



Eva Marie Nachbagauer, BSc.

# **Geotechnische und konstruktive Betrachtung von schadhaften geankerten Konstruktionen**

## **Diplomarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieurin

eingereicht an der

**Technischen Universität Graz**

Betreuer

Univ.-Prof. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dr.techn. Dirk Schlicke

Institut für Betonbau

Dipl.- Dipl.-Ing. Dr.techn. Matthias Rebhan, BSc., Baumeister

Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik

Graz, September 2023



# 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 meinem Betreuer Herrn Bmst. Dipl.- Dipl.- Ing. Dr. techn. Matthias Rebhan, BSc. bedanken, der mich mit konstruktiver Kritik, Beratung und viel Engagement während meiner Arbeit begleitet hat.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dr. techn. Dirk Schlicke und Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Roman Marte bedanken, welche mit viel Passion in den Lehrveranstaltungen mein Interesse für Betonbau und Geotechnik geweckt haben.

Besonderer Dank gilt allen Kolleginnen und Kollegen aus dem Studium, insbesondere jenen aus dem Stahlbauzeichensaal. Mit euch durfte ich nicht nur den ein oder anderen Lernerfolg sammeln, sondern auch viele lustige und schöne Momente, die meine Studienzeit sehr bereichert haben.

Mein herzlichster Dank gilt meiner Familie, insbesondere meinen Eltern Margarete und Helmut und meinem Bruder Florian, die mich während meiner gesamten Studienzeit bestmöglich unterstützt haben und mir auf diesem Wege Vieles ermöglicht haben.

Zu guter Letzt danke ich meinem Freund Marko für die vielen motivierenden Worte und die Geduld.

# Kurzfassung

Die ausgeprägten Landschaftsformen in Österreich haben zur Folge, dass Geländeanpassungen zur Durchführung von Bauvorhaben notwendig sind. Speziell im Infrastrukturbereich und bei der Errichtung von Straßen- und Schienentrassen haben sich rückverankerte Stützkonstruktionen als beliebte und wirtschaftliche Maßnahme erwiesen. Das zunehmende Alter dieser Konstruktionen geht mit verschiedensten Schäden einher. Um trotzdem eine ausreichende Zuverlässigkeit und Sicherheit gewährleisten zu können, ist deren Erhaltungszustand in regelmäßigen Abständen zu bewerten und je nach Erfordernis sind Maßnahmen (Instandhaltung, Sanierung oder Ersatzneubau) zu setzen.

In der vorliegenden Masterarbeit wird die Zustandsbeurteilung von geankerten Konstruktionen im Zusammenhang mit möglichen Schadensmechanismen untersucht. Dabei werden die bedeutendsten Schadensmechanismen von geankerten Konstruktionen und deren Ursachen behandelt. Zudem wird die Zustandsbeurteilung gemäß aktuell gültigen Richtlinien für die Überwachung und Unterhaltung von geankerten Bauwerken an Verkehrswegen betrachtet. Hierfür wird die in Österreich gültige Richtlinie *RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen*, (2022) und das *FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente*, (2022), sowie auch die in der Schweiz gültige *ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, (2022) herangezogen.

Ein weiterer Bestandteil umfasst ein Konzept eines Versuchsaufbaus zur Simulation einer schadhafte Ankerwand. Dieser soll als Grundlage dienen, um weitere Informationen über die bei schadhafte geankerten Konstruktionen entstehenden Lastumlagerungsprozesse zu gewinnen. Als Grundlage hierzu wurden die Bauteile, welche bei geankerten Konstruktionen zum Einsatz kommen erhoben und beschrieben, und es wurde auf das Tragverhalten und die Lastableitung in Bezug auf die unterschiedlichen Arten von geankerten Konstruktionen aufbereitet.

Der letzte Abschnitt dieser Arbeit beschäftigt sich mit einer umfangreichen Erweiterung der VÖBU Ankerdatenbank (<https://ankerdb.voebu.at/client/>). Zudem wurde eine Anleitung für Anwender dieser Datenbank erarbeitet, um den Informationsgewinn von verbauten Ankersystemen zu erleichtern.

# Abstract

The distinctive landscape in Austria has the consequence that terrain adaptations are necessary for the realization of construction projects. Especially in the infrastructure sector, support structures tied back with grouted anchors are a popular method. The increasing age of anchored structures comes with a range of various damages. In order to be able to guarantee adequate safety of the structures, their condition must be recorded through regular examinations and, depending on the necessity, measures for maintenance or rehabilitation must be taken.

In this master's thesis, the condition evaluation of anchored structures is investigated in the context of possible damage mechanisms. The most significant damage mechanisms of anchored structures and their causes are covered. In addition, the condition evaluation according to currently valid guidelines for the monitoring and maintenance of anchored structures on traffic routes is considered. Therefore, the *RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen*, (2022) and the *FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente*, (2022) guidelines valid in Austria, as well as the *ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, (2022) guideline valid in Switzerland, are used.

Another part of this master's thesis includes the conceptualization for a test setup involving the simulation of a damaged anchored wall. This is intended to serve as a basis for further investigations on load distribution processes occurring in damaged anchored structures. As a basis for this, the components used in anchored constructions were surveyed and described, and the load-bearing behaviour and load transfer in relation to the different types of anchored constructions were prepared.

The last section of this thesis involves extensive submissions to the anchor database VÖBU (<https://ankerdatab.voebu.at/client/>). In addition, a database user guide was developed to facilitate the extraction of information from installed anchor systems.





# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Zuglemente und geankerte Konstruktionen</b>	<b>3</b>
2.1	Elementwand	3
2.1.1	Geschlossene Ankerwände	4
2.1.2	Aufgelöste Ankerwände	5
2.2	Vollflächige Wand	6
2.3	Lisenenwand	7
2.4	Geankerte Konstruktion	9
2.5	Konstruktionselemente von geankerten Konstruktionen	9
2.5.1	Betonelemente bzw. Verkleidungen	9
2.5.2	Vorgespannte Verpressanker	12
2.5.3	Schubknagge	12
2.5.4	Querkraftdübel	13
2.5.5	Ankernase	13
2.5.6	Ankernische	14
2.5.7	Ausfachungen	15
<b>3</b>	<b>Tragverhalten und Lastableitung bei geankerten Konstruktionen</b>	<b>17</b>
3.1	Elementwand	17
3.1.1	Geschlossene Elementwände	17
3.1.2	Aufgelöste Elementwände	19
3.2	Vollflächige Ankerwand	20
3.3	Lisenenwand	21
3.3.1	Horizontale Lisenenwand	21
3.3.2	Vertikale Lisenenwand	22
3.4	Geankerte Konstruktionen	23
3.4.1	Gewichtsmauer	23
3.4.2	Winkelstützmauer	24
<b>4</b>	<b>Schadensmechanismen bei geankerten Konstruktionen</b>	<b>25</b>
4.1	Schäden durch Korrosion	25

4.1.1	Korrosion im Allgemeinen	25
4.1.2	Korrosionstypen	27
4.1.3	Korrosion an Zuelementen	28
4.2	Schäden durch mangelhaften Bauentwurf	29
4.2.1	Materialversagen des Zuggliedes oder Ankerkopfes infolge der Spannungen	30
4.2.2	Verlust der Gesamtstandsicherheit	31
4.2.3	Versagen des Verbundes zwischen Verpresskörper und dem Baugrund	32
4.2.4	Verlust der Ankerkraft durch Kriechen und Relaxation	34
4.2.5	Versagen zwischen Zugglied und Verpresskörper	35
4.3	Schäden durch mangelhafte Erhaltung	35
<b>5</b>	<b>Beurteilung von schadhaften geankerten Konstruktionen</b>	<b>39</b>
5.1	Beurteilung gemäß RVS 13.03.21 (Ausgabe 2022)	40
5.1.1	Laufende Überwachung	41
5.1.2	Kontrolle	41
5.1.3	Prüfung	42
5.2	Beurteilung gemäß ASTRA 12005 (Ausgabe 2022)	43
5.2.1	Inventar und Bewertung verankerter Bauwerke	43
5.2.2	Überprüfung und Instandsetzung der einzelnen Bauwerke	45
5.2.3	Maßnahmenprojekt und Ausführung	49
5.2.4	Zuverlässige Überwachung	49
5.3	Arbeitspapier Nr. 33	49
5.3.1	Vorbereitende visuelle Begutachtung	50
5.3.2	Endoskopische Untersuchung	51
5.3.3	Abhebekontrolle	54
5.3.4	Sonstige Untersuchungen im Zusammenhang mit einer Sonderprüfung	58
5.4	Weitere Richtlinien	63
<b>6</b>	<b>Konzept SaRAS Versuchsaufbau</b>	<b>64</b>
6.1	Ankerwand	66
6.2	Anschluss Druckstreben an Ankerwandelemente	67
6.3	Druckstreben	68

6.4	Widerlagerwand	68
6.5	Anschluss Druckstreben an Widerlagerwand	68
6.6	Seitliche Begrenzung des Versuchsaufbaues	69
6.7	Messtechnische Ausstattung	70
6.7.1	Kraftmesszellen	70
6.7.2	Wegmessung	70
6.7.3	Photogrammetrie Oberfläche	71
6.7.4	Erddruckmessung	71
6.8	Versuchsablauf	71
6.9	Erwartete Ergebnisse und Erkenntnisse	72
<b>7</b>	<b>Ankerdatenbank VÖBU</b>	<b>73</b>
7.1	Anwendungsbeispiel	73
7.2	Mögliche Anwendungsprobleme	76
7.3	Probleme bei der Datenaufbereitung	76
7.4	Erweiterung der Datenbank	76
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>77</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>78</b>



# 1 Einleitung und Zielsetzung

Die Nähe zu den Alpen in Österreich spiegelt sich in ausgeprägten Landschaftsformen wieder. Die für Österreich typischen Landformen haben zur Folge, dass viele Bauvorhaben ohne Geländeanpassungen nicht durchführbar wären. Vor allem Stützkonstruktionen haben sich für Einschnitte, Anschüttungen oder auch Handsicherungen als bewährte Bauwerke durchgesetzt.

Beginnend in den 60er-Jahren gewann die Verankerungstechnik immer mehr Aufmerksamkeit. Die Technologie von Verpressankern ermöglichte das Übertragen von hohen Zugkräften in den Untergrund. Das Rückverankern von Bauwerken (z.B. Stützbauwerke, Brückenwiderlager, Baugruben, usw.) mit Verpressankern ist nach wie vor eine beliebte Methode, um Hänge bei Geländeanpassungen oder auch vertikale Einschnitte zu stabilisieren. Zu Beginn der Entwicklungen wurden Verpressanker vor allem als temporäre Sicherung verwendet. Um einen dauerhaften Einsatz von Verpressankern zu ermöglichen, wurde der Fokus bei der Weiterentwicklung der Ankersysteme vor allem auf die Verbesserung des Korrosionsschutzes gelegt. In der *ÖNORM EN 1997-1 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik*, (2014) ist geregelt, wie bei Entwurf, Berechnung und Bemessung von Verankerungen vorzugehen ist. Trotz der mittlerweile strikten Regelungen hinsichtlich des Korrosionsschutzes treten immer häufiger Fälle auf, in welchen Korrosion die wesentliche Schadensursache darstellen. Ein Korrosionsschaden an einem Anker wirkt sich neben der Dauerhaftigkeit bei Fortschreiten auch auf dessen Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit aus und beeinflusst damit die gesamte geankerte Konstruktion.

Viele geankerte Konstruktionen befinden sich in Österreich unmittelbar neben bedeutenden Verkehrswegen. Der Erhaltungszustand dieser Bauwerke ist dementsprechend ebenso von Bedeutung. Mit zunehmendem Alter der geankerten Konstruktionen verschlechtert sich deren Erhaltungszustand. Damit geht einher, dass Entscheidungen über Instandhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen getroffen werden müssen. Wie mit schadhafte geankerten Konstruktionen umzugehen ist, regelt aktuell jedes europäische Land für sich. In Österreich gibt beispielsweise die Richtlinie *RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen*, (2022) vor, wie bei der laufenden Überwachung, Kontrolle und Prüfung von geankerten Konstruktionen vorzugehen ist. Die Schwierigkeit stellt der Zusammenhang von diversen Prozessen dar. Beim Ablauf dieser Prozesse sind neben den konstruktiven und geotechnischen Vorgängen auch materialspezifische und messtechnische Einflüsse zu berücksichtigen.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Zustandsbeurteilung von schadhaften geankerten Konstruktionen unter Berücksichtigung von möglichen Schadensmechanismen zu untersuchen. Dabei soll auf die verschiedenen Arten von geankerten Konstruktionen und deren Tragverhalten näher eingegangen werden. Weiters sollen die bedeutendsten Schadensmechanismen im Zusammenhang mit geankerten Konstruktionen veranschaulicht werden. Zusätzlich sollen sämtliche aktuell gültigen Richtlinien, welche für die Zustandsbeurteilung von Bedeutung sind, zusammenfassend erläutert werden.

Die Konzeption eines Versuchsaufbaus zur Simulation einer schadhaften Ankerwand soll als Grundlage für weiterführende Forschungen zu Lastumlagerungsprozessen bei Ausfall von Ankern dienen. Diese baut auf der Erhebung der Arten und Konstruktionsformen von geankerten Konstruktionen und, berücksichtigt unterschiedliche Bauteile und Sonderkonstruktionen und leitet daraus folgend die Lastableitungsmechanismen anhand von schematischen Beispielen ab.

Als Abschluss dieser Arbeit soll die VÖBU Ankerdatenbank (<https://ankerdb.voebu.at/client/>) erweitert und eine Anwendungsanleitung ausgearbeitet werden, um für den Benutzer als Hilfsmittel zur Informationsgewinnung von verbauten Ankersystemen zu dienen.

## 2 Zugelemente und geankerte Konstruktionen

Geankerte Konstruktionen sind Stützbauwerke in Ortbetonbauweise, aus vorgefertigten Platten oder Kombinationen aus beiden. Deren Merkmal ist die gelenkige oder eingespannte Lagerung des Wandfußes im Untergrund; die Seitendruckkräfte (z.B. Erd- und Wasserdruck oder Verkehrslasten) werden überwiegend über Erdwiderstand oder Verankerungen in den Untergrund abgeleitet, teilweise auch über die Wandsohle. Zudem besteht bei sämtlichen derartigen Stützkonstruktionen die Möglichkeit, den Boden- bzw. Felsabtrag vom bestehenden Gelände aus nach unten durchzuführen. Dadurch kann der erforderliche Geländesprung sehr wirtschaftlich hergestellt werden, und das Risiko des Auslösens von Rutschungen sinkt. (Witt, 2018)

Im Gegensatz dazu werden bei Gewichtsmauern (oder auch bei anderen in Bezug auf die äußere Tragfähigkeit ähnlich wirkenden Bauwerken) die Seitendruckkräfte zum Großteil über Reibung in der Sohlfuge in den Untergrund abgeleitet. (Witt, 2018) Genauer erläutert: „Das in der Sohlfuge wirkende Moment infolge horizontaler Erddrucklasten wird über das rückdrehende Moment aus vertikalen Eigengewichtslasten aufgenommen.“ (Adam et al., 2007)

Die folgenden Unterkapitel bieten eine Übersicht über geankerte Konstruktionen.

### 2.1 Elementwand

„Ankerwände sind Stützkonstruktionen, die aus mehreren Etagen verankerter Stahlbetonplatten bestehen. Werden diese „Ankerplatten“ Mann an Mann angeordnet, spricht man von geschlossenen Ankerwänden. Bei aufgelösten Anker- oder Elementwänden werden die Ankerplatten abhängig von den Baugrundverhältnissen in einem bestimmten Raster angebracht.“ (Boley, 2012)

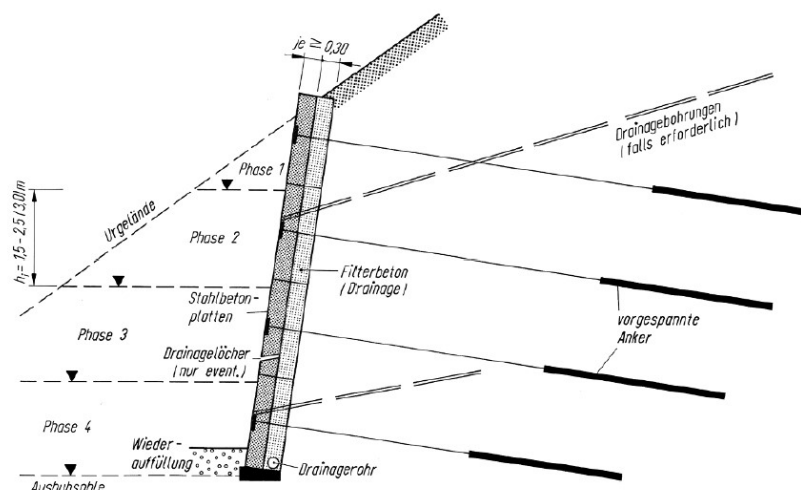


Abb. 1: Prinzipskizze einer geschlossenen Elementwand (Witt, 2018)

### 2.1.1 Geschlossene Ankerwände

Bei geschlossenen Ankerwänden werden die Elemente „Mann an Mann“ angeordnet und bilden dadurch eine flächenhafte Stützkonstruktion (Abb. 1, Abb. 2 und Abb. 3). Die Abmessungen der Stahlbetonelemente werden durch die Untergrundverhältnisse, die Stabilität des Hanges bzw. die Belastung aus dem Untergrund, wirkende Verkehrslasten, dem Abstand der Anker und ausführungstechnischen sowie wirtschaftlichen Gegebenheiten definiert. Pro Element werden im Regelfall zwischen 1 und 3 Anker verbaut, bei Ortbetonplatten meist 2 Anker und bei Fertigteilplatten meist 1 Anker. Die mittlere Wandneigung beträgt meist 1:10 oder flacher, wobei aus herstellungstechnischen Gründen die Platten häufig steiler versetzt werden, jedoch in den einzelnen Etagen gegeneinander abgetreppt. (Witt, 2018) In Tab. 1 werden typische Abmessungen für derartige Elemente angeführt.

Tab. 1: Abmessungen Ankerplatten (vgl. Abb. 2 und Abb. 3)

Dimension	Bereiche [m]
Höhe H	1,5 – 3,0 (meist 2,0 – 2,5)
Länge L	2,0 – 8,0 (meist 4,0 – 6,0)
Dicke D	$\geq 0,3$

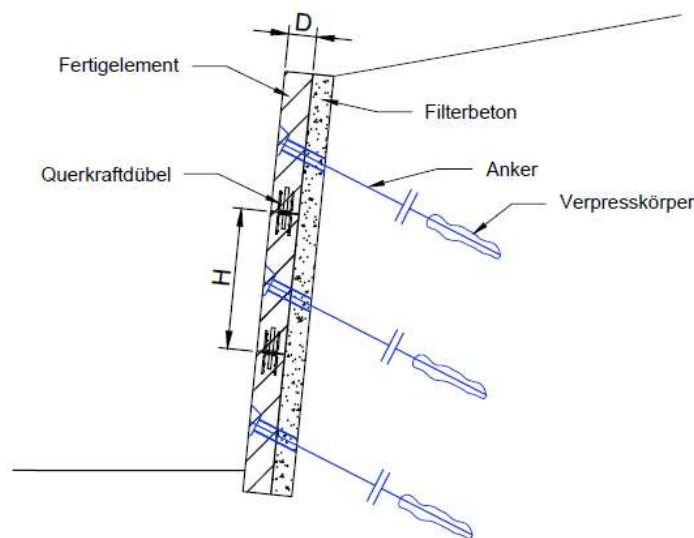


Abb. 2: Schnitt einer geschlossenen verdübelten Elementwand



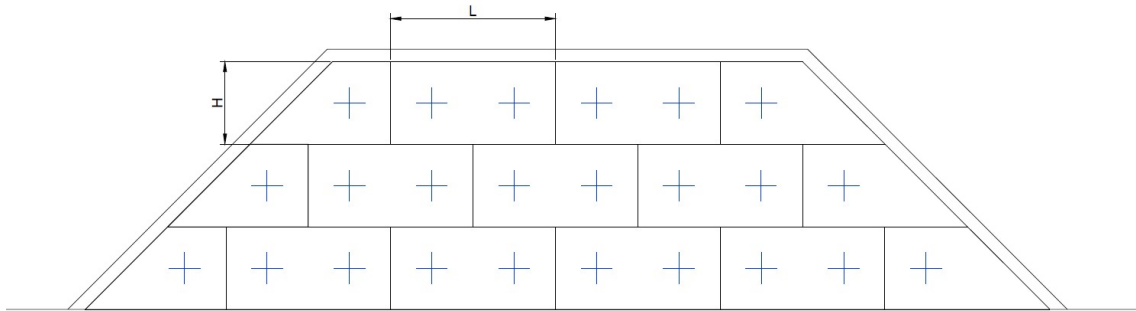


Abb. 3: Ansicht einer geschlossenen verdübelten Elementwand

Weiters wird bei geschlossenen Elementwänden zwischen verdübelten und unverdübelten bzw. freistehenden Elementwänden unterschieden. Verdübelte Elementwände werden entweder mit Schubknaggen (vgl. Kapitel 2.5.3) oder mit Querkraftdübeln (vgl. Kapitel 2.5.4) verbunden.

### 2.1.2 Aufgelöste Ankerwände

Bei der Dimensionierung von aufgelösten Ankerwänden wird in der ersten Bauphase nur eine geringe Anzahl an Stützplatten vorgesehen, welche laut erdstatischen bzw. felsmechanischen Grenzwertuntersuchungen notwendig sind. Der dazwischen frei liegende Untergrund wird je nach Boden mit einer einfachen Verkleidung (z.B. Spritzbeton) oder auch einer biologischen Verbauung gesichert, bei standfestem (wenig verwittertem) Fels kann dieser auch ungesichert bleiben. Bei dieser Konstruktionsart handelt es sich im Allgemeinen um Lehenbauwerke, welche lediglich Festgestein sichern sollen. Die Stahlbetonplatten werden im Regelfall derart angeordnet, dass bei Bedarf die aufgelöste Ankerwand ergänzt bzw. zu einer geschlossenen Ankerwand (vgl. Kapitel 2.1.1) ausgebaut werden kann. Die Abmessungen der Elemente hängen nicht nur von den geotechnischen Anforderungen, sondern auch von der Bauausführung ab und sind im Allgemeinen zwischen 1 bis 2 m<sup>2</sup> groß. (Witt, 2018)

Die Vorteile einer aufgelösten Ankerwand sind die große Flexibilität, die rasche Herstellung und die geringen Baukosten. Die Ankerkräfte können gezielt dem inhomogenen Untergrund und unterschiedlichen Lasten (z.B. angrenzende Bebauung) auch zu späteren Zeitpunkten angepasst werden. Neben den üblichen geotechnischen Untersuchungen erfordern aufgelöste Ankerwände sorgfältige Kontrollmessungen während der Bauzeit und zumindest einige Jahre danach. (Witt, 2018) In Abb. 4 bzw. Abb. 5 sind Schnitt und Ansicht einer aufgelösten Elementwand dargestellt.

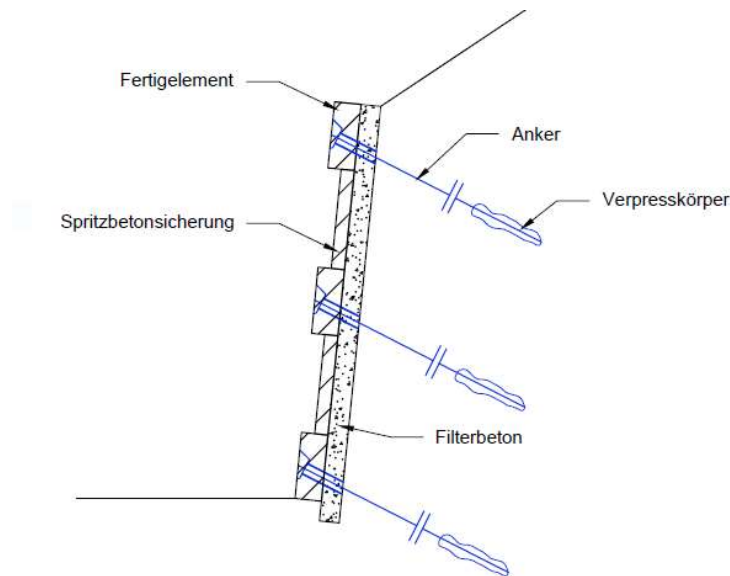


Abb. 4: Schnitt einer aufgelösten Elementwand

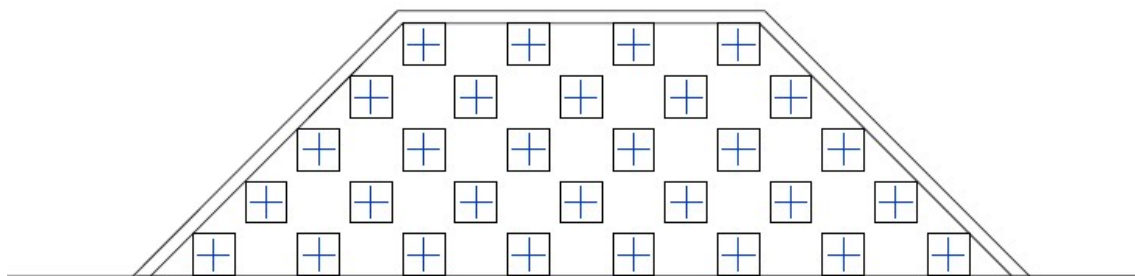


Abb. 5: Ansicht einer aufgelösten Elementwand

Neben der Verwendung zur Errichtung von Neubauten kommen derartige Konstruktionen oftmals auch bei Massenbewegungen und Kriechhängen zum Einsatz. Bei diesen kann durch die Einzelemente eine sehr einfache Installation von vorgespannten Ankern vorgenommen werden. Zudem kann durch die Einzelemente eine (teils auch bauseitige) Anpassung an den Untergrund vorgenommen werden.

## 2.2 Vollflächige Wand

Vollflächige Ankerwände werden aus bewerten Ortbeton und mittels Gleit- oder Kletterschalung hergestellt. Je nach statischem Erfordernis ist die Dicke der Bauteile sowie die Anzahl und die Aufteilung der Anker zu wählen. Ein Beispiel einer vollflächigen Ankerwand ist in Abb. 6 ersichtlich.

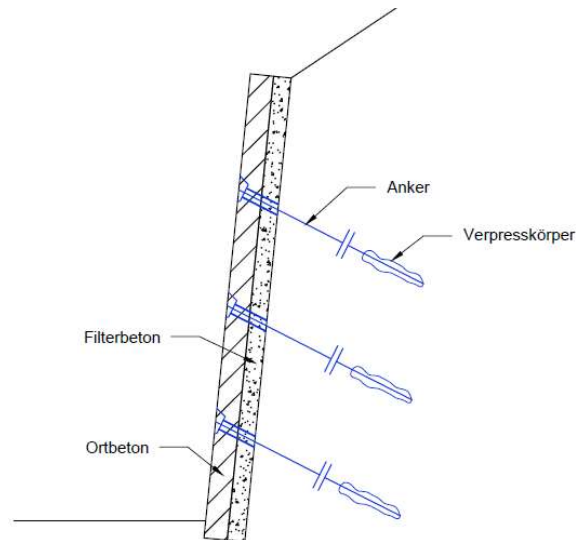


Abb. 6: vollflächige Ankerwand

## 2.3 Lisenenwand

Lisenenwände sind Stützkonstruktionen, welche den zu stützenden Körper mit verankerten, horizontalen oder vertikalen Lisenen stützen. Die Lisenen bestehen aus Ortbeton oder Fertigteilen. Es wird zwischen ungesicherten und gesicherten Lisenen unterschieden. Eine ungesicherte Lisenenwand liegt vor, wenn die Flächen zwischen den Lisenen nicht zusätzlich gesichert sind (z.B. Spritzbetonsicherung). Ungesicherte Lisenenwände findet man hauptsächlich bei wenig verwitterungsanfälligem Fels. In Abb. 7 und Abb. 8 ist ein Schnitt einer vertikalen bzw. horizontalen Lisenenwände dargestellt. Die zugehörigen Ansichten sind in Abb. 9 und Abb. 10 dargestellt.

Die Dicke der Spritzbetonsicherung (Ausfächung vgl. Kapitel 2.5.7) ist je nach Erfordernis zu wählen, wobei eine bloße Versiegelung meist 5 cm, bewehrter Spritzbeton zwischen 7 cm und 10 cm und tragende Gewölbe zwischen 20 cm und 30 cm Dicke aufweisen. (Witt, 2018)

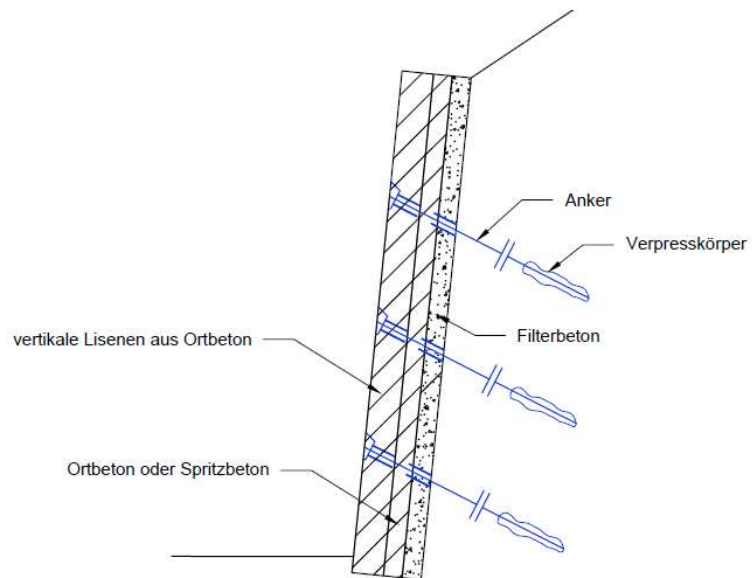


Abb. 7: Schnitt vertikale Lisenenwand

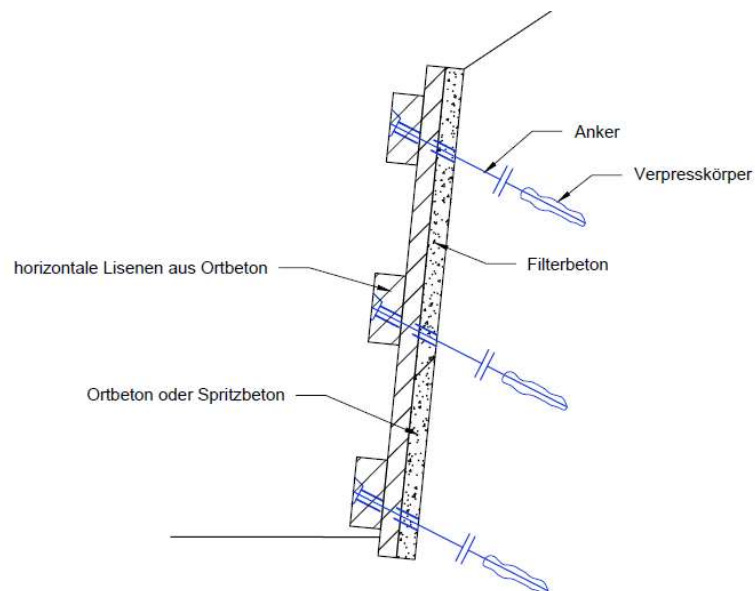


Abb. 8: Schnitt horizontale Lisenenwand

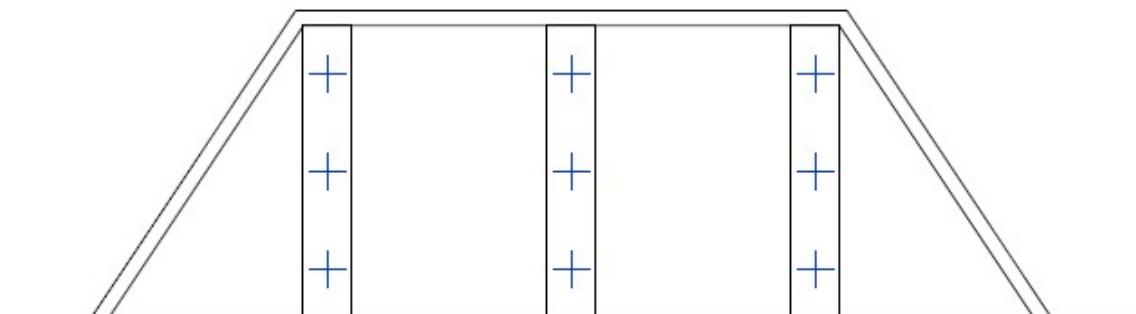


Abb. 9: Ansicht vertikale Lisenenwand

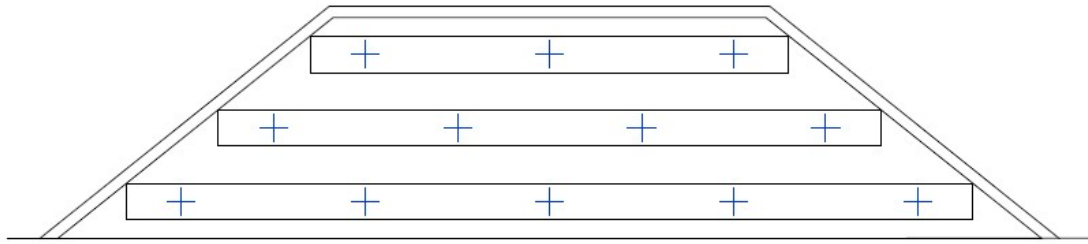


Abb. 10: Ansicht horizontale Lisenenwand

## 2.4 Geankerte Konstruktion

Unter geankerte Konstruktionen fallen verschiedenste Stützkonstruktionen, wie Gewichtsmauern, Winkelstützmauern oder Krainerwände, welche durch Anker gesichert bzw. verstärkt werden. Die zusätzlichen Anker sind meist eine Sanierungsmaßnahme, sofern die Konstruktion keine ausreichende Zuverlässigkeit mehr aufweist. In Abb. 11 werden eine geankerte Winkelstützmauer (links) sowie Gewichtsmauer (rechts) abgebildet.

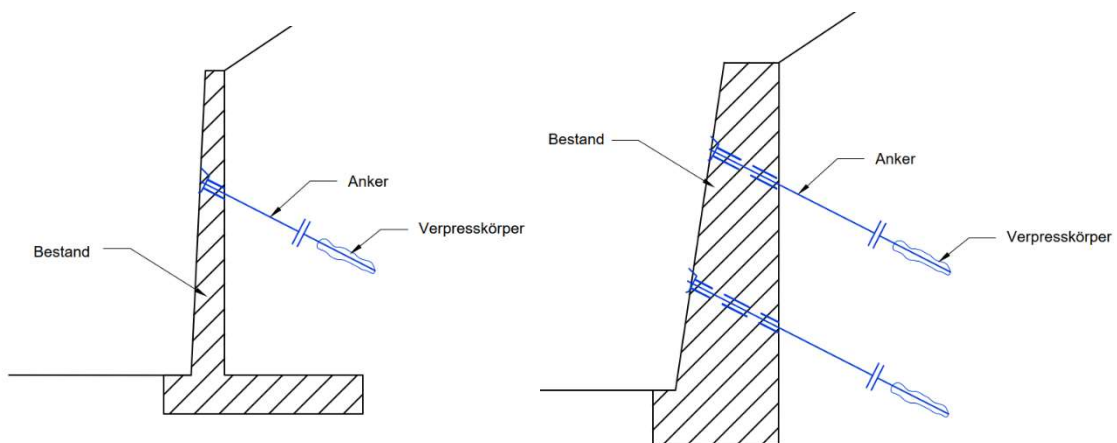


Abb. 11: geankerte Winkelstützmauer (links) und geankerte Gewichtsmauer (rechts)

## 2.5 Konstruktionselemente von geankerten Konstruktionen

In Ergänzung zu den in Kapitel 2.1 bis 2.4 angeführten Arten von geankerten Konstruktionen werden nachfolgend die maßgebenden Bauteile beschrieben, welche zur Errichtung derartiger Konstruktionen erforderlich sind.

### 2.5.1 Betonelemente bzw. Verkleidungen

Einer der Hauptbestandteile von geankerten Konstruktionen sind Betonelemente, welche als Verkleidung bzw. zur Lasteinleitung aus dem Untergrund in die Zugelemente und auch zur Verteilung der Beanspruchungen verwendet werden. Die für Ankerwände verwendeten Betonelemente müssen die Belastung sowohl vom zu stützenden Bodenkörper als auch jene der Anker aufnehmen können.

Dadurch resultieren Biege- und Querkräfte im Element, die Normalkräfte spielen bei dieser Art von Belastung eine untergeordnete Rolle. Im Bereich des Ankerkopfes ist das Element durch die Belastung durch den Anker durchstanzgefährdet, hier muss auf eine ausreichende Dimensionierung geachtet werden. Neben den Belastungen sind diese Betonelemente äußeren Einflüssen wie der Witterung ausgesetzt, hier sind entsprechende Maßnahmen wie eine ausreichende Betondeckung und eine angemessene Mindestbetondruckfestigkeit unter Berücksichtigung der Expositionsklasse zu setzen.

Ein Beispiel für die Verwendung solcher Betonelemente ist die in Abb. 12 bis Abb. 14 ersichtliche Ankerwand in Treglwang.



Abb. 12: Ankerwand Treglwang

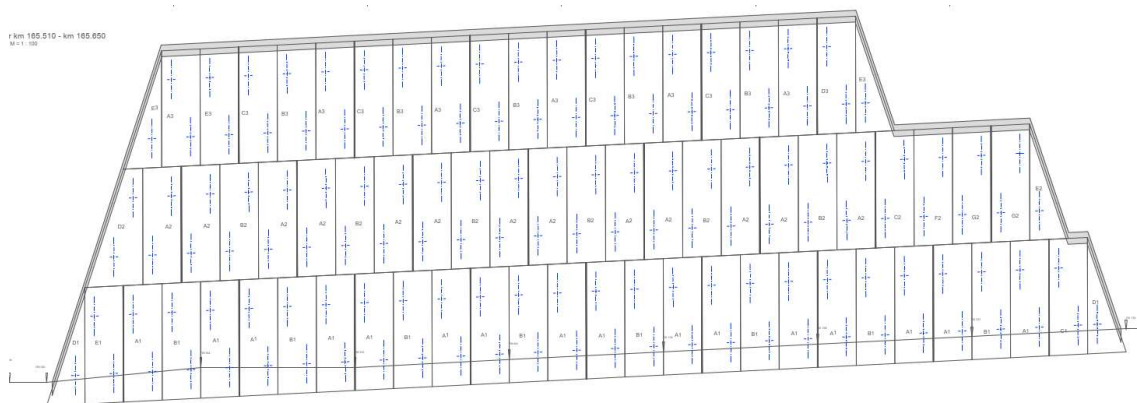


Abb. 13: Ankerwand Treglwang Ansicht überhöht



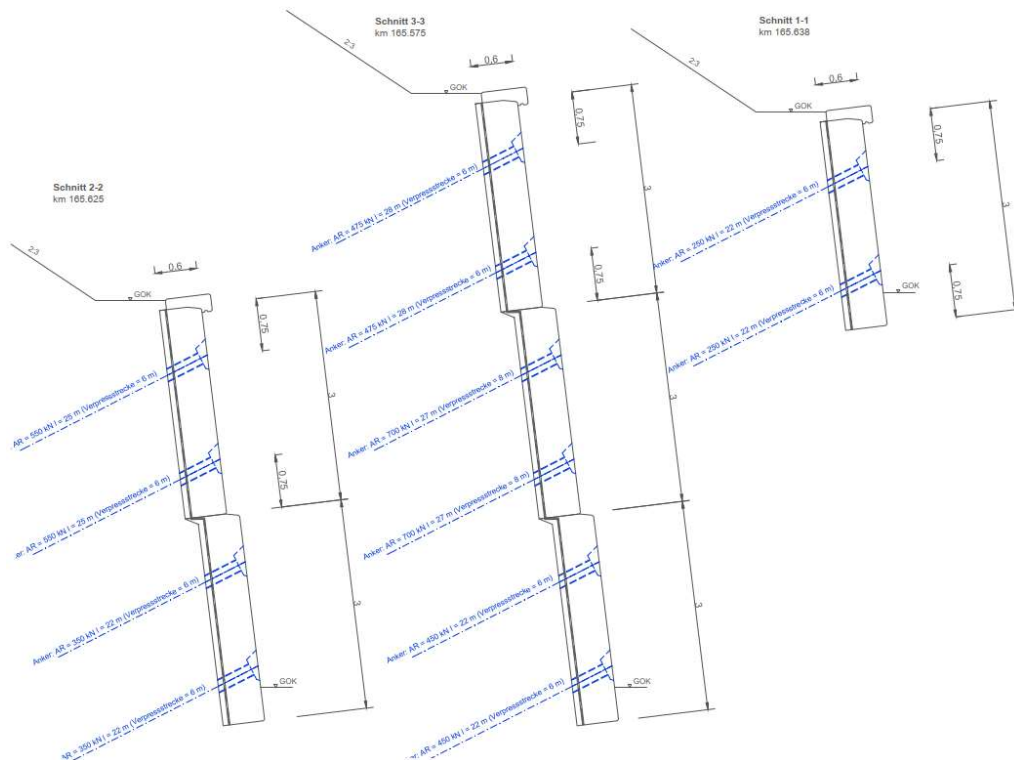


Abb. 14: Schnitte Ankerwand Treglwang

In Abb. 15 ist schematisch die Bewehrungsführung für eines der Betonelemente der Ankerwand Treglwang dargestellt.

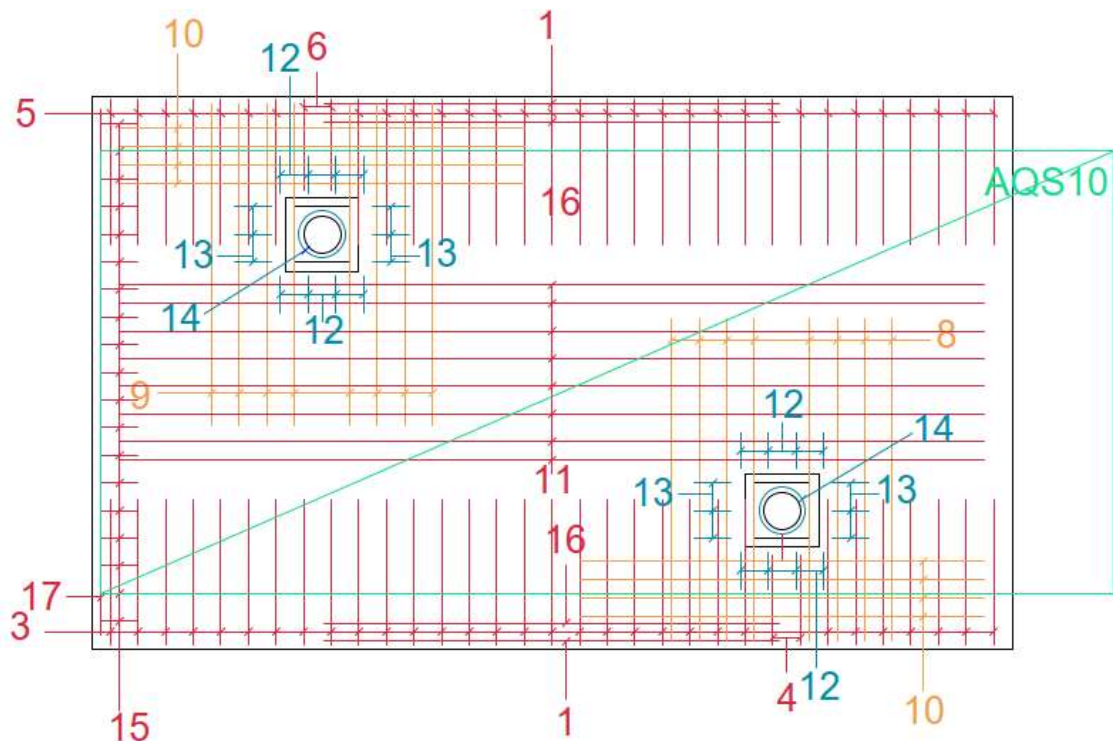


Abb. 15: Bewehrungsplan Ankerwand Treglwang Element A2

Diese Darstellung lässt erkennen, dass hier neben einer flächigen Bewehrung, um das Bauteil als Platte ausführen zu können, auch Bewehrungselemente zur lokalen Lasteinleitung im Bereich der Ankerköpfe erforderlich ist.

## 2.5.2 Vorgespannte Verpressanker

Bei vorgespannten Verpressankern wird die Kraft über den Verpresskörper am Ankerende konzentriert eingeleitet. Das zwischen Ankerkopf und Verpresskörper liegende Zugglied aus Spannstahl ist längs frei beweglich. Die Herstellung des Verpresskörpers erfolgt meist mit Zementmörtel, in Sonderfällen wird auch Kunstharz verwendet. Verpressanker können lediglich auf Zug beansprucht werden und nicht wie Nägel zusätzlich auf Scherung (siehe Abb. 16). Durch die Vorspannung benötigen Verpressanker keine (bzw. nur geringe) Verformung, um die Tragwirkung zu aktivieren. (Boley, 2012)

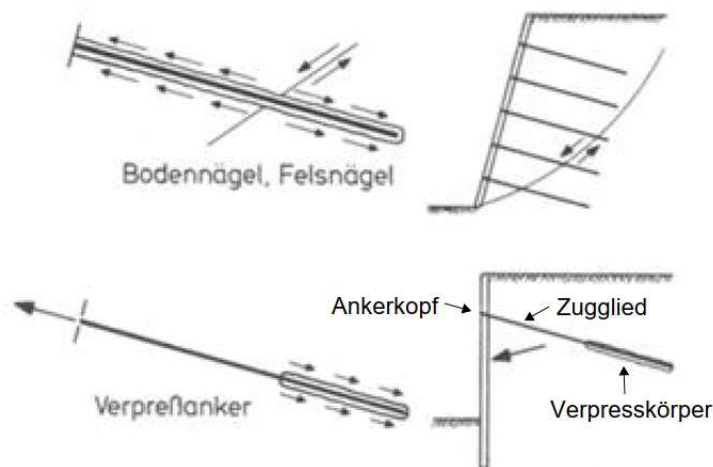


Abb. 16: Krafteinleitung bei Bodennägeln und Verpressankern (Wichter und Meininger, 2000)

Auf Grund dieser Ausführung ist es durch vorgespannte Verpressanker möglich, Lasten aus dem Bereich des Ankerkopfes (dem Anschluss zu den konstruktiven Bauteilen vgl. Kapitel 2.5.1) weiter hinten in einen kompetenteren bzw. tragfähigeren Untergrund einzuleiten. Damit kann im Vergleich zu anderen Konstruktionsformen wie der Schwergewichtswand eine schlankere Konstruktion errichtet werden.

## 2.5.3 Schubknagge

Die Abb. 17 zeigt eine Verbindung zweier Elemente mittels Schubknaggen. Schubknaggen haben die selbe Funktionsweise wie Konsolen, die vorstehenden Betonkonsolen verzahnen zwei Betonelemente ähnlich einer Nut- und Federlösung und über die entstandene Fläche (in Abb. 17 rot gekennzeichnet) wird der eingeleitete Schub übertragen. Die Bemessung und Konstruktion von Konsolen ist in der *ÖNORM EN 1992-1-1 Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*, 2011) im Anhang J festgelegt.



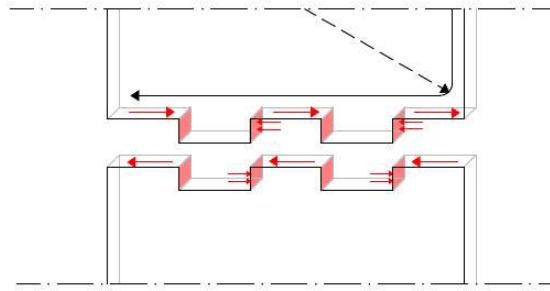


Abb. 17: Kraftübertragung Schubknagge

Mit dieser Konstruktion können auf relativ simple Art und Weise zwei miteinander querkrafttragfähig verbundene Bauteile hergestellt werden. Vor allem in Bezug auf das Tragverhalten und die Lastweiterleitung zwischen Elementen ist dies ein maßgebender Punkt, welcher sowohl bei der Bauwerksprüfung als auch bei einer allfälligen Nachrechnung berücksichtigt werden muss.

### 2.5.4 Querkraftdübel

Ein Querkraftdübel oder auch Querkraftdorn überträgt Querkräfte von einem Element in das angrenzende Element. In Längsrichtung (x-Richtung in Abb. 18) ermöglicht der Dorn Bewegung und überträgt in y- und z-Richtung die Querkräfte ohne Bewegungsweg. (SPEBA Innovative Bautechnik, 2022) Die Fugen können die aufgrund von Temperaturdehnung, Schwinden, Quellen oder Kriechen des Betonbauteiles entstehenden Zwangsspannungen verhindern.

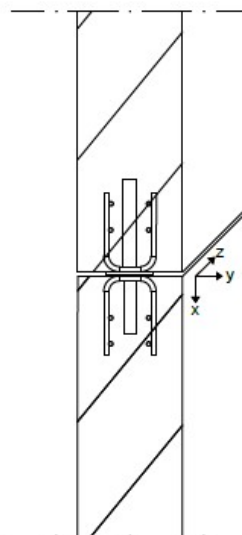


Abb. 18: Querkraftdübel

### 2.5.5 Ankernase

Eine Ankernase beschreibt eine kleine Erhöhung aus einem flächenhaften Bauteil, (siehe Abb. 19) an welcher der vorgespannte Anker abgebracht wird. Durch diese

kann die erforderliche Durchstanzsicherheit, zu Folge der Erhöhung der Aufstandsfläche erreicht werden. Meist wird diese zudem dazu verwendet, um den Neigungsunterschied zwischen der Kopfkonstruktion und der Wand zu bewerkstelligen.



Abb. 19: Ankernase

Derartige Bauteile kommen vor allem bei geankerten Konstruktionen (vgl. Kapitel 2.4) zum Einsatz, um die Anbringung und Installation von vorgespannten Verpressankern an Bestandsbauwerken zu ermöglichen. Neben den Vorteilen in Bezug auf die Durchstanzsicherheit der Konstruktionen kann damit auch eine kraftschlüssige Verbindung von Einzelelementen (durch Anordnung im Bereich der Bauteilfugen) erreicht werden, woraus folgend eine Reduktion der erforderlichen Zugelemente sowie eine Änderung der Lastabtragung erzielt werden kann. Die Herstellung dieser ist jedoch mit einem erheblichen Aufwand verbunden, da die Seitenflächen zur Ableitung von Niederschlagswässern entsprechend geneigt ausgeführt werden müssen. Zudem stellen Ankernasen in Bezug auf die Dauerhaftigkeit eine erhebliche Schwachstelle dar. Vor allem im Sprühnebelbereich oder in anderen exponierten Lagen kommt es hier oftmals zu einem sehr raschen Voranschreiten von Korrosionsschäden. Zudem sind, wie in Abb. 19 dargestellt oftmals auch Schutzeinrichtungen erforderlich, um beispielsweise Matsch- und Steinanprall zu verhindern.

### 2.5.6 Ankernische

Als Ankernische bezeichnet man eine Eintiefung des Ankerkopfes in der Betonkonstruktion. In Abb. 20 ist eine vertikale Lisenenwand mit Ankernischen dargestellt.



Abb. 20: Ankernischen in vertikalen Lisenen (Haiderbau, 2022)

Im Gegensatz zu Ankernasen ist dadurch ein Schutz des Ankerkopfes vor äußeren Einflüssen gegeben. In Bezug auf die Herstellung ist hier jedoch eine Berücksichtigung dieser Bauteile bei der Bemessung (z.B. Durchstanzwiderstand) aber auch bei der Bewehrungsführung erforderlich. Weiters ist bei der Ausführung von Ankernischen darauf zu achten, dass diese eine entsprechende Größe aufweisen, um beispielsweise endoskopische Untersuchungen aber auch Ankerabhebekontrollen zu ermöglichen. Identisch zu Ankernasen müssen auch hier die Seitenflächen entsprechend geneigt ausgeführt werden, um ein Ablauf von Niederschlagswässern zu ermöglichen.

### 2.5.7 Ausfachungen

Bei Lisenenwänden bzw. Rippenwänden werden zwischen den verankerten Stahlbetonrippen häufig Ausfachungen hergestellt (siehe Abb. 21). Hierbei kommen im Regelfall Spritzbetonausfachungen zum Einsatz, welche den Vorteil haben, dass diese zum dahinterliegenden Bodenkörper einen guten Kraftanschluss haben und deshalb zu kleineren Gesamtverformungen führen.



Abb. 21: Spritzbetonausfachung

Die Dicke des Spritzbetons der Ausfachung ist je nach statischem Erfordernis zu wählen und kann bei wenig verwitterungsanfälligem Fels komplett entfallen.

## 3 Tragverhalten und Lastableitung bei geankerten Konstruktionen

Für das Tragverhalten einer geankerten Konstruktion sind die Funktion, die Verteilung und Aufteilung der vorgespannten Verpressanker, deren Einflussflächen sowie die generellen Lastabtragungsmechanismen relevant. Vorgespannte Verpressanker sind in den folgenden Kapiteln mit den Begriffen „Anker“, „vorgespannte Anker“, sowie „Verpressanker“ gleichzusetzen. Bei Elementwänden ist weiters die Elementgröße bedeutsam, sowie deren Aufteilung. Ähnlich verhält es sich bei Lisenenwänden, hier sind die Abstände zwischen den Lisenen und der Anker zu berücksichtigen. Zudem sind eventuelle lastverteilende Bauteile wie Ankernasen, Verdübelungen oder Dorn, wie in Kapitel 2.5 angeführt, mit bei der Lastableitung und dem Tragverhalten mit in Betracht zu ziehen.

Die Abbildungen in den folgenden Unterkapiteln zeigen schematisch die Ankerkräfte und die Erddruckverteilung gemäß *ÖNORM B 4434 Erd- und Grundbau Erddruckberechnung*, 1993) anhand verschiedener Beispiele. Weiters wird die Wirkung des Erddrucks – in Form von Lasttrajektorien bzw. Einflussflächen, der verschiedenen Wandtypen dargestellt.

Hierbei wird für jeden in Kapitel 2 angeführten Wandtyp ein schematisches Lastbild dargestellt, welches den wirkenden Erddruck ohne Wasserlasten und Verkehrslasten darstellen soll. Anschließend wird in Form einer schematischen Darstellung versucht, die Ableitung der Lasten – in Form des Kraftflusses – darzustellen. Ziel hierbei ist es, die Lastableitungsmechanismen aufzuzeigen und zu visualisieren, um diese in den nachfolgenden Kapiteln 4 und 5 als Grundlage für Schadensmechanismen bzw. deren Beurteilung verwenden zu können.

Die nachfolgenden Darstellungen sind lediglich schematisch zu verstehen. Auf eine entsprechende Skalierung der Erddrucklasten, der Lastumlagerungseffekte und der Ankerlasten wurde verzichtet – um lediglich eine repräsentative Darstellung des Tragverhalten und der Lastableitungsmechanismen zu geben.

### 3.1 Elementwand

#### 3.1.1 Geschlossene Elementwände

##### 3.1.1.1 Allseitig verdübelte geschlossene Elementwand

Eine geschlossene Elementwand, deren Elemente auf allen Seiten verdübelt sind, verhält sich in Hinsicht auf die Lastableitung nahezu wie eine vollflächige Ort betonwand, wie in Kapitel 3.2 angeführt. Die Belastung wirkt gleichmäßig auf das Ankerraster verteilt, wie in Abb. 23 dargestellt. Dabei sind die Abstände

zwischen den Ankernd maßgebend und nicht die Elementgröße. Das zugehörige Lastbild ist in Abb. 22 dargestellt.

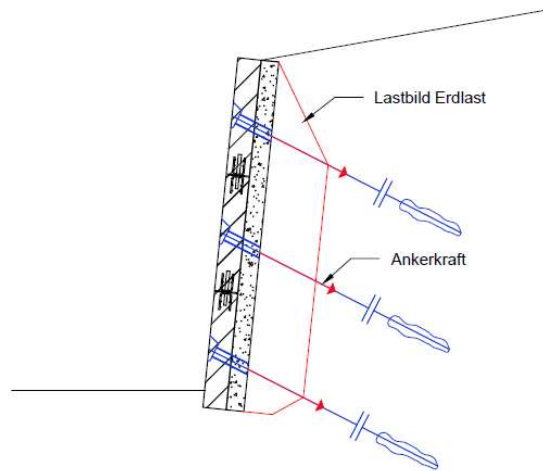


Abb. 22: schematisches Lastbild bei allseitig verdübelter Ankerwand

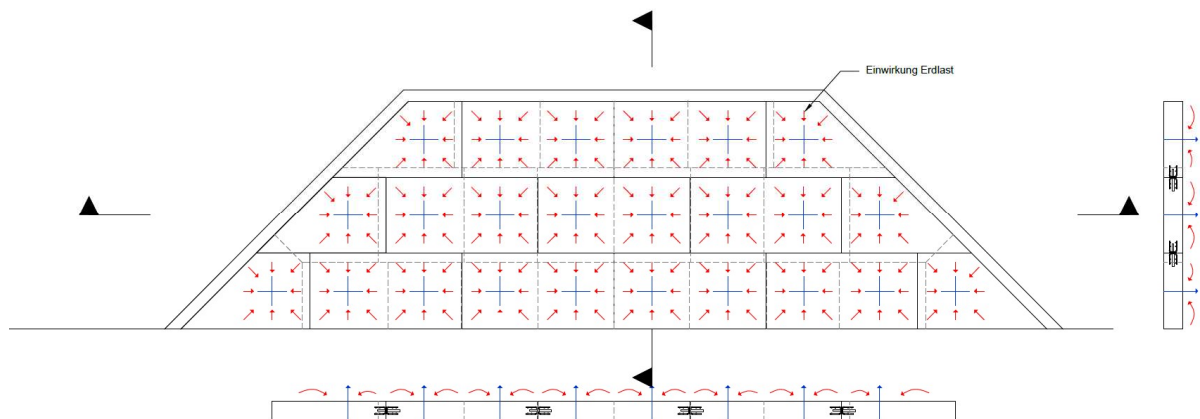


Abb. 23: Lastableitungsmechanismen (Kraftfluss) bei allseitig verdübelter Ankerwand

### 3.1.1.2 Horizontal verdübelte geschlossene Ankerwand

Die Lastableitung für eine geschlossene Ankerwand, deren Elemente nur horizontal (entlang der Ankerhorizonte) miteinander verdübelt werden (Abb. 24 und Abb. 25), unterscheidet sich von jener mit einer allseitigen Verdübelung. Hier stellt sich für jede „Abtreppung“ bzw. entlang der horizontalen Fugen des Bauwerkes eine eigenständige Belastung ein. Wobei die unteren Bereiche von den darüberliegenden beeinflusst werden, da diese eine zusätzliche, basierend auf der Erddruckbelastung basierende Vorbelastung darstellen.



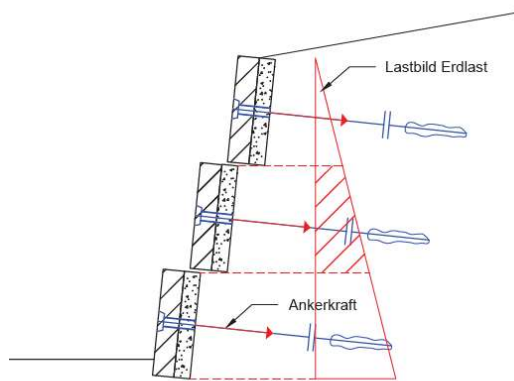


Abb. 24: schematisches Lastbild bei horizontal verdübelter Ankerwand

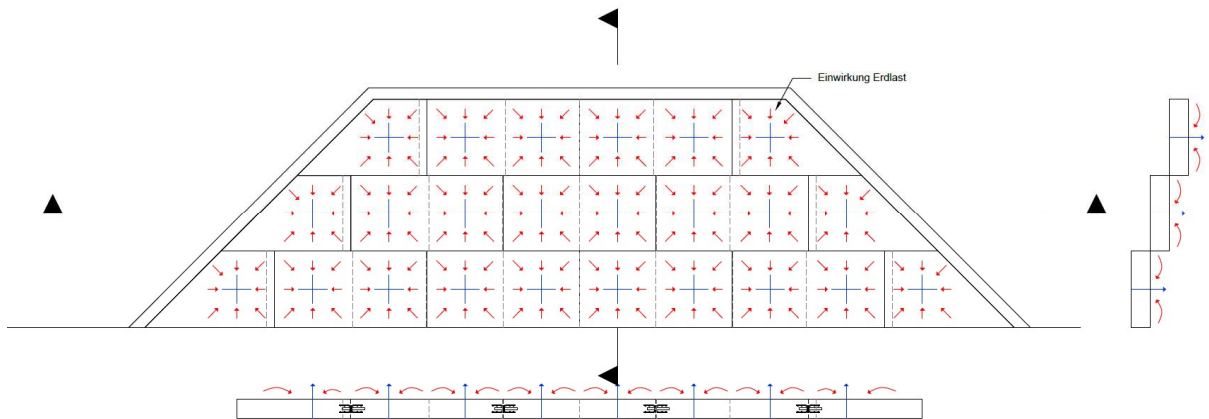


Abb. 25: Lastableitungsmechanismen (Kraftfluss) bei horizontal verdübelter Ankerwand

Eine derartige Verdübelung der Wände kann wie hier dargestellt horizontal vorliegen, was den Standard darstellt – und vor allem in Bezug auf den Baufortschritt entsprechend sinnvoll ist. Eine artgleiche Ausführung kann jedoch auch dazu verwendet werden, um Elemente in vertikaler Richtung miteinander zu verbinden.

### 3.1.2 Aufgelöste Elementwände

Die einzelnen Elemente bilden das Haupttragelement bei der aufgelösten Elementwand (Abb. 26), die Flächen zwischen den Elementen sind mit Spritzbeton gesichert. Die Ankerkräfte wirken dem Erddruck entgegen. Die Lastableitung nimmt zur Elementmitte hin zu, da hier die Ankerkraft angreift. Die Einleitung der zu stützenden Erdlasten findet einerseits direkt hinter den Einzelelementen statt, andererseits jedoch auch an deren Rändern in Form der Auflagerreaktion durch die Spritzbetonsicherung.

Sind hier keine Sicherungselemente wie Spritzbeton vorhanden bzw. ist der Untergrund nicht standfest findet im Regelfall die Ausbildung eines Gewölbes zwischen den Einzelementen statt.

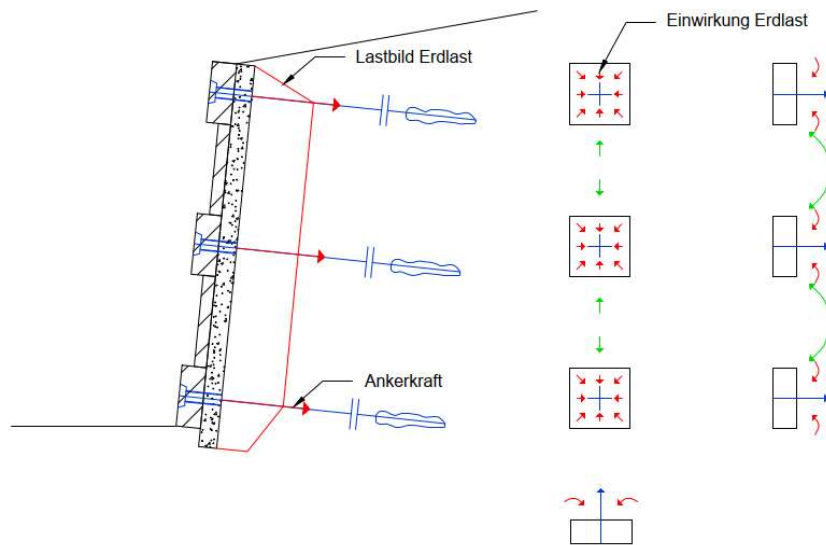


Abb. 26: schematisches Lastbild bei aufgelöster Ankerwand (links) und Lastableitungsmechanismen (Kraftfluss in Rot, Gewölbewirkung in Grün) bei aufgelöster Ankerwand (rechts)

### 3.2 Vollflächige Ankerwand

Bei der vollflächigen Ankerwand wird die Last gleichmäßig über den Ankerraster abgeleitet, dabei sind die Einflussflächen der Anker relevant. Die Anker am Rand besitzen meist eine größere Einflussfläche als die Anker im Zentrum der Ankerwand, dies ist bei der Bemessung zu berücksichtigen. Statisch gesehen kann die vollflächige Ankerwand sowohl horizontal als auch vertikal als Durchlaufträger – und damit als Platte - betrachtet werden.

In Abb. 27 und Abb. 28 werden das Lastbild und die Lastableitungsmechanismen einer vollflächigen Ankerwand gezeigt.

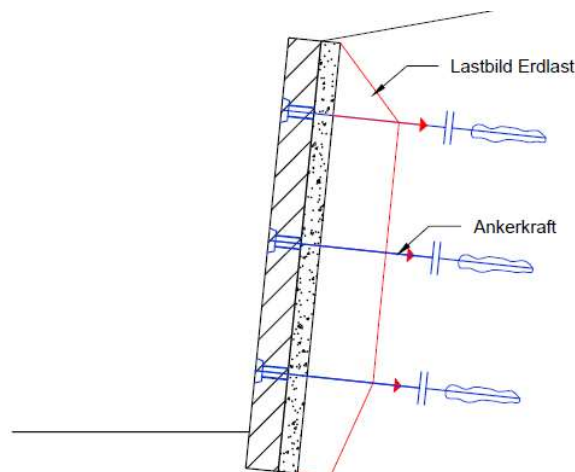


Abb. 27: schematisches Lastbild bei vollflächiger Ortbetonwand



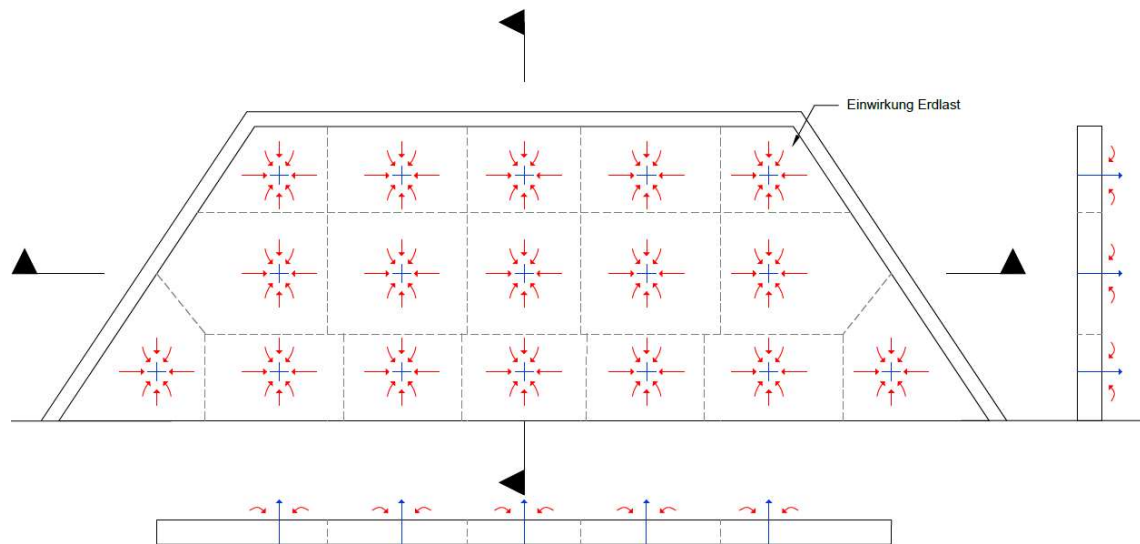


Abb. 28: Lastableitungsmechanismen (Kraftfluss) bei vollflächiger Ortbetonwand

Bei derartigen Konstruktionen sind jedoch im Regelfall ebenfalls vertikale und horizontale Trennungen in Form von Arbeits- und Bauteilfugen vorhanden. Hieraus resultiert eine Kombination aus dem hier dargestellten Tragverhalten und jenem von verdübelten Ankerwänden.

### 3.3 Lisenenwand

Die Lisenen aus Stahlbeton bilden das Haupttragelement, die zwischenliegenden freien Flächen werden – ähnlich der aufgelösten Elementwand (vgl. Kapitel 3.1.2) - mit Spritzbeton gesichert. Über den Spritzbeton wird die Last in die Lisenen abgeleitet. Diese Spritzbetonsicherung wird im Regelfall als Gewölbe ausgeführt, dadurch werden die Lasten über die Gewölbewirkung des Spritzbetons in die Stahlbetonrippen eingeleitet (Abb. 32). Eine nicht gekrümmte Ausführung der Spritzbetonsicherung dient im Regelfall lediglich als Verwitterungsschutz. Horizontale und vertikale Lisenenwände basieren auf demselben Prinzip der Lastableitung.

#### 3.3.1 Horizontale Lisenenwand

In Abb. 29 und Abb. 30 werden das Lastbild und die Lastableitungsmechanismen einer horizontalen Lisenenwand gezeigt.

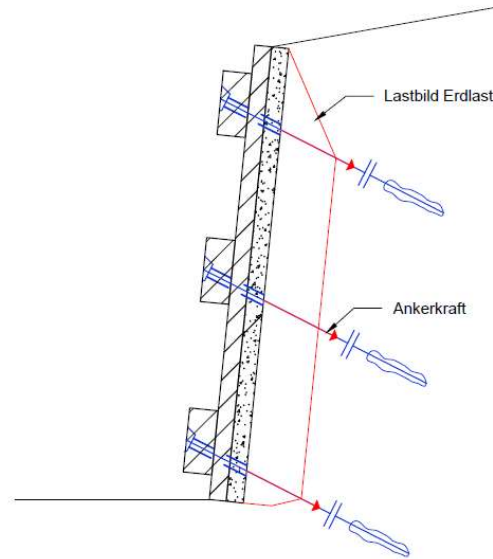


Abb. 29: schematisches Lastbild bei horizontaler Lisenenwand

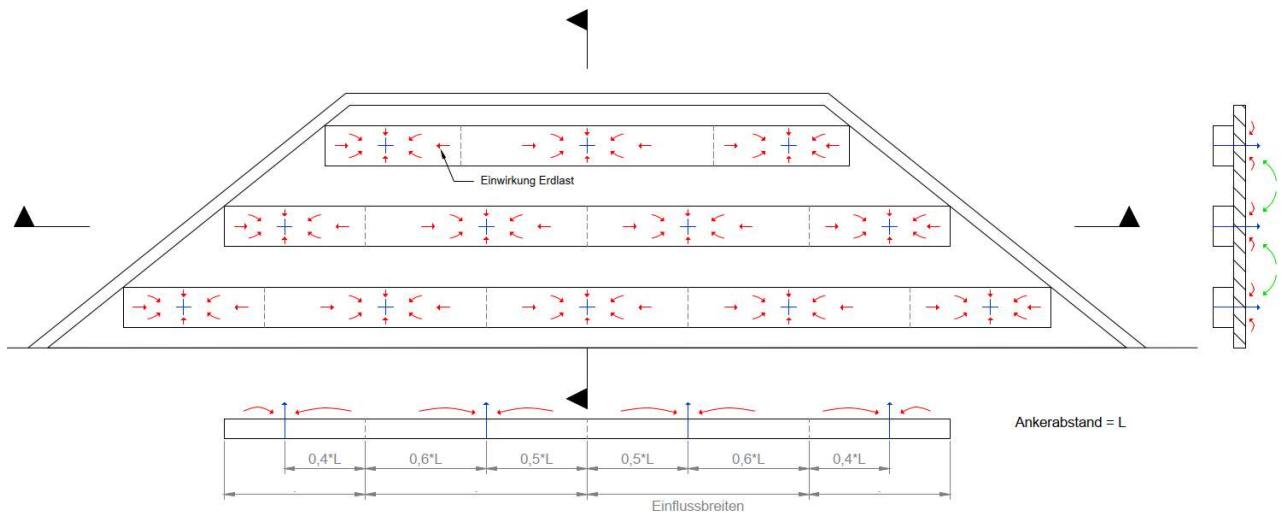


Abb. 30: Lastableitungsmechanismen (Kraftfluss) bei horizontaler Lisenenwand

### 3.3.2 Vertikale Lisenenwand

In Abb. 31 und Abb. 32 werden das Lastbild und die Lastableitungsmechanismen einer vertikale Lisenenwand gezeigt.

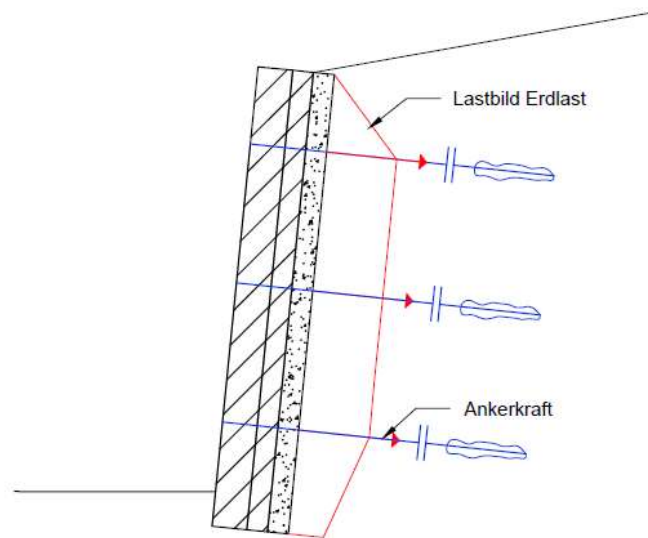


Abb. 31: schematisches Lastbild bei vertikaler Lisenenwand

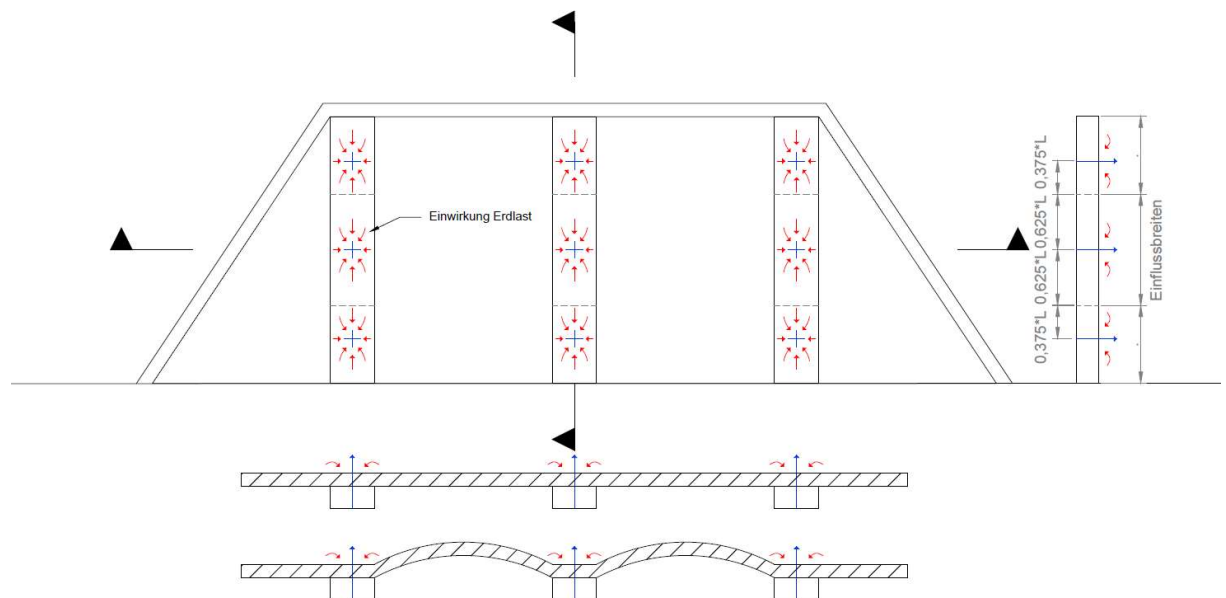


Abb. 32: Lastableitungsmechanismen (Kraftfluss) bei vertikaler Lisenenwand

### 3.4 Geankerte Konstruktionen

Bei geankerten Konstruktionen setzt sich die Tragfähigkeit zum einen aus der Wirkung der Anker und zum anderen aus der Resttragfähigkeit des alten Systems wie z.B. der Gewichtsmauer zusammen. Die Belastung wird somit auf die Anker und das restliche System aufgeteilt.

#### 3.4.1 Gewichtsmauer

Bei einer Gewichtsmauer wird die Belastung durch das Eigengewicht der Konstruktion aufgenommen (siehe Abb. 33). Eine überbeanspruchte Konstruktion kann nicht mehr die volle Belastung aufnehmen und wird deshalb zur Kompensation des Defizites rückverankert.

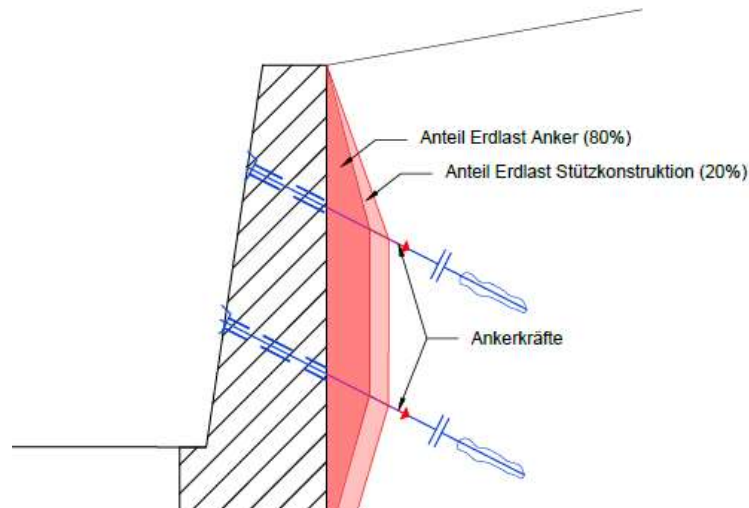


Abb. 33: schematisches Lastbild einer Gewichtsmauer

### 3.4.2 Winkelstützmauer

Winkelstützmauern werden aufgrund ihrer schlanken Ausführung vorrangig auf Biegung beansprucht. Im Vergleich zu einer Gewichtsmauer hat die Konstruktion ein geringeres Eigengewicht, durch den verbreiterten Fuß wirkt aber zusätzlich die Eigenlast der Hinterfüllung. Wird eine Winkelstützmauer rückverankert, dann meist aus denselben Gründen wie bei Gewichtsmauern (z.B. als Sanierungsmaßnahme). Die Belastung wird wie in Abb. 34 ersichtlich zum Teil durch die Resttragfähigkeit des Systems und zum Teil von den Ankern aufgenommen.

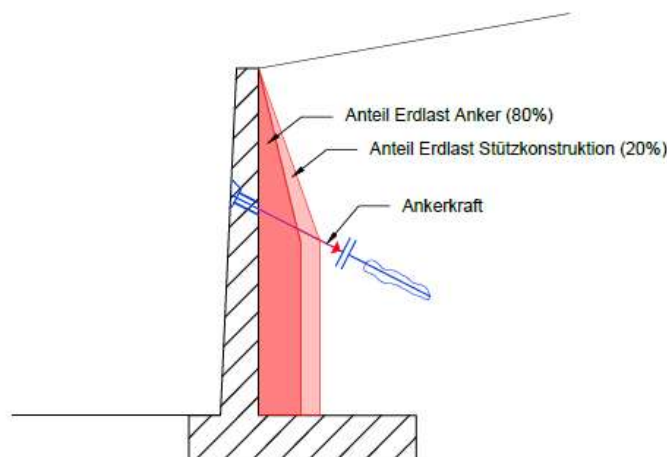


Abb. 34: schematisches Lastbild einer Winkelstützmauer

Bei Winkelstützmauern sind derartige Sanierungen oftmals auch erforderlich, um eine Korrosionsschädigung im Bereich der Arbeitsfuge (siehe dazu Rebhan, 2019)) und daraus folgenden einen Verlust der inneren Tragfähigkeit vorzubeugen.

## 4 Schadensmechanismen bei geankerten Konstruktionen

Schadensmechanismen und Versagensbilder bei geankerten Konstruktionen können weitreichende Erscheinungsbilder haben. Zum einen können diese an den konstruktiven Bauteilen (z.B. Betonelemente) anzutreffen sein. Zum anderen sind diese üblicherweise auf die Abnahme der Zuverlässigkeit der Zuelemente (der vorgespannten Verpressanker) zurückzuführen. In diesem Kapitel wird darauf eingegangen, zu welchen Schäden es bei Ankern - bzw. Zuelementen im Generellen - kommen kann, und wie sich diese auf die Zuverlässigkeit der Konstruktion auswirken. Schäden an den Zuelementen können das Tragglied, den Boden, den Verbund von Boden und Verpresskörper und den Verbund von Verpresskörper und Tragglied betreffen. (Sabatini, et al., 1999) Informationen zu den Schäden an den konstruktiven Bauteilen sind in der gängigen Literatur zu finden. Beispiele hierzu sind Stahr, (2011), Weber (2013), Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.: Ist-Zustandserfassung von Parkbauten in Betonbauweise (2017) Bergmeister *et al.* (2014) und Müller und Vogel (2011).

Nachfolgend wird auf einige typische, und im Zusammenhang mit dieser Arbeit und vorgespannten Ankern wichtige Schadensbilder eingegangen. Hierzu wird umfassender auf das Thema der Korrosion und anschließend auf Planungsfehler und Mängel in der Erhaltung und Instandsetzung eingegangen.

### 4.1 Schäden durch Korrosion

Eine der Hauptursachen für Schäden an geankerten Konstruktionen bildet – neben den Auswirkungen der Korrosion bei konstruktiven Bauteilen - die Korrosion von metallischen Bauteilen wie den Zuelementen bzw. den Bereichen des Ankerkopfes. In diesem Kapitel soll der Prozess der Korrosion veranschaulicht werden. Des Weiteren wird ein Überblick über die verschiedenen Korrosionstypen gegeben und dessen Auswirkung auf die Entstehung von Schäden bei Zuelementen werden erläutert.

#### 4.1.1 Korrosion im Allgemeinen

Gemäß *ÖNORM EN ISO 8044 Korrosion von Metallen und Legierungen - Grundbegriffe*, (2020) wird Korrosion definiert als „*physikochemische Wechselwirkung zwischen einem metallenen Werkstoff und seiner Umgebung, die zu einer Veränderung der Eigenschaften des Metalls führt und die zu erheblichen Beeinträchtigungen der Funktion des Metalls, der Umgebung oder des technischen Systems, von dem diese einen Teil bilden, führen kann.*“ Korrosion als Reaktion des Metalls mit der Umgebung kann daher zu Schäden und Mängeln führen. Im Allgemeinen spricht man von einem Korrosionsschaden, sobald die Funktion eines Systems beziehungsweise eines Bauteils beeinträchtigt ist.

Folgende Schäden können infolge von Korrosion auftreten: (Weißbach *et al.*, 2015)

- Schwächung von Querschnitten und damit einhergehend höhere Spannungen und größere Dehnungen unter Lastbeanspruchung, wodurch Brüche begünstigt werden können;
- Beschädigung der Oberfläche und dadurch Beeinträchtigung des optischen Erscheinungsbildes, sowie Minderung der Dauerfestigkeit (Kerbwirkung) von dynamisch belasteten Bauteilen;
- Volumenvergrößerung infolge des entstehenden Korrosionsproduktes kann bewegliche Teile blockieren sowie eine Sprengwirkung in Spalten auslösen.

Die in der Definition *ÖNORM EN ISO 8044 Korrosion von Metallen und Legierungen - Grundbegriffe* (2020) genannte physikochemische Wechselwirkung kann mit der physikalischen, chemischen bzw. elektrochemischen Reaktion beschrieben werden, welche nachfolgend kurz angeführt sind.

#### 4.1.1.1 Physikalische Reaktion

Die physikalischen Prozesse sind bei dieser Form von Reaktion wesentlich. Eine metallphysikalische Reaktion ist das metallische Schmelzen bei der Werkstoffherstellung, hier wird durch den Kontakt zu geschmolzenem Metall die Oberfläche gelöst. Eine weitere physikalische Reaktion stellt das Eindiffundieren von absorbierbaren Gasen (z.B. Wasserstoff) in die Zwischengitterplätze dar, was in weiterer Folge zur Versprödung des Werkstoffes führt. (Weißbach *et al.*, 2015) Derartige Korrosionsprozesse finden im Zusammenhang mit vorgespannten Zuelementen nicht statt und werden daher nicht näher ausgeführt.

#### 4.1.1.2 Chemische Reaktion

Hiervon spricht man, wenn zwischen Metall und Gasen eine chemische Reaktion stattfindet. Die Korrosionsschäden werden infolge einer Oxidation ausgelöst. Dabei tritt kein Elektronenfluss wie bei der elektrochemischen Reaktion (vgl. Kapitel 4.1.1.3) auf, sondern das auftretende Gas und der metallische Werkstoff tauschen Elektronen direkt aus. Die Oxidation wird in den häufigsten Fällen durch Sauerstoff als Korrosionsmittel ausgelöst. Neben diesem sind oftmals auch Gase, Säuren und Laugen die Korrosionsursache. (Weißbach *et al.*, 2015) Im Bauwesen finden derartige Korrosionsprozesse bei Tanks oder Behälteranlagen statt. Im Zusammenhang mit vorgespannten Zuelementen treten diese Prozesse beispielsweise bei speziellen Lager- und Konstruktionshallen auf, bei welchen vorgespannte Betonbauteile verwendet werden. Bei geankerten Konstruktionen ist dies im Regelfall nicht zu finden.

#### 4.1.1.3 Elektrochemische Reaktion

Die elektrochemische Reaktion findet statt, wenn das Metall mit ionenhaltigen Stoffen in Kontakt kommt. Diese ionenhaltigen Stoffe sind zum Beispiel Elektrolytlösungen wie Salzlösungen, Säuren, Laugen oder auch ionisierte Luft. Gemeinsam mit Metall ergeben sich galvanische Elemente, in diesen mittels Oxidation eines unedlen Metalls elektrische Energie gewonnen wird. (Weißbach, et al., 2015) Diese Form der Reaktion ist eine der Hauptursachen für Korrosionsschäden im Bauwesen. Neben der klassischen Korrosion in Form einer elektrochemischen Reaktion ist diese auch der Auslöser der Kontaktkorrosion und der wasserstoffinduzierten Spannungsrisskorrosion welche eine Mischform der elektrochemischen (Bildung eines galvanischen Elements) und der physikalischen Reaktion durch die Einlagerung von Wasserstoffatomen darstellt. Genauere Ausführungen hierzu sind Nürnberger (1995) und Feder *et al.* (1987) zu entnehmen.

#### 4.1.2 Korrosionstypen

Um die Auswirkungen einer Korrosion einschätzen zu können, ist der Korrosionstyp insofern relevant, da je nach Erscheinungsform der Korrosion, eine andere Schadensart zu erwarten ist. Im Wesentlichen unterscheidet man bei einem Korrosionsangriff gemäß Wichter und Meininger (2000) zwischen den in Abb. 35 dargestellten drei Typen:

- Gleichmäßigen Flächenabtrag (Flächenkorrosion):  
Bei dieser Form von Korrosion wird die Oberfläche eines Bauteiles gleichmäßig durch Korrosion beschädigt. Auf der Oberfläche bilden sich anodische und kathodische Bereiche aus, welche sich in einem ständigen Wechsel befinden. Diese Flächenkorrosion tritt zum Beispiel bei Stahlbauteilen unter Witterungseinfluss auf.
- Lokaler Abtrag in Form von Mulden- und Lochkorrosion:  
Diese Art von Korrosion ist eine Abtragung des metallischen Werkstoffs mit markanten Rändern (Lochkorrosion) beziehungsweise weniger markanten Rändern (Muldenkorrosion), welche im Gegensatz zur gleichmäßigen Korrosion durch eine lokale Einschränkung geprägt ist. Diese entsteht meist an gewissen Störstellen der Oberfläche aufgrund der Inhomogenität des Werkstoffes oder auch durch eine örtliche Verletzung bzw. einen lokal beschränkten Angriff (fehlender Korrosionsschutz, Tropfbereiche).
- Risskorrosion (ohne und mit mechanischer Beanspruchung):  
Riss- oder auch Spannungsrisskorrosion entsteht bei einem metallischen Bauteil, wenn dieser statisch belastet (z.B. Zugspannungen) ist und zusätzlich ein korrosiver Stoff (z.B. Wasserstoff) wirkt. Zu Beginn bilden sich Mikrorisse, welche sich zu sichtbaren Rissen ausweiten können.

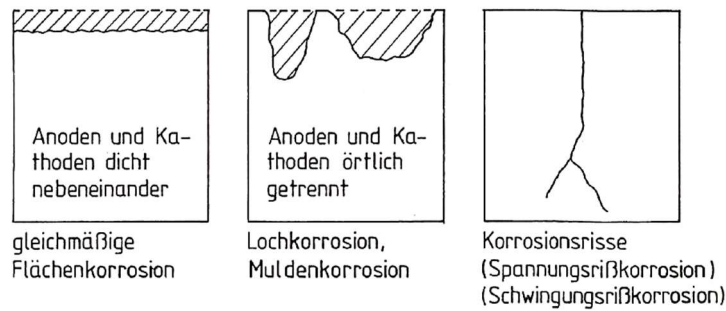


Abb. 35: Korrosionsarten (Nürnberger, 1995)

### 4.1.3 Korrosion an Zugelementen

Für Zugelemente, wie diese bei vorgespannten Ankern sowie Nägeln und Pfählen verbaut sind, ist von den oben angeführten Korrosionsarten (Abb. 35) vor allem der lokale Abtrag durch Muldenkorrosion oder Lochkorrosion kritisch. Da dieser die Entstehung von Spannungsrissskorrosion begünstigt.

Mulden- und Lochkorrosion entsteht vorzugsweise in Belüftungselementen. Auf der Metalloberfläche bilden sich infolge von Kondensation Wassertropfen. An diesen Wassertropfen entstehen am Tropfenrand die Kathoden und in der Tropfenmitte die Anoden. Wenn diese Tropfen nun nicht abtrocknen, findet eine örtliche Korrosion statt. Bei Spannstählen besteht die Gefahr von Kondenswasserkorrosion beispielsweise dann, wenn die Spannstähle (in der Nacht) abkühlen und anschließend der Sonne ausgesetzt sind. Wenn die erwärmte Luft den kalten Stahl berührt, kondensiert das Wasser an der Stahloberfläche. Das Lagern des Spannstahls auf feuchtem Untergrund und unter Folien verhindert einen Luftaustausch und verstärkt die Kondenswasserbildung. (Nürnberger, 1995)

Für das Zuggliedversagen durch Spannungsrissskorrosion ist wie der Name impliziert, die Zugspannung von Bedeutung. Durch die Korrosionsreaktion entsteht an der Stahloberfläche atomarer Wasserstoff, welcher sich lokal anreichert. Die Wasserstoffatome diffundieren in das Metallgitter des Stahls und bewirken dessen Versprödung, zufolge einer Umstrukturierung der Moleküle, welche in weiterer Folge zu einem schlagartigen und sich ohne Zusatzdehnung ankündigenden Bruch führen kann. Daher sind Bereiche besonders gefährdet, an denen sich eine höhere Wasserstoffkonzentration ausbilden kann und eine hohe Spannungskonzentration vorliegt. Die Risse verlaufen dabei orthogonal zur Richtung der Hauptnormalspannungen. Zuerst bildet sich ein halbellipsenförmiger Anriss, die Rissbildung schreitet fort, bis der Bruch ohne Vorankündigung und ohne Einschnürung erfolgt. Anfällig für diese Art von Prozesse sind Stähle mit höherer Festigkeit ( $R_m > 1.200 \text{ N/mm}^2$ ). (Wichter und Meininger, 2000) Bei kalt gezogenen Litzen tritt Spannungsrissskorrosion trotzdem auf, die Ursache bilden dabei meist Ausführungsmängel (z.B. Kerben an der Litzenoberfläche), welche die Entstehung von Korrosion begünstigen.



Die chemische Zusammensetzung des Spannstahls ist hinsichtlich der Anfälligkeit für wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion ebenfalls relevant. Ein hoher Kohlenstoffanteil, ein niedriger Chromgehalt sowie das Silizium-Mangan-Verhältnis können die Löslichkeit von atomarem Wasserstoff begünstigen. Für die genannten Anteile gibt es jedoch keine konkreten Grenzwerte, deshalb kann keine pauschale Beurteilung abgegeben werden ab wann eine tatsächliche Gefährdung des Stahls hinsichtlich wasserstoffinduzierter Spannungsrisskorrosion vorliegt. Neben der Festigkeit des Spannstahls und dessen chemischer Zusammensetzung haben insbesondere dessen Umgebungsbedingungen Einfluss auf eine Schädigung. (Wilhelm, 2014) Auf diese wird in Kapitel 4.3 näher eingegangen.

## 4.2 Schäden durch mangelhaften Bauentwurf

Bei der Konzeption von Ankern sind aufgrund diverser Umwelteinflüsse, wie zum Beispiel dem Schichtaufbau des Bodens oder dem Wasserdruck, einige Konstruktions- und Entwurfsregeln zu beachten. Bei der Planung des Bauablaufes sind zudem die Belastungen während der Zwischenbauzustände zu berücksichtigen. Darüber hinaus sind während der Herstellung unkalkulierbare Lastzustände zu verhindern. Eine gute Ausnützung der Verpresskörper ist in jedem Fall anzustreben. Weiters sollen die Verformungen des Bodens im Verankerungsbereich und die damit einhergehenden Beanspruchungen von benachbarten Bauwerken minimiert werden. Dies soll bei der Anordnung und der Lage der Verpresskörper beachtet werden. Die Ankerkräfte müssen vom verankerten Bauwerk ohne Entstehung von Schäden oder unzulässigen Verformungen aufgenommen werden können. (Wichter und Meininger, 2000)

In *ÖNORM EN 1997-1 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik* (2014) sind unter Punkt 8.2 die für die Bemessung von vorgespannten Verpressankern nachzuweisende Grenzzustände definiert. Diese Grenzzustände (Abb. 36) beschreiben gleichzeitig mögliche Versagensbilder eines Ankersystems bzw. einer geankerten Konstruktion.

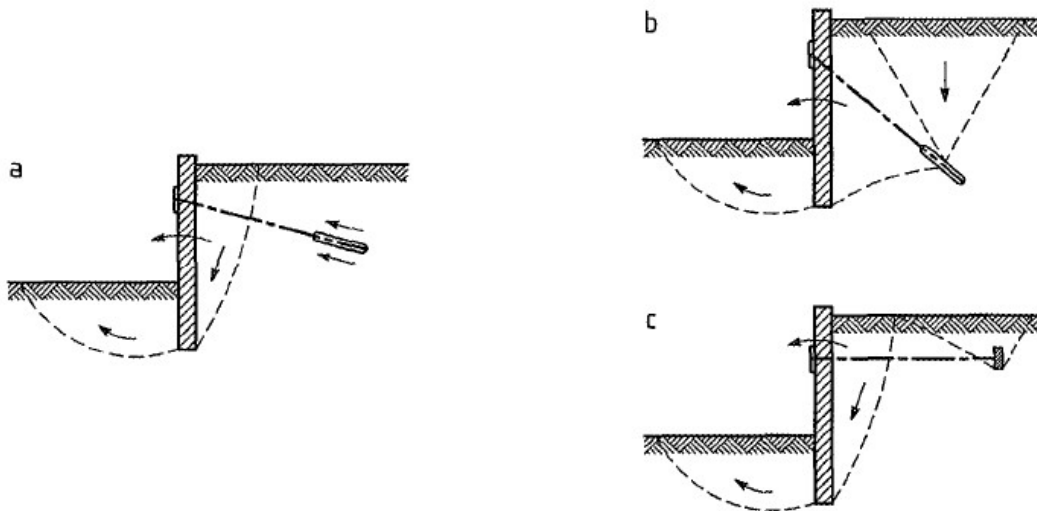


Abb. 36: Beispiele für das Versagen von Verankerungen (ÖNORM EN 1997-1  
Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, 2014)

#### 4.2.1 Materialversagen des Zuggliedes oder Ankerkopfes infolge der Spannungen

Die zu erwartenden Spannungen entlang des Zuggliedes dürfen die Materialfestigkeit nicht überschreiten. Die maximal aufzunehmenden Spannungen sind aus allen Bauzuständen zu bestimmen. Um ausreichend Sicherheit zu erhalten sind Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände gemäß der Schadensfolgeklasse zu berücksichtigen. Abb. 37 zeigt eine Spannungs-Dehnungslinie für Spannstahl mit der Zugfestigkeit  $f_{pk}$  und der 0,1 %-Dehngrenze  $f_{p0,1k}$ .

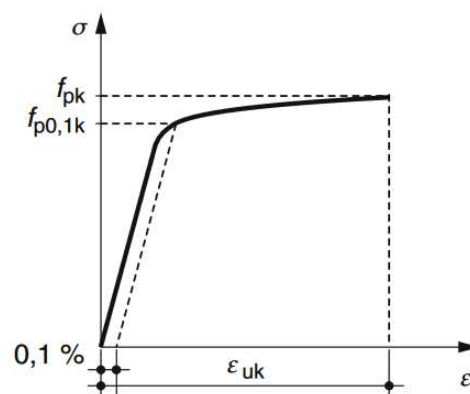


Abb. 37: Spannungs-Dehnungslinie für Spannstahl (Vismann, 2018)

Die aufnehmbaren Spannungen des Spannstahls reduzieren sich durch eine Beschädigung. Wenn beispielsweise Korrosion den Spannstahl beschädigt, wirkt sich dies auf dessen Widerstand aus und eine Überschreitung kann eintreten. Während des Vorgangs der wasserstoffinduzierten Spannungsrisskorrosion wird Wasserstoff vom Stahl absorbiert. Dies hat zur Folge, dass sich die Zähigkeit und das Dehnungsvermögen des Stahls reduzieren. Neben dem Dehnungsvermögen

verringert sich durch die Korrosion auch die Fläche des Stahlquerschnitts. Damit verändert sich das Verhältnis zwischen Kraft und Querschnittsfläche, was in einer höheren Spannung resultiert. Gemäß der in Abb. 37 dargestellten Spannungs-Dehnungslinie ist ersichtlich, dass mit steigender Spannung auch eine Steigung der Dehnung einhergeht, deshalb ist im Normalfall (ohne Beschädigung) eine Versagensankündigung möglich. Durch das reduzierte Dehnungsvermögen des Stahls bei Auftreten von Spannungsrisskorrosion kann eine Versagensankündigung durch Dehnung des Zuggliedes jedoch nicht stattfinden. Dadurch kann ein spröder Bruch ohne Ankündigung eintreten, was auch entsprechenden Schadensbildern ohne Einschnürung im Bereich der Bruchfläche zu erkennen ist.

Neben dem Zugglied ist das Ankerkopfaufleger entsprechend zu dimensionieren. Beim Spannen des Verpressankers wirken hohe Kräfte auf die Ankerplatte, welche in die Unterkonstruktion geleitet werden müssen. Die Unterkonstruktion muss die wirkenden Druckkräfte aufnehmen können und (bei Betonbauteilen) eine ausreichende Durchstanzsicherheit gewährleisten. Dabei sind nicht nur die Gebrauchslasten für die Bemessung relevant, sondern auch die Prüflasten. Wenn die Auflagerkonstruktion fehlerhaft ausgebildet ist, wird das oft nicht durch Brüche oder Risse ersichtlich. Die mangelhafte Auflagerausbildung kann zu einer Exzentrizität des Zugglieds führen, durch diese hohe Zusatzbeanspruchungen der Bauteile in Form von Biegemomenten und Scherkräften entstehen. Eine zentrische Lage des Zugglieds ist nicht nur für die Mindestüberdeckung als Korrosionsschutz wichtig, sondern auch für die Belastbarkeit des Verpresskörpers. Liegt das Zugglied, wie in Abb. 38 rechts ersichtlich, an der Bohrlochwand an und wird anschließend belastet, dann sprengt dies den Verpresskörper und der Anker versagt. (Wichter und Meininger, 2000)

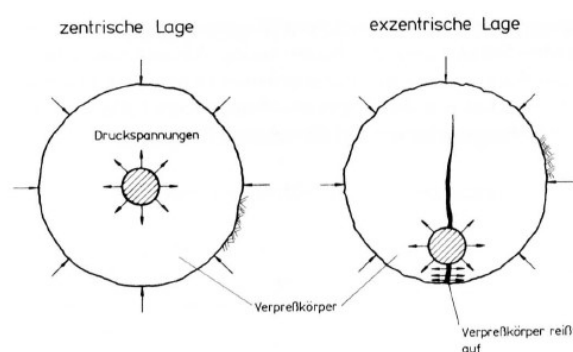


Abb. 38: Versagen infolge von Exzentrizität des Zugglieds (Wichter und Meininger, 2000)

#### 4.2.2 Verlust der Gesamtstandsicherheit

Der Verlust der Gesamtstandsicherheit des Untergrundes bezieht sich auf ein Versagen, welches aus Ankerlasten resultiert und nicht aus äußeren Einwirkungen wie z.B. Erdbeben. Bei flach-geneigten Ankern wird ein Versagen der Bodenmasse durch das Anheben der Erdmasse und dem anschließenden

Herausziehen des Haftbereichs gekennzeichnet. Im Untergrund vor dem Anker bildet sich eine Scherfläche aus, da die zunehmenden Spannungen eine vollständige Mobilisierung des Widerstands in der Ankerverbundzone bewirken. (Sabatini *et al.*, 1999)

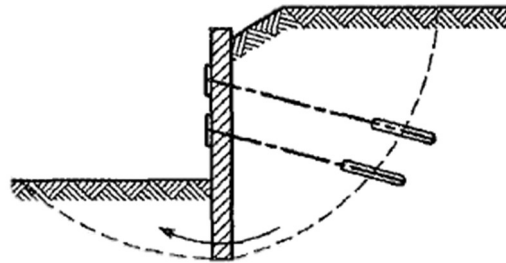


Abb. 39: Verlust der Gesamtstandsicherheit einer geankerten Konstruktion (ÖNORM EN 1997-1 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, 2014)

Eine Beschädigung der Anker durch Korrosion kann ebenfalls zum Verlust der Gesamtstandsicherheit führen. Wenn die notwendige Kraft zur Rückverankerung aufgrund der Beschädigung nicht mehr abgetragen werden kann, finden bei Vorhandensein von Reserven in der Konstruktion, Umlagerungen statt. Daraus folgend kündigt sich das Versagen durch Risse oder Verformungen (duktil) der Konstruktion an. Ein durch Korrosion beschädigter Anker kann jedoch plötzlich versagen, was eine Kettenreaktion auslösen kann und damit auch zu einem plötzlichen Verlust der Gesamtstandsicherheit führt.

### 4.2.3 Versagen des Verbundes zwischen Verpresskörper und dem Baugrund

Durch das Zusammenwirken von Adhäsion und Reibung entsteht ein Verbund zwischen Verpresskörper und Baugrund. Die Adhäsion bezeichnet dabei die Wechselwirkungen auf molekularer Ebene, welche in der Grenzfläche zwischen den beiden Bereichen wirkt. Die Reibung wird durch die Oberflächenbeschaffenheit des Verpresskörpers und des umgebenden Bodens beeinflusst, hierbei ist vor allem die Oberflächenrauigkeit von Bedeutung.

Neben Adhäsion und Reibung ist der Verbund abhängig von der Normalspannung in der Verbundzone. Die Weiterleitung der Spannung in den Boden erfolgt über den der Lasteinleitung am nächsten liegenden Teil der Verbundlänge. Nachdem der Widerstand in diesem Teil der Verbundlänge mobilisiert wurde, wandert die Übertragung der Spannung weiter. Im Laufe dieses Prozesses dehnt sich der Anker und mobilisiert tiefere Verbundzonen. Wenn die Spannung über die gesamte Verbundlänge übertragen wird und alle Verbundzonen mobilisiert sind, kommt es

zum Versagen des Verbundes von Boden und Verpresskörper und der Anker versagt durch Herausziehen. (Sabatini *et al.*, 1999)

Diese Versagensart hängt sehr stark von der bodenmechanischen Tragfähigkeit ab, welche von vielen Faktoren beeinflusst wird. Deshalb ist eine Abschätzung der Tragfähigkeit des Bodens relativ schwer. Das ist auch der Grund, warum dieser Versagensart eine große Bedeutung zugeschrieben wird. Bei Einbau eines Ankers wird dieser einer Abnahmeprüfung unterzogen, dabei wird der Anker schrittweise bis zur Prüfkraft belastet. Die Prüfkraft wird gemäß *ÖNORM EN ISO 22477-5 Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Prüfung von geotechnischen Bauwerken und Bauwerksteilen* (2019) mit maximal  $0,8 \cdot f_{tk} \cdot A_t$  ( $0,8 \cdot$  charakteristische Zugfestigkeit  $\cdot$  Querschnittsfläche des Zuggliedes) begrenzt. Die Festlegekraft wird durch die charakteristische Ankerbeanspruchung beschränkt. Der Bemessungswert der Ankerbeanspruchung wird mit dem Herauszieh-Widerstand begrenzt. Durch die Abnahmeprüfung wird deshalb sichergestellt, dass der Anker mehr Kraft abtragen kann, wie dieser im Einbauzustand dann tatsächlich abtragen muss.

Für die Ermittlung des Bruchs der Grenzfläche zwischen Verpresskörper und Baugrund wird der Herauszieh-Widerstand herangezogen. Dieser kann je nach Bodentyp sehr stark variieren. Der Herauszieh-Widerstand in nicht bindigen Baugrund ist abhängig von der Lagerungsdichte, der Ungleichkörnigkeit und des mittleren Korndurchmesser des Baugrunds, sowie der Krafteintragungslänge. Die Mantelreibung bei bindigem Baugrund hingegen ist vor allem abhängig von der Plastizität des Baugrundes. Zur Abschätzung des Herauszieh-Widerstandes wurden beispielsweise zahlreiche Diagramme (Bemessung nach Erfahrungswerten gemäß EC7) erstellt. In Abb. 40 ist das Diagramm zur Bestimmung des Herauszieh-Widerstandes von Verpressankern in nichtbindigem Baugrund ersichtlich, sowie in Abb. 41 zur Bestimmung der Mantelreibung für Verpressanker mit zweifacher Nachverpressung in bindigem Baugrund. (Möller, 2016)

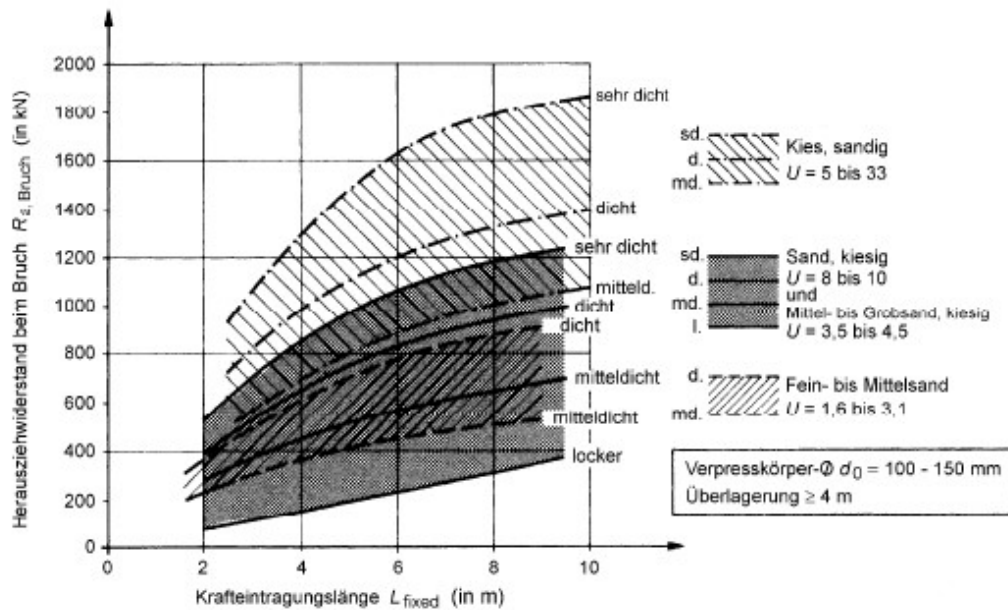


Abb. 40: Herauszieh Widerstand von Verpressankern in nichtbindigem Baugrund (Möller, 2016)

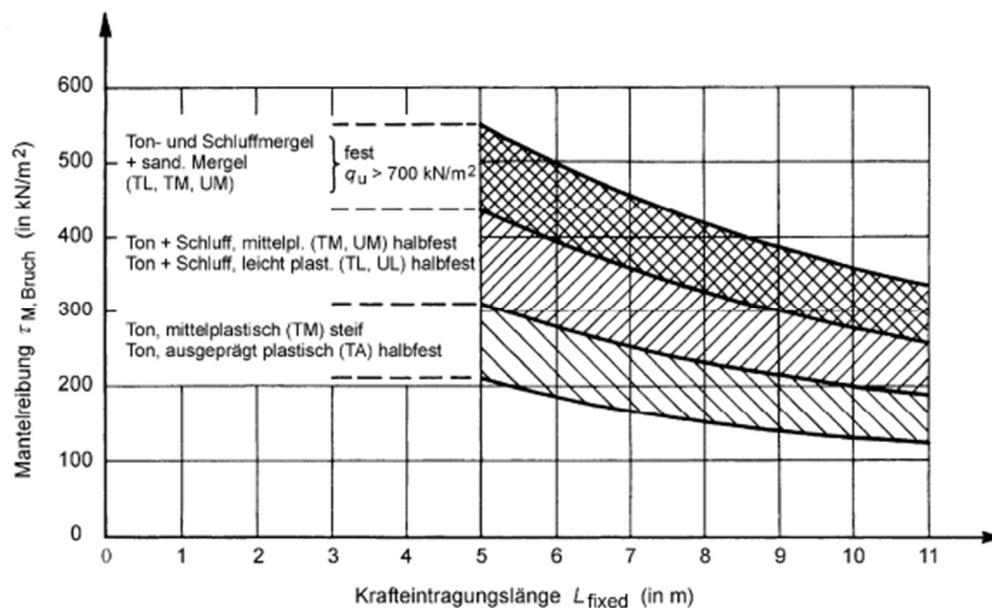


Abb. 41: Mantelreibung von Verpressankern in bindigen Baugrund (Möller, 2016)

#### 4.2.4 Verlust der Ankerkraft durch Kriechen und Relaxation

Der Verlust der Ankerkraft wird durch die Vorgänge von Kriechen und Relaxation begünstigt. Dabei beschreibt Relaxation bei Spannstählen das Absinken der Spannung bei konstanter Dehnung. Als Kriechen wird die zeitabhängige Verformungsänderung bei gleichbleibender Spannung bezeichnet. (Vismann, 2018) Bei der Planung muss auf diese Vorgänge Rücksicht genommen werden. Die Festlegekraft des Ankers ist so zu wählen, dass das Kriechkriterium und das Kraftabfallkriterium eingehalten werden. Dafür wird in einer

Untersuchungsprüfung die kritische Kriechlast des Ankersystems oder das Kriechverhalten des Ankersystems während einer Belastung bis zum Versagen ermittelt. Bei einer Eignungsprüfung wird in einer bestimmten Bemessungssituation das Kriechmaß in Abhängigkeit zur Ankerkraft bestimmt. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind bei der Bemessung des Ankersystems zu berücksichtigen. (*ÖNORM EN 1537 Ausführungen von Arbeiten im Spezialtiefbau - Verpressanker*, 2015) Der Kriechvorgang kann sowohl im Boden als auch im Verpresskörper stattfinden. Durch die Relaxation des Spannstahls oder des teilweisen Verlustes des Verbundes zwischen Stahlglied und Mörtel wird das Kriechen verstärkt. (Daxer, 2020)

#### 4.2.5 Versagen zwischen Zugglied und Verpresskörper

Der Verbund von Zugglied und Verpresskörper darf nicht überschritten werden, wenn der Widerstand der Bodenmasse mobilisiert wird. Die Verbindung erfolgt durch Adhäsion, Reibung und mechanische Verriegelung. Als Adhäsion wird die Anziehung der Stahloberfläche des Zuggliedes mit dem umgebenden Verpresskörper bezeichnet. Reibung entsteht bei Bewegung in Abhängigkeit von Oberflächenbeschaffenheit, Grenzspannung und Schlupf. Die mechanische Verriegelung wird durch die Rippen des Spannstahles und dem umgebenden Verpressmörtel erzeugt, beziehungsweise bei Litzenankern durch die Verdrehungen der Drähte. Der Verbund von Zugglied und Verpresskörper verhält sich ähnlich dem Verbund von Verpresskörper und Boden. (Sabatini *et al.*, 1999)

Den Unterschied zwischen diesen beiden Verbundarten stellt vor allem die vorhandene Fläche dar. Der Verbund von Zugglied und Verpresskörper wird zum Beispiel bei einem Litzenanker mit 6 Litzen mit einem Durchmesser von je 15,3 mm erzeugt. Das entspricht einer Mantelreibungsfläche von ca. 0,048 m<sup>2</sup> bezogen auf eine Verbundlänge von einem Meter. Der Verbund von Verpressmörtel und Boden ergibt sich bei einem Litzenanker mit 6 Litzen aus einem Bohrdurchmesser von mindestens 105 mm. Dies ergibt eine Mantelreibungsfläche von ca. 0,349 m<sup>2</sup> bezogen auf eine Verbundlänge von einem Meter. Für den Verbund von Verpresskörper und Boden ist damit mehr als das 6-fache der Mantelreibungsfläche vorhanden, wie für den Verbund von Zugglied und Verpresskörper.

### 4.3 Schäden durch mangelhafte Erhaltung

Eine nicht fachgerechte Herstellung der Anker kommt in der Praxis gelegentlich vor. Ein häufiges Problem stellt Beschädigung des Korrosionsschutzes, speziell im Kopfbereich, dar. Bei der Ausführung ist deshalb besonders auf den Ankerkopf zu achten, da die Korrosionsgefahr für den Ankerkopf am höchsten ist. Der Sauerstoff der Luft kommt dort mit den Stahlteilen in Berührung, speziell im Bereich des Überganges vom Hüllrohr der freien Stahllänge zum Überschubrohr. Der

Korrosionsschutz am Ankerkopf wird erst auf der Baustelle unter schwierigen Umständen hergestellt. (Wichter und Meininger, 2000)

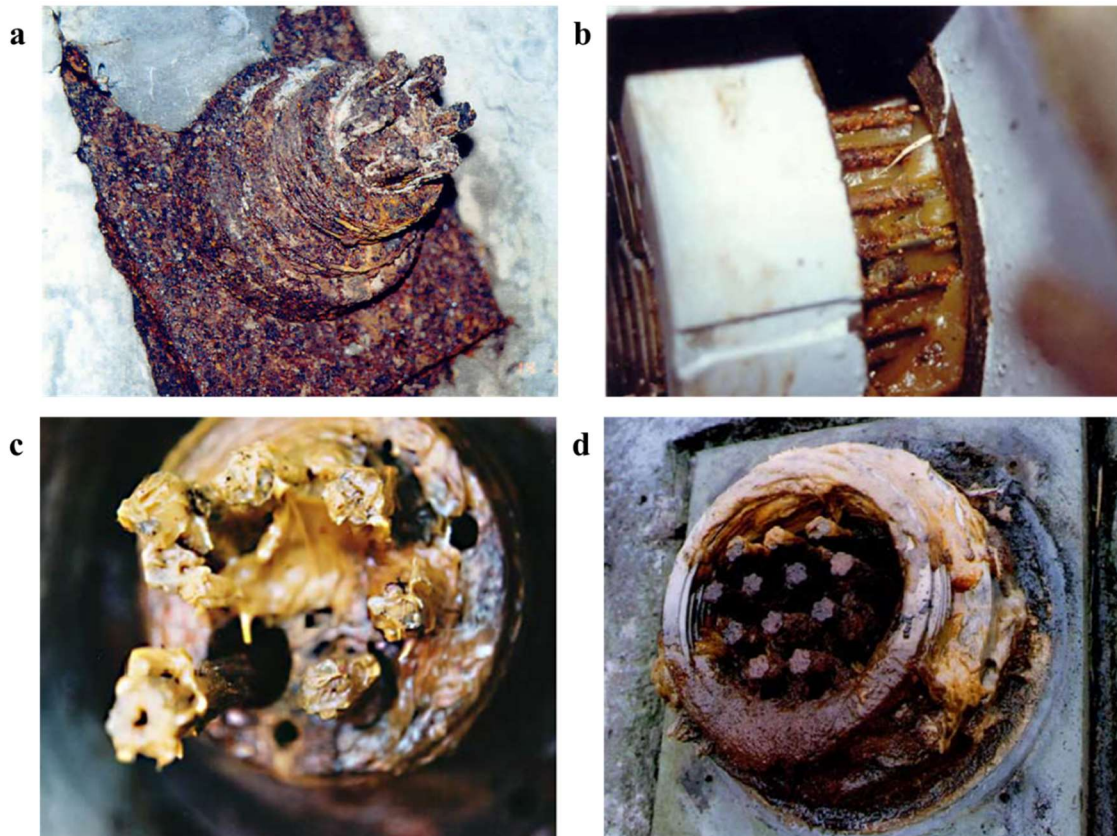


Abb. 42: Beispiele für schadhafte Korrosionsschutz an Ankerköpfen.  
**a** stark korrodierter freiliegender Ankerkopf (Matt)  
**b** angerostete Drähte hinter dem Ankerkopf aufgrund eines Fettmankos (Matt)  
**c** Kontrollankerkopf mit gebrochener und entkeilter Litze, die Keile lagen in der Schutzhaube. (Matt)  
**d** korrodierter Ankerkopf dessen Korrosionsschutz aufgrund von Kondenswasserbildung wegen einer fehlenden Entlüftungsöffnung an der Haube beschädigt wurde. (Lutz, 2011)

Ein weiteres Schadensrisiko stellen zu hohe Verpressdrücke durch nicht fachgerechte Nachverpressung dar, welche die Spannungsverhältnisse im Gebirge ändern und zu Hangzerreissungsklüften führen können. (Wichter und Meininger, 2000)

Vom Verlassen des Werkes bis zum eingebauten Anker können in jedem Arbeitsschritt Beschädigungen durch mangelhafte Handhabung entstehen. Das beginnt beim Transport vom Werk auf die Baustelle. Durch Reibung bzw. andere äußere Beanspruchungen an den Hüllrohren entstehen die meisten Schäden, dies sollte durch die Verwendung von Unterlagen, nicht zu häufiges heben und gutes Befestigen beim Transport verhindert werden. (Wichter und Meininger, 2000)





Abb. 43: Beispiel für den unsachgemäßen Transport auf der Baustelle (Wichter und Meininger, 2022)

Auf der Baustelle werden bei der Lagerung und beim Einbau oft Fehler begangen. Einige Beispiele hierfür wären:

- Auslaufen der Korrosionsschutzmasse bei hohen Temperaturen bei der Zwischenlagerung auf der Baustelle durch fehlendes Abdecken, Abdichten und Hochlagern des spannsseitigen Ankerendes.
- Verschmutzung der Rillen des Hüllrohres (siehe Abb. 44 c und d), bewirkt eine Verschlechterung des Verbundes von Verpresskörper und Hüllrohr und begünstigt ein Versagen durch Herausziehen. Zusätzlich wirkt beispielsweise die in Humus (organischer Boden) enthaltene Huminsäure als Erhärtungsverzögerer für zementöse Materialien.
- Beschädigung durch falsches Anschlagen des Ankers an ein Hebezeug.
- Beschädigung beim Einführen des Ankerkörpers in die Verrohrung.
- Das Einbringen eines Einstabanker soll ohne viel Widerstand per Hand möglich sein. Wenn das Einbringen sich als problematisch darstellt, dann kann es sein, dass die Verrohrung nicht ausreichend von Bohrgut gesäubert wurde oder dass der Bohrdurchmesser zu klein gewählt wurde. (Wichter und Meininger, 2022)

Häufig werden eingebaute Anker durch den Baubetrieb beschädigt. Das passiert oft bei Einstabankern, welche verbogen werden. Um Beschädigungen wie ein Verbiegen der Anker im Zuge des Baubetriebs zu vermeiden und um den Arbeitsraum frei von Hindernissen zu halten, wird der Stab- bzw. Litzenüberstand oft nach dem Festlegen kurz abgeschnitten. Dies verhindert jedoch die Möglichkeit später die Ankerkräfte durch Abhebeversuche zu überprüfen bzw. auch ein Nachlassen der Anker. (Wichter und Meininger, 2000)

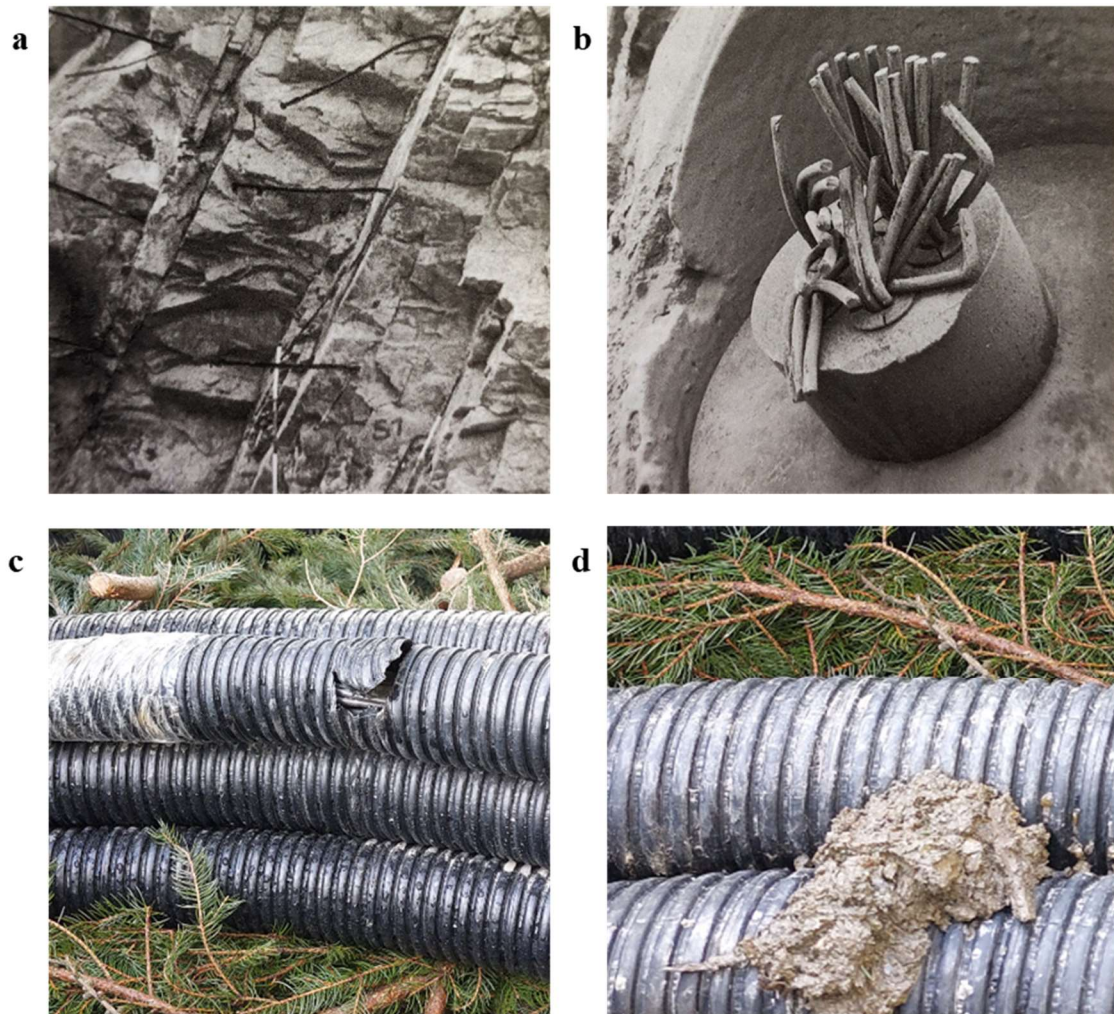


Abb. 44: Beispiele für Beschädigungen durch den Baustellenbetrieb.  
**a** verbogene Ankerstäbe durch Maschineneinwirkung (Wichter und Meininger, 2022)  
**b** verbogene Litzen durch Maschineneinwirkung (Wichter und Meininger, 2022)  
**c** beschädigtes Hüllrohr  
**d** verschmutztes Hüllrohr

## 5 Beurteilung von schadhaften geankerten Konstruktionen

In Kapitel 4 wurde versucht, einige Schadensbilder an geankerten Konstruktionen, deren Tragverhalten in Kapitel 3 beschrieben wurde, aufzuzeigen. Hierbei zeigt sich, dass diese eine große Bandbreite aufweisen können und zudem durch unterschiedliche Erscheinungsbilder gekennzeichnet sind, welche nur bedingt im Zuge einer Bauwerksprüfung erkannt beziehungsweise erfasst werden können.

