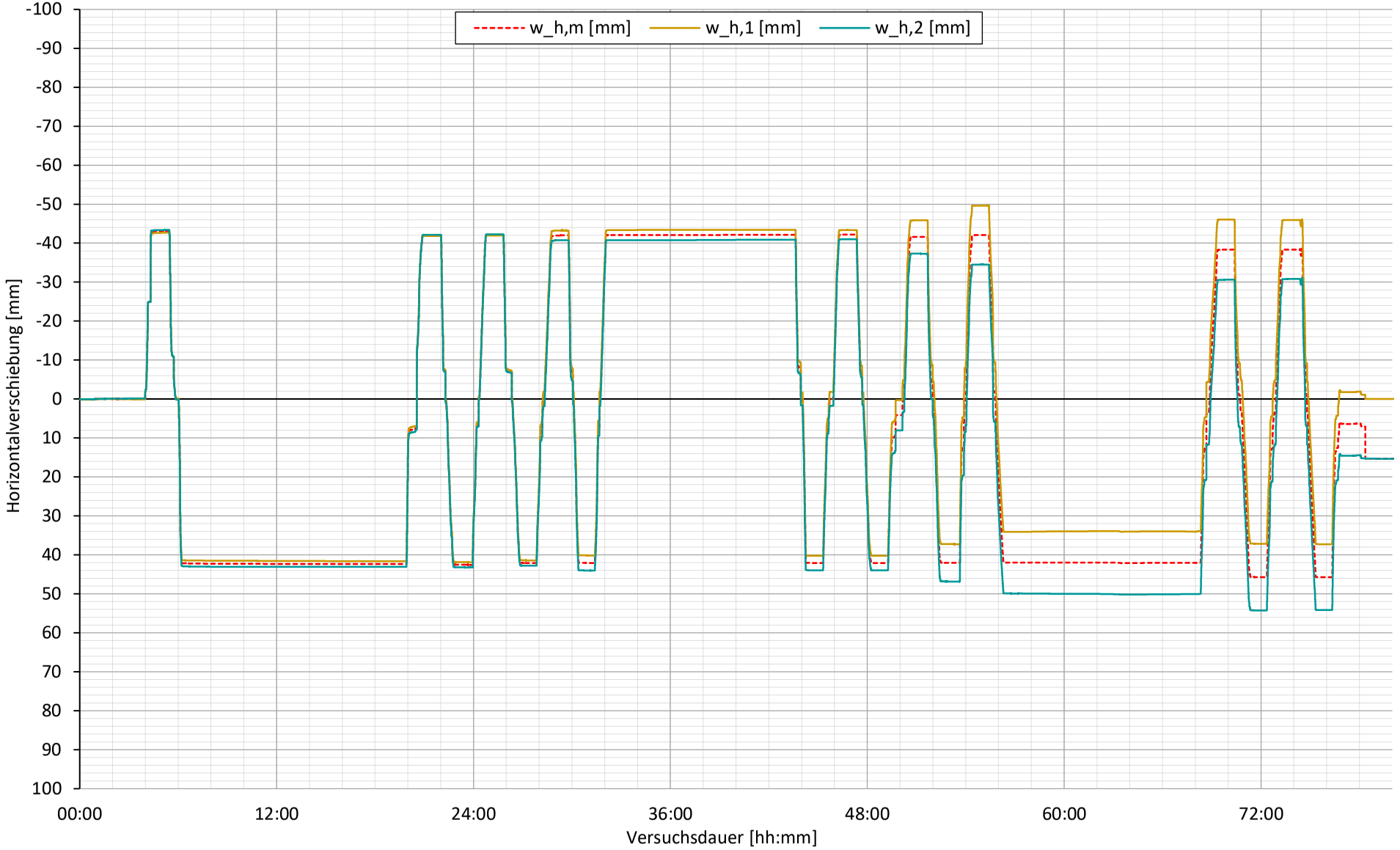
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Probepfahl: **B.HK** **Vertikale Pfahlkopfverschiebung: Einzelwerte und Mittelwert der Wegaufnehmer - Gesamtversuch**



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.

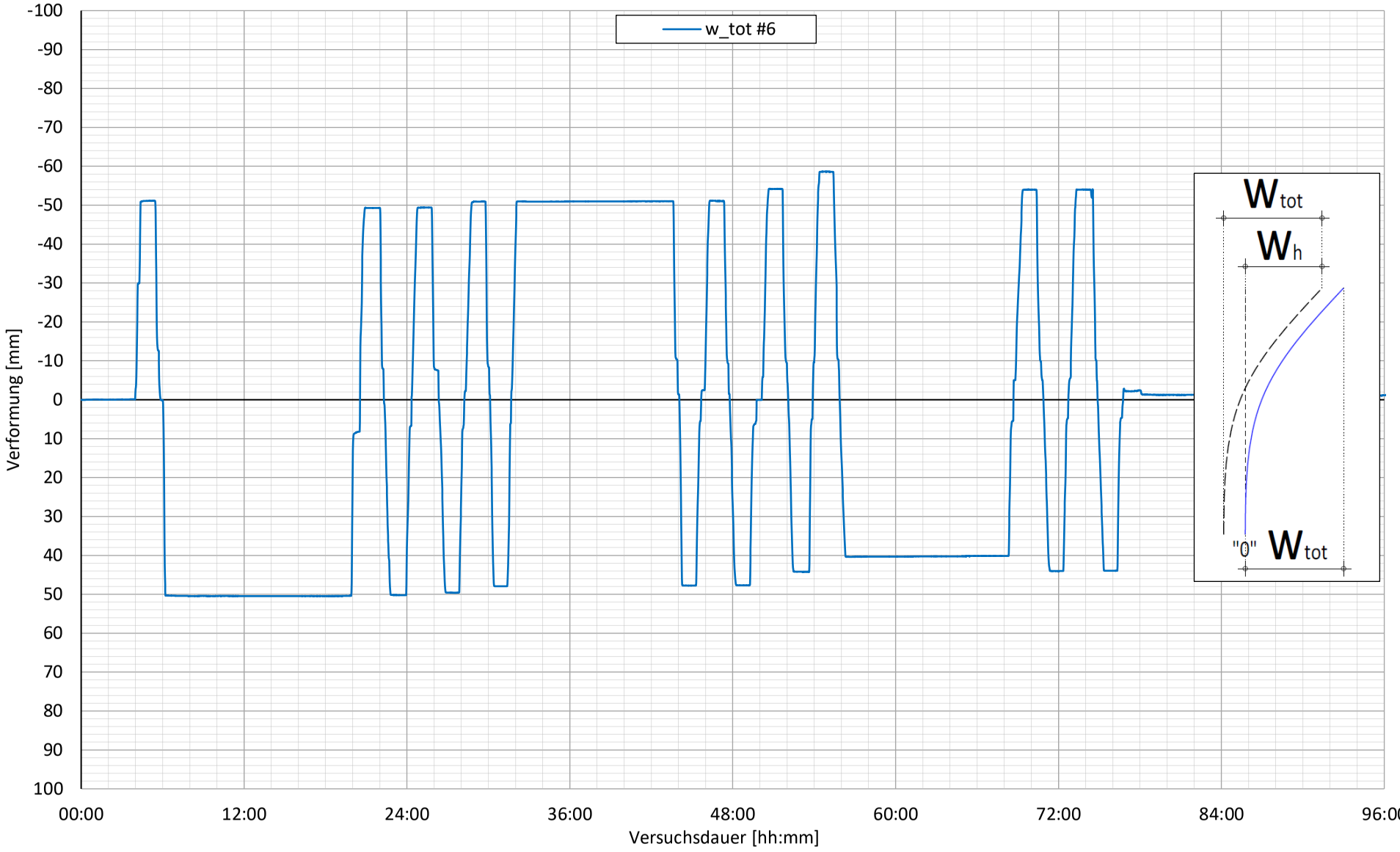
Probepfahl: **B.HK** **Horizontale Pfahlkopfverschiebung: Einzelwerte und Mittelwert der Wegaufnehmer - Gesamtversuch**



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.

