



Fabian Mikulik, BSc

# **Versuchstechnische Untersuchungen zu vorgespannten Ankern**

**Masterarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Bauingenieurwissenschaften - Geotechnical and Hydraulic Engineering

eingereicht an der

**Technischen Universität Graz**

Betreuer

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Roman Marte

Dipl. Dipl.-Ing. Matthias J. Rebhan, BSc

Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik

Graz, Juni 2019



# Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Arbeit identisch.

.....  
Datum

.....  
Unterschrift



# Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Roman Marte bedanken, der schon während meines Bachelorstudiums mit seinem Engagement in den Vorlesungen meine Leidenschaft für die Geotechnik erwecken konnte und mir die Möglichkeit gab, mein Studium mit einer interessanten, praxisorientierten Diplomarbeit zu beenden.

Besonders möchte ich Herrn Dipl. Dipl.-Ing. Matthias Rebhan, BSc für die Geduld und Motivation, die er in eine ausgezeichnete Betreuung meiner Arbeit steckte, danken.

Des Weiteren möchte ich meinen Eltern, Maria und Peter, danken, die mir das Studium ermöglicht haben und mich immer bei meinen Entscheidungen motiviert und unterstützt haben.

Abschließend noch ein herzlicher Dank an meine Freundin Catharina, für Ihr Verständnis und Ihre Unterstützung in den letzten Jahren.



# Kurzfassung

Dem Anstieg von Schadensfällen an dauerhaft geankerten Konstruktionen wird in den letzten Jahren mit einem erhöhten Prüf- und Beurteilungsaufwand entgegengewirkt. Die Begutachtung von Bestandsankern ist in den meisten Fällen mit einem großen Aufwand verbunden. Aus diesem Grund wird in dieser Masterarbeit der aktuelle Stand der Technik bei Kraftmesszellen, im Besonderen Varianten, welche bei bestehenden Anker nachgerüstet werden können, aufgearbeitet. Diese sollen in Zukunft ein besseres Monitoring von bestehenden rückverankerten Systemen ermöglichen.

Diese einleitende und sehr kurz gehaltene Literaturstudie bildet die Grundlage für die Überprüfung eines Konzeptes zur Nachrüstung von hydraulischen Lastplatten bei Litzenankern. Für diese Untersuchung war die Entwicklung eines Ankerprüfrahmens erforderlich, der in Zukunft auch für weitere Versuche universell einsetzbar sein soll.

Eine große Anzahl der Schäden bei permanent geankerten Stützbauwerken sind Korrosionserscheinungen. Dazu wird in dieser Arbeit ein Überblick über die bisherigen Erkenntnisse zu korrosionsgeschädigten Anker gegeben.

Abschließend wurde ein weiterer Versuch zum Thema Kontaktkorrosion bei Mikropfählen geplant und beschrieben.



# Abstract

Due to the increase in damaged anchored structures countermeasures have been taken by an increased testing and assessment effort. To examine the current state of existing anchors, is commonly associated with a high effort. For this reason, the current state of the art for load cells and in special load cells that can be installed on existing anchored structures, will be discussed in this master thesis.

Furthermore, a concept of upgrading existing strand anchors with hydraulic load cells has been examined on a laboratory scale. For this investigation, the development of an anchor test frame was necessary. The developed anchor test frame is expected to be universally applicable for further experiments and laboratory testing.

The second part of this thesis concentrates on corrosion damages of anchored structures. For this purpose, an overview of the preliminary findings on corrosion-damaged anchor systems is given.

Finally, an additional experiment on contact corrosion at micro piles was planned and described for further investigations.



# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Ankertechnik</b>	<b>3</b>
3.1	Ankersysteme	3
3.1.1	Stabanker	4
3.1.2	Litzenanker	5
<b>4</b>	<b>Kraftmessteller</b>	<b>6</b>
4.1	Konzepte und Messeinrichtungen	6
4.1.1	Elektrische Kraftmessdosen	6
4.1.2	Hydraulische Kraftmessdosen	8
4.2	Nachrüstbare Systeme	9
4.2.1	Konzept - GDP ZT GmbH	9
4.2.2	System DSI	10
<b>5</b>	<b>Korrosion bei Ankersystemen</b>	<b>12</b>
5.1	Einführung in die Korrosionsthematik	14
5.2	Korrosionsschäden an Ankern	14
5.2.1	Ankerkopf Außenfläche	15
5.2.2	Freispielstrecke - Anschluss Ankerkopf	15
5.2.3	Freie Ankerlänge	16
5.2.4	Verankerungslänge	16
5.3	Abrostung bei geankerten Konstruktionen	16
5.3.1	Einflussfaktoren auf die Korrosion erdüberdeckter Anlagen	17
5.3.2	Baugrunduntersuchung nach ÖNORM EN 12501	17
5.3.3	Klassifikation von Böden hinsichtlich ihrer Aggressivität nach ÖNORM EN 14490	21
5.3.4	Korrosionsschutzmaßnahmen erdüberdeckter Metalle nach ÖNORM EN 14490	23
<b>6</b>	<b>Versuche an Ankern</b>	<b>25</b>
6.1	Nachrüstung von Kraftmesstellern an Litzenankern	25

6.1.1	Prüfrahmen	26
6.1.2	Simulation Bauzustand	29
6.1.3	Herstellung Gewinde	30
6.1.4	Herstellung Prüfzustand	32
6.1.5	Messtechnisches Gesamtkonzept	33
6.1.6	Versuchsdurchführung und Auswertung	36
6.1.7	Ergebnisse und Empfehlungen	39
6.2	Rissbreitenentwicklung an Stabankern	40
6.3	Kontaktkorrosion bei Mikropfählen	42
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick</b>	<b>45</b>
7.1	Ankerprüfrahmen	45
7.2	Nachrüstung von Kraftmesstellern an Litzenankern	45
7.3	Nachrüstbare Kraftmesszellen	45
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>46</b>



# Formelzeichen und Abkürzungen

## Kleine Buchstaben

$f_{yd}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	Streckgrenze
$i_y$	[mm]	Flächenträgheitsradius

## Große Buchstaben

A	[m <sup>2</sup> ]	Querschnittsfläche
$N_{Ed}$	[kN]	einwirkende Normalkraft
$N_{pl,Rd}$	[kN]	widerstehende Normalkraft
$L_{cr}$	[mm]	Knicklänge
E	[N/mm <sup>2</sup> ]	Elastizitätsmodul
$I_y$	[N/mm <sup>4</sup> ]	Axiales Flächenmoment 2. Grades
$F_{pk}$	[kN]	charakteristische Bruchkraft einer Litze
$L_{app}$	[m]	rechnerische freie Stahllänge
$P_{p,max}$	[kN]	maximale Prüfkraft
$\Delta F$	[kN]	Kraftzuwachs zufolge elastischer Dehnung

## Kleine griechische Buchstaben

$\alpha$	[-]	Imperfektionsbeiwert der Knicklinie
$\lambda$	[-]	Schlankheitsgrad
$\beta$	[-]	Knicklängenbeiwert
$\gamma_{M0}$	[-]	Teilsicherheitsbeiwert

## Große griechische Buchstaben

$\chi$	[-]	Abminderungsfaktor Knicken
--------	-----	----------------------------

# 1 Einleitung

Für die Errichtung von Bauwerken, insbesondere Infrastrukturobjekte wie Straßen und Schienentrassen, bedingt die Topographie Österreichs die Errichtung einer Vielzahl von Stützkonstruktionen unter anderem auch rückverankerte. Dies ist ein wesentlicher Grund für den vermehrten Bau dieser in den letzten Jahrzehnten. Die Entwicklung von Verpressanker begann im Jahr 1958, als an der Baustelle des Bayerischen Rundfunks in München die Zielschächte, an denen die Verankerung der Baugrube angebracht werden sollte, von der Fa. Bauer verfehlt wurden und stattdessen die hinteren 5 m des Ankerstabes mit Zement verpresst wurden (Kuntsche, 2016).

In den letzten Jahren ist es zu einer signifikanten Zunahme von Schadensfällen bei geankerten Konstruktionen gekommen. Diese Entwicklung erfordert einen erhöhten Prüf- und Beurteilungsaufwand. Im Gegensatz zu anderen Bauwerken (z. B. Hochbauten) ist eine Untersuchung und Instandhaltung von Ankern wegen ihrer oftmals schwierigen Zugänglichkeit (vgl. Abb. 1) nur sehr schwer möglich (Bereich des Ankerkopfes meist in unwegsamem Gelände und Höhe) bis unmöglich (Freispielstrecke und Verpresskörper).



Abb. 1: Abhebekontrolle in ungefähr 5 m Höhe

Eine große Anzahl an Schäden bei Ankern ist der Korrosion der Stahlzugglieder und Verankerungskomponenten zuzuschreiben. Mit dem heutigen Stand der Technik sind solche Korrosionsschäden nur in einem sehr begrenzten Umfang bzw. nur mit hohem Untersuchungsaufwand zu detektieren (Burtscher, Rebhan, Marte, & Scharinger). Dies sind einige gute Gründe, um weiteres Forschungspotenzial in die Verbesserung der Dauerhaftigkeit von Verankerungen zu investieren.

## 2 Zielsetzung

Der Hauptfokus dieser Masterarbeit ist die Planung und Durchführung von Versuchen zu vorgespannten Ankern. Dazu wurde ein Konzept für einen Versuchsrahmen erarbeitet, welcher für Versuche zur Nachrüstung von Kraftmesstellern an bestehenden Litzankern benötigt wird und auch für weitere Untersuchungen an Ankern einsetzbar sein soll. Um weitere Alternativen zum Thema nachrüstbare Kraftmesseinrichtungen aufzuzeigen, wird der Stand der Technik bei Kraftmesstellern, insbesondere jener, welche auch nachträglich montierbare Systeme einschließen, in dieser Arbeit behandelt.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist eine Zusammenfassung bisheriger Erkenntnisse zu korrosionsgeschädigten Ankersystemen. Es soll sowohl ein Einblick in die vermehrt als schadhaft identifizierten Bereiche von Ankern gegeben werden. Zudem wird die Klassifizierung von korrosionsgefährdeten Böden aufgearbeitet, sowie eine Übersicht über die Möglichkeiten von Korrosionsschutzmaßnahmen gegeben.

Einleitend soll zudem ein kurzer Einblick in die Materie der verschiedenen Ankersysteme gegeben werden, dazu werden der Aufbau und die Wirkungsweise der gebräuchlichsten Ankertypen genauer beschrieben.

## 3 Ankertechnik

Im Bauwesen werden geankerte Systeme für eine Vielzahl von Bauaufgaben verwendet. So kommen diese beispielsweise in der Geotechnik bei der Herstellung von Baugruben (Wietek, 2017) und zur Sicherung von Einschnitten und Hängen (Wichter & Meininger, 2018) zur Anwendung. Hierzu können unterschiedliche Arten, Typen und auch Konstruktionsformen in Form von Litzen- und Stabankern zur Anwendung kommen. Eine Möglichkeit der Differenzierung verschiedener Ankertypen, ist die Art der Krafteinleitung. Es gibt vorgespannte Anker (Verpressanker) und nicht vorgespannte Anker (Bodennägel, Zugpfähle). Der Unterschied liegt in der notwendigen Verformung im Boden und dem Zugglied zur Mobilisierung des Widerstandes. Vorgespannte Anker benötigen (bei ausreichender Vorspannkraft) beinahe keine Deformation um wirksam zu werden, wohingegen Bodennägel und Zugpfähle für die Mobilisierung eine gewisse Deformation erfordern (Prinz & Strauß, 2011).

Unter dem Begriff Verpressanker, wird ein Bauteil verstanden, welches rein auf Zug belastet ist und Kräfte vom Ankerkopf, über die freie Ankerlänge in die Krafteinleitungsstrecke und in einen tragfähigen Untergrund einleitet. Die Wirksamkeit wird durch Spannen des Zuggliedes hergestellt (Möller, 2016).

Bodennägel bestehen aus einem in einem Bohrloch versetzten Ankerstab, welcher über die gesamte Länge mit Zement umgeben ist. An der Oberfläche ist eine, zumeist aus Spritzbeton gefertigte, Außenschale vorhanden, um die Gesamttragwirkung von mehreren Bodennägeln sowie die Sicherung des anstehenden Bodenkörpers zu gewährleisten. Um diese Gesamttragwirkung effizient zu erzielen, werden die einzelnen Nägel in einem Abstand von ungefähr 1,50 -1,70 m gesetzt. Lasten welche auf die Außenschale einer vernagelten Wand wirken, werden über Reibung an den Mantelaußenflächen der Nägel in den Bodenkörper abgetragen (ÖNORM B 1997-1-1, 2013). Zugpfähle sind verpresste Mikropfähle oder verpresste Verdrängungspfähle welche über ihre gesamte Länge mit Zement verpresst sind und auf Zug belastet werden. Die aufgebrachte Belastung wird über Mantelreibung als Einzeltragglied in einen tragfähigen Untergrund geleitet (ÖNORM B 1997-1-1, 2013). Der Verwendungsbereich von Zugpfählen liegt in der Auftriebssicherung von Fundamenten oder in der Aufnahme von Seilkräften bei abgespannten Konstruktionen.

### 3.1 Ankersysteme

In diesem Kapitel werden der Aufbau und die Bestandteile der gängigsten Verpressanker beschrieben, welche den aktuellen Stand der Technik widerspiegeln. Bei den Charakteristika des Korrosionsschutzes wird der Aufbau eines Dauerankers (vgl. Kapitel 5) beschrieben.

### 3.1.1 Stabanker

In Abb. 2 ist der schematische Aufbau eines Stabankers dargestellt. Dieser soll nachfolgend beschrieben werden. Das Zugglied (1) eines Stabankers ist meistens ein warmgewalzter Stabstahl mit rechtsgängigen Gewinderippen. Dieser kann über Muffenverbindungen in der freien Stahllänge bzw. im Übergangsbereich (freie Stahllänge zu Verankerungslänge) verdrehsicher verlängert werden. Die freie Dehnung des Zuggliedes darf dadurch nicht eingeschränkt werden. Die Muffenrohre werden mit einer Korrosionsschutzmasse beschichtet und mit Schrumpfschläuchen abgedichtet.

Die Lastübertragung auf das Bauwerk erfolgt über die Ankerkopfausbildung, welche aus einer Kugelbundmutter (2) und einer Ankerplatte (3) mit passendem Konus besteht. Für den Korrosionsschutz ist ein Stahlrohr an die Ankerkopfplatte angeschweißt, welches gegen das Hüllrohr (4) der freien Stahllänge mit zwei Profilirungen abgedichtet wird. Der freie Bereich im Inneren des Stahlrohres wird nach dem Spannen zur Gänze mit Korrosionsschutzmasse verfüllt, um die Dauerhaftigkeit dieses Systems sicherzustellen.

Ein Daueranker ist über die gesamte Ankerlänge in ein PE-Ripprohr eingehüllt und der Ringraum zwischen PE-Ripprohr und Ankerstabstahl weist eine innere Zementmörtelschicht (17) von mindestens 5 mm auf. Die Zentrierung des Stabes im Inneren des Ripprohres erfolgt über Abstandshalter (16).

In der freien Stahllänge wird ein weiteres glattes Hüllrohr (6) über dem Ripprohr angebracht und mittels Klebeband abgedichtet. Dieses ist erforderlich, um die Freispielwirkung und damit die Dehnbarkeit des Ankerstabes in diesem Bereich des Ankers zu gewährleisten.

Die Krafteinleitung in den Baugrund erfolgt über einen Verpresskörper, welcher zusätzlich zu dem Ripprohr und der inneren Zementmörtelschicht aus einer weiteren äußeren Zementmörtelüberdeckung von mindestens 10 mm besteht. Für eine zentrische Lage des Ankerstabes im Bohrloch sorgen vormontierte Federkorbdistanzhalter (7). Der verwendete Zementmörtel muss den Anforderungen der ÖNORM EN 1537 (2015) entsprechen. Am Ende ist der Anker durch eine Kunststoffkappe abgeschlossen (13).

Der Korrosionsschutz der Ankerkopfausbildung wird nach dem Spannen des Ankers aufgebracht und besteht aus einer feuerverzinkten oder beschichteten Schutzkappe, welche mit Korrosionsschutzmasse verfüllt wird. Alternativ kann anstelle der Verfüllung der Schutzkappe auch der blanke Stabüberstand mit Korrosionsschutzbinden doppelt umwickelt werden.

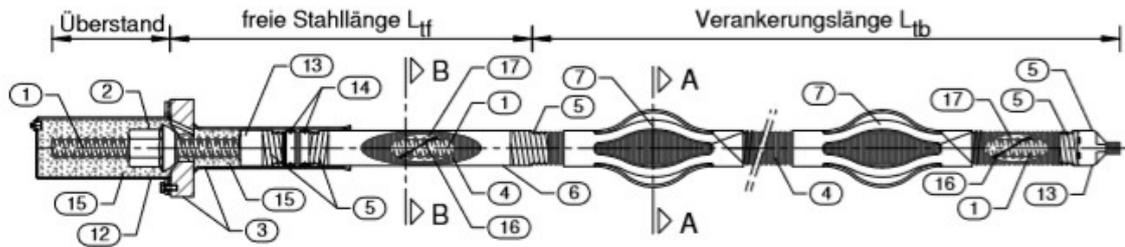


Abb. 2: Einstabanker SAS 670 (ANP - Systems GmbH, 2015)

### 3.1.2 Litzenanker

Ein Litzenanker (vgl. Abb. 3) besteht aus 2 bis 15 Zuggliedern aus Siebendraht-Spannstahlilitzen der Typen Y 1770S7 oder Y 1860S7 mit einem Durchmesser von 15,3 mm (140 mm<sup>2</sup> Querschnittsfläche) oder 15,7 mm (150 mm<sup>2</sup> Querschnittsfläche).

Die Ankerkopfausbildung für die Übertragung der Lasten in den Bauwerksuntergrund besteht aus einer Verankerungsscheibe (Keilscheibe), welche auf die rechteckige oder runde Ankerplatte zentriert aufgelegt wird. Die Ankerlitzen werden beim Spannen durch Verankerungskeile kraftschlüssig mit der Verankerungsscheibe verbunden. Diese wird ebenfalls dazu verwendet, um den Anker nachträglich abheben bzw. prüfen zu können.

Der Übergang Ankerkopf zu freier Stahllänge wird analog zum Stabanker mittels angeschweißtem Stahlrohr ausgeführt. Das PE-Ripprohr, abgedichtet mittels Dichtringen, wird über die gesamte Ankerlänge durchgezogen. In der freien Stahllänge werden die einzelnen Litzen durch einen PE-Mantel und eine hohlraumfreie Verfüllung mit Korrosionsschutzmasse geschützt. In der Verankerungslänge werden die Litzen gebündelt und mittels Abstandhalter im Bohrloch zentriert. Im Übergang zwischen freier Stahllänge und Verankerungslänge werden die einzelnen Hüllrohre der einzelnen Litzen gegenüber den blanken Litzen der Verankerungslänge mit Hilfe eines PE-Klebebandes oder Minischumpfschlauches abgedichtet. Es entfällt die Notwendigkeit von Muffenverbindungen, da Litzen in der erforderlichen Länge hergestellt werden können.



Abb. 3: Litzenanker (DYWIDAG-Systems International, 2015)

## 4 Kraftmessteller

Werden im System Anker-Bauwerk-Baugrund Verformungen oder Kraftänderungen angenommen, kann eine Langzeitüberwachung mit Kraftmesstellern Erkenntnisse über die Auswirkungen dieser im Laufe der geplanten Nutzungsdauer bringen. Die Notwendigkeit einer Langzeitüberwachung ist bei der Planung, bzw. dem Entwurfsprozess anzugeben. Neben den Anforderungen an eine überwachte Bauwerksausführung können Gründe hierfür etwa Auffälligkeiten bei Untersuchungs- und Eignungsprüfungen (z.B. hohe Kriechmaße) oder ein hoher Gefährdungsgrad des Bauwerkes (z.B. Nähe zu Verkehrswegen) sein (Witt, 2009).

Ist eine Langzeitüberwachung mit Kraftmesstellern geplant, sollten zumindest 5 % der Anker mit einer Überwachungseinrichtung ausgestattet werden. Zusätzlich sollten weitere Anker in näherer Umgebung, zumindest mit der Möglichkeit zu Abhebekontrollen versehen werden, um die Funktionsfähigkeit der Messeinrichtungen kontrollieren zu können (ÖNORM EN 1537, 2015).

### 4.1 Konzepte und Messeinrichtungen

Für die dauerhafte Messung von Ankerkräften bei Permanentankern gibt es zwei unterschiedliche Konzepte von Kraftmessringen. Diese können entweder auf Grundlage einer hydraulischen oder einer elektrischen Erfassung basieren. Bei beiden Prinzipien ist eine zentrische Lasteinleitung erforderlich. Aus diesem Grund muss die Ankerkopfkonstruktion, vor dem Aufbringen der Vorbelastung, genauestens zentriert und vor und nach der Messeinheit eine passende Unterlegscheibe zur gleichmäßigen Lastverteilung eingebaut werden. Eine exzentrische Belastung kann die Messeinrichtung beschädigen, bzw. zu einer ungenauen oder verfälschten Kraftmessung führen.

#### 4.1.1 Elektrische Kraftmessdosen

Prinzipiell besteht eine elektrische Kraftmessdose (vgl. Abb. 4) aus einem hantelförmigen Zentralkörper aus hochwertigem Stahl, der in seinem Zentrum eine durchgängige Öffnung für die Durchführung des Stahlzuggliedes aufweist. Am Schaft des Zentralkörpers sind Dehnmessstreifen (DMS) angebracht, welche die elastische Dehnung (Stauchung) des Druckringes messen. Durch den Zusammenhang zwischen der Stauchung und der vorliegenden Kraft kann auf die Ankerkraft rückgeschlossen werden. Für die Umrechnung und Anzeige der Kraft wird ein Auslesegerät über eine Verkabelung an die Kraftmessdose angeschlossen (Witt, 2009). Der Vorteil dieses Systems liegt in einer hochpräzisen und (falls erforderlich) hochauflösenden Erfassungsmöglichkeit, der Ankerkraft. Jedoch sind hierzu ein Auslesegerät, bzw. die Führung einer Verkabelung erforderlich.

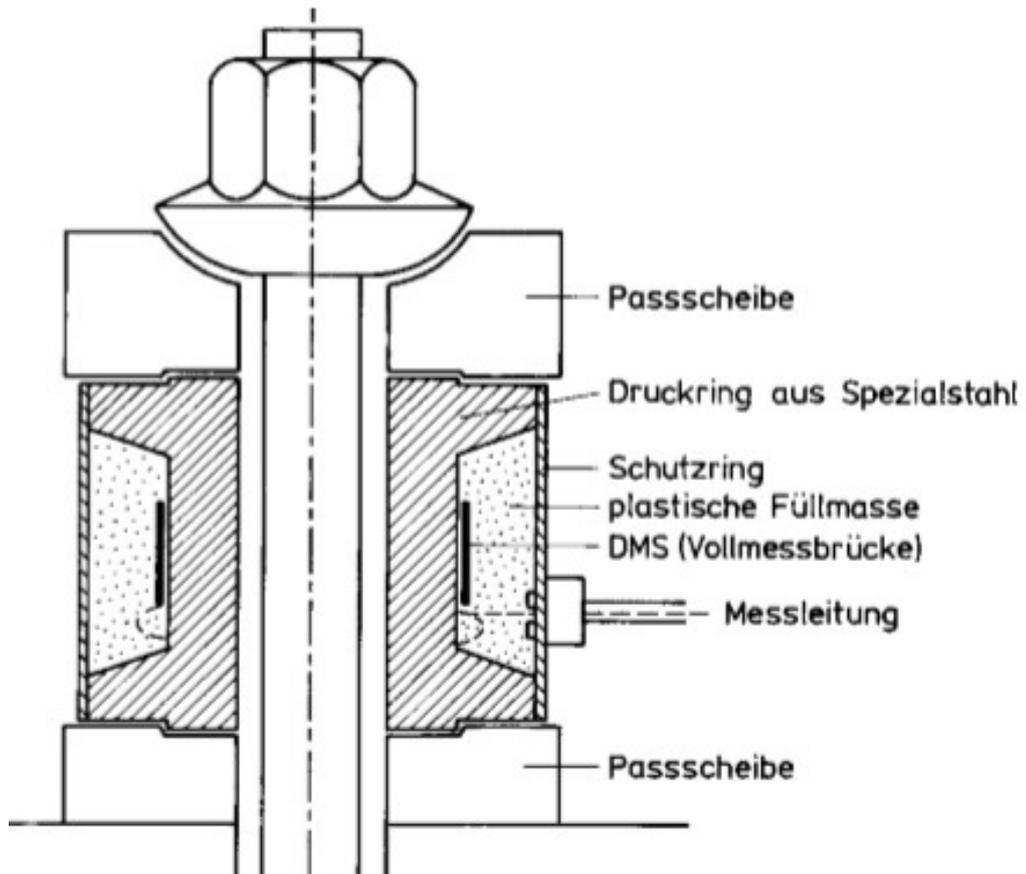


Abb. 4: Funktionsweise einer elektrischen Kraftmessdose (Witt, 2009)



Abb. 5: Kraftmessdose KMD (enertec engineering ag, 2015)

## 4.1.2 Hydraulische Kraftmessdosen

Eine hydraulische Kraftmessdose (vgl. Abb. 6) besteht aus einem mit Hydrauliköl gefüllten Hohlkörper. Wird dieser mit Druckkraft (Zunahme der Ankerkraft) beansprucht, kann über den vordefinierten Querschnitt und den Öldruck auf die Ankerkraft rückgeschlossen werden. Dieser proportionale Zusammenhang zwischen Kraft und Öldruck wird über ein an den Messgeber angeschraubtes Manometer (vgl. Abb. 7 Links) oder einen elektrischen Druckgeber (vgl. Abb. 7 Rechts - Membrane) abgebildet (Witt, 2009).

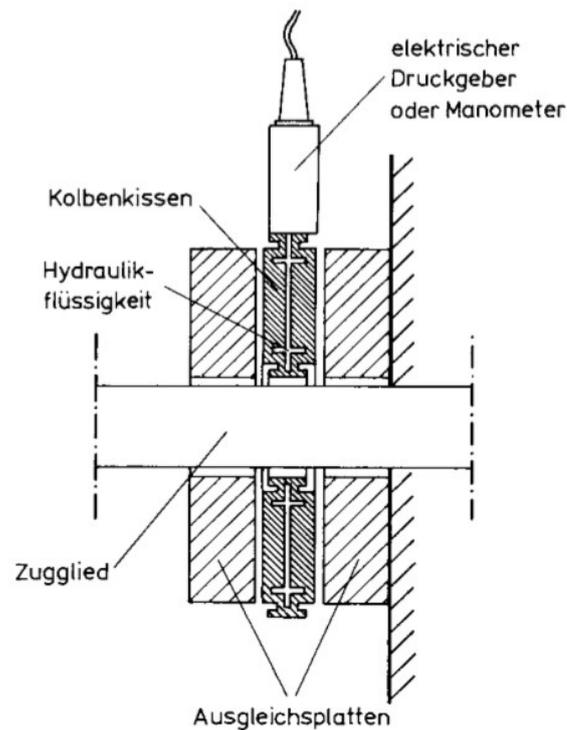


Abb. 6: Funktionsweise einer hydraulischen Kraftmessdose (Witt, 2009)



Abb. 7: Links: Hydraulische Lastplatte mit Manometer (Fa. Behensky); Rechts: Hydraulischer Ankerkraftgeber mit elektronischem Aufnehmer (GLÖTZL Gesellschaft für Baumesstechnik mbH, 2019)

## 4.2 Nachrüstbare Systeme

Die in Kapitel 4.1 beschriebenen Methoden zur Erfassung der Ankerkraft, sind nur während der Bauphase eines Ankers montierbar, bzw. nur unter gewissen Randbedingungen nachträglich anbringbar. In der Vergangenheit wurden jedoch permanent geankerten Stützbauwerke lediglich selten mit einer dauerhaften Messeinrichtung ausgestattet. Aus diesem Grund, werden in den nachfolgenden Kapiteln Systeme vorgestellt, welche es ermöglichen bei bestehenden Anker eine Kraftmesseinrichtung nachträglich anzubringen.

### 4.2.1 Konzept - GDP ZT GmbH

Die GDP ZT GmbH entwickelte ein Konzept, um bestehende Litzenanker nachträglich (unter gewissen Randbedingungen) mit einer Kraftmesseinrichtung auszurüsten. Dabei werden zwei ungenutzte Litzenlöcher durch die Herstellung von Innengewinde dazu genutzt, eine neue Lasteinleitungsstruktur an zwei eingeschraubte Gewindestäben zu montieren. Eine genauere Beschreibung der Funktionsweise dieses Konzeptes ist in Kapitel 6.1.4 zu finden.

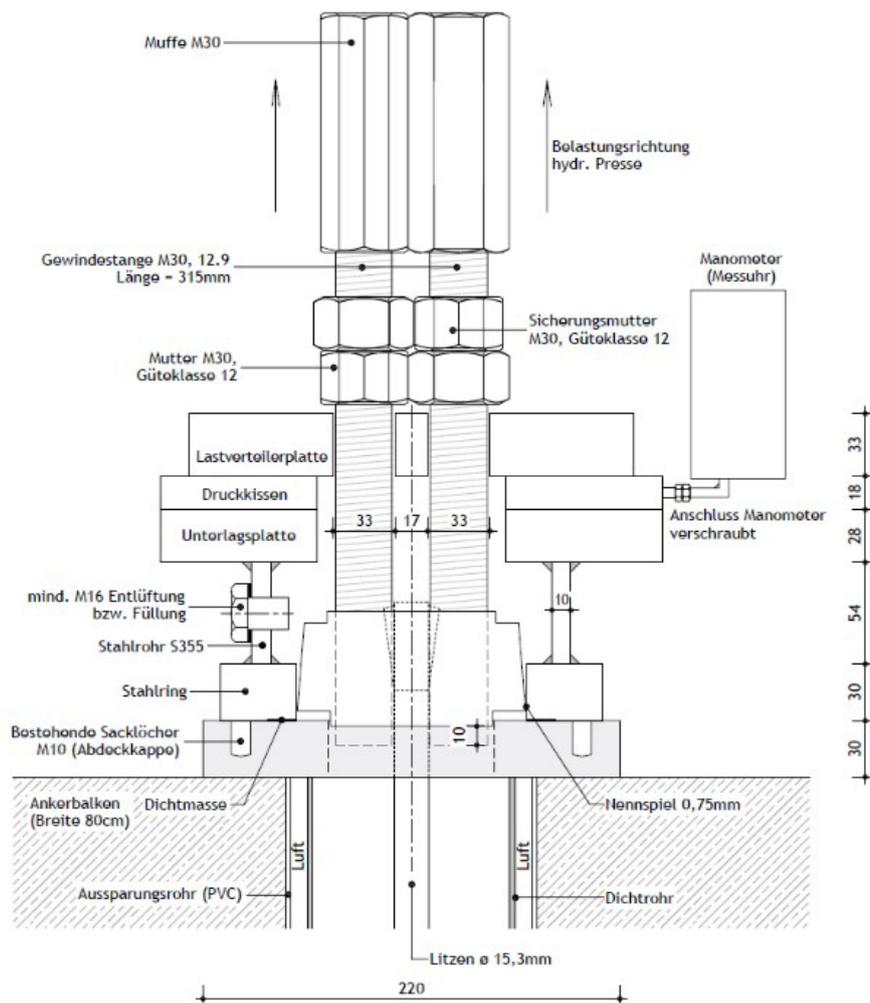


Abb. 8: Konzept zur Nachrüstung von KMT an Litzenanker (GDP ZT GmbH, 2018)

Ein entscheidender Nachteil dieses Konzeptes ist, dass zwei gegenüberliegende Litzenlöcher unbelegt sein müssen, um die notwendigen Gewindebohrungen in der Keilscheibe herstellen zu können. Zusätzlich kommt hinzu, dass ein hoher technischer Aufwand (Gewindeherstellung auf der Baustelle) erforderlich ist, bzw. auch eine nachhaltige Beeinflussung des Zustandes der Keilscheiben vorgenommen wird. Vor allem letzteres kann hierbei, in Bezug auf die Gewährleistung des Ankersystems, einen großen Einfluss haben. Ein wesentlicher Teil dieser Arbeit war die Umsetzung und Erprobung dieses Konzeptes. Die Ergebnisse hierzu sind in Kapitel 6.1 angeführt.

## 4.2.2 System DSI

Die DYWIDAG-Systems International entwickelte eine zweiteilige elektrische Kraftmesszelle. Die Kraftmessung erfolgt über eingebaute Dehnmessstreifen an vier symmetrisch angeordneten Punkten. Dieses System kann als nachträgliche Kraftmesseinheit verwendet werden, wenn die vorhandene Kopfkonstruktion um ca. 20 mm abgehoben und die zwei getrennt montierbaren Messeinheiten um das Zugglied (bzw. unter der Keilscheibe) angebracht werden können. Für dieses System sind jedoch ein Auslesegerät und die damit verbundene Verkabelung erforderlich.

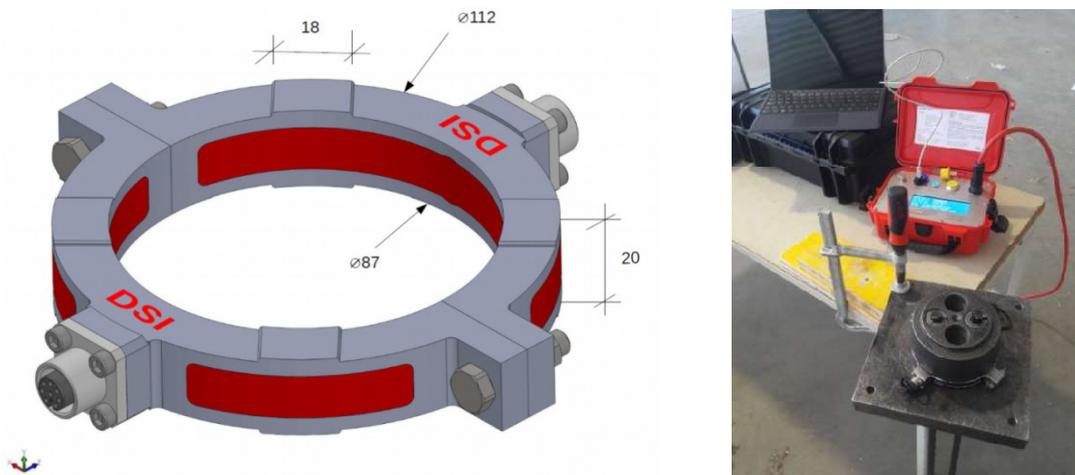


Abb. 9: Links: Geteilte elektronische Kraftmessdose (System DSI); Rechts: Ausleseeinheit inkl. Verkabelung

Um die Einsatzmöglichkeiten bzw. Grenzen dieses Systems abschätzen zu können, wird in Abb. 10 die maximal vorhandene Abhebekraft einer Litze dargestellt, welche ein potentiell nachzurüstender Anker (bei diesem System) aufweisen darf, um ein Überspannen der Litzen bis zur charakteristischen Bruchkraft  $F_{pk}$  bei einem Abheben der Keilscheibe um 20 mm zu verhindern. In Abb. 11 ist ersichtlich, dass diese Begrenzung besonders bei Ankern mit einer freien Länge unter 12 m ( $L_{app}$  gem. ÖNORM EN 1537) zu einem Problem führen kann, da der Kraftzuwachs  $\Delta F$  infolge des Abhebens die Differenz zwischen Bruchkraft  $F_{pk}$  und maximaler Prüfkraft ( $P_{p,max} = 0,8 * F_{pk}$ ) übersteigt.

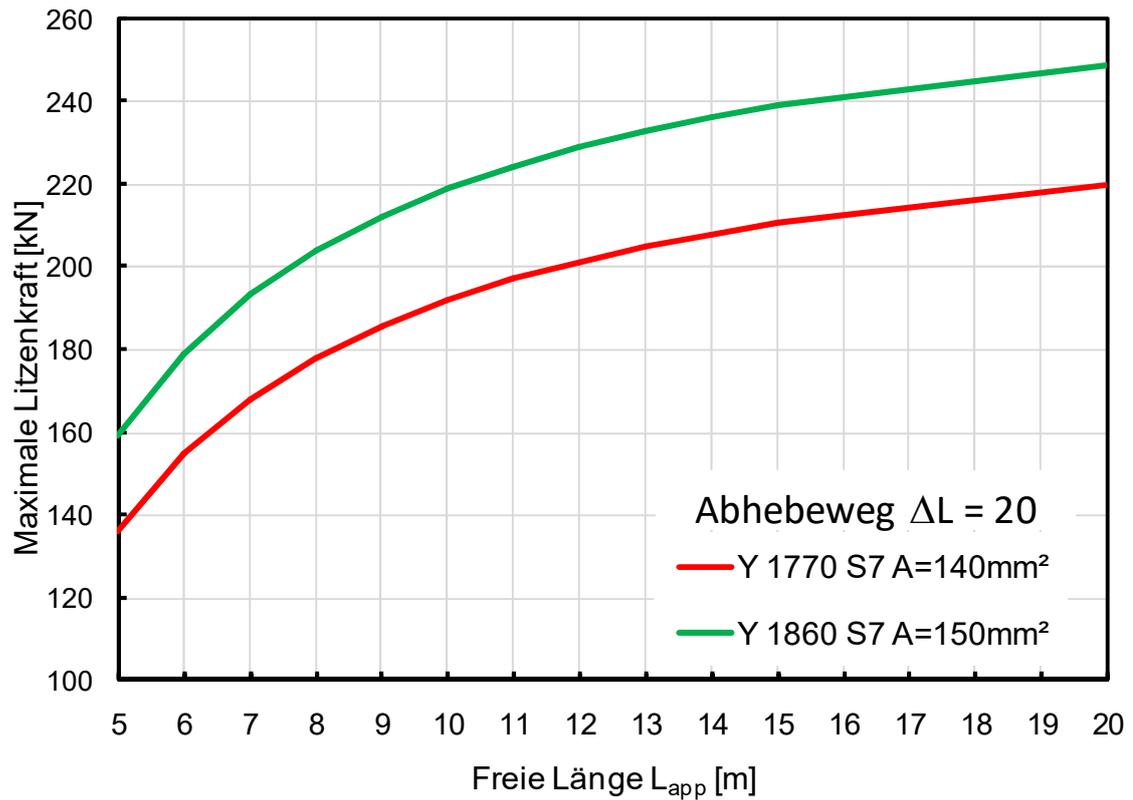
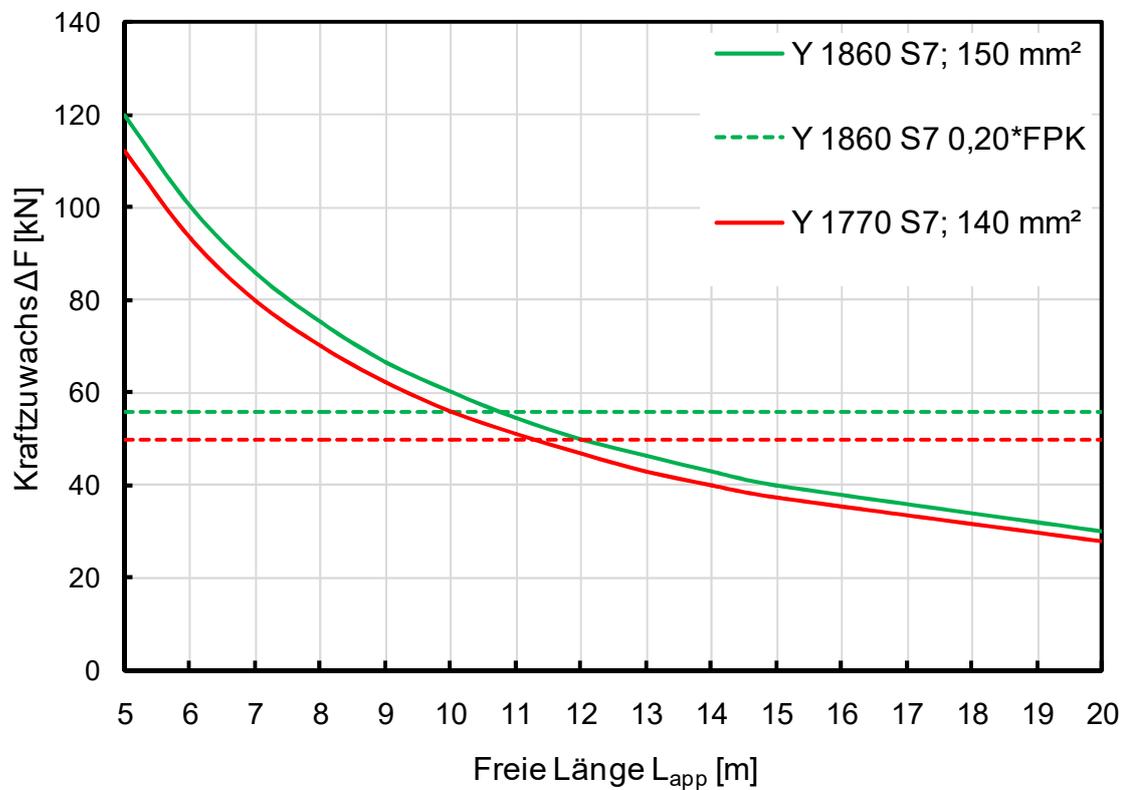


Abb. 10: Maximale Abhebelast einer Litze für die Nachrüstung System DSI

Abb. 11: Kraftzuwachs  $\Delta F$  bei einem Abhebeweg von 20 mm

## 5 Korrosion bei Ankersystemen

Der Hauptunterschied in der Handhabung mit den unterschiedlichen Ankersystemen in Hinblick auf die Nutzungsdauer der Anker, ist der geforderte Korrosionsschutz. Dabei kann in Abhängigkeit der geplanten (bzw. festgelegten) Nutzungsdauer, zwischen Temporär- und Permanentanker, unterscheiden werden. Bei ersterem beschränkt sich die Mindestdauer der geforderten Wirksamkeit des Korrosionsschutzes auf weniger als zwei Jahre, der Permanentanker muss hingegen eine geforderte Nutzungsdauer von mehr als zwei Jahren erreichen (Boley, 2012). Temporäranker (Kurzzeitanker) werden üblicherweise mit einem einfachen Korrosionsschutz versehen. Permanentanker (Daueranker) müssen auf der gesamten Länge (Ankerkopf, freie Stahllänge, Verpresskörper) eine durchgängige und unversehrte Korrosionsschutzschicht aufweisen. Daher werden Permanentanker mit einem doppelten Korrosionsschutz hergestellt. Die Funktionsfähigkeit der zweiten Korrosionsschutzschicht muss auch nach dem Einbau gewährleistet sein (Prinz & Strauß, 2011; Kolymbas, 2011; Boley, 2012). Die Korrosionsgefahr von Permanentankern hängt von mehreren Faktoren ab. Zu diesen zählen neben dem Grundwasserniveau, die Durchlässigkeit des Bodens, die Aggressivität der im Boden enthaltenen Elemente (Sulfat, Sulfid, Chlorid), sowie die Stahlgüte des verwendeten Ankersystems (Möller, 2016).

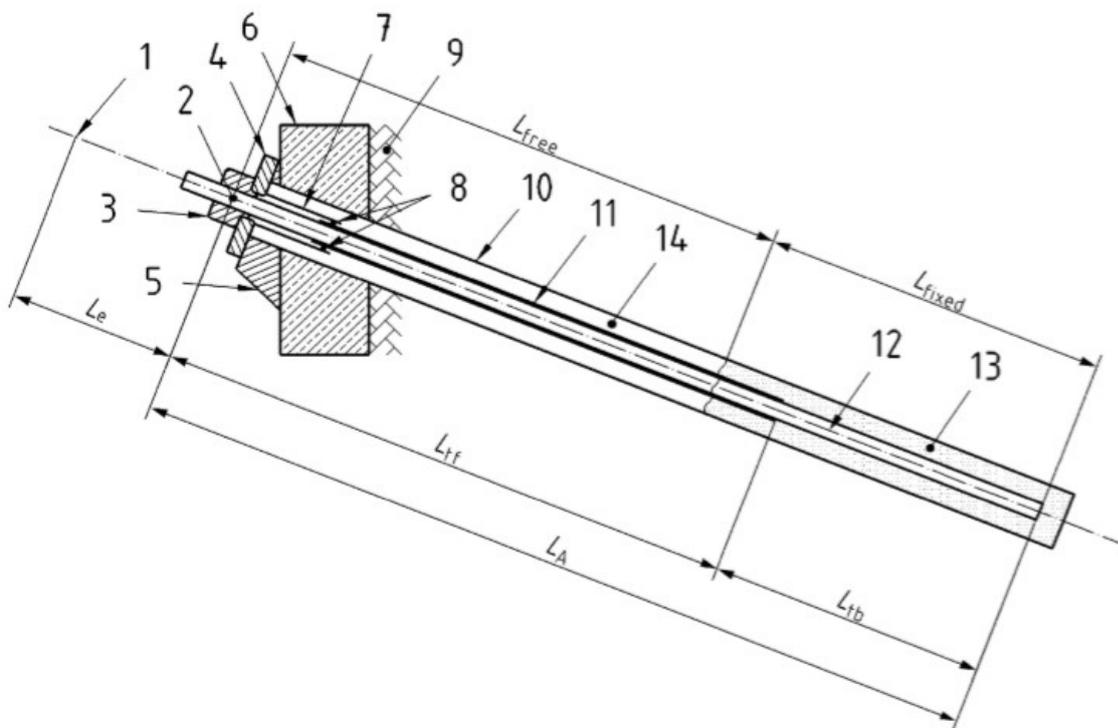


Abb. 12: Schema eines Verbundankers (ÖNORM EN 1537, 2015)

Tab. 1: Ergänzung zu Abb. 12

1	Verankerungspunkt an der Spannprese während des Spannens
2	Verankerungspunkt am Ankerkopf im Gebrauchszustand
3	Spannelement am Ankerkopf
4	Ankerplatte
5	Auflagerkonstruktion
6	Teil des Bauwerks
7	Übergangsrohr
8	Abdichtung
9	Boden
10	Bohrloch
11	Hüllrohr
12	Zugglied
13	Verpresskörper
14	ggf. Bohrlochverfüllung im Bereich der freien Ankerlänge
$L_{\text{free}}$	freie Ankerlänge - Abstand zwischen Krafteinleitungspunkt am Spannelement des Ankerkopfes und der Krafteinleitungslänge
$L_{\text{fixed}}$	Krafteintragungslänge - geplante Länge des Verpresskörpers, in der die Ankerkraft in den umgebenden Baugrund eingeleitet wird
$L_{\text{tf}}$	freie Stahllänge - Abstand zwischen Krafteinleitungspunkt am Spannelement des Ankerkopfes und Beginn der Verankerungslänge des Zuggliedes
$L_{\text{tb}}$	Verankerungslänge des Zuggliedes - Länge des Zuggliedes, welche direkt mit dem Verpresskörper verbunden ist
$L_A$	Ankerlänge

Bei der für Permanentanker notwendigen durchgängigen Korrosionsschutzschicht wird unterschieden zwischen dem Bereich der Verankerungslänge (vgl. Abb. 12), der freien Stahllänge, sowie dem Bereich des Ankerkopfes (vgl. Kapitel 5.2). Der Bereich der freien Stahllänge muss durchgehend mit Zementmörtel oder Korrosionsschutzmasse verfüllt werden, wobei darauf geachtet werden muss, dass das Zugglied frei beweglich bleibt. Im Bereich des Ankerkopfes wird unterschieden zwischen dem Anschluss der freien Stahllänge an den Ankerkopf und dem Ankerkopf. Dieser Anschluss muss aus einem an den Ankerkopf verschweißten Hüllrohr bestehen und gegen die freie Stahllänge abgedichtet werden. Anschließend wird dieser Bereich mit Korrosionsschutzmasse verpresst. Der in den letzten Jahren oftmals als schadhaft identifizierte Bereich eines Ankers ist der Ankerkopf. Dieser Bereich kann zum Beispiel, mit einer beschichteten und feuerverzinkten Stahlkappe, welche an der Ankerkopfplatte verbunden wird und mit Korrosionsschutzmasse verfüllt wird, geschützt werden (Tostmann, 2001).

## 5.1 Einführung in die Korrosionsthematik

Es liegt in der Natur aller bautechnischen Produkte und Materialien, dass ihre Nutzungsdauer durch werkstoffschädigende Prozesse begrenzt ist. Der Einfluss von Verschleiß oder beispielsweise Korrosion bei metallischen Bauteilen kann dazu führen, dass eine Schädigung schon vor Ablauf der geplanten Nutzungsdauer eintritt. Dies ist bei der Planung und dem Entwurf durch Berücksichtigung dieser Einflüsse zu beachten.

Korrosion von metallischen Baustoffen ist ein zeitabhängiger Prozess, der bei vielen Bauwerken zu Problemen und Einschränkungen führen kann. Dieser Vorgang ist eine chemisch-physikalische Reaktion bei der Metall seine Eigenschaften und Festigkeiten ändert. Dies kann zu Querschnittverminderungen in Folge von Werkstoffabtrag sowie zu einer Veränderung der Dehnungseigenschaften führen. Es gibt mehrere Arten von Reaktionen bei Korrosionsvorgängen:

- Chemische Reaktion
- Metallphysikalische Reaktion
- Elektrochemische Reaktion

Der am häufigsten vorkommende Korrosionsvorgang ist der elektrochemische Prozess. Dabei wird durch ionenleitende Medien (z.B. Wasser) elektrischer Strom transportiert. Dieser Elektronenfluss bewirkt einen Werkstoffabtrag. Die elektrolytische Leitfähigkeit des Mediums kann durch Salzsäure erhöht werden.

Kann es konstruktionsbedingt nicht verhindert werden, dass Metalle mit unterschiedlichem elektrischem Potenzial durch ein Elektrolyt verbunden sind, besteht die Gefahr der Kontaktkorrosion. Dabei findet ein Werkstoffabtrag zwischen dem unedleren Metall (Anode) und dem edleren Metall (Kathode) statt. Um diesen Prozess zu verhindern, muss die elektrische Isolierung beider Metalle sichergestellt werden. Ist diese Art des Schutzes nicht möglich, kann das Anbringen einer Opferanode sinnvoll sein (Tostmann, 2001).

## 5.2 Korrosionsschäden an Ankern

Ist der bereits erwähnte durchgängige Korrosionsschutz nicht ordnungsgemäß ausgeführt, bzw. sind Fehlstellen vorhanden, kann dies zu Korrosionsschäden führen. Diese Fehlstellen folgen zu meist einer mangelhaften Herstellung oder konstruktionsbedingten Einschränkungen. Durch das Vorliegen von Korrosionsschäden an Ankern (im Speziellen deren Zuggliedern) kommt es, wie bereits einleitend angeführt, zu einer Reduktion der Nutzungsdauer, sowie der Tragfähigkeit bzw. der Gebrauchstauglichkeit. In weiterer Folge sind bekannte Schwächen und Ihre Auswirkungen beschrieben (Burtscher, Rebhan, Marte, & Scharinger).

### 5.2.1 Ankerkopf Außenfläche

Ein möglicher Mangel an Permanentankern kann an der von außen sichtbaren Oberfläche entstehen. Ist der Ankerkopf unzureichend mit Korrosionsschutzmasse bedeckt, können Korrosionsschäden eintreten. Dies kann zu einem Verlust der Tragfähigkeit führen und zum anderen, falls der Korrosionsprozess weit fortgeschritten ist, in einer Unwirksamkeit der Konstruktion resultieren. In den meisten Fällen sind jedoch in der Kopfkonstruktion ausreichend Reserven (Metallquerschnitt) vorhanden.



Abb. 13: Oberflächenkorrosion eines Ankerkopfes (Burtscher, Rebhan, Marte, & Scharinger)

### 5.2.2 Freispielstrecke - Anschluss Ankerkopf

Eine sehr häufig anzutreffende Schadstelle befindet sich direkt im Anschluss an die sichtbaren Außenteile des Ankerkopfes. Ein solcher Schaden kann durch eine mangelhafte Herstellung (unzureichende Verfüllung dieses Bereiches mit Korrosionsschutzmasse), oder durch zeitlich abhängiges Verflüchtigen der Schutzmasse durch Risse, Hohlräume oder Schadstellen an abdichtenden Elementen, entstehen. Die Detektion eines Schadens in diesem Bereich stellt sich oftmals als schwierig dar, da eine Begutachtung mittels Endoskops durch die Bohrlochverfüllungen behindert werden kann.