Wenn ein vorgespannter Verpressanker versagt, können, sofern entsprechende Reserven im Bauwerk vorhanden sind, Umlagerungen im Bauwerk stattfinden. Die Lasten, welche der fehlende vorgespannte Verpressanker aufgenommen hat, müssen über die Biege- oder Schubtragfähigkeit der konstruktiven Bauteile beziehungsweise durch den gestützten Bodenkörper zu den nächstgelegenen Verpressankern weitergeleitet werden. Je nach Konstruktion (vgl. Kapitel 3) äußert sich dies durch Risse, Dehnungen oder Verformungen am Bauwerk. Umlagerungen können auch ohne sichtbare Zeichen stattfinden und dabei unter anderem eine Kettenreaktion auslösen in deren Folge das Bauwerk überbeansprucht wird. Deshalb sollten rückverankerte Bauwerke eine entsprechende Versagensankündigung aufweisen, nach der ausreichend Zeit verbleibt, um Schutzmaßnahmen zu treffen. (Hanel und Prehn, 2006)

Derartige Versagensmechanismen werden als duktil bezeichnet, und kündigen sich durch große Verformungen bei Zunahme einer Belastung beziehungsweise bei einer Abnahme des Erhaltungszustandes an. Der Erhaltungszustand eines Bauwerkes verschlechtert sich über die Zeit. Das führt in weiterer Folge dazu, dass ein kritischer Zustand, wie der Verlust der Gebrauchstauglichkeit oder Tragfähigkeit, am Bauwerk eintritt. Mit der Durchführung von regelmäßigen Erhaltungsmaßnahmen kann das Erreichen dieses kritischen Zustandes verzögert werden. In Abb. 45 ist der Verlauf des Erhaltungszustandes mit und ohne Erhaltungsmaßnahmen über die Zeit schematisch dargestellt. (Rebhan, 2019)

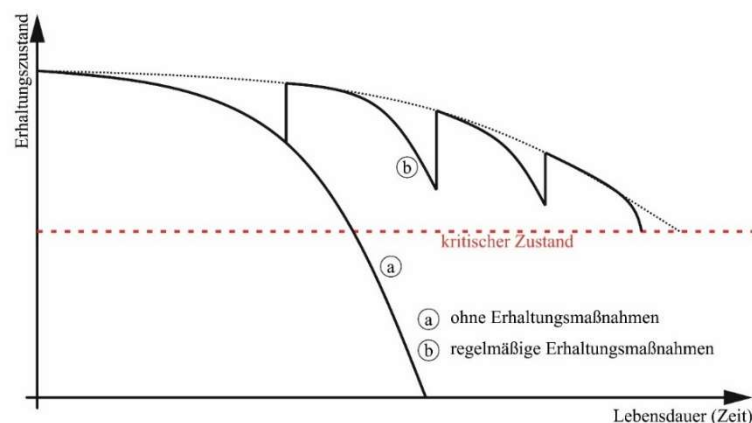


Abb. 45: Auswirkung von Erhaltungsmaßnahmen auf die Lebensdauer eines schadhaften Bauwerks (Rebhan, 2019)

Ein Bauwerk kann zudem einer Schadensfolgeklasse zugeteilt werden. Diese gibt eine Abschätzung für die Gefährdung von Menschenleben und die wirtschaftlichen Folgen ab, welche ein Versagen dieses Bauwerks mit sich bringt. Die Schadensfolgeklassen wurden in der *ÖNORM B 1997-1-1 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1* (2021) in Anlehnung an die Definition der *ÖNORM EN 1990 Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung* (2013), Anhang B.3.1 wie folgt festgelegt:

- *Schadensfolgeklasse CC 1: keine Gefährdung von Menschenleben, geringe wirtschaftliche Folgen (z.B. Gebäude untergeordneter Bedeutung und Nutzung, Böschungen und Hangsicherungen an untergeordneten Verkehrswegen).*
- *Schadensfolgeklasse CC 2: Gefährdung von Menschenleben und/oder beachtliche wirtschaftliche Folgen (z.B. Böschungen und Hangsicherungen an Verkehrswegen, Hochwasserrückhaltedämme).*
- *Schadensfolgeklasse CC 3: Gefährdung vieler Menschenleben und/oder schwerwiegende wirtschaftliche Folgen (z.B. Staudämme, öffentliche Infrastrukturbauten hoher Bedeutung).*

Je nach Schadensfolgeklasse und dem Erhaltungszustand einer schadhafte geankerten Konstruktion sind Überprüfungen und Maßnahmen unverzüglich oder mit entsprechender Reihung gemäß Relevanz durchzuführen. Im Regelfall sind geankerte Konstruktionen im Bereich der Straßen und Schiene in die Schadensfolgeklasse CC 2 einzuordnen.

In den folgenden Kapiteln wird die Herangehensweise zur Beurteilung von schadhafte geankerten Konstruktionen gemäß aktuellen Richtlinien erläutert.

## **5.1 Beurteilung gemäß RVS 13.03.21 (Ausgabe 2022)**

Die Richtlinie RVS 13.03.21 beschreibt die laufende Überwachung, Kontrolle und Prüfung von geankerten Stützbauwerken an Verkehrswegen. Im Zuge dieser Überprüfungen soll eine Aussage über den Erhaltungszustand der geankerten Stützbauwerke getroffen werden.

Als Erhaltungszustand wird gemäß *RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen* (2022) jener Zustand bezeichnet, in dem sich das Bauwerk zum Betrachtungszeitpunkt befindet. Darin wird keine Empfehlung bezüglich der Behebung von etwaigen Mängeln und Schäden oder einer Anpassung des geankerten Bauwerkes an den Stand der Technik abgegeben. (*RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen*, 2022) In Österreich ist dieses Werk die Grundlage zur Inspektion und Prüfung von geankerten Konstruktionen. Aus rechtlicher Sicht sind diese Regelungen für den Betreiber des hochrangigen Straßennetzes verpflichtend und für alle anderen als Stand der Technik anzusehen. Generell gliedert sich dieses Dokument in vier Prüf- und Inspektionstätigkeiten, zudem werden die zu

prüfenden Bereiche definiert und die Anforderungen an die Beurteilung beschrieben.

### 5.1.1 Laufende Überwachung

Im Rahmen der laufenden Überwachung sollen Schäden sowie auffällige Veränderungen am Bauwerk festgestellt werden. Neben dem verankerten Bauwerk selbst ist auch die Verkehrssicherheit der benachbarten Konstruktionen von Relevanz. Für die Durchführung sind Fachkräfte des Streckendienstes oder gleichwertige Fachpersonen zu beauftragen. (RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen, 2022)

Sämtliche zu erhaltende Bauwerke sind zumindest jährlich von der Verkehrsebene während des Befahrens vom Fahrzeug aus visuell auf Schäden und signifikante Veränderungen zu begutachten. Hierzu gehören beispielsweise Beschädigungen der Fahrbahn, auffallende Veränderungen des angrenzenden Geländes, Schäden an Ankerköpfen und der geankerten Konstruktion selbst. Nach besonderen Ereignissen, wie z.B. Erdbeben, Muren oder Hochwasserereignissen ist eine zusätzliche laufende Überwachung anzusetzen. (RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen, 2022)

Die laufende Überwachung ist grundsätzlich nicht schriftlich aufzuzeichnen, festgestellte Schäden und Veränderungen sind allerdings schriftlich an die erhaltungspflichtige Organisation zu melden. Bei Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit sind Sofortmaßnahmen zu veranlassen. (RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen, 2022)

### 5.1.2 Kontrolle

Das Ziel einer Kontrolle ist es festzustellen, zu dokumentieren und zu bewerten, ob sich der Erhaltungszustand eines Bauwerkes seit der letzten Kontrolle oder Prüfung verändert hat. Dies wird durch eine visuelle Überprüfung durch eine Fachperson (Person mit einschlägiger Erfahrung mit geankerten Konstruktionen und mit vertieftem Wissen in der Geotechnik) vorgenommen. Eine Kontrolle hat im Regelfall alle drei Jahre zu erfolgen, falls der Erhaltungszustand des Bauwerks oder die geotechnischen und konstruktiven Bedingungen es fordern, auch öfters. Ebenso soll nach besonderen Ereignissen, wie z.B. Erdbeben, Muren, Hochwasserereignissen oder auch dem Anprall eines Fahrzeuges die Konstruktion auf eine dadurch herbeigeführte Auswirkung untersucht und dies dokumentiert werden. (RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen, 2022)

Im Rahmen der Kontrolle sind folgende Bauteile der geankerten Konstruktion inklusive des umliegenden Geländes hinsichtlich signifikanter Veränderungen, Mängel und Schäden genauer zu prüfen: (RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen, 2022)



- Verankerung
- Konstruktion
- Messeinrichtungen
- Gelände und Bewuchs
- Entwässerungssystem & Besichtigungseinrichtungen
- Sonstige Ausrüstungen (z.B. Leit- und Lärmschutzeinrichtungen etc.)

Auf Basis der Ergebnisse einer Kontrolle ist der Erhaltungszustand des Bauwerkes zu beurteilen. Festgestellte Mängel und Schäden sowie die daraus folgenden notwendigen Maßnahmen (evtl. Sofortmaßnahmen) sind zu dokumentieren und falls erforderlich ist eine Prüfung des Bauwerks, wie in Kapitel 5.1.3 beschrieben, zu veranlassen. Dabei ist auf die Nutzbarkeit des Verkehrsweges einzugehen. Zudem ist das Jahr für die nächste Kontrolle anzugeben und besondere Hinweise zur Durchführung dieser sind anzuführen. (*RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen*, 2022)

### 5.1.3 Prüfung

Eine Prüfung beinhaltet die Feststellung des Erhaltungszustandes sowie dessen Dokumentation und Bewertung durch eine Fachperson mit vertieftem Wissen in der Geotechnik. Die Dokumentation ist mit der erhaltungsverpflichteten Organisation abzustimmen. Die vorhandenen Schäden und deren Einfluss auf das Bauwerk hinsichtlich dessen Gebrauchstauglichkeit, Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit sind von der Prüfperson zu beurteilen. (*RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen*, 2022)

Die Prüfung der geankerten Konstruktion hat im Regelfall alle sechs Jahre zu erfolgen, es sei denn, der Erhaltungszustand erfordert kürzere Prüfabstände.

Um eine ordentliche Prüfung zu ermöglichen sind diverse Vorbereitungsarbeiten vorzunehmen. Diese beinhalten beispielsweise die Reinigung etwaiger Bauteile, das Entfernen störenden Bewuchses und das Abnehmen von Abdeckungen. Zudem sind Messergebnisse sämtlicher Messeinrichtungen auszuwerten und mit jenen vergangener Perioden zu vergleichen. Weiters sind alle notwendigen Bauwerksdokumente inklusive der Ergebnisse der vorangegangenen Prüfungen zu beachten. (*RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen*, 2022)

Im Rahmen der Prüfung sind folgende Bauteile der geankerten Konstruktion inklusive des umliegenden Geländes hinsichtlich signifikanter Veränderungen, Mängel und Schäden genauer zu prüfen: (*RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen*, 2022)

- Verankerung
- Konstruktion
- Messeinrichtungen
- Gelände und Bewuchs

- Entwässerungssystem
- Besichtigungseinrichtungen
- Sonstige Ausrüstungen (z.B. Leit- und Lärmschutzeinrichtungen etc.)

Werden bei einer Prüfung oder Kontrolle Schäden festgestellt, deren Ursache und Einfluss auf die Funktion des geankerten Bauwerks nicht ausreichend abgeschätzt werden kann, ist von der Prüfperson eine Sonderprüfung (siehe Kapitel 5.3) anzuordnen. (*RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen*, 2022)

Die Dokumentation der Ergebnisse hat in einem schriftlichen Befund zu erfolgen. Hier ist in erster Linie die Nutzbarkeit des Verkehrsweges in Abhängigkeit des Erhaltungszustandes der Konstruktion zu beurteilen. Zudem sind die aufgrund der vorhandenen Mängel und Schäden, der Verkehrssicherheit, der Tragfähigkeit, der Gebrauchstauglichkeit und der Dauerhaftigkeit erforderlichen und empfohlenen Maßnahmen zu beschreiben.

Der Erhaltungszustand ist zu beurteilen und wichtige Hinweise für weitere Kontrollen und Prüfungen sind festzuhalten. Die Beurteilung hat basierend auf einem Schulnotensystem vorgenommen zu werden, welches auch bei der Kontrolle verwendet werden kann. (*RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen*, 2022)

## 5.2 Beurteilung gemäß ASTRA 12005 (Ausgabe 2022)

Die Richtlinie ASTRA 12005 behandelt die Erhaltung von verankerten Bauwerken. Grundsätzlich müssen verankerte Bauwerke eine ausreichende Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit aufweisen. Im Anhang II dieser Richtlinie wurde ein Schema für das Vorgehen aufgestellt, dieses wird in den folgenden Unterkapiteln erläutert. (*ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

### 5.2.1 Inventar und Bewertung verankerter Bauwerke

Für die Beurteilung einer schadhafte geankerten Konstruktion - wie bei anderen Ingenieurbauwerken und Kunstbauten auch - ist zuerst eine Zusammenstellung der vorhandenen Bauwerksdokumente vorzunehmen. Hierzu gehören neben Bauwerksbezeichnung, Baujahr und Beteiligte auch Informationen zur Funktion des Bauwerks, zur geologischen Situation, des Konstruktionstyps des Bauwerkes, sowie alle Daten bezüglich der Verankerung, deren Zustand und bereits durchgeführte Überprüfungen oder Erhaltungsmaßnahmen. (*ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

Anschließend wird auf Basis der Bauwerksdokumente und einer Sonderinspektion eine erste provisorische Bewertung des Bauwerkszustandes vorgenommen. Im Zuge der Sonderinspektion wird empfohlen stichprobenartig einzelne

Ankerkopfschutzhauben abzunehmen, um sich ein besseres Bild über den aktuellen Zustand der Verankerung zu verschaffen. (*ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

Anhand der durchgeführten provisorischen Bewertung wird das Bauwerk einer Kategorie bezüglich ihres Gefährdungspotentiales zugeordnet. In Hinsicht auf Versagensart, mutmaßlicher Zustand der Verankerung und Kontrollierbarkeit der Verankerung werden Punkte vergeben. Je weniger Punkte, desto besser die Bewertung. Dabei wird neben der provisorischen Bewertung auch das Schadenpotential des Bauwerks berücksichtigt. (*ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

Bei der Einteilung des Schadenpotentials eines Bauwerks wird gemäß SIA 261 (2020) zwischen drei Klassen unterschieden:

- Klasse III betrifft öffentliche Infrastrukturbauwerke mit hoher Bedeutung,
- Klasse II Böschungen und Hangsicherungen an Verkehrswegen,
- Klasse I Böschungen und Hangsicherungen an untergeordneten Verkehrswegen.

In Abb. 46 ist das Schema für die Einteilung in Kategorien gemäß Schadenspotential und provisorischer Bewertung dargestellt. Je nach Kategorie sind Bearbeitungen und Überprüfungen unverzüglich oder mit entsprechender Reihung gemäß Relevanz durchzuführen. (*ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

BWK	Bauwerksbedeutung		provisorische Bauwerksbewertung BWB						
			0	1	2	3	4	5	6
I	kleines	Schadenpotential	D	D	D	C	C	B	B
II	mittleres	Schadenpotential	D	D	C	C	B	B	A
III	grosses	Schadenpotential	D	C	C	B	B	A	A

Die Kategorie des Bauwerkes bestimmt sein Gefährdungspotential:

- A Bearbeitung und Überprüfung sind unverzüglich an die Hand zu nehmen. Es ist zusätzlich zu prüfen, ob Sofortmassnahmen (Nutzungsbeschränkungen, Sicherungs- oder Überwachungsmassnahmen) anzuordnen sind.
- B / C / D Bearbeitung und Überprüfung sind in der entsprechenden Reihenfolge durchzuführen.

Abb. 46: Schema für die Einteilung der Bauwerke in Kategorien A bis D (*ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

Das Augenmerk der provisorischen Bauwerksbeurteilung soll gemäß *ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13* (2022) auf folgende Kriterien gerichtet werden:



### 5.2.1.1 Versagensart

Eine „gute“ Versagensart liegt dann vor, wenn bei einem Ausfall eines einzelnen Ankers die Stabilität des Tragwerkes nicht gefährdet wird. Weiters ist wichtig, wie das Tragwerk auf erhöhte Beanspruchungen reagiert und ob vor einem Versagen elastische und/oder plastische Deformationen auftreten. (*ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

### 5.2.1.2 Mutmaßlicher Zustand der Verankerung

Ein „guter“ Zustand der Verankerung liegt vor, wenn die Anker mit einer ausreichend hohen Prüfkraft geprüft worden sind und der äußere Tragwiderstand dabei nicht erreicht wurde. Weiters muss der Korrosionsschutz intakt sein. Zudem dürfen im Ankerkopfbereich keine Korrosionsschäden, mechanischen Beschädigungen, unübliche Verschmutzungen und wesentliche Wasserbeanspruchungen vorhanden sein. Darüber hinaus soll das Bauwerk keine unzulässigen Verformungen, Verschiebungen, Risse oder sonstige Schäden aufweisen. (*ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

### 5.2.1.3 Kontrollierbarkeit der Anker

Eine „gute“ Kontrollierbarkeit der Anker liegt vor, wenn jeder Anker als Kontrollanker (permanente Ankerkraftmessung bzw. Anker als abhebbar ausgeführt) hergestellt wurde oder das Tragverhalten des Bauwerks anhand von Verformungsmessungen und Ankerkraftmessungen gut abgeschätzt werden kann. (*ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

## 5.2.2 Überprüfung und Instandsetzung der einzelnen Bauwerke

### 5.2.2.1 Generelle Überprüfung der Verankerung

Im Zuge der Generellen Überprüfung soll der allgemeine Zustand der Verankerung und dessen Überprüfbarkeit erfasst werden. Das Vorgehen kann in drei Schritte unterteilt werden: (*ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

#### 1. Allgemeine Zustandserfassung

Zuerst soll mittels der vorhandenen Bauwerksdokumente eine detaillierte Beschreibung der Konstruktion inklusive Beurteilung kritischer Bereiche hinsichtlich Dauerhaftigkeit und ihrer Überprüfbarkeit erstellt werden. Anschließend ist eine Inspektion anzusetzen, dessen Detaillierungsgrad abhängig von den aus den Bauwerksdokumenten erhaltenen Informationen festgelegt wird. In den meisten Fällen reicht eine rein optische Inspektion des Bauwerks, dessen Umgebung und der Ankerköpfe. Gelegentlich ist es sinnvoll einzelne Ankerköpfe

freizulegen und zu inspizieren, sowie die Ankerkräfte mit Abhebeversuchen zu ermitteln. Daraufhin ist mittels einer Zusammenstellung der vorhandenen sowie der fehlenden Informationen der allgemeine Zustand der Verankerung zu beurteilen. Dabei ist die Aussagekraft abzuschätzen und welche Maßnahmen für den Erhalt der fehlenden Informationen notwendig sind. (*ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

## 2. Rechnerische Untersuchung

Im Rahmen der rechnerischen Untersuchung des Bauwerkes soll auf Basis der Normen SIA 260 bis 267 eine überschlägige Berechnung der Verankerung durchgeführt werden. Diese Nachrechnung kann beispielsweise für ein bis zwei charakteristische Schnitte erfolgen. Aus der Berechnung kann die vorhandene nominelle Tragsicherheit der Ankerkonstruktion abgeleitet werden. (*ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

## 3. Zustandsbeurteilung

Im Zuge der Zustandsbeurteilung ist zu entscheiden, ob die errechnete nominelle Tragsicherheit ausreichend ist und daraus die Bedeutung der vorhandenen Verankerung für das Bauwerk. Des Weiteren ist darzulegen welche Folgen das Versagen einzelner Anker auf das Bauwerk hat. Dabei wird beurteilt, ob die Folgen gravierend oder nicht gravierend sind und ob das Versagen durch ein Überwachungssystem rechtzeitig feststellbar ist. Mit diesen Informationen und den Ergebnissen der Allgemeinen Zustandserfassung ist abzuschätzen inwieweit eine Zustandsbeurteilung möglich und wie aussagekräftig diese hinsichtlich der aktuellen Tragsicherheit, der Gebrauchstauglichkeit und der weiteren Zustandsentwicklung des Bauwerks ist. Diese Zustandsbeurteilung ist inklusive Empfehlungen für die weitere Vorgehensweise in einem Bericht festzuhalten. Je nach vorliegendem Bauwerk ist durch die Generelle Überprüfung der Verankerung eine klare Aussage über Bauwerkszustand möglich oder weitere Untersuchungen dafür notwendig. (*ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

### 5.2.2.2 Detaillierte Überprüfung inkl. Unterhaltsarbeiten und Überwachungssystem

Im Anschluss an die Generelle Überprüfung der Verankerung können weitere Untersuchungen zur Zustandserfassung möglich und sinnvoll sein. Eine klare Definition, wann eine Detaillierte Überprüfung notwendig ist, gibt es nicht. Im Auftrag des Bauherrn ist in weiterer Folge ein Untersuchungsprojekt mit dazugehörigem Leistungsverzeichnis anzulegen. (*ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

#### 1. Untersuchung der Anker

Bei der detaillierten Untersuchung der Anker ist als erstes eine optische Kontrolle der zugänglichen Ankerköpfe hinsichtlich etwaiger Korrosionserscheinungen, Beschädigungen und Wasseraustritt vorzunehmen. Anschließend sind Gelände-

und Bauwerksdeformationen mit Hilfe der vorhandenen Messeinrichtungen zu ermitteln, und eine Inspektion der Umgebung ist durchzuführen. In weiterer Folge sind die Anker genaueren Untersuchungen zu unterziehen, um eine Beurteilung des Zustandes zu ermöglichen ist hierzu der Ankerkopf freizulegen. Wenn entsprechende Öffnungen vorhanden sind, kann der Übergang von Ankerkopf zu freier Zuggliedlänge mittels Endoskopie überprüft werden. Weiters kann durch Abhebeversuche die Ankerkraft ermittelt und bei Vorhandensein von Kraftmessdosen parallel eine Ablesung vorgenommen werden, um deren Funktionstüchtigkeit zu prüfen. Zusätzlich sind spezielle Spannproben (meist 3-stufig) bis zu einer Prüflast größer als  $1,25 \cdot P_0$  bei jenen Ankern mit überdurchschnittlichen Kraftverlusten durchzuführen, um Informationen über mögliche Korrosionsschäden des Traggliedes und die Tragfähigkeit des Verpresskörpers zu erhalten. Neben der Untersuchung der Anker ist auch der Zustand der Bauwerkskonstruktion, besonders jener Bauteile für die Ankerkrafteinleitung zu begutachten. Üblicherweise ist eine optische Inspektion ausreichend, bei kritischeren Fällen empfiehlt es sich weitere Untersuchungen, wie zum Beispiel Kontrolle der Betonüberdeckung, Potentialmessungen oder Prüfung der Betonkarbonatisierung anzuordnen. (*ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

Im Rahmen der Untersuchung der Verankerung sind auch sämtliche Unterhaltsarbeiten auszuführen. Dazu gehören beispielsweise das Nachspannen oder Entspannen der Anker, Zusatzinjektionen, Drainagen und Erneuerung des Korrosionsschutzes. (*ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

Bei elektrisch isolierten Ankern kann mithilfe von elektrischen Widerstandsmessungen überprüft werden, ob der Korrosionsschutz aufrecht ist. Diese Methode wird seit ca. 25 Jahren vor allem in der Schweiz angewendet. Dabei erfolgt die elektrische Prüfung in zwei Schritten. Zuerst wird der injizierte noch nicht gespannte Anker hinsichtlich der Unversehrtheit der Kunststoffumhüllung des Stahlzuggliedes geprüft. Dafür wird eine Spannung zwischen dem Kopf des Zugglieds und dem Boden angelegt und anschließend der Widerstand zwischen Boden und Zugglied gemessen. Im nächsten Schritt wird am gespannten Anker vor Injektion der Kopfteile überprüft, ob eine elektrische Trennung des Ankerkopfs und der Bewehrung des Bauwerks vorliegt. Gemäß der Schweizer Empfehlungen ist ein Überschreiten der Messwerte bei 10 % der Anker zulässig, sofern diese statistisch verteilt sind. (Wichter und Meininger, 2022)

Eine Überprüfung des Korrosionsschutzes erfolgt mittels Baustellenprüfung der Abdichtung gemäß *ÖNORM B 4455 Vorgespannte Anker für Locker- und Festgesteine*) Punkt 6.1.5.3. Eine intakte Abdichtung zwischen Dichtrohr und Ankerhüllrohr ist notwendig, um einen Austritt von Korrosionsschutzmasse zu verhindern. Im Zuge der Dichtheitsprüfung wird der Anker nach dem Spannen unter mindestens 0,5 bar Über oder Unterdruck gesetzt, dieses Druckniveau ist über mindestens eine Minute nachzuweisen. Wenn die Druckdifferenz sich auf

maximal 10 % beschränkt, wurde die Prüfung bestanden und eine intakte Abdichtung liegt vor. (ÖNORM B 4455 *Vorgespannte Anker für Locker- und Festgesteine*)

## 2. Überwachungssystem

Nach der Untersuchung der Anker ist auf Basis der bereits vorhandenen Überwachungseinrichtungen ein Überwachungssystem zu entwerfen. Dieses soll ermöglichen, den Zustand des verankerten Bauwerkes laufend zu beobachten. Das System ist auf die örtlichen geologischen Gegebenheiten sowie auf das geankerte Bauwerk abzustimmen. Die miteinbezogenen vorhandenen Überwachungseinrichtungen sind hinsichtlich deren Funktionstüchtigkeit zu überprüfen. Falls bereits ein funktionierendes Überwachungssystem besteht und dessen Überwachungseinrichtungen intakt sind, ist der Entwurf eines neuen Überwachungssystems nicht notwendig. (ASTRA 12005 *Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

### 5.2.2.3 Risikoanalyse

Eine Risikoanalyse ist notwendig, wenn die Generelle Überprüfung der Verankerung ergibt, dass weitere Detailuntersuchungen notwendig sind, diese aber aus technisch-wirtschaftlichen Gründen nicht durchgeführt werden können. Um eine zuverlässige Aussage treffen zu können sind die Gefährdung der einzelnen Anker, die Tragwerksfunktion, sowie Art und Folgen eines Tragwerksversagens zu berücksichtigen. Um die Zuverlässigkeit zu erhöhen, können weitere Untersuchungen, wie statische Nachrechnungen (wenn überschlägige Berechnung aus der Generellen Überprüfung nicht ausreicht), Sondierungen, Wasserbeprobungen oder auch das Freilegen von einzelnen Ankerköpfen angeordnet werden. Das Ergebnis der Risikoanalyse ist eine Einschätzung über die minimal notwendigen vorzunehmenden Maßnahmen, welche den Erhalt der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit für eine vereinbarte Zeitspanne ermöglichen. (ASTRA 12005 *Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

### 5.2.2.4 Überprüfungsbericht und Maßnahmenkonzept

Mit allen Informationen, welche im Zuge der Generellen Überprüfung der Verankerung, der Detaillierten Überprüfung und der Risikoanalyse gesammelt wurden, ist ein ausführlicher Überprüfungsbericht anzufertigen. Dieser soll eine Bewertung hinsichtlich der weiteren Zustandsentwicklung beinhalten. Damit soll eine Einschätzung der notwendigen zukünftigen Maßnahmen zum Erhalt der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit für die Restnutzungsdauer des Bauwerkes ermöglicht werden. Neben dem Vorschlag für die konkreten Maßnahmen soll zusätzlich eine zeitliche Vorgabe für deren Durchführung abgegeben werden. Dieser Überprüfungsbericht ist inklusive einer Kostenschätzung der Bauherrschaft zu übermitteln. (ASTRA 12005 *Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

### 5.2.3 Maßnahmenprojekt und Ausführung

Die Bauherrschaft entscheidet auf Basis des Überprüfungsberichtes welche der Maßnahmen umzusetzen sind. Diese werden anschließend im Rahmen eines Maßnahmenprojektes projektiert. (*ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

### 5.2.4 Zuverlässige Überwachung

Für den Erhalt von verankerten Bauwerken ist eine zuverlässige Überwachung wesentlich. Um jene zu erreichen sind Bauwerke in regelmäßigen Abständen Inspektionen zu unterziehen. Neben Hauptinspektionen alle 5 Jahre und Zwischeninspektionen sind nach besonderen Ereignissen, wie z. B. Erdbeben, Muren oder Hochwasserereignissen, zusätzlich Sonderinspektionen anzuordnen, um eine Gefährdung durch Versagen des Bauwerkes auszuschließen. Im Rahmen einer Inspektion wird von Fachpersonal das Bauwerk auf sichtbare Mängel untersucht und diese in einem Protokoll festgehalten. Falls notwendig, kann daraufhin eine detaillierte Zustandserfassung gefordert werden. Dadurch können mögliche zukünftige Schäden am Bauwerk frühzeitig erkannt und behoben werden. (*ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

Zusätzlich zu den Inspektionen sind Kontrollmessungen ein wichtiges Element um Aussagen über die Entwicklung der Bauwerksdeformationen und Bauwerksverschiebungen sowie der Ankerkräfte treffen zu können. Durch die durchgeführten und ausgewerteten Kontrollmessungen können Vorgänge, welche die Sicherheit oder Gebrauchstauglichkeit gefährden, erfasst werden. Die Messresultate der Kontrollmessungen sind von einer Fachperson auszuwerten und auf Plausibilität zu prüfen. Für die Messungen sind Grenzwerte festzulegen, bei deren überschreiten der Betreiber benachrichtigt wird, um notwendige Maßnahmen einzuleiten. Im Zuge der Inspektionen ist neben der Untersuchung auf Mängel auch eine Überprüfung der Funktionalität der Messinstrumente durchzuführen. (*ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13*, 2022)

## 5.3 Arbeitspapier Nr. 33

Im Arbeitspapier Nr. 33 der FSV (2022) werden die Sonderprüfmethoden bei geankerten Konstruktionen und Zugelementen erläutert. Die Anordnung einer Sonderprüfung kann im Zuge einer gemäß *RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen* (2022) durchgeführten Kontrolle oder Prüfung angeordnet werden. Diese unterteilt sich in unterschiedliche Prüf- und Untersuchungsmethoden, wobei der Fokus hierbei auf dem Zugelement liegt.