Probepfahl: **B.HK**

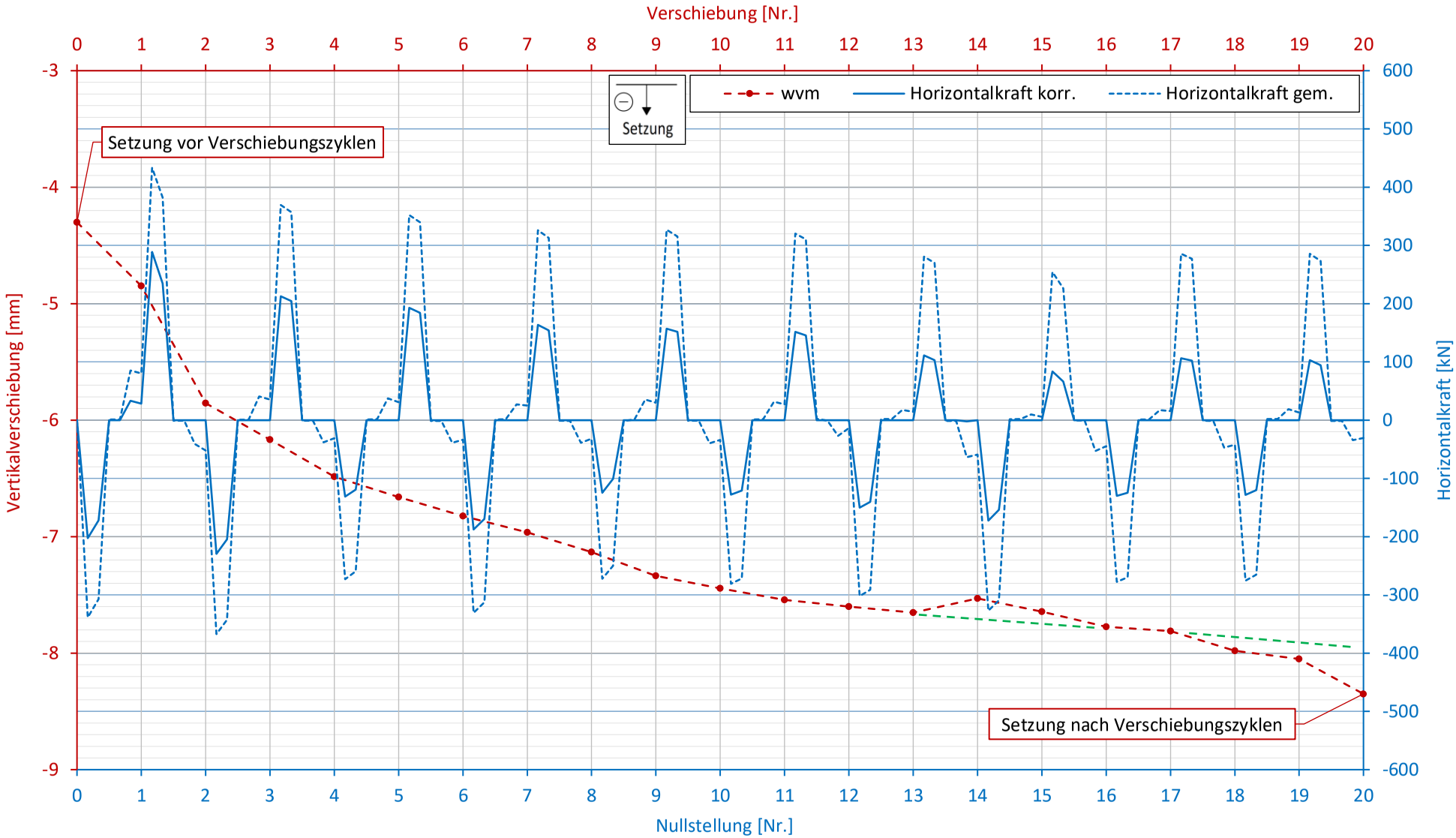
Horizontale Pfahlverformung: Oberster Inklinometersensor - Gesamtversuch



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.

Probepfahl: **B.HK**

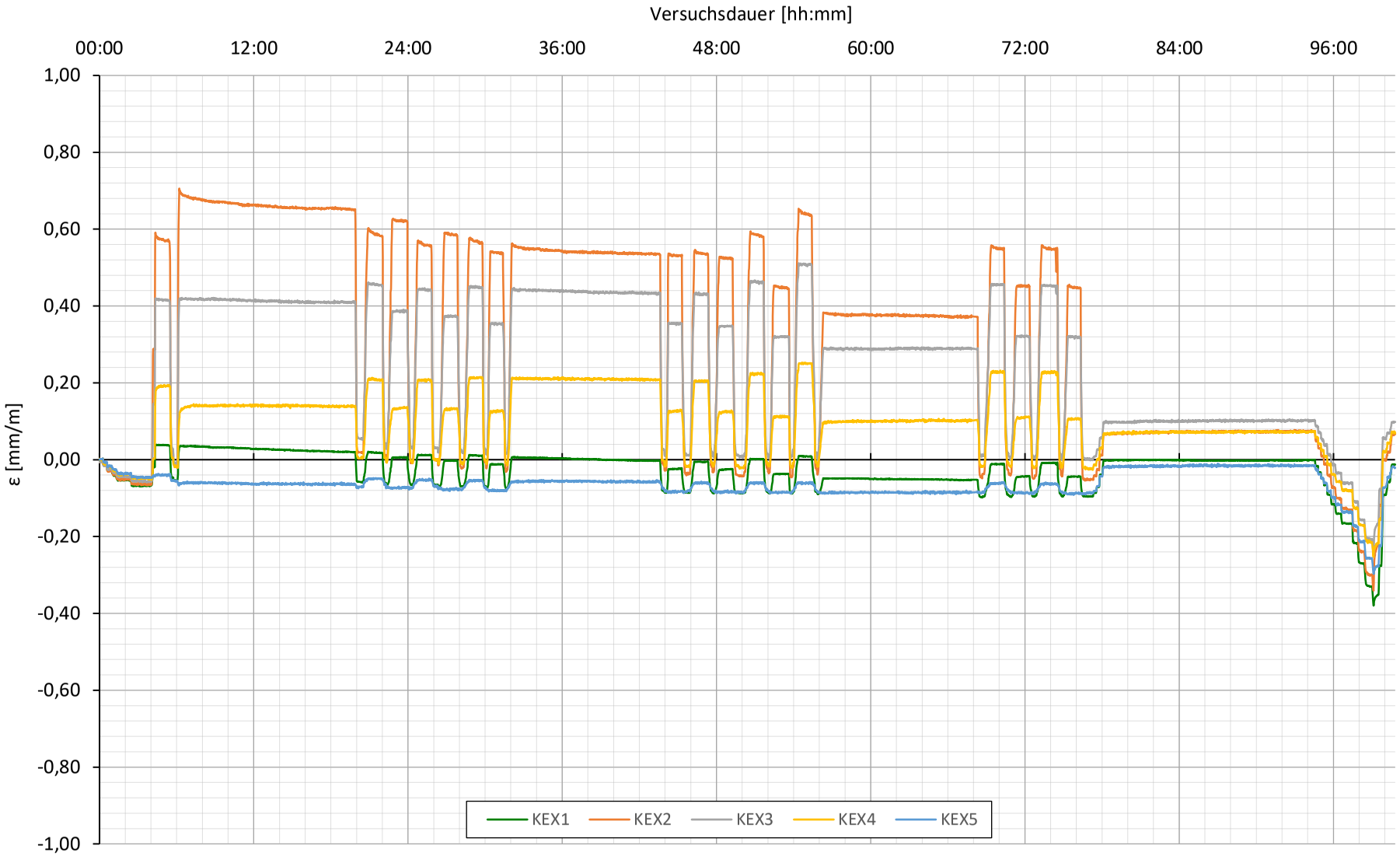
Mittlere Pfahlkopfsetzung je Weg-Nullstellung - Gesamtversuch



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.

Probepfahl: **B.HK**

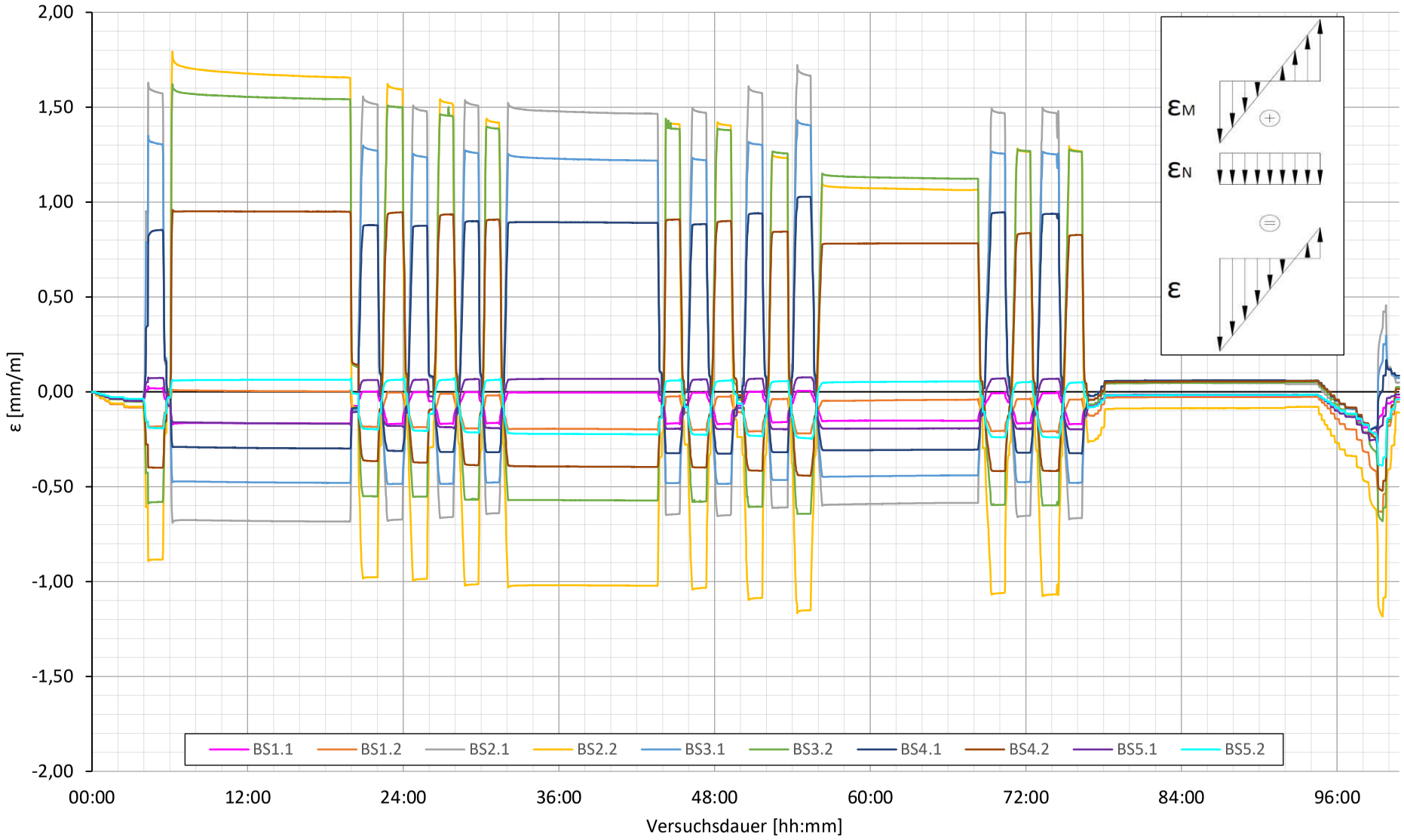
Längsverformungen (Kettenextensometer...KEX) - Gesamtversuch



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.

Probepfahl: **B.HK**

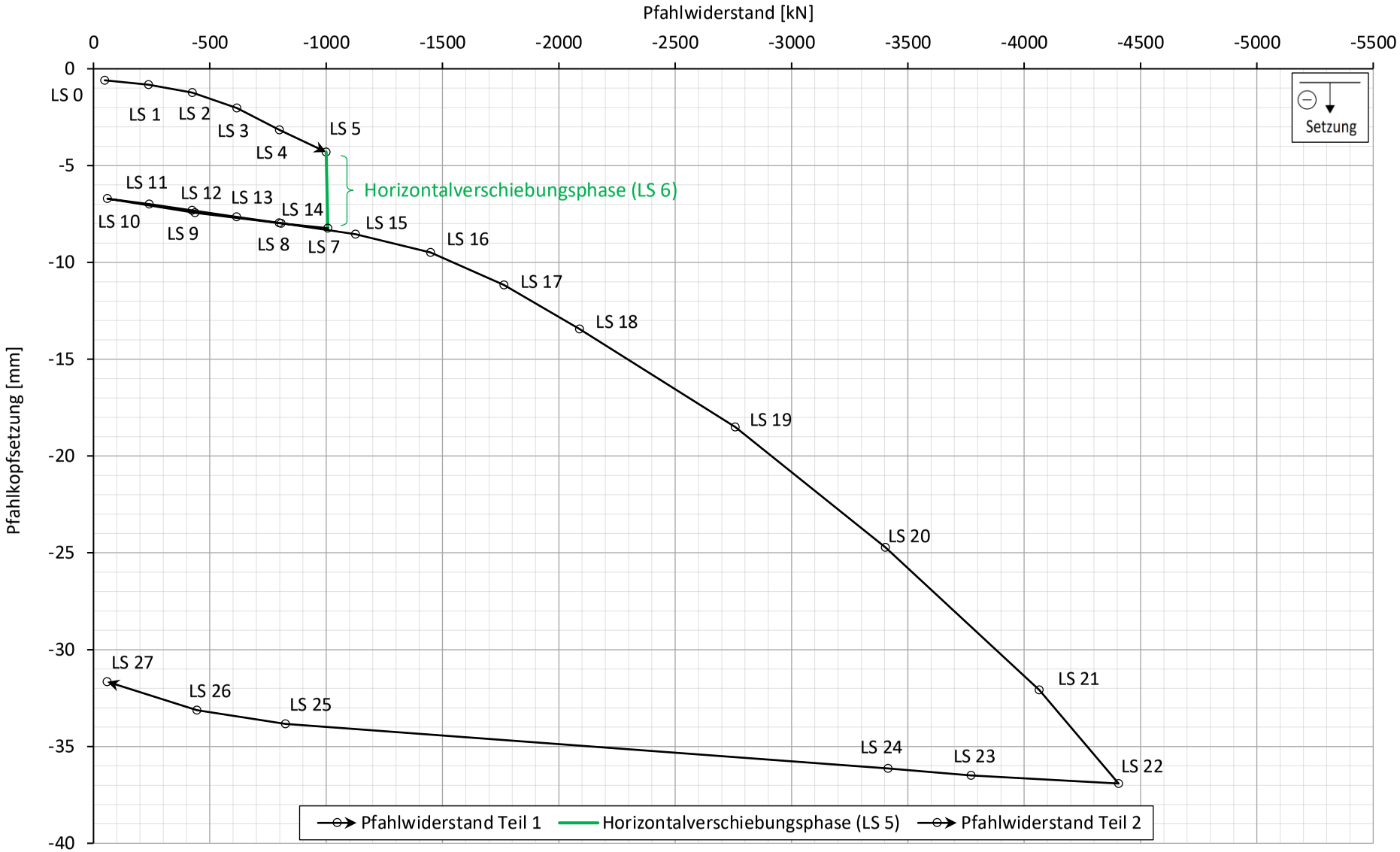
Längsverformungen (Bewehrungssensoren...BS) - Gesamtversuch



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.

Probepfahl: **B.HK**

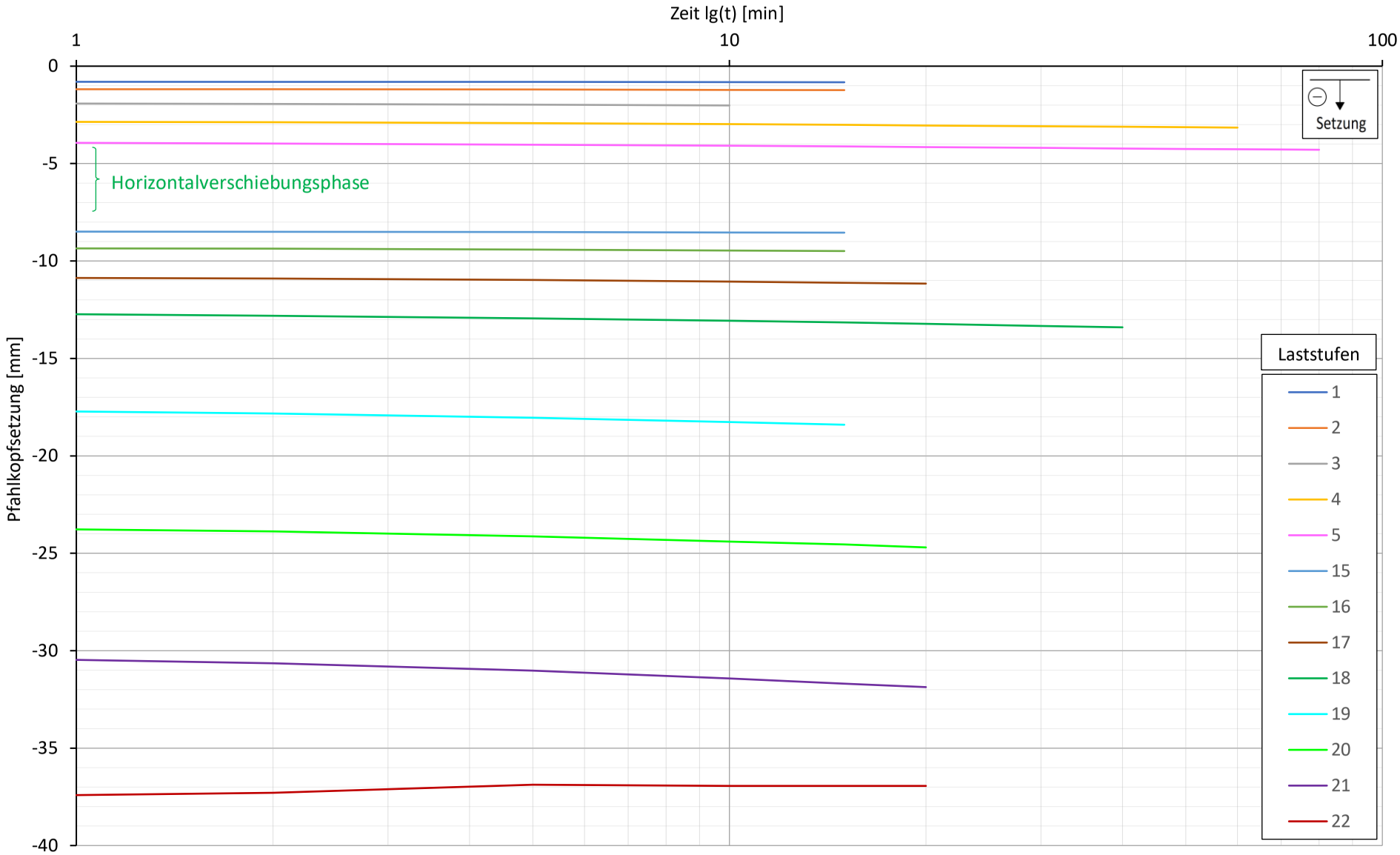
Widerstands-Setzungslinie bei Vertikalbelastung



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.

Probepfahl: **B.HK**

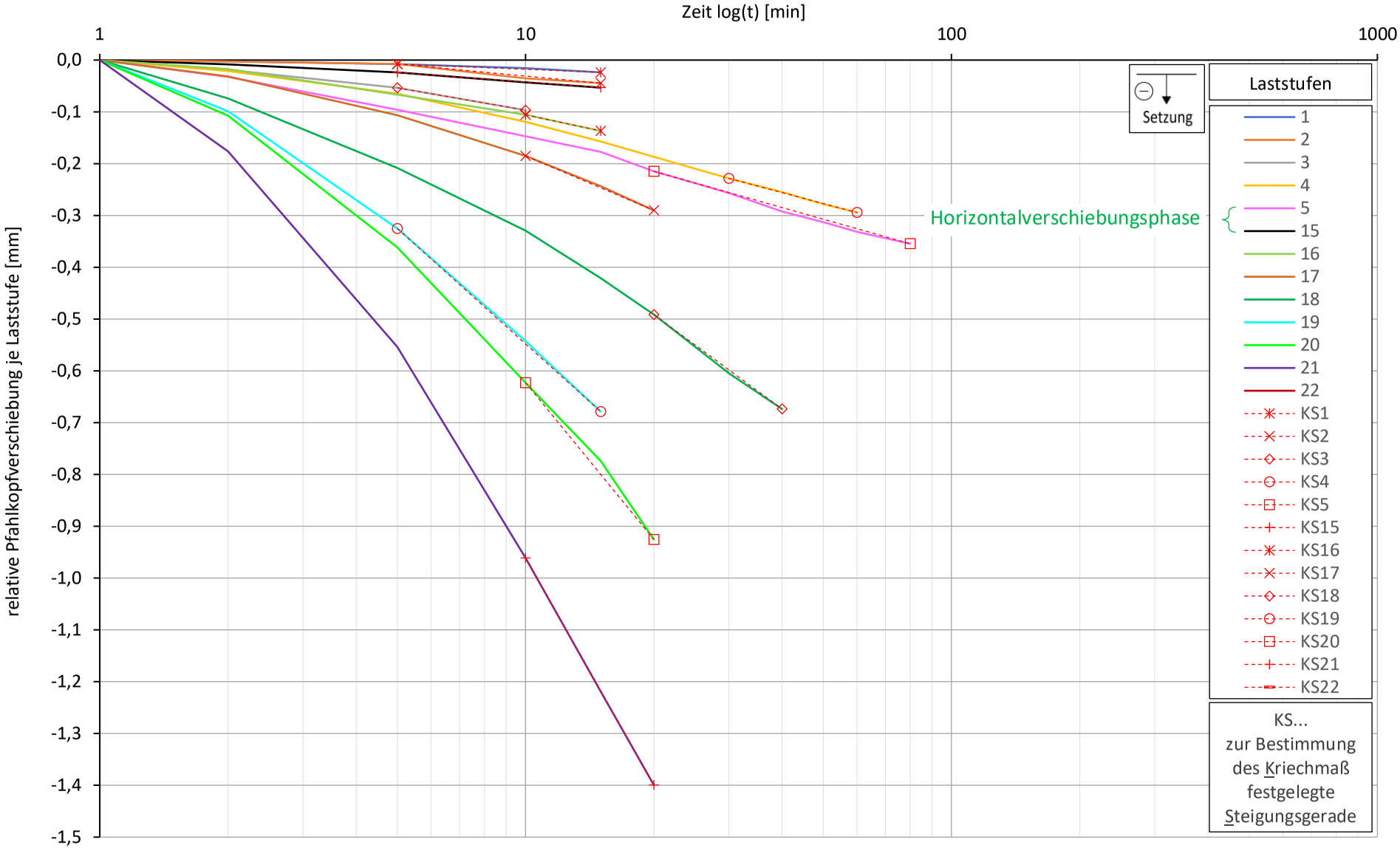
Zeitverformung bei Vertikalbelastung



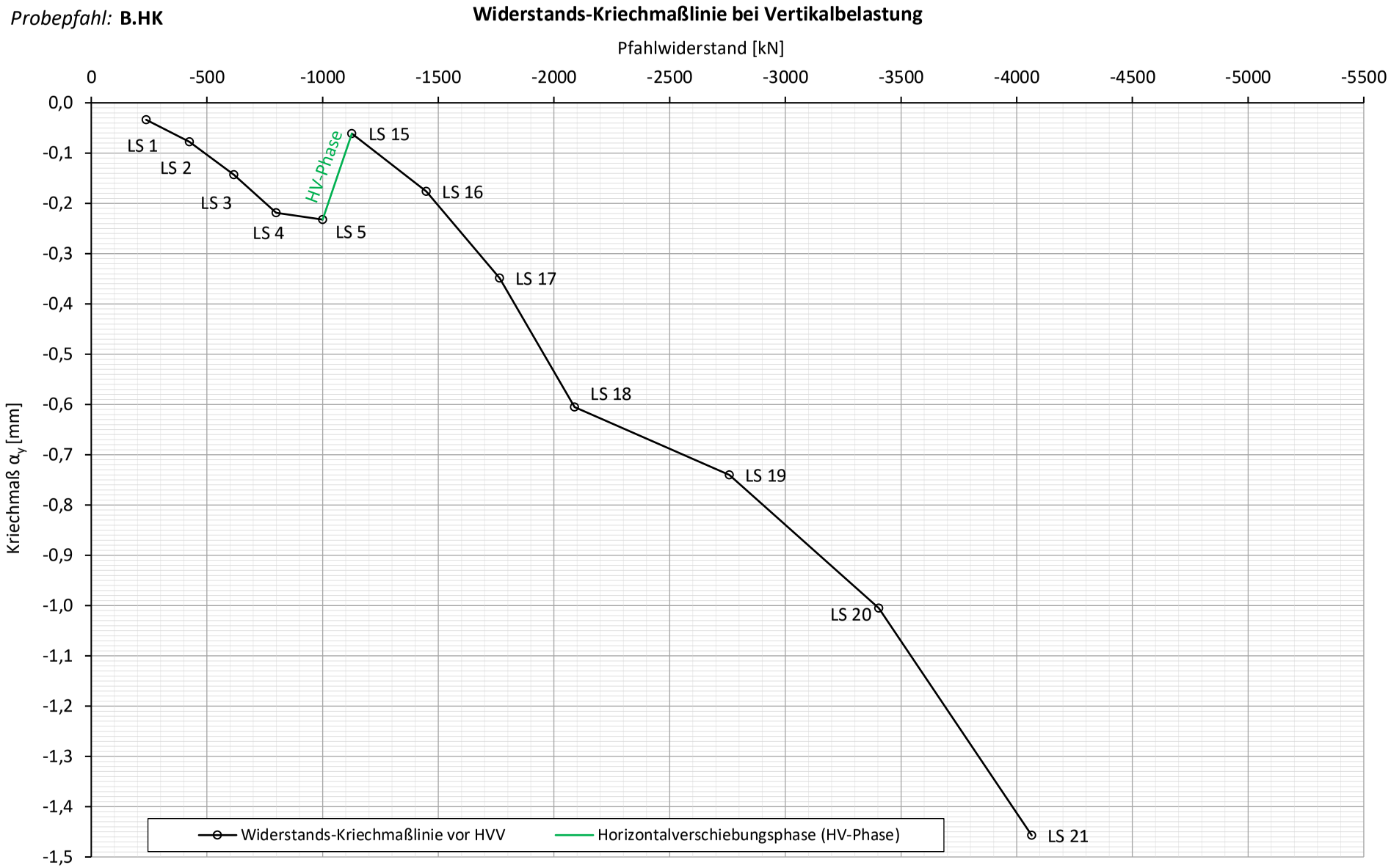
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Probepfahl: **B.HK**

Relative Zeitverformung bei Vertikalbelastung



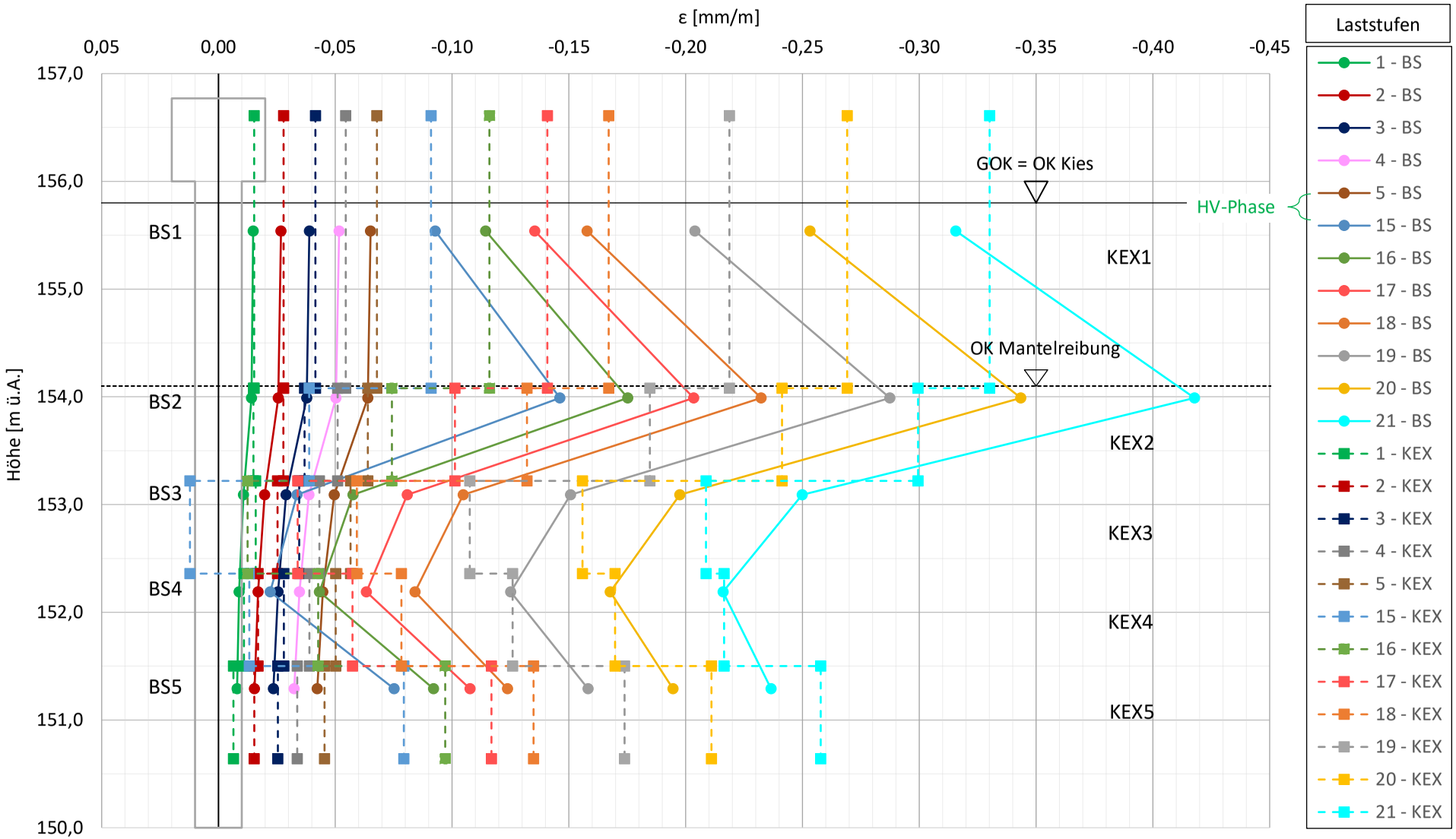
Probepfahl: **B.HK**



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.

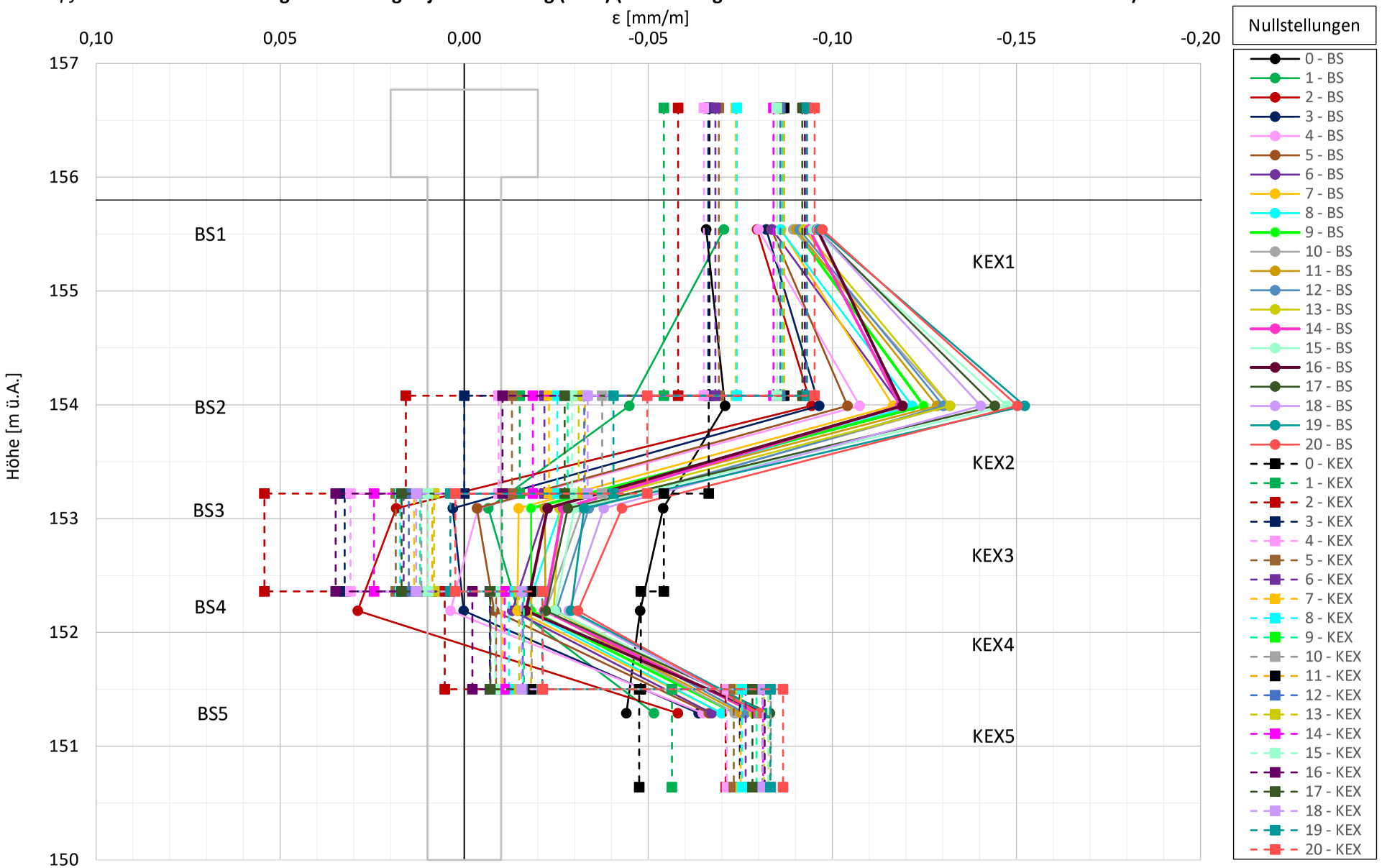
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Probepfahl: **B.HK** **Längsdehnungen je Vertikallaststufe (Bewehrungssensoren...BS bzw. Kettenextensometer...KEX)**



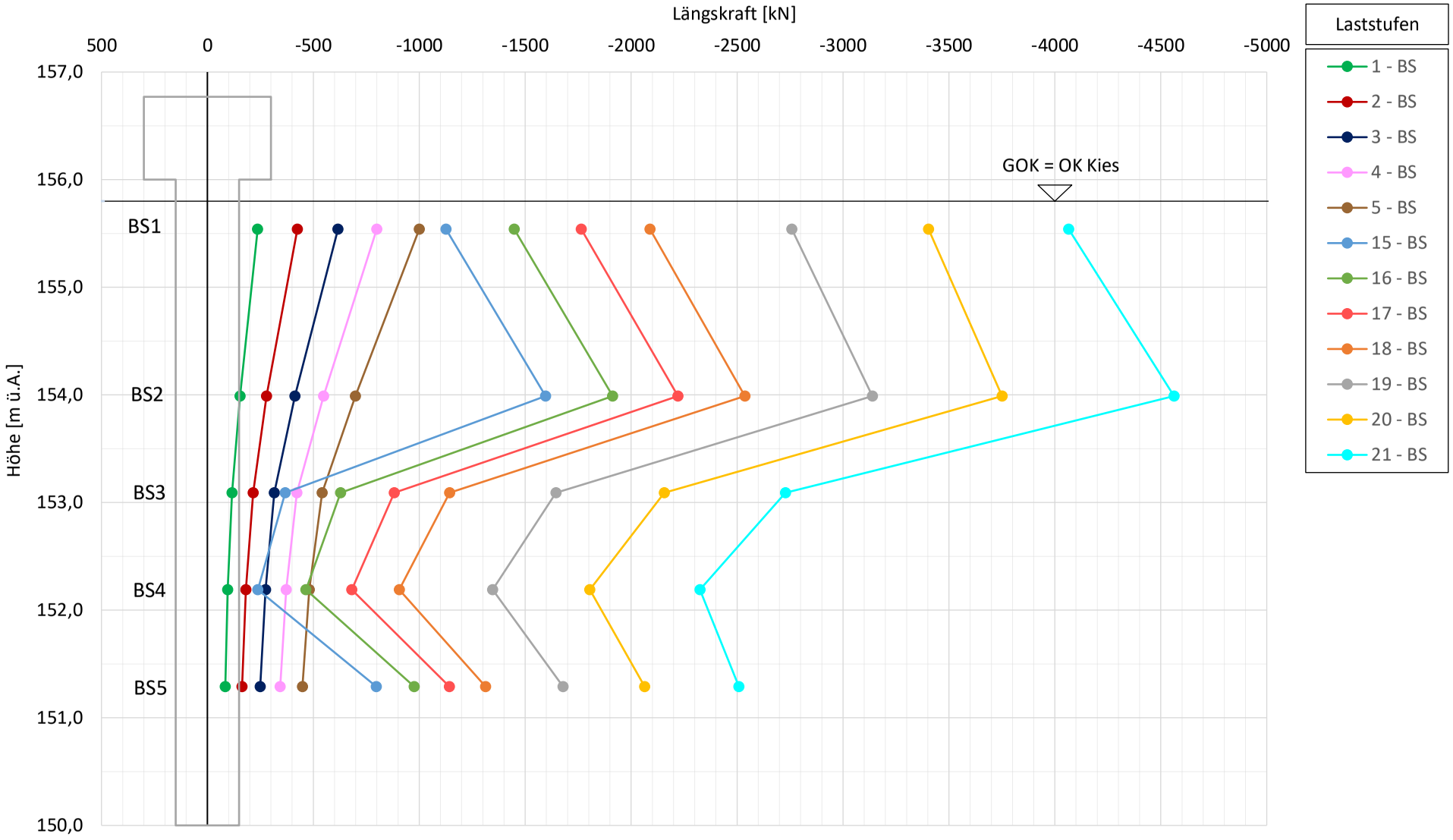
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Probepfahl: **B.HK** **Längsverformungen je Nullstellung (1-20) (Bewehrungssensoren...BS bzw. Kettenextensometer...KEX)**



