



AUSTRIAN
SOCIETY FOR
GEOMECHANICS



ÖSTERREICHISCHE
GESELLSCHAFT FÜR
GEOMECHANIK

Empfehlungen zur vertieften Prüfung und Beurteilung bestehender, unverankerter Stützbauwerke

2018



EMPFEHLUNGEN

**zur vertieften Prüfung und Beurteilung
bestehender, unverankerter Stützbauwerke**

Leitung

Marte Roman Technische Universität Graz

Koordination

Rebhan Matthias J. Technische Universität Graz

Mitglieder des Arbeitskreises *(in alphabetischer Reihenfolge)*

Brünner Paul	Brünner ZT GmbH
Czizsek Reinhold	Asfinag Service GmbH
Gabl Thomas	Asfinag Alpenstraßen GmbH
Hartl Helmut	Land Burgenland Referat Brückenerhaltung
Horvatits Johann	BMVIT
Irnberger Bernhard	Landesstraßenverwaltung Land Salzburg
Kammersberger Andreas	Landesstraßenverwaltung Land Steiermark
Karigl Walter	Asfinag Service GmbH
Kitzler Christian	IGT Geotechnik und Tunnelbau
Lienhart Werner	Technische Universität Graz
Marcher Thomas	Skava consulting ZT GmbH
Marte Roman	Technische Universität Graz
Neuburg Dirk	Stadt Wien MA 29
Rebhan Matthias J.	Technische Universität Graz
Scharinger Florian	GDP ZT GmbH
Schippinger Kurt	Schippinger ZT GmbH
Schuch Markus	ÖBB Infrastruktur AG
Stadler Christian	KMP ZT GmbH
Stern Jürgen	ÖBB Infrastruktur AG

Layout

Kluckner Alexander Technische Universität Graz

Rebhan Matthias J. Technische Universität Graz

Diese Empfehlungen zur vertieften Prüfung und Beurteilung bestehender, unverankerter Stützbauwerke wurden zum Zwecke des Reviews allen Mitgliedern der Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik zur Verfügung gestellt. Sämtliche Rückmeldungen wurden bearbeitet und die Ergebnisse den Reviewern zur Verfügung gestellt.

© ÖGG Salzburg 7. März 2018

INHALTSVERZEICHNIS	Seite
Inhaltsverzeichnis	V
1. VORWORT	1
2. Zielsetzung und ANWENDUNGSBEREICH	1
3. BEGRIFFE, STÜTZBAUWERKE & ERHALTUNGSSTRATEGIEN	2
3.1. Begriffe	2
3.2. Stützbauwerke	3
3.3. Erhaltungsstrategie	8
4. NORMEN UND MATERIALIEN	9
4.1. Lasten	9
4.2. Geotechnische Bemessung	10
4.3. Bemessung Betonbauteile	12
4.4. Geotechnische Werkstoffe	13
4.5. Weitere Grundlagen für geotechnische Bauwerke	13
5. SCHADENSBILDER UND VERSAGENSMECHANISMEN	14
5.1. Bauwerksdaten	14
5.2. Systemverhalten von Stützbauwerken	14
5.3. Schadensbilder und Schadensursachen	15
6. VERTIEFTE ZUSTANDSERFASSUNG / BAUWERKSÜBERWACHUNG	22
6.1. Bestimmung von Kennwerten und Kenngrößen	22
6.2. Handnahe Begutachtung	23
6.3. Zerstörungsfreie Untersuchungsmethoden	23
6.4. Zerstörende Untersuchungsmethoden	25
6.5. Untersuchungen im Nahbereich des Objektes	26
6.6. Sonstige Untersuchungsmethoden	26
6.7. Beobachtungsmethode, Monitoring und Messtechnik	27
6.8. Ergebnisse & Maßnahmen	30
7. RISIKOBEWERTUNG	32
7.1. Allgemeines	32
7.2. Vereinfachte Risikobewertung	32
7.3. Vertiefte Risikobewertung	33
Anhang A – Untersuchungsmethoden	34

Anhang B – Messinstrumente	38
LITERATURVERZEICHNIS	44

Die in diesem Dokument verwendeten Begriffe „Ingenieur / Geotechniker“ gelten gleichwertig sowohl für weibliche als auch männliche Personen.

1. VORWORT

Aufgrund des zunehmenden Alters vieler Stützbauwerke und Stützkonstruktionen in Österreich stellen die Erhaltung, Prüfung und Beurteilung derartiger Bauwerke eine zunehmende Herausforderung sowohl an die Bauwerkserhalter als auch an die mit der Umsetzung dieser Aufgaben befassten Ingenieure dar.

Die hier vorgelegten Empfehlungen sollen dem Ingenieur als Leitfaden bei der Bearbeitung von bestehenden, unverankerten Stützbauwerken dienen. Bauwerkserhalter sollen den Empfehlungen Informationen und Anregungen entnehmen können, die eine fachgerechte Erhaltung und Instandsetzung dieser Bauwerke ermöglichen. Nicht zuletzt soll durch eine Zusammenfassung des vorhandenen Fachwissens die interdisziplinäre Zusammenarbeit in diesem Bereich gefördert und gleichzeitig vereinfacht werden.

Diese Empfehlungen sollen dem erfahrenen Ingenieur und / oder Geotechniker als Hilfsmittel bei der vertieften Zustandserfassung und Beurteilung von unverankerten Stützbauwerken dienen. Zusätzlich sollen die Empfehlungen auch den Erhaltungsverpflichteten, wie Bund, Länder, Gemeinden oder Gesellschaften zur Verfügung stehen und angewendet werden.

2. ZIELSETZUNG UND ANWENDUNGSBEREICH

Ziel dieser Empfehlungen ist, die erforderlichen Grundlagen für die vertiefte Zustandserfassung und Beurteilung in begründeten Verdachtsfällen in Form einer Sonderprüfung gemäß RVS 13.03.61 [3] und/oder im Rahmen einer Nachrechnung gemäß ONR 24008 [1] in übersichtlicher Form darzustellen. Hierbei sollen die wesentlichen Schadensbilder von unverankerten Stützbauwerken verdeutlicht werden. Weiters wird aufbauend auf RVS 13.03.01 [2] ein Einblick in ein mögliches Monitoring von bestehenden, unverankerten Stützbauwerken gegeben und um die speziellen Anforderungen für unverankerte Stützbauwerke sowie geotechnische, konstruktive und geodätische Randbedingungen erweitert.

Für die Zustandsbewertung ist ausschließlich das Notensystem der RVS 13.03.61 [3] zu verwenden. Bei der Ertüchtigung von Stützbauwerken oder bei der Erneuerung von Einzelbauteilen (mit wesentlichem Einfluss auf das Tragverhalten) sind für die Planung und Ausführung die aktuell gültigen normativen Vorgaben zu berücksichtigen. Die Anwendbarkeit für geankerte Konstruktionen ist zu prüfen.

3. BEGRIFFE, STÜTZBAUWERKE & ERHALTUNGSSTRATEGIEN

3.1. Begriffe

Die Definitionen für die Begriffe Bestandsbauwerk, Erneuerung, Ertüchtigung, Inspektion, Instandhaltung, Instandsetzung, Risiko, Sollzustand, Tragfähigkeit, Versagenswahrscheinlichkeit, Wartung und Zuverlässigkeit sind der ONR 24008 - *Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken* [1] zu entnehmen.

Die Definitionen für die Begriffe Bauwerksprüfung, Bauwerksüberwachung, Befund, Dauerhaftigkeit, Gebrauchstauglichkeit, Mangel, Maßnahmenumsetzung, Schaden, Tragfähigkeit, Verkehrssicherheit, Zuverlässigkeit sind der RVS 13.03.11 *Qualitätssicherung bauliche Erhaltung, Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten, Straßenbrücken* [4] zu entnehmen.

Die Definitionen für die Begriffe Erstprüfung und Wiederholungsprüfung sind der RVS 06.02.41 *Leistungsbilder, Bestandsprüfung, Brücken und Überbauungen, Ziel- und Aufgabenbeschreibung* [5] zu entnehmen.

Die Definitionen für die Begriffe Bauteil, Bauteilbewertung, Bewertung des Erhaltungszustandes, Kontrolle, Laufende Überwachung, Nicht geankerte Stützbauwerke, Objektbewertung, Prüfung und Sonderprüfung sind der RVS 13.03.61 *Qualitätssicherung bauliche Erhaltung, Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten, Nicht geankerte Stützbauwerke* [3] zu entnehmen.

Weitere Definitionen betreffend die Bauwerksdaten sind der RVS 13.04.13 *Qualitätssicherung bauliche Erhaltung, Bauwerksdatenbank, Mauern und geankerte Konstruktionen* [6] zu entnehmen.

Die Definitionen für die Begriffe handnahe und augenscheinliche/visuelle Untersuchung sind der RVS 06.02.42 *Leistungsbilder, Bestandsprüfung, Brücken und Überbauungen, Aufwand- und Kostenabschätzung* [7] zu entnehmen.

Die Definitionen für die Begriffe Bewehrter Beton und Stahlbeton sind der (mittlerweile zurückgezogenen) ÖNORM B 4200 (Teil 3 [8], Teil 9 [9] und Teil 10 [10]) zu entnehmen.

Der Begriff Monitoring von Ingenieurbauten ist der RVS 13.03.01 *Qualitätssicherung bauliche Erhaltung, Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten, Monitoring von Brücken und anderen Ingenieurbauten* [2] zu entnehmen. In den hier vorliegenden ÖGG Empfehlungen wird der Begriff Monitoring allgemein und weiterreichender verwendet. Im Speziellen bezieht sich das Kapitel 6.7 nicht nur auf das klassische, in RVS 13.03.01 erwähnte Monitoring, sondern auch ebenfalls auf die Beobachtungsmethode nach Eurocode 7 [11] und andere, in der Praxis gängige Methoden zur Erfassung von Änderungen am Bauwerkszustand.

Die Definitionen für die Begriffe Lebenszyklus, Lebenszykluskosten und Nutzungsdauer sind der RVS 13.05.11 *Qualitätssicherung bauliche Erhaltung, Planung und Entwurf, Lebenszykluskosten* [12] zu entnehmen.

3.2. Stützbauwerke

Bei Stützbauwerken im Kontext mit diesen Empfehlungen handelt es sich im Allgemeinen um die nach Eurocode 7 [11] definierten Hauptarten der Gewichtsstützwände, im Boden einbindenden Wände und der zusammengesetzten Stützkonstruktionen. Im Zusammenhang mit diesen Empfehlungen werden folgende Stützbauwerke betrachtet:

- Gewichtskonstruktionen
 - Gewichtsmauer
 - Raumgitterkonstruktion und Krainerwand
 - Gabionenwand
 - Steinstützkörper
 - Bewehrte Erde Konstruktion
- Winkelstützmauer
- Schlitzwand
- Pfahlwand
- Brunnenwand

Bei im Boden einbindenden Wänden sei angemerkt, dass es sich hier lediglich um die unverankerten Typen dieser Konstruktionsart handelt. Bei größeren Höhen und schwierigen Untergrund- und Belastungssituationen wurden häufig Zugglieder als zusätzliche Aussteifung in derartige Konstruktionen eingebaut. Die im Zusammenhang mit dieser Empfehlung angeführten Randbedingungen sind lediglich für ungeankerte Konstruktionen anwendbar.

Flügelmauern, als Teil der Widerlagerkonstruktion von Brücken, sind im Allgemeinen durch die Inhalte der RVS 13.03.11 [4] geregelt. In manchen Fällen ähnelt das Verhalten und die Schadensbilder derartiger Bauwerke jenem der in diesen Empfehlungen angeführten Stützkonstruktionen, weshalb eine genaue Abgrenzung nicht möglich ist. In der gegenständlichen Empfehlung wird nicht gesondert auf Flügelmauern eingegangen, für ein Stützbauwerken ähnliches Verhalten können die Inhalte jedoch sinngemäß Anwendung finden.

Die nachfolgend angeführten Inhalte und Abbildungen stellen keine Planungs- oder Bemessungsgrundlage dar und dienen lediglich der Veranschaulichung der in diesen Empfehlungen abgehandelten Stützbauwerkstypen.

3.2.1. Gewichtskonstruktionen

Stützkonstruktionen, bei welchen die aus Horizontallasten (z.B. Erddruck) wirkenden Kräfte durch das Eigengewicht der Konstruktion bzw. mobilisierte Erdauflasten in den Untergrund abgeleitet werden. Betonbauwerke dieses Typs sind im Allgemeinen un- oder gering bewehrt ausgeführt.

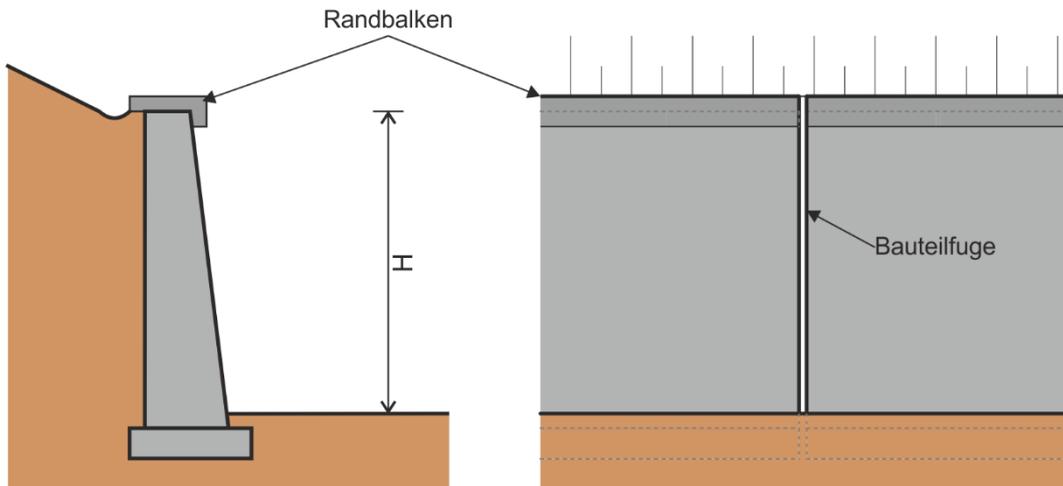


Abb. 1: Schnitt und Längsansicht einer Gewichtsmauer

3.2.2. Raumgitterkonstruktion und Krainerwand

Bei diesen Stützkonstruktionen wird der Gewichtskörper durch erdgefüllte, kraftschlüssig miteinander verbundene, räumlich angeordnete, stabförmige Konstruktionselemente hergestellt.

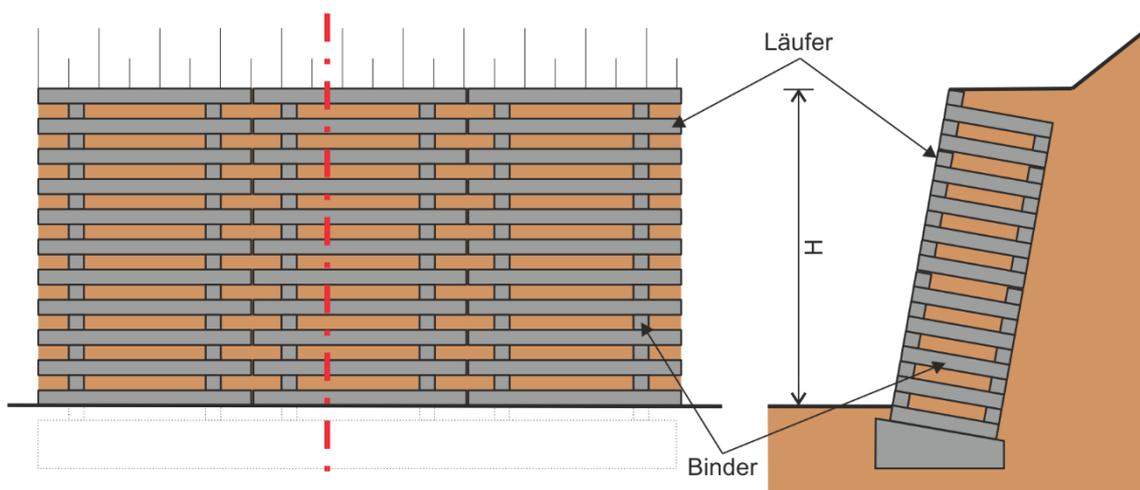


Abb. 2: Ansicht und Schnitt einer Raumgitterkonstruktion

3.2.3. Gabionenwand

Bei dieser Art der Stützkonstruktion wird der Gewichtskörper durch mit Steinmaterial gefüllte Drahtkörbe hergestellt. Als ähnliche Systeme kommen auch Betonfertigteilsteine und Steinstützkörper zur Anwendung.

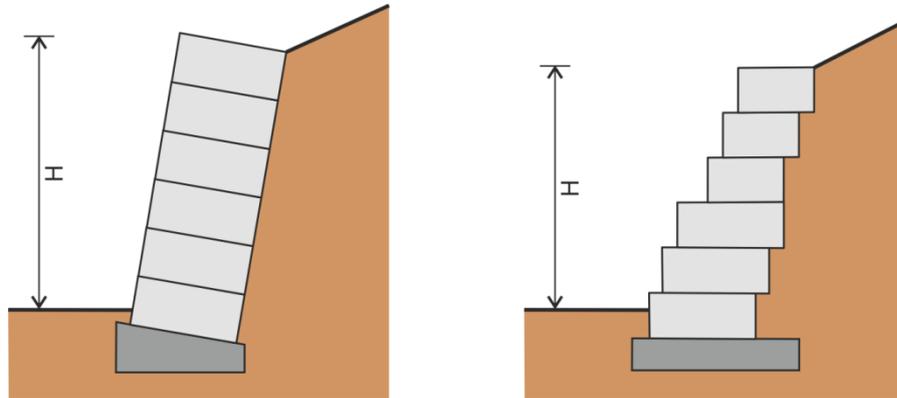


Abb. 3: Schnitt einer geneigten und einer abgetrepten Gabionenwand

3.2.4. Steinstützkörper

Gewichtskörper, welche aus großblockigen Steinen, vermörtelt oder unvermörtelt, direkt auf ausreichend tragfähigem Untergrund oder einem tragfähigen Fundament gegründet sind. Die äußere Standsicherheit betreffend weisen diese Typen ein den Gewichtsmauern (siehe 3.2.1) ähnliches Verhalten auf.

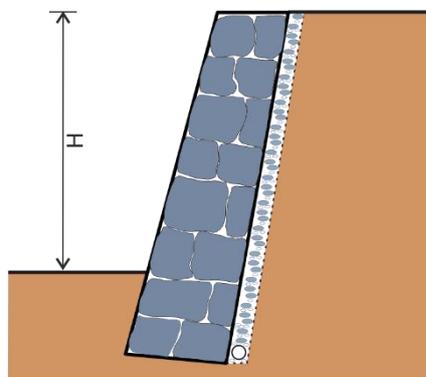


Abb. 4: Schnitt eines Steinstützkörpers

3.2.5. Bewehrte Erde Konstruktion

Bei dieser Konstruktion wird ein Stützkörper aus Schüttmaterial und (flächenförmigen) Bewehrungselementen (z.B. Geotextil, Stahleinlage) hergestellt.

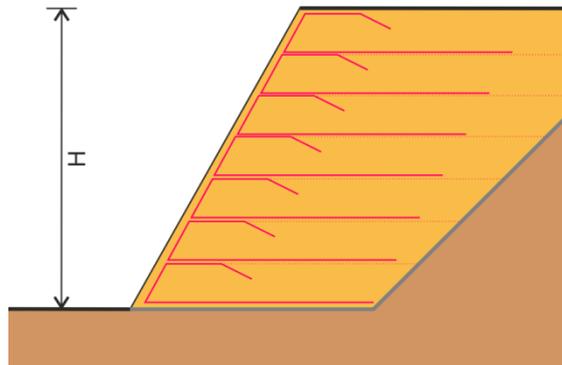


Abb. 5: Schnitt einer Bewehrte Erde Konstruktion

3.2.6. Winkelstützmauer

Hier handelt es sich in der Regel um schlanke Stahlbetonkonstruktionen, welche die auftretenden Belastungen vorwiegend über Biegung und Querkraft abtragen. Zu beachten ist im Zusammenhang mit diesen Bauwerken vor allem die Unterscheidung zwischen der äußeren und der inneren Standsicherheit des Bauwerks. Dies ist sowohl bei der Abbildung der Schadensmechanismen, als auch beim zu wählenden Erddruckansatz für eventuelle Nachrechnungen zu berücksichtigen.

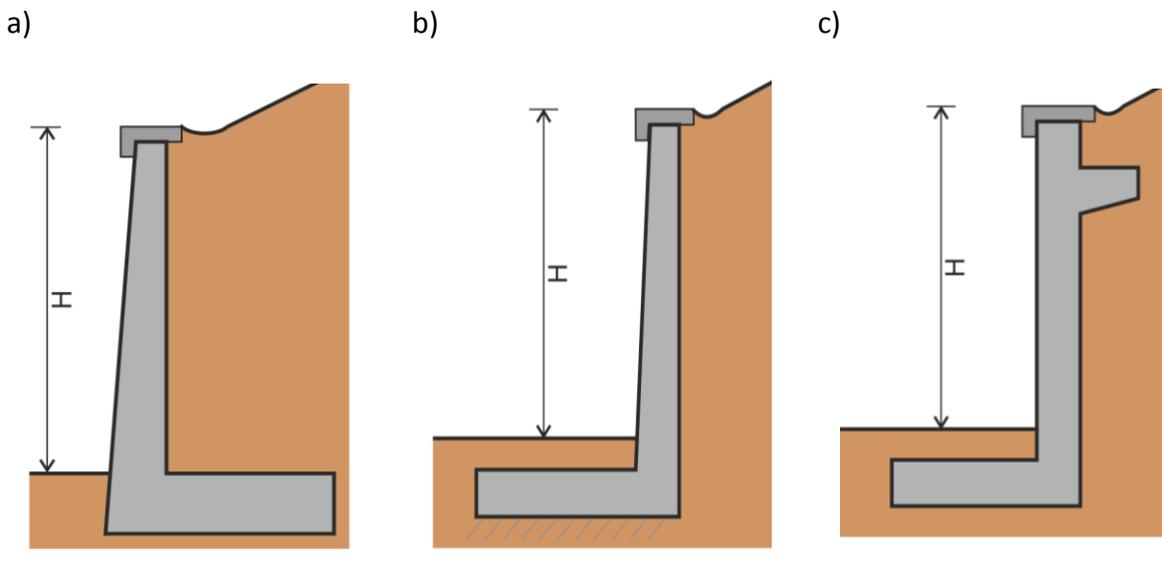


Abb. 6: Schnitt Winkelstützmauer – a) Schenkel erdseitig b) Schenkel luftseitig c) mit Sporn

Neben den hier dargestellten Formen des erd- und luftseitigen Schenkels können ebenfalls Mischformen dieser Konstruktionsart auftreten.

3.2.7. Schlitzwand

Schlitzwände sind flächenförmige, tief gegründete Stützwandelemente, welche die einwirkenden Kräfte durch eine Einspannung sowie eine eventuelle vertikale Auflagerung in den Untergrund einleiten.

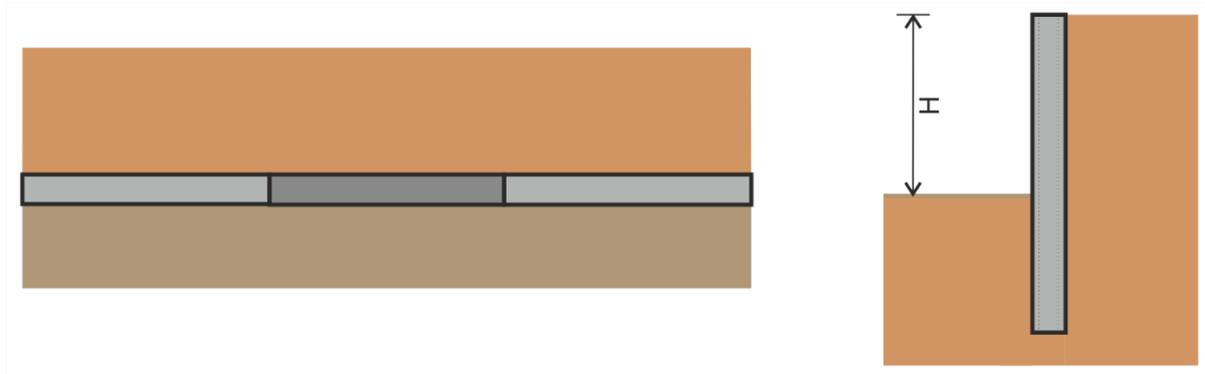


Abb. 7: Grundriss und Schnitt einer Schlitzwand

3.2.8. Pfahlwand

Pfahlwände bestehen aus stabförmigen, tief gegründeten Stützwandelementen, welche die einwirkenden Kräfte durch eine Einspannung sowie eine eventuelle vertikale Auflagerung in den Untergrund einleiten. Bei aufgelösten Pfahlwänden erfolgt die Lastabtragung zwischen den Pfählen (Sekundärtragrichtung) über ein Gewölbe, welches z.B. durch eine Spritzbetonschale gesichert wurde.

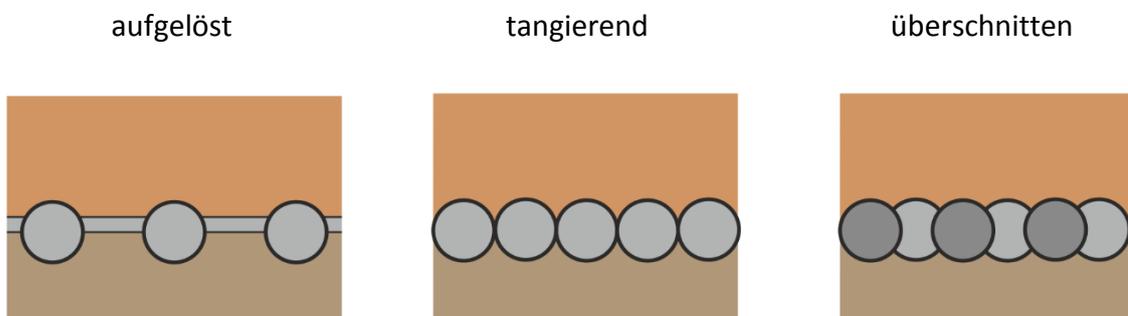


Abb. 8: Grundriss unterschiedlicher Pfahlwandtypen

3.2.9. Brunnenwand

Brunnenwände sind aus in Haupttragrichtung stabförmigen, meist elliptischen, tief gegründeten Stützwandelementen aufgebaut, welche die einwirkenden Kräfte durch eine Einspannung sowie eine eventuelle vertikale Auflagerung in den Untergrund einleiten. Zwischen den Brunnen (Sekundärtragrichtung) erfolgt die Lastabtragung über ein Gewölbe, welches z.B. als Spritzbetonschale ausgeführt wurde.

3.3. Erhaltungsstrategie

Der Bauwerkserhalter hat während der Nutzung eines Bauwerks zahlreiche Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Bauwerksüberwachung, Wartung, Instandsetzung, Ertüchtigung bis hin zum Abbruch und der Erneuerung zu setzen. Diese Tätigkeiten werden von zahlreichen Randbedingungen wie z.B. Gesetzen, technischen Regelwerken, Sicherheitsaspekten (Tragfähigkeit, Zuverlässigkeit und Verkehrssicherheit), Dauerhaftigkeit des Bauwerks, aber auch Faktoren wie dem optischem Erscheinungsbild beeinflusst. Diese Anforderungen stehen im Spannungsfeld zu finanziellen Randbedingungen, Personalressourcen und Anforderungen hinsichtlich der Benützbarkeit.

Die Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Erhaltung eines Bauwerks sind einerseits an die Bedeutung des Bauwerks, andererseits an die Komplexität des Bauwerks und dessen Schadensbilder anzupassen. Die Festlegung über die Art und Weise der Umsetzung der Erhaltungstätigkeiten bildet den wesentlichen Inhalt der Erhaltungsstrategie, welche betriebs- bzw. unternehmensabhängig und für jedes Bauwerk unterschiedlich gestaltet und festgelegt werden kann. In Anlehnung an ÖNORM EN 13306 [13] kann hierbei unterschieden werden:

- **Präventive Instandhaltung:**
Diese beschreibt eine vorbeugende Behandlung und Instandhaltung des Bauwerks und soll im Allgemeinen den Zustand erhalten und/oder die Nutzungsdauer verlängern. Die hierfür erforderlichen Tätigkeiten sind in kontinuierlichen Abständen durchzuführen und resultieren in einer dauerhaften Sicherstellung des geforderten Zustands über die gesamte geplante Nutzungsdauer hinweg.
- **Korrektive Instandhaltung:**
Auf Basis von Inspektionstätigkeiten oder nach außergewöhnlichen Ereignissen werden für festgestellte Schäden entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen (Umfang und Zeitpunkt) gesetzt und somit einer weiteren Verschlechterung des Bauwerkszustandes gegengesteuert.

Neben den beiden oben angeführten Vorgangsweisen zur Instandhaltung kann jedoch auch der „kontrollierte Verfall“ des Bauwerks als Erhaltungsstrategie in Betracht gezogen werden. Um laufende Kosten und Aufwände zur Erhaltung des Bauwerks vorzubeugen, kann eine kontinuierliche Verschlechterung des Bauwerkszustands in Kauf genommen werden. Nach Erreichen der geplanten Nutzungsdauer oder der Unterschreitung der geforderten Zuverlässigkeit wird eine umfassende Instandsetzung, Ertüchtigung oder ein Neubau des Bauwerkes vorgenommen.

4. NORMEN UND MATERIALIEN

Die im Anschluss angeführten Auflistungen von Normen und anderen Richtlinien sollen eine Hilfestellung bei der Aufarbeitung der Bauwerksgrundlagen sowie einen Überblick über die zum Zeitpunkt der Bauwerkerrichtung geltenden Vorschriften darstellen.

Zur Vereinfachung sind in den nachfolgenden Darstellungen einzelne Normenserien bezüglich ihrer Unterkapitel zusammengefasst. Weiters wurden die eingeführten Normen der Eurocode-Reihe jeweils mit dem Erscheinen der Grunddokumente (EN) dargestellt. Die Erscheinung vorhandener Nationaler Anwendungsdokumente ist gegebenenfalls zu prüfen.

4.1. Lasten

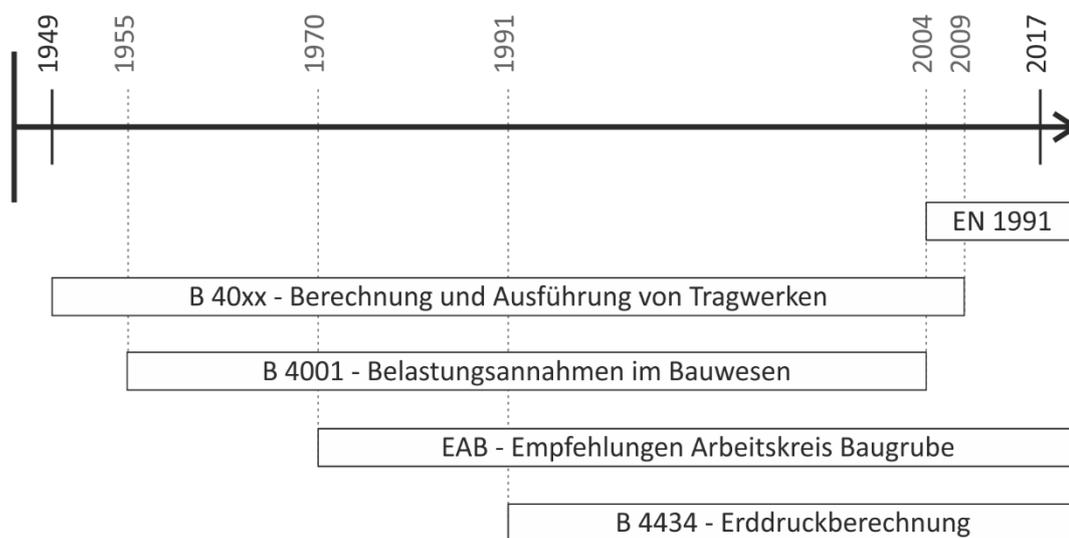
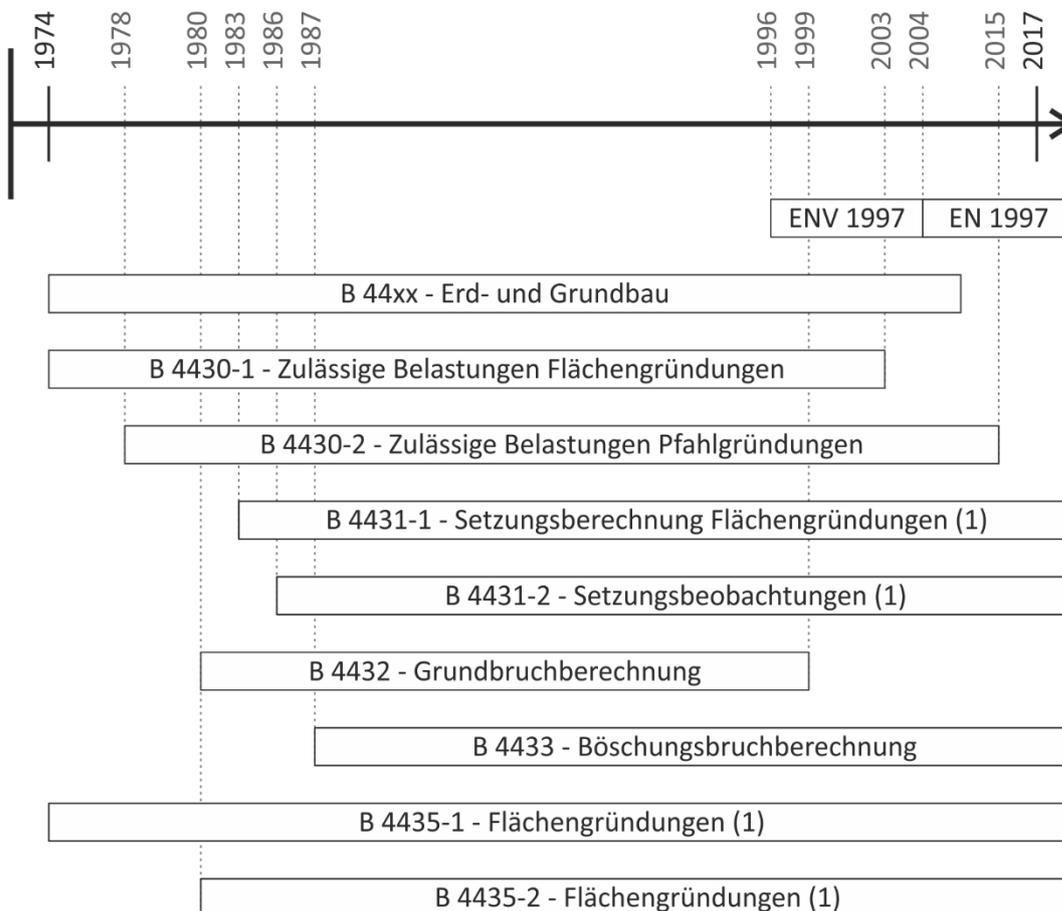


Abb. 9: Chronologischer Abriss der verwendeten Normen für Lasten und Lastannahmen

Neben den in Abb. 9 dargestellten Normen kamen für die Erddruckermittlung früher Erddrucktafeln (als Auswertung der Arbeiten von Rankine und Coulomb) zum Einsatz. Nachfolgende Auflistung soll einen Überblick über einige dieser Werke liefern:

- Über das Problem der Erddruckbestimmung (Kötter F., 1888)
- Erddruck auf Stützmauern (Müller-Breslau H., 1906)
- Erddrucktafeln (Dr.- Ing. Otto Syffert, Springer Verlag Wien, 1929)
- Erddruck und Erdwiderstand (Streck A., Grundbautaschenbuch, Springer Verlag, 1955)
- Erddruck und Erdwiderstand (Neumeuer H., 1960)
- Erddrucktheorien (Arpad Kezdi, Springer Verlag, 1962)
- Erddrucklehre (Stiegler W., 1975)
- Korrekte Berechnung des aktiven und passiven Erddrucks (Gross H., 1981)

4.2. Geotechnische Bemessung



(1) gemeinsam mit ÖNORM B 1997-1-1 anzuwenden

Abb. 10: Chronologischer Abriss der verwendeten Normen für die geotechnische Bemessung nach ÖNORM

Neben den in Abb. 10 dargestellten Normen kamen für die geotechnische Bemessung zusätzlich nachfolgende Werke zur Anwendung:

- Erdstatische Berechnung mit Reibung und Kohäsion unter Annahme kreiszylindrischer Gleitflächen (Fellenius W., 1926)
- Die Berechnung der Sohldruckverteilung unter Gründungskörpern (Ohde J., 1942)
- Gleit- und Kippsicherheit von Stützmauern (Ohde J., 1953)
- Stützmauern (Bendel H. & Hugi H.R., 1971)
- Grundbaustatik (Bobe R. & Göbel C., 1971)
- Grundbautaschenbuch 1987 – Kapitel Konstruktive Hangsicherungen, Kapitel Stützmauern, (Brandl H. & Smolczyk U., 1987)
- Statik im Erdbau, (Türke H., 1983, 1990, 1993, 1998)

In Abb. 11 sind die für Labor- und Bodenuntersuchungen relevanten Normen angeführt.

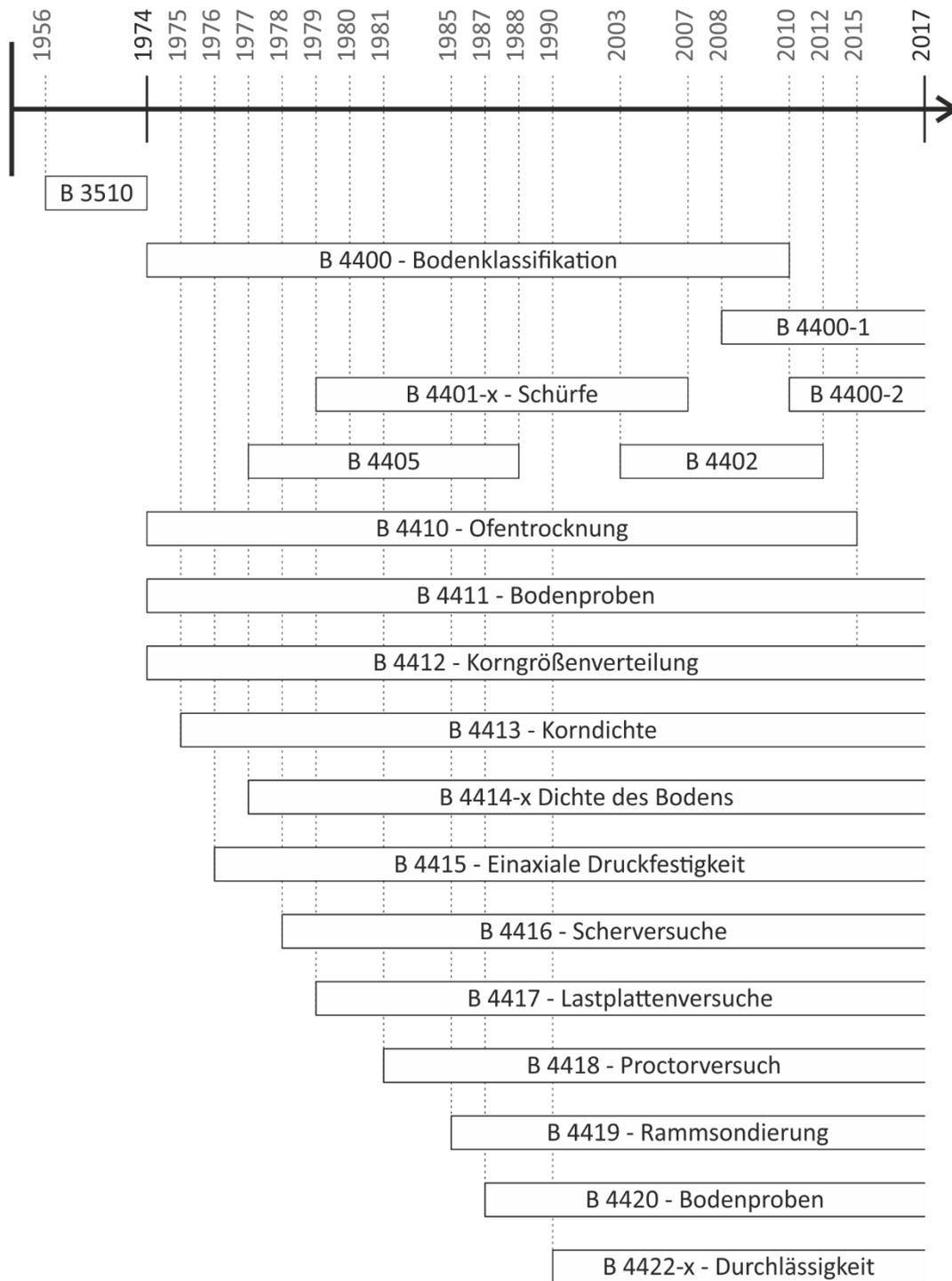


Abb. 11: Chronologischer Abriss der verwendeten Normen für Laboruntersuchungen und bei der Bestimmung von Bodenparametern und Kennwerten

Die in Abb. 12 angeführten DIN- Normen sollen lediglich einen Überblick geben.

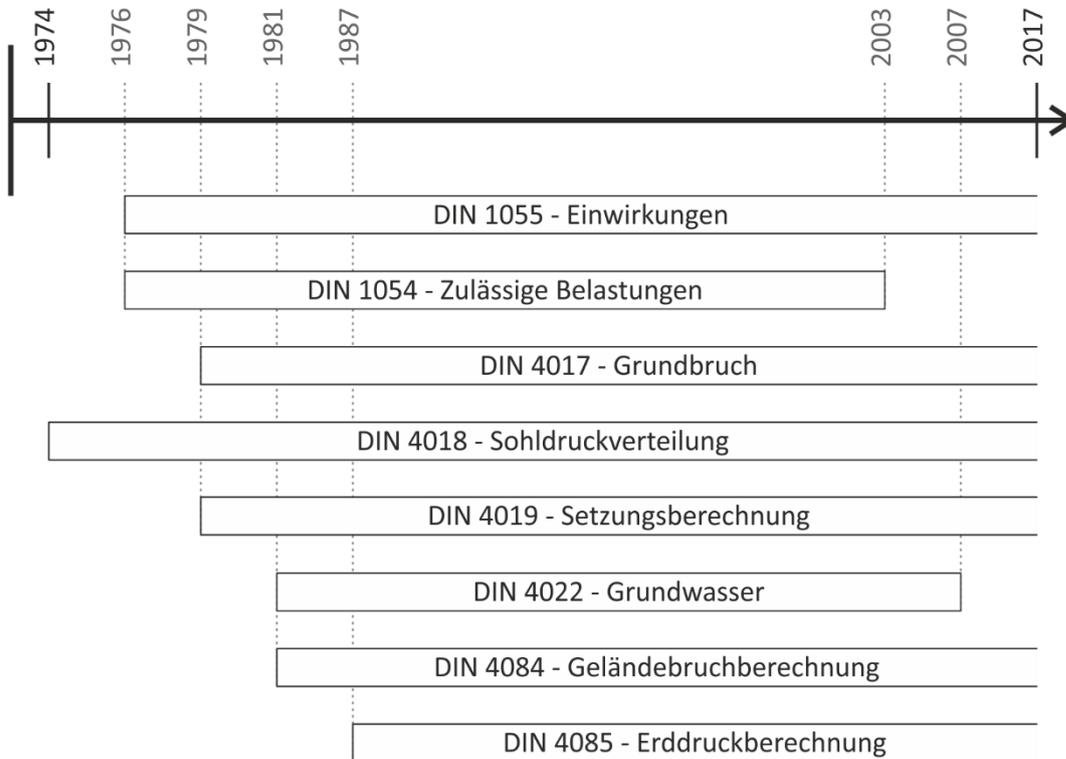


Abb. 12: Chronologischer Abriss der verwendeten Normen für die geotechnische Bemessung nach DIN

4.3. Bemessung Betonbauteile

In ONR 24008 [1] sind die für eine betonbautechnische Bemessung von Eisenbahn- und Straßenbrücken relevanten Normenserien angegeben. Diese fanden und finden auch für die Bemessung von unverankerten Stützbauwerken Anwendung.

4.4. Geotechnische Werkstoffe

Nachfolgende Auflistung gibt die Änderung der normativen Grundlagen betreffend die Errichtung von Stützbauwerken wieder.

- Geokunststoffe:
 - ÖNORM EN ISO 10318 – Geokunststoffe – Begriffe; 1992 & 2015
 - ÖNORM EN 13251 - Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Geforderte Eigenschaften für die Anwendung im Erd- und Grundbau sowie in Stützbauwerken; 1998 & 2005 & 2015
- Steinmaterialien
 - ÖNORM B 3124 – Prüfung von Naturstein; mechanische Gesteinseigenschaften; einaxiale Zylinderdruckfestigkeit; 1952 & 1981
 - ÖNORM B 3120 - Natürliche Gesteine; Probenahme; allgemeine Grundlagen und gesteinskundliche Beschreibung; 1981 & 1982
 - ÖNORM EN 1926 - Prüfverfahren für Natursteine – Bestimmung der einachsigen Druckfestigkeit; 1995 & 1999 & 2009
- Sonstige Baustoffe
 - ÖNORM B 2533 – Koordinierung unterirdischer Einbauten – Planungsrichtlinien; 1970 & 1988 & 2004
 - DIN 4095 – Baugrund; Dränung zum Schutz baulicher Anlagen, Planung, Bemessung und Ausführung; 1990
 - ÖNORM EN 752 – Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden

4.5. Weitere Grundlagen für geotechnische Bauwerke

- Raumgitterkonstruktionen
 - BMBTS Heft 141 – Tragverhalten und Dimensionierung von Raumgitterkonstruktionen Brandl H.; 1980
 - BMBTS Heft 208 – Raumgitter Stützmauern (Krainerwände), Großversuche, Baustellenmessungen, Anwendungsbeispiele, Berechnung, Konstruktion, Bauausführung; Brandl H.; 1982
 - BMBTS Heft 280 – Stützmauersystem „NEW“ und andere Konstruktionen nach dem Boden-Anker-Verbundprinzip; Brandl H. & Dalmatiner J.; 1986
 - MB Raumgitterkonstruktionen – Merkblatt für Raumgitterkonstruktionen; FGSV
- Bewehrte Erde Konstruktionen
 - EBGEO – Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen; 1997 & 2010

5. SCHADENSBILDER UND VERSAGENSMECHANISMEN

In diesem Kapitel soll auf die an unverankerten Stützbauwerken häufig anzutreffenden Schäden und die daraus resultierenden Schadensbilder eingegangen werden. Aufgrund der vielfältigen Arten von Schäden, Schadensformen, Kombinationen von Schäden und Ursachen für Schäden darf nachfolgendes Kapitel nicht als vollständig und erschöpfend angesehen werden.

Abhängig vom Errichtungszeitpunkt und der zugehörigen Normengeneration unterscheiden sich unverankerte Stützbauwerke in den Ansätzen ihrer Dimensionierung (Einwirkung und Bemessung, Standsicherheit) und konstruktiven Ausbildung.

5.1. Bauwerksdaten

Die Bauwerksdaten (z.B. Baujahr, Geometrie, Materialien) stellen eine Grundlage für die Erfassung des Erhaltungszustandes sowie die Beurteilung der Tragfähigkeit, Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit dar.

Unter der Erfassung eines Bauwerks versteht man im Wesentlichen die Erhebung und Beschaffung der Daten über die Anlagenteile/Bauteile, deren Erhaltungszustand und das Umfeld des Bauwerks. Sind bereits Informationen über das Bauwerk vorhanden, sind diese auf ihre Aktualität und Richtigkeit zu überprüfen. Durchgeführte Instandsetzungen, Ertüchtigungen und Erneuerungen sind hierbei zu berücksichtigen. Grundsätzlich sind die in RVS 13.04.13 [6] beschriebenen Informationen der Allgemeinen Daten (Systemdaten, Fahrbahn, Einbauten, etc.) und der Bauteile (Gründung, aufgehendes Mauerwerk, Abdichtungen, Entwässerung, Randbalken, Gesimse, sonstige Ausrüstung) zu ermitteln bzw. fortzuschreiben.

5.2. Systemverhalten von Stützbauwerken

Bei der Beurteilung von Schäden ist die Kenntnis von möglichen Versagensmechanismen, welche sich nach der Art der Ankündigung unterscheiden, erforderlich. Für die Einordnung des Bauwerks in eine der nachfolgenden Kategorien ist sowohl der ursprüngliche Sollzustand als auch der aktuelle Erhaltungszustand bei der Beurteilung zu berücksichtigen.

- **Eindeutige Ankündigung des Versagens (duktils Verhalten):**
Im Regelfall erfolgt eine Ankündigung eines Versagens durch eine Neigungsänderung-, Lageveränderung oder Formänderung (zumeist verbunden mit einer sichtbaren oder nicht sichtbaren Rissbildung) des Bauwerks und / oder einzelner Bauteile. Hier können Monitoring- und Überwachungssysteme zweckmäßig verwendet werden.
- **Keine ausreichende Ankündigung des Versagens (sprödes Verhalten):**
Das Versagen des Bauwerks tritt ohne Vorankündigung ein. Eine frühzeitige Erkennung des Versagens ist durch ein Monitoring nicht möglich.
- **Erkennbare zusätzliche Ankündigung vor einem Versagen (teilduktils Verhalten):**
Bei der Beurteilung von Bestandsbauwerken ergibt sich oftmals die Situation, dass einem Bauwerk oder Bauteil kein eindeutig duktils oder sprödes Verhalten zugeordnet werden kann. Lässt ein derartiges System ein Verformungspotential und eine ausreichende Reaktionszeit bis zum Eintreten des Versagens erwarten, so kann von einem teilduktilen Systemverhalten gesprochen werden.

Um das Systemverhalten ausreichend beurteilen zu können, sind neben Standsicherheitsberechnungen auch Verformungsberechnungen zweckmäßig. Wird damit ein zusätzliches Verformungs- bzw. Lastumlagerungspotential vor dem Eintritt maßgebender Versagenszustände nachgewiesen, kann ein Monitoringsystem einerseits eine direkte und unmittelbare Beurteilung eines sich ankündigenden Versagenszustandes ermöglichen und andererseits zur Validierung der oben angesprochenen, Verformungsberechnungen herangezogen werden.

Bei der Untersuchung des Systemverhaltens von Stützbauwerken muss sowohl auf die einzelnen Bauteile des Bauwerks als auch auf das Gesamtverhalten der Konstruktion geachtet werden. Das Systemverhalten eines Bauwerks, kann sich über die gesamte Lebensdauer hinweg verändern. Ein ursprünglich duktileres Bauwerk kann sich aufgrund bereits vorhandener Schäden und Veränderungen zu einem sich spröde verhaltenden Bauwerk entwickeln.

5.3. Schadensbilder und Schadensursachen

Das Versagen von Bauwerken geht zumeist mit der Entwicklung definierbarer und oftmals zusammenwirkender Schäden einher. Dabei kann je nach Art, Ausmaß und Auslöser zwischen einer Vielzahl von Schäden unterschieden werden. Die Kenntnis über die maßgebenden Versagensmechanismen ist für eine zutreffende und qualitative Erfassung des Erhaltungszustands und der Zustandsbeurteilung zwingend erforderlich.

Die grundsätzlichen Versagensmechanismen sind im Abschnitt 9.7, Grenzzustände der Tragfähigkeit, des Eurocode 7 [11] angeführt. Ebenso kann der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (Abschnitt 9.8 des Eurocode 7) für die Bewertung eines Versagensmechanismus von Bedeutung sein. Beim Versagen (der Versagensart) kann zwischen Bauteil- und Systemversagen unterschieden werden. Ebenfalls ist nach der Ursache, d.h. nach der inneren und äußeren Tragfähigkeit, zu unterscheiden. Die möglichst plausible Einschätzung der Einwirkungsseite (z.B. Bodenprofile und -kennwerte, Hydrogeologie, Änderung des Wasserhaushalts) und weiterer Randbedingungen (z.B. Nutzungsart bzw. Nutzungsänderung, Bodenphysik und -chemie) muss ebenfalls auf der sicheren Seite liegend festgelegt werden.

In den Kapiteln 5.3.1 bis 5.3.4 wurde versucht, bisher bekannte und häufig auftretende Schadensbilder und Schadensursachen an bestehenden Stützbauwerken anzuführen. Diese Auflistungen gliedern sich in:

- U Ursachen,
- S Schadensbilder und
- A Anmerkungen.

Zu beachten ist, dass diese Auflistung als nicht vollständig zu betrachten ist.

5.3.1. Allgemeines

Mit den nachfolgenden Punkten sollen Ursachen, Schadensbilder und Anmerkungen zu unverankerten Stützbauwerken aus dem Bereich der Geotechnik näher behandelt werden.

- U In Abhängigkeit des Herstellungszeitpunktes des Stützbauwerks ist auf die Änderungen und Neuerungen der normgemäßen **Erddruckansätze** zu achten. Der Ansatz des aktiven und passiven Erddrucks ist immer im Hinblick auf die dafür erforderliche und mögliche Bewegung und Verformung des Bauwerks zu überprüfen. Ebenfalls sind im Zusammenhang mit

dem anzusetzenden Erddruck der Bauablauf (z.B. Sicherungsmaßnahmen) und das bisherige Verhalten des Stützbauwerkes zu beachten.

- A Hinsichtlich der Lasteinwirkung auf Stützbauwerke sind in erster Linie der **Erddruck** und ein möglicher (temporärer) **Wasserdruck** zu nennen. Erddrücke sind aufgrund der heterogenen Bedingungen meist nicht eindeutig bestimmbar und unterliegen oftmals zeitlichen Veränderungen. So kann trotz der erforderlichen Bewegungsmöglichkeiten eines Stützbauwerkes und der daraus folgenden Mobilisierung des aktiven Erddrucks über die Zeit (durch äußere Einwirkungen wie Schwingungen, Grund- und Schichtwasserströmung oder Ähnliches) eine Zunahme des Erddrucks stattfinden.
- U Durch die Nutzung des Bauwerksumfeldes (Bebauung, Verkehrswege) kann es in gewissen Bereichen zu **Nachverdichtungseffekten** des Boden- bzw. Hinterfüllungsmaterials kommen. Derartige Nachverdichtungen können Einfluss auf den Erddruck, die Art der Lastabtragung sowie auf das Verformungsverhalten haben. Bei einer abschnittsweise vorhandenen Nachverdichtung kann dies zu Zwangsbeanspruchungen und differentiellen Setzungen bzw. Verschiebungen mit den daraus folgenden Schadensbildern führen.
- U Bei der Gründungssituation von Stützbauwerken sind neben den klassischen geotechnischen Versagensmechanismen des Bauwerks ebenfalls mögliche Einflüsse aus dem Vorhandensein der **Interaktion zwischen Boden und Bauwerk** zu beachten. Eine nicht zutreffende Einschätzung der Gründungssituation kann hierbei zu einer gravierenden Fehleinschätzung bezüglich des Trag- und Lastableitungsverhaltens führen.
- U Die Situation der **Hangwässer** und die Ableitung der **Niederschlagswässer** ist im Nahbereich von Stützbauwerken genauer zu untersuchen. Einerseits lassen sich hieraus Rückschlüsse auf die Funktionstüchtigkeit der **Entwässerungseinrichtungen** ziehen, andererseits hat Wasser oftmals Einfluss auf Bauwerksschäden. Weiters empfiehlt es sich, die hydrogeologische Situation im Bereich des Stützbauwerkes im Vergleich zwischen Planung bzw. Entwurf und Ist- Zustand zu untersuchen und zu erfassen.
- U Bei der Erfassung des Bauwerks ist vor allem auf die **hydrogeologischen Einflüsse** zu achten. Grundwasserstände sowie Sicker- und Schichtwässer im Umfeld des Bauwerks liefern eine wichtige Information zu den möglicherweise auf das Bauwerk wirkenden Lasten und auf den Zustand der Entwässerungs- und Drainageeinrichtungen. Weiters kann Wasser für eine Mehrzahl vorzufindender Schäden am Bauwerk (mit)verantwortlich sein.
- U Im anstehenden Boden im Bereich eines Bauwerks kann es aus hydrogeologischer Sicht zu einer **Sperr- oder Sickerfunktion** kommen. Dies kann durch die vorhandene **Schichtung** des Bodens, die Zusammensetzung des Bodenmaterials sowie durch etwaige Alterungs- und Schädigungseffekte (Auswaschen der Feinteile, Versinterungen) entstehen.
- A Bei allen Typen und Arten von Stützbauwerken kann es zu einer **Lastumlagerung** im Zuge einer Überbeanspruchung (oder Reduktion des Widerstandes) kommen. Derartige Umlagerungen sind jedoch nur bedingt im Zuge einer Untersuchung erