



**Universität für Bodenkultur Wien**  
Department für Bautechnik +  
Naturgefahren

Institut für konstruktiven Ingenieurbau

Peter-Jordan-Straße 82

A-1190 Wien

Tel.: +43 1 47654-5250

Fax: +43 1 47654-5299

Internet: [www.boku.ac.at](http://www.boku.ac.at)

PITSCHKEK HARALD

# Diplomarbeit

Entwicklung einer Arbeitsmethode zur Herstellung von Sandankern zur  
Abschätzung des Langzeitverhaltens von Verbundankern

Februar 2011

1. Betreuer

o.Univ.-Prof. DI DDr. Konrad Bergmeister M.Sc.  
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, BOKU Wien

2. Betreuer

DDI Dr. Andreas Unterweger  
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, BOKU Wien

---

# Eidesstattliche Erklärung

„Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe. Andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel wurden nicht benutzt. Aus diesen Quellen direkt oder indirekt bezogene Gedanken sind als solche kenntlich gemacht“.

Wien, 07. Feb. 2011

Harald Pitschek

---

# Danksagung

Besonderen Dank möchte ich an dieser Stelle an meine Familie richten. Speziell meine Eltern und meine Lebensgefährtin haben durch ihre moralische Unterstützung dazu beigetragen, dass das Studium letztendlich erfolgreich wurde.

Bedanken möchte ich mich auch bei Prof. DI DDr. Konrad Bergmeister, welcher es mir ermöglicht hat, diese Arbeit am IKI durchzuführen. Besonderer Dank gehört auch DDI Dr. Andreas Unterweger, für seine in allen Belangen gebotenen Hilfeleistungen und Motivationen. Auch bei Herrn Duro Petricevic möchte ich mich für seine gebotenen handwerklichen Hilfestellungen persönlich bedanken. Dem gesamten IKI-Team ein Danke, für die anregenden Gespräche und die entgegengebrachte Freundschaft.

All meinen Freunden, die mir während meiner Studienzeit zur Seite gestanden sind und auf deren Hilfe ich auch in schwierigen Zeiten zählen konnte, ein herzliches Danke

Wien, 07. Feb.2011



# Kurzzusammenfassung

In der Befestigungstechnik werden heutzutage vermehrt Verbundmörtel eingesetzt. Für die jeweiligen Anwendungsbereiche gibt es verschiedene Mörtel. Um in den Handel zu gelangen, müssen Ankersysteme einer Zulassungsprüfung unterzogen werden. Diese beruhen auf Kurzzeitversuchen und bestimmen mit welcher Last Dübel belastet werden dürfen. Die unterschiedlichen Verbundsysteme werden von den Herstellern laufend weiterentwickelt und in deren Zusammensetzung verändert. Veränderungen der Maximalkraft können sofort mittels Kurzzeitversuchen ermittelt werden. Die Auswirkungen auf das Langzeitverhalten müssen aber gesondert ermittelt werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Änderung von Mörtelinhaltsstoffe bestimmte Auswirkungen auf das Langzeitverhalten hat. In dieser Arbeit wird nur der Sand als Mörtelinhaltsstoff untersucht. Es wird versucht, das Langzeitverhalten von Sand zu ermitteln. Die Aufgabe war es, Prüfkörper herzustellen, wo die Verbindung zwischen Gewindestange und Betonkörper aus reinem Sand besteht. Die Anforderungen bestanden darin, dass die Reproduzierbarkeit und die Gleichmäßigkeit der Versuchskörper gewährleistet waren. Dieses Ziel wurde erreicht, indem die Methoden den Sand in das Bohrloch zu bringen und ihn dort zu verdichten variiert wurden. Mittels Kurzzeitversuchen wurden die einzelnen Methoden untereinander verglichen. Es wurde versucht, diese Methoden bei jeder Versuchsreihe weiterzuentwickeln und zu verbessern. Als Ergebnis der Versuche wird ein Vorgang beschrieben, wie der Befüll- und Verdichtungsvorgang durchzuführen ist, um einen optimalen Prüfkörper herzustellen. Die Ergebnisse der ersten Langzeitversuche über 2500 Stunden wurden ausgewertet und lassen darauf schließen, wie sich Belastungen von mehreren Jahren auf den Anker auswirken.

# Abstract

A lot of different bonded anchors are used in the fastening industry today. This thesis deals with the investigation of a measurement method of bonded anchors and their load capacity. Various anchors were produced for different application ranges and the producers of new developed bonded anchors have done short time experiments. You can get the maximum load after the short time testing, but it is also necessary to do long time testing.

The aim of this project was to develop a reproducible method for long time testing of sand anchors. The above mentioned method was produced in a test block where the bond between concrete and threaded rod only consists of sand. Finally the testing device has to be reproducible and equal.

All of the collected informations regarding the uncertainties were merged and compared to each other and are described in this work. These outcomes explained how to fill and compact the sand in the drilled hole for testing anchors in a long time experiment. Furthermore the first results of the long time experiments, which are tested over 2500 hours, give information about the characteristics of an anchor after years with applied load.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Motivation und Zielsetzung der Arbeit</b>	<b>4</b>
<b>2. Grundlagen der Befestigungstechnik</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Anwendungsgebiete</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Untergrundmaterial</b>	<b>6</b>
<b>2.3 Entwicklung der nachträglichen Befestigung</b>	<b>6</b>
<b>2.4 Wirkprinzipien für Dübelssysteme zur nachträglichen Befestigung in Beton</b>	<b>6</b>
2.4.1 Reibschluss	7
2.4.2 Formschluss	7
2.4.3 Stoffschluss (Verbund)	8
<b>3. Verbundanker</b>	<b>9</b>
<b>3.1 Materialeigenschaften</b>	<b>9</b>
3.1.1 Beton	9
3.1.2 Stahl	10
3.1.3 Verbundmörtel	11
<b>3.2 Montage von Injektionsankern</b>	<b>12</b>
3.2.1 Art des Einbringens des Verbundmörtels in das Bohrloch	13
Injektion	13
Glaspatrone	13
<b>3.3 Versagensarten von Ankern</b>	<b>13</b>
3.3.1 Betonversagen	13
Ausbruch	13
Spalten	14
Betonkantenbruch	14
3.3.2 Stahlbruch	15
3.3.3 Herausziehen – Durchziehen	15
3.3.4 Verbundversagen	15
<b>3.4 Temperaturempfindlichkeit</b>	<b>16</b>
<b>3.5 Langzeitverhalten</b>	<b>16</b>
<b>4. Messmethode bei belasteten Dübeln</b>	<b>19</b>
<b>4.1 Numerische Berechnung</b>	<b>19</b>
<b>4.2 Vorläufige Ergebnisse</b>	<b>22</b>
<b>5. Experimentelle Untersuchungen</b>	<b>24</b>
<b>5.1 Werkstoffe</b>	<b>24</b>
5.1.1 Beton	24
5.1.2 Sand	24
5.1.3 Gewindestangen	25
<b>5.2 Tastversuche</b>	<b>25</b>
5.2.1 Versuchsaufbau	26
5.2.2 Untersuchte Parameter	29
<b>5.3 Rütteln</b>	<b>29</b>
5.3.1 Versuchsdurchführung	30
5.3.2 Versuchsergebnisse	31
<b>5.4 Stopfen</b>	<b>32</b>
5.4.1 Versuchsdurchführung	32
5.4.2 Versuchsergebnisse	33
<b>5.5 Variation des Bohreckmaßes <math>d_{cut}</math></b>	<b>34</b>
5.5.1 Versuchsdurchführung	35
5.5.2 Versuchsergebnisse	35
<b>5.6 Variation der Feuchtigkeit</b>	<b>36</b>

---

5.6.1	Versuchsdurchführung	36
5.6.2	Versuchsergebnisse	36
<b>5.7</b>	<b>Variation der Einbindetiefe <math>l_f</math></b>	<b>38</b>
5.7.1	Versuchsdurchführung	38
5.7.2	Versuchsergebnisse	38
<b>5.8</b>	<b>Variation der Stärke der eingebauten Lagen</b>	<b>38</b>
5.8.1	Versuchsdurchführung	38
5.8.2	Versuchsergebnisse	39
<b>5.9</b>	<b>Einbau in exakten Lagenstärken</b>	<b>40</b>
5.9.1	Versuchsdurchführung	40
5.9.2	Versuchsergebnisse	40
<b>5.10</b>	<b>Einbau in exakten Lagenstärken ohne vorheriger Reinigung des Bohrloches</b>	<b>42</b>
5.10.1	Versuchsdurchführung	42
5.10.2	Versuchsergebnisse	42
<b>5.11</b>	<b>Versuch mit Innengewinde als Interface an der Außenseite</b>	<b>43</b>
5.11.1	Versuchsdurchführung	43
5.11.2	Versuchsergebnisse	44
<b>5.12</b>	<b>Versuch mit einer Vorspannung der Sandsäule</b>	<b>46</b>
5.12.1	Versuchsdurchführung	46
5.12.2	Versuchsergebnisse	47
<b>5.13</b>	<b>Gegenüberstellung der Parameter</b>	<b>48</b>
<b>5.14</b>	<b>Dauerstandsversuch</b>	<b>49</b>
5.14.1	Versuchsaufbau	50
5.14.2	Versuchsergebnisse	51
<b>6.</b>	<b><i>Ausblick</i></b>	<b>54</b>
<b>7.</b>	<b><i>Zusammenfassung</i></b>	<b>55</b>
<b>8.</b>	<b><i>Abkürzungen</i></b>	<b>58</b>
8.1	<b>Variablen</b>	58
8.2	<b>Buchstaben als Index</b>	59
<b>9.</b>	<b><i>Literatur</i></b>	<b>60</b>
<b>10.</b>	<b><i>Abbildungsverzeichnis</i></b>	<b>62</b>
<b>11.</b>	<b><i>Lebenslauf</i></b>	<b>64</b>
<b>12.</b>	<b><i>Anhang</i></b>	<b>65</b>
12.1	<b>Bezeichnungen</b>	65
12.2	<b>Versuchsprotokolle</b>	65

---

# 1. Einleitung

Seitdem der Mensch das Bedürfnis hat Bauwerke zu errichten, ist er mit der Aufgabe konfrontiert Baustoffe gleicher oder verschiedener Materialien miteinander zu verbinden. Beginnend mit Lederbändern noch in der Steinzeit, über Versätze und Dübel im Holzbau, Mörtel im Mauerwerksbau, bis hin zu hochfesten Verbundmörtelsystemen im modernen Betonbau sind immer Lösungen gefunden worden.

Zahlreiche Firmen weltweit beschäftigen sich mit der modernen Befestigungstechnik. Sie alle sind bestrebt Befestigungssysteme zu entwickeln, welche einfacher aber vor allem schneller zu montieren sind und an welchen höhere Lasten aufgenommen werden können. Es wird natürlich immer versucht, dass das Preis-Leistungsverhältnis stimmt, um einerseits die Wirtschaftlichkeit des eigenen Unternehmens zu steigern und andererseits Marktanteile zu gewinnen.

Die von den Firmen neu entwickelten Verbundmörtel verändern sich laufend. Sowohl die Zusammensetzung, als auch die Menge ihrer Inhaltsstoffe werden variiert. Das Kurzzeitverhalten und die maximal aufzubringenden Kräfte können mittels Ausziehversuchen sofort ermittelt werden, das Langzeitverhalten hingegen kann nicht genau vorhergesagt werden. Diese Langzeitversuche sind erforderlich und werden auch ständig von Firmen durchgeführt. Die Versuche geben Auskunft über die Eigenschaften des Verbundmörtels und wie dieser sich im Laufe der Zeit verändert. Es wird hierbei auf die Verbundanker eine ständige Zuglast aufgebracht und die Verformung des Ankers wird in einem Weg-Zeit Diagramm dokumentiert.

Weltweit werden in den verschiedenen Laboren zahlreiche Versuche weitergeführt, obwohl der ursprünglich verwendete Verbundmörtel nicht mehr am Markt erhältlich ist. Aus den Daten, welche bei diesen Versuchen dennoch gewonnen werden, können aber nur ungenaue Langzeitprognosen für die neu entwickelten Verbundmörtel getätigt werden. Durch Sicherheitsfaktoren, die bei der Berechnung von Maximalkräften angewendet werden, kann auftretendes Materialaltern in der Bemessung berücksichtigt werden.

In der Öffentlichkeit wird der Prozess der Entwicklung, der Versuchsdurchführung und Normung neuer Verbundsysteme nicht weiter beachtet. Erst ab dem Zeitpunkt der Markteinführung werden neue Produkte der Allgemeinheit vorgestellt. Auf das Problem Langzeitverhalten ist die Öffentlichkeit aufmerksam geworden, als im Jahre 2006 ein folgenschweres Ereignis geschah: Ein Mensch wurde getötet, als sich tonnenschwere Deckenelemente im Boston Tunnel lösten und auf ein vorbeifahrendes Auto stürzten. Verschiedene Faktoren verursachten diesen Unfall, doch Materialversagen ist nicht aufgetreten. Hauptgrund war die Verwendung eines Verbundmörtels, der nicht für die Überkopferankerung zugelassen war, sowie fehlende Kontrollen über einen langen Zeitraum. Bei korrekter Verwendung und der Anwendung aller Sicherheitsfaktoren, ist die Anwendung von Verbundmörtel sicher. (National Transportation Safety Board [18])



Abbildung 1: Herabgestürzte Deckenelemente, (National Transportation Safety Board [18])



Abbildung 2: Langzeitverformung der Deckenbefestigung, (National Transportation Safety Board [18])

## 1.1 Motivation und Zielsetzung der Arbeit

Am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau an der Universität für Bodenkultur in Wien hat man sich zum Ziel gesetzt, Langzeitversuche von Verbundmörteln durchzuführen. Mehrere Versuchsreihen mit unterschiedlichen Belastungsstufen sollten gleichzeitig und über einen längeren Zeitraum unterhalten werden. Gleichzeitig sollte eine Versuchsreihe betrieben werden, in welcher reiner Quarzsand den Verbund zwischen Gewindestange und Bohrlochwand herstellt. Die Entwicklung einer Methode zur Herstellung einheitlicher Prüfkörper, ist die Aufgabe dieser Arbeit. Eine weitere Arbeit befasst sich mit der Entwicklung eines Kraftsystems, um konstante Lasten bis 50 kN aufbringen zu können. Eine dritte Arbeit

beinhaltet eine Recherche über Sensorik und welche Sensoren verwendet werden können, um über einen langen Zeitraum sowohl digitale, als auch analoge Ergebnisse zu erhalten. (Mertain[15])

Ein erheblicher Bestandteil der gängigsten Verbundmörtel ist Quarzsand und Epoxydharz. Das Langzeitverhalten von Epoxydharz ist nicht ausreichend bekannt, die Festigkeit nimmt aber im Laufe der Jahre ab. Die Festigkeit von Quarzsand jedoch kann als konstant bezeichnet werden. Ziel der Versuche ist es, das Langzeitverhalten von Sand in einem Bohrloch bei konstanter Belastung festzustellen. Es wird davon ausgegangen, dass sich über die Sandkörner Druckstreben aufbauen. Diese leiten die, auf die Ankerstange aufgebrachte Kraft, an die Bohrlochwand weiterleiten. Hierbei werden die Ecken und Kanten der Quarzkörner am meisten beansprucht. Es besteht die Möglichkeit, dass die Ecken abplatzen und dies Auswirkungen auf die Langzeitfestigkeit des Quarzsandes hat. Dieses Langzeitverhalten von Quarzsand ohne Epoxydharz wird in den kommenden Versuchen erforscht.

Je kompakter und besser verdichtet der Sand im Ringspalt ist, umso mehr Druckstreben können sich im Sand zwischen Ankerstange und Bohrlochwand aufbauen (Abbildung 3). Auch die Stabilität der Druckstrebe wird durch den umliegenden Sand erhöht, was bedeutet, dass diese erst bei höherer Belastung ausknickt. (Mihala[16])

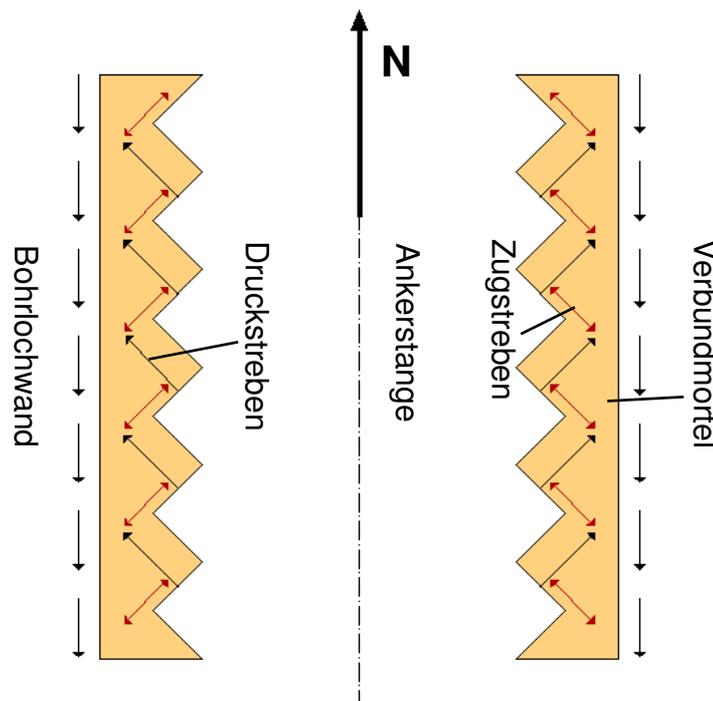


Abbildung 3: Theoretischer Druckstrebenaufbau zwischen Gewindestange und Bohrlochwand; (Mihala [16])

Weiters ist anzumerken, dass die Versuchsdurchführung in verschiedenen Ländern sehr unterschiedlich durchgeführt wird. In Japan beispielsweise, wird für die Qualitätskontrolle von Ankersystemen ein Schubversuch des verwendeten Verbundmörtels verwendet. Dabei werden mit dem Verbundmörtel zwei Flächen zusammengeklebt und danach auf Schub belastet. Aus den Ergebnissen dieses Versuches wird dann die Qualität des Verbundmörtels abgeleitet. Wird ein Schubversuch mit Sand durchgeführt, ist die erzielte Schubspannung gleich null, da sich keine Druckstreben ausbilden. Daraus ist zu erkennen, dass mittels Schubversuchen keineswegs Qualitätskontrollen von Verbundmörteln durchgeführt werden können.

## **2. Grundlagen der Befestigungstechnik**

### **2.1 Anwendungsgebiete**

Seit Beginn des Bauens besteht die Aufgabe, Bauteile miteinander und untereinander zu verbinden. Nahezu jedes Bauteil, kann nachträglich mittels Anker oder Dübel am Boden, an der Wand oder an der Decke befestigt werden. Je nach Art des Baustoffes werden die Probleme unterschiedlich gelöst. (Mallee[13])

### **2.2 Untergrundmaterial**

Es gibt zahlreiche Baumaterialien, auf welchen Dübel zur Befestigung benötigt werden. Beton, Mauerwerk und Naturstein verlangen unterschiedliche Befestigungstechniken. Die Eigenschaft des Untergrundes, aber auch die zu übertragenden Kräfte bestimmt die Auswahl des geeigneten Befestigungsmittels. (Hilti[8])

### **2.3 Entwicklung der nachträglichen Befestigung**

Es gibt zwei grundlegende Techniken Befestigungen in Beton und Stahlbeton durchzuführen. Bei der Befestigung mittels Einlegeteilen muss schon im Vorhinein bekannt sein, wo die Verankerungspunkte anzubringen sind. Bei diesem System wurde bis zum Anfang der 60er Jahre ausschließlich die Einlegetechnik ausgeführt. Eine Weiterentwicklung dieser Technik war das Einbetonieren von rückverankerten Hülsen mit Innengewinde. Heute kommen Einlegeteile nur noch in Form von Ankerschienen und Ankerplatten mit angeschweißten Kopfbolzen zum Einsatz. Rückverankerte Hülsen werden noch zum transportieren von Fertigteilen verwendet. Als zweite Technik ist die Verwendung von Dübeln zur nachträglichen Befestigung anzusehen. Die Entwicklung von Leistungsfähigen Bohrverfahren hat diese Methode erst zum Durchbruch verholfen. Mit Dübeln ist es möglich, Bauteile nachträglich miteinander zu verbinden, ohne genaue Abmessungen vorher gekannt zu haben. (Mallee[13])

### **2.4 Wirkprinzipien für Dübelssysteme zur nachträglichen Befestigung in Beton**

Es gibt drei Wirkprinzipien, welche im Baustoff Beton zum Tragen kommen. Es sind dies Reib-, Form- und Stoffschluss.

## 2.4.1 Reibschluss

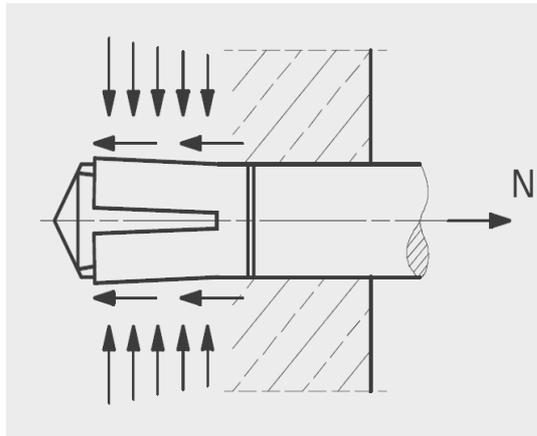


Abbildung 4: Wirkprinzip von Spreizdübeln, (Fischer[4])

Die Zugbelastung  $N$  wird durch Reibung auf die Umgebung übertragen. Bei der Montage von Spreizdübeln wird eine Spreizhülse gegen einen Konus gepresst. Dies erzeugt eine Spreizkraft auf die Bohrlochwand, welche ihrerseits wiederum die erforderlichen Reibungskräfte hervorruft. Die Spreizhülse kann entweder durch aufbringen eines definierten Drehmomentes auf den Konus (kraftkontrolliert), oder durch Eintreiben auf den Konus (wegkontrolliert) gespreizt werden.

## 2.4.2 Formschluss

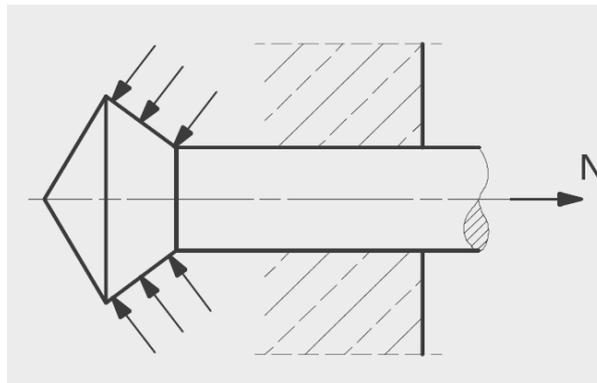


Abbildung 5: Wirkprinzip von Hinterschnittdübeln, (Fischer[4])

Formschluss ist das Wirkprinzip von Hinterschnittdübeln. Mit einem speziell für einen Dübel abgestimmten Bohrer wird das Bohrloch in der Tiefe erweitert. Der Dübel füllt diese Erweiterung formschlüssig aus und überträgt die aufgebrachte Zugbelastung durch Verzahnung mit dem Untergrund.

### 2.4.3 Stoffschluss (Verbund)

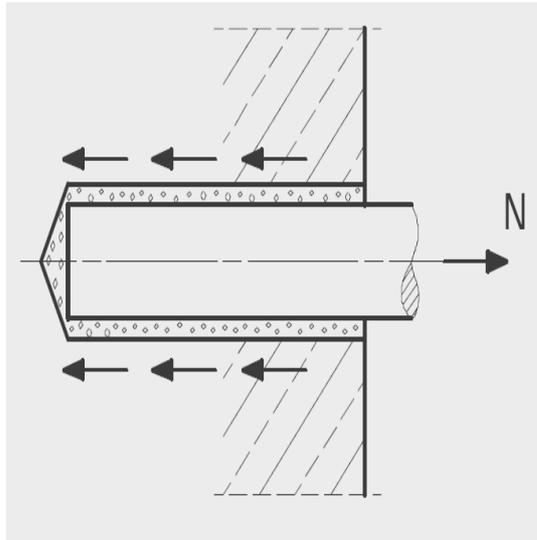


Abbildung 6: Wirkprinzip von Reaktionsankern, (Fischer[4])

Der Ringspalt zwischen Bohrerwand und Ankerstange wird durch einen Kunstharzmörtel verfüllt. Somit wird ein Verbund hergestellt, der die auftretenden Kräfte von der Ankerstange in den Ankergrund weiterleitet. Ein wesentlicher Vorteil dieser Verankerung ist, dass keine Spreizkräfte auftreten und die Dübel daher näher am Bauteilrand positioniert werden können.

## **3. Verbundanker**

### **3.1 Materialeigenschaften**

Hier werden die einzelnen Materialien beschrieben, welche bei einem Einsatz eines Verbundankers Verwendung finden und auf das Tragverhalten des Ankers Auswirkungen haben können.

#### **3.1.1 Beton**

Beton wird aus Zement, Gesteinskörnung (Betonzuschlag), Wasser und meist noch Betonzusatzmitteln (z.B. Fließmittel, Luftporenbildner, Verzögerer, Beschleuniger,...) hergestellt. Das Gemisch aus Wasser und Zement bewirkt beim Frischbeton die Verarbeitbarkeit und den Zusammenhalt. Beim erhärteten Beton sichert es die Verkittung der Zuschlagskörner und somit das Zustandekommen der Festigkeit und der Dichtigkeit des Betons.

Der im Beton verwendete Zement geht vom Zementleim beim Frischbeton in Zementstein beim erhärteten Beton über. Wesentliche Einflussgrößen für die Eigenschaft des Betons sind die Eigenschaften des Zementsteins und der Gesteinskörnung, sowie die Haftung zwischen Zementstein und der Gesteinskörnung.

Beim Erhärten des Betons erfährt dieser eine Volumenreduktion, welche als schrumpfen bezeichnet wird. Das im Frischbeton enthaltene Wasser wird dabei als Kristallwasser gebunden. Diesen Vorgang in der Betonaushärtung nennt man abbinden. Hierbei handelt es sich um eine Chemisch-mineralogische Reaktion des Zementes mit dem Wasser. Weiters verformt sich Beton unter ständiger Last über einen langen Zeitraum, was als kriechen bezeichnet wird.

Das Erhärten des Betons erfolgt über mehrere Monate. Nach DIN EN 196 Teil 1 wird bei Beton aber bereits nach 28 Tagen die Regelfestigkeit erreicht. Der gereifte Beton hält sehr hohe Drücke aus (40MN/m<sup>2</sup> und mehr). Bei zehn Prozent der möglichen Druckbelastung wird bei einer Zugbeanspruchung bereits die Belastungsgrenze erreicht. Sowohl im Hochbau als auch im Tiefbau ist Beton der meistverwendete Baustoff. Um die geringe Zugfestigkeit des reinen Betons auszugleichen, wird er in Zusammenhang mit Baustahl als Stahlbeton bzw. mit Spannstahl als Spannbeton verwendet. Bei dem entstehenden Verbundwerkstoff übernimmt der Beton die Druckkräfte und der Stahl die Zugkräfte.

In nationalen und internationalen Vorschriften ist es üblich, Beton nach seiner Druckfestigkeit zu klassifizieren. Die Festigkeitsklasse ist sogleich einer der Ausgangswerte für den statischen Nachweis einer Betonkonstruktion und werden nach DIN EN 206-1 angegeben. Die Festigkeitswerte beziehen sich nach DIN EN 12390-2 auf die Prüfung im Alter von 28 Tagen, und einer Lagerung im Feuchtraum oder unter Wasser. Die Kurzbezeichnung der Festigkeitsklasse gibt mit der ersten Zahl die charakteristische Druckfestigkeit in N/mm<sup>2</sup>an,

gemessen am Zylinder mit einem Durchmesser von 150 mm und einer Länge von 300 mm. Die zweite Zahl gibt die Druckfestigkeit, gemessen an einem Würfel mit einer Kantenlänge von 150 mm an. Ein C20/25 hat somit eine Zylinderdruckfestigkeit von 20 N/mm<sup>2</sup> und eine Würfeldruckfestigkeit von 25 N/mm<sup>2</sup>. Das „C“ steht für engl. concrete (Beton) und gilt für Normalbeton und Schwerbeton. Ein „LC“ in der Nomenklatur steht für Leichtbeton.

Die Bandbreite der Festigkeitsklassen geht von C8/10 bis C100/115 und von LC8/9 bis LC80/88. (Bergmeister [1])

### 3.1.2 Stahl

Stahl ist eine Eisen Kohlenstoff-Legierung, mit einem Kohlenstoffgehalt von weniger als 2,06% (Masse). Übersteigt der Kohlenstoffgehalt 2,06%, so wird das Eisen zu Gusseisen verarbeitet. Eisen ohne die Zugabe von Legierungen werden als unlegierte Stähle bezeichnet. Bei legierten Stählen werden die spezifischen Eigenschaften des Stahls je nach Anforderung gesteuert. Es kann so zum Beispiel auf die Zähigkeit, die Härte oder das Korrosionsverhalten des Stahls Einfluss genommen werden. Als Zusätze können unter anderem Silizium, Chrom, Molybdän oder Kupfer verwendet werden.

Der Stoffzusammenhalt bei Eisen und Stahl beruht auf der metallischen Bindung. Die freien Elektronen der äußeren Schale werden von den Atomen abgegeben. Diese Elektronen werden als Elektronengas bezeichnet und können sich in den Zwischenräumen des kristallinen Gitters frei bewegen. Das dadurch entstehende dicht gepackte Raumgitter ist die Ursache für die hohe Festigkeit von Stahl.

Bei der Legierung werden Fremdatome in das Raumgitter eingebracht, was dessen Struktur und somit eine oder mehrere Eigenschaften des Stahls ändert. So bewirkt beispielsweise das Legieren von Stahl mit Chrom oder Nickel, das dieser beständiger gegen Korrosion wird. Erhöhter Anteil von Kohlenstoff hingegen behindert ein freies Gleiten und der Stahl wird spröde (Stahlguss).

Die Eigenschaften des Stahls können aber auch durch verschiedene mechanische Vorgehensweisen verändert werden. Feinkörniges Gefüge mit hoher Festigkeit erhält man durch rasches Abkühlen, langsames Abkühlen hingegen führt zu spröden aber harten Stahl. Durch Glühen des Stahls kommt es zu einer Umkristallisation, welche innere Spannungen abbaut. Schnelles Abkühlen (Abschrecken) des Werkstoffes verändert wiederum das Gefüge. Der Stahl wird spröde, allerdings vergrößert sich die Härte um bis zum Dreifachen. Durch Kneten des Stahls werden die Kristalle von einer rundlichen in eine längliche Form gebracht. Dies geschieht etwa beim Walzen des Stahls. Die Hohlräume im Gefüge werden geschlossen und die Festigkeit in Walzrichtung erhöht.

Eine besondere Eigenschaft des Stahls ist seine Fähigkeit zum Gleiten. Dies bedeutet dass eine Verschiebung der Atome keine Abschwächung der Bindung zur Folge hat. Je höherfester Stahl ist umso geringer ist seine Zähigkeit. Je nach Anforderung an das Stahlerzeugnis werden sie daher hochfest (Automatenstahl) oder duktil (Baustahl) bereitgestellt.

In Abbildung 7 ist das Spannungs-Dehnungs-Diagramm von Baustahl dargestellt. Der Stahl wird bis zur Proportionalitätsgrenze P elastisch verformt. Dieser Bereich ist linear und nennt sich Hook'scher Bereich. Weiter bis zur Elastizitätsgrenze E herrscht kein linearer Zusammenhang zwischen  $\sigma$  und  $\epsilon$ . Das Verhalten des Stahls ist hier aber trotzdem elastisch. Ab der Streckgrenze S bis zur Fließgrenze F fließt der Werkstoff. Ab dem Punkt F bis zur Bruchgrenze B verfestigt sich der Werkstoff wieder und es können höhere Spannungen

aufgenommen werden. Dieser Bereich ist von großen Verformungen geprägt. Die maximal aufnehmbare Spannung wird an der Bruchgrenze erreicht. Der Werkstoff beginnt sich einzuschnüren und verringert somit die Querschnittsfläche. An der Zerreißgrenze Z wird die Einschnürung so stark, dass der Werkstoff zerreißt. (Moro [16])

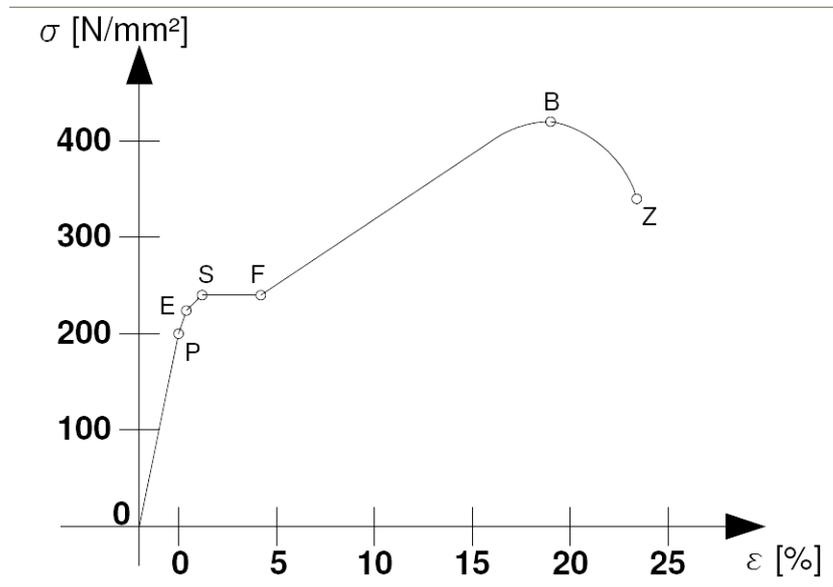


Abbildung 7: Spannungs-Dehnungs-Diagramm Baustahl, (Moro [16])

Die Zugfestigkeit und die Druckfestigkeit des Stahles sind annähernd gleich. Bei dem Baustahl S235 beträgt sie  $360 \text{ N/mm}^2$ . Darüber hinaus hat Stahl eine Steifigkeit (E-Modul) von  $210000 \text{ N/mm}^2$  und eine Rohdichte von  $7800 \text{ kg/m}^3$ .

Für Teile mit geringen Anforderungen werden Baustähle verwendet. Diese haben mäßige Eigenschaften, welche aber für viele Anwendungen ausreichen und einen günstigen Preis haben. Um den Stahl vor Umwelteinflüssen zu schützen muss die Oberfläche mit einer dünnen Zinkschicht überzogen werden. Die meisten Stahlteile, insbesondere Kleinteile werden in einer wässrigen Salzlösung elektrolytisch beschichtet. Das zu verzinkende Stahlteil wird als Kathode geschaltet in die Lösung getaucht. Bei  $0,5\text{-}2,5 \text{ A/m}^2$  Gleichstrom scheidet sich eine feinkristalline Zinkschicht auf der Oberfläche ab.

Es besteht auch die Möglichkeit bereits in die Stahlschmelze Legierungsmetalle beizufügen. Die Atome der Legierung nehmen feste Plätze im Kristallisationsgitter ein, von denen Eisenatome verdrängt wurden. Diese Legierungen verändern die Eigenschaften der Stähle nachhaltig. Je nach erforderlicher Stahleigenschaft können verschiedene Legierungen hinzugefügt werden. Um einen nicht rostenden Stahl (NIROSTA) zu erhalten, muss der Stahl einen Anteil von mindestens 12% Chrom aufweisen. (Huber [10])

### 3.1.3 Verbundmörtel

Ein Verbundmörtel kann aus verschiedenen Komponenten bestehen. Die häufigsten Inhaltsstoffe sind Vinylesterharz, Polymere, Quarzsand und ein Härter. Die Anteile der einzelnen Komponenten können je nach Anforderung an den Mörtel variiert werden und verändern die Eigenschaften des Mörtels. Bezüglich der Zusammensetzung und der daraus resultierenden Eigenschaften von Verbundmörteln gibt es sehr wenige Veröffentlichungen.

Firmen geben ihre Erkenntnisse nicht Preis und das ist auch ein Grund weswegen Versuche an der Universität für Bodenkultur durchgeführt werden sollen.

Das Tragmechanismus eines Verbundmörtels setzt sich zusammen aus einem mechanischen und einem chemischen Anteil. Durch die Ausnutzung der Unebenheiten in der Bohrlochwand entsteht der mechanische Anteil. Bei Beanspruchung entsteht eine Reibungskraft. Durch Vertiefungen in der rauen Bohrlochwand kann der chemische Anteil des Mörtels in so genannte Mikrohinterschnitte eintreten. Nach Erhärten des Mörtels kann er so Lasten aufnehmen und in den Untergrund weiterleiten. Die Klebewirkung des angewendeten Mörtels beeinflusst die chemische Verbindung. Die Größe und der Anteil der mechanischen und chemischen Lastabtragungen hängen von der Zusammensetzung des Verbundmörtels ab. (Fuchs [7])

Ein wesentlicher Faktor bei der Verwendung eines Verbundmörtels ist die Aushärtezeit. Diese gibt an nach welcher Zeit ein gesetzter Anker belastet werden kann. Ausschlaggebend dafür ist die Temperatur des Ankergrundes und ob dieser trocken oder feucht ist (siehe Abbildung 16). Bei der Montage müssen die vom Hersteller angegebenen Zeitangaben für den jeweiligen Mörtel herangezogen werden. Ein wesentlicher Vorteil des Verbundmörtels ist die spreizdruckfreie Befestigung des Ankers. Dies ermöglicht geringe Rand- und Achsabstände.

### 3.2 Montage von Injektionsankern

Der Montagevorgang eines Injektionsankers ist in Abbildung 8 dargestellt. Beim Injektionsanker ist es sehr wichtig das Bohrloch gründlich zu reinigen, damit der Stoffschluss an der gesamten Bohrlochwand wirksam wird. Nach dem Reinigen des Bohrloches erfolgt das Einbringen des Injektionsmörtels. Der Anker muss zentrisch in das Bohrloch gesetzt werden. Wenn nach dem Setzen Injektionsmörtel an der Oberfläche austritt, ist das die Kontrolle, ob genügend Kleber in das Bohrloch eingebracht wurde. Nach der vom Hersteller angegebenen Aushärtezeit, (diese ist Abhängig von der Umgebungstemperatur und vom jeweiligen Kleber, siehe Abbildung 16) kann das zu befestigende Bauteil angebracht werden.

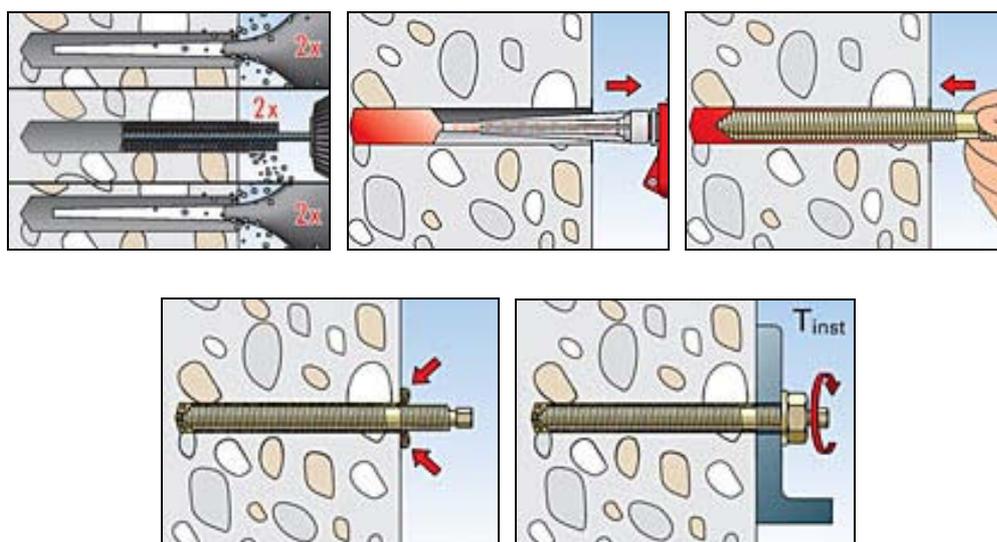


Abbildung 8: Montage von Verbundankern, (Fischer[4])

### 3.2.1 Art des Einbringens des Verbundmörtels in das Bohrloch

#### Injektion

Dieses System besteht aus zwei Patronen (siehe Abbildung 9), wobei sich der Härter in einer Patrone und die restlichen Bestandteile des Mörtels in der zweiten Patrone befinden. Nach dem Bohren und Reinigen des Bohrloches wird der Mörtel aus der Patrone in das Bohrloch gepresst. Dabei vermischt sich der Härter mit den restlichen Bestandteilen und der Härteprozess beginnt.



Abbildung 9: Handelsüblicher Verbundmörtel, (Hilti[8])

#### Glaspatrone

Der Mörtel befindet sich in einer Glaspatrone (siehe Abbildung 10). Nach dem Bohren und Reinigen des Bohrloches wird die Glaspatrone in das Bohrloch gebracht. Die Ankerstange wird mittels Bohrhammer in das Bohrloch eingedreht. Bei diesem Vorgang zerbricht die Glaspatrone und somit können sich das Harz und der Quarzsand mit dem Härter vermischen.

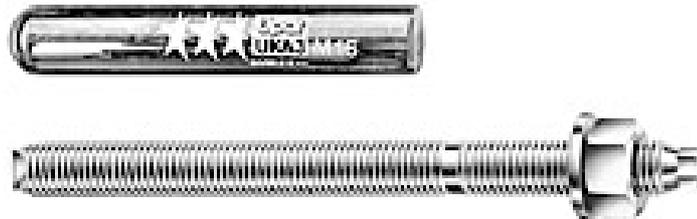


Abbildung 10: Verbundsystem mit Glaspatrone, (Fischer[5])

## 3.3 Versagensarten von Ankern

### 3.3.1 Betonversagen

#### Ausbruch

Der Ankergrund bricht aufgrund zu hoher Zugkraft  $N$  oder Querkraft  $V$ , zu geringer Festigkeit des Ankergrundes oder durch zu geringe Setztiefe (Abbildung 11).

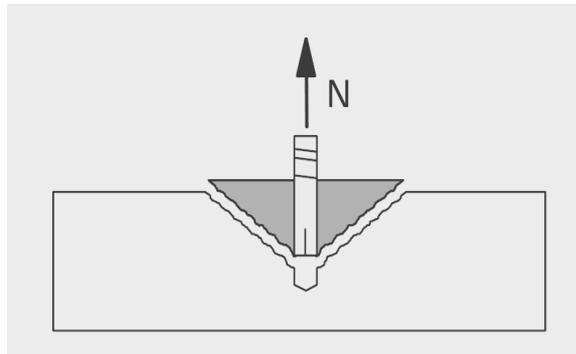


Abbildung 11: Betonausbruch bei einem Einzelanker, (Fischer[4])

## Spalten

Durch zu geringe Bauteilabmessungen erfolgt das Spalten des Bauteils (Abbildung 12). Auch können Abweichungen von vorgegebenen Rand- und Achsabständen, sowie zu hoher Spreizdruck das Spalten auslösen.

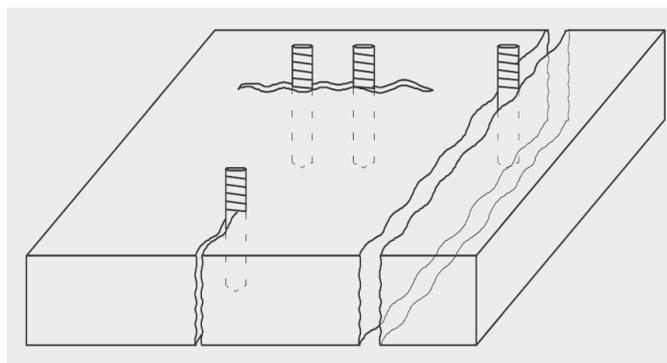


Abbildung 12: Versagen durch Spalten, (Fischer[4])

## Betonkantenbruch

Betonkantenbruch tritt bei zu hoher Querbelastung  $V$  in Richtung des Bauteilrandes, sowie bei zu geringem Randabstand auf (Abbildung 13).

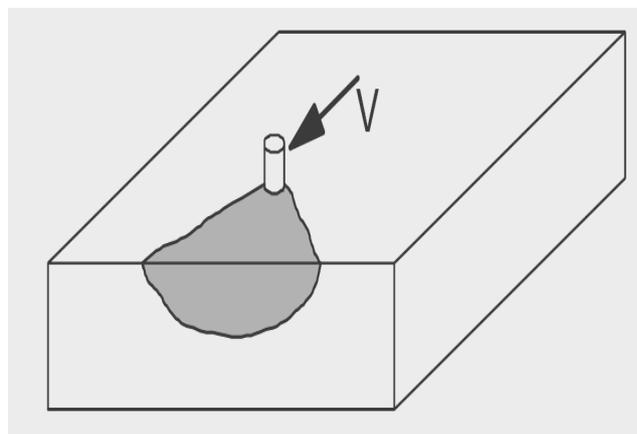


Abbildung 13: Betonkantenbruch, (Fischer[4])

### 3.3.2 Stahlbruch

Für die aufgebrachte Last wird eine zu geringe Stahlfestigkeit oder zu geringer Dübeldurchmesser verwendet. Wenn Reib-, Form- und Stoffschluss die Kraft aufnehmen können, kommt es zum Stahlversagen und der Beton wird dabei nicht beschädigt (Abbildung 14).

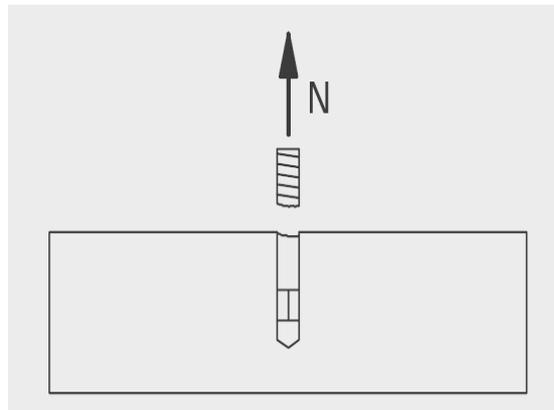


Abbildung 14: Stahl Materialversagen, (Fischer[4])

### 3.3.3 Herausziehen – Durchziehen

Herausziehen des Dübels erfolgt entweder durch Versagen des Reibschlusses (Abbildung 15 a<sub>1</sub>), oder durch Durchziehen durch die Sprezhülse (Abbildung 15 a<sub>2</sub>). Beide Versagensarten werden durch zu hohe Last oder durch unsachgemäße Montage hervorgerufen. Bei diesem Versagensmuster wird der Beton nicht beschädigt.

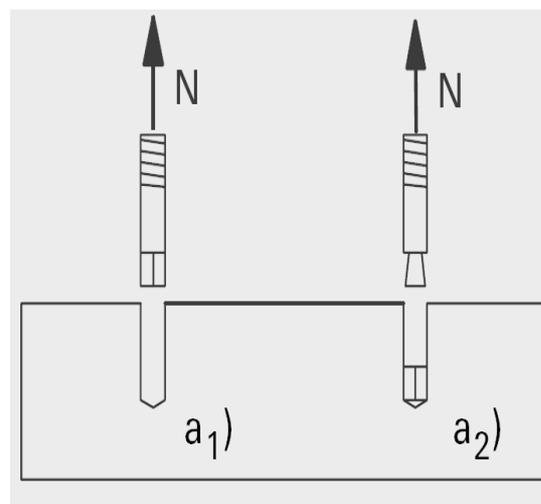


Abbildung 15: a<sub>1</sub>)Versagen durch Herausziehen; a<sub>2</sub>)Versagen durch Durchziehen,(Fischer[4])

### 3.3.4 Verbundversagen

Das Verbundversagen ist ähnlich wie das Versagen durch herausziehen (Abbildung 15 a<sub>1</sub>). Der Verbund zwischen Bohrlochwand und Injektionsmörtel wird durch Adhäsionskräfte aufgebaut,

welche bei zu hoher Last den erforderlichen Beanspruchungen nicht mehr genügen. Zum Versagen kann es auch kommen, wenn das Bohrloch ungenügend gereinigt wird und sich somit die Adhäsionskräfte nicht genügend aufbauen können.

### 3.4 Temperaturempfindlichkeit

Jeder einzelne Injektionsmörtel hat einen Temperaturbereich für welchen er konstruiert wird. Dieser Bereich wird vom Hersteller angegeben und ist vom Anwender einzuhalten. Wird ein Dübel außerhalb seines zugelassenen Temperaturbereiches verwendet kann es zu Materialversagen kommen.

Temperatur im Ankergrund	trockener Beton	feuchter Beton
-5°C	4h	8h
+10°C	45min.	90min.
+20°C	20min.	40min.
>+20°C	10min.	20min

Abbildung 16: Aushärtezeit für Fischer Reaktionsanker in trockenem bzw. feuchtem Beton (Eurobond), (Fischer[4])

### 3.5 Langzeitverhalten

Der Unfall im Bostontunnel hat dazu geführt, dass über das Langzeitverhalten von Verbundmörtel viele Studien und Versuche durchgeführt werden. Die Verwendung von Verbundmörtel ist grundsätzlich sicher. Sie unterliegen einer Zulassungsprüfung und wenn diese Vorschriftgemäß verwendet werden, geht die Wahrscheinlichkeit eines Versagensfalls gegen Null. Zu diesem Unglück haben mehrere Faktoren beigetragen. Als wohl schwerwiegendster Faktor ist anzuführen, dass dieser Mörtel nicht für den Überkopfeinsatz zugelassen war. Weiters ist zu erwähnen, dass vor dem Einbau des Mörtels das Bohrloch nicht gereinigt worden ist. Trotz dieser Fehler, die begangen worden sind, hätte bei routinemäßigen Bauwerksinspektionen das Versagen der Dübel schon vorher erkannt und das Versagen verhindert werden können.



Abbildung 17: Versagen der Aufhängung im Boston Tunnel, (National Transportation Safety Board [18])

Ist die Verschiebung  $s_{\infty}$  nach 50 Jahren kleiner oder gleich groß als die Verschiebung  $s_u$  unter Höchstlast im entsprechenden Kurzzeitversuch, so tritt unter Dauerlast kein Materialversagen ein. (Fuchs[7])

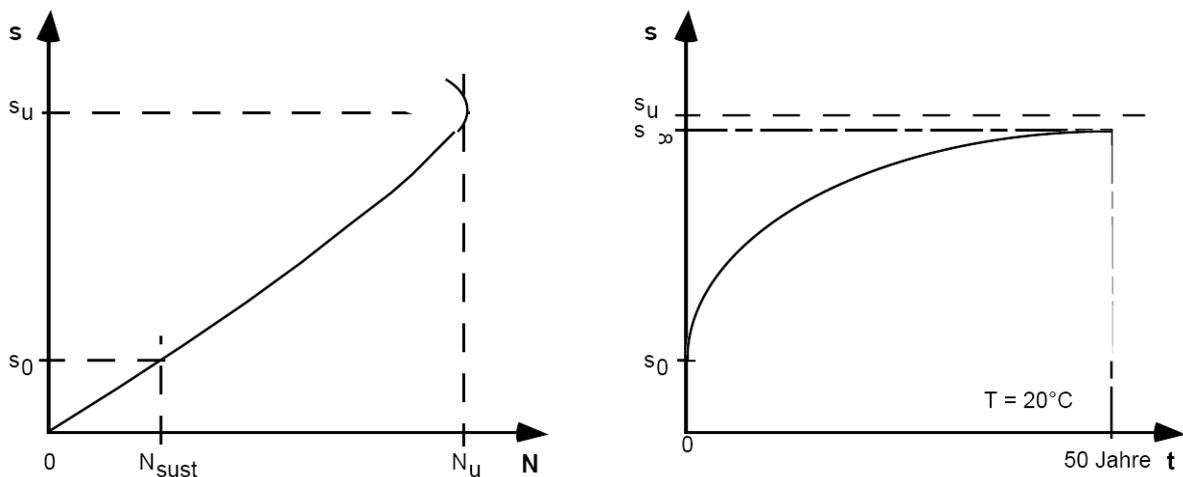


Abbildung 18: stetig ansteigende Last-Verschiebungskurve links Kurzzeitversuch; rechts: Dauerbelastung, (Fuchs[7])

Ergebnisse aus verschiedenen experimentellen Untersuchungen über das Langzeitverhalten von Verbunddübeln wurden in Eligehausen[2] zusammengefasst. Eine Zunahme der Dübelverschiebungen mit der Zeit wird darin beobachtet (Abbildung 19), wobei ein abflachen der Verschiebungskurven mit zunehmender Prüfdauer zu erkennen ist. Die Verbunddübel werden mit einer Dauerlast beansprucht, welche das 0,5-fache der Kurzzeitfestigkeit beträgt. Bei Temperaturen um  $23^{\circ}\text{C}$  wurde innerhalb von 1000 Stunden kein Versagen festgestellt. Meszaros[14]. Diese Versuche werden unter konstanten Bedingungen durchgeführt. Bei der Anwendung von Verbunddübel auf Basis von ungesättigten Polymeren nimmt bei Frost-Tau-Wechseln und ständig erhöhter Feuchtigkeit die Verschiebung zu. Die Verbundfestigkeit kann auf bis zu 50% der Kurzzeitfestigkeit sinken. Deutlich weniger empfindlich sind Verbundmörtel welche auf Basis von Epoxyacrylaten hergestellt werden.

Dies lässt erkennen, dass bei der Anwendung von Verbundmörteln besonders auf die Umwelteinflüsse geachtet werden muss.

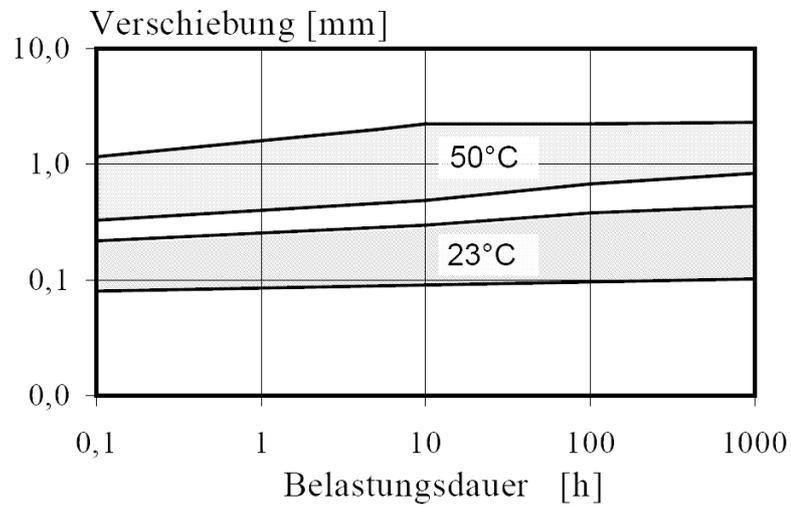


Abbildung 19: Verschiebungsverhalten von Verbunddübeln M10 - M24 (ungesättigter Polyester) bei zentrischer Zugbeanspruchung, (Lang[12])

## 4. Messmethode bei belasteten Dübeln

### 4.1 Numerische Berechnung

Für Berechnungen im Konstruktiven Ingenieurbau wird sowohl das Verfahren der Finiten Elemente Methode (FEM), als auch das Verfahren der Diskreten Elemente Methode (DEM) angewendet. Um eine grundlegende Vorstellung zu haben, welche Vorgänge im Ringspalt zwischen Anker und Bohrlochwand stattfinden, werden erste Untersuchungen mittels FEM durchgeführt. Das dabei verwendete Softwareprogramm ist ATENA 2D. Mit diesem System können die unterschiedlichsten Modelle im Bereich des konstruktiven Ingenieurbaus simuliert werden. Die verschiedensten Daten können als Ergebnis entweder in Text oder Bildformat ausgegeben werden. In Abbildung 20 und Abbildung 21 ist die Verschiebung in Z-Richtung zu sehen. Zu erkennen ist, dass die Verschiebung zur Bohrlochwand hin gegen Null geht und sich somit Spannungen im Verbundmörtel aufbauen.

Bei kreisrunden Modellen, wie es auch ein Bohrloch ist, besteht die Möglichkeit, die Simulation rotationssymmetrisch durchlaufen zu lassen. In diesem Fall wird mit einem zweidimensionalen Programm ein dreidimensionales Modell erstellt. Zu berücksichtigen ist, dass ein Punkt, im Abstand  $X$  von der Rotationsachse in der Berechnung einen Kreis ergibt. Gleiches gilt für eine Linie, welche nach der Rotation um die Achse eine ebene Fläche ergibt. Zu beachten ist, dass bei der durchgeführten Simulation die Parameter nur näherungsweise angenommen werden.

In diesen Annäherungsversuchen mit ATENA wurde für Stahl das Material „Axi Sym Elastic Isotropic“ mit einem E-Modul von  $2.1 \times 10^5$  Mpa verwendet. Als Berechnungselemente wurden Dreiecke mit einer Maschenweite von 1mm generiert. Für den Kleber wird das Material „3D Cementitious“ mit einem E-Modul von  $3.032 \times 10^4$  Mpa angenommen. Die Elemente in diesem Material sind auch Dreiecke, aber mit einer Maschenweite von 0.3mm. In diesen ersten Versuchen wird nur versucht, das Verhalten des Materials zwischen Beton und Gewindestange zu simulieren. Aus diesem Grund wurde das Interface zwischen Beton und Kleber als unverschieblich angenommen und der Beton als starrer Körper simuliert.

Um genauere Daten wie Spannungsverläufe, Verschiebungen, Rissbreitenentwicklungen und vieles mehr zu erhalten, muss das Betonmodell genauer generiert und nähere Parameterstudien vorgenommen werden. Diese Parameterstudien sind aber nicht Teil dieser Arbeit und werden daher nicht näher betrachtet.

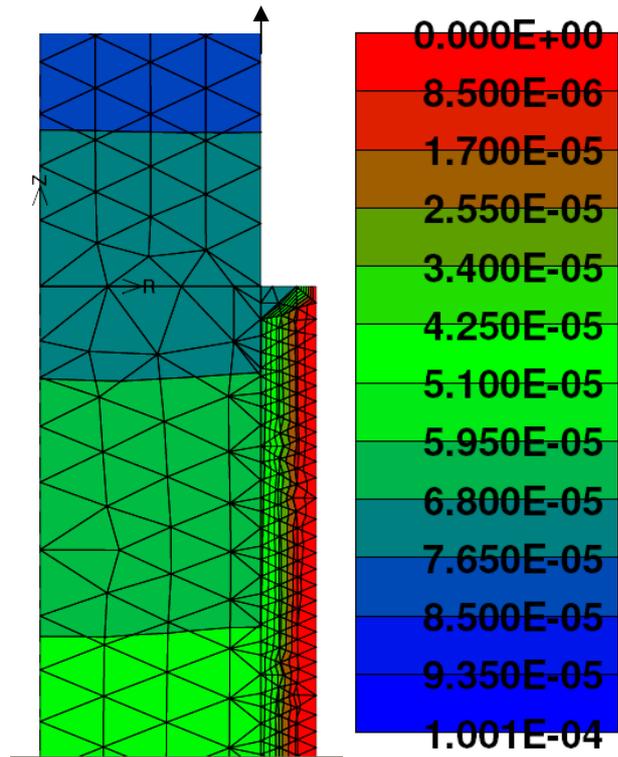


Abbildung 20: Verschiebung in Z-Richtung, FEM Methode

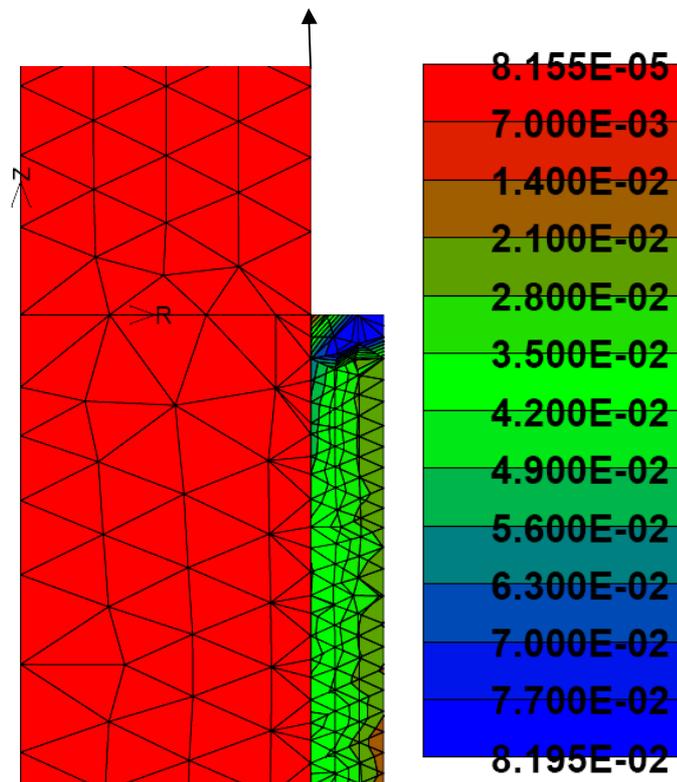


Abbildung 21: Hauptverzerrungen, FEM Methode

Zeitgleich mit der Durchführung der Sandversuche, welche in dieser Arbeit beschrieben sind, wird am Institut ein Simulationsmodell entwickelt. Dieses hat die Aufgabe verschiedene Verbundanker und Verbunddübel mit verschiedenen hohen Belastungskräften zu testen. Hier wird eine kurze Zusammenfassung über die Ergebnisse gegeben, welche in Mertain [15] nachzulesen sind. Da auch die Sandversuche simuliert werden wird von Mertain das Verfahren der FEM ausgeschlossen Die Sandkörner sind untereinander verschiebbar, die FEM ermöglicht aber nur die Simulation von Verformungen. Wenn ein Sandkorn beim herausziehen der Gewindestange sich auf seiner Bahn nach außen bewegt, generiert das System eine Ringkraft welche die Ergebnisse beeinflusst. Aus diesem Grund wird von Mertain die DEM gewählt. Dieses ermöglicht zusätzlich eine Rotation und eine Verschiebung der einzelnen Teilchen gegeneinander. Tritt eine äußere Kraft auf, so ergeben sich Verschiebungen der einzelnen Teilchen. Durch die Verschiebung der miteinander verspannten Kräfte können die einzelnen Kontaktkräfte bestimmt werden.

Durch ein Softwaremodell können Lösungsansätze von auftretenden Problemen simuliert werden. Auch die Erhebung von Daten ist möglich, welche im Labor nur schwer gewonnen werden können. Durch Veränderung einer oder mehrerer Parameter können Ergebnisse für verschiedene Werkstoffe gefunden werden. Das Modell ermöglicht es auch, die Vorgänge im inneren des Prüfkörpers anzusehen. Schwachstellen werden erkannt und Sensoren können im praktischen Versuch an jenen Stellen positioniert werden, wo die Auswertung erwünscht ist.

Die von Mertain verwendete Software bei diesem Versuch ist PFC2D von der Firma Itasca[11]. Dies ist eine Software für eine zwei-dimensionale Simulation. Die Partikel können als Kugel oder Scheiben in verschiedener Größe konfiguriert werden. Durch verschiedene Kontaktgesetze ist die Kombination zu komplexen Partikelformen möglich. Somit kann bindiger Boden, Beton, verschiedene Gesteine, Komposite u.v.m. simuliert werden.

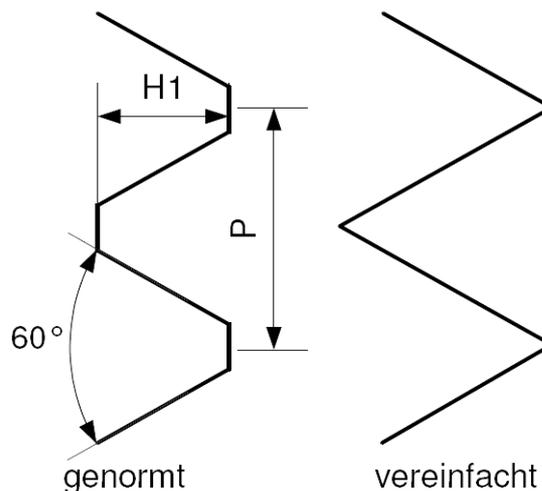


Abbildung 22: Gewindemodellierung, (Mertain[15])

Die Einarbeitung in dieses Softwareprogramm ist aber sehr aufwendig. Eine graphische Erstellung eines Modells ist nicht möglich. Durch textuelle Befehle werden die Begrenzungen, die Partikel und die einzelnen Parameter programmiert. Um die Programmierung zu beschleunigen werden bei diesem Versuch die Modellierungen teilweise vereinfacht (Bsp. Siehe Abbildung 22). Erst beim Durchlaufen der Simulation werden Fehler erkannt. Oftmals geht viel Rechenzeit verloren, bis ein Fehler korrigiert werden kann.

## 4.2 Vorläufige Ergebnisse

In Abbildung 23 wird der Anfangszustand und der Endzustand der Simulation, des durchgeführten Sandversuches, gezeigt. Die Ergebnisse dieses Versuches werden auf die Parameter des Sandversuches übertragen. In

Abbildung 24 ist zu erkennen, dass die Ergebnisse der Realversuche und der Simulation qualitativ zusammenpassen. Wie von Mertain beschrieben müssen noch Parameterstudien durchgeführt werden, um auch quantitativ richtige Ergebnisse zu erzielen.

Es muss aber sehr wohl betont werden, dass diese Simulation auch mittels FEM durchgeführt werden kann, aber von Mertain die DEM bevorzugt wurden.

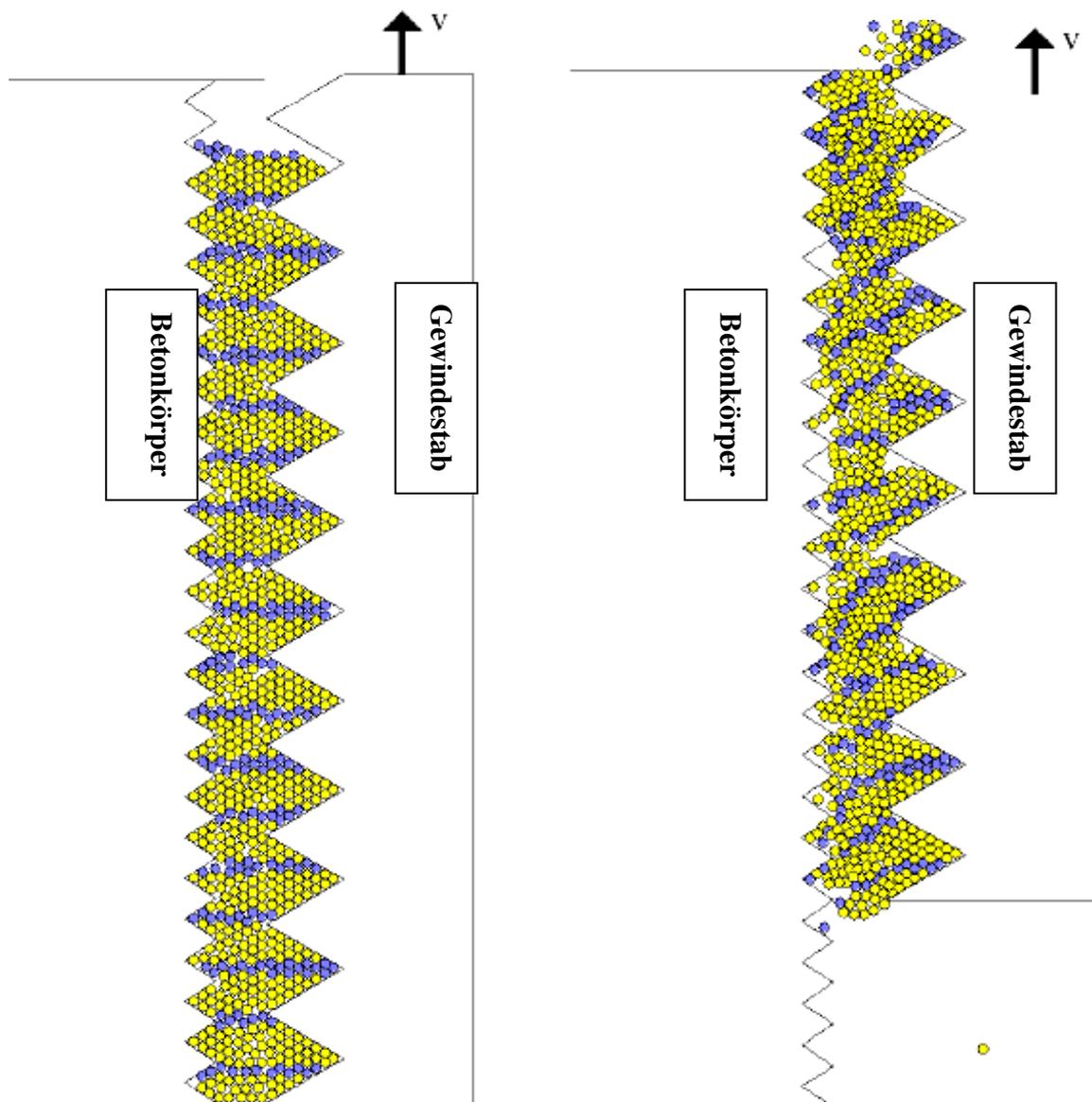


Abbildung 23: Simulation des Sandversuches, links Anfangszustand; rechts: Endzustand, (Mertain[15])

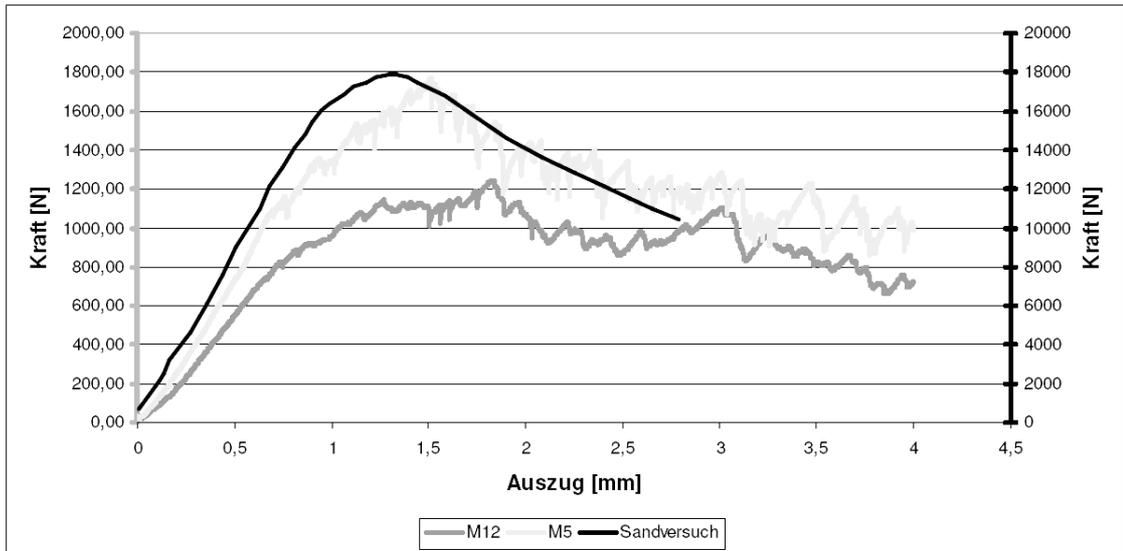


Abbildung 24: Vertikalkraftverlauf M5 und M12 sowie Ergebnis eines vergleichbaren Sandversuches, (Mertain[15])

## 5. Experimentelle Untersuchungen

### 5.1 Werkstoffe

#### 5.1.1 Beton

Die bei den Tastversuchen verwendete unbewehrte Betonplatte hat ein Ausmaß von 1500x 1500x 200 mm<sup>3</sup>. Die Langzeitversuche werden an Prüfwürfeln der Dimension 150x 150x 150 mm<sup>3</sup> durchgeführt. Alle verwendeten Betonkörper haben eine Betongüte der Festigkeitsklasse C20/25.

#### 5.1.2 Sand

Bei allen Versuchen wird ein feuergebrannter Quarzsand (Fugensand) mit einer Körnung von 0.1 - 0.4 mm verwendet. Die Korngrößenverteilung dieses gewählten Sandes ähnelt am ehesten dem handelsüblicher Klebemörtel (siehe Abbildung 25). Es kann davon ausgegangen werden, dass der Sand in Bezug auf seine Festigkeit zeitunabhängig ist und diese auch nach mehreren Jahren nicht verliert. Der Füllstoffgehalt des Sandes ist abhängig von der Art und der Intensität der angewendeten Verdichtung

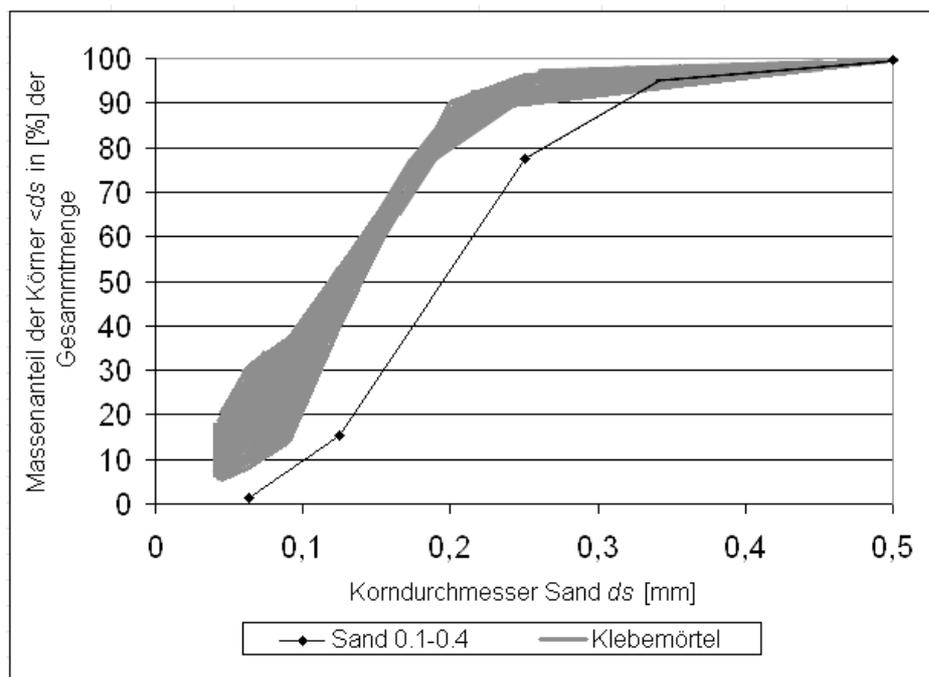


Abbildung 25: Korngrößenverteilung Sand 0.1 - 0.4 mm und handelsüblicher Klebemörtel

### 5.1.3 Gewindestangen

Es werden M12 Gewindestangen der Güteklasse 8.8 und 6.8 verwendet. Die Gewindestangen der Güteklasse 8.8 haben eine Streckgrenze von  $f_{yk} = 640 \text{ N/mm}^2$  und eine Zugfestigkeit von  $f_{uk} = 800 \text{ N/mm}^2$ . Die Werte der Gewindestange mit der Güteklasse liegen wenig darunter. In Abbildung 26 ist die Stahlbruchlast gängiger Gewindegrößen der Festigkeitsklasse 8.8 angegeben.

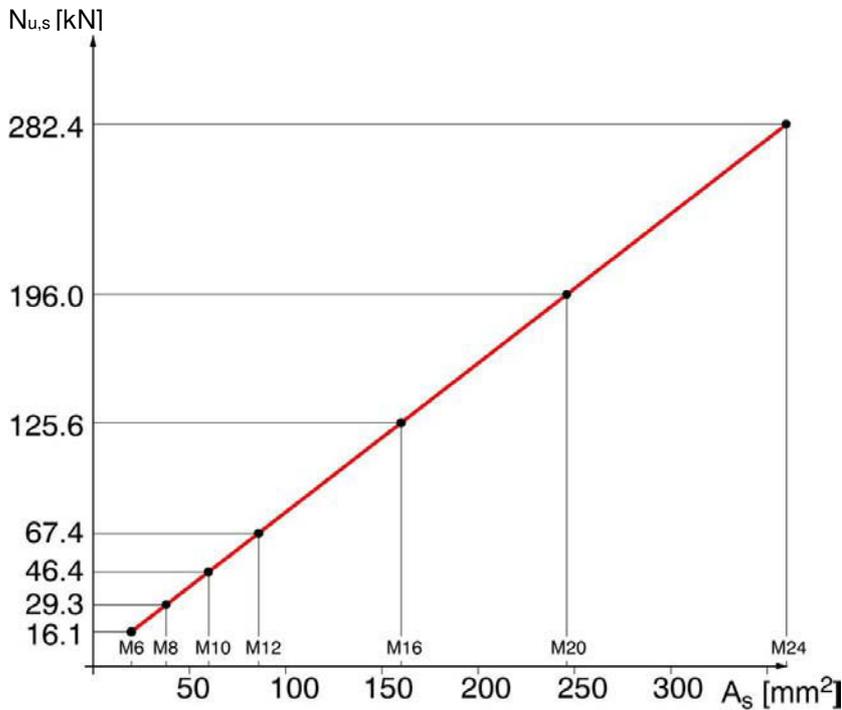


Abbildung 26: Stahlbruchlast gängiger Gewindegrößen unter Zuglast (Festigkeitsklasse 8.8)

## 5.2 Tastversuche

Um brauchbare Ergebnisse in den Langzeitversuchen zu erzielen ist es besonders wichtig einheitliche und reproduzierbare Verdichtungsmethoden zu entwickeln. In den Tastversuchen wird daher versucht herauszufinden, durch welche Verdichtungsmethode am meisten Sand in das Bohrloch gebracht werden kann und wie dieser bestmöglich verdichtet wird. Je mehr Sand in das Bohrloch gelangt, umso mehr Druckstreben können sich im Sand zwischen Ankerstange und Bohrlochwand aufbauen (Mihala [16]). Auch die Stabilität der Druckstrebe wird durch den umliegenden Sand erhöht. Dies bedeutet, dass diese später ausknicken und dadurch höhere Lasten an die Bohrlochwand weitergeleitet werden können.

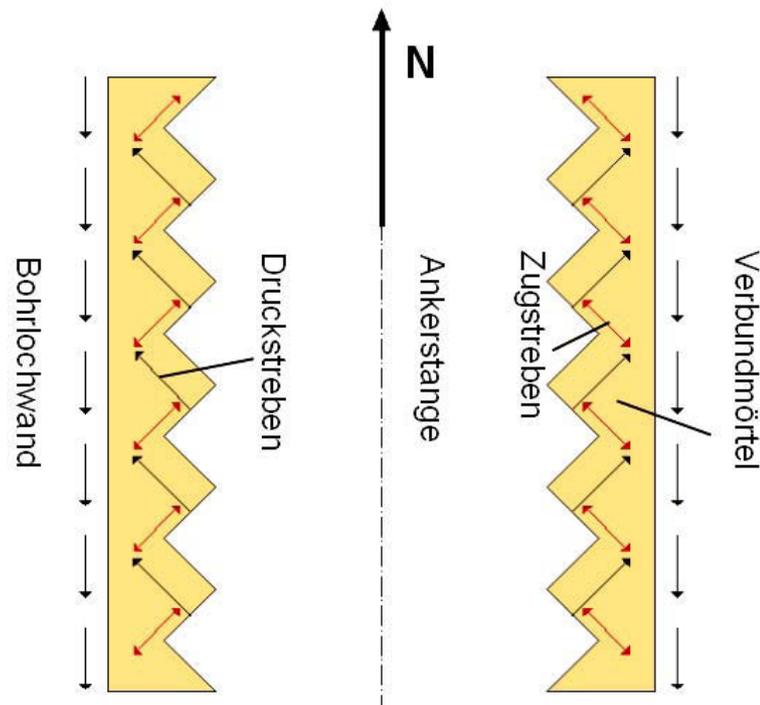


Abbildung 27: Theoretischer Druckstrebenaufbau zwischen Gewindestange und Bohrlochwand, (Mihala [16])

### 5.2.1 Versuchsaufbau

Die Tastversuche werden an einer Betonplatte C20/25 durchgeführt (siehe Abbildung 28). In der Regel sind die Löcher 100 mm tief gebohrt. Für das Bohren der Löcher werden drei verschiedene Bohrer verwendet. Das Bohreckmaß und der Durchmesser der Spirale sind bei den einzelnen Versuchen angegeben. Bei häufiger Verwendung eines Bohrers wird die Bohrkronen abgenutzt. Der Durchmesser dieser Bohrkronen wird als Bohreckmaß bezeichnet und ist je nach Versuch zwischen 14.3 mm und 14.6 mm.



Abbildung 28: links: Betonplatte mit Bohrhammer; mitte: Prüfmaschine; rechts: Adapter

Nach dem Bohren und Reinigen des Loches wird eine Gewindestange M12 zentrisch in das Bohrloch geführt. Der Ringspalt zwischen Bohrlochwand und Gewindestange wird anschließend mit Quarzsand verfüllt und verdichtet (Abbildung 29).

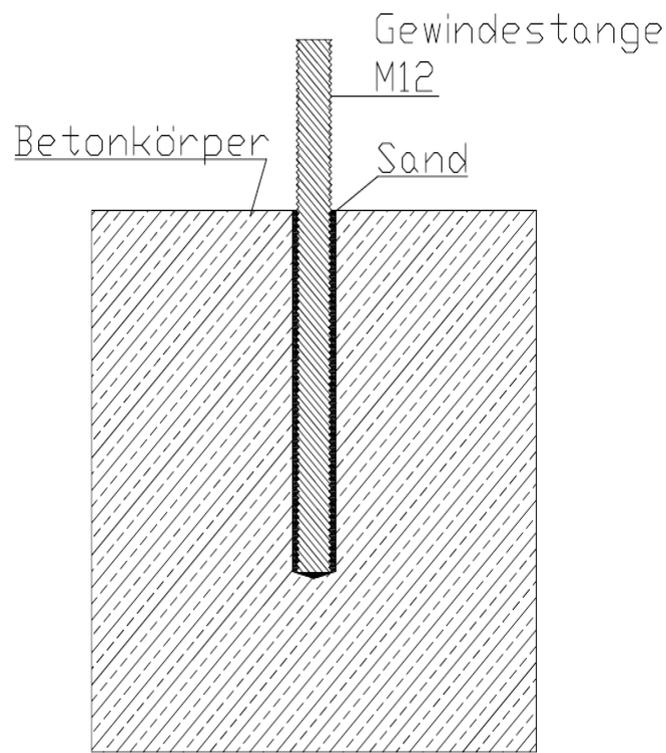


Abbildung 29: Systemskizze der Tastversuche

Im Zuge der Tastversuche werden verschiedene Bohrhämmer, welche zum Verdichten des Sandes benötigt werden, verwendet (Abbildung 31). Diese Bohrhämmer unterscheiden sich stark in ihrem Gewicht, und der Möglichkeit sie an mehreren Versuchen hintereinander mit gleicher Schlagstärke zu betreiben (justieren). In Abbildung 33 werden diese miteinander verglichen. Die Bohrhämmer 2 und 3 unterscheiden sich nicht wesentlich in ihrer Leistung. Durch das hydraulisch-pneumatische Schlagsystem des Bohrhammers 3, wird aber die Leistung dieses Gerätes in eine wesentlich höhere Schlagenergie umgewandelt.



Abbildung 30: Verwendete Bohrhämmer (v.l.n.r Bohrhämmer 1, 2, 3)

Bezeichnung	Marke	Typ	Gewicht [kg]	Leistung [W]	Justierbarkeit	Schlagart
Bohrhammer 1	HILTI	TE55	5.9	900	Sehr schwer	Mechanisch
Bohrhammer 2	BOSCH	GBH 2- 23RE	2.3	650	Schwer	Mechanisch
Bohrhammer 3	BOSCH	PBH 240 RE	3.0	620	Exakt in 7 Stufen	Hydraulisch- Pneumatisch

Abbildung 31: Eckdaten der verwendeten Bohrhämmer

Nach dem setzen des Ankers muss die Kraft ermittelt werden, welche notwendig ist, um diesen aus dem Bohrloch herauszuziehen. Dazu wird eine Prüfmaschine (siehe Abbildung 28 mitte) mittels eines Adapters (siehe Abbildung 28 rechts) an die Gewindestange angeschlossen. Der Antrieb der Prüfmaschine besteht aus einer angeflanschten Bohrmaschine bei welcher die Arbeitsgeschwindigkeit mittels eines Handstellrades variiert werden kann. Ein Wegaufnehmer und eine Kraftmessdose liefern die erforderlichen Werte, welche von einem Computer aufgezeichnet und in einem Kraft-Weg Diagramm dargestellt werden. Die Maximalkraft die diese kleine Prüfmaschine aufnehmen kann ist 50 kN. Bei Versuchen mit Ausziehkräften darüber wird die große Prüfmaschine verwendet (siehe Abbildung 32). Mit den drei Servohydraulischen Prüfzylindern können bei diesem Gerät Lasten von bis Maximal 2000 kN angewendet werden.



Abbildung 32: Große Prüfmaschine im Labor des Institutes

Es muss darauf hingewiesen werden, dass für die Versuche benötigten Bohrlochdimensionen nicht immer der Praxis entsprechen. Um einige Versuche durchführen zu können, werden vereinzelt Löcher größer als der Norm entsprechend gebohrt.

Für einige Versuche kann mehrmals dasselbe Bohrloch verwendet werden, was aber keine negativen Auswirkungen auf die Versuchsergebnisse hat.

<b>Bohrhammer 1</b>			Leicht
<b>Bohrhammer 2</b>	Leicht	Mittel	Fest
<b>Bohrhammer 3/neu</b>	Stufe 4	Stufe 5	Stufe 6
<b>Bohrhammer 3/gebraucht</b>			Stufe 4

Abbildung 33: Vergleich der Schlagstärke der Bohrhämmer 1 und 2 mit Bohrhammer 3

Für die Durchführung der Versuche wird der Bohrhammer 3 neu angeschafft, da dieser ein Stellrad aufweist, mit welchem die Maschine in einer bestimmten Schlagstärke justiert werden kann. Die ersten Versuche mit diesem Gerät werden sofort nach dessen Kauf durchgeführt. In weiterer Folge wird der Bohrhammer im normalen Laborbetrieb eingesetzt. Nachdem diverse Bohrarbeiten mit dem Gerät durchgeführt worden sind, wird mit diesem wieder ein Versuch durchgeführt. Bei einem Probeversuch stellt sich heraus, dass das Gerät leichtläufiger ist und die gewünschte Schlagstärke bereits bei einer kleineren Stellradeinstellung erreicht wird. Die Erkenntnis daraus ist, dass mit jedem verwendeten Gerät Probeversuche durchgeführt werden müssen, um zu untersuchen, welche Werte mit den jeweiligen Einstellungen erreicht werden (siehe Abbildung 33).

## 5.2.2 Untersuchte Parameter

Um die optimalen Ergebnisse zu erzielen werden folgende Parameter variiert und die ermittelten Werte untereinander verglichen.

- Rütteln (Vibration der Gewindestange)
- Stopfen (Verdichten des Sandes mit Hüllrohr zwischen Bohrloch und Gewindestange)
- Bohrlochdurchmesser
- Feuchtigkeit
- Höhe der eingebauten Sand-Lagen
- Vorspannung der Sandsäule

## 5.3 Rütteln

Beim Rütteln wird die gesamte Gewindestange in Vibration versetzt. Die Verdichtung erfolgt nur aufgrund der Schwerkraft. Es ist darauf zu achten dass nicht zu stark gerüttelt wird, da ansonsten tiefer liegende bereits verdichtete Schichten wieder gelockert werden.

Die ersten Versuche um die Gewindestange in Vibration zu versetzen werden per Hand durchgeführt. Mit dem Holzgriff einer Drahtbürste wird mehrere Minuten auf die Gewindestange geklopft, bis anzunehmen ist, dass die maximale Verdichtung erreicht ist. Die

Schlagintensität ist aber sehr gering und die Gleichmäßigkeit der Versuchsdurchführung ist nicht gegeben. Aus diesem Grund wird für die weiteren Untersuchungen ein elektrisches Gerät verwendet, bei welchem die Schlagintensität größer ist.

Als Erstes wird mit dem Bohrhammer 1 (siehe Abbildung 31) verdichtet. Dieser ist aber mit 4.9 kg sehr schwer und die Schlagenergie dieses Gerätes ist sehr groß. Durch diese Eigenschaften des Gerätes kann die Schlagintensität nur sehr schwer variiert werden. Mit dem Bohrhammer 1 wird aus diesem Grund kein weiterer Versuch durchgeführt. Als nächstes wird Bohrhammer 2 verwendet. Dieser ist das bessere Gerät für die Versuche, da das Gewicht mit 2.3 kg kleiner und daher die Intensität des Rüttelvorganges besser zu kontrollieren ist. Nicht zufrieden stellend bei diesem Gerät ist, dass die Rotationsgeschwindigkeit des Bohrers nicht über ein Stellrad kontrolliert werden kann.

### 5.3.1 Versuchsdurchführung

Um die Gewindestange nicht zu beschädigen wird eine Stahlscheibe zwischen Gewindestange und Bohrer gelegt (Abbildung 34). Der Einbau erfolgt in  $h_s = 25$  mm Lagen. Die Intensität des Rüttelvorganges ist mit Mittel (siehe Abbildung 33) einzustufen. Das Bohreckmaß bei diesem Versuch beträgt  $d_{cut} = 14.6$  mm. Die Bohrlochtiefe, welche auch der Einbaulänge der Gewindestangen entspricht, beträgt  $l_f = 100$  mm.

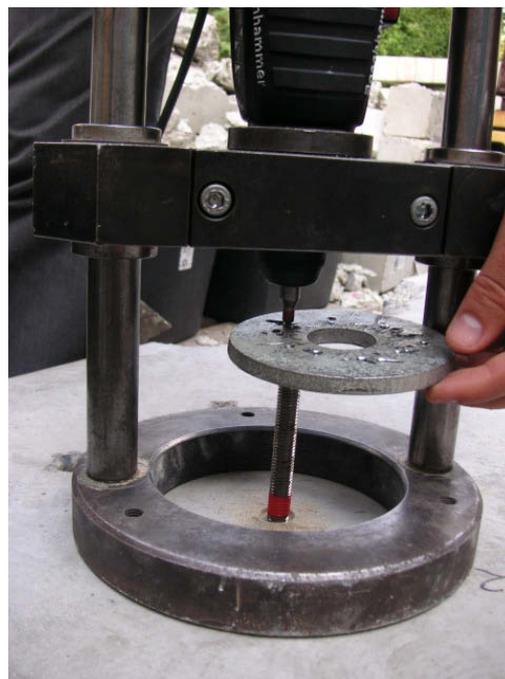


Abbildung 34: Zwischengelegte Stahlscheibe beim Rüttelversuch

### 5.3.2 Versuchsergebnisse

Versuch	$d_{cut}$ [mm]	$l_f$ [mm]	$h_s$ [mm]	$N_{u,m}$ [kN]	$\tau_{u,m}$ [Mpa]	CV	$v_{u,m}$ [mm]	Bohrh./ Inten.
323 1-5	14.6	100	25	9.46	2.51	0.11	1.26	B2/mittel

Abbildung 35: Parameter des Rüttelversuches

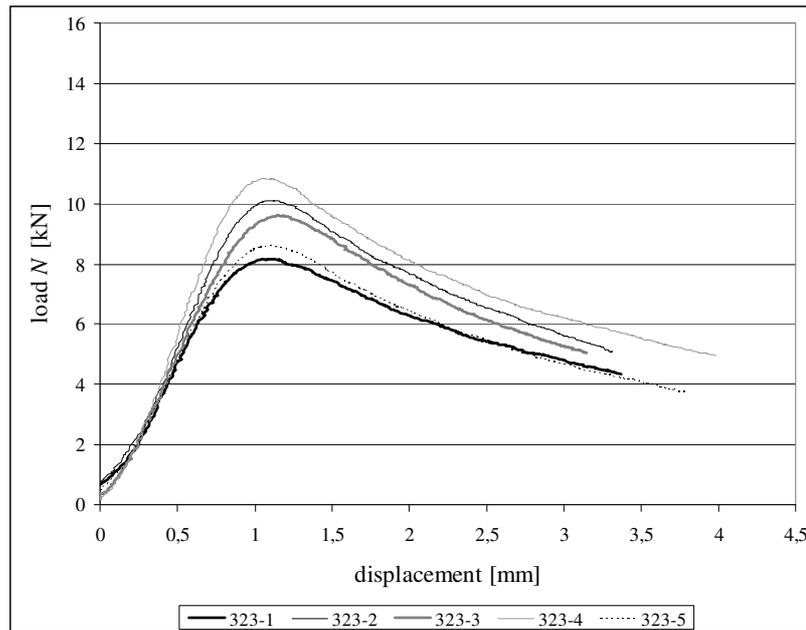


Abbildung 36: Ergebnisse des Rüttelversuches



Abbildung 37: Gewindestange während und nach herausziehen aus dem Bohrloch

Beim Herausziehen der Gewindestange wird auch ein Teil des Sandes mit aus dem Bohrloch gefördert. Da beim Rüttelvorgang die Sandkörner nicht mechanisch beansprucht werden, wird keine Beschädigung an den Ecken der Sandkörner festgestellt. Bei dieser Methode wird eine Serie von fünf Versuchen gewertet. Die Mittelwerte dieser Versuchsserie sind in Abbildung 35 und in Abbildung 36 zu sehen. Die Maximalkraft welche im Mittel notwendig ist um die Gewindestange aus dem Bohrloch zu ziehen beträgt  $N_{u,m} = 9.46$  kN und wird bei einer mittleren Verschiebung von  $v_{u,m} = 1.26$  mm erreicht. Aus den maximalen Normalkräften ergibt sich eine mittlere Schubspannung von  $\tau_{u,m} = 2.51$  Mpa. Der Variationskoeffizient der Normalkraft beträgt  $CV = 0.11$ .

## 5.4 Stopfen

Beim Stopfen wird ein Stahlrohr verwendet. Dieses wird zwischen Gewindestange und Bohrlochwand bis ins Bohrlochtiefe gebracht. Das Stahlrohr wird nur durch das Eigengewicht von Bohrhämmer 2 (siehe Abbildung 31) gerüttelt und so der Sand mechanisch unter Zwang verdichtet (Stopfen). Es darf nicht zu stark gerüttelt werden, da sonst der Sand zerrieben wird und die Körnigkeit des Sandes verloren geht. Diese ist aber notwendig um Druckstreben aufzubauen zu können. Zu geringe Intensität wiederum erbringt nicht die gewünschten Ergebnisse. Es müssen somit mehrere Versuche gemacht werden, um die richtige Intensität des Stopfvorganges zu ermitteln.

Das Stahlrohr hat einen Außendurchmesser von 14 mm. Bei den Versuchen mit einem Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.3$  mm kann das Stahlrohr nur 15 mm in das Bohrloch eingeführt werden. Da der Bohrer einen Spiraldurchmesser von  $d_{spir} = 12.6$  mm hat, kann dieser beim Anbohren von harten Steinen in der Betonmatrix sowohl links als auch rechts je 0.85 mm von der Bohrlochmitte abweichen. Dies ergibt ein spiralartiges Bohrloch, in welches das Stahlrohr nicht ganz eingeführt werden kann. Erst bei einem Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.6$  mm und einem Spiraldurchmesser des Bohrers von  $d_{spir} = 13.9$  mm gelangt man mit dem Hüllrohr bis in den Bereich des Bohrlochtieftsten. Somit kann der Sand auch dort verdichtet werden. Das hier verwendete Gerät beim Stopfen ist der Bohrhämmer 2.

### 5.4.1 Versuchsdurchführung

Um das Stahlrohr beim Rüttelvorgang nicht zu beschädigen wird ein Adapter am oberen Ende des Stahlrohres montiert. Dieser besteht aus einem ca. 40 mm langen Stück einer Gewindestange, welche am oberen Ende in das Hüllrohr hineinragt (Abbildung 38Abbildung 34). Zwei gekonterte Sechskantmuttern verhindern das Hineinfallen der Gewindestange ins Hüllrohr. Der Einbau erfolgt in Lagen zu  $h_s = 25$  mm. Die Intensität des Stopfvorganges ist mit Mittel einzustufen (Abbildung 33). Bei diesem Versuch ist das Bohreckmaß  $d_{cut} = 14.6$  mm und die Einbindetiefe  $l_f = 100$  mm.



Abbildung 38: Stopfversuch mit Hüllrohr und Adapter

### 5.4.2 Versuchsergebnisse

Versuch	$d_{cut}$ [mm]	$l_f$ [mm]	$h_s$ [mm]	$N_{u,m}$ [kN]	$\tau_{u,m}$ [Mpa]	CV	$v_{u,m}$ [mm]	Bohrh./ Intens.
323 13-15	14.6	100	25	12.9	3.42	0.05	1.4	B2/mittel

Abbildung 39: Parameter des Stopfversuches

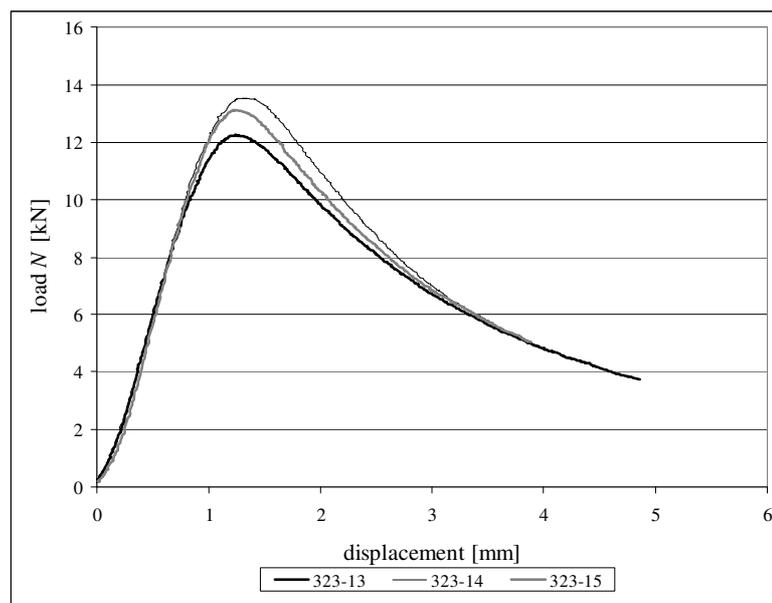


Abbildung 40: Ergebnisse des Stopfversuches



Abbildung 41: links: Gewindestange während des Ausziehvorganges; rechts: Sand an der gezogenen Gewindestange

Nachdem die Gewindestange aus dem Bohrloch gezogen wird, bleibt an mehreren Stellen der Gewindestange Sand haften. Durch die aufgebrachte mechanische Energie wird der Sand teilweise zerrieben und zwischen die Gewindegänge gedrückt. Diese haftende Schicht ist im Abstand der Lagenstärke  $h_s = 25$  mm besonders ausgeprägt. Die Maximalkraft bei dieser Versuchsreihe beträgt im Mittel  $N_{u,m} = 12.9$  kN, bei einer Verschiebung von  $v_{u,m} = 1.4$  mm. Dies ergibt eine mittlere Schubspannung von  $\tau_{u,m} = 3.42$  Mpa. Der Variationskoeffizient der Normalkraft beträgt  $CV = 0.05$ .

## 5.5 Variation des Bohreckmaßes $d_{cut}$

Das Bohreckmaß ist der Durchmesser des Bohrers an dessen Spitze (Bohrkrone). Nach häufiger Verwendung und Verschleiß der Bohrkrone nimmt das Bohreckmaß ab. In Abbildung 42 sind die bei den Versuchen verwendeten Bohrer abgebildet.



Abbildung 42: Bohrer mit unterschiedlichem Bohreckmaß und Spiraldurchmesser

### 5.5.1 Versuchsdurchführung

Begonnen wird mit den Rüttelversuchen und einem Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.3$  mm. Bei diesem Bohreckmaß kann der Versuch mittels Stopfen nicht durchgeführt werden, weil das Stopfrohr nicht bis ins Bohrloch tiefste gelangt. Die Variation des Bohreckmaßes ist daher notwendig, und wird in einer ersten Versuchsreihe auf  $d_{cut} = 14.4$  mm erhöht. Bei den Arbeiten mit diesem Bohrer kann der Sand im Bohrloch sehr gut verdichtet werden. Durch den geringen Abstand zwischen Stopfrohr und Bohrlochwand, ist das Herausziehen des Rohres nur mit großer Kraft möglich. Aus diesem Grund wird ein noch größerer Bohrer verwendet, da bei den Stopfversuchen gemäß Abschnitt 5.4 nur mit einem Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.6$  mm Ordnungsgemäß gearbeitet werden kann. Die Änderung vom Bohreckmaß hat auch zur Folge, dass gleichzeitig der Spiraldurchmesser des Bohrers verändert wird. Der Einbau bei diesen Versuchen erfolgt in Lagen mit einer Lagendicke von  $h_s = 25$  mm, welche dann jeweils fünfmal je eine Sekunde mit mittlerer Intensität gerüttelt wurden.