Probepfahl: **B.HK**

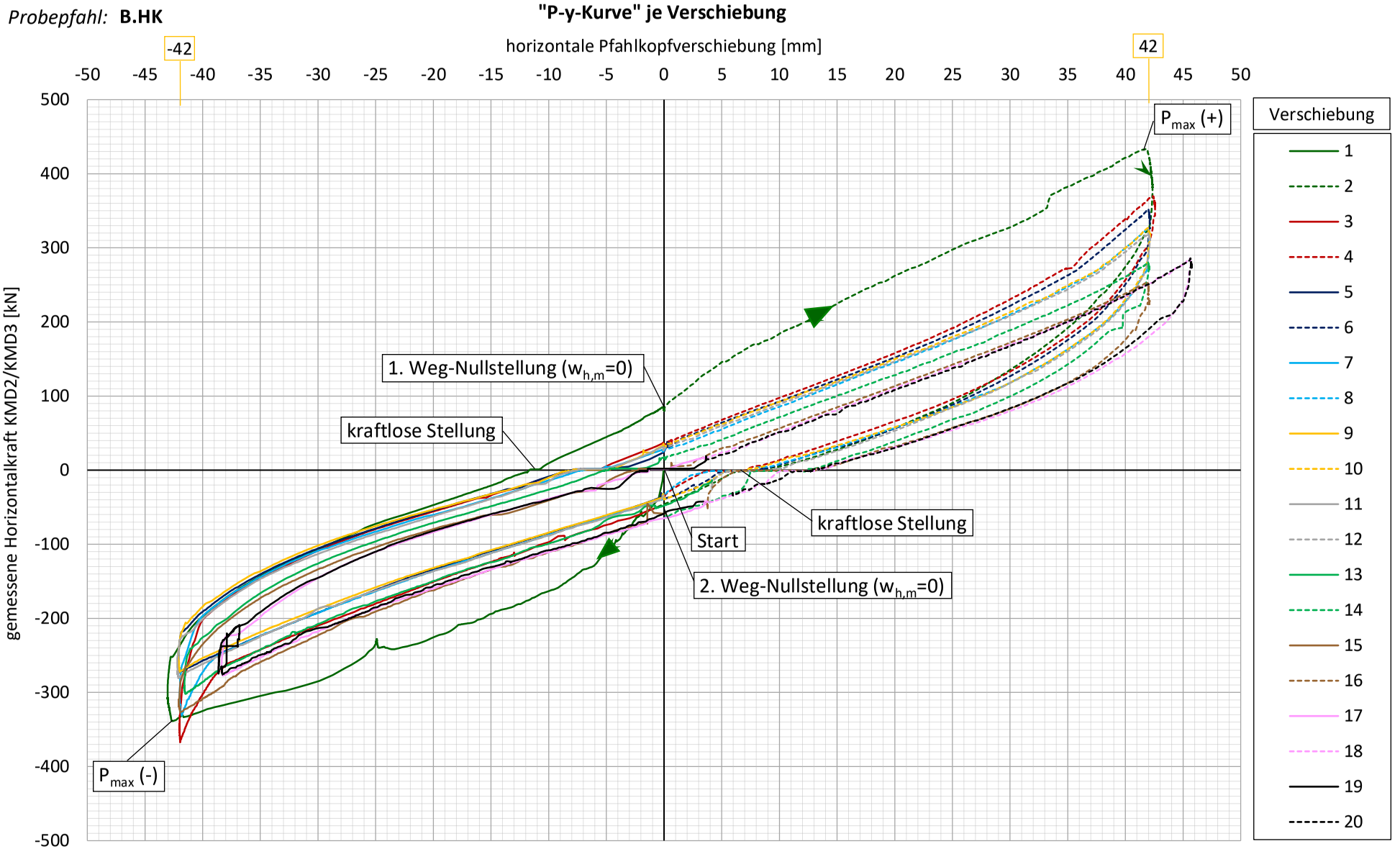
Längskraftverlauf je Vertikallaststufe (Bewehrungssensoren...BS)



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.

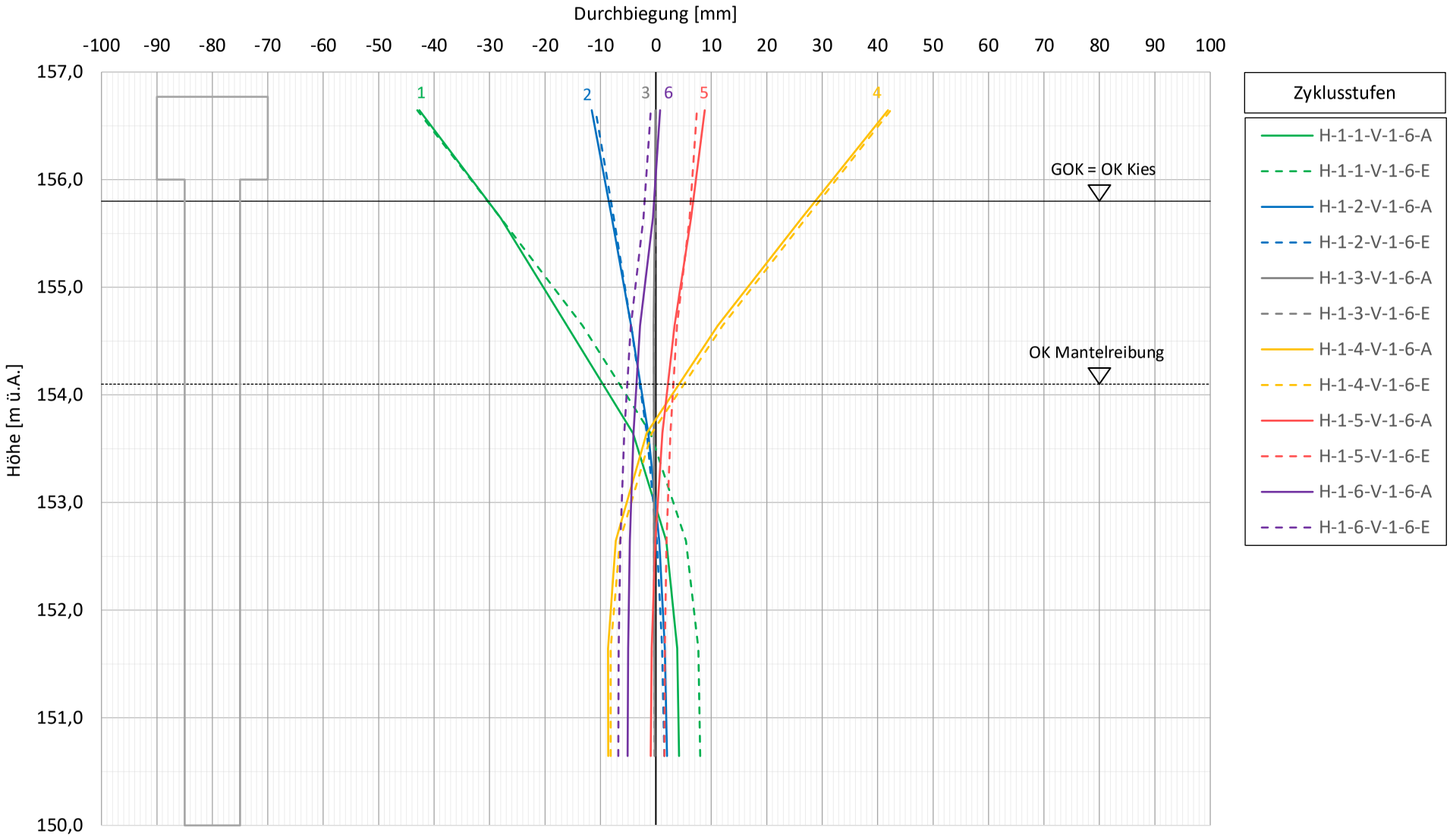
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Probepfahl: **B.HK**



Probepfahl: **B.HK**

Biegelinien am Anfang und Ende jeder Zyklusstufe (Ketteninklinometer) - Zyklus 1

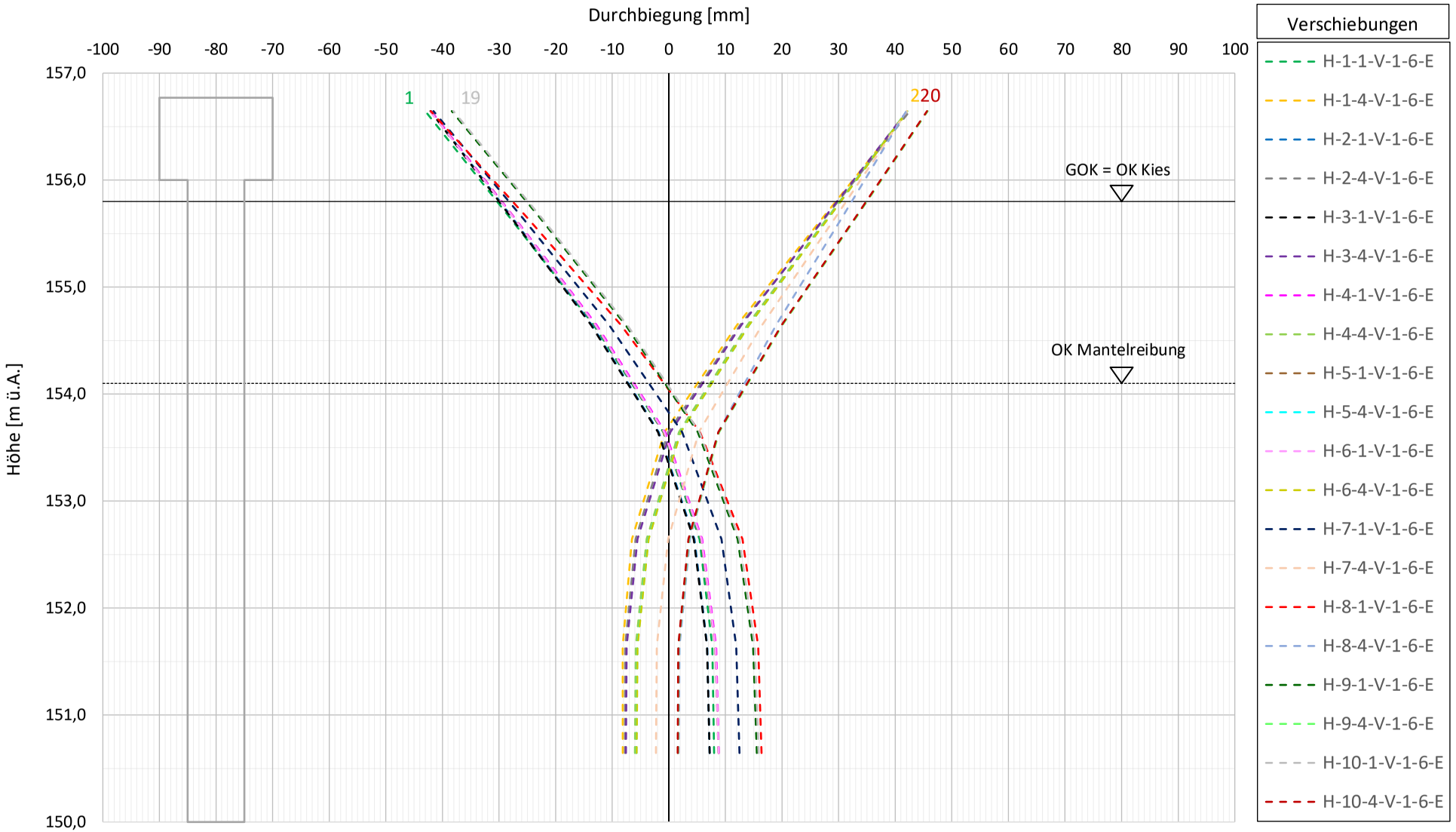


Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

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.

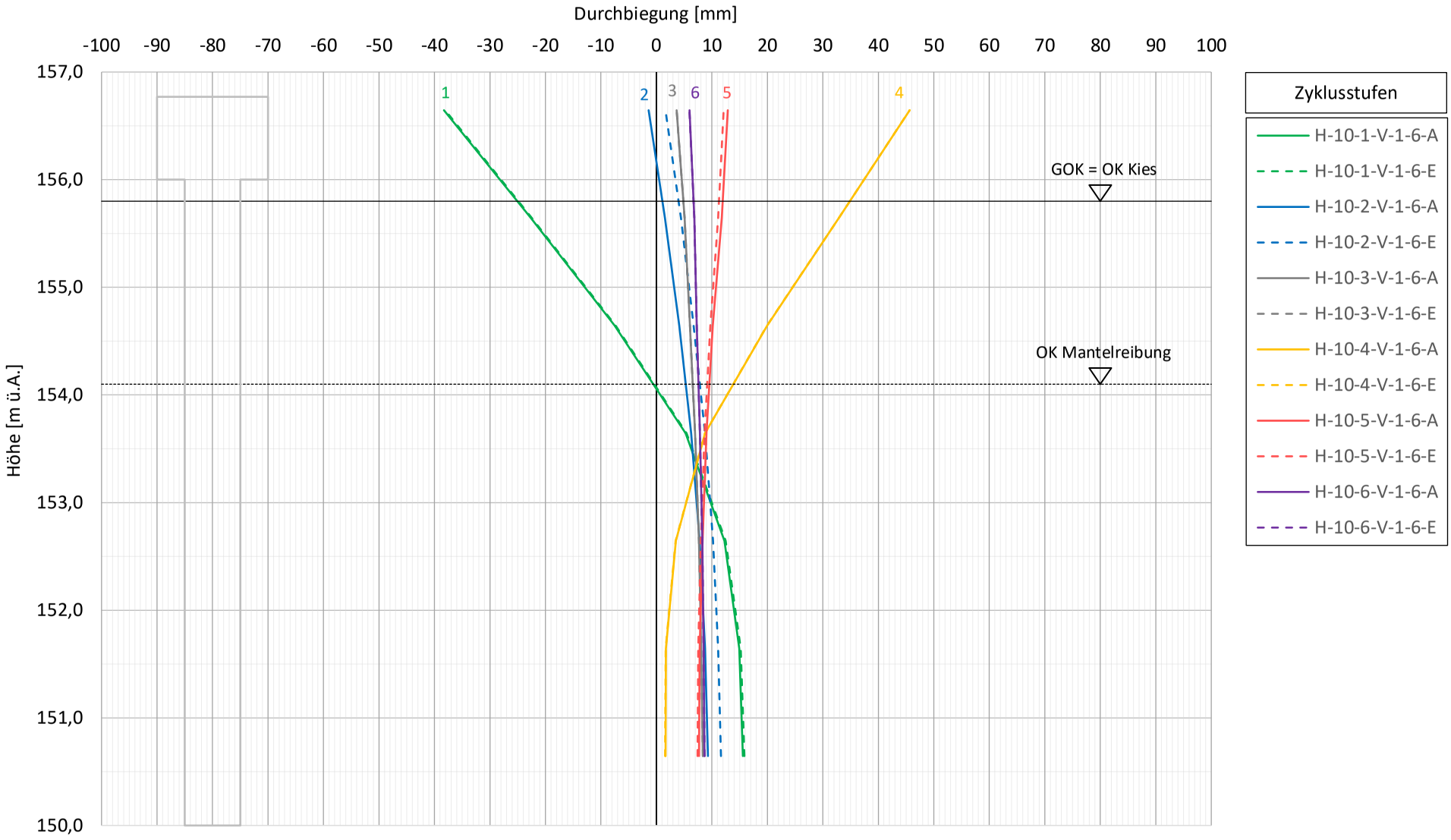
Probepfahl: **B.HK**

Biegelinien am Ende (E) jeder Verschiebung (Ketteninklinometer) - Gesamtversuch



Probepfahl: **B.HK**

Biegelinien am Anfang und Ende jeder Zyklusstufe (Ketteninklinometer) - Zyklus 10



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.