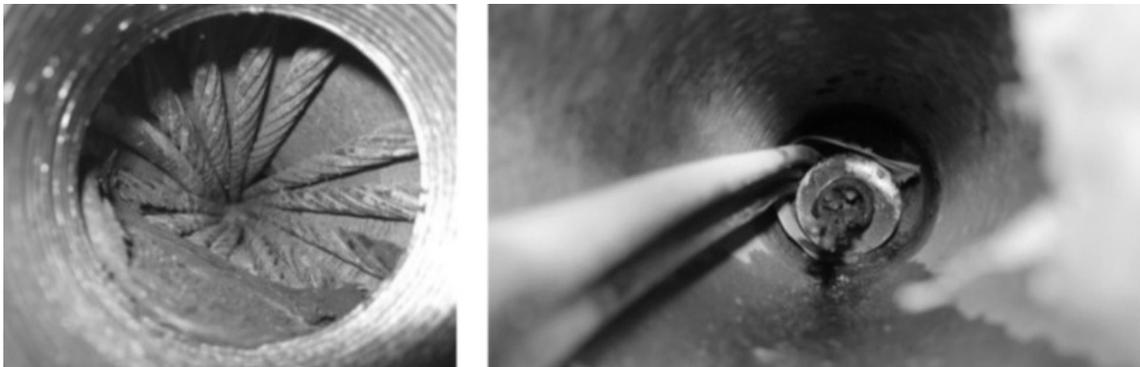


Abb. 14: Links: Korrodierte Drähte eines Litzenankers im Anschluss an den Kopfbereich; Rechts: gerissene Drähte eines PZ-Anker in einer Tiefe von ungefähr 1,00 m (Burtscher, Rebhan, Marte, & Scharinger)

### 5.2.3 Freie Ankerlänge

Zusätzlich zu den gefährdeten Stellen im Nahbereich des Ankerkopfes können Korrosionserscheinungen an der gesamten freien Ankerlänge auftreten. Gründe dafür sind zumeist Alterungseffekte, bei denen die Bohrlochverfüllung durch Schadstellen entweicht und metallische Bauteile dadurch ungeschützt vorliegen. Zusätzlich kann es im Bereich der freien Ankerlänge auch zu einem Aufreißen des Verpresskörpers kommen. Dies kann einerseits infolge auftretender Zugspannungen in diesem Bereich der Fall sein, andererseits auch aus betonbautechnischen Effekten (z.B. Kriechen oder Schwinden) entstehen. In weiterer Folge können Fehlstellen im Zuge der Herstellung (durch Verbrauch des Bohrloches) in der freien Ankerlänge entstehen, welche ebenfalls zu einer Schädigung führen.

### 5.2.4 Verankerungslänge

Grundsätzlich ist das Zugglied im Bereich der Verankerungslänge durch den Verpresskörper geschützt. Eine Rissbildung durch die Einleitung von Zugkräften und dadurch entstehende Zugspannungen sind nicht vermeidbar. Ein Riss im Verpresskörper gilt als undurchlässig und unbedenklich bis zu einer Größe von weniger als 0,10 mm (ÖNORM EN 14490, 2010). Entstehen Risse mit einer größeren Breite, kann dies zu Korrosion des Zuggliedes führen. Untersuchungen zu Rissbreiten in diesem Zusammenhang werden in Kapitel 6.2 behandelt.

## 5.3 Abrostung bei geankerten Konstruktionen

Wie sich aus den kurzen Ausführungen in Kapitel 5.2 erkennen lässt, bildet die Korrosion ein großes Schädigungspotential bei geankerten Konstruktionen. Daher soll nachfolgend auf die Beeinflussungen dieses chemischen Prozesses, im Zusammenhang mit Zuggliedern, eingegangen werden. Danach sollen die möglichen Maßnahmen zur Verhinderung eines Korrosionsprozesses, bei geankerten Konstruktionen, zusammengefasst werden.

Als Korrosionsgeschwindigkeit im Baubereich ist 1,00 mm/Jahr als unzulässig groß zu betrachten. In den meisten Fällen sind Korrosionsraten im Bereich von 0,10 mm/Jahr oder geringer realistischer. Diese Geschwindigkeiten sind nur in Hinblick auf gleichförmige Flächenkorrosion relevant. Sehr viele Korrosionsvorgänge sind örtlich begrenzt, mit einer dementsprechend hohen Auflösung. Diese lokalen Korrosionserscheinungen führen meist zu schwerwiegenderen Schäden. Zu den örtlich begrenzten Korrosionserscheinungen zählen Lochfraßkorrosion, Spaltkorrosion, Kontaktkorrosion und Spannungsrisskorrosion (Tostmann, 2001).

Eine gleichförmige Flächenkorrosion ist in Bereichen zu erwarten, an denen die Oberfläche des gesamten Querschnittes nicht von Korrosionsschutzmasse geschützt ist, sofern die Bedingungen für Korrosion gegeben sind.

Verschiedenste lokale Korrosionserscheinungen entstehen in Gebieten in denen der Korrosionsschutz nur an einzelnen Stellen des Querschnittes unzureichend ausgeführt ist. Bekannte Bereiche dafür können Fehlstellen der Korrosionsschutzmasse in der freien Stahllänge sein, oder auch Risse im Verpresskörper der Verankerungslänge (Burtscher, Rebhan, Marte, & Scharinger).

### 5.3.1 Einflussfaktoren auf die Korrosion erdüberdeckter Anlagen

Im Gegensatz zu klassischen Hochbauten, bei welchen Stahl im Außenbereich einer Korrosion unterliegen kann, werden Zugglieder hauptsächlich durch den umliegenden Boden bzw. dessen Eigenschaften beeinflusst. Korrosionserscheinungen in Böden hängen von einer Vielzahl örtlich vorhandener Parameter ab. Zusätzlich müssen entstandene Korrosionsprodukte als Teil des Korrosionssystems betrachtet und berücksichtigt werden (ÖNORM EN 12501-1, 2003):

- Art des Bodens, Struktur
- Art des Bettungsmaterials
- elektrischer Widerstand
- pH-Wert
- Wassergehalt, Wasserspiegel
- Salze: Sulfat, Sulfid, Chlorid
- bakterielle Aktivität (sulfatreduzierende Bakterien)
- Homogenität des Bodens

Die oben angeführten Bodenparameter können im Allgemeinen durch vertiefende Untersuchung des Bodenkörpers erfasst und analysiert werden.

### 5.3.2 Baugrunduntersuchung nach ÖNORM EN 12501

In ÖNORM EN 12501-2 (2003) wird die Beurteilung der Korrosionsbelastung eines Bodens im Zuge eines Untersuchungsschemas dargestellt. Dieses kann hierzu in drei Stadien von Untersuchungen unterteilt werden und dient der Erfassung des Korrosionspotentials des Bodenkörpers bzw. definieren die vom Bodenkörper ausgehende Belastung. In Abb. 15 soll der Ablauf in Zusammenhang mit einer derartigen Untersuchung gezeigt werden.

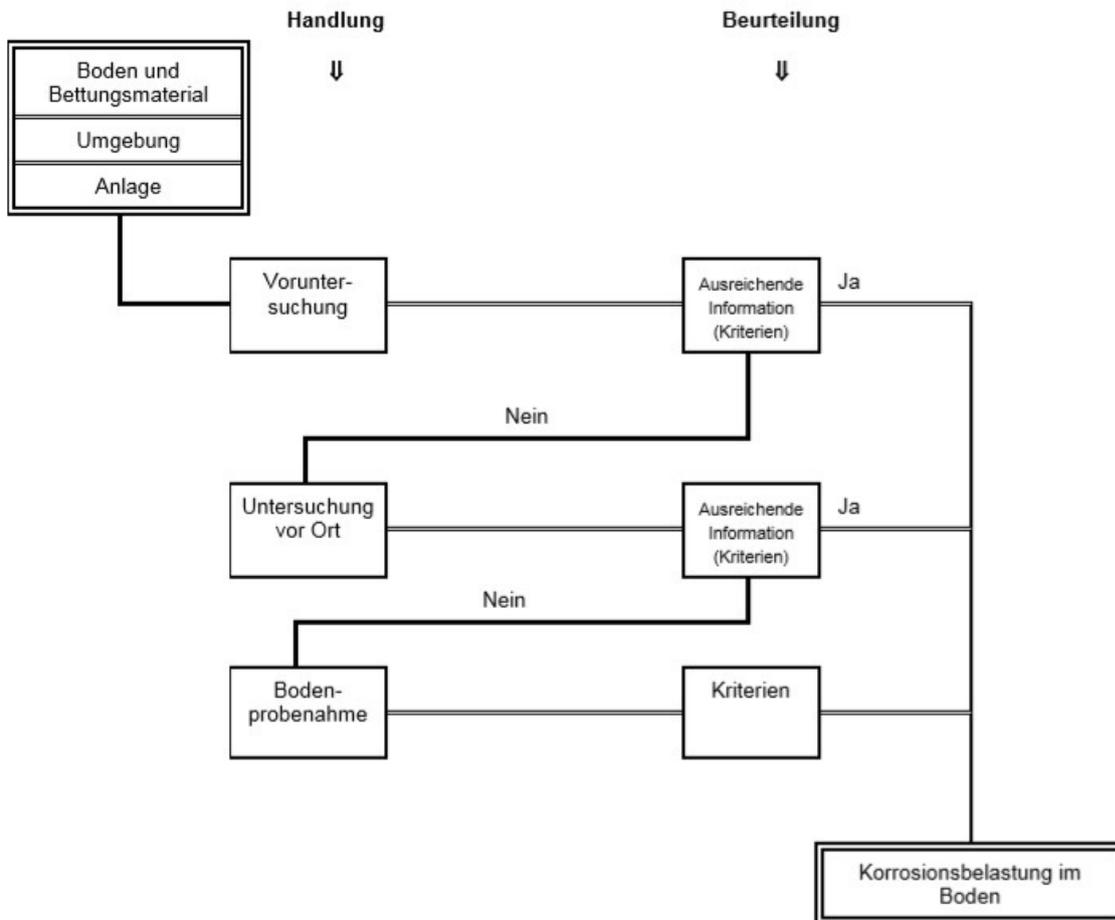


Abb. 15: Vorgehen zur Beurteilung der Korrosionsbelastung in Böden (ÖNORM EN 12501-2, 2003)

Die Korrosionsbelastung sollte als hoch angesehen werden, wenn aus unbestimmten Gründen keine oder nicht in ausreichendem Maße Untersuchungen, des in Abb. 15 angeführten Schemas, vorgenommen wurden. Mögliche Informationsmängel sollten daher im Allgemeinen durch eine höhere Korrosionsbelastung ausgeglichen werden. (ÖNORM EN 12501-2, 2003)

### 5.3.2.1 Voruntersuchung

Bei der Voruntersuchung werden Informationen aus topographischen Karten, geologischen Karten und zusätzliche, spezielle Informationen von regionalen Behörden gesammelt. Diese Maßnahme ermöglicht eine gezielte Gebietseinteilung für spätere Untersuchungen vor Ort oder Probenentnahmen.

### 5.3.2.2 Untersuchung vor Ort

Bei der Untersuchung vor Ort werden Messungen von elektrischen Bodenwiderständen oder Spannungsgradienten vorgenommen. Diese an der Oberfläche durchgeführten Messungen helfen, die Bereiche der Bodenprobennahme einzuteilen.

- **Hohe Korrosionsbelastung:**
  - elektrische Bodenwiderstände unter 30  $\Omega\text{m}$
- **Niedrige Korrosionsbelastung:**
  - Elektrische Bodenwiderstände über 100  $\Omega\text{m}$
  - Elektrische Bodenwiderstände über 30  $\Omega\text{m}$  und der vorliegende Boden besteht aus Sand oder Kies

Im Zuge derartiger Messungen sollte der mögliche Einfluss von elektrischen Anlagen (Gleich- oder Wechselstrom) untersucht werden, um deren Auswirkung auf die zu erwartende Korrosionsbelastung präziser einschätzen zu können. Beispiel hierfür ist eine nahe Lage des Baufeldes zu stromführenden Gleisanlagen.

### 5.3.2.3 Bodenproben

Bei Bodenproben sollte darauf geachtet werden, dass durch die Entnahme, Lagerung und Transport keine physikalische und chemische Veränderung stattfindet. Die Entnahme der Bodenproben sollte dabei die Stratigraphie bzw. die geplante Lage der geankerten Konstruktionen berücksichtigen.

#### (a) Elektrischer Bodenwiderstand

Der elektrische Bodenwiderstand hängt von der Menge der gelösten Salze (Chlorid, Sulfat) und der Menge des vorhandenen Wassers ab. Die Bewertung der Korrosionsbelastung von Böden erfolgt nach dem Prinzip des kleinsten elektrischen Bodenwiderstandes nach der Zugabe von deionisiertem Wasser. Dieser wird aus der Entwicklung des elektrischen Bodenwiderstandes, nach wiederholter Zugabe von bekannten Mengen an deionisiertem Wasser zu einer Bodenprobe, ermittelt.

#### (b) pH-Wert

Der pH-Wert der meisten Böden liegt im Bereich zwischen 6 und 9. Werte unter 6 sind nur in Mooren oder silikatischen Böden aus sehr alten geologischen Schichten anzutreffen. pH-Werte höher als 9 oder sehr weit im sauren Bereich, sind Anzeichen für industrielle Verunreinigungen.

## (c) Grundwasserspiegel

Sowohl konstante als auch wechselnde Grundwasserspiegel haben einen Einfluss auf den Korrosionsprozess. Im Allgemeinen können diese durch direkte Aufschlüsse bzw. Grundwasserpegel bestimmt werden. Hierbei ist vor allem auf die jahreszeitlichen und periodischen Schwankungen zu achten.

## (d) Heterogenität

Die Korrosionsbelastung sollte höher eingestuft werden, wenn heterogene Bodenverhältnisse vorliegen.

- Grundwasserspiegel im Nahebereich der geplanten Konstruktion
- elektrischer Widerstand der Proben in einem Bereich von:  $\text{Max/Min} > 3$
- pH-Wert der Proben in einem Bereich von  $(\text{Max} - \text{Min} > 1,5)$

## (e) Bodenart

Die vorhandene Bodenart gibt Auskunft über die zu erwartende Korrosionsart.

Bodenart	Spezifischer elektrischer Bodenwiderstand ( $\Omega\text{m}$ )	Belüftung
Schlick	3–8	sehr gering
Tone	5–20	gering bis sehr gering
trockene Sande, nicht vom Meer	200–2 000	hoch

Abb. 16: Korrosionsverhalten einiger Bodenarten (ÖNORM EN 12501-2, 2003)

In Abb. 16 ist beispielhaft der Zusammenhang zwischen einigen Bodenarten und dem spezifischen elektrischen Bodenwiderstand, welcher Aufschluss über die zu erwartende Korrosionsbelastung gibt, gegeben.

## (f) Mikrobiologische Aktivität

Bei mikrobiologischer Aktivität in der Umgebung einer erdüberdeckten Anlage kann die Gefahr einer bakteriellen anaeroben Korrosion bestehen.

### 5.3.3 Klassifikation von Böden hinsichtlich ihrer Aggressivität nach ÖNORM EN 14490

Das in der ÖNORM EN 14490 verwendete Verfahren, zur Klassifikation von Böden in vier Kategorien der Korrosionswahrscheinlichkeit, beruht auf dem Verfahren der *Soil Nailing Recommendations* nach *Clouterre (1991)*.

Dieses Verfahren basiert auf einer Rangordnung, bei der die unterschiedlichen Parameter, welche für die Aggressivität eines Bodens verantwortlich sind, klassifiziert und gewichtet werden (vgl. Abb. 18). Mit dieser Klassifizierung wird das Ausmaß, die Notwendigkeit und die Art eines Korrosionsschutzes bestimmt (vgl. Abb. 17).

Eigenschaften des Bodens	Klassifizierung	Kennzahl $\Sigma A$
Hoch korrosiv	I	13 oder größer
korrosiv	II	9 bis 12
Durchschnittlich korrosiv	III	5 bis 8
Leicht korrosiv	IV	4 oder weniger

Abb. 17: Klassifizierung des Bodenzustandes (ÖNORM EN 14490, 2010)

Für die Bewertung sollten die am besten bekannten Parameter oder Schätzungen herangezogen werden. Sind die vorliegenden Informationen unzureichend, oder stehen keine Informationen zur Verfügung, ist der schlechteste maßgebliche Fall anzunehmen.

Kriterium	Merkmale	Gewichtung $A$ des Kriteriums
Bodenart <sup>2)</sup>	<b>Beschaffenheit</b>	
	— schwer, formbar, pappig, undurchlässig	2
	— tonhaltiger Sand	1
	— leichte, durchlässige, sandige, nichtbindige Böden	0
	<b>Tor und Moor/Marschland</b>	8
	<b>Industrieabfälle</b>	
— Schlacke, Asche, Kohle	8	
— Bauabfälle (Putzmörtel, Mauersteine)	4	
<b>Verunreinigte Flüssigkeiten</b>	— Industrieabwässer	6
	— Wasser, das Tausalz enthält	8
Widerstandsfähigkeit ( $\Omega$ cm)	$p < 1\ 000$	5
	$1\ 000 < p < 2\ 000$	3
	$2\ 000 < p < 5\ 000$	2
	$5\ 000 < p$	0
Feuchtegehalt	Grundwasserspiegel – Brackwasser (schwankend oder dauerhaft)	8
	Grundwasserspiegel – Reinwasser (schwankend oder dauerhaft)	4
	oberhalb des Grundwasserspiegels – feuchter Boden (Wassergehalt $> 20\ %$ )	2
	oberhalb des Grundwasserspiegels – trockener Boden (Wassergehalt $< 20\ %$ )	0
pH-Wert	$< 4$	4
	4 bis 5	3
	5 bis 6	2
	$> 6$	0
	Allgemeine Kennzahl	Summe der oben angegebenen Werte $\Sigma A$

Abb. 18: Allgemeines Verfahren zur Bewertung der Korrosivität (ÖNORM EN 14490, 2010)

In der Kategorie Bodenart ist der Maximale Wert aus den vier Unterkategorien (Beschaffenheit, Torf, Industrieabfälle und Flüssigkeiten) für die Gewichtung heranzuziehen. Der Maximalwert jeder der vier Kategorien ist kleiner oder gleich acht.

Die Korrosivität des Bodens wird als globaler Index  $\Sigma A$  angegeben, welcher aus der Summe der vier maximal Werte gebildet wird.

### 5.3.4 Korrosionsschutzmaßnahmen erdüberdeckter Metalle nach ÖNORM EN 14490

Die folgenden Korrosionsschutzmaßnahmen werden üblicherweise bei geotechnischen Stabilisierungsmaßnahmen aus Stahl (Verpressanker, Bodenvernagelung) verwendet. Eine Kombination aus mehreren Schutzvorkehrungen ist in vielen Baugrundverhältnissen ein geeigneter Ansatz (ÖNORM EN 14490, 2010).

#### 5.3.4.1 Korrosionszugabe

Die Korrosionszugabe ist ein Verfahren bei dem auf eine Oberflächenbehandlung oder Einkapselung durch Korrosionsschutzmasse bewusst verzichtet wird, um Korrosion zuzulassen. Der Korrosionsschutz erfolgt durch eine Überdimensionierung des Querschnittes. Dieses Verfahren der Stahlzugabe sollte nicht bei kleinen Querschnitten Anwendung finden, bzw. der zu erwartende Korrosionsabtrag sollte nicht die Hälfte des Querschnittes übersteigen.

Overall Index I /Classification	Short-term ≤ 18 months	Medium-term 1.5 to ≤ 30 years	Long-term 30 to ≤ 100 years
≤ 4/IV	0	2 mm	4 mm
5 to 8/III	0	4 mm	8 mm
9 to 12/II	2 mm	8 mm	plastic sheath*
≥ 13/I	Protective plastic sheath must be provided*		

Abb. 19: Angabe zu Querschnittsverringern in Millimeter (Clouterre, 1991)

In Abb. 19 sind Beispiele zu notwendigen Überdimensionierungen bei einem Korrosionsschutz mittels Korrosionszugabe in Abhängigkeit der klassifizierten Korrosivität des Bodens und der geplanten Nutzungsdauer angegeben.

#### 5.3.4.2 Einkapselung mit geeignetem Einpressmittel (Mörtel, Beton)

Der Korrosionsschutz durch hydratisiertes Einpressmittel ist gegeben, wenn dieser eine hohe Alkalität aufweist (pH-Wert 9,5 bis 13,5). Die Rissbreiten des Zementkörpers dürfen einen Maximalwert von 0,10 mm nicht übersteigen, damit eine undurchlässige Schutzschicht gegeben ist. Dieser Grenzwert darf nachweislich über die geplante Nutzungsdauer nicht überschritten werden. In Abb. 20 sind Beispiele für minimale Einpressmittelüberdeckungen in Abhängigkeit der zu erwartenden Korrosivität des Bodens und der geplanten Nutzungsdauer dargestellt.

	Zustand des Bodens	Nutzungsdauer des Bauwerks (Jahre) Einkapselung mit Einpressmittel (mm)				
		5	25	50	75	100
IV	Nicht aggressiv	10	20	25	35	a <sub>1</sub>
III	Leicht aggressiv	20	30	40	50	a <sub>1</sub>
II	aggressiv	30	40	50	75	a <sub>1</sub>
I	Hoch aggressiv	nicht anwendbar	nicht anwendbar	nicht anwendbar	nicht anwendbar	nicht anwendbar
a <sub>1</sub> Zur Ermittlung der notwendigen Einkapselung mit Einpressmittel ist eine besondere Betrachtung erforderlich.						

Abb. 20: Leitlinie für eine minimale Einpressmittelüberdeckung im Bohrloch (ÖNORM EN 14490, 2010)

### 5.3.4.3 Oberflächenbeschichtung

Oberflächenbeschichtungen, wie Galvanisierung und Epoxidharzbeschichtung, können einen dauerhaften Schutz des Stahls gegen Korrosion bieten, wenn die Dicke und Qualität entsprechend vorhanden ist. Metallische Beschichtungen (Verzinkungen) bieten eine selbstheilende und widerstandsfähige Schutzschicht, welche auch noch vorhanden ist, wenn die Galvanisierungsschicht abnimmt. Ausführungsbeschreibungen dazu sind in der EN ISO 1461 zu finden.

Epoxidharzbeschichtungen unterscheiden sich von Zinkbeschichtungen. Beschädigungen und Fehlstellen können zu schwerwiegenden Folgen führen (lokale Korrosionserscheinungen). Es wird daher besondere Sorgfalt beim Einbau von epoxidharzbeschichteten Materialien vorausgesetzt. Beschädigungen welche im Zuge des Transportes oder der Lagerung entstehen, müssen vermieden werden.

### 5.3.4.4 Geripptes Hüllrohr mit Einpressmittel

Zement Einpressmittel in Kombination mit gerippten Hüllrohren sind ein Korrosionsschutzsystem, bei dem das Hüllrohr, Wasser oder anderen aggressiven Stoffen keine Möglichkeit bietet in die Risse des Zementkörpers zu gelangen. Die Wirksamkeit dieses Systems ist nur gegeben, wenn das Hüllrohr an den Seiten abgedichtet (z.B. durch Schrumpfschläuche) ist und auch unter Spannung kein Eindringen von Feuchtigkeit möglich ist. Gerippte Hüllrohre sind in korrosiven und hoch korrosiven Böden anzuwenden.

### 5.3.4.5 Nicht rostender Stahl

Wenn nicht rostender Stahl verwendet wird, sollte seine Entwurfslebensdauer im vorliegenden Baugrund nachgewiesen werden. Um Kontaktkorrosion zu vermeiden, darf nicht rostender Stahl nicht mit anderen Stählen in Verbindung gebracht werden.

## 6 Versuche an Ankern

Mit dem nachfolgenden Kapitel sollen einige Versuche zum Aufbau, dem Umgang bzw. auch der Prüfung von Anker beschrieben werden. Hierzu wird einleitend ein Prüfraumen beschrieben, welcher im Zuge eines Projektes (Auftraggeber ASFINAG) erforderlich war. Anschließend werden die weiteren Möglichkeiten bzw. Anwendungsgebiete dieser Konstruktion beschrieben.

### 6.1 Nachrüstung von Kraftmessstellern an Litzenankern

Das Ziel dieses Versuches ist die Erprobung eines Konzepts zur Nachrüstung von Kraftmesszellen (vgl. Abb. 22) an bestehenden vorgespannten Litzenankern. Im Detail bestehen diese aus einer Kopfkonstruktion mit Keilscheibe (vgl. Abb. 21 Links), wobei nur zwei der vier Litzenlöcher mit Litzen ( $\text{Ø}=15,3\text{ mm}$ ) belegt sind.

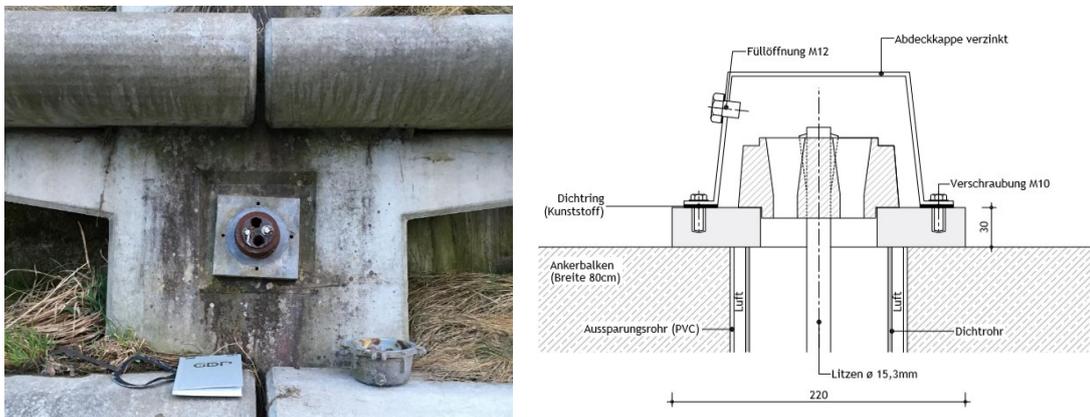


Abb. 21: Ist-Zustand Ankerkopf (GDP ZT GmbH, 2018)

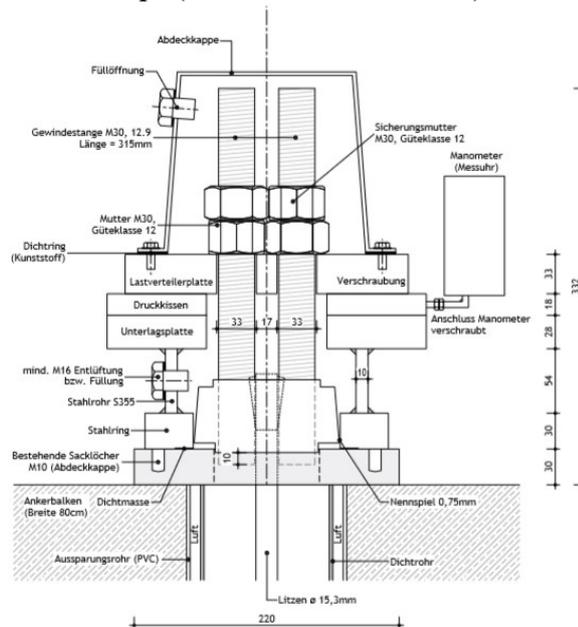


Abb. 22: Ankerkopf mit neuer Lasteinleitungskonstruktion (Soll-Zustand) (GDP ZT GmbH, 2018)

### 6.1.1 Prüfrahmen

In diesem Kapitel wird der Prüfrahmen für die Durchführung von Prüfungen an Ankern beschrieben. Die erstmalige Verwendung des Rahmens erfolgt bei einem Projekt zur Nachrüstung von Kraftmesstellern an Litzenankern. Bei der Planung wurde besonderes Augenmerk darauf gelegt, dass der Prüfrahmen universell auch für weitere Projekte einsetzbar ist.

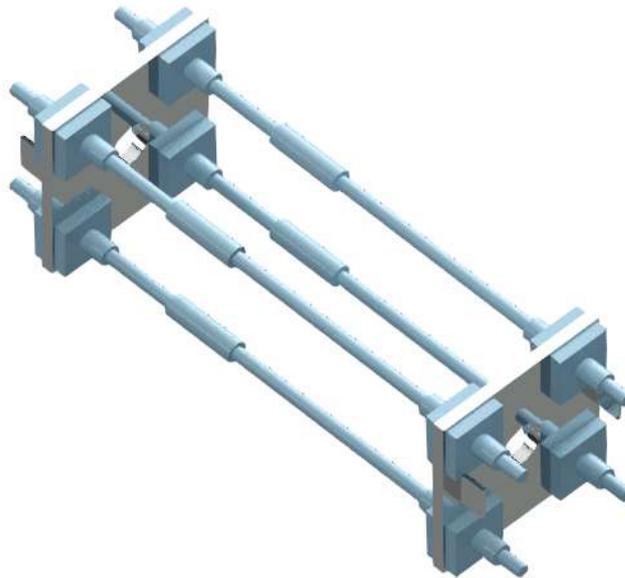


Abb. 23: Schema des Prüfrahmens

Wie in Abb. 23 ersichtlich ist, besteht das Grundgerüst des Rahmens aus 40 mm starken Rahmenplatten, welche mit vier Einstabankern ( $\text{Ø}36$  mm) verbunden sind. Diese massiven Rahmenplatten sind notwendig, um die Lasteinleitung, zufolge des Aufspannens der eingebauten Ankerzugglieder zu gewährleisten. Die Einstabanker können durch eine Kupplung höhenreguliert werden, woraus sich variable Längen für die eingebauten Zugglieder ergeben. Die Einstabanker wurden in diesen Dimensionen gewählt, um ein Stabilitätsproblem zufolge Knicken in den geplanten Versuchen ausschließen zu können. In die Rahmenplatten wurden vier Bohrungen für die Montage der Einstabanker hergestellt. Die Befestigung erfolgte durch Kugelbundmuttern und Unterlegsplatten beidseitig an den Rahmenplatten. Eine weitere Aussparung ( $\text{Ø}150$  mm) im Zentrum der Platte simuliert das Ankerloch, welches für die spätere Versuchsdurchführung (Simulation eines Bauwerkes) notwendig ist. Um den Transport der Konstruktion zu erleichtern, sind an den Flanken beider Rahmenplatten zwei Hebeschlaufen angeschweißt worden. Die Rahmenplatten und Hebeschlaufen wurden mit der Stahlgüte S235 J0 unverzinkt hergestellt.

### 6.1.1.1 Statik Rahmenstäbe

Nachfolgend soll kurz auf die angeführte Knickthematik des Ankerprüfrahmens eingegangen werden. Hierzu wird die mögliche Knicklast unterschiedlicher Stäbe des Typs ANP - Einstabanker SAS 950 Spannstahl Y1050H mit Gewinderippung (ANP - Systems GmbH, 2015) untersucht.

- Charakteristische Streckgrenze  $R_{p0,1} = 950$  [N/mm<sup>2</sup>]
- Charakteristische Zugfestigkeit  $R_m = 1050$  [N/mm<sup>2</sup>]
- Gesamtdehnung bei Höchstkraft  $A_{gt} \geq 5,0$  [%]
- Elastizitätsmodul  $E \sim 205\,000$  [N/mm<sup>2</sup>]

**Knicknachweis** (ÖNORM EN 1993-1-1, 2014)

Knicken y-y (nur unter Normalkraft)

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{pl,Rd}} \leq 1,0 \quad (1)$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_{yd}}{\gamma_{M0}} \quad (2)$$

Schlankheitsgrad  $\lambda$ :

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,y}}} = \frac{L_{cr,y}}{i_y * \lambda_1} \quad (3)$$

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (4)$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (5)$$

Annahmen:

Eulerfall Nr. IV ( $\beta=0,5$ )

Vollquerschnitt SAS 950 - Knicklinie c ( $\alpha=0,49$ )

Knicklängen:  $L=1460$  mm -  $1560$  mm

$$\Phi_y = 0,5 * [1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] \quad (6)$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 + \bar{\lambda}_y^2}} \leq 1,0 \quad (7)$$

## Ergebnisse

Tab. 2: Bemessungswerte Einstabanker SAS 950 - Rahmenstäbe

	Einheit	Nenndurchmesser		
		Ø32	Ø36	Ø40
Nennquerschnitt A	[mm <sup>2</sup> ]	804	1018	1257
Bemessungswert der Druckbeanspruchung $N_{c,Rd}$	[kN]	763	967	1194
Biegeknicken - Ausnutzungsgrad bei 100 kN $N_{Ed}$	[kN]	0,73	0,45	0,29
Biegeknicken $N_{Ed,max}$	[kN]	136	221	346

In Tab. 2 sind die Ergebnisse des Knicknachweises nach ÖNORM EN 1993-1-1 (2014) für drei unterschiedliche Durchmesser des oben beschriebenen Ankerstabes abgebildet. Es wird die maximale Druckbeanspruchung  $N_{c,Rd}$ , der Ausnutzungsgrad für Biegeknicken bei 100 kN  $N_{Ed}$  und die maximale Last für Biegeknicken  $N_{Ed,max}$  dargestellt.

## 6.1.2 Simulation Bauzustand

Um Zugspannungen in den später eingebauten Litzenankern, welche in realen Bauwerken aus der Vorspannung der Zugglieder und einer Verschiebung des rückverankerten Bodenkörpers resultieren, simulieren zu können, wurde eine Konstruktion mit zwei hydraulischen Pressen an der Außenseiten (vgl. Abb. 24) einer Rahmenplatte montiert.

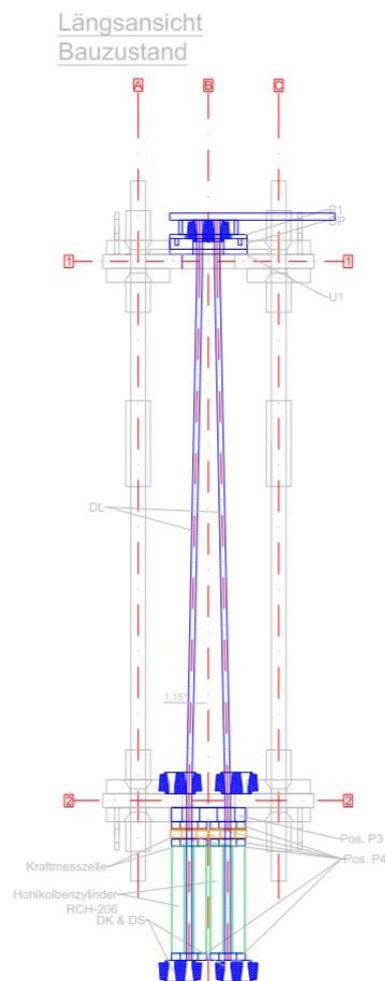


Abb. 24: Längsansicht des Ankerprüfrahmens im Bauzustand

Im Zuge der Projektkonzipierung wurde festgelegt, dass es für diesen Versuch notwendig ist, die Litzen des eingebauten Ankers simultan mit ungleichen Zugspannungen zu belasten. In Abb. 24 ist erkennbar, dass dafür eine Lastplatte mit zwei Bohrungen ( $\text{\O}50\text{ mm}$ ) über der großen Bohrung der Rahmenplatte angebracht wurde. Nach dieser Lastplatte befindet sich pro Litze jeweils eine Unterlegsplatte, auf welcher eine Kraftmesszelle und eine Hohlkolbenpresse RCH 206 (Enerpac, 2018) montiert werden. Diese besitzt eine Maximallast von 215 kN und einen maximalen Hub von 155 mm. Die Aufbringung des erforderlichen Druckes wird durch zweistufige Handpumpen, mit 700 bar maximalem Betriebsdruck, sichergestellt. Die Spannstahllitzen ( $\text{\O}15,3\text{ mm}$ )

werden am unteren Ende der hydraulischen Pressen mittels Keilscheiben und Verankerungskeilen fixiert. Der kraftschlüssige Verbund dieser Teile wird erst durch Spannen der Presse hergestellt. Bei der Montage wurde darauf geachtet, dass sich ein minimaler Spalt zwischen den einzelnen Spannvorrichtungen ergibt, um einen Einfluss durch Reibung bei ungleichem Spannungsniveau ausschließen zu können.



Abb. 25: Aufbau für das Aufbringen der Vorspannkraft der Litzen

Wie in Abb. 25 ersichtlich, wurde der oben beschriebene Aufbau während der Durchführung der Untersuchungen geringfügig angepasst. Diese Modifikationen waren notwendig um einen Einfluss bei ungleicher Vorspannung der Litzen auf die Kraftmesszellen auszuschließen.

### 6.1.3 Herstellung Gewinde

An der gegenüberliegenden Rahmenplatte ist im Bauzustand eine Vorrichtung für die Herstellung der Gewindebohrungen mittels Magnetständerbohrmaschine angebracht.

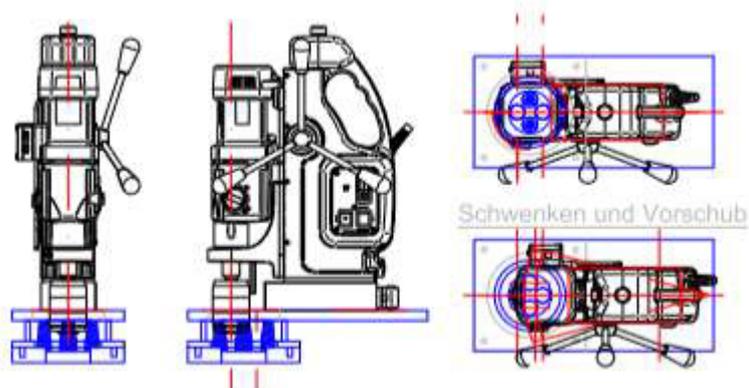


Abb. 26: Magnetständerbohrmaschine am Bohraufsatz (Planung)

Die Montagevorrichtung besteht aus einer Grundplatte, einem Rohrstutzen und einer Befestigungsplatte. Diese werden in der Fertigung mittels Kehlnaht verbunden. Die Grundplatte wird mit vier M10 Schrauben in den Sacklöchern, ursprünglich für den Anschluss der Abdeckkappe in der Ankerkopfplatte vorgesehen, lage- und verdrehsicher befestigt. Der Rohrstutzen dient zur Überbrückung des Zwischenraumes welcher durch die Keilscheibe gegeben ist. Die Befestigungsplatte ist für eine Montage der Magnetständerbohrmaschine in der geforderten Position notwendig.

Das herzustellende Innengewinde für die weitere Befestigung von zwei M30 Gewindestäben erfolgte in den zwei noch unbenutzten Litzenlöchern ( $\varnothing=18$  mm auf 30 mm konisch aufgeweitet). Für dieses Gewinde ist als erstes eine durchgehende Bohrung von 26,5 mm erforderlich, hergestellt mittels Spiralkernbohrer. Der zweite Schritt ist die Herstellung eines M30 Gewindes mittels Maschinengewindeschneider (M30 x 3,5). Um etwaige Toleranzen bzw. Ungenauigkeiten zu vermeiden, wird die Position der Magnetständerbohrmaschine zwischen den beiden Arbeitsschritten (Bohrung und Gewindeherstellung) nicht verändert.

Als Magnetständerbohrmaschine kam eine MAB 845 SB der Firma BDS Maschinen (siehe Tab. 3) zum Einsatz.

Tab. 3: Angaben Magnetständerbohrmaschine

Bezeichnung	Angabe
Hersteller	BDS Maschinen
Bohrtiefe	Max. 100 mm
Gewindeschneiden	Max. M30
Getriebestufen	4 (4 – 600 min <sup>-1</sup> )
Magnetabmessungen	110 x 220 x 54 mm
Spannung	230 V AC (1800 Watt)



Abb. 27: Links: Aufweitung eines Litzenloches mittels Spiralkernbohrer; Rechts: Herstellung eines Innengewindes an einer unter Spannung stehenden Keilscheibe

## 6.1.4 Herstellung Prüfzustand

Das Konzept für die Nachrüstung von Kraftmesstellern an Litzenankern stammt von der GDP ZT GmbH. In diesem Konzept werden in die bisher ungenutzten Litzenlöcher der Keilscheibe, wie schon im letzten Kapitel beschrieben, zwei M30 Gewinde gebohrt. In diese werden zwei M30 12.9 Gewindestangen (L=315 mm) montiert. Über die Gewindestäbe ist es möglich, die bisherige Keilscheibe anzuheben und die Last in eine neue Lasteinleitungsstruktur inkl. Kraftmessteller zu leiten. Diese Konstruktion (vgl. Abb. 8) besteht aus zwei mit einem Stahlrohr verschweißten Stahlringen für die Höhenüberbrückung der Keilscheibe und einem Druckkissen, montiert zwischen einem Stahlring und einer Lastverteilerplatte.

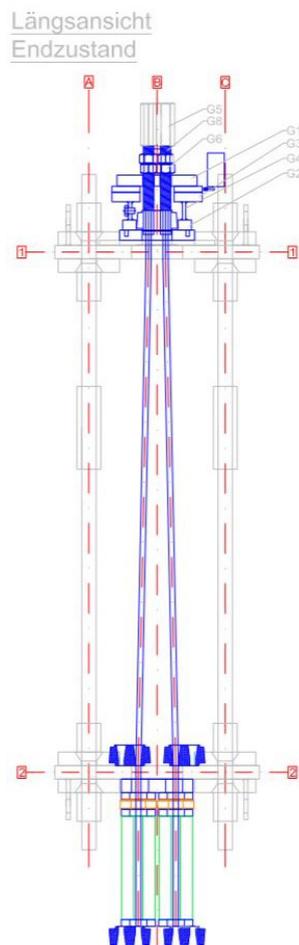


Abb. 28: Längsansicht des Ankerprüfrahmens im Endzustand

Für das Abheben wird eine Hohlkolbenpresse (ANP-Systems), durch Verlängerung der beiden Gewindestangen, angebracht. Nach dem Erreichen des erforderlichen Abstandes zwischen Keilscheibe und Ankerkopfplatte (Abheben) wird die Gewindestange mit einer M30 Mutter an der Lastverteilerplatte befestigt und mittels Sicherungsmutter gesichert.



Abb. 29: Pressenaufbau zum Abheben über die neue Kupplungskonstruktion

Zusammengefasst ergibt sich ein Ablauf für diese Versuche von 11 Schritten die in der folgenden Reihenfolge durchgeführt werden müssen.

1. Montage der Bohrplattform für die Magnetständerbohrmaschine
2. Bohren der Aufweitung und anschließende Gewindeherstellung des ersten Litzenloches
3. Bohren der Aufweitung und anschließende Gewindeherstellung des zweiten Litzenloches
4. Einschrauben der beiden Gewindestangen M30
5. Überprüfung der kraftschlüssigen Verbindung zwischen Keilscheibe und den angebrachten Gewindestangen M30
6. Montage der Distanzkonstruktion
7. Einbau der Kraftmesszelle (Druckkissen)
8. Einbau der Lastverteilerplatte
9. Anbringen der Muttern M30 an die Gewindestangen
10. Verlängern der Gewindestäbe mittels Muffenverbindung
11. Abheben der neuen Lasteinleitungsstruktur und Sicherung der Konstruktion durch Muttern

### 6.1.5 Messtechnisches Gesamtkonzept

Die erforderlichen Messungen, um eine erfolgreiche Versuchsdurchführung zu gewährleisten und zu dokumentieren, wurden Kraft- und Wegmessungen vorgenommen. Die Vorspannkraft der Litzen wurden mit digitalen Ringkraftmessdosen aufgezeichnet. Zugleich wurde auch ein digitaler Wegaufnehmer installiert, um den Abhebeweg zwischen der Kopfplatte und dem Keilscheibenträger nachweisen zu können. Um das Spannen der Presse auf die Abhebelast überwachen zu können, wurde die nachgerüstete hydraulische Lastplatte mit Manometer verwendet.

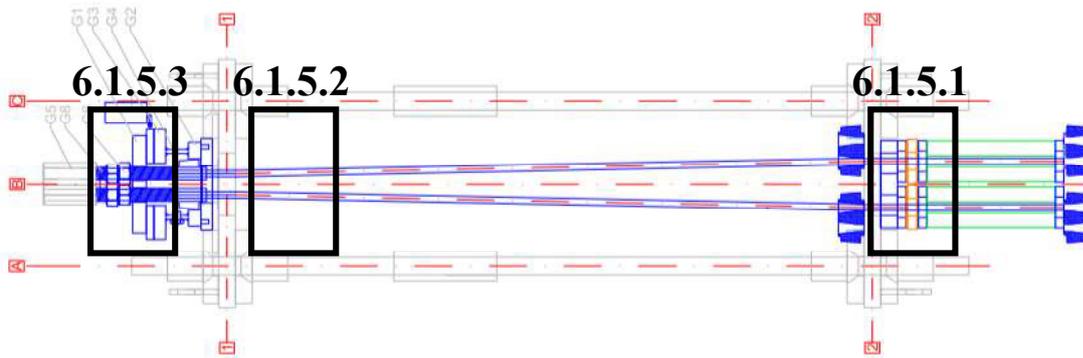


Abb. 30: Darstellung der messtechnischen Ausrüstung

### 6.1.5.1 Digitale Ringkraftmessdosen

Zur Erfassung der Litzenkräfte und möglicher Änderungen dieser im Zuge der Nachrüstung wurden diese permanent durch Ringkraftmesszellen überwacht.

Tab. 4: Angaben Ringkraftmesszelle

Bezeichnung	Angabe
Hersteller	Lorenz
Produkt	K-181/N610/M42
Messbereich	1.000 kN
Genauigkeit	1 % v.EW
Kennwert	1 mV/V

Die digitalen Kraftmesszellen wurden zwischen den Pressen zur Aufbringung der Ankerlitzenvorspannkraft und den abschließenden Keilscheiben eingebaut. Um eine kraftschlüssige und zentrische Lasteinleitung sicherzustellen, wurden noch Unterlegscheiben auf beiden Seiten der Kraftmesszellen eingebaut.

### 6.1.5.2 Wegaufnehmer

Um den Abhebeweg der Kopfkonstruktion bzw. mögliche Verformungen zufolge der nachträglichen Anbringung der Kopfkonstruktion zu erfassen, wurden induktive Wegaufnehmer verwendet.

Tab. 5: Angaben Induktive Wegaufnehmer HBM

Bezeichnung	Angabe
Hersteller	HBM
Produkt	WTA-50T
Messbereich	50 mm
Genauigkeit	0,1 %
Kennwert	2 mV/V

Diese wurden mittels magnetischen Schwenkarmen am Ankerprüfrahmen bzw. anderen Konstruktionselementen befestigt.



Abb. 31: An einer Keilscheibe montierter Wegaufnehmer

#### 6.1.5.3 Hydraulische Lastplatte

Als Druckkissen wurde eine Behensky Ankerlastplatte 750 kN (LPM 750) mit Druckverteilungsplatte und seitlichem Manometer verwendet. Bei dieser war eine Sonderbohrung mit einem Durchmesser von 100 mm erforderlich, um ausreichenden Platz für die Kupplungskonstruktion zu gewährleisten.

#### 6.1.5.4 Signalwandler und Datenaufzeichnung

Die digitale Erfassung, die Wandlung und die erforderliche Verstärkung der erfassten Messwerte wurde durch einen A/D Wandler (Quantum MX840) von HBM sichergestellt. Die erfassten Messwerte wurden durch die Aufzeichnungssoftware CatMan Easy AP erfasst und durch einen Hoch- und Tiefpassfilter bereinigt. Eine weitere Aufbereitung bzw. Veränderung der Messdaten wurde nicht durchgeführt.

### 6.1.6 Versuchsdurchführung und Auswertung

Aus den Vorgaben der Ausschreibung (ASFINAG) und den geforderten zu überprüfenden Konstruktionsparametern wurde ein Versuchsprogramm aufgestellt. Die einzelnen Versuche sind in unterschiedliche Laststufen, gleichmäßiges oder ungleichmäßiges Lastniveau der Litzenvorspannkraft und Art der Gewindeherstellung eingeteilt (vgl. Abb. 32).

Versuchsreihen	Versuche						
	#	Bezeichnung	Beschreibung			Anmerkung	
			Beanspruchung	Litze 1 [kN]	Litze 2 [kN]		Gewinde
R1	1	184 A	gleichmäßig	100	100	vorgefertigt	Prüfung Kupplungssystem - ohne Lasplatte
	2	184 B		150	150		
	3	184 C		200	200		
	4	184 D	ungleichmäßig	150	100		
	5	184 E		175	125		
	6	184 F		180	150		
	7	184 G		180	100		
R2	8	184 H	gleichmäßig	200	200	inkl. Lastplatte	
	9	184 I	ungleichmäßig	150	200		
R3	10	184 J	gleichmäßig	200	200	Herstellung	gesamt
R4	11	184 K	ungleichmäßig	150	200	Gewinde	

Abb. 32: Versuchsprogramm

Das geforderte Höchstlastniveau der Litzen (Vorspannkraft von 200 kN) wurde zum Teil nicht erreicht, da dies durch den kurzen Dehnweg (geg. durch den verkürzten Versuchsaufbau) und den geforderten Abhebeweg der Keilscheibe von 3 mm ein Überspannen der Litzen bis annähernd Bruchkraft bedeutet hätte. Beim Abheben der Keilscheibe und der Überprüfung der Kupplungskonstruktion wurde das geforderte Lastniveau erreicht.

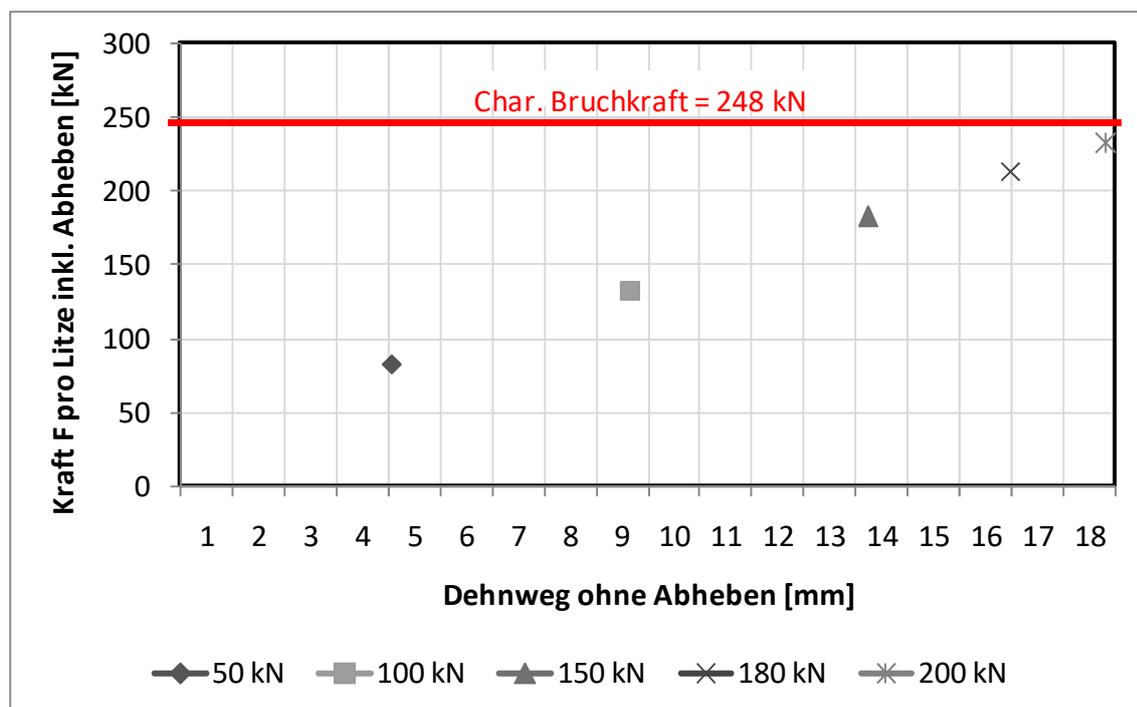


Abb. 33: Kraft/Weg - Diagramm einer Litze im gegenständlichen Versuch

In dem in Abb. 33 dargestellten Kraft-Weg Diagramm ist auf der Ordinate die Kraft einer Litze abgebildet, welche erforderlich ist, um ein Abheben von 3 mm bei den geforderten Laststufen zu erreichen. Auf der Abszisse wurde der dazugehörige Dehnweg für die geforderte Kraft aufgetragen. Bei der verwendeten Litzenlänge von 2,50 m bedeutet ein Weg von 3 mm einen Kraftanstieg von ungefähr 33 kN. Die charakteristische Bruchkraft einer Litze liegt bei 248 kN.

#### 6.1.6.1 Versuche A bis I - Innengewinde Keilscheibe vorgefertigt

Der Fokus der Versuche A bis I war die Überprüfung der Lasteinleitung über die neue Kupplungskonstruktion in die nachgerüstete Lastplatte. Aus diesem Grund wurden Keilscheiben mit bereits vorgefertigten Innengewinden verwendet. Bei der Durchführung der Versuche wurden zuerst die beiden Litzen, wie in Kapitel 6.1.2 beschrieben, auf die geforderte Kraft vorgespannt. Im Anschluss wurde die in Kapitel 6.1.4 beschriebene neue Lasteinleitungskonstruktion mit Lastplatte angebracht. Die Krafteinleitung in diese wurde über Spannen der Litzen bis zum Abheben und anschließendem Fixieren über Muttern bewirkt. Dieser Belastungszustand wurde mindestens eine Stunde gehalten. Die Litzenkräfte und Ankerkopfverschiebungen wurden in diesem Zeitraum aufgezeichnet und auf Diskrepanzen überprüft.

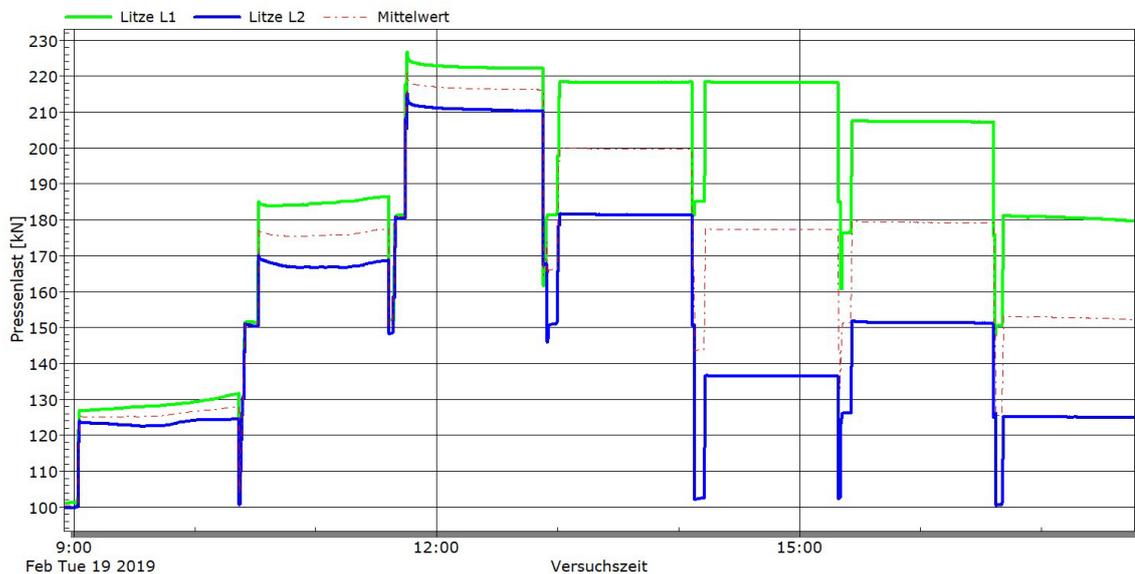


Abb. 34: Litzenkräfte der Versuche A bis I

Wie in Abb. 34 ersichtlich, konnte die Last in allen Versuchen über einen Zeitraum von einer Stunde konstant gehalten werden. Nach erfolgreichem Abschluss eines Versuches wurde die Keilscheibe wieder auf die Ankerkopfplatte aufgesetzt und die Kupplungskonstruktion abgebaut. Die Litzenkräfte wurden auf eine Last, unter der des nächsten Versuches vermindert und danach erneut in gleichmäßigen Schritten gespannt.

### 6.1.6.2 Versuche J und K - Herstellung Innengewinde Keilscheibe vor Ort

Im Gegensatz zu den in Kapitel 6.1.6.1 beschriebenen Versuchen wurden die zu untersuchenden Keilscheiben ohne vorgefertigtes Gewinde verwendet. Der Fokus in diesen Versuchen war der Fertigungsprozess der Innengewinde, in eine unter Spannung stehenden Keilscheibe und anschließender Überprüfung dieser identisch zu den Versuchen A - I. Der Ablauf und die verwendeten Geräte dazu ist in Kapitel 6.1.3 beschrieben. Die Innengewinde in diesen Versuchen konnten erfolgreich hergestellt und getestet werden. In diesem Zusammenhang muss noch angemerkt werden, dass sowohl für die Aufweitung des Litzenloches, als auch für die Bohrung des Innengewindes ein optimal zentrierter Bohrer entscheidend ist.



Abb. 35: Links: Eingerichtete Magnetständerbohrmaschine auf der Bohrplattform; Rechts: Erfolgreich hergestelltes Innengewinde in eine Keilscheibe

## 6.1.7 Ergebnisse und Empfehlungen

Die Ergebnisse der durchgeführten Versuche können drei Hauptthemen zugeordnet werden, welche in weiterer Folge genauer beschrieben werden.

### 6.1.7.1 Herstellung Innengewinde in einer unter Spannung stehenden Keilscheibe

Die Aufweitung der Litzenlöcher, sowie auch die M30 Innengewinde, konnten im gegenständlichen Versuch einwandfrei hergestellt werden. Bei der Bearbeitung der gusseisernen Keilscheiben konnte kein Effekt bezüglich der Vorspannung festgestellt werden. Anker mit einer zu geringen Vorspannung sollten nicht nachgerüstet werden, da für eine ausreichende Lage- und Verdrehsicherheit der Keilscheibe eine gewisse Vorspannung (Anpressung der Keilscheibe an die Ankerplatte) notwendig ist. Empfohlen wird auch eine Recherche über den Zustand des Korrosionsschutzes im Anschlussbereich an die Keilscheibe. Sollte sich in diesem Bereich Korrosionsschutzmasse befinden (speziell bei Vorhandensein von Zementstein), sollte die Bohrung zur Aufweitung des Litzenlochs in einer Tiefe ca. 6 mm (ungefähr zwei Gewindegänge) vor dem Ende der Keilscheibe, gestoppt werden, um Beschädigungen des Bohrwerkzeuges und Verunreinigungen der Gewindegänge durch Materialeintrag zu verhindern. Der Bereich zwischen dem Korrosionsschutz des Ankerkopfes und des eingeschraubten Gewindestabes sollte mit Korrosionsschutzmasse verfüllt werden.

### 6.1.7.2 Auswirkung der gleichmäßig bzw. ungleichmäßig vorgespannten Litzen

Im Zuge der Durchführung aller Versuche konnte kein Unterschied bezüglich gleichmäßig oder ungleichmäßig vorgespannter Litzen festgestellt werden. Dies beinhaltet sowohl die Herstellung der Innengewinde als auch das Abheben der Kupplungskonstruktion.

### 6.1.7.3 Funktionsfähigkeit der Kupplungskonstruktion

Das zu überprüfende Konzept zur Nachrüstung von Kraftmesstellern bei Litzenankern entsprach in allen Versuchen den Anforderungen. Es konnte weder ein Versagen noch das Auftreten anderer Mängel festgestellt werden. Im Zuge eines Tests wurde die gegenständliche Konstruktion bis zu den vorgegebenen Beanspruchungen belastet. Um dieses Konzept baupraktisch rentabel in Projekten mit einer größeren Anzahl von nachzurüstenden Ankern umsetzen zu können, sind jedoch kleinere Änderungen im Hinblick auf eine schnellere und effektivere Montage erforderlich.

## 6.2 Rissbreitenentwicklung an Stabankern

Im Zuge eines Eigenversuches am Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik wurden die Möglichkeiten mit dem in Kapitel 6.1.1 beschriebenen Prüfraumen, im Hinblick auf Experimente zum Thema Rissbreitenentwicklungen an einem simulierten Verpresskörper (vgl. Abb. 36), untersucht. Der Versuchskörper besteht aus einem Einstabanker SAS 950 ( $\text{\O}32\text{ mm}$ ) mit einer Mindestbetondeckung von 30 mm und einer Länge von  $L=900\text{ mm}$ .



Abb. 36: Rissbreitenentwicklung - Versuchsaufbau

Der Versuchskörper wurde mit vier unterschiedlichen Laststufen belastet, welche sich im Bereich zwischen 30 % und 70 % der charakteristischen Bruchkraft befanden. Nachdem eine Laststufe durch Spannen des Zuggliedes mittels einer hydraulischen Presse erreicht wurde, konnte diese gehalten werden und die Risse mittels Risslineal aufgenommen und dokumentiert werden.



Abb. 37: Erste Laststufe  $F=250\text{ kN}$  - Rissbreiten zwischen 0,1-0,2 mm; Links: Prüfkörper; Rechts: Maßgebender Riss mit 0,2 mm



Abb. 38: Dritte Laststufe  $F=495$  kN - Rissbreiten zwischen 0,1-0,3 mm; Links: Manometer LP; Rechts: Maßgebender Riss mit 0,3 mm



Abb. 39: Vierte Laststufe  $F=590$  kN - Rissbreiten zwischen 0,1-0,35 mm; Links: Manometer LP; Rechts: Maßgebender Riss mit 0,35 mm

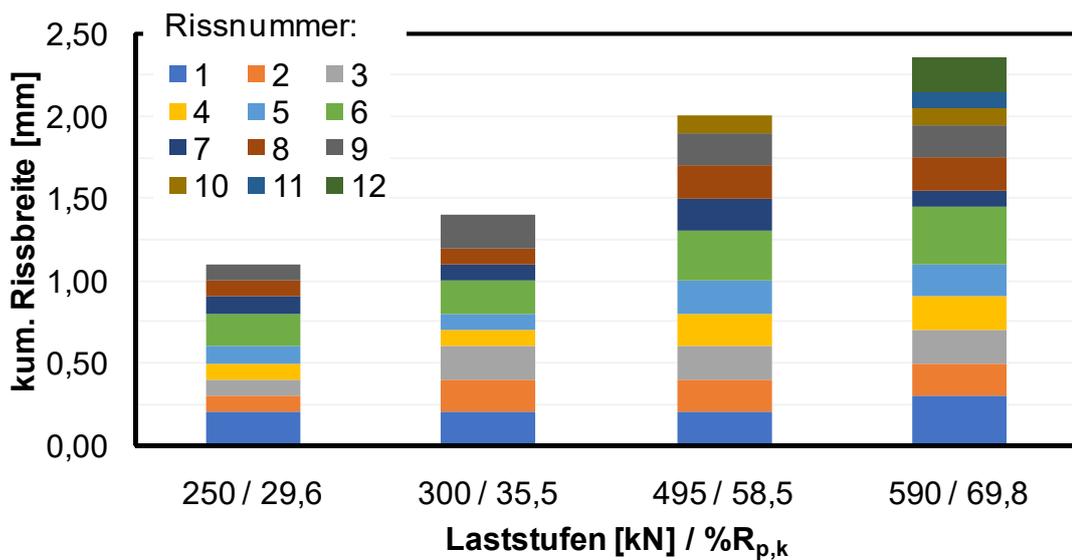


Abb. 40: Diagramm - kumulierte Rissbreiten

In Abb. 40 sind die gemessenen Rissbreiten jeder Laststufe kumuliert dargestellt.

### 6.3 Kontaktkorrosion bei Mikropfählen

Zukünftig sind Versuche zur Themenstellung der Kontaktkorrosion bei Zugpfählen geplant. Erste Überlegungen dazu erfolgten im Rahmen dieser Arbeit. Im Speziellen soll der verschraubte Anschluss eines verzinkten Bügels an einen GEWI Gewindestab für unterschiedliche Größen ( $\text{Ø}25$ ,  $\text{Ø}28$ ,  $\text{Ø}32$ ) im Hinblick auf Kontaktkorrosion untersucht werden.

Diese Untersuchungen werden mit dem in Kapitel 6.1.1 beschriebenen Prüfrahmern erfolgen. Wie in Abb. 41 ersichtlich, wurde dafür der Prüfrahmern in der Höhe reguliert und in eine vertikale Position gebracht.

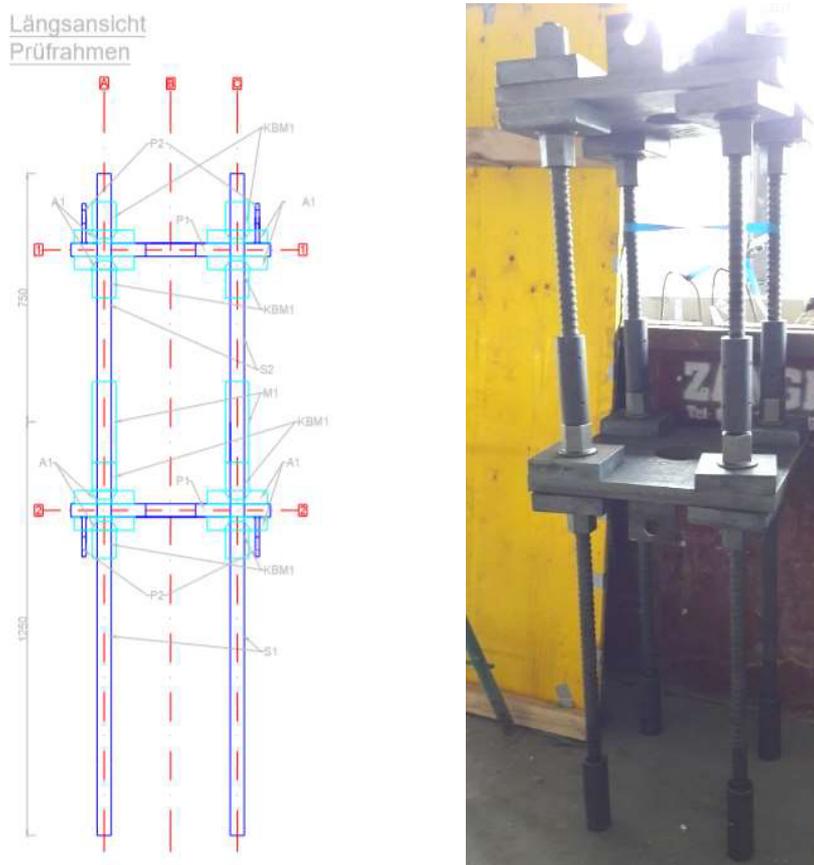


Abb. 41: Links: Längsansicht Prüfrahmern; Rechts: Prüfrahmern

Ein Ziel dieses Versuches ist es, eine Aussage über die Tragfähigkeit der verschraubten Verbindung Gewindestab-Bügel bei unterschiedlichen Korrosionsraten treffen zu können, bzw. das Versagen der Verbindung bei konstanter Last und steigender Korrosionsrate zu provozieren.

In Abb. 42 ist der geplante Versuchsaufbau und die Korrosionswanne aus PVC-Rohren dargestellt. Diese Korrosionswanne, bestehend aus zwei PVC-Übergangsstücken wird mittels Kabelbinder zentrisch in den Zwischenraum der beiden Rahmenplatten angebracht. Der mit dem Bügel verschraubte GEWI Gewindestab ( $L=500$  mm) wird durch die Aussparung der oberen Rahmenplatte

in die Korrosionswanne geführt. Der Gewindestab wird durch einen verschweißten Schrumpfschlauch ( $\text{Ø}50$ ) zwischen der Schraubverbindung bis ca. 100 mm vor Ende des Stabes geschützt. Dies ist notwendig, um den Korrosionsprozess in der gewünschten Anschlussstelle zu simulieren. Die PVC-Rohre werden an der Unterseite mit einem Schrumpfschlauch, welcher an den Gewindestab verschweißt wird, abgedichtet. Diese Abdichtung durch Schrumpfschläuche sollte eine Dichtheit des Systems, auch nach dem Aufbringen von elastischen Dehnungen auf den Gewindestab, sicherstellen. Durch die Anbringung einer Muffenverbindung kann an diesem GEWI Gewindestab der Pressenaufbau angebracht werden, welcher mit der unteren Rahmenplatte des Prüfrahmens verspannt wird. An der oberen Rahmenplatte wird eine kraftschlüssige Verbindung zwischen Ankerbügel und Prüfrahm durch einen Stahlträger sichergestellt.

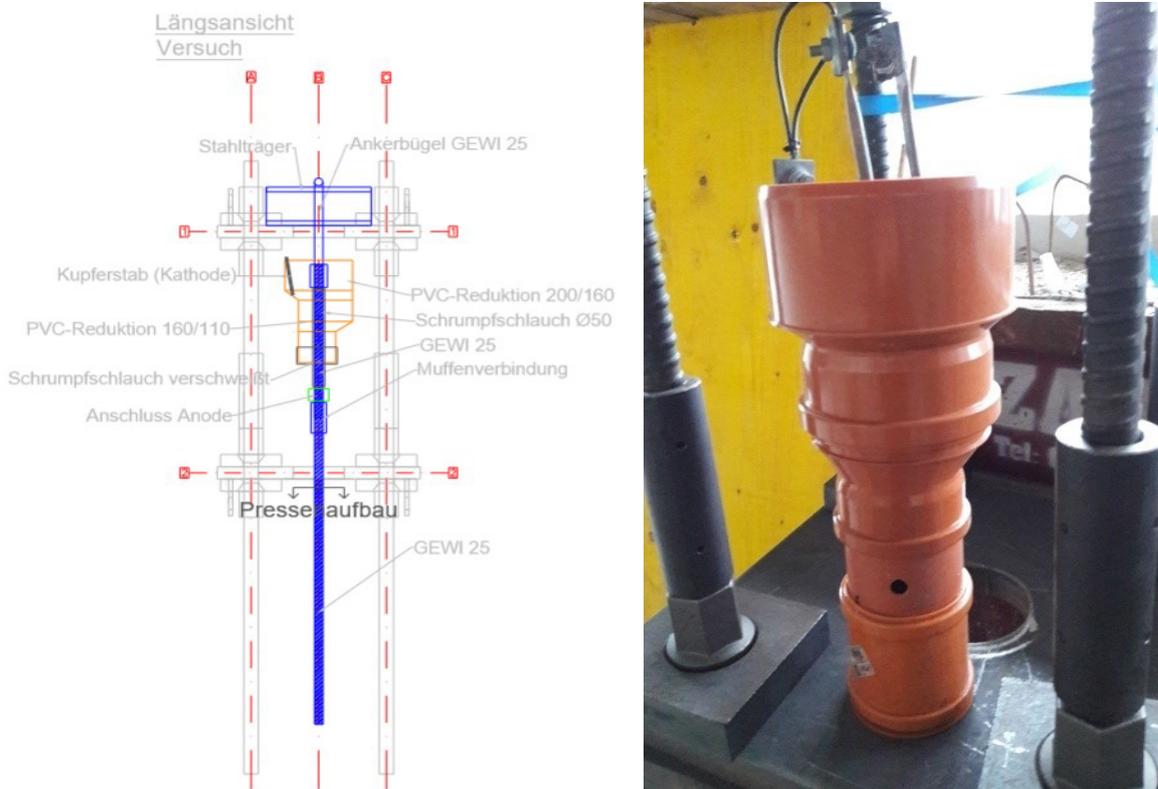


Abb. 42: Links: Geplanter Versuchsaufbau (Korrosion bei Zugpfählen); Rechts: Korrosionswanne aus PVC-Rohren

Der Korrosionsprozess in den PVC-Rohren wird im vorliegenden Versuch durch Kupferstäbe und einer 3-5%-igen NaCl-Lösung forciert. Die Kupferstäbe werden, durch den Potenzialunterschied der beiden Metalle, dabei zur Kathode und der GEWI Gewindestab zur Anode, welche durch ein Elektrolyt (Kochsalzlösung) verbunden sind (Wöls, 2018). Die Korrosionsgeschwindigkeit wird erhöht, indem die Kathode und Anode mit einem LKW-Batterieladegerät verbunden werden und die Stromdichte gesteigert wird.

Es wurden bereits einige Vorversuche zu diesem Thema in der gegenständlichen Korrosionswanne aus PVC-Rohre durchgeführt und bereits nach wenigen Stunden wurde ein hochgradig korrodierter Ankerstab vorgefunden (Abb. 43 und Abb. 44).



Abb. 43: Vorversuch - korrodierter Ankerstab



Abb. 44: Vorversuch - korrodierter verschraubter Bügelanschluss

## **7 Schlussfolgerungen und Ausblick**

In diesem Kapitel sollen die Erkenntnisse aus den Versuchen und die Erfahrung mit dem geplanten Ankerprüfrahmen erörtert werden. Abschließend wird noch auf mögliche Weiterentwicklungen zu nachrüstbaren Kraftmesstellern eingegangen.

### **7.1 Ankerprüfrahmen**

Mit den bisher durchgeführten Versuchen konnte gezeigt werden, dass das Ziel einen universell einsetzbaren Ankerprüfrahmen zu planen und herzustellen, erreicht wurde. Im Zuge dieser Masterarbeit wurden mehrere Versuche durchgeführt und ein breites Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten festgestellt. Erfolgreich durchgeführt werden konnte ein Versuch zu Litzenankern, sowie ein Versuch mit Einstabankern, wobei bei allen Prüflasten noch ausreichende Reserven bis zur kritischen Knicklast der Rahmenstäbe vorhanden waren. Geplant und vorbereitet wurde eine Untersuchung zu korrosionsgeschädigten Stabankern, wobei der Prüfrahmen in vertikaler Position und mit befestigter Korrosionswanne eingesetzt werden soll.

### **7.2 Nachrüstung von Kraftmesstellern an Litzenankern**

Die Erprobung des Konzeptes zur Nachrüstung von hydraulischen Lastplatten an Litzenankern mittels Gewindebohrung in zwei unbelegten Litzenlöchern konnte mit Erfolg abgeschlossen werden. Für eine rentable und baupraktische Umsetzung sind jedoch noch einige Weiterentwicklungen und Modifikationen erforderlich. Eine Einschränkung bezüglich des Einsatzgebietes dieser Methode ist das notwendige Vorhandensein von zumindest zwei gegenüberliegenden, unbelegten Litzenlöchern in einer Keilscheibe. Ein weiterer Nachteil ist der Eingriff in die Gewährleistung des Herstellers bezüglich der Bohrung von Innengewinden in eine vorhandene Keilscheibe.

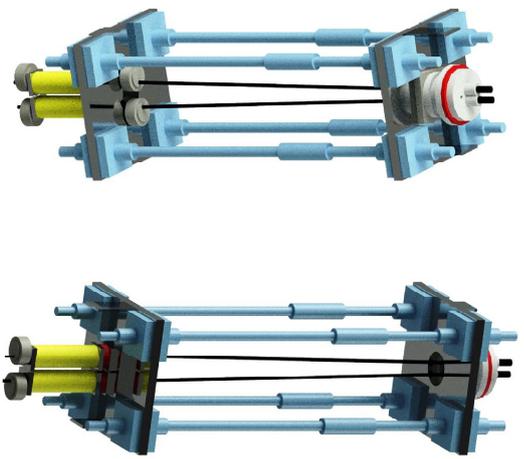
### **7.3 Nachrüstbare Kraftmesszellen**

Die Untersuchungen zur Nachrüstung von Kraftmesstellern bei Litzenanker haben gezeigt, dass in diesem Bereich noch Forschungspotenzial für universell einsetzbare, nachrüstbare Kraftmessteller besteht. Aktuell ist kein Produkt vorhanden, welches bei allen Gegebenheiten einsetzbar ist. Ein großes Problem, welches bei der Entwicklung entscheidend sein wird, ist die Höhe der Kraftmesszelle, um ein Überspannen der Bestandsanker beim nachträglichem Einbau der Zelle nicht zu riskieren.

## 8 Literaturverzeichnis

- ANP - Systems GmbH. (30. Juni 2015). *Zulassung ANP - Einstabanker SAS 670*. Abgerufen am 25. Februar 2019 von [www.anp-systems.at](http://www.anp-systems.at).
- ANP - Systems GmbH. (2015). *Zulassung: ANP - Einstabanker SAS 950*.
- Boley, C. (2012). *Handbuch Geotechnik*.
- Burtscher, Rebhan, Marte, & Scharinger. *Neue Methoden zur Korrosionsdetektion an Litzen- und Stabankersystemen*.
- Clouterre. (1991). *Soil Nailing Recommendations*.
- DYWIDAG-Systems International. (15. Juni 2015). *Zulassung DYWIDAG-Litzenanker*. Abgerufen am 15. Oktober 2018 von [www.dsiunderground.at](http://www.dsiunderground.at).
- Enerpac. (2018). *Produktkatalog - Hydraulic Cylinders*. Abgerufen am 11. November 2018 von [www.enerpac.com](http://www.enerpac.com)
- enertec engineering ag. (2015). *Produktdatenblatt - Kraftmessdose KMD*. Abgerufen am 13. März 2019 von [www.enertec.ch](http://www.enertec.ch)
- GDP ZT GmbH. (2018). *Technischer Bericht - Nachrüstung Kraftmessteller*.
- GLÖTZL Gesellschaft für Baumesstechnik mbH. (2019). *Ankerkraftmessgeber KN*. Abgerufen am 20. März 2019 von [www.gloetzl.de](http://www.gloetzl.de)
- Kolymbas, D. (2011). *Geotechnik Bodenmechanik, Grundbau und Tunnelbau 3., neu bearbeitete Auflage*.
- Kuntsche, K. (2016). *Geotechnik 2. Auflage*.
- Möller, G. (2016). *Geotechnik Grundbau, 3. Auflage*.
- Nürnberg, U. (2012). *Long-time behavior of non-galvanized and galvanized steels for geotechnical stabilization applications*.
- ÖNORM B 1997-1-1. (2013). *Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik Teil 1: Allgemeine Regeln*.
- ÖNORM EN 12501-1. (2003). *Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe - Korrosionswahrscheinlichkeit in Böden Teil 1: Allgemeines*.
- ÖNORM EN 12501-2. (2003). *Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe - Korrosionswahrscheinlichkeit in Böden Teil 2: Niedrig- und unlegierte Eisenwerkstoffe*.

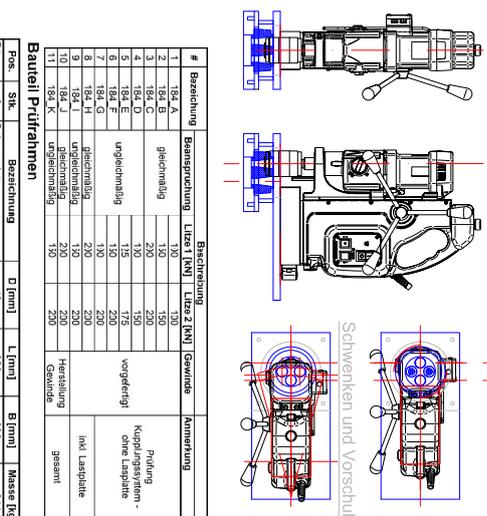
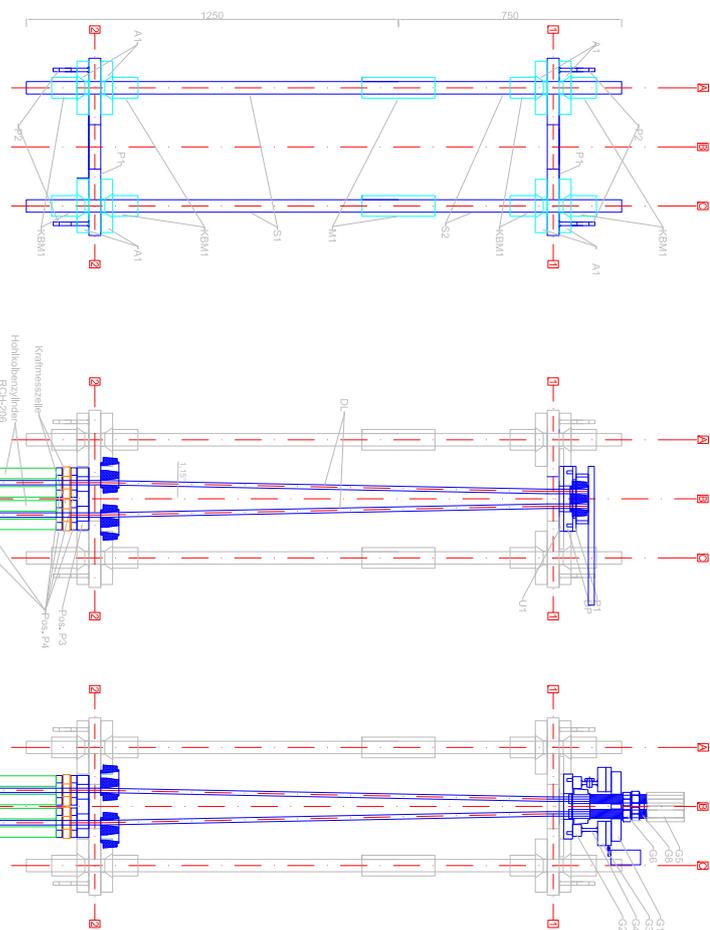
- ÖNORM EN 14490. (2010). *Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Bodenvernagelung.*
- ÖNORM EN 1537. (2015). *Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Verpressanker.*
- ÖNORM EN 1993-1-1. (2014). *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten.*
- Prinz, H., & Strauß, R. (2011). *Ingenieurgeologie, 5. Auflage.*
- Tostmann, K.-H. (2001). *Korrosion.*
- Wichter, L., & Meininger, W. (2018). *Verankerung und Vernagelung im Grundbau 2. Auflage.*
- Wietek, B. (2017). *Böschungen und Baugruben: Sicherung und Wirtschaftlichkeit 2. Auflage.*
- Witt, K. J. (2009). *Grundbau-Taschenbuch Teil 2: Geotechnische Verfahren, 7. Auflage.*
- Wöls, D. (2018). *Masterarbeit: Versuchstechnische Untersuchungen von korrosionsgeschädigten Winkelstützmauern.*



Längsansicht Prüfrahmen

Längsansicht Bauzustand

Längsansicht Endzustand



Schwenken und Verschieben

#	Bezeichnung	Beanspruchung	Lizart I [kN]	Lizart II [kN]	Gewinde	Anmerkung
1	184-A	gleichmäßig	150	150		
2	184-B	gleichmäßig	200	200		
3	184-C	gleichmäßig	150	150		
4	184-D	ungleichmäßig	135	150	vorgedreht	Prüfung Kugelprüfgerät - ohne Lastplatte
5	184-E	gleichmäßig	150	200		
6	184-F	gleichmäßig	150	200		
7	184-G	gleichmäßig	200	200		
8	184-H	gleichmäßig	150	200		
9	184-I	ungleichmäßig	150	200		inkl. Lastplatte
10	184-J	ungleichmäßig	150	200		
11	184-K	ungleichmäßig	150	200		gesamt

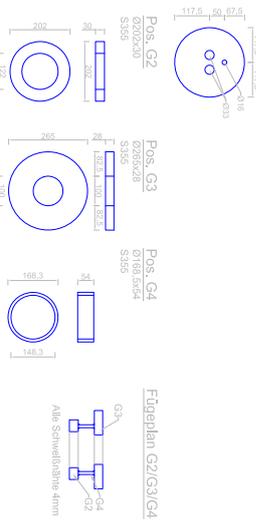
Bauteil Prüfrahmen

Pos.	Stk.	Bezeichnung	D [mm]	L [mm]	B [mm]	Masse [kg]
P1	2	Rahmplatte	40	600	800	211,66
P2	4	Reversierplatte	72	150	20	35,25
P3	4	Reversierplatte	72	150	20	4,96
P4	6	Pressen-Außenteiler	20	100	100	7,56
Pos.	Stk.	Bezeichnung	L [mm]	Mt. [kg/Stk]	Masse [kg]	
S1	4	Einstelbohrer S&S 500 - d <sub>1</sub> = 40 mm	1296	10,27	51,05	
S2	4	Einstelbohrer S&S 500 - d <sub>1</sub> = 40 mm	790	10,27	30,053	
KBM1	16	Kugelhunderbohrer S&S 800 Ø = 40 mm		1,33	21,29	
Pos.	Stk.	Bezeichnung	Mt. [kg/Stk]	Masse [kg]		
A1	16	Absaugplatte OHNE Sahtloch Ø = 32 mm, s = 160 mm, c = 40 mm		10,50	168,02	
Pos.	Stk.	Bezeichnung	Mt. [kg/Stk]	Masse [kg]		
M1	8	Matte mit Verriegelbohrung für S&S 90 DN 400 = 40 mm, Ø <sub>St</sub> = 77 mm		3,63	29,02	
Pos.	Stk.	Bezeichnung	Mt. [kg/Stk]	Masse [kg]		
U1	4	Unterlegsplatte für aufleger OHNE Ausparungsebene = 40 mm, a = 240 mm, c = 15 mm		6,10	24,41	

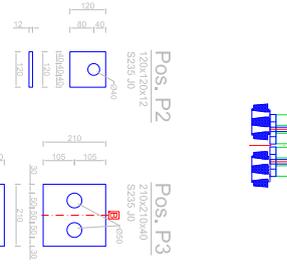
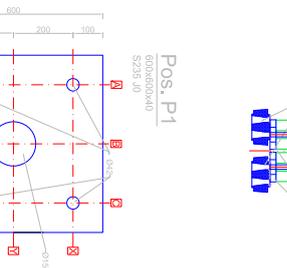
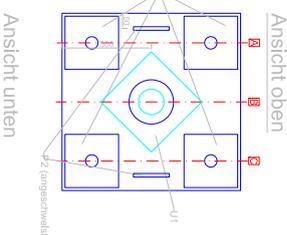
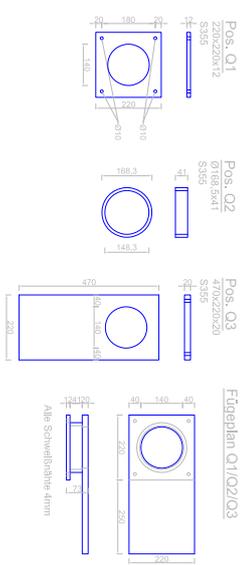
Prüfkörper



Bauteile Nachrüstung



Bauteile Gewinderstellung



Pos. P1

Pos. P2

Pos. P3

Pos. P4

Pos.	Stk.	Bezeichnung	Mt. [kg/Stk]	Masse [kg]
OS	10	Kerndrehbohrer 2-4 Litzen Ø = 15,3 mm	3,52	35,25
DK	20	Verriegelbohrer Ø = 15,3 mm, Axialdrehen, L=250mm	2,52	132,81
DP	2	Kopflöcher 220x250x30 mit Sandkochen	27,5	132,81
			11,47	22,81

Bauteile Nachrüstung und Gewinderstellung

Pos.	Stk.	Bezeichnung	Mt. [kg/Stk]	Masse [kg]
G1	1	Laserschleifplatte	10,74	10,74
G2	1	Laserschleifplatte	4,33	4,33
G3	1	Unterlegsplatte	10,40	10,40
G4	4	Mutter M30	1,66	6,63
G5	4	Mutter M30	1,66	6,63
G6	8	Mutter M20, Gewindestange L2	0,31	2,48
G7	4	Gewindestange M30, L2 8, L=1000mm	6,72	26,86
G8	4	Gewindestange M30, L2 8, L=57mm	1,2	4,77
O1	1	Platte 220x250x12	4,56	4,56
O2	1	Kopf 183,5x183,5	1,60	1,60
O3	1	Platte 410x250x20	16,23	16,23

S&S Brucker Schweißstrahle Nachrüstung Kerndrehbohrer an Litzenankern Prüfrahmen an Prototypen

Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik Technische Universität Graz

Anker Prüfrahmen

Stahlbaupläne / Versuchsplanung

Revision / Änderung	erste Ausarbeitung
Einarbeitung Magnetischerkennungsmaschine	
Messstab	Datum
1:10	04.12.2018
Ersteller	FM / RM
Geprüft	
Prin. Nr.	194_01b