### 5.5.2 Versuchsergebnisse

Versuch	$d_{cut}$ [mm]	$d_{spir}$ [mm]	$l_f$ [mm]	$h_s$ [mm]	$N_{u,m}$ [KN]	$\tau_{u,m}$ [Mpa]	CV	$v_{u,m}$ [mm]	Bohrh./ Intens.
321 6-10	14.3	12.6	100	25	5.96	1.58	0.28	0.86	B2/mittel
322 1-5	14.4	13.7	100	25	10.8	2.86	0.23	1.32	B2/mittel
323 1-5	14.6	13.9	100	25	9.46	2.51	0.11	1.26	B2/mittel

Abbildung 43: Parameter des Versuches bei verschiedenen Bohreckmaßen  $d_{cut}$

Die Versuche mit einem Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.3$  mm haben mit einer Schubspannung von  $\tau_{u,m} = 1.58$  Mpa um 59 % geringere Werte als die Versuche mit einem Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.6$  mm ergeben. Am besten schneiden die Versuche mit einem Bohreckmaß von

$d_{cut} = 14.4$  mm ab. Diese erreichen eine Schubspannung von  $\tau_{u,m} = 2.86$  Mpa. Die Stopfversuche zeigen, dass nur mit einem Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.6$  mm optimal gearbeitet werden kann. Hier wird ein Variationskoeffizient der Normalkraft von  $CV = 0.11$  erreicht. Wird der Bohrer mit dem Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.4$  mm verwendet, erhöht sich der Variationskoeffizient auf  $CV = 0.23$ .

## 5.6 Variation der Feuchtigkeit

Durch das Wasser wird der Reibungswiderstand im Sand herabgesetzt, welcher somit besser verdichtet werden kann. Weiters ist zu beobachten, dass der Sand durch die Feuchtigkeit eine scheinbare Kohäsion erfährt. Dies ist aber darauf zurückzuführen das sich Wasser zwischen den Sandkörpern sammelt und sich Adhäsionskräfte aufbauen.

### 5.6.1 Versuchsdurchführung

Es wird trocken verdichtet (Rütteln), danach wird der Sand mit Wasser gesättigt. Nach dem Befeuchten wird beobachtet, dass der Sand im Ringspalt nach unten sickert. Somit wird erkannt, dass sich höher verdichteter Sand im Ringspalt befindet. Der Ringspalt wird nochmals mit Sand aufgefüllt und ein weiteres Mal durch Rütteln verdichtet. In den Versuchen kann davon ausgegangen werden, dass der Beton welcher das Bohrloch umgibt einen Großteil der Feuchtigkeit aus dem Sand aufnimmt. Bei dieser Versuchsreihe wird bei dem Versuch 316-1 nach einem Tag die Gewindestange gezogen. Die weiteren vier Versuche werden nach fünf Tagen ausgewertet. Diese Versuche erzielen aber ohne Ausnahme schlechte Ergebnisse, da die Feuchtigkeit in dieser kurzen Zeit nicht restlos aus dem Ringspalt entweichen kann.

### 5.6.2 Versuchsergebnisse

Versuch	$d_{cut}$ [mm]	$d_{spir}$ [mm]	$l_f$ [mm]	$h_s$ [mm]	$N_{u,m}$ [KN]	$\tau_{u,m}$ [Mpa]	CV	$v_{u,m}$ [mm]	Bohrh./ Intens.
316 1-5	14.3	12.6	100	25	3.92	1.04	0.33	0.84	B1/leicht

Abbildung 44: Parameter des Versuches bei Variation der Feuchtigkeit

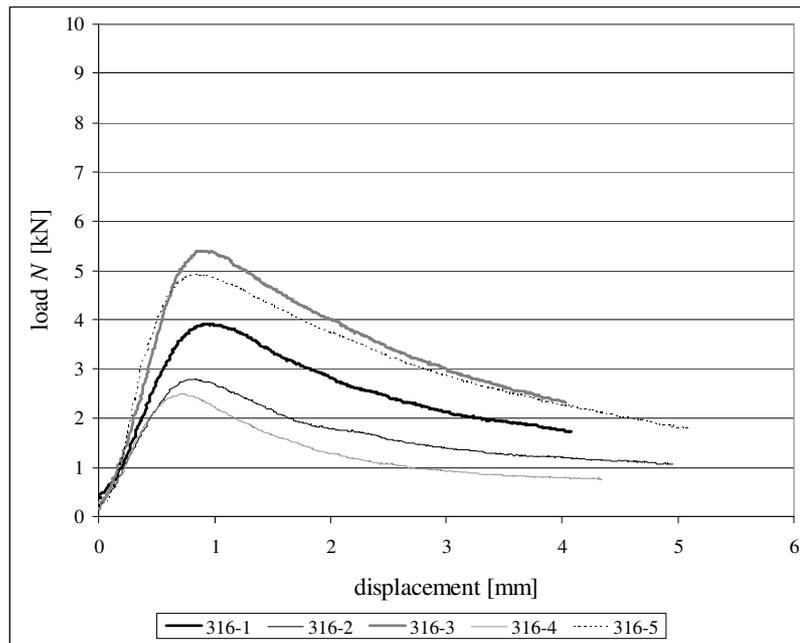


Abbildung 45: Variation der Feuchtigkeit

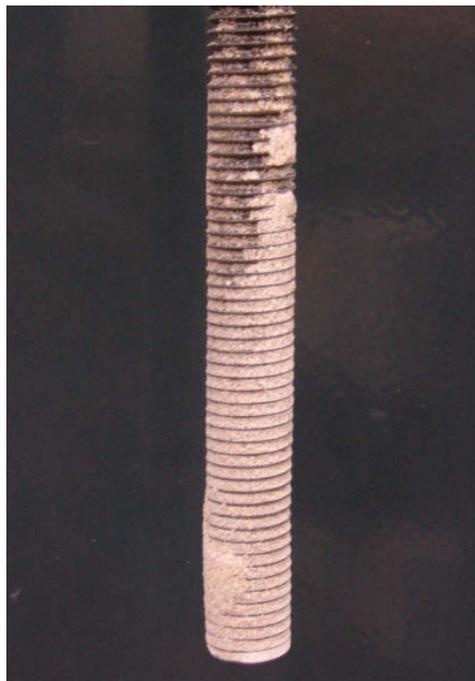


Abbildung 46: Sand klebt an der Gewindestange nach dem Herausziehen

Der Versuch ohne Zugabe von Wasser (trocken) mit den gleichen Kennwerten hat im Mittel um 50 % bessere Ausziehungswerte. Bei diesem Versuch wird eine mittlere Schubspannung von  $\tau_{u,m} = 1.04 \text{ Mpa}$  erreicht. Der Versuch 316-1 liegt auf Höhe des Mittelwertes dieser Versuchsreihe. Die Versuche, welche nach fünf Tagen ausgewertet werden liegen sowohl oberhalb als auch unterhalb des am zweiten Tag ausgewerteten Versuches. Deshalb kann nicht davon ausgegangen werden, dass etwas längere Trocknungszeiten auch bessere Ergebnisse erzielen. Es ist anzunehmen, dass erst durch sehr lange Trocknung im Klimaschrank die absolute Feuchtigkeit des Sandes gegen Null geht und dadurch bessere Ergebnisse erzielt werden.

## 5.7 Variation der Einbindetiefe $l_f$

Erste Versuche werden mit einer Einbindetiefe von  $l_f = 167$  mm durchgeführt. Dieser Wert ist beliebig gewählt, muss aber unter der Betonplattendicke von  $d = 200$  mm liegen. Sollte das Loch tiefer gebohrt werden, besteht die Gefahr des Durchstanzens des Bohrers. Aufgrund einfacherer Handhabung und unter Berücksichtigung der vorhandenen Werkzeuge (Bohrer) wird für die weiteren Versuche eine Einbindetiefe von  $l_f = 100$  mm gewählt.

### 5.7.1 Versuchsdurchführung

Bei diesen Versuchen wird der Ringspalt mit Sand voll gefüllt und danach mittels Rütteln der Gewindestange verdichtet. Für den Versuch 313 mit einer Einbindetiefe von  $l_f = 167$  mm wird zum Verdichten der Bohrhammer 1 verwendet (siehe Abbildung 33). Die Versuchsreihe 321 mit einer Einbindetiefe von  $l_f = 100$  mm hingegen wird mit dem Bohrhammer 2 verdichtet.

### 5.7.2 Versuchsergebnisse

Ein exakter Vergleich der beiden Einbindelängen ist nicht möglich, da mit unterschiedlichen Bohrhämmern verdichtet wurde und daher die Verdichtungsintensität nicht die Gleiche ist. Die Ergebnisse sind aber in Relation zur Länge sehr unterschiedlich. Der Versuch mit einer Einbindetiefe von  $l_f = 167$  mm hat eine Schubspannung von  $\tau_{u,m} = 2.25$  Mpa und somit eine um 42 % höhere Ausziehungskraft als das Bohrloch mit einer Einbindetiefe von  $l_f = 100$  mm. Ein Grund dafür ist die Verwendung des schweren Bohrhammers, welcher zum Verdichten des Versuches 313 verwendet wurde. Ein weiterer Grund ist auf die größere Einbindetiefe zurückzuführen, da hier das Ausweichen des Sandes nach oben reduziert wird. Somit können sich im Vergleich zu den Versuchen mit geringerer Einbindetiefe im unteren Bereich besser ein dreidimensionaler Spannungszustand und somit stabilere Druckstreben aufbauen. Mihala[16]

Versuch	$d_{cut}$ [mm]	$d_{spir}$ [mm]	$l_f$ [mm]	$h_s$ [mm]	$N_{u,m}$ [KN]	$\tau_{u,m}$ [Mpa]	CV	$v_{u,m}$ [mm]	Bohrh./ Intens.
321 6-10	14.3	12.6	100	25	5.96	1.58	0.28	0.86	B2/mittel
313	14.3	12.6	173	173	19.3	2.25	-	1.8	B1/leicht

Abbildung 47: Parameter des Versuches bei Variation der Einbindetiefe  $l_f$

## 5.8 Variation der Stärke der eingebauten Lagen

Hier wird untersucht, welchen Einfluss eine Variation der Dicke der eingebauten Lagen auf das Ergebnis hat. Eine Verringerung der Stärke der eingebauten Lage hat zur Folge, dass die durch das Stopfen zugeführte Energie eine geringer mächtige Sandschicht verdichten muss.

### 5.8.1 Versuchsdurchführung

Der Stopfvorgang wird, wie in 5.4 beschrieben, durchgeführt. Der Einbau erfolgt einmal in 20 mm und einmal in 10 mm starken Lagen. Bei diesem Versuch wird noch kein exaktes

Verfahren zur Bestimmung der Lagenstärke angewendet, da ein Messbecher ohne genaue Skalierung verwendet wird. Nachdem die jeweilige Menge Sand die für diese Schicht erforderlich ist eingebracht wird, wird der Sand in weiterer Folge vorverdichtet. Dies geschieht, indem auf das eingeführte Hüllrohr zweimal je  $\frac{1}{4}$  Sekunde, nur mit dem Eigengewicht des Bohrhammers 3 belastet, verdichtet wird. Danach erfolgt der eigentliche Stopfvorgang, wobei das Hüllrohr je fünfmal eine Sekunde lang gerüttelt wird. Bei jedem Stopfversuch gelangt feinkörniger Sand zwischen das Hüllrohr und die Gewindestange. Aus diesem Grund wird nach jedem einzelnen Stopfvorgang das Hüllrohr gelockert, um den Sand aus dem Zwischenraum zu beseitigen. Dabei wird die Gewindestange festgehalten und das Hüllrohr gedreht und angehoben. Das verwendete Gerät ist der Bohrerhammer 3 in Stufe 6 und nur mit dem Eigengewicht belastet. Bei diesem Versuch ist das Bohreckmaß  $d_{cut} = 14.6$  mm und die Einbindetiefe  $l_f = 100$  mm. Es werden zwei Versuchsreihen mit unterschiedlicher Lagenstärke durchgeführt. Zuerst wird versucht in fünf Lagen einzubauen, dies führt zu einer Lagenstärke von  $h_s = 20$  mm. Beim zweiten Versuch wird der Sand in zehn Lagen eingebaut, was eine Lagenstärke von  $h_s = 10$  mm ergibt.

## 5.8.2 Versuchsergebnisse

Versuch	$d_{cut}$ [mm]	$d_{spir}$ [mm]	$l_f$ [mm]	$h_s$ [mm]	$N_{u,m}$ [kN]	$\tau_{u,m}$ [Mpa]	CV	$v_{u,m}$ [mm]	Bohrh./ Intens.
327, 328, 333	14.6	13.9	100	20±5	8.43	2.24	0.28	1.17	B3/St.6
331 - 332	14.6	13.9	100	10±3	17.6	4.67	0.06	1.38	B3/St.6

Abbildung 48: Parameter des Versuches bei Variation der Lagendicke  $h_s$

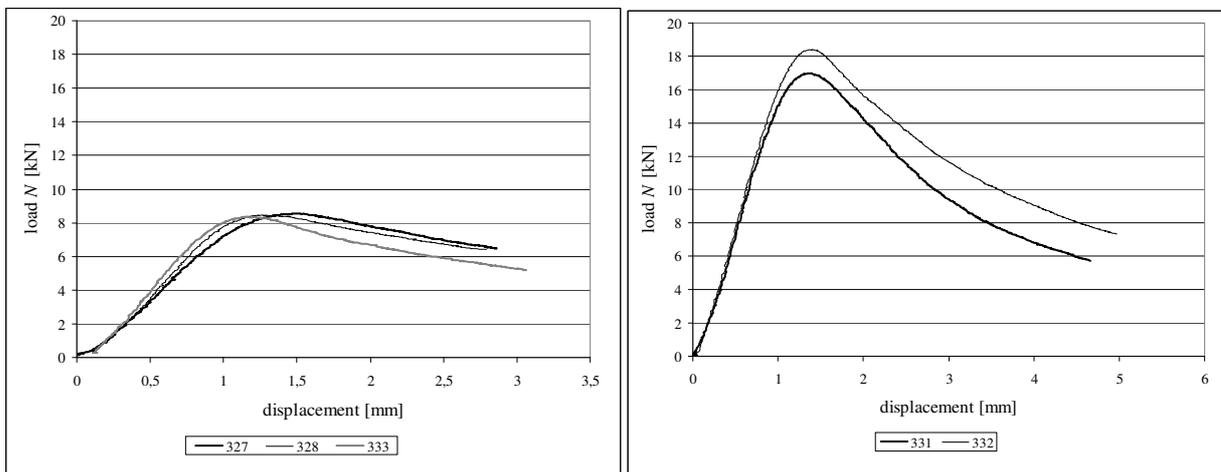


Abbildung 49: links: Einbau in 20 mm Lagen; rechts: Einbau in 10 mm Lagen

Bei der Versuchsreihe mit  $h_s = 20$  mm wird eine Schubspannung von  $\tau_{u,m} = 2.24$  Mpa erreicht. Die Versuche mit  $h_s = 10$  mm hingegen erzielen mit  $\tau_{u,m} = 4.67$  Mpa mehr als eine doppelt so hohe Schubspannung. Der Variationskoeffizient ist bei dem Versuch mit  $h_s = 10$  mm mit  $CV = 0.06$  sehr gering. Auch die Reproduzierbarkeit dieser Versuche ist jederzeit gegeben, da durch das vorhandene Stellrad am Bohrerhammer 3 die gewählte Leistung der Maschine jederzeit wieder eingestellt werden kann.

## 5.9 Einbau in exakten Lagenstärken

Bei dem optimierten Langzeitversuch ist es besonders wichtig, die Lagen in exakt gleichmäßigen Stärken einzubauen. Um dies zu erreichen wird in einem Probeversuch der Sand zuerst wie bisher in Lagen in den Ringspalt eingebaut und durch Stopfen verdichtet. Dabei wird bei jeder Lage die verfüllte Menge an Sand in einem Messbecher mit exakter Skalierung gemessen. Mit einer Waage, welche auf Milligramm genau messen kann, wird danach zu jedem Skalenschritt am Messbecher ein Gewicht eingewogen. Die Gewichte der einzelnen Lagen werden addiert. Diese Summe wird dann durch die gewünschte Anzahl an Lagen dividiert. Das Ergebnis ist das Gewicht der einzelnen einzubauenden Lagen. Der Einbau der Lagen erfolgt wie in Kap. 5.4 beschrieben. Wird ein Parameter der Bohrlochgeometrie, oder die Bohrlochlänge verändert, so muss die Lagenstärke erneut ermittelt werden.

### 5.9.1 Versuchsdurchführung

Beim Probeversuch 335 wird die erste Lage mit 2.65 g Quarzsand und weitere fünf Lagen zu je 2.3 g Quarzsand eingebaut. In Summe ergeben sich daraus ein Gesamtgewicht des eingebauten Sandes von 14.15 g und eine Lagenstärke von 16 Millimeter.

Bei den Exaktversuchen 336 - 338 werden zehn Lagen mit je 1.5 g eingebaut. Beim Einbau der letzten Lage dringt beim Stopfvorgang etwas Sand an die Oberfläche, daher wird der fehlende Sand nach jedem Stopfvorgang der obersten Lage ersetzt. Bei diesem Versuch wird zum Stopfen der Bohrhammer 3 mit der Stellradstufe 4 verwendet. Es wird jede Lage fünfmal zu je einer Sekunde verdichtet.

### 5.9.2 Versuchsergebnisse

Versuch	$d_{cut}$ [mm]	$d_{spir}$ [mm]	$l_f$ [mm]	$h_s$ [mm]	$N_{u,m}$ [KN]	$\tau_{u,m}$ [Mpa]	CV	$v_{u,m}$ [mm]	Bohrh./ Intens.
335	14.6	13.9	100	<b>16</b>	16.5	4.37	-	1.6	B3/St.4
336 - 338	14.6	13.9	100	<b>10</b>	21.5	5.70	0.06	1.53	B3/St.4

Abbildung 50: Parameter des Versuches mit exaktem Lageneinbau



Abbildung 51: Gewindestange während Ausziehvorganges

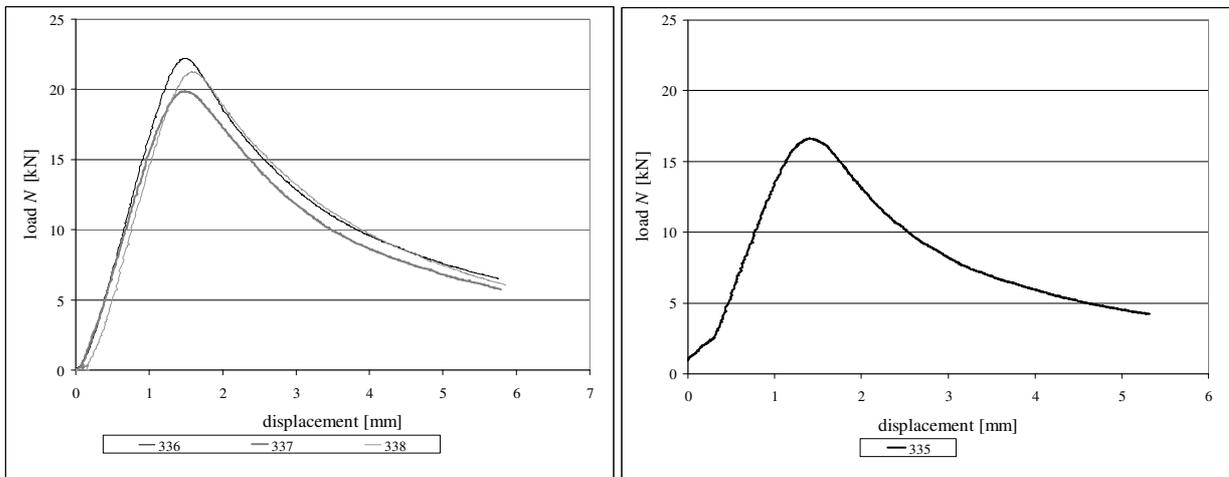


Abbildung 52: Versuch mit exaktem Lageneinbau. Links: 16 mm Lagen; rechts: 10 mm Lagen

Nach dem Auswerten der Ergebnisse ist erkennbar, dass der Versuch 335, welcher in nur sechs Lagen eingebaut wird, mit einer Schubspannung von  $\tau_{u,m} = 4.37 \text{ Mpa}$  deutlich weniger Kräfte aufnimmt als die Versuche welche in zehn Lagen eingebaut werden. Diese Versuchsreihe erreicht mit einer mittleren Schubspannung von  $\tau_{u,m} = 5.7 \text{ Mpa}$  um 30 % höhere Werte. Auch die Gleichmäßigkeit der Versuche ist gegeben, was ein Variationskoeffizient von  $CV = 0.06$  bestätigt. In Abbildung 51 ist zu erkennen dass der Sand beim Verdichten teilweise zerrieben wird. Beim Herausziehen aus dem Bohrloch bleibt ein Teil des Sandes in den Gewindegängen haften und wird so aus dem Bohrloch befördert.

## 5.10 Einbau in exakten Lagenstärken ohne vorheriger Reinigung des Bohrloches

Bei den Verbundmörteln ist es besonders wichtig, das Bohrloch vor dem Einbringen des Mörtels gründlich zu reinigen. Erfolgt die Reinigung nicht wie vom Hersteller vorgeschrieben, verringert sich die Kraft, welche auf die Gewindestange aufgebracht werden kann um bis zu 50 %.

Bei den Versuchen ohne Reinigung des Bohrloches wird festgestellt, ob auch bei den Versuchen mit Sand, der Einfluss eines verunreinigten Bohrloches ähnlich groß ist, wie bei einem Versuch mit Verbundmörtel.

### 5.10.1 Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung ist gleich wie bei den Exakt-Versuchen 336 - 338 (Abschnitt 5.9.1). Der einzige Unterschied zu diesen Versuchen ist, dass beim Versuch 343 nicht zehn Lagen, sondern nur neun Lagen eingebaut werden können. Da das Bohrloch weder ausgeblasen noch ausgebürstet wird, verbleibt eine nicht unwesentliche Menge an Bohrmehl im Bohrloch. Dadurch verringert sich die Einbindetiefe der Gewindestange um zehn Millimeter (entspricht 10 %).

### 5.10.2 Versuchsergebnisse

Versuch	$d_{cut}$ [mm]	$l_f$ [mm]	$h_s$ [mm]	$N_{u,m}$ [kN]	$\tau_{u,m}$ [Mpa]	CV	$v_{u,m}$ [mm]	Bohrh./ Intens.
343	14.6	90	10	14.4	4.24	-	1.3	B3/St./4

Abbildung 53: Parameter des Versuches ohne Bohrlochreinigung

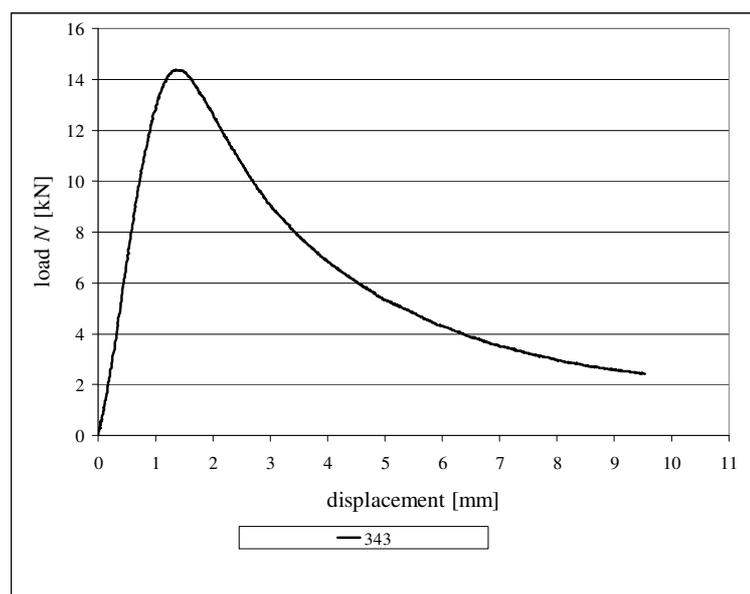


Abbildung 54: Ergebnisse des Versuches ohne Bohrlochreinigung

Bei diesem Versuch wird nur ein Ergebnis gewertet. Die erzielte Schubspannung beträgt hier  $\tau_{u,m} = 4.24 \text{ Mpa}$ . Dies ist ein um 30 % geringerer Wert als er bei den Versuchen mit gereinigten Bohrlochern erzielt wird. Die maximale Kraft wird hier bei einer Verschiebung von  $v_{u,m} = 1.3 \text{ mm}$  erreicht

## 5.11 Versuch mit Innengewinde als Interface an der Außenseite

Hier wird untersucht, welchen Einfluss das Interface zwischen Sand und Bohrloch auf das Ergebnis hat. Es wird angenommen, dass bei einem Versuch mit Sand, welcher zwischen einem Innen- und einem Außengewinde eingebaut ist, das Interface nicht versagen kann. Somit sind die Ergebnisse nur auf die Druckstreben, welche im Sand aufgebaut sind, zurückzuführen.

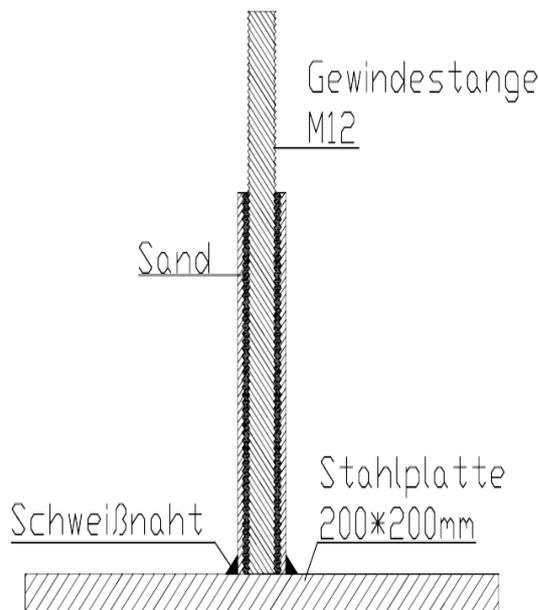


Abbildung 55: Systemskizze des Innengewindeversuches

### 5.11.1 Versuchsdurchführung

In ein Stahlrohr mit einem Innendurchmesser von  $d = 14 \text{ mm}$  und einer Länge von  $l = 100 \text{ mm}$  wird ein M14 Innengewinde geschnitten. Bei den Versuchen mit einem Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.6 \text{ mm}$  verläuft das Bohrloch in einer leichten Spiralbewegung bis ins Bohrlochtiefste (siehe 5.4). Da eine Hülse mit einem Durchmesser von  $d = 14 \text{ mm}$  gerade noch bis ins Bohrlochtiefste gebracht werden kann, wird als minimaler Durchmesser  $d_{min} = 14 \text{ mm}$  angenommen. Das Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.6 \text{ mm}$  wird als maximaler Durchmesser  $d_{max} = 14.6 \text{ mm}$  angenommen. Der Mittelwert von minimalem und maximalem Durchmesser ergibt einen mittleren Durchmesser von  $d = 14.3 \text{ mm}$ . Aus diesem Grund wird der Innendurchmesser des Stahlrohres mittels einer Fräse auf  $d = 14.3 \text{ mm}$  erweitert. Dieses Stahlrohr mit Innengewinde wird auf eine Stahlplatte angeschweißt, welche als Widerlager für die Ausziehversuche dient.

Bei diesem Versuch wird der Sand in exakten Lagen zu je zehn Millimeter eingebaut. Die eingebauten Lagen werden durch Stopfen (siehe Abschnitt 5.45.8) verdichtet (Abbildung 56). Das verwendete Gerät bei diesem Versuch ist der Bohrhammer 3 mit der Geschwindigkeitsstufe 4.

Bei diesen Versuchen ist ein erhöhter Widerstand bereits beim Stopfvorgang erkennbar. Durch den geringen Abstand vom Hüllrohr zum außenliegenden Innengewinde kann beim Stopfvorgang der Sand nicht nach oben ausweichen. Bei einem Stopfversuch in einem Betonkörper mit einem Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.6$  mm hingegen kann beim Stopfvorgang ein geringer Anteil Sand zwischen Bohrlochwand und Stopfrohr nach oben wandern.



Abbildung 56: Innengewindeversuch: links.: Stopfvorgang; rechts.: Ausziehvorgang

### 5.11.2 Versuchsergebnisse

Versuch	$d_{cut}$ [mm]	$d_{spir}$ [mm]	$l_f$ [mm]	$h_s$ [mm]	$N_{u,m}$ [kN]	$\tau_{u,m}$ [Mpa]	CV	$v_{u,m}$ [mm]	Bohrh./ Intens.
339-341	14.6	13.9	100	10	26.4	7.0	0.04	2.4	B3/St.4

Abbildung 57: Parameter des Versuches mit Innengewinde



Abbildung 58: Innengewindeversuch: Verschiedene Stufen beim Ausziehvorgang

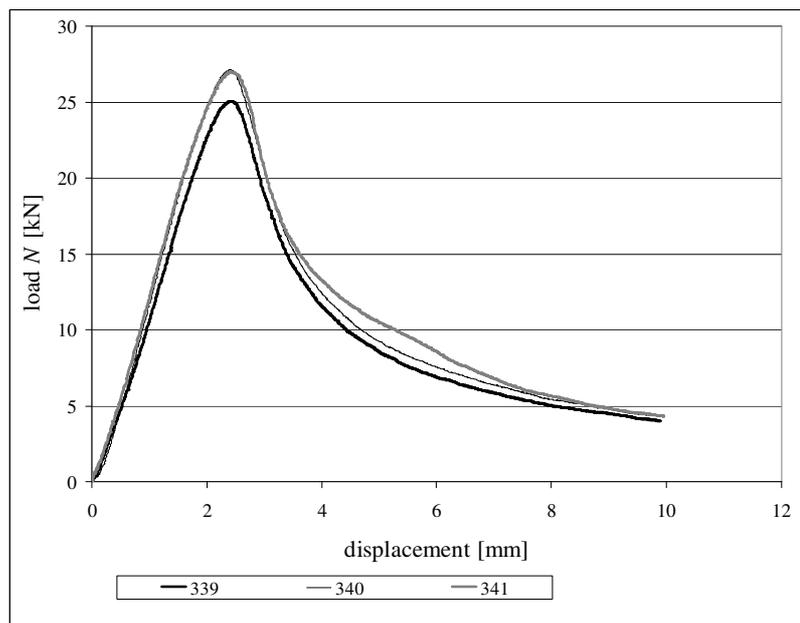


Abbildung 59: Versuchsdurchführung mit Innengewinde

Durch die exakt gleichen Bohrlochsymmetrien aller Innengewinderohre bei diesem Versuch, erhält man sehr einheitliche Versuchsergebnisse mit einem Variationskoeffizienten von nur 4 %. Die Schubspannung in dieser Versuchsreihe beträgt  $\tau_{u,m} = 7.0 \text{ Mpa}$ . Bei den Versuchen im Betonprüfkörper erreicht die Schubspannung  $\tau_{u,m} = 5.7 \text{ Mpa}$ , dies ist ein um 33 % Prozent geringerer Wert. Die Aufzubringende Maximallast um die Gewindestange aus dem Bohrloch zu ziehen, wird bei diesen Versuchen bei einer Verschiebung von  $v_{u,m} = 2.4 \text{ mm}$  erreicht. Durch die Passgenauigkeit des Hüllrohres mit dem Stahlrohr, kann der Sand beim Stopfvorgang nicht nach oben wandern. Die gesamte Schlagenergie wird vom Sand aufgenommen, wobei es auch

vorkommt, dass einige Sandkörner zerstört werden. In Abbildung 58 ist zu erkennen, dass der zerriebene Sand beim Ausziehvorgang in den Gewindegängen bleibt. Auch die Gleichmäßigkeit des Sandes in den Gewindegängen ist bei diesem Versuch zu erkennen. Dies bedeutet, dass die Verdichtung über die gesamte Einbindetiefe optimal durchgeführt wird

## 5.12 Versuch mit einer Vorspannung der Sandsäule

Durch eine Vorspannung der Sandsäule wird versucht, die Druckstreben im Sand zu aktivieren, bevor eine äußere Kraft in das System eingeleitet wird.

### 5.12.1 Versuchsdurchführung

Ein fünf Millimeter langer Ring des Stopfrohres wird an der Unterseite der Gewindestange angeschweißt (Abbildung 60 links). Die Gewindestange wird in das Bohrloch eingeführt und wie in den Exakt-Versuchen 336 – 338 (siehe Abschnitt 5.9) durch Stopfen verdichtet. Nach dem Einbau der zehn Sandlagen wird ein 30 Millimeter langes Stück des Stopfrohres auf die Gewindestange gegeben (Abbildung 60 rechts). Indem die oberen zehn Millimeter des Bohrloches nicht mit Sand verfüllt werden, ragen zehn Millimeter des Stopfrohres in das Bohrloch hinein. Um auf eine effektive Einbindelänge von 100 Millimeter zu gelangen, muss das Bohrloch somit 115 Millimeter tief gebohrt werden. Das Hüllrohr wird mit einer Schraubenmutter in das Bohrloch gepresst. Das Drehmoment mit welchem diese angespannt wird beträgt 50 Nm. Durch den Vorspannvorgang wird das Hüllrohr 2.8 Millimeter tief in das Bohrloch gepresst und die Gewindestange wird zusätzlich im Verlauf des Vorspannvorganges 0.15 Millimeter aus dem Bohrloch herausgezogen. Somit ergibt sich eine Verdichtung des Sandes um 2.95 Prozent. Die Verdichtung der Sandsäule bewirkt eine Erhöhung der Reibung zwischen Sand und Beton aber auch zwischen Sand und Gewindestange. Zusätzlich werden bereits die Druckstreben im Sand ausgebildet, was eine Erhöhung der inneren Reibung des Sandes zur Folge hat.



Abbildung 60: links.: Angeschweißter Ring; rechts.: Hüllrohr zum Einleiten der Vorspannkraft

### 5.12.2 Versuchsergebnisse

Versuch	$d_{cut}$ [mm]	$d_{spir}$ [mm]	$l_f$ [mm]	$h_s$ [mm]	$N_{u,m}$ [kN]	$\tau_{u,m}$ [Mpa]	CV	$v_{u,m}$ [mm]	Bohrh./ Intens.
342-347	14.6	13.9	100	10	26.4	7.0	0.2	1.88	B3/St.4

Abbildung 61: Parameter des Versuches mit Vorgespannter Sandsäule

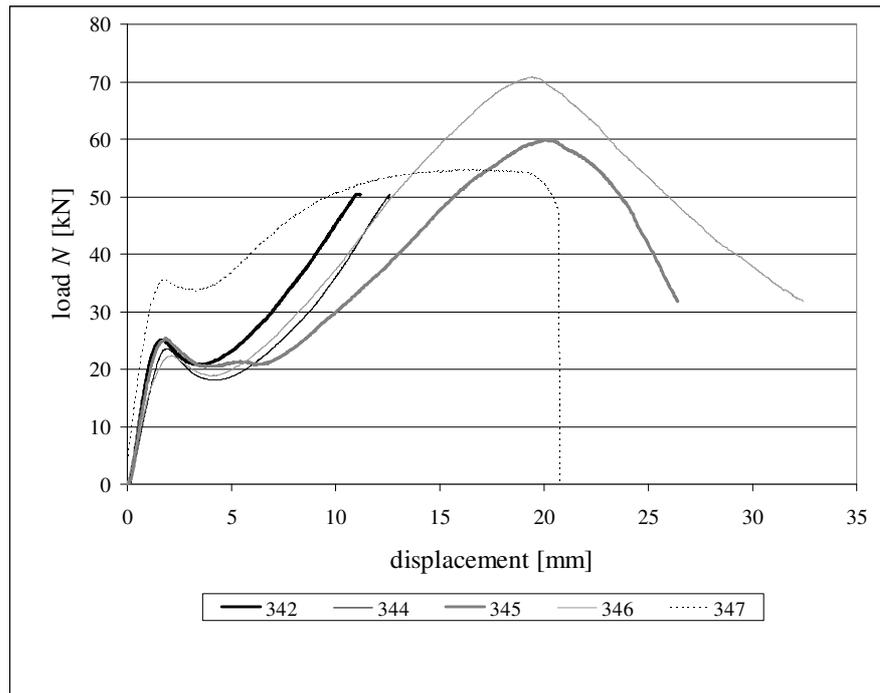


Abbildung 62: Versuchsdurchführung mit einer Vorspannung der Sandsäule



Abbildung 63: Innengewindeversuch: Verschiedene Stufen beim Ausziehvorgang

Nachdem bei diesem Versuch der erste Hochpunkt erreicht wird, erfährt die Sandsäule eine Relaxation. Die Form der Kurve im Kraft-Weg-Diagramm ist im ersten Teil ähnlich der vorangegangenen Versuche. Bei weiterem Herausziehen der Gewindestange erhöht sich jedoch wieder der Kraftbedarf. Nachdem bei den Versuchen 342 und 344 eine Ausziehkraft von 50 kN erreicht wird, wird dieser abgebrochen, da die Kraftmessdose der kleinen Prüfmaschine (Abbildung 28 Mitte) nur bis 50 kN messen kann. Bei den Versuche 345 - 347 wird der Ausziehvorgang jeweils mit der großen Prüfmaschine (Abbildung 32) durchgeführt, um auch den absoluten Hochpunkt der Messkurve auswerten zu können. Dieser zweite Hochpunkt wird bei einer Verschiebung von 20 Millimetern erreicht und beträgt im Mittel 65 kN. Der Versuch 347 hat einen höheren ersten Peak, der zweite Peak hingegen fällt aus, da dieser Versuch mit einer Gewindestange der Güteklasse 6.8 durchgeführt wird. Aus diesem Grund wird dieser Versuch mit einem Stahlbruch der Gewindestange beendet (siehe Abbildung 64). In Abbildung 26 ist die Stahlbruchlast gängiger Gewindegrößen der Festigkeitsklasse 8.8 angeführt.

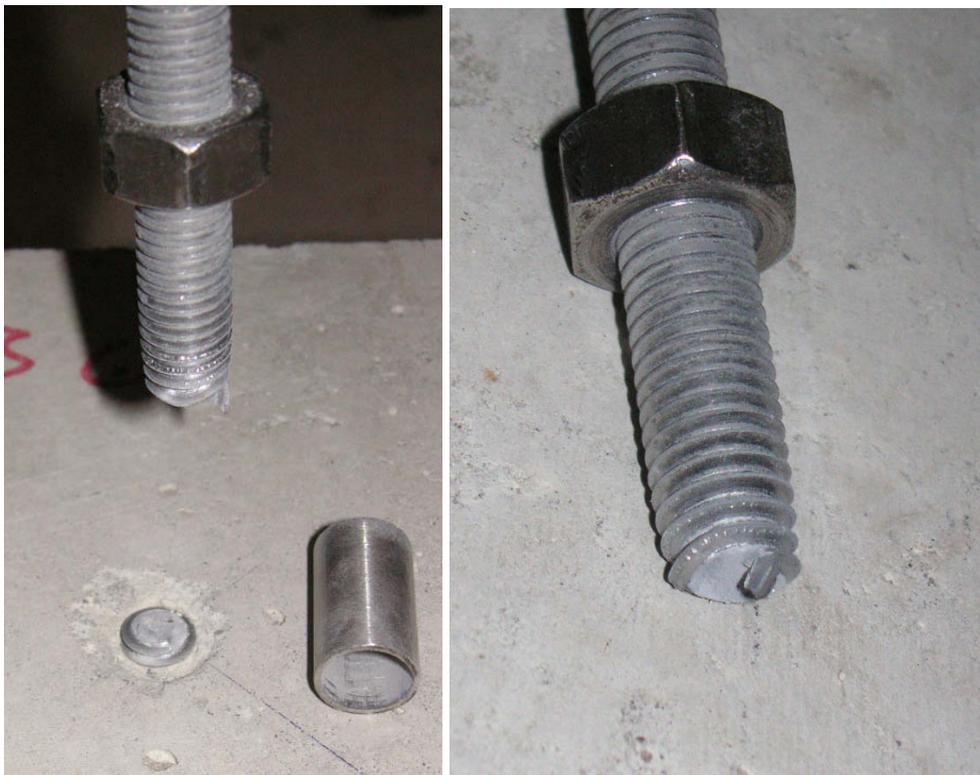


Abbildung 64: Stahlbruch (Versuch 347)

### 5.13 Gegenüberstellung der Parameter

Wird ein Versuch mittels Stopfen verdichtet, weist dieser bei gleicher Verdichtungsintensität eine um 36 % höhere Ausziehkraft, gegenüber einem durch Rütteln verdichteten Versuch auf. Auch die Standardabweichung beim Stopfen ist geringer als jene beim Rütteln. Dies ist Voraussetzung für die Einheitlichkeit und Wiederholbarkeit der Versuchsreihen.

Versuche mit einem Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.3$  mm haben um 59 % geringere Ausziehwerte als die Versuche mit einem Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.6$  mm. Am besten schneiden die Versuche mit einem Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.4$  mm ab. Da bei den Stopfversuchen nur mit einem Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.6$  mm optimal gearbeitet werden kann, wird der Bohrer mit dem Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.4$  mm nicht weiter verwendet.

Wird der Sand befeuchtet, lässt er sich besser verdichten. Da die Feuchtigkeit aber nicht so schnell aus dem Ringspalt entweicht, hat diese noch Einfluss bei den Ausziehversuchen und erzielt somit schlechtere Werte. Um die bessere Verdichtung durch Wasserzugabe ausnützen zu können, muss vor dem Ausziehversuch das Wasser aus dem Sand abgeführt werden.

In Relation zur Länge hat das Bohrloch mit einer Einbindetiefe von  $l_f = 167$  mm eine um 42 % höhere Ausziehkraft aufzuweisen als das Bohrloch mit einer Einbindetiefe von  $l_f = 100$  mm.

Wird eine Lagenstärke von  $h_s = 10$  mm gewählt, anstelle einer Lagenstärke von  $h_s = 20$  mm, so erhöht sich die Ausziehkraft um 108 %. Auch der Variationskoeffizient sinkt von 28 Prozent bei zwanzig Millimeter starken Lagen auf sechs Prozent bei zehn Millimeter starken Lagen.

Ein Probeversuch wird durchgeführt, welcher den Einfluss eines nicht gereinigten Bohrloches auf die Ausziehkräfte aufzeigen soll. Die Werte des nicht gereinigten Bohrloches liegen um 25 Prozent unter jenen eines gereinigten Bohrloches.

Beim Versuch mit einem äußeren Innengewinde aus Stahl wird in zehn Millimeter starken Lagen eingebaut. Gegenüber den Versuchen im Betonkörper mit demselben Einbauverfahren hat der Innengewindeversuch um 50 Prozent höhere Werte.

Bei den Versuchen mit vorgespannter Sandsäule wird der erste Peak bei einer Verschiebung von 1.88 Millimeter erreicht. Die Kraft welche dafür benötigt wird beträgt 26.4 kN. Dieser erste Peak hat gegenüber den Exaktversuchen eine Steigerung der Ausziehkraft von 23 Prozent. Nach einer kurzen Relaxation erfährt dieser Versuch eine weitere Erhöhung der Ausziehkraft auf bis zu 71 kN bei einer Verschiebung von 20 mm.

## 5.14 Dauerstandsversuch

Bei den Dauerstandsversuchen wird versucht eine gleich bleibende Kraft über einen langen Zeitraum aufzubringen. Diese Kraft sollte einen bestimmten Prozentsatz der maximalen Ausziehkraft erreichen. Dazu sind Tastversuche notwendig um im Vorhinein abzuschätzen welche Maximalkraft ein Versuch aufweist ohne den Versuch ziehen zu müssen. Wenn eine zu geringe Kraft aufgebracht wird, wird das Kraft-Weg-Diagramm zu flach ausfallen und die Werte können nicht mit bereits vorhandenen verglichen werden. Wenn jedoch eine zu große Kraft aufgebracht wird, besteht die Gefahr, dass der Langzeitversuch bereits während der Kraftaufbringung, oder nach kurzer Zeit unter Belastung versagt. Aus diesem Grund ist es sehr wichtig die Ausziehkräfte bei verschiedenen Verdichtungsmethoden möglichst genau vorhersagen zu können und die Streuung in den Versuchen möglichst gering zu halten.

Die Tastergebnisse ergeben einen Mittelwert der Ausziehkraft von 18 kN (siehe Abbildung 66). Beim anschließend durchgeführten Dauerstandsversuch wird eine Kraft von 14 kN gewählt, welche 77 Prozent der Durchschnittskraft bedeuten.

Versuch	$d_{cut}$ [mm]	$d_{spil}$ [mm]	$l_f$ [mm]	$h_s$ [mm]	$N_{u,m}$ [kN]	$\tau_{u,m}$ [Mpa]	CV	$v_{u,m}$ [mm]	Bohrh./ Intens.
324 I-326 I	14.6	13.9	100	15	18.0	4.62	0.24	1.5	B2/mittel

Abbildung 65: Parameter des Tastversuches für den Dauerstandsversuch

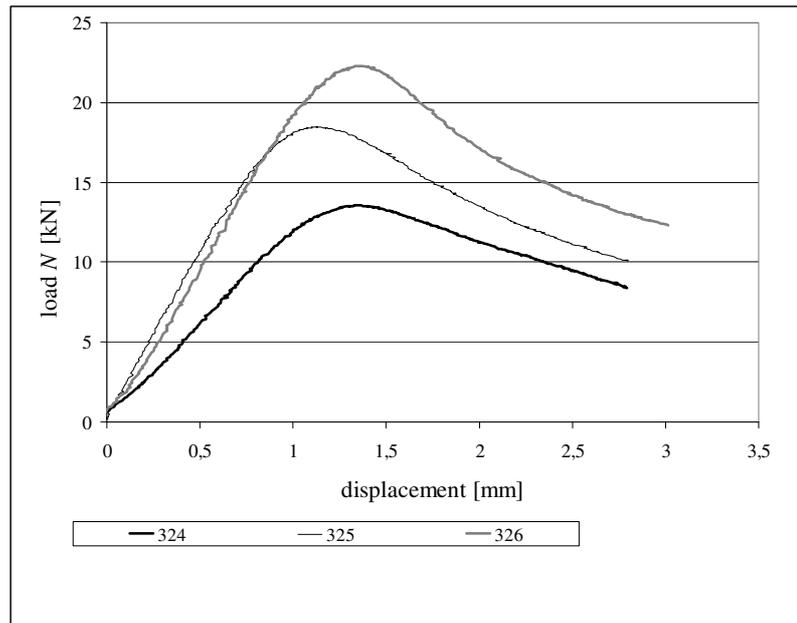


Abbildung 66: Tastergebnisse zum Langzeitversuch

### 5.14.1 Versuchsaufbau

Beim Dauerstandsversuch werden Prüfwürfel der Dimension  $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}^3$  verwendet. In diese werden zentrisch Löcher, mit einem Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.6 \text{ mm}$  gebohrt. Die Verdichtung erfolgt durch Stopfen in 20 mm Lagen. Zwischen Prüfwürfel und Drucktopf wird eine Stahlplatte gelegt, da die Aufstandsfläche des Drucktopfes größer ist als jene des Prüfwürfels. Die Drucktöpfe werden vorher kalibriert, um richtige Ergebnisse zu erhalten. Mittels einer Schraubverbindung werden die Drucktöpfe mit der Gewindestange verbunden. Ein langsamer Druckaufbau auf  $P = 4.82 \text{ bar}$  Luft bewirkt eine Ausziehungskraft von  $N = 14 \text{ kN}$ . Die Druckregulierung erfolgt über ein Manometer mit einer mechanischen Druckregulierung. Die Druckluftleitung ist an das hausinterne Druckluftnetz angeschlossen, dies gewährleistet, dass der eingestellte Druck von 4.82 bar ständig zur Verfügung steht. Das Ablesen der Veränderung des Weges erfolgt mittels einer digitalen Schiebelehre. Auf Basis der ausgewerteten Messreihen ist mit einer Messungenauigkeit von 0.02 mm zu rechnen. Dieser Fehler basiert auf der nicht exakten Handhabung der Schiebelehre.

Dieser Langzeitversuch wird im Prüflabor des Instituts im Keller des Schwackhöfer-Hauses durchgeführt. Um für den Langzeitversuch relevante Klimadaten zu erhalten, wird ein Datenlogger installiert, welcher die Raumtemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit misst. Luftfeuchtigkeiten von unter 15 Prozent werden bei diesem Gerät nicht gemessen.

Je nach Wetterlage schwankt die Luftfeuchtigkeit im Labor stark. Die Temperaturkurve hingegen verläuft sehr einheitlich, da der Versuch in den Wintermonaten durchgeführt wird und der Keller ständig beheizt wird.

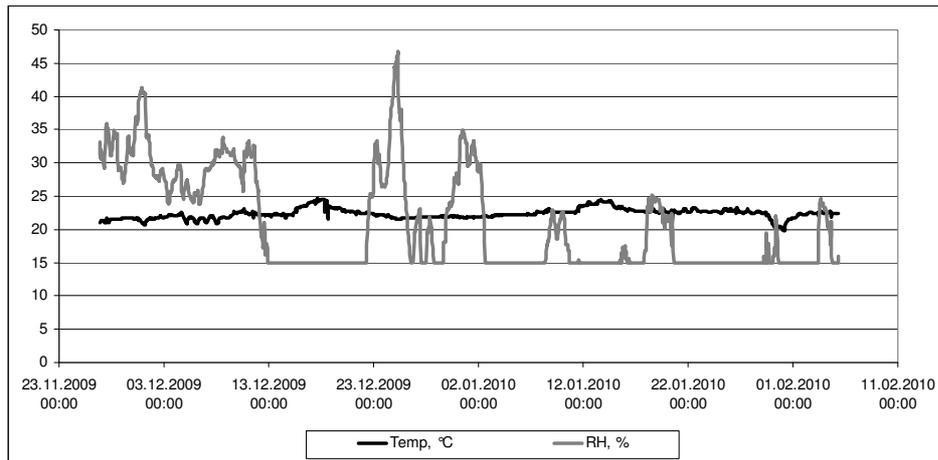


Abbildung 67: Temperatur und Luftfeuchtemessung während der Durchführung des Dauerstandsversuches

### 5.14.2 Versuchsergebnisse

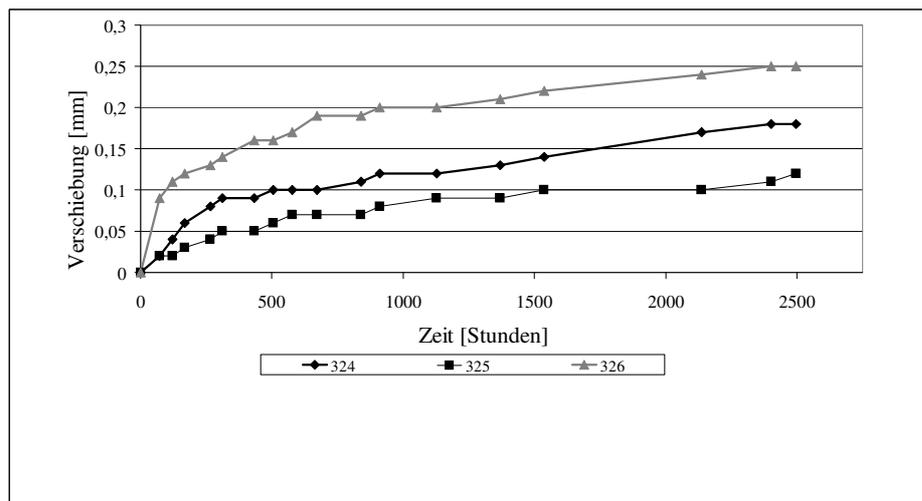


Abbildung 68: Weg-Zeit Diagramm Dauerstandsversuch

Versuch	$d_{cut}$ [mm]	$d_{spir}$ [mm]	$l_f$ [mm]	$h_s$ [mm]	$N_{u,m}$ [KN]	$\tau_{u,m}$ [Mpa]	CV	$v_{u,m}$ [mm]	Bohrh./ Intens.
324 I-326 I	14.6	13.9	100	15	18.6	4.78	0.04	1.27	B2/mittel

Abbildung 69: Parameter des Dauerstandsversuches

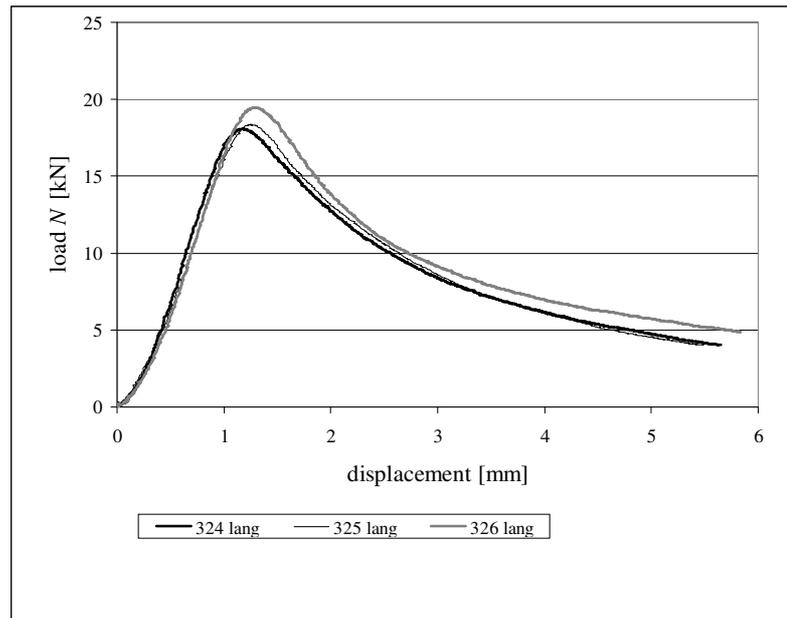


Abbildung 70: Resthaltekraft Dauerstandsversuch nach 2500 Stunden



Abbildung 71: Drucktopf zum Aufbringen der Last bei den Dauerstandsversuchen

In Abbildung 68 ist das Weg-Zeit Diagramm des Dauerstandsversuches mit einer Ausziehungskraft von 14 kN dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass die Verformungskurve abflacht, aber auch noch nach 2500 Stunden Dauerbelastung Veränderungen aufweist. Um die Resthaltekraft zu bestimmen wird zuerst der Druck von der Anlage abgeleitet und die Prüfwürfel ausgebaut. Danach wird mit der kleinen Prüfmaschine die Gewindestange bis zum Versagen belastet. Das Kraft-Weg Diagramm des Dauerstandsversuches ist in Abbildung 70 zu sehen. Die Mittlere maximale Schubspannung bei diesen Versuchen beträgt  $\tau_{u,m} = 4.78 \text{ Mpa}$  und die maximale

Normalkraft ist  $N_{u,m} = 18.6$  kN. Der Variationskoeffizient dieser Versuchsreihe beträgt  $CV = 4\%$ . Eine Berechnung der Dauerlast ergibt, dass der Versuch über diese 2500 Stunden mit 75 % der maximalen Ausziehungskraft belastet wird. Diese Werte beweisen, dass eine Dauerbelastung über 2500 Stunden mit 75 % der maximalen Ausziehungskraft, keine Minderung dieses Maximalwertes zur Folge hat. Die geringen Unterschiede der maximalen Ausziehungskraft, sind im Bereich der Abweichungen, welche beim händischen Einbau entstehen.

## 6. Ausblick

Ein Punkt der noch durchzuführen wäre, ist der Versuch, bei dem die Variation der Feuchtigkeit genauer untersucht wird. Die Möglichkeit eine Verbesserung der Werte zu erzielen besteht darin, die Feuchtigkeit aus dem feucht verdichteten Sand herauszubringen. Dies gelingt, indem der Versuchskörper nach dem feuchten Einbau der Gewindestange in die Trockenkammer gestellt wird. Eigene Versuche müssen durchgeführt werden, um die Zeit zu bestimmen, die notwendig ist um die besten Werte zu erzielen.

Ideal wäre auch den Stopfversuch in einem tieferen Bohrloch durchzuführen, dazu müssten aber ein neuer Bohrer und ein dazupassendes Stopfrohr verwendet werden. Es besteht die Möglichkeit ein Bohrloch mit einem Diamantbohrgerät herzustellen. Die Bohrlochsymmetrien bei diesem wären dann einheitlich. Somit könnte dann auch mit dem Stopfrohr in größeren Tiefen gearbeitet werden.

Wenn die Prüfvorrichtung fertig gestellt ist, kann daran gearbeitet werden, einen Langzeitversuch herzustellen, der über mehrere Jahre bis Jahrzehnte betrieben wird. Hier sind sowohl die exakte Durchführung, sowie die angewandten Parameter für den Versuchsaufbau mit einem M12 Gewindestab zusammengefasst. Der zu verwendende Bohrer muss ein Bohreckmaß von 14.6 Millimeter und einen Spiraldurchmesser von 13.9 Millimeter aufweisen. Weiters wird eine M12 Gewindestangen der Festigkeitsklasse 8.8 verwendet. Sollte ein Gewindestab mit einer anderen Dimension verwendet werden, müssen die Bohrlochsymmetrien neu ermittelt werden. Um den Sand zu verdichten benötigt man ein Stopfrohr welches ohne Zwischenraum auf die Gewindestange passt. Der Außendurchmesser des Stahlrohres ist so zu wählen, dass dieses bis in das Bohrlochtiefe gelangen kann. Mit dem hier beschriebenen Bohrer und einer Einbindetiefe von 100 Millimeter, wäre ein Außendurchmesser von 14 Millimeter notwendig. Bei den ersten Versuchen muss der Sand, der in das Bohrloch eingebracht wird, abgewogen werden. Bei den nächsten Versuchen muss die gesamte Sandmenge so eingeteilt werden, dass die eingebauten Lagen eine Lagendicke von 10 Millimeter erreichen. Wird in einer größeren Lagendicke eingebaut, verringert sich die Schubspannung, die beim Herausziehen der Gewindestange erreicht wird. Mit jedem Gerät, das zum Verdichten verwendet wird, werden andere Verdichtungsintensitäten erzielt. Daher müssen mit dem jeweiligen Gerät Versuche durchgeführt werden um zu erfahren welche Schubspannungen gerade erzielt werden. Der Verdichtungsprozess läuft wie folgt ab. Zuerst wird die Gewindestange in das Bohrloch gestellt. Die berechnete Menge Sand wird zwischen Gewindestange und Bohrlochwand in das Bohrloch geschüttet. Danach kommt das Stopfrohr in den Ringspalt. Mittels Adapter und Bohrmaschine wird das Stopfrohr eine Sekunde in Vibration versetzt. Die Gewindestange wird festgehalten und dabei das Stopfrohr mittels Drehbewegungen leicht angehoben. Sand, der zwischen Gewindestange und Stopfrohr festgeklemmt ist, kann sich lösen. Dieser Vorgang wiederholt sich in jeder Lage fünf Mal. Nachdem die Lage fertig verdichtet ist, wird das Stopfrohr zur Gänze aus dem Ringspalt genommen und die Menge Sand für den nächsten Versuch hinein gegeben. Der nächste Stopfvorgang beginnt. Ist das Bohrloch bis oben hin mit Sand verfüllt, kann der Prüfkörper entweder als Kurz- oder Langzeitversuch ausgewertet werden.

## 7. Zusammenfassung

Ein Verbundmörtel besteht zum Großteil aus Quarzsand und Epoxydharz. Die Festigkeit des Epoxydharzes nimmt im Laufe der Jahre infolge von Umwelteinflüssen ab, jene von Quarzsand jedoch kann als konstant bezeichnet werden. Ziel ist es, das Langzeitverhalten von Sand in einem Bohrloch festzustellen, indem eine Kraft über einen langen Zeitraum aufgebracht und die Verformung gemessen wird.

Dafür ist es besonders wichtig, einheitliche und reproduzierbare Verdichtungsmethoden zu entwickeln. Auch hängt die Festigkeit davon ab, wie viel Sand in das Bohrloch gelangt. Je mehr Sand in das Bohrloch gebracht wird, umso mehr Druckstreben können sich im Sand zwischen Ankerstange und Bohrlochwand aufbauen. Diese Druckstreben wiederum führen die Belastung, welche auf die Ankerstange aufgebracht wird, zur Bohrlochwand weiter.

In den Versuchen werden verschiedene Parameter verändert, um die optimale Verdichtungsmethode herauszufinden.

- Verdichtungsart (Rütteln – Stopfen)
- Bohreckmaß  $d_{cut}$
- Feuchtigkeit
- Einbindetiefe  $l_f$
- Verschieden starke Lagen  $h_s$
- Äußeres Innengewinde
- Vorspannen der Sandsäule

Die ersten Versuche werden gerüttelt. Um den Sand in den Ringspalt zwischen Gewindestange und Bohrlochwand zu bekommen wird die gesamte Stange in Vibration versetzt. Dies geschieht indem mittels eines Bohrhammers an der Stirnseite der Gewindestange gerüttelt wird. Eine dazwischengelegte Stahlscheibe verhindert, dass die Gewindestange durch den Bohraufsatz Schaden nimmt. Zu starkes Rütteln bewirkt, dass bereits verdichtete, tiefer liegende Sandschichten wieder gelockert werden und somit nicht zufrieden stellende Ergebnisse erzielt werden. Durch das Stopfen kann der Sand in mehreren Lagen eingebaut und verdichtet werden, ohne tiefer liegende bereits verdichtete Schichten wieder zu lockern. Beim Stopfen wird ein Stahlrohr zwischen Bohrlochwand und Gewindestange in den Ringspalt geführt. Dieses Stahlrohr wird wiederum durch einen Bohrhammer in Vibration versetzt und dadurch der Sand verdichtet.

Da bei einem Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.3$  mm das Stahlrohr  $d = 14$  mm, welches zum Stopfen benötigt wird, nicht bis ins Bohrloch tiefste geführt werden kann, muss für die Stopfversuche auf ein Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.6$  mm erweitert werden. Ein Bohrer mit einem Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.3$  mm hat einen Spiraldurchmesser von  $d_{spir} = 12.6$  mm. Wenn der Bohrkopf auf

ein hartes Zuschlagkorn der Betonmatrix trifft, kann der Bohrer somit 0.85 mm sowohl nach links als auch nach rechts ausweichen. Dadurch weist das Bohrloch einen spiralförmigen Gang auf und das Stahlrohr kann nur 15 mm in den Ringspalt eingeführt werden.

Der Vergleich von Stopfen und Rütteln kann nur bei einem Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.6$  mm erfolgen. Ein durch Stopfen verdichteter Versuch erzielt gegenüber einem gerüttelten Versuch im Mittel um 36 Prozent höhere Schubspannungen. Die besten Werte bei den Rüttelversuchen erhält man bei einem Bohreckmaß von  $d_{cut} = 14.4$  mm. Da das Stahlrohr bei diesem Bohreckmaß aber nicht bis ins Bohrlochtiefe geführt werden kann, kann in diesem Bereich nicht zwischen Stopfen und Rütteln verglichen werden.

Um mehr Sand in den Ringspalt zu bekommen, wird versucht, den Reibungswiderstand des Sandes herabzusetzen. Dies geschieht indem der bereits verdichtete Sand befeuchtet und nochmals gerüttelt wird. Obwohl im feuchten Zustand mehr Sand in den Ringspalt gebracht werden kann, sind die Werte bei den Ausziehversuchen der feuchten Proben im Mittel um 50 Prozent geringer. Die feuchten Proben werden erst nach fünf Tagen gezogen. Dies reicht aber nicht aus um den Reibungswiderstand des Sandes wieder zu erhöhen. Um hier bessere Werte zu erzielen muss die absolute Feuchtigkeit im Ringspalt reduziert werden.

Ein Versuch mit einer Einbindetiefe von  $l_f = 167$  mm weist eine um 42 Prozent höhere Schubspannung als in dem Versuch mit einer Einbindetiefe von  $l_f = 100$  mm auf. Ein Grund für die höheren Spannungen ist die Verwendung des schweren Bohrhammers. Weiters reduziert die größere Einbindetiefe das Ausweichen des Sandes nach oben. Dies bewirkt im unteren Bereich einen besser aufgebauten dreidimensionalen Spannungszustand und somit stabilere Druckstreben.

Weiters wird versucht, den Sand in verschiedenen starken Lagen einzubauen. Die ersten Versuche werden mit einer Lagenstärke von 20 mm durchgeführt. In weiterer Folge wird die Lagenstärke auf 10 mm halbiert, dies führt zu einer Verdoppelung der erzielten Ausziehungskraft. Bei diesem Versuch wird erstmalig der Bohrer 3 verwendet. Dieses Gerät besitzt ein Stellrad, mit welchem die Rüttelintensität in sieben verschiedenen Stufen fixiert werden kann. Damit wird sichergestellt, dass die Versuche gleichmäßig verdichtet und diese jederzeit nachvollziehbar sind.

Auch in Lagenstärken von 10 mm, durch Stopfen verdichtet, wird ein Versuch durchgeführt, bei welchem allerdings die Reinigung des Bohrloches nach dem Bohren nicht durchgeführt wird. Bei einem 100 mm tiefen Bohrloch bleibt so viel Bohrmehl im Bohrloch zurück, dass die effektive Einbindelänge nur noch 90 mm beträgt. Dies ist eine Reduktion der Einbindelänge um zehn Prozent. Der gesamte Versuch weist allerdings eine um 25 Prozent verringerte Schubspannung auf.

Der nächste Versuch wird nicht in einem Bohrloch durchgeführt. Als äußeres Interface wird ein Stahlrohr verwendet, in welches ein Innengewinde geschnitten wird. Damit sollte verhindert werden, dass das Interface an der Außenseite die schwächste Stelle im System darstellt. Wenn sowohl das Interface Gewindestange - Sand als auch das Interface Sand - äußeres Innengewinde nicht versagen, muss die schwächste Stelle im Sand liegen. Somit kann festgestellt werden, welche Kräfte der Sand übertragen kann, bevor die auftretenden Druckstreben versagen. Die Spannung welche aufgebracht wird, um die Gewindestange herauszuziehen steigt gegenüber den Versuchen im Beton um 23 Prozent. Es sind aber nicht wie vermutet die Druckstreben welche versagen, sondern wiederum das Interface an der Außenseite. Dies erkennt man daran, dass fast der gesamte Sand beim Herausziehen an der Gewindestange haften bleibt und mit aus dem Bohrloch befördert wird. Angenommen wird,

dass die genaue Passung des Stopfrohrs ein besseres Stopfen des Sandes möglich macht und daher um 23 Prozent höhere Schubspannungen erzielt werden.

Um die Druckstreben in der Sandsäule zu aktivieren, bevor eine äußere Kraft aufgebracht wird, wird im nächsten Versuch die Sandsäule vorgespannt. Dies geschieht, indem eine Schraubenmutter, angedreht mit einem Drehmoment von 50 Nm, ein Hüllrohr in das Bohrloch presst. Als Gegenspieler wird an der Unterseite der Gewindestange ein fünf Millimeter starkes Stück des Hüllrohres angeschweißt. Dies verhindert ein Durchziehen der Gewindestange während des Vorspannvorganges. Der bereits vorverdichtete Sand wird bei diesem Vorspannen nochmals um drei Prozent verdichtet und somit erhöht sich die erzielte Schubspannung dieses Versuches um 23 Prozent. Nachdem ein erster Hochpunkt erreicht wird, sinkt die Kraft-Weg Kurve wieder. Bei weiterem herausziehen der Gewindestange aus dem Bohrloch und einem zurückgelegten Weg von 3.0 Millimeter beginnt die aufzubringende Kraft wieder anzusteigen. Maximale Schubspannungen von  $\tau_{u,m} = 18 \text{ Mpa}$  werden bei diesem Versuch erreicht. Ein Grund warum dies geschieht könnte sein, dass der Sand zwischen dem angeschweißten Stück des Hüllrohres, an der Unterseite der Gewindestange und der Bohrlochwand hineingepresst wird und sehr hohe Reibungskräfte verursacht. Dadurch würde diese Verankerung nach dem ersten Peak ähnlich wie ein Spreizdübel funktionieren. Eine Gesamtverschiebung von 20 mm um den zweiten Peak zu erreichen ist aber zu groß, um diese in der Praxis einzusetzen. Es ist aber interessant zu erfahren, welche Schubspannungen dieser Anker, ohne die Verwendung chemischer Verbundmittel, aufnehmen kann.

Die Auswertung des Dauerstandsversuches nach 2500 Stunden mit konstanter Last ergibt, dass dieser Versuch mit 75 Prozent der Resthaltekraft durchgeführt wird. Es sind nach diesem Zeitraum noch immer erhebliche Änderungen im Weg-Zeit Diagramm zu erkennen (siehe Abbildung 70). Daher sollte ein Langzeitversuch durchgeführt werden, welcher eine wesentlich längere Standzeit aufweist. Erkennbar ist, dass die 2500 Stunden Dauerbelastung sich nicht negativ auf die erzielten Schubspannungen auswirken.

## 8. Abkürzungen

### 8.1 Variablen

$l$	Länge, Gesamtlänge des Betonkörpers (Ausdehnung in $x$ -Richtung)
$b$	Breite des Betonkörpers (Ausdehnung in $y$ -Richtung)
$h$	Betonkörperhöhe (Dicke, Ausdehnung in $z$ -Richtung)
$a$	Auflagerabstand
$h_0$	Bohrlochtiefe
$h_{ef}$	effektive Einbindetiefe des Ankers
$h_s$	Lagendicke des eingebauten Sandes
$l_f$	effektive Einbindetiefe des Ankers (entspricht meist $h_{ef}$ )
$c_1$	Randabstand in Krafrichtung
$c_2$	Randabstand normal zur Krafrichtung
$s_1$	Achsabstand der Anker in Krafrichtung
$s_2$	Achsabstand der Anker normal zur Krafrichtung
$d ; d_{nom}$	Durchmesser, Ankerdurchmesser
$d_{cut}$	Durchmesser der Betonbohrung (Bohrkopf des Betonbohrers)
$d_{spir}$	Durchmesser der Spirale des Betonbohrers
$a_{cl}$	Lochspiel
$a_{cl,1}$	normales Lochspiel gemäß ETAG 001
$\Delta$	Aktivierungsabstand zwischen den Ankern bei Mehrfachbefestigungen
$F_{exp}$	Spreizkraft bei Dübelverbindungen
$P$	Aufzubringender Luftdruck bei den Drucktöpfen
$N$	Normalkraft zum Herausziehen der Gewindestange (Ausziehungskraft)
$f_{cc,150}$	(mittlere) Betondruckfestigkeit, 150 mm Würfeldruckfestigkeit

<i>CV</i>	Variationskoeffizient
<i>v<sub>u</sub></i>	Verschiebung bei maximaler Ausziehungskraft
<i>v<sub>u,m</sub></i>	Mittelwert der Verschiebung bei maximaler Ausziehungskraft bei mehreren Versuchen

## 8.2 Buchstaben als Index

<i>u</i>	beim Maximalwert (Bruch) – Ultimate
<i>c</i>	von Beton – Concrete
<i>min</i>	minimal
<i>max</i>	maximal
<i>m</i>	Mittelwert
<i>tot</i>	gesamt
<i>t</i>	Zug – Tension
<i>y</i>	Fließen – Yield

## 9. Literatur

- [1] Bergmeister, K., Fingerloos, F. und Wörner, J.-D.: Betonkalender 2009, Verlag Ernst & Sohn 2009, 660 Seiten
- [2] Eligehausen, R., Mallee, R. und Rehm, G.: Befestigungstechnik in: Betonkalender 1997, Verlag Ernst & Sohn 1997
- [3] Eligehausen, R., Mallee, R. und Silva, J.F.: Anchorage in Concrete Construction, Verlag Ernst und Sohn 2006, 378 Seiten
- [4] Fischer: Technisches Handbuch Europa, Fischerwerke Arthur Fischer GmbH & Co. KG, D-72178 Waldachtal, Ausgabe 1, 2006
- [5] Fischer: <http://www.fischer.at/desktopdefault.aspx/tabid-1553/>, (15.12.2010)
- [6] Fischer:  
[http://apps.fischer.de/poc/default.aspx?page=details&layertype=Z&sprache=d&kat=\\$MART-HK-\\$MKAT-HK-\\$MPG-CHEMIE-\\$MZG-EURO-\\$MUG-F99&ekat=\\$EKAT-HK-DE](http://apps.fischer.de/poc/default.aspx?page=details&layertype=Z&sprache=d&kat=$MART-HK-$MKAT-HK-$MPG-CHEMIE-$MZG-EURO-$MUG-F99&ekat=$EKAT-HK-DE), (01.08.2009)
- [7] Fuchs, W. Eligehausen, R.: Zum Kriechverhalten von Verbunddübeln unter Zugbeanspruchung, Universität Stuttgart, S.42-53, <http://129.69.59.201/bibliothek/festschr/fuchs.pdf> (16.12.2010)
- [8] Hilti: Handbuch der Befestigungstechnik – Hilti Aktiengesellschaft FL-9494 Schaan, Fürstentum Lichtenstein, Ausgabe 2005
- [9] Hilti:  
[http://www.hilti.at/holat/page/module/product/prca\\_rangedetail.jsf?lang=de&nodeId=-29357](http://www.hilti.at/holat/page/module/product/prca_rangedetail.jsf?lang=de&nodeId=-29357), (15.12.2010)
- [10] Huber, G., Riccabona, C.: Baustoffkunde, Verlag Manz 1997, 3. Auflage
- [11] Itasca: <http://www.itasca.de/pages/software/pfc2d/pfc2d.html>, (15.01.2011)
- [12] Lang, G.: Festigkeitseigenschaften von Verbundanker-systemen, Bauingenieur 54, 1979
- [13] Mallee, R.: „Befestigungs und Verbindungstechnik“ Vorlesungsunterlagen, Universität für Bodenkultur. 2005, 109 Seiten
- [14] Meszaros, J.: Lehr, B. Tragverhalten von Einzelbefestigungen mit chemischen Dübeln unter zentrischer Belastung, Universität Stuttgart; <http://129.69.59.201/bibliothek/festschr/meszaros.pdf>, (16.12.2010), S. 257-271
- [15] Mertain, W.: Entwicklung einer Messmethode in belasteten Dübeln, Diplomarbeit, FH Technikum Wien 2010, 138 Seiten

- [16] Mihala, R.: Wieviel Kleber braucht ein Verbundmörtel, Forschungsarbeit, Universität für Bodenkultur. 2010, 2 Seiten, Nicht veröffentlicht.
- [17] Moro, J.L.: Baukonstruktion vom Prinzip ins Detail Band 1, Verlag Springer 2009, S.174-184
- [18] National Transportation Safety Board (2007):  
<http://www.ntsb.gov/publictn/2007/HAR0702.pdf>; (16.12.2010)
- [19] Spieth, H.: Tragverhalten und Bemessung von eingemörtelten Bewehrungsstäben  
Dissertation, Universität Stuttgart. 2002, 285 Seiten

## 10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Herabgestürzte Deckenelemente,( National Transportation Safety Board [18]) ...	4
Abbildung 2: Langzeitverformung der Deckenbefestigung, (National Transportation Safety Board [18]) .....	4
Abbildung 3: Theoretischer Druckstrebenaufbau zwischen Gewindestange und Bohrlochwand; (Mihala [16]) .....	5
Abbildung 4: Wirkprinzip von Spreizdübeln, (Fischer[4]) .....	7
Abbildung 5: Wirkprinzip von Hinterschnittdübeln, (Fischer[4]) .....	7
Abbildung 6: Wirkprinzip von Reaktionsankern, (Fischer[4]) .....	8
Abbildung 7: Spannungs-Dehnungs-Diagramm Baustahl, (Moro [16]) .....	11
Abbildung 8: Montage von Verbundankern, (Fischer[4]).....	12
Abbildung 9: Handelsüblicher Verbundmörtel, (Hilti[8]).....	13
Abbildung 10: Verbundsystem mit Glaspatrone, (Fischer[5]).....	13
Abbildung 11: Betonausbruch bei einem Einzelanker, (Fischer[4]) .....	14
Abbildung 12: Versagen durch Spalten, (Fischer[4]).....	14
Abbildung 13: Betonkantenbruch, (Fischer[4]) .....	14
Abbildung 14: Stahl Materialversagen, (Fischer[4]).....	15
Abbildung 15: a1)Versagen durch Herausziehen; a2)Versagen durch Durchziehen,(Fischer[4]) .....	15
Abbildung 16: Aushärtezeit für Fischer Reaktionsanker in trockenem bzw. feuchtem Beton (Eurobond), (Fischer[4]).....	16
Abbildung 17: Versagen der Aufhängung im Boston Tunnel, (National Transportation Safety Board [18]) .....	17
Abbildung 18: stetig ansteigende Last-Verschiebungskurve links Kurzzeitversuch; rechts: Dauerbelastung, (Fuchs[7]) .....	17
Abbildung 19: Verschiebungsverhalten von Verbunddübeln M10 - M24 (ungesättigter Polyester) bei zentrischer Zugbeanspruchung, (Lang[12]) .....	18
Abbildung 20: Verschiebung in Z-Richtung, FEM Methode.....	20
Abbildung 21: Hauptverzerrungen, FEM Methode.....	20
Abbildung 22: Gewindemodellierung, (Mertain[15]) .....	21
Abbildung 23: Simulation des Sandversuches, links Anfangszustand; rechts: Endzustand, (Mertain[15]) .....	22
Abbildung 24: Vertikalkraftverlauf M5 und M12 sowie Ergebnis eines vergleichbaren Sandversuches, (Mertain[15]) .....	23
Abbildung 25: Korngrößenverteilung Sand 0.1 - 0.4 mm und handelsüblicher Klebemörtel ...	24
Abbildung 26: Stahlbruchlast gängiger Gewindegrößen unter Zuglast (Festigkeitsklasse 8.8)	25
Abbildung 27: Theoretischer Druckstrebenaufbau zwischen Gewindestange und Bohrlochwand, (Mihala [16]).....	26
Abbildung 28: links: Betonplatte mit Bohrhämmer; mitte: Prüfmaschine; rechts: Adapter .....	26
Abbildung 29: Systemskizze der Tastversuche .....	27
Abbildung 30: Verwendete Bohrhämmer (v.l.n.r Bohrhämmer 1, 2, 3) .....	27
Abbildung 31: Eckdaten der verwendeten Bohrhämmer .....	28
Abbildung 32: Große Prüfmaschine im Labor des Institutes .....	28
Abbildung 33: Vergleich der Schlagstärke der Bohrhämmer 1 und 2 mit Bohrhämmer 3 .....	29
Abbildung 34: Zwischengelegte Stahlscheibe beim Rüttelversuch .....	30
Abbildung 35: Parameter des Rüttelversuches .....	31
Abbildung 36: Ergebnisse des Rüttelversuches .....	31
Abbildung 37: Gewindestange während und nach herausziehen aus dem Bohrloch.....	32
Abbildung 38: Stopfversuch mit Hüllrohr und Adapter .....	33

Abbildung 39: Parameter des Stopfversuches .....	33
Abbildung 40: Ergebnisse des Stopfversuches.....	33
Abbildung 41: links: Gewindestange während des Ausziehvorganges; rechts: Sand an der gezogenen Gewindestange .....	34
Abbildung 42: Bohrer mit unterschiedlichem Bohreckmaß und Spiraldurchmesser.....	35
Abbildung 43: Parameter des Versuches bei verschiedenen Bohreckmaßen $d_{cut}$ .....	35
Abbildung 44: Parameter des Versuches bei Variation der Feuchtigkeit.....	36
Abbildung 45: Variation der Feuchtigkeit.....	37
Abbildung 46: Sand klebt an der Gewindestange nach dem Herausziehen .....	37
Abbildung 47: Parameter des Versuches bei Variation der Einbindetiefe $l_f$ .....	38
Abbildung 48: Parameter des Versuches bei Variation der Lagendicke $h_s$ .....	39
Abbildung 49: links: Einbau in 20 mm Lagen; rechts: Einbau in 10 mm Lagen.....	39
Abbildung 50: Parameter des Versuches mit exaktem Lageneinbau .....	40
Abbildung 51: Gewindestange während Ausziehvorganges.....	41
Abbildung 52: Versuch mit exaktem Lageneinbau. Links:16 mm Lagen; rechts:10 mm Lagen	41
Abbildung 53: Parameter des Versuches ohne Bohrlochreinigung.....	42
Abbildung 54: Ergebnisse des Versuches ohne Bohrlochreinigung .....	42
Abbildung 55: Systemskizze des Innengewindeversuches .....	43
Abbildung 56: Innengewindeversuch: links.: Stopfvorgang; rechts.: Ausziehvorgang .....	44
Abbildung 57: Parameter des Versuches mit Innengewinde.....	44
Abbildung 58: Innengewindeversuch: Verschiedene Stufen beim Ausziehvorgang .....	45
Abbildung 59: Versuchsdurchführung mit Innengewinde .....	45
Abbildung 60: links.: Angeschweißter Ring; rechts.: Hüllrohr zum Einleiten der Vorspannkraft .....	46
Abbildung 61: Parameter des Versuches mit Vorgespannter Sandsäule.....	47
Abbildung 62: Versuchsdurchführung mit einer Vorspannung der Sandsäule .....	47
Abbildung 63: Innengewindeversuch: Verschiedene Stufen beim Ausziehvorgang .....	47
Abbildung 64: Stahlbruch (Versuch 347).....	48
Abbildung 65: Parameter des Tastversuches für den Dauerstandsversuch .....	49
Abbildung 66: Tastergebnisse zum Langzeitversuch.....	50
Abbildung 67: Temperatur und Luftfeuchtemessung während der Durchführung des Dauerstandsversuches.....	51
Abbildung 68: Weg-Zeit Diagramm Dauerstandsversuch .....	51
Abbildung 69: Parameter des Dauerstandsversuches.....	51
Abbildung 70: Resthaltekraft Dauerstandsversuch nach 2500 Stunden.....	52
Abbildung 71: Drucktopf zum Aufbringen der Last bei den Dauerstandsversuchen .....	52

# 11. Lebenslauf

Name: Harald Pitschek  
Geb. 16.Aug 1979  
Adresse: Unterrain 11, 9112 Griffen  
Tel: 0650/9112011  
E-Mail: harald.pitschek@gmail.com

Ausbildung: 1989-1993 Hauptschule Griffen  
1993-1998 HLBLA Francisco Josephinum, Fachrichtung Landwirtschaft  
Juni 1998 Matura  
1999 Präsenzdienst  
1999-2011 BOKU Wien, Fachrichtung Kulturtechnik und Wasserwirtschaft

## **Praktika / Tätigkeiten während des Studiums**

Ständige Mitarbeit am elterlichen landwirtschaftlichen Betrieb

1996 Reitsportzentrum Dienstlgut, Wiendorf

Sommer 2006, Alpine Mayreder, Baubüro Völkermarkt

Nov.-Dez 2006. Institut für Wasserbau, BOKU Wien

Sommer 2007, CCE- Ingenieurbüro, Klagenfurt

Sommer 2008, Alpine Mayreder, Baubüro Völkermarkt

Juli- Okt. 2010 Institut für Wasserbau, BOKU Wien

## **Zusatzqualifikationen:**

- Führerschein A,C,E
- AutoCAD
- Grundlagen in FEM Atena
- Sprengbefugnis
- Englisch
- Windows, Excel Word, Power Point

## 12. Anhang

Hier sind die Protokolle der Laborversuche angeführt. Darin sind Versuch die einzelnen Parameter der Versuche, sowie deren Ergebnisse ersichtlich. Zusätzlich sind Bemerkungen angeführt, wenn unerwartete Ereignisse festgestellt werden konnten.

### 12.1 Bezeichnungen

Folgende Kodierungen im Protokoll wurden in den einzelnen Spalten vorgenommen:

Art der Verdichtung:

K	Klopfen
R	Rütteln
ST	Stopfen

Bohrhammer:

0	Hand
1	Bohrhammer 1
2	Bohrhammer 2
3	Bohrhammer 3

Prüfmaschine:

1	kleine Prüfmaschine, bis 50 kN
2	große Prüfmaschine, bis 2000 kN

### 12.2 Versuchsprotokolle

Hier sind die Protokolle der Laborversuche angeführt. Darin sind Versuch die einzelnen Parameter der Versuche, sowie deren Ergebnisse ersichtlich. Zusätzlich sind Bemerkungen angeführt, wenn unerwartete Ereignisse festgestellt werden konnten. Bei den Versuchen 345-347 wird ein mittleres absolutes Maximum der Ausziehungskraft von 65 kN bei einer Verschiebung von 20 Millimetern erreicht.

Versuch	Bohrloch	Versuchskörper	Versuchsvorbereitung										Versuchsdurchführung							MW-Verschiebung	Anmerkung Aufbau					
			Datum	f_c,cube [MPa]	Auflagerabstand [cm]	Ankerart/ Kleber	Bohrlochtiefe [mm]	h_ef [mm]	d_cut [mm]	d_spir [mm]	d_Gewindestange [mm]	Lagenstärke h_s [mm]	Art der Verdichtung	Bohrhammer	Verdichtungsdauer	Intensität	Datum	Uhrzeit	Prüfmaschine			Yorkraft [kN]	N [kN]	MW	Standardabweichung	v_um
311	311	311	26.08.09	25	212	Sand	173	173	14,3	13,1	11,9	173	K	0	2 min		26.08.09	14:30	1	0,2	8	12,4	0,39	1,2	1,65	
312	312	311	26.08.09	25	212	Sand	173	173	14,3	13,1	11,9	173	K	0	2 min		26.08.09	15:30	1	0,2	10,6				1,8	
313	313	311	26.08.09	25	212	Sand	173	173	14,3	13,1	11,9	173	R	1	10 sek.	leicht	26.08.09	15:50	1	0,2	19,3				1,8	
314	314	311	26.08.09	25	212	Sand	173	173	14,3	13,1	11,9	173	R	1	10 sek.	leicht	26.08.09	16:15	1	0,2	11,8				1,8	feucht
315-1	315-1	311	27.08.09	25	212	Sand	167	167	14,3	13,1	11,9	20	R	1	10 sek.	leicht	28.08.09	10:15	1	0,2	6,8	3,94	0,45	1,2	1,26	feucht/Befüllen in 2cm Schritten
315-2	315-2	311	27.08.09	25	212	Sand	167	167	14,3	13,1	11,9	20	R	1	10 sek.	leicht	09.09.09	09:00	1	0,2	4,4				1,1	feucht/Befüllen in 2cm Schritten
315-3	315-3	311	27.08.09	25	212	Sand	167	167	14,3	13,1	11,9	20	R	1	10 sek.	leicht	09.09.09	09:15	1	0	3,5				1,3	feucht/Befüllen in 2cm Schritten
315-4	315-4	311	27.08.09	25	212	Sand	169	169	14,3	13,1	11,9	169	R	1	10 sek.	leicht	09.09.09	09:22	1	0,2	2,4				1,4	feucht/Vollfüllen und verdichten
315-5	315-5	311	27.08.09	25	212	Sand	169	169	14,3	13,1	11,9	169	R	1	10 sek.	leicht	09.09.09	09:34	1	0,2	2,6				1,3	feucht/Vollfüllen und verdichten
316-1	316-1	311	27.08.09	25	212	Sand	99	99	14,3	13,1	11,9	20	R	1	10 sek.	leicht	01.09.09	09:05	1	0,2	3,9	3,92	0,33	1	0,84	feucht/Befüllen in 2cm Schritten
316-2	316-2	311	27.08.09	25	212	Sand	99	99	14,3	13,1	11,9	20	R	1	10 sek.	leicht	09.09.09	10:15	1	0,2	2,8				0,8	feucht/Befüllen in 2cm Schritten
316-3	316-3	311	27.08.09	25	212	Sand	99	99	14,3	13,1	11,9	20	R	1	10 sek.	leicht	09.09.09	10:30	1	0,2	5,5				0,9	feucht/Befüllen in 2cm Schritten
316-4	316-4	311	27.08.09	25	212	Sand	100	100	14,3	13,1	11,9	100	R	1	10 sek.	leicht	09.09.09	10:45	1	0,2	2,5				0,7	feucht/Vollfüllen und verdichten
316-5	316-5	311	27.08.09	25	212	Sand	99	99	14,3	13,1	11,9	99	R	1	10 sek.	leicht	09.09.09	11:00	1	0,2	4,9				0,8	feucht/Vollfüllen und verdichten
317	317	311	03.09.09	25	212	Sand	100	100	14,3	13,1	11,9	100	ST	1	10 sek.	leicht	03.09.09	14:30	1	0,2	4,2	7,08	0,35	1,7	1,38	feucht/Vollfüllen und verdichten
318	318	311	03.09.09	25	212	Sand	100	100	14,3	13,8	11,9	100	R	1	10 sek.	leicht	03.09.09	15:30	1	0,2	9,6				1,2	feucht/Vollfüllen und verdichten
319	319	311	04.09.09	25	212	Sand	100	100	14,9	13,8	11,9	100	ST	1	10 sek.	leicht	04.09.09	15:45	1	0,2	5,9				1,2	feucht/Vollfüllen und verdichten
320	320	311	05.09.09	25	212	Sand	100	100	14,3	13,8	11,9	33	ST	1	10 sek.	leicht	05.09.09	16:00	1	0,2	8,6				1,4	feucht/Vollfüllen und verdichten
321-1	321-1	311	09.09.09	25	212	Sand	100	100	14,3	12,6	11,9	25	R	2	10 sek.	stark	09.09.09	16:25	1	0,2	7,4	4	0,49	1	1,3	feucht/Vollfüllen und verdichten
321-2	321-2	311	09.09.09	25	212	Sand	100	100	14,3	12,6	11,9	25	R	2	10 sek.	mäßig	09.09.09	16:32	1	0,2	4				1,2	
321-3	321-3	311	09.09.09	25	212	Sand	100	100	14,3	12,6	11,9	25	R	2	10 sek.	leicht	09.09.09	16:37	1	0	2,7				1,3	
321-4	321-4	311	09.09.09	25	212	Sand	100	100	14,3	12,6	11,9	25	R	2	10 sek.	leicht	09.09.09	16:42	1	0,2	2,8				1,5	
321-5	321-5	311	09.09.09	25	212	Sand	100	100	14,3	12,6	11,9	25	R	2	10 sek.	leicht	09.09.09	16:50	1	0,2	3,1				1,5	
321-6	321-6	311	10.09.09	25	212	Sand	100	100	14,3	12,6	11,9	25	R	2	10 sek.	mäßig	10.09.09	09:40	1	0,2	4,9	5,96	0,28	1	0,86	Abnehmende Rüttelintensität
321-7	321-7	311	10.09.09	25	212	Sand	100	100	14,3	12,6	11,9	25	R	2	10 sek.	mäßig	10.09.09	09:50	1	0,2	5				0,8	Abnehmende Rüttelintensität
321-8	321-8	311	10.09.09	25	212	Sand	100	100	14,3	12,6	11,9	25	R	2	10 sek.	mäßig	10.09.09	09:54	1	0,2	5				0,7	Abnehmende Rüttelintensität
321-9	321-9	311	10.09.09	25	212	Sand	100	100	14,3	12,6	11,9	25	R	2	10 sek.	mäßig	10.09.09	10:04	1	0,2	8,8				0,8	Abnehmende Rüttelintensität
321-10	321-10	311	10.09.09	25	212	Sand	100	100	14,3	12,6	11,9	25	R	2	10 sek.	mäßig	10.09.09	10:12	1	0,2	6,1				1	Abnehmende Rüttelintensität
321-11	321-11	311	10.09.09	25	212	Sand	100	100	14,3	12,6	11,9	25	R	2	10 sek.	sehr stark	10.09.09	10:40	1	0,2	7,2				1	Abnehmende Rüttelintensität
322-1	322-1	311	10.09.09	25	212	Sand	100	100	14,4	13,7	11,9	25	R	2	10 sek.	stark	10.09.09	11:00	1	0,2	6,9	10,8	0,23	1	1,32	Abnehmende Rüttelintensität
322-2	322-2	311	10.09.09	25	212	Sand	100	100	14,4	13,7	11,9	25	R	2	10 sek.	stark	10.09.09	11:13	1	0,2	12				1,3	Abnehmende Rüttelintensität
322-3	322-3	311	10.09.09	25	212	Sand	100	100	14,4	13,7	11,9	25	R	2	10 sek.	stark	10.09.09	11:25	1	0,2	11,7				1,4	Abnehmende Rüttelintensität
322-4	322-4	311	10.09.09	25	212	Sand	100	100	14,4	13,7	11,9	25	R	2	10 sek.	stark	10.09.09	11:48	1	0,2	10				1,4	Abnehmende Rüttelintensität
322-5	322-5	311	10.09.09	25	212	Sand	100	100	14,4	13,7	11,9	25	R	2	10 sek.	stark	10.09.09	11:55	1	0,2	13,3				1,5	Abnehmende Rüttelintensität
323-1	323-1	311	10.09.09	25	212	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	25	R	2	10 sek.	stark	10.09.09	15:05	1	0,2	8,2	9,46	0,11	1,2	1,26	Abnehmende Rüttelintensität
323-2	323-2	311	10.09.09	25	212	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	25	R	2	10 sek.	stark	10.09.09	15:10	1	0,2	10,1				1,4	Abnehmende Rüttelintensität
323-3	323-3	311	10.09.09	25	212	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	25	R	2	10 sek.	stark	10.09.09	15:16	1	0,2	9,6				1,3	Abnehmende Rüttelintensität

Versuch	Bohrloch	Versuchskörper	Versuchsvorbereitung										Versuchsdurchführung							Anmerkung Aufbau						
			Datum	f <sub>c,cube</sub> [MPa]	Auflagerabstand [cm]	Ankerart/ Kleber	Bohrlochtiefe [mm]	h <sub>ef</sub> [mm]	d <sub>cut</sub> [mm]	d <sub>spir</sub> [mm]	d <sub>Gewindestange</sub> [mm]	Lagenstärke h <sub>s</sub> [mm]	Art der Verdichtung	Bohrhammer	Verdichtungsdauer	Intensität	Datum	Uhrzeit	Prüfmaschine		Vorkraft [kN]	N [kN]	MV	Standardabweichung	v <sub>um</sub>	MV-Verschiebung
323-4	323-5	311	10.09.09	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	25	R	2	10 sek.	stark	10.09.09	15:35	1	0,2	10,8				1,1	Abnehmende Rüttelintensität
323-5	323-4	311	10.09.09	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	25	R	2	10 sek.	stark	10.09.09	15:25	1	0,2	8,6				1,3	Abnehmende Rüttelintensität
323-6	323-1	311	10.09.09	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	25	ST	2	5 sek.	stark	10.09.09	16:38	1	0,2	5,6	8,3	0,31	1,1	1,37	geringerer Sand und tritt an Of.
323-7	323-2	311	09.09.09	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	25	ST	2	2,5 sek.	mäßig	10.09.09	16:46	1	0,2	8,6				1,3	geringe Intensität
323-8	323-3	311	10.09.09	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	25	ST	2	1 sek.	leicht	10.09.09	16:53	1	0,2	10,7				1,7	geringe Intensität aber oft
323-11	323-1	311	11.09.09	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	15	ST	2	1 sek.	leicht	11.09.09	11:15	1	0,2	8,3	8,9			1,3	kein zerniebener Sand
323-12	323-2	311	11.09.09	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	15	ST	2	1 sek.	leicht	11.09.09	11:20	1	0,2	9,5				1,5	kein zerniebener Sand
323-13	323-3	311	11.09.09	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	15	ST	2	1 sek.	mäßig	11.09.09	11:26	1	0,2	12,2	12,9	0,05	1,4	1,4	
323-14	323-4	311	11.09.09	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	15	ST	2	1 sek.	mäßig	11.09.09	11:34	1	0,2	13,5				1,4	
323-15	323-5	311	11.09.09	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	15	ST	2	1 sek.	mäßig	11.09.09	11:40	1	0,2	13,1				1,4	
324k	324	324	12.10.09	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	15	ST	2	1 sek. 5"	mäßig	12.10.09	12:25	1	0,2	13,5	18	0,24	1,7	1,5	
325k	325	325	12.10.09	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	15	ST	2	1 sek. 5"	mäßig	12.10.09	12:33	1	0,2	18,3				1,3	
326k	326	326	12.10.09	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	15	ST	2	1 sek. 5"	mäßig	12.10.09	12:43	1	0,2	22,1				1,5	
324 I	324	324	12.10.10	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	15	ST	2	1 sek. 5"	mäßig	26.01.10	15:00	1	0,2	18,1	18,6	0,04	1,2	1,27	Resthaltekräft
325 I	325	325	12.10.10	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	15	ST	2	1 sek. 5"	mäßig	26.01.10	15:15	1	0,2	18,3				1,3	Resthaltekräft
326 I	326	326	12.10.10	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	15	ST	2	1 sek. 5"	mäßig	26.01.10	15:30	1	0,2	19,5				1,3	Resthaltekräft
327	327	327	17.12.10	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	20	ST	3	1 sek. 5"	Egw. St. 6	17.12.09	15:15	1	0,2	8,5	8,5	0,1	1,5	1,17	
328	328	328	17.12.10	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	20	ST	3	1 sek. 5"	Egw. St. 6	17.12.09	15:25	1	0,2	8,5				0,9	
333	329	329	17.12.10	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	20	ST	3	1 sek. 5"	Egw. St. 6	17.12.09	17:15	1	0,2	8,3				1,1	327-328 gleicher Aufbau
329	329	329	17.12.10	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	20	ST	3	1 sek. 5"	Egw. St. 5	17.12.09	15:35	1	0,2	9	8,2	0,07	1,1	1,2	
330	330	330	17.12.10	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	20	ST	3	1 sek. 5"	Egw. St. 5	17.12.09	15:45	1	0,2	7,4				1,3	
331	331	327	17.12.10	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	10	ST	3	14 sek 2" +1sek. 5"	Egw. St. 6	17.12.09	16:45	1	0,2	16,9	17,6	0,06	1,4	1,38	1 Lage 2cm, weiters tom Lagen
332	332	328	17.12.10	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	10	ST	3	14 sek 2" +1sek. 5"	Egw. St. 6	17.12.09	16:55	1	0,2	18,3				1,4	1 Lage 2cm, weiters tom Lagen
335	327	327	14.03.10	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	16	ST	3	1 sek. 5"	Egw. St. 4	14.03.10	15:15	1	0,2	16,5				1,5	Tastversuchenakter Lageneinbau
336	328	328	14.03.10	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	20	ST	3	1 sek. 5"	Egw. St. 4	14.03.10	15:45	1	0,2	22,1	21,1	0,05	1,6	1,57	enakter Lageneinbau
337	329	329	14.03.10	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	20	ST	3	1 sek. 5"	Egw. St. 4	15.03.10	10:00	1	0,2	19,9				1,5	enakter Lageneinbau
338	330	330	14.03.10	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	20	ST	3	1 sek. 5"	Egw. St. 4	15.03.10	10:30	1	0,2	21,2				1,6	enakter Lageneinbau
339	339	339	29.03.10	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	10	ST	3	14 sek 2" +1sek. 5"	Egw. St. 4	29.03.10	12:25	1	0,2	25	26,4	0,04	2,4	2,4	Innengewinder/Lage 2cm, weiters tom Lagen
340	340	340	29.03.10	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	10	ST	3	14 sek 2" +1sek. 5"	Egw. St. 4	29.03.10	12:37	1	0,2	27,1				2,4	Innengewinder/Lage 2cm, weiters tom Lagen
341	341	341	29.03.10	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	10	ST	3	14 sek 2" +1sek. 5"	Egw. St. 4	29.03.10	12:38	1	0,2	27				2,4	Innengewinder/Lage 2cm, weiters tom Lagen
343	327-2	327	13.04.10	25	21,2	Sand	100	100	14,6	13,9	11,9	10	ST	3	14 sek 2" +1sek. 5"	Egw. St. 4	13.04.10	15:00	1	0,2	14,4				1,3	keine Bohrtlochräumung/Lage 2cm, weiters tom Lagen
342	329-2	329	13.04.10	25	21,2	Sand	116	100	14,6	13,9	11,9	10	ST	3	14 sek 2" +1sek. 5"	Egw. St. 4	13.04.10	14:00	1	0,2	25	26,8	0,2	1,6	1,88	Vorspannung/Lage 2cm, weiters tom Lagen
344	329-2	329	14.05.10	25	21,2	Sand	116	100	14,6	13,9	11,9	10	ST	3	14 sek 2" +1sek. 5"	Egw. St. 4	14.05.10	09:45	1	0,2	23,5				1,9	Vorspannung/Lage 2cm, weiters tom Lagen
345	328-2	328	26.05.10	25	86	Sand	116	100	14,6	13,9	11,9	10	ST	3	14 sek 2" +1sek. 5"	Egw. St. 4	27.05.10	13:30	2	0,2	25,3				2,1	Vorspannung/Lage 2cm, weiters tom Lagen
346	329-2	329	26.05.10	25	86	Sand	116	100	14,6	13,9	11,9	10	ST	3	14 sek 2" +1sek. 5"	Egw. St. 4	27.05.10	14:00	2	0,2	22,5				1,9	Vorspannung/Lage 2cm, weiters tom Lagen
347	330-2	330	26.05.10	25	86	Sand	116	100	14,6	13,9	11,9	10	ST	3	14 sek 2" +1sek. 5"	Egw. St. 4	27.05.10	15:00	2	0,2	35,5				1,9	Vorspannung/Lage 2cm, weiters tom Lagen