### 5.3.1 Vorbereitende visuelle Begutachtung

Zur Durchführung einer Sonderprüfung sind umfassende Unterlagen und Dokumente der vorhandenen geankerten Konstruktion zu sammeln, diese können im Rahmen einer Inspektion nach *RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen* (2022) bereits vorhanden sein. Falls dies nicht der Fall ist, sind im Zuge einer vorbereitenden visuellen Begutachtung sämtliche Informationen über die geankerte Konstruktion - meist mit Hinblick auf die verbauten Zuelemente - zu dokumentieren, um eine ordentliche Grundlage für die Sonderprüfung zu schaffen. (*FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zuelemente*, 2022)

Am freigelegten und gereinigten Ankerkopf ist Typ, Art und Erhaltungszustand des Verankerungselements festzustellen. Alle Details hinsichtlich des Aufbaus und Zustand des Ankerkopfs und der vorhandenen Markierungen (Anmerkungen zu Vorprüfungen) an Bauteilen sind festzuhalten. Auf Basis dessen sind mögliche Sonderprüfmethoden zu bestimmen. Neben den durch die vorbereitende visuelle Begutachtung gewonnenen Erkenntnissen hinsichtlich des technischen Systems sind zusätzlich die örtlichen Rahmenbedingungen inklusive der Zugänglichkeit der vorhandenen Ankertypen darzustellen. Die notwendigen Maßnahmen sind in Hinblick auf die erhobenen Daten in Abstimmung mit der erhaltungsverpflichteten Organisation festzulegen. (*FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zuelemente*, 2022)

Das Ziel der vorbereitenden visuellen Begutachtung liegt darin, den Erhaltungszustand einzuschätzen und Empfehlungen zu Sonderprüfungen und die dafür erforderliche Ausrüstung abzugeben. Dabei soll auf folgende Punkte gemäß dem *FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zuelemente* (2022) möglichst detailliert eingegangen werden:

- Ankertyp
- Bilddokumentation des Ankerkopfes
- Übersichtsbilder des Bauwerks und Lage der zu prüfenden Ankerköpfe
- Geometrie und Abmessungen des Ankerkopfes (ggf. vorhandene Nischen)
- Geometrie und Abmessungen der Ankerplatten, Keilscheiben sowie Litzenüberstände
- Angaben zu vorhandenen Bohrungen an außenliegenden Ankerbauteilen
- Angaben zum Korrosionsschutz bzw. dessen Wiederherstellbarkeit
- Angaben zu vorhandenen Messeinrichtungen
- Möglichkeit einer endoskopischen Untersuchung des Ankerkopfes
- Mögliche Prüf- und Abhebevorrichtungen

### 5.3.2 Endoskopische Untersuchung

Im Zuge der Endoskopischen Untersuchung soll der Erhaltungszustand des Kopfbereiches von Verpressankern insbesondere in Hinblick auf den Zustand des Korrosionsschutzes und das Vorhandensein von Korrosionsschäden an Zugelementen erfasst werden. Dabei kann das Endoskop über die Kopfkonstruktion, die Ankerplatte oder durch seitliche Bohrungen in den Anschlussbauteilen eingeführt werden. (*FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente*, 2022)

Vorhandene Öffnungen (z.B. Verfüllöffnungen oder freie Litzenlöcher einer Keilscheibe) sind neu herzustellenden Bohrungen vorzuziehen. Falls neue Bohrungen notwendig sind, ist deren Lage unter Berücksichtigung des Ankersystemaufbaus, sowie den Einfluss auf die Dauerhaftigkeit und Funktionstüchtigkeit unter Abstimmung mit der erhaltungsverpflichtenden Organisation festzulegen. Neben der Lage der Bohrung ist auch die Bohrrichtung, die Bohrtiefe und der Durchmesser vorab zu bestimmen. Für die Herstellung ist daher eine ausreichende Kenntniss über den Ankertyp und dessen Aufbau unumgänglich. Falls Unsicherheiten vorliegen, sind die Bohrlöcher in Etappen herzustellen (Steigerung des Bohrdurchmesser/der Bohrtiefe) und mit einem Endoskop zu überprüfen. (*FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente*, 2022)

Die Endoskopische Untersuchung sollte mindestens mit Standbildern dokumentiert werden, diese durch Videomaterial erweitert werden können. Auf eine Auflösung > 300 x 300 px, ebenso wie auf entsprechende Beleuchtung sowie Bildstabilität ist zu achten. Um möglichst gutes Bildmaterial zu erhalten, ist das Bohrloch und das Endoskop zu reinigen. Die notwendige Ausrüstung des Endoskops für eine umfassende Verwendung ist bereitzuhalten. (*FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente*, 2022)

Mit Hilfe der Endoskopischen Untersuchung sind gemäß *FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente* (2022) folgende Aussagen möglich:

- Erhaltungszustand
- Vorhandensein eines intakten Korrosionsschutzes im Kopfbereich
- Vorhandensein von Korrosionsschäden an Zugelementen
- Zustand der Dichtungen im Übergangsbereich von Ankerkopf und freier Ankerlänge
- Zulassungskonforme Ausführung des Ankerkopfes
- Vorhandene Wassereintritte oder Einschlüsse von Wasser/Ungeziefer/etc.
- Drahtbrüche oder gerissene Litzen

Jene durch die Endoskopische Untersuchung erkannten Korrosionsschäden können qualitativ klassifiziert werden, eine quantitative Aussage ist nur beschränkt möglich. (*FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente*, 2022)

Nach Durchführung der Endoskopischen Untersuchung sind die hergestellten Bohrungen unter Absprache mit der erhaltungsverpflichteten Organisation zu verchließen (temporär oder dauerhaft). Nach Verwendung von vorhandenen Öffnungen, ist der Korrosionsschutz des Ankerkopfes wieder ordnungsgemäß herzustellen. (*FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente*, 2022)

In Abb. 47 sind die Achsen für die Durchführung einer Endoskopie an einigen Ankern farblich gekennzeichnet. Dabei sind die roten Linien in **a**, **b** die Achsen durch vorhandene freie Litzenlöcher der Keilscheibe und die gelbe Linie in **c** die Achse bei einer vorhandenen Endoskopieöffnung eines Einstabankerkopfes. Die Ansicht eines VT-Vorspannankers ist in **d** dargestellt, eine Endoskopie kann bei diesem Ankertyp durch die Injektionsöffnung in der Mitte (orange markiert) durchgeführt werden. Zudem sind in **a** die mit Korrosionsschutzmasse gefüllten Bereiche des Ankerkopfes grün markiert. Die Dichtungen sowie die Korrosionsschutzmasse sind regelmäßig zu warten um sicherzustellen, dass deren Funktion aufrecht ist.



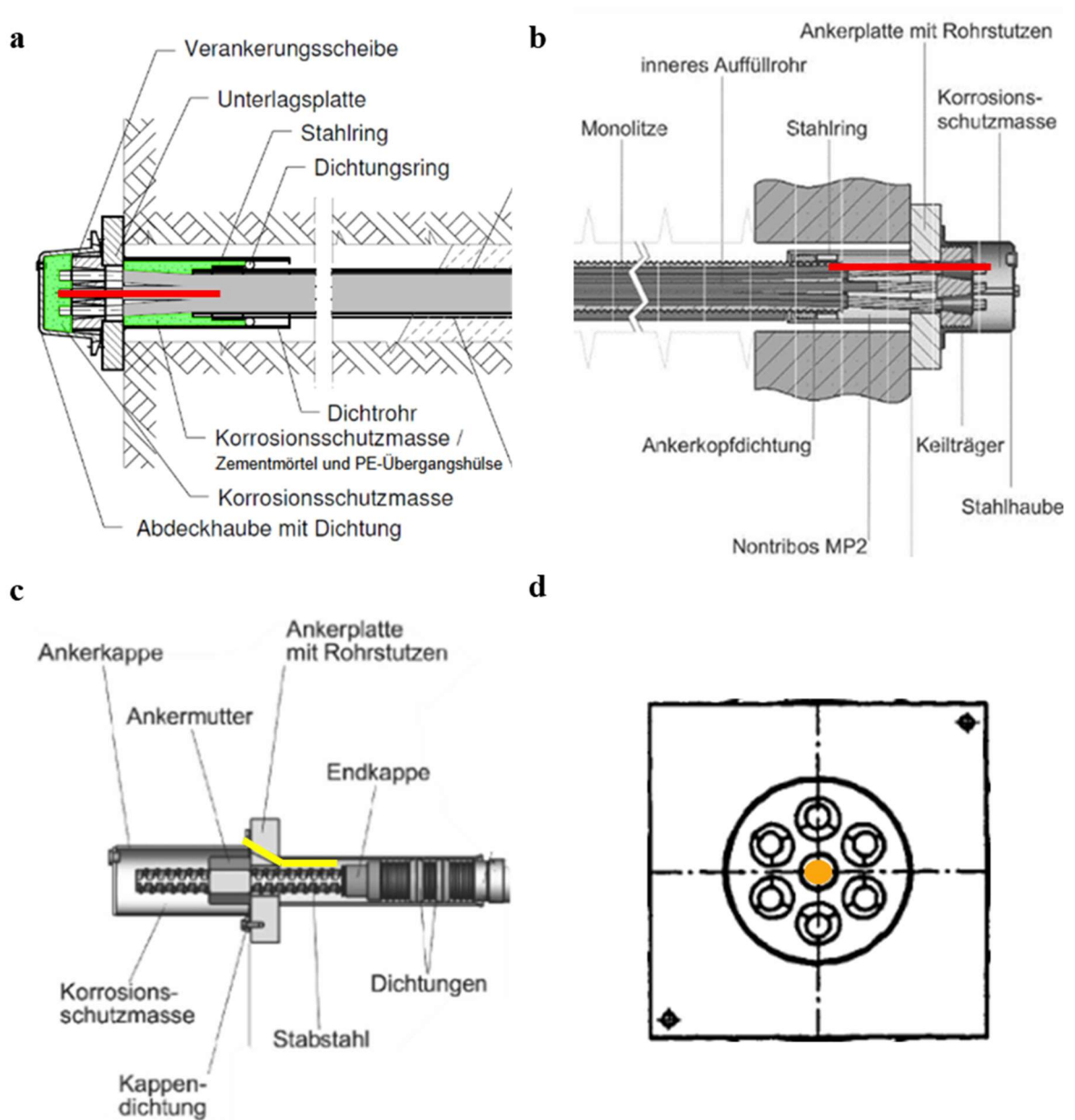


Abb. 47: Endoskopieachsen verschiedener Ankerköpfe

- a** ANP Litzenanker mit 2-15 Spannstahllitzen (ANP Systems, 2023)
- b** SPANTEC Verpressanker mit Stahlzuggliedern aus 2-22 Litzen (Spantec GmbH, 2023)
- c** SPANTEC-Daueranker (Einstabanker) (Spantec GmbH, 2023)
- d** Ansicht Spann- und Festanker VT 03-100 bis VT 06-100 (Vorspann-Technik GmbH, 1999)

### 5.3.3 Abhebekontrolle

Mit Hilfe einer Abhebekontrolle kann die Funktionstüchtigkeit und Zuverlässigkeit des Zugelementes eines vorgespannten Verpressanker überprüft werden. Das Ziel besteht darin, die vorhandene Ankerkraft mit der Festlegekraft der Planung (bzw. der Nachrechnung) zu vergleichen. Durch eine periodische Durchführung der Abhebekontrolle können Veränderungen des Erhaltungszustandes, wie eine Änderung der Lastableitungsmechanismen, anhand der Ankerkraftänderungen erfasst werden. Bei der Planung der Abhebekontrolle sind die Platzverhältnisse im Ankerkopfbereich in Hinblick auf das Befestigen der erforderlichen Geräte zu berücksichtigen. Ebenso ist die Prüfeinrichtung gegen Versagen des Zuggliedes sowie der Auflagerkonstruktion zu sichern. (*FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente*, 2022)

#### 5.3.3.1 Anzahl der abzuhebenden Anker

Eine gute Aussagekraft der Abhebekontrolle ist anzustreben, deshalb sind mindestens 10 % der Anker des Bauwerks einer Abhebekontrolle zu unterziehen. Das Festlegen der Anzahl und die Auswahl der abzuhebenden Anker ist in Absprache mit der erhaltungsverpflichtenden Organisation durchzuführen. Je nach Gesamtanzahl von funktionstüchtigen Kraftmesseinrichtungen und der Schadensfolgeklasse des Bauwerkes ist eine Reduktion möglich. Die Funktionstüchtigkeit der vorhandenen Kraftmesseinrichtungen kann im Zuge der Abhebekontrolle überprüft werden. (*FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente*, 2022)

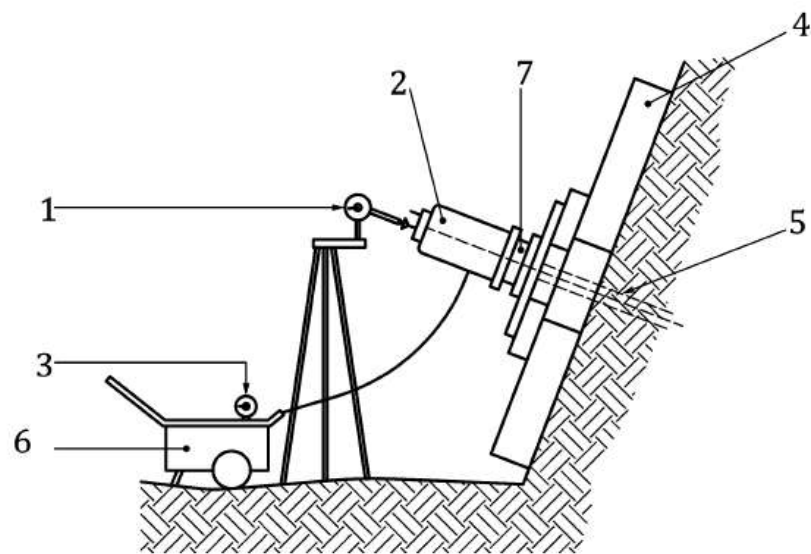
#### 5.3.3.2 Durchführung einer Abhebekontrolle

In der ÖNORM EN ISO 22477-5 (2019) wird das Prüfverfahren 1 beschrieben, welches für die Abhebekontrolle angewendet werden kann. Dabei wird stufenweise eine Last aufgebracht und die dadurch auftretenden Bauwerks- bzw. Ankerkopfverschiebungen werden gemessen. Bei einer Abhebekontrolle kann auf mehrere Belastungszyklen verzichtet werden. In Abb. 48 ist der Versuchsaufbau des Prüfverfahrens dargestellt. Aufgrund der Lage des Ankers oder der Gegebenheiten des Bauwerks ist ein Aufstellen des Messgerätes nicht immer möglich. In diesem Fall ist ein Erfassen der Verschiebungen des Spanngerätes ausreichend. Zusätzlich sind die Luft- und Bauwerkstemperatur während der Durchführung der Prüfung zu erfassen.

Um eine unzulässige Dehnung oder Überbeanspruchung der Zugglieder zu verhindern, sind aus den vorhandenen Bauwerksunterlagen deren Dehngrenzen bzw. Zugfestigkeiten heranzuziehen. Bei Fehlen dieser Unterlagen können die Werte für typische Ankerstähle von Anhang E der ÖNORM EN ISO 22477-5

*Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Prüfung von geotechnischen Bauwerken und Bauwerksteilen* (2019) verwendet werden.

Falls die in der Planung und Herstellung gewählte Festlegelast des Ankers nicht bekannt ist, soll die Last stufenweise aufgebracht werden. Die gewählten Stufen sollten 10 % der charakteristischen Ankerzugkraft nicht überschreiten. (*FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zuelemente*, 2022)



#### Legende

- 1 Verschiebungsmessung des luftseitigen Endes des Stahlzuggliedes
- 2 Spanngerät
- 3 Kraftmessgerät (Manometer)
- 4 Widerlager/Bauwerk
- 5 Zugglied
- 6 Hydrauliksystem (Pumpe)
- 7 Druckmessdose (optional)

Abb. 48: Schematische Darstellung eines Versuchsaufbaus zur Abhebekontrolle (*ÖNORM EN ISO 22477-5 Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Prüfung von geotechnischen Bauwerken und Bauwerksteilen*, 2019)

Um Abhebekontrollen durchführen zu können gilt als Voraussetzung, dass die Ausführung der Zuelemente und deren Kopfkonstruktion ein Abheben erlaubt. In Abb. 49 sind hierzu Ankerköpfe mit entsprechender Kopfkonstruktion abgebildet. Gemäß *FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zuelemente* (2022) können folgende Methoden verwendet werden:

- Verwenden spezieller Spann- und Abhebeeinrichtungen für Ankerköpfe (ermöglicht das Abheben durch ein Gewinde, Bajonett, etc.)
- Verwenden des vorhandenen Litzen- oder Stabüberstandes
- Anbringung einer Stabverlängerung bei Stabankern
- Anbringen einer Kupplung zwischen Ankerkopf und Presse (z.B. Spannlocke)

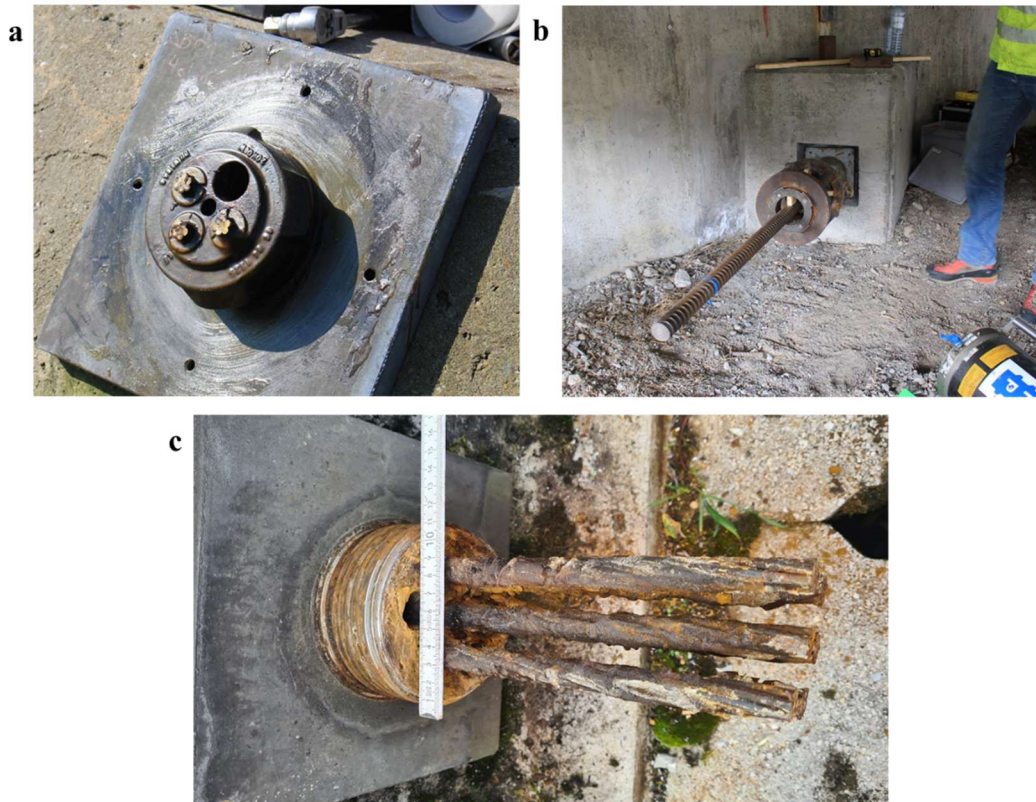


Abb. 49: Vorbereitete Ankerköpfe für eine Abhebekontrolle.

**a** spezielle Abhebeeinrichtung

**b** Stabanker mit Stabverlängerung

**c** vorhandener Litzenüberstand ausreichend

Wurden die Anker nicht gemäß der obigen Punkte ausgeführt, so kann gegebenenfalls mit speziellen Ausrüstungen ein nachträgliches Abheben ermöglicht werden. Eine Möglichkeit wäre zum Beispiel eine mechanisch selbstsichernde Kupplungsvorrichtung, wie in Abb. 50 abgebildet, zu verwenden. (FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zuelemente, 2022)

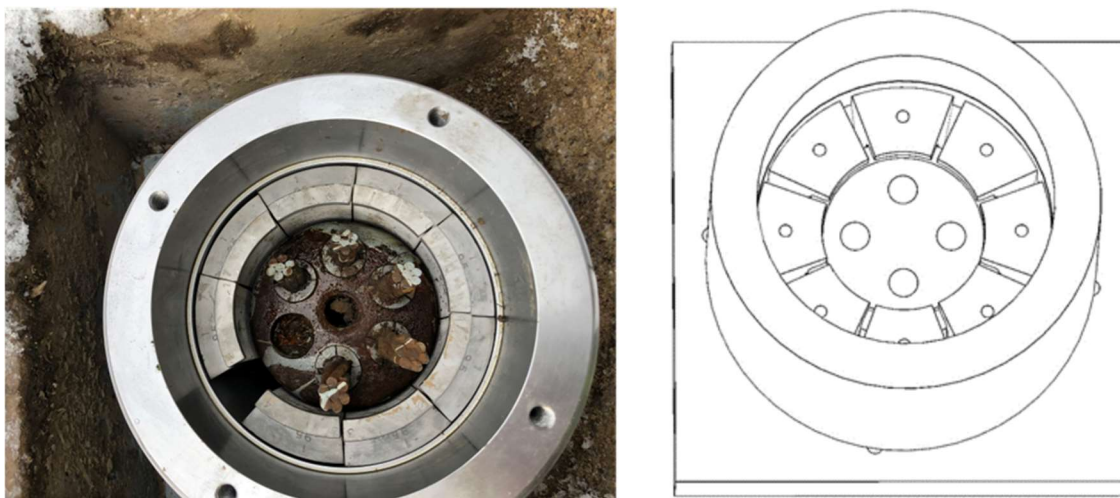


Abb. 50: mechanisch selbstsichernde Kupplungsvorrichtung



Nach Durchführung der Abhebekontrolle ist der Korrosionsschutz (temporär oder dauerhaft) unter Absprache mit der erhaltungsverpflichteten Organisation wiederherzustellen. (*FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente*, 2022)

### 5.3.3.3 Prüfkriterien bei Abhebekontrollen

Im Zuge der Abhebekontrolle ist in der Regel ein Prüfkraft-Verschiebungsdiagramm zu erstellen (siehe Abb. 51). In diesem Diagramm ist die vorhandene Ankerkraft durch den Schnittpunkt der Interpolationsgeraden der Dehnung der Ankerverlängerung und der Dehnung des Zuggliedes in der freien Länge zu bestimmen. (*FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente*, 2022)

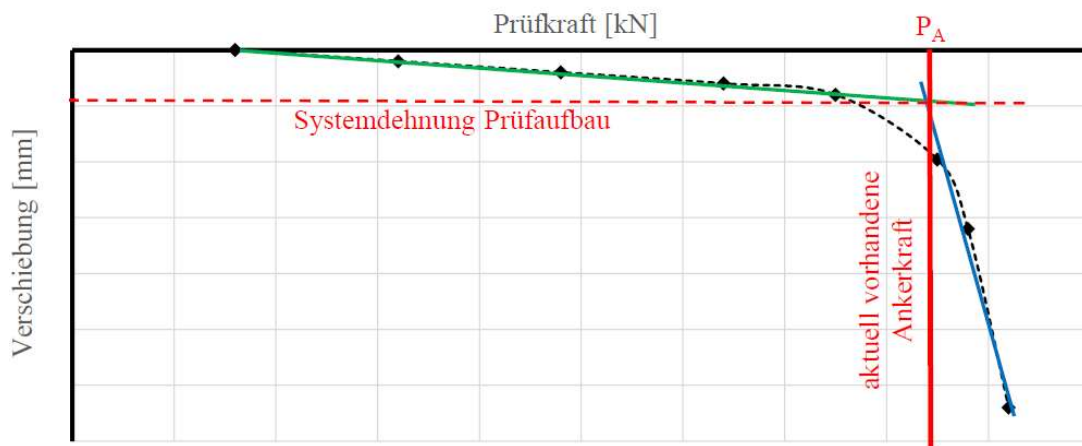


Abb. 51: schematisches Ergebnis einer Abhebekontrolle (Scharf *et al.*, 2023)

Wenn ein eindeutiges vollflächiges Abheben des gesamten Ankerkopfes nachgewiesen werden kann, darf auf das Erstellen eines Prüfkraft-Wegdiagrammes unter Absprache mit der erhaltungsverpflichteten Organisation verzichtet werden. Dazu können zuvor eingebrachte Prüfplättchen oder auch eine entsprechende Messeinrichtung verwendet werden. Als Grenzwert kann eine Distanz von 0,4 mm zwischen Antermutter bzw. Keilscheibe und der Ankerplatte festgelegt werden. (*FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente*, 2022)

### 5.3.3.4 Auswertung der Abhebekontrolle

Die Auswertung der Abhebekontrolle hat als Befund zu erfolgen. Dieser soll gemäß *FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente* (2022) folgende Punkte zu beinhalten:

- Datum, Uhrzeit und Witterung zum Zeitpunkt der Abhebekontrolle
- Angaben zu begleitenden Maßnahmen der Abhebekontrolle

- Angaben zu den Mess- und Belastungseinrichtungen, der Presseinrichtung, der Kalibrierzeugnisse, der Kopplungsstücke und der Anbindungsstücke die verwendet wurden, sowie der Sicherungsmaßnahmen.
- Fotodokumentation des Prüfaufbau
- Aktuell vorhandene Ankerkraft
- Differenzen der aktuell vorhandenen Ankerkraft und der Ergebnisse voriger Abhebekontrollen bzw. installierter Kraftmessinstrumente
- Abweichungen der aktuell vorhandenen Ankerkraft zu den Festlegelasten der Planunterlagen (sofern vorhanden)
- Planliche Darstellung der Ankerkräfte

Zusätzlich sind gemäß *FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente* (2022) noch folgende Punkte im Befund zu berücksichtigen:

- Maßnahmen zur Wiederherstellung des Korrosionsschutzes
- Angaben für zukünftige Kontrollen und Prüfungen
- Angaben für zukünftige Abhebekontrollen

### 5.3.4 Sonstige Untersuchungen im Zusammenhang mit einer Sonderprüfung

Im Rahmen einer Sonderprüfung können noch weitere Untersuchungen durchgeführt werden, um den Erhaltungszustand sowohl der konstruktiven Bauteile als auch der Zugelemente zu erfassen. Diese werden in den folgenden Unterpunkten geschildert.

#### 5.3.4.1 Untersuchungen am Zugelement

Die Ermittlung der freien Ankerlänge kann gemäß *ÖNORM EN ISO 22477-5 Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Prüfung von geotechnischen Bauwerken und Bauwerksteilen* (2019) Anhang D durchgeführt werden. Als Prüfkriterium zur Bestimmung des Kriechmaßes sind die Angaben der Zulassungen bzw. der gültigen Normen zum Zeitpunkt der Errichtung zu beachten. Falls keine Informationen diesbezüglich vorhanden sind, ist eine Definition der Grenzwerte in Abstimmung mit der erhaltungsverpflichtenden Organisation vorzunehmen. Zusätzlich zur Erfassung der Verschiebungen des Ankerkopfes sind auch die Verschiebungen des Bauwerks zu berücksichtigen, um daraus eine mögliche Beeinflussung abschätzen zu können. (*FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente*, 2022)

Mithilfe von metallurgischen Laboruntersuchungen kann eine Aussage über das Gefüge des metallischen Werkstoffes gemacht werden und daraus folglich über dessen Materialeigenschaften. Dabei wird die Werkstoffoberfläche angeschliffen, poliert und geätzt und anschließend makro- und mikroskopisch beurteilt (Abb. 52).

Daraus können Rückschlüsse auf das Fertigungsverfahren, Materialfehler sowie Einschlüsse gezogen werden. Die metallurgische Laboruntersuchung ist gemäß den Anforderungen und Vorgaben der Normenreihe *ÖNORM EN ISO 4499 Hartmetalle - Metallographische Bestimmung der Mikrostruktur* durchzuführen. (FSV Arbeitspapier Nr. 33 *Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zuelemente*, 2022)

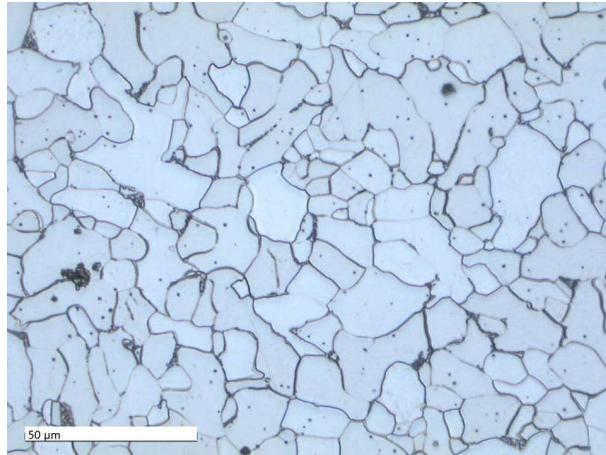


Abb. 52: Mikroskopie eines geschliffenen, polierten und geätzten ferritischen Stahls (Struers, 2023)

Mit mechanischen Spannstahlprüfungen kann die Qualität des verwendeten Metallwerkstoffes überprüft werden. Die Zug- und Biegeversuche liefern als Ergebnis die Zugfestigkeit, die Streckgrenze sowie die Bruchdehnung des Werkstoffes. Die für die Durchführung notwendigen Proben sind an überstehenden Zuelementen abzutrennen oder rückgebauten Bauteilen zu entnehmen. Die mechanischen Spannstahlprüfungen sind gemäß den Anforderungen und Vorgaben der *ÖNORM EN ISO 6892-1 Metallische Werkstoffe - Zugversuch* (2019) und *ÖNORM EN ISO 7438 Metallische Werkstoffe - Biegeversuch* (2021) durchzuführen. (FSV Arbeitspapier Nr. 33 *Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zuelemente*, 2022)



Abb. 53: Zugversuch links (Zwick/Roell, 2023) und Biegeversuch rechts (schuetz+licht, 2023)

Im Zuge von Härteprüfungen kann die Härte der metallischen Bauteile und daraus Materialeigenschaften wie Festigkeit und Verschleißverhalten ermittelt werden. Die Anwendung ist vom Prüfkörper, Eindringkörper und Material des Eindringkörpers sowie der Art und Größe der Belastung (statisch oder dynamisch) abhängig und je nach Situation zu bestimmen. Die Härteprüfungen sind gemäß den Anforderungen und Vorgaben der Normenreihen (ÖNORM EN ISO 6506), ÖNORM EN ISO 6507 und ÖNORM EN ISO 6508 durchzuführen. (FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zuelemente, 2022)

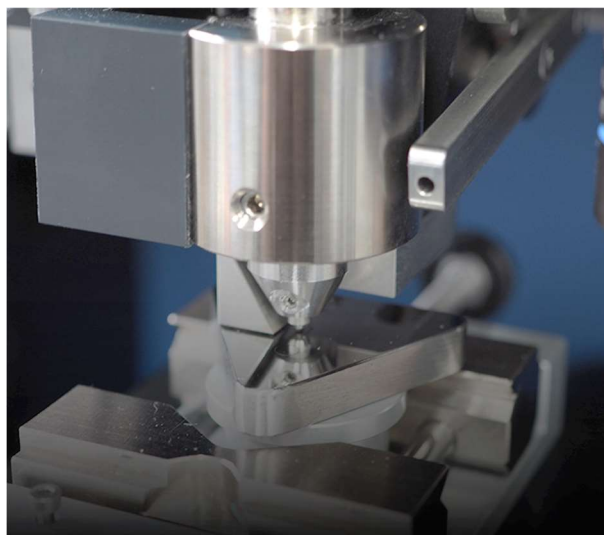


Abb. 54: Versuchsaufbau einer Härteprüfung (STZ Tribologie Steinbeis Transfer Zentrum, 2023)

Die Bestimmung der Schichtdicke von metallischen Beschichtungen (z. B. einer Verzinkung) an ebenflächigen Bauteilen kann mithilfe einer Schichtdeckenmessung erfolgen. Daraus kann ein Rückschluss auf den Zustand der Beschichtung und die damit vorhandene Schutzwirkung gezogen werden. Die



Schichtdeckenmessung ist gemäß den Anforderungen und Vorgaben der *ÖNORM EN ISO 3497 Metallische Schichten - Schichtdeckenmessung - Röntgenfluoreszenz-Verfahren* (2001) und *ÖNORM EN ISO 2178 Nichtmagnetische Überzüge auf magnetischen Grundmetallen - Messen der Schichtdicke - Magnetverfahren* (2016) durchzuführen. (FSV Arbeitspapier Nr. 33 *Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente*, 2022)



Abb. 55: Schichtdickenmessgerät (helmut-fischer, 2023)

Je nach Ausführung des Ankertyps und dessen Ankerkopf können verschiedene Verfüll- und Korrosionsschutzmassen verwendet worden sein. Das Verfüllmaterial ist zu prüfen und zu beurteilen, wenn ein Verdacht auf Unregelmäßigkeiten in der Zusammensetzung oder im Mischungsverhältnis besteht. Ebenso wenn ungeeignete oder nicht zugelassene Materialien bei der Herstellung des Korrosionsschutzes verwendet wurden oder im Zuge von Instandsetzungsarbeiten die Zusammensetzung zu untersuchen ist. Die Untersuchung des Verfüllmaterials ist gemäß den Vorgaben der jeweiligen Systemzulassungen und der produktspezifischen Vorgaben durchzuführen. Hierzu zählen beispielsweise *ETAG 013* (2002), *EAD 16004-00-0301* (2016), *ÖNORM EN 445 Einpressmörtel für Spannglieder - Prüfverfahren* (2008), *ÖNORM B 4455 Vorgespannte Anker für Locker- und Festgesteine* und *ÖNORM EN 1537 Ausführungen von Arbeiten im Spezialtiefbau - Verpressanker* (2015) (Anhang B). (FSV Arbeitspapier Nr. 33 *Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente*, 2022)

#### 5.3.4.2 Untersuchungen am Bauwerk

Die an Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen durchzuführenden Sonderprüfmethoden sind in der *RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen* (2022) enthalten.

Hang- und Oberflächenwässer können neben Auswirkungen auf das Ankersystem auch Auswirkungen auf das geankerte Bauwerk selbst haben. Ein funktionstüchtiges Entwässerungssystem soll gewährleisten, dass die anfallenden Wässer kontrolliert abgeführt werden, damit ein Rückstau oder eine chemische Interaktion am Bauwerk verhindert werden kann. Abflussstörungen können durch Verwurzelung, Verschlammung, Kalziumkarbonat- oder Eisenausfällung hergerufen werden. Weiters können Schäden an Entwässerungsleitungen die

Funktionstüchtigkeit des Entwässerungssystem beeinträchtigen. Im Kontaktbereich von eisenhaltigen Bergwässern und zementgebundenen Baustoffen (Spritzbeton, Injektionen etc.) bestehen durch die hohe Mineralisation der Drainagewässer und ständiger Belüftung optimale Voraussetzungen für die Ausbildung von Sinter aus Karbonat oder Eisen. Diese Sinterausbildungen führen zur Blockierung der Drainagen des Entwässerungssystem. Die Prüfung des Entwässerungssystem kann als Sichtprüfung oder einer detaillierten Leitungsinspektion erfolgen. Die Überprüfungsart und -genauigkeit ist hinsichtlich der bekannten Informationen zur Anlage zu wählen. Im Rahmen der Sichtprüfung sind die vorhandenen Rohrausleitungen und Schachtbauwerke zu beschreiben. Zusätzlich sind an den zugänglichen Wasserführungen Parameter wie pH-Wert, Leitfähigkeit und Temperatur zu messen sowie eine Abschätzung der Schüttungsmenge hat zu erfolgen. Im Zuge einer detaillierten Inspektion sind die Entwässerungsleitungen mithilfe von Kanal-TV-Anlagen zu befahren und zu dokumentieren. Der Befund soll neben einer umfassenden Beschreibung der Entwässerungseinrichtung, der vorhandenen Schächte und Ausleitungsstellen eine Bewertung des Anlagenzustandes beinhalten. Dabei sind die Probenentnahmen einschließlich der In-situ-Parameter und der Ergebnisse der chemischen Analysen hinsichtlich möglicher Schadensmechanismen zu dokumentieren. Des Weiteren sind die Ergebnisse der Inspektion inklusive Leitungsskizze und Videoaufzeichnung sowie Empfehlungen für eventuell notwendige weitere Untersuchungen darzulegen. (*FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente*, 2022)

Die Interaktion von Bauwerk und Boden kann durch periodische Messungen von bereits am Bauwerk installierten geotechnischen Messeinrichtungen überwacht werden. Wichtig hierbei ist während der Durchführung und der Dokumentation der Messungen auf ein einheitliches Vorgehen zu achten um anschließend eine schlüssige Interpretation der Daten zu ermöglichen. Das Messintervall, das Datenaustauschformat, Art des Messgerätes und notwendige bauliche Maßnahmen im Bereich der Messstellen, um die Verwendung von Messeinrichtungen zu ermöglichen, sind mit der erhaltungsverpflichteten Organisation abzustimmen. Im Befund ist die Lage und der Zustand der Messstellen zu beschreiben, sowie die absoluten und relativen Messwerte bezogen auf die Nullmessung anzuführen. Des Weiteren sind Angaben zu direkten, indirekten und abgeleiteten Messgrößen gemäß *RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen* (2022), zur Verformungsrate und der Tendenz verglichen zum Langzeitverhalten bei längeren Messreihen und Empfehlungen zur weiteren Beobachtung abzugeben. Die Messungen sind gemäß den Anforderungen und Vorgaben der *RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen* (2022) und *ÖNORM EN ISO 18674* durchzuführen. (*FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente*, 2022)

Die Identifizierung von instabilen Bereichen des umgebenden Geländes kann mit einer ingenieurgeologischen Kartierung erfolgen. Hierbei werden hydrogeologische Randbedingungen erfasst und damit das Naturgefahrenpotential

eingeschätzt. Eine Kartierung im Zuge einer Sonderprüfung kann die Grundlage für weitere erforderliche Untersuchungen und eine Interpretation der geotechnischen Messungen liefern. Zuerst wird eine Vorerhebung durchgeführt, hier werden die Bearbeitungsgrundlagen anhand der vorhandenen Daten der erhaltungsverpflichteten Organisation und der Geoinformationsdienste der Bundesländer in einer Entwurfskarte zusammengefasst. Die Informationen aus der Vorerhebung werden anschließend bei der vor-Ort-Kartierung verifiziert, erweitert und interpretiert. Größe des Kartiergebietes sowie der Detailgrad und Zielmaßstab der Kartierung sind im Vorfeld mit der erhaltungsverpflichteten Organisation zu beschließen. Weiters sind Arbeitsgrundlagen (öffentlich verfügbare Geodaten und neu erstellte Daten), die primäre Zielsetzung, gegebenenfalls erforderliche zusätzliche Modellierungen (Abflusslinien, Anrissgebiete etc.), das Austauschformat und erforderliche Metadaten für digitale Kartenprodukte abzustimmen. Die Ergebnisse der ingenieurgeologischen Kartierung sind in einem Kartierbericht und in thematisch differenzierten Kartenblättern aufzubereiten. (FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente, 2022)

## 5.4 Weitere Richtlinien

Neben den in den vorigen Punkten erläuterten Richtlinien gibt es noch weitere Richtlinien, die für die Zustandsbeurteilung von schadhaften geankerten Konstruktionen herangezogen werden können. Beispiele hierfür sind:

- *RVS 13.03.01: Monitoring von Brücken und anderen Ingenieurbauwerken*, 2022)
- *ASTRA 12002: Überwachung und Unterhalt der Kunstbauten der Nationalstraßen* (2005)
- *RVS 13.03.11: Straßenbrücken* (2021)
- *DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen* (2014)
- „Straßenforschung Heft 397: Schnellbeurteilung korrosionsbeanspruchter Spannlitzen“ (1991)

## 6 Konzept SaRAS Versuchsaufbau

Bei schadhafte geankerten Konstruktionen stellt sich oft die Frage, wie sich der komplette oder teilweise Ausfall eines Ankers auf die Kraftverteilung innerhalb der Konstruktion bzw. die Interaktion zwischen den einzelnen Ankern auswirkt. Durch den Ausfall eines Ankers entstehen Umlagerungen am Bauwerk. Die Biege- und Schubtragfähigkeit des Bauwerks ist für die Weiterleitung der Lasten relevant. Daher soll in einem Versuch gezeigt werden, ob derartige Lastumlagerungen versuchstechnische nachgebildet werden können. Die nachfolgend beschriebene Versuchsreihe soll es ermöglichen, die Kraftverteilung bei Ausfall eines Ankers auf die verbleibenden Anker zu erfassen und zudem unterschiedliche Effekte am Bauwerk nachzubilden. Anschließend sollen die gemessenen Daten mit den Ergebnissen einer numerischen Berechnung gegenübergestellt werden, welche jedoch nicht Teil dieser Masterarbeit ist.

Ziel ist es, einen einfach herstellbaren und reproduzierbaren Versuchsaufbau für die Messung der Ankerkräfte einer geankerten Wand zu ermöglichen. Hierzu wurde das nachfolgende System konzipiert, welches auf der Anwendung von Druckstreben basiert, welche es ermöglichen die dadurch simulierten Anker einfach zu lösen und wieder anzuspannen, um so einen „Ausfall“ zu simulieren. Nachfolgend wird dieser Aufbau genauer beschrieben, auf die einzelnen Komponenten und die zu erwartenden Ergebnisse und Erkenntnisse eingegangen.

Als Grundlage für den gesamten Versuch wird ein Bodenkörper mit den ungefähren Abmessungen 6,0 x 3,0 x 3,0 m, wie in Abb. 56 bis Abb. 58 dargestellt verwendet. Dieser besteht aus verdichtetem sandigem Kies mit einem Größtkorn von 4 bis 16 mm, welcher in einer ausgehobenen Baugrube hergestellt wird. Dabei bildet der anstehende Boden die Abgrenzung zum künstlich hergestellten Bodenkörper, welcher den gestützten Bereich hinter dem Stützbauwerk simulieren soll. Dieses wird an der Vorderseite durch eine 3,0 x 3,0 m große Wand aus Stahlplatten mit je 1,0 x 1,0 m ausgebildet. Wie bereits angeführt werden die Anker nicht durch eine Freispiel- bzw. Haftstrecke im Bodenkörper simuliert, sondern durch die Aufbringung einer Druckkraft an der Vorderseite der gesamten Konstruktion substituiert.

Die Idee hinter dem Versuchsstand ist es, eine reproduzierbare Wand zu simulieren, welche durch Anker gestützt wird. Um eine einfachere Herstellung zu ermöglichen, und um eine möglicherweise nachteilige Beeinflussung durch den Einbau im Untergrund zu verhindern werden dabei die Zuelemente durch Druckstreben an der Vorderseite simuliert. Diese können dabei zum einen durch unterschiedliche Kräfte beansprucht werden und ermöglichen zum anderen eine hohe Flexibilität des Versuchsaufbaues.

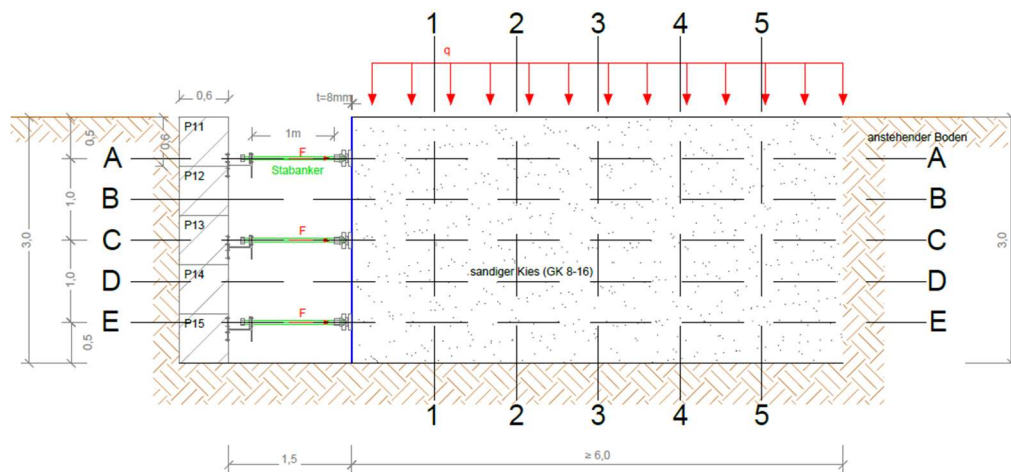


Abb. 56: Schnitt V-V des Versuchsaufbaus

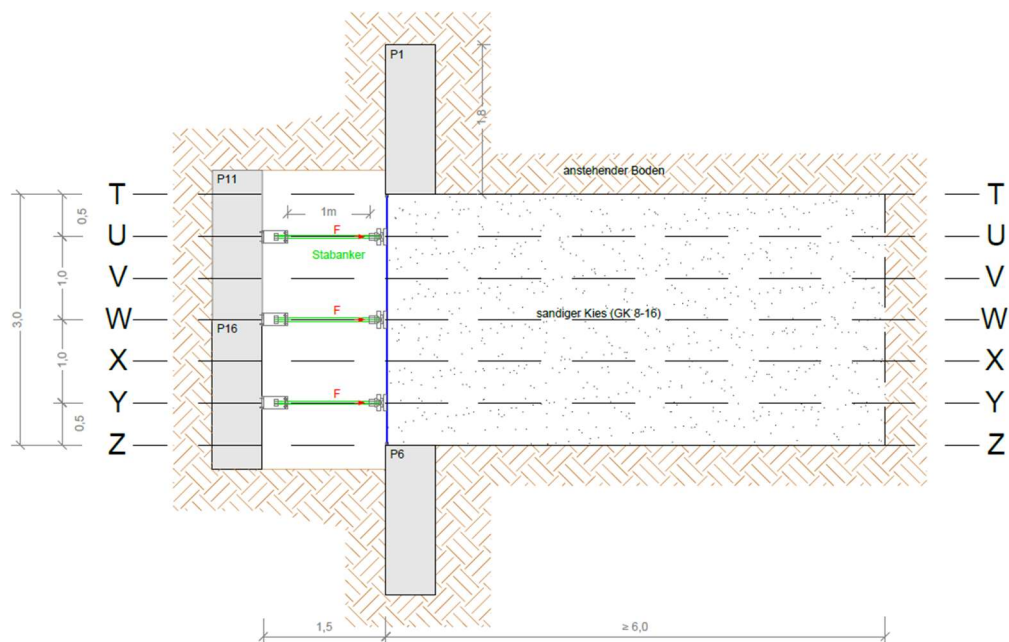


Abb. 57: Draufsicht des Versuchsaufbaus

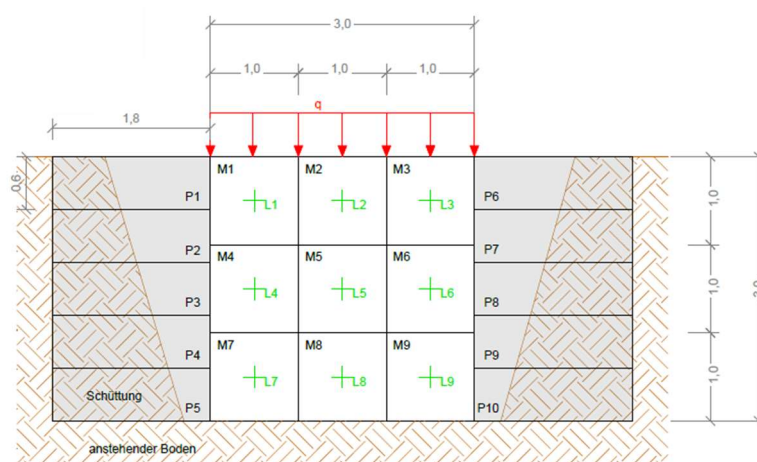


Abb. 58: Ansicht des Versuchsaufbaus

## 6.1 Ankerwand

Die Ankerwand wird durch Stahlplatten simuliert, diese werden, wie in Abb. 58 dargestellt, segmentartig angeordnet. Generell ist hier eine Versuchsreihe mit 3 x 3 Ankerplatten angedacht, welche eine Abmessung von 1,0 x 1,0 m aufweisen. Um eine schubstarre Verbindung zu ermöglichen, werden diese untereinander verschraubt. Eine Darstellung der Ankerplatten ist in Abb. 59 gegeben. Diese werden an den Kanten gebogen, um mehr Stabilität zu erreichen und ein einfaches Verschrauben zu ermöglichen. Zusätzlich sind Steifenbleche aufgeschweißt, um die Stahlplatten zu verstärken und ein Ausbeulen bzw. lokale Verformungen zu verhindern.

Eine zentrale Einleitung der Druckkräfte ist geplant, hierzu wird eine Ankerplatte verwendet, welche in Kapitel 6.2 genauer beschrieben ist. Damit diese Ankerplatte, mittels welcher der Druck des Ankers auf das Stahlblech übertragen wird, bei einer Belastung nicht verrutscht sind Halterungen angedacht. Zudem wäre geplant, die zum Boden gerichtete Seite der Stahlplatten mit Spritzbeton zu beschichten, um die Rauigkeit einer Ortbetonwand nachzubilden.

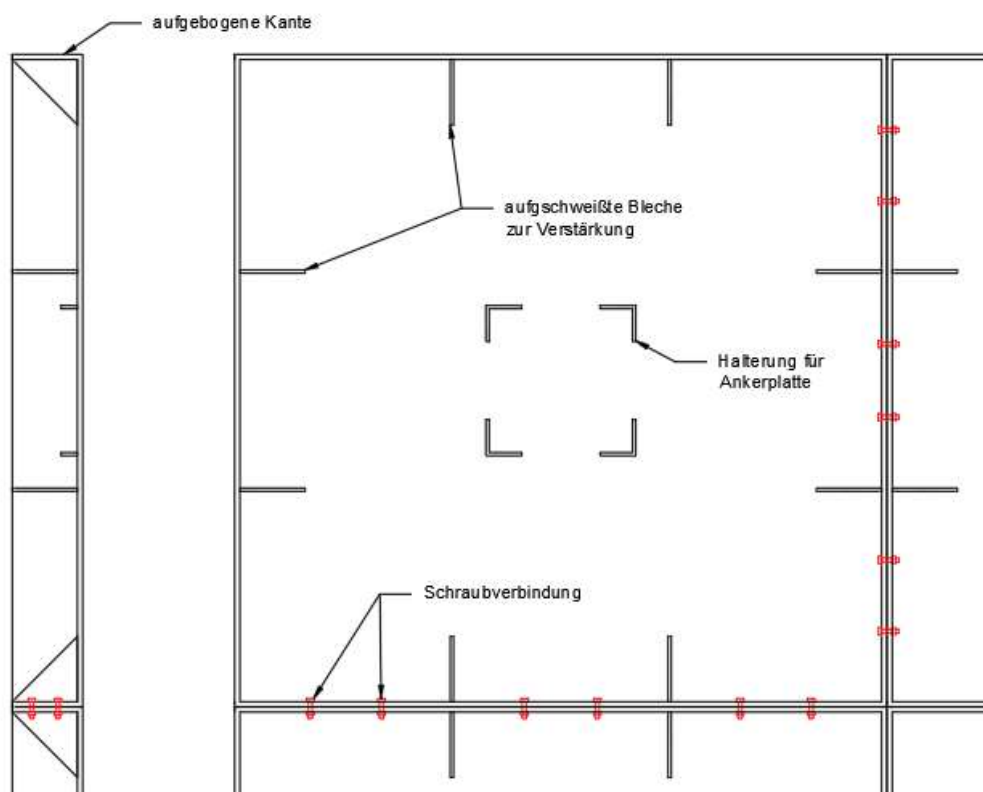


Abb. 59: Verbindung der Stahlplatten

## 6.2 Anschluss Druckstreben an Ankerwandelemente

Der detaillierte Aufbau des Anschlusses der Druckstrebe an die Stahlplatte ist in Abb. 60 dargestellt. Die Kraft der Druckstrebe wird über eine Kugelbundmutter und deren zugehörige Ankerplatte (siehe Abb. 61) auf eine Kraftmesszelle übertragen. Anschließend wird die Kraft von der Kraftmesszelle auf eine weitere Ankerplatte geleitet, welche schließlich die Kraft auf das Stahlblech überträgt. Eine gelenkige Lagerung der Druckstrebe wird durch die Kugelbundmutter und der dazugehörigen Ankerplatte erreicht, dadurch kann eine zwangsfreie Kraftübertragung ermöglicht werden. Die dabei übertragene Kraft wird von der Kraftmesszelle zwischen den beiden Ankerplatten gemessen.

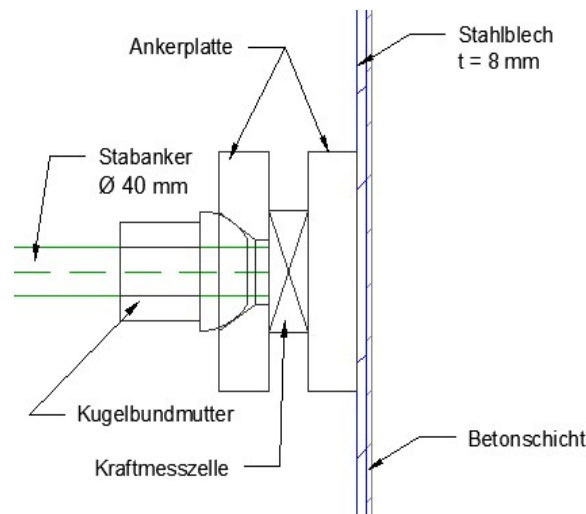


Abb. 60: Detail des Anschlusses von Stab und Stahlplatte

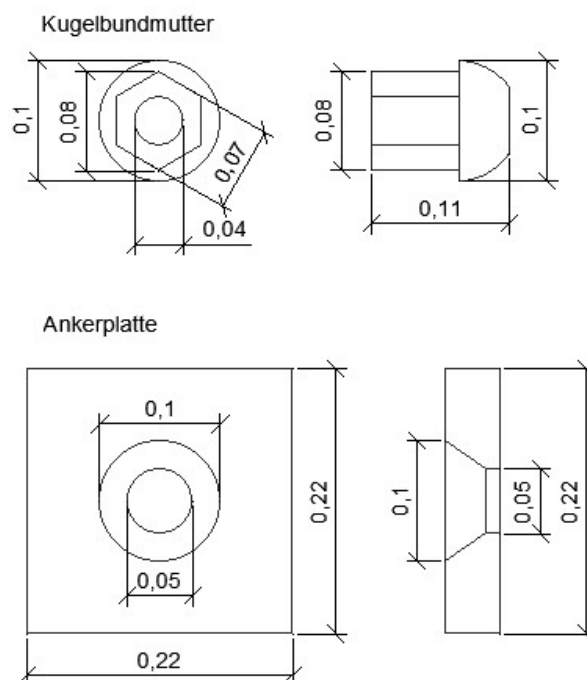


Abb. 61: Detaildarstellung Anschlussteile (Abmessungen in m)



## 6.3 Druckstreben



Abb. 62: Ausführung Druckstreben

Für die Druckstreben sind ANP-Einstabanker SAS 950 aus Spannstahl Y1050H mit Gewinderippung und einem Durchmesser von 40 mm angedacht. Um ein Versagen durch Stabknicken auszuschließen, wird eine maximale Länge der Druckstrebe von einem Meter gewählt.

## 6.4 Widerlagerwand

Die Widerlagerwand (Abb. 56 und Abb. 57), welche die Druckstreben rückverankert, wird mit Fertigteil-Betonwürfeln (Abb. 63) hergestellt. Diese ermöglichen einen unkomplizierten und schnellen Aufbau. Für die Herstellung der Widerlagerwand werden 20 Stück Fertigteil-Betonwürfel mit den Abmessungen von 1,80 x 0,60 x 0,60 m benötigt. Um das Tragverhalten eines massiven Widerlagers zu erhalten, werden die Würfel horizontal und vertikal miteinander verspannt. Dazu werden DYWIDAG GEWI-Pfähle aus Betonstabstahl mit Gewinderippen B500B und einem Durchmesser von 32 mm verwendet.

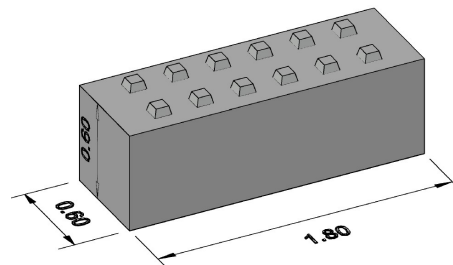


Abb. 63: Betonwürfel (Abmessungen in m)

## 6.5 Anschluss Druckstreben an Widerlagerwand

In Abb. 64 und Abb. 65 sind zwei Varianten für den Anschluss des Ankerstabes an die Widerlagerwand dargestellt. Bei beiden Varianten wird ein Stück eines HEA300-Trägers an die Widerlagerwand geschraubt. Durch diesen HEA-Träger wird ein Loch gefräst, welches zur Führung dient, beziehungsweise ein seitliches Ausweichen des Ankerstabes verhindert. Bei Variante 1 wird eine Ankerplatte mit eingeprägtem Gewinde am HEA-Träger befestigt, so kann durch Drehen des Ankers mit Hilfe der festgeschweißten Mutter am Stabende und einem Schraubschlüssel der Druck des Ankers erhöht oder verringert werden. Diese Variante ermöglicht eine genaue Einstellung des Ankerdrucks.



Bei Variante 2 wird der Druck mittels einer Hydraulikpresse aufgebracht. Diese wird auf dem HEA-Träger befestigt und überträgt den Druck über die aufgeschweißte Mutter am Stabende auf den Stab.

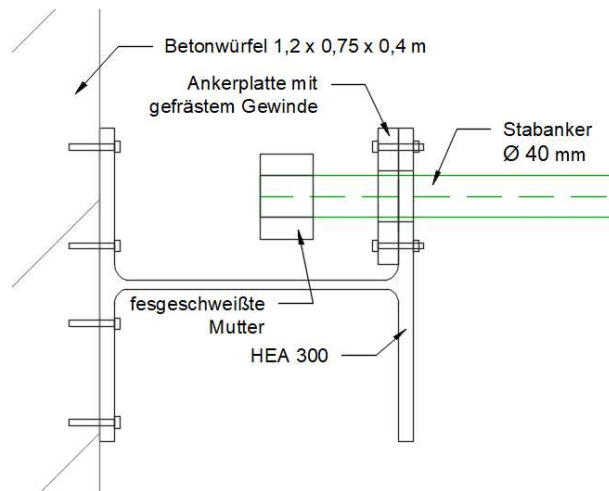


Abb. 64: Detail Anschluss Stab an Betonwiderlager Variante 1

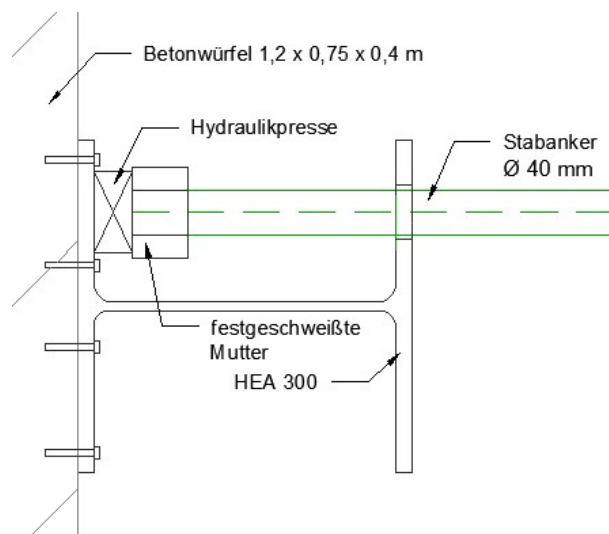


Abb. 65: Detail Anschluss Stab an Betonwiderlager Variante 2

## 6.6 Seitliche Begrenzung des Versuchsaufbaues

Für die Realisierung des Versuchsaufbau wird eine rechteckige Baugrube mit den Abmessungen von etwa 8 x 3 x 3 m ausgehoben. Der künstlich hergestellte Bodenkörper mit einem Volumen von 6 x 3 x 3 m wird zum einen von der Ankerwand aus Stahlplatten und zum anderen durch den anstehenden Bodenkörper (den Baugrubenwänden) begrenzt. Die seitliche Begrenzung ist in den Abb. 56 und Abb. 57 ersichtlich.

## 6.7 Messtechnische Ausstattung

Während der Versuchsdurchführung ist eine genaue Überwachung der verschiedenen Versuchskomponenten erforderlich um auftretende Kraftumlagerungen im Bodenkörper, Kraftänderungen in den Druckstreben oder weitere Effekte zu erfassen. Die Daten werden im Zuge der Versuchsdurchführung gesammelt und anschließend ausgewertet. Eine Auswahl von Messgeräten, die für den vorliegenden Versuch verwendet werden, werden in den folgenden Unterpunkten erläutert.

### 6.7.1 Kraftmesszellen

Um die Kräfte zu messen, die in den Druckstreben wirken, sind Kraftmesszellen angedacht. Die Kraftmesszelle wird zwischen zwei Ankerplatten positioniert, die Details zum Aufbau des Anschlusses von der Druckstrebe zur Ankerwand sind in Kapitel 6.2. angeführt. Die Ankerplatten übertragen die Kraft von der Druckstrebe auf die Ankerwand, somit liegt die Kraftmesszelle direkt im Kraftfluss. Durch die Verwendung von Kraftmesszellen kann ermittelt werden, wie sich die Kräfte in den Druckstreben im Laufe des Versuches verändern.



Abb. 66: Druckkraftsensor (Lorenz Messtechnik GmbH, 2023)

### 6.7.2 Wegmessung

Unter Verwendung von Wegaufnehmern können präzise Abstandsmessungen zwischen einem Objekt und einem definierten Bezugspunkt vorgenommen werden. Eine mögliche Anwendungsstelle im vorliegenden Versuchsaufbau wäre beispielsweise der Anschluss von Druckstrebe zur Ankerwand.



Abb. 67: Wegsensor (Megatron, 2023)

### 6.7.3 Photogrammetrie Oberfläche

Mithilfe von Photogrammetrie kann ein maßstäbliches, dreidimensionales Modell des Versuchsaufbaus generiert werden. Dabei werden die 2D- und 3D-Daten der aufgenommenen Bilder verwendet, um die Oberfläche des umgebenden Geländes nachzubilden. Durch Erstellen von Modellen vor und während der Versuchsdurchführung können die Verformungen der Ankerwand erfasst werden.



Abb. 68: Photogrammetrie Geräte (Leica Geosystems, 2023)

### 6.7.4 Erddruckmessung

Mit einem Erddruckaufnehmer können die darauf wirkenden totalen Spannungen des Erdkörpers erfasst werden. Dabei wird das gleiche Prinzip wie bei Kraftmesszellen angewendet. Im Rahmen des vorliegenden Versuches kann mithilfe der Messungen des Erddruckaufnehmers auf mögliche Erddruckumlagerung im Bodenkörper geschlossen werden.



Abb. 69: Erddruckaufnehmer (Glötzl Baumesstechnik, 2023)

## 6.8 Versuchsablauf

Für die Durchführung des Versuches ist zunächst der Versuchsaufbau herzustellen. Zuerst wird die Baugrube ausgehoben und anschließend die Widerlagerwand errichtet. Im nächsten Schritt werden die beiden Stützwände seitlich der Stahlplattenwand inklusive deren Anschlüsse für die Stahlplatten vorbereitet, um anschließend die Stahlplattenwand zusammenzusetzen. Darauf folgt das Befestigen der Druckstreben an der Widerlagerwand und der Stahlplattenwand. Zuletzt ist die Baugrube schichtenweise verdichtet mit

sandigem Kies (GK 8-16) zu befüllen. Parallel zum Befüllen der Baugrube sind die Druckstreben auf die benötigte Druckkraft vorzuspannen.

Vor Versuchsstart sind sämtliche Messgeräte zu installieren und Nullmessungen durchzuführen.

Im Zuge der Versuchsdurchführung soll ein teilweiser oder vollständiger Ausfall einzelner Druckstreben simuliert werden. Um jenen Ausfall einer Druckstrebe zu erzeugen, ist diese zu „entspannen“. Die Messungen aller eingerichteten Messinstrumente sind in jedem Versuchsschritt zu dokumentieren. Mit diesen Messungen sollen mögliche Verschiebungen, Erddruckumlagerungen und Kraftumlagerungen in den Druckstreben erfasst werden. Aus diesen Informationen können Rückschlüsse auf die Vorgänge innerhalb des Versuchsaufbaus gezogen werden. Es wurden dazu im Vorfeld numerische Berechnungen gemacht auf diese bei der Auswertung des Versuches Bezug genommen wird.

## **6.9 Erwartete Ergebnisse und Erkenntnisse**

Im Zuge des Versuches sind erwartete Ergebnisse, dass eine qualitative Übereinstimmung der aus den Messungen erhaltenen Informationen und der daraus gezogenen Schlüsse mit den Daten der numerischen Berechnungen vorliegt. Damit einhergehend soll das Verständnis für die ablaufenden Prozesse im Zusammenhang mit Ankerwänden und jener durchgeführten Berechnungen vertieft werden. Dabei sollen insbesondere Erkenntnisse über die Erdumlagerungsprozesse, sowie die Umlagerung der Kräfte der Druckstreben gewonnen werden. Diese Erkenntnisse sollen in Zukunft bei der Beurteilung von schadhaften geankerten Konstruktionen behilflich sein.

## 7 Ankerdatenbank VÖBU

Um die Beurteilung des Erhaltungszustandes von Ankern und Zugelementen zu erleichtern, wurde im Zuge des „Forschungsprojektes NAT - Neuerungen in der Ankertechnik“ (2022) die Grundlage für eine Datenbank zu Zugelementen gelegt. Im Zuge dieser Masterarbeit wird diese entsprechend erweitert und verfeinert. Nachfolgend wird hierzu auf die Vorgehensweise bzw. auch auf die dabei erkannten Problemstellungen eingegangen.

Die Ankerdatenbank wurde vom Institut für Geotechnik und Bodenmechanik der Technischen Universität Graz entwickelt und wird durch die VÖBU (<https://www.voebu.at/>) betrieben. Ziel ist es, ein einfaches Tool für die Erfassung eines Ankersystems im Zuge einer Bauwerksprüfung zu schaffen. Im Zuge von Sanierungen von Ankerbauten, welche in den 1970er bis 1980er Jahren gebaut wurden, tritt oftmals das Problem auf, dass es keine (bzw. nur sehr geringe) Dokumentation der verwendeten Systeme gibt. Die Kopfausbildung kann einige Informationen über das verwendete Ankersystem geben, ohne großen Aufwand betreiben zu müssen. Hierbei kann die Ankerdatenbank behilflich sein. Diese beinhaltet eine umfassende Sammlung der in den letzten 60 Jahren zugelassenen Ankersysteme, deren Zulassungen gesichtet und eingearbeitet wurden. Neben Typ, Hersteller und Bezeichnung des Ankersystems wurden Informationen über die Art des Zugglieds, Geometrie des Ankerkopfes und Korrosionsschutz gesammelt.

### 7.1 Anwendungsbeispiel

Abb. 70 zeigt die Kopfausbildung eines Ankersystems, anhand dessen die Verwendung der Datenbank veranschaulicht werden soll. Zu sehen ist ein Vorspannanker als Litzenanker, dessen Litzen mit einer zylindrischen Keilscheibe befestigt sind. Um diese Informationen zu erhalten, ist lediglich die Haube des Ankerkopfes abzunehmen und die Korrosionsschutzmasse zu entfernen.

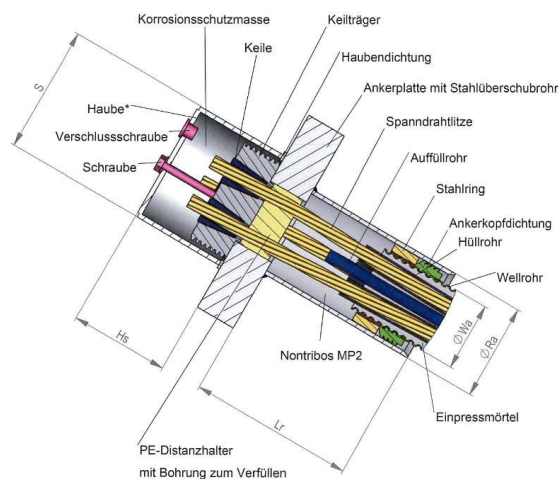


Abb. 70: Systemskizze eines Litzenwellrohrankers des Herstellers Bauer Spezialtiefbau (Bauer Spezialtiefbau, 2023)

In der Datenbank kann mithilfe der in Abb. 71 dargestellten 6 Filterkriterien die vorliegende Kopfausbildung beschrieben werden. Anschließend wird die Datenbank auf mögliche verwendete Ankersysteme durchsucht.

**Filterkriterien**

Hier kommen die Filterkriterien für die Ankersuche her, welche von VÖBU gewünscht werden.

<b>Typ</b>	<b>Ankertyp</b>	<b>Kopfausbildung</b>	<b>Form Kopf</b>	<b>Form Grundplatte</b>	<b>Zugglied</b>
Vorspannanker ▾	Litzenanker ▾	Keilscheibe ▾	zylindrisch ▾	lt. Statik ▾	Siebendraht-Spar ▾
<a href="#">Filter anwenden</a>		<a href="#">Filter zurücksetzen</a>			

Abb. 71: Filterkriterien der Datenbank

Hinsichtlich der Filterkriterien sind in den folgenden Unterpunkten einige Beispiele für Eingabeoptionen gegeben:

- Typ:  
Vorspannanker, Vorspannanker (Tragwerk), Bodennagel, Mikropfahl, etc.
- Ankertyp:  
Einstabanker, Litzenanker, Mikropfahl, Nägel, etc.
- Kopfausbildung:  
Ankerplatte mit Ankermutter, Ankerkonus mit Ankerkeilen, Keilscheibe, etc.
- Form Kopf:  
rechteckig, konisch, zylindrisch, etc.
- Form Grundplatte:  
rechteckig, quadratisch, rund, lt. Statik, etc
- Zugglied:  
Stabspannstahl mit Gewinderippung, Spannstahllitzen, Spannstahlbündel, etc.

In Abb. 72 ist ein Ausschnitt des Suchergebnisses der Datenbank dargestellt. Hier wird der für die Filterkriterien verwendete Vorspannankertyp „Daueranker Typ Litzenwellrohranker aus 2–12 Litzen“ gezeigt. Außerdem werden auch andere Ankertypen vorgeschlagen, die bei den gewählten Filterkriterien ebenfalls in Frage kommen.

ID	Nr	Bezeichnung	Typ	Ankertyp	Optionen
4	1005	Litzenwellrohranker 2-12	Vorspannanker	Litzenanker	<a href="#">Datenblatt HTML</a> <a href="#">Datenblatt PDF</a> <a href="#">Downloads</a>
6	1007	SUSPA-Felsanker	Vorspannanker	Litzenanker	<a href="#">Datenblatt HTML</a> <a href="#">Datenblatt PDF</a> <a href="#">Downloads</a>
7	1008	SUSPA-Kompaktanker für Fels und Boden	Vorspannanker	Litzenanker	<a href="#">Datenblatt HTML</a> <a href="#">Datenblatt PDF</a> <a href="#">Downloads</a>
21	1020	BAUER Verpressanker mit Stahlzuggliedern 2 - 12	Vorspannanker	Litzenanker	<a href="#">Datenblatt HTML</a> <a href="#">Datenblatt PDF</a> <a href="#">Downloads</a>
153	2052	Daueranker Typ Litzenwellrohranker aus 2-12 Litzen	Vorspannanker	Litzenanker	<a href="#">Datenblatt HTML</a> <a href="#">Datenblatt PDF</a> <a href="#">Downloads</a>

Abb. 72: Suchergebnisse der Datenbank



Abb. 73 zeigt ein Datenblatt, welches über die Ankerdatenbank abrufbar ist und die genannten Informationen beinhaltet. Zusätzlich sind meist eine Systemskizze und eine Ansicht des Ankerkopfes abgebildet. Somit kann der Anwender mit wenig Aufwand direkt auf der Baustelle herausfinden um welchen Ankertyp es sich handelt.

Datenblatt Verankerung  
Forschungsprojekt NAT - Neuerungen in der Ankertechnik

### DATENBLATT VERANKERUNG

Typ	Vorspannanker		
Hersteller	BAUER Spezialtiefbau GmbH		
Bezeichnung	Daueranker Typ Litzenwellrohranker aus 2-12 Litzen		
Ankertyp	Litzenanker		
Nutzung			

#### Geometrie Ankerkopf

Kopfausbildung	Keilscheibe		
Form Kopf	zylindrisch		
Grundplatte		lt. Statik	mm
		lt. Statik	mm
		lt. Statik	mm
Keilscheibe	D		mm
	h		mm
	G		-
Mutter	s	-	mm
	h	-	mm
	e	-	mm

#### Zugglied

Art	Siebendraht-Spannstahlitzen		
Material	St 1570/1770, St 1660/1860		
Anzahl		2	Stk.
		12	Stk.
Durchmesser		15.3	mm
		15.7	mm
Fläche		140	mm <sup>2</sup>
		150	mm <sup>2</sup>
Zugfestigkeit [N/mm] <sup>2</sup>		1770	-
Streckgrenze [N/mm] <sup>2</sup>		1570	-

#### Korrosionsschutz

Kopf (außen)	Korrosionsschutzmasse + Kappe		
Kopf (innen)	Korrosionsschutzmasse im Stahlüberschubrohr		
Zugglied	Korrosionsschutzmasse + PE-Mantel		
Anmerkung			

#### Ankersystemlieferant

Name			
PLZ / Ort			
Anmerkung			

### SYSTEMSKIZZEN

**Systemquerschnitt**

**Ansicht Ankerkopf**

**Anmerkungen**

**Unterlagen**

Abb. 73: Datenblatt aus der Ankerdatenbank

## 7.2 Mögliche Anwendungsprobleme

Wenn Filterkriterien aufgrund von fehlenden Informationen vor Ort nicht eingegeben werden können, kann die Suche trotzdem durchgeführt werden. Es werden alle möglichen Ankertypen ausgegeben, die anhand der eingegebenen Kriterien relevant sind. Je weniger Filterkriterien eingegeben werden, desto mehr Suchergebnisse werden angezeigt. Das hat den Nachteil, dass der Anwender die Suchergebnisse nach dem vorliegenden Ankersystem mühsam durchsuchen muss.

Weiters kann das Eingeben der Filterkriterien zu Problemen bei der Suche führen. Beispielsweise wurde das Filterkriterium „Form Grundplatte“ im obigen Anwendungsbeispiel „lt. Statik“ gewählt, dies hat den Grund, dass in sämtlichen Zulassungen bei der Form der Ankerplatte auf die Statik verwiesen wird. Wenn bei einer vorliegenden quadratischen Ankerplatte bei der Eingabe der Filterkriterien für „Form Grundplatte“ „quadratisch“ gewählt wird und in der Datenbank die Form der Grundplatte für das vorliegende Ankersystem mit „lt. Statik“ hinterlegt ist, wird das gesuchte Ankersystem bei den Suchergebnissen nicht angezeigt.

## 7.3 Probleme bei der Datenaufbereitung

Die Definition der Filterkriterien der Ankersysteme stellte bei der Einarbeitung der Datenblätter eine Schwierigkeit dar. Für jedes zugelassene Ankersystem gibt es verschiedene Ausführungsvarianten. Wie oben erwähnt gibt es beispielsweise diverse Ausführungsformen für die Grundplatte. Ähnlich verhält es sich bei der Kopfausbildung. Deshalb wurden bei vielen Ankersystemen bei den Filterkriterien mehrere Ausführungsformen angeführt. Im Zuge der Weiterentwicklung der Ankerdatenbank soll diese Problematik behoben werden, indem für jede Ausführungsform ein eigenes Datenblatt erstellt wird.

## 7.4 Erweiterung der Datenbank

Die Ankerdatenbank soll in Zukunft stetig verbessert und erweitert werden. Die aktuell vorhandenen 6 Filterkriterien könnten ergänzt werden, hierfür würde sich beispielsweise die Anzahl der vorhandenen Zuglieder anbieten. Weiters wäre angedacht für die diversen Ankersysteme häufig anzutreffende Schadensfälle einzuarbeiten. In Kombination zu den Schadensfällen können die durchgeführten Sanierungsmaßnahmen erläutert werden. Die Informationen, die der Anwender über die Ankerdatenbank abrufen kann, sollen unterstützend für die Wahl von Prüfungsmethoden und in weiterer Folge auch für Sanierungsmaßnahmen sein.



## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Beurteilung von schadhafte geankerten Konstruktionen untersucht. Im Zuge dessen wurden verschiedene Konstruktionstypen und deren Lastableitungsmechanismen näher betrachtet sowie diverse Schadensmechanismen erläutert, welche insbesondere für geankerte Konstruktionen relevant sind. Dabei wurde auf die Zuverlässigkeit der Tragfähigkeit einer Konstruktion eingegangen, wobei diese sehr stark von der Zuverlässigkeit der Zügelemente abhängt. Eine Abnahme dieser lässt sich meist auf Korrosion zurückführen, weshalb auf diesen Schadensmechanismus der Fokus gelegt wurde. Bei der Betrachtung von schadhafte geankerten Konstruktionen ist deshalb besonders auf die Verankerungen zu achten. Veränderungen in der Lastableitung der Verankerungen bewirken Umlagerungen in der Konstruktion, welche im besten Fall durch Risse und Verschiebungen an der Konstruktion sichtbar werden. Diese können im Zuge der Überwachung, Kontrolle oder Prüfung des Bauwerks erkannt werden und zum Setzen von Maßnahmen zur Erhaltung führen. Weiters wurde untersucht, wie geankerte Konstruktion gemäß den aktuell gültigen Richtlinien zu überwachen sind. Zusätzlich wurden verschiedene Untersuchungen und Methoden zur Zustandserfassung veranschaulicht.

Um die Umlagerungsprozesse einer schadhafte geankerten Konstruktion in einer weiterführenden Arbeit zu erforschen, wurde ein Konzept für einen Versuchsaufbau entworfen. Dieses Konzept beinhaltet die Verwendung von diversen Messgeräten zur Überwachung von Verschiebungen, Kraftänderungen und anderen Vorgängen während eines möglichen Versuchsablaufes. Hierzu wurden zudem die maßgebenden Bauteile einer geankerten Konstruktion beschrieben und die Arten der geankerten Konstruktionen in Bezug auf deren Tragverhalten und die Lastableitungsmechanismen hin untersucht.

Neben der Ausarbeitung der aktuellen Literatur und den Richtlinien zu diesem Thema, wurde die VÖBU Ankerdatenbank erweitert. Mit Hilfe der neu eingearbeiteten Datenblätter von verschiedensten Ankersystemen wird dem Anwender ein umfangreiches Nachschlagewerk für Zulassungen von allen dokumentierten eingebauten Ankersystemen zur Verfügung gestellt. Diese Datenbank dient als umfassende Grundlage für zukünftige Entwicklungen und Erweiterungen. Vor allem bei fehlenden Unterlagen zu Bauwerken bzw. den Zügelementen kann hiermit zukünftig eine zutreffende Aussage zum Ankertyp gegeben werden. Zudem wird durch die Bereitstellung von technischen Dokumenten und Zulassung sichergestellt, dass diese Informationen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten aber auch einer praktischen Anwendung herangezogen werden können.

## 9 Literaturverzeichnis

Adam, D., Bergmeister, K. und Florineth, F. (2007), „Betonkalender 2007. Teil 1, 96 Ausgabe“.

ANP Systems (2023), „ANP Litzenanker“, verfügbar unter [https://www.anp-systems.at/fileadmin/user\\_upload/downloads/zulassungen/BMVIT-327120\\_0008\\_18\\_ANP\\_Litzenanker\\_dt\\_2023-09-13.pdf](https://www.anp-systems.at/fileadmin/user_upload/downloads/zulassungen/BMVIT-327120_0008_18_ANP_Litzenanker_dt_2023-09-13.pdf) (Zugriff am 26. Mai 2023).

*ASTRA 12002: Überwachung und Unterhalt der Kunstbauten der Nationalstraßen* (2005).

*ASTRA 12005 Richtlinie Boden- und Felsanker V3.13* (2022), Bundesamt für Strassen ASTRA, Bern.

Bauer Spezialtiefbau (2023), „Bauer Spezialtiefbau“, verfügbar unter [https://www.bauer-spezialtiefbau.at/de/construction\\_methods/anker/](https://www.bauer-spezialtiefbau.at/de/construction_methods/anker/) (Zugriff am 12. März 2023).

Bergmeister, K., Fingerloos, F. und Wörner, J. (2014), „Beton-Kalender 2013: Lebensdauer und Instandsetzung-Behälter, 2. Auflage“.

Boley, C. (Hg.) (2012), *Handbuch Geotechnik*, Vieweg+Teubner, Wiesbaden.

Daxer, H.-P. (2020), „The behaviour of anchored structures affected by the failure of ground anchors“, Master's Thesis, Institute of Soil Mechanics, Foundation Engineering and Computational Geotechnics, Technisches Universität Graz, Graz, 2020.

*DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen* (2014).

Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (2017), *Ist-Zustandserfassung von Parkbauten in Betonbauweise: Merkblatt 39*, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Berlin.

*EAD 16004-00-0301* (2016).

*ETAG 013* (2002).

Feder, G., Zitter, H., Lederer, K., Maurer, K., Schubert, P., Rabensteiner, K. und Golser, J. (1987), „Korrosionssicherheit vorgespannter Tiefenanker.“,

*Schriftenreihe Straßenforschung des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie*, Nr. Heft 321.

(2022), „Forschungsprojekt NAT - Neuerungen in der Ankertechnik. Abschlussbericht“.

*FSV Arbeitspapier Nr. 33 Sonderprüfmethoden für geankerte Konstruktionen und Zugelemente* (2022), Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien.

Glötzl Baumesstechnik (2023), „Glötzl Baumesstechnik“, verfügbar unter <http://www.gloetzl.de/fileadmin/produkte/1%20Messwertaufnehmer/1%20Druck%20und%20Spannung/P%20016.00%20Erd-%20und%20Porenwasserdruck%20PEP%20de.pdf> (Zugriff am 15. März 2023).

Haiderbau (2022), „Haiderbau“, verfügbar unter <https://haiderbaut.at/projekt/arge-a10-ins-ankerwand-pirkeggen-stm-gries/> (Zugriff am 21. Oktober 2022).

Hanel, J. und Prehn, W. (Hg.) (2006), *Beurteilung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von dauerhaft rückverankerten Bauwerken*, Ernst & Sohn, Gelsenkirchen.

helmut-fischer (2023), „DMP10-40“, verfügbar unter <https://www.helmut-fischer.com/de/produkte/dmp10-40> (Zugriff am 15. Mai 2023).

Leica Geosystems (2023), „Leica Geosystems“, verfügbar unter <https://shop.leica-geosystems.com/de/de-DE/leica-blk/blk3d/blk3d-field-controller> (Zugriff am 15. März 2023).

Lorenz Messtechnik GmbH (2023), „Druckkraftsensor“, verfügbar unter <https://www.lorenz-messtechnik.de/deutsch/produkte/kraftsensoren.php> (Zugriff am 13. Mai 2023).

Lutz, A. (2011), „SIA 269/7 Erhaltung von Verankerungen am Beispiel Riedsort“.

Matt, U., „Instandsetzung bestehender verankerter Bauwerke“.

Megatron (2023), „Megatron“, verfügbar unter [https://www.megatron.de/fileadmin/user\\_upload/Datenblaetter/Wegsensoren/Potentiometrische/DS\\_RC20\\_dt.pdf](https://www.megatron.de/fileadmin/user_upload/Datenblaetter/Wegsensoren/Potentiometrische/DS_RC20_dt.pdf) (Zugriff am 15. März 2023).

- Möller, G. (Hg.) (2016), *Geotechnik Grundbau*, 3. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin.
- Müller, H. S. und Vogel, M. (2011), „Lebensdauerbemessung im Betonbau“.
- Nürnberger, U. (Hg.) (1995), *Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen Band 1*, Bd. 1, Bauverlag, Wiesbaden.
- ÖNORM B 1997-1-1 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1 (2021), Austrian Standards Institute, Wien.
- ÖNORM B 4434 Erd- und Grundbau Erddruckberechnung (1993), Austrian Standards Institute, Wien.
- ÖNORM B 4455 Vorgespannte Anker für Locker- und Festgesteine, Austrian Standards Institute, Wien.
- ÖNORM EN 1537 Ausführungen von Arbeiten im Spezialtiefbau - Verpressanker (2015), Austrian Standards Institute, Wien.
- ÖNORM EN 1990 Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung (2013), Austrian Standards Institute, Wien.
- ÖNORM EN 1992-1-1 Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken (2011), Austrian Standards Institute, Wien.
- ÖNORM EN 1997-1 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik (2014), Austrian Standards Institute, Wien.
- ÖNORM EN 445 Einpressmörtel für Spannglieder - Prüfverfahren (2008), Austrian Standards Institute, Wien.
- ÖNORM EN ISO 18674, Austrian Standards Institute, Wien.
- ÖNORM EN ISO 2178 Nichtmagnetische Überzüge auf magnetischen Grundmetallen - Messen der Schichtdicke - Magnetverfahren (2016), Austrian Standards Institute, Wien.
- ÖNORM EN ISO 22477-5 Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Prüfung von geotechnischen Bauwerken und Bauwerksteilen (2019), Austrian Standards International, Wien.

- ÖNORM EN ISO 3497 Metallische Schichten - Schichtdeckenmessung - Röntgenfluoreszenz-Verfahren* (2001), Austrian Standards Institute, Wien.
- ÖNORM EN ISO 4499 Hartmetalle - Metallographische Bestimmung der Mikrostruktur*, Austrian Standards Institute.
- ÖNORM EN ISO 6506*, Austrian Standards Institute, Wien.
- ÖNORM EN ISO 6507*, Austrian Standards Institute, Wien.
- ÖNORM EN ISO 6508*, Austrian Standards Institute, Wien.
- ÖNORM EN ISO 6892-1 Metallische Werkstoffe - Zugversuch: Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur* (2019), Austrian Standards Institute, Wien.
- ÖNORM EN ISO 7438 Metallische Werkstoffe - Biegeversuch* (2021), Austrian Standards Institute, Wien.
- ÖNORM EN ISO 8044 Korrosion von Metallen und Legierungen - Grundbegriffe* (2020), Austrian Standards Institute, Wien.
- Rebhan, M. J. (2019), „Korrosionsschäden bei Winkelstützmauern“, Dissertation, Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik, Technische Universität Graz, Graz, 2019.
- RVS 13.03.01: Monitoring von Brücken und anderen Ingenieurbauwerken* (2022).
- RVS 13.03.11: Straßenbrücken* (2021).
- RVS 13.03.21 Geankerte Konstruktionen* (2022), Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien.
- Sabatini, P. J., Pass, D. G. und Bachus, R. C. (1999), „Geotechnical Engineering Circular No. 4: Ground anchors and anchored systems,“.
- Scharf, M., Zopf, P., Edler, J., Haas, F., Stadlbauer, J., Zöhrer, A., Kulmer, R., Marte, R. und Rebhan, M. (2023), „Automatisierung und Digitalisierung der Abhebekontrolle von Verpressankern. Maschinenbau meets Geotechnik.“, 37. *Christian Veder Kolloquium*.

- schuetz+licht (2023), „Biegeversuch Kunststoff“, verfügbar unter <https://www.schuetz-licht.de/anwendungen/biegeversuch/370/iso-178-biegeversuch-kunststoff> (Zugriff am 15. Mai 2023).
- Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (2020), *SIA 261 Einwirkungen auf Tragwerke*, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- Spantec GmbH (2023), „Spantec GmbH“, verfügbar unter <https://www.spantec-gmbh.de/de/downloads/approvals/> (Zugriff am 26. Mai 2023).
- SPEBA Innovative Bautechnik (2022), „SPEBA Querkraftdorn“, verfügbar unter [http://www.speba.de/images/downloads/SPEBA\\_Querkraftdorn\\_Q1.pdf](http://www.speba.de/images/downloads/SPEBA_Querkraftdorn_Q1.pdf) (Zugriff am 14. Oktober 2022).
- Stahr, M. (Hg.) (2011), *Bausanierung: Erkennen und Beheben von Bauschäden*, 5. Auflage, Vieweg+Teubner/Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- (1991), „Straßenforschung Heft 397: Schnellbeurteilung korrosionsbeanspruchter Spannlitzen“.
- Struers (2023), „Metallische Gefüge und ihre mikroskopische Untersuchung“, verfügbar unter <https://www.struers.com/de-DE/Knowledge/Materials/Metallic-grain-structures#> (Zugriff am 15. Mai 2023).
- STZ Tribologie Steinbeis Transfer Zentrum (2023), „Härteprüfung Rockwell“, verfügbar unter <https://steinbeis-analysezentrum.com/rockwell-haertepruefung/#toggle-id-3> (Zugriff am 15. Mai 2023).
- Vismann, U. (Hg.) (2018), *Wendehorst - Bautechnische Zahlentafeln*, 36. Auflage, Springer Vieweg, Aachen.
- Vorspann-Technik GmbH (1999), *Litzenspannverfahren Vorspann-Technik VT 100*, Berlin.
- Weber, S. (Hg.) (2013), *Betoninstandsetzung: Baustoff - Schadensfeststellung - Instandsetzung*, 2. Auflage, Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Weißbach, W., Dahms, M. und Jaroscheck, C. (Hg.) (2015), *Werkstoffkunde*, 19. Auflage, Springer Vieweg, Bielefeld, Flensburg, Braunschweig.
- Wichter, L. und Meininger, W. (Hg.) (2000), *Verankerungen, Vernagelungen im Grundbau*, Ernst & Sohn, Cottbus und Stuttgart.

Wichter, L. und Meininger, W. (Hg.) (2022), *Verankerungen, Vernagelungen und Mikropfähle in der Geotechnik*, 2. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin.

Wilhelm, T. (2014), „Wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion“, Dissertation, Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden, Dresden, 2014.

Witt, K. J. (Hg.) (2018), *Grundbau Taschenbuch Teil 3*, Ernst & Sohn, Weimar.

Zwick/Roell (2023), „ISO 15630-3: Prüfung von Spannlitzen“, verfügbar unter <https://www.zwickroell.com/de/branchen/metall/normen-metall/spannlitzen-iso-15630-3-astm-a416-astm-a1061/> (Zugriff am 15. Mai 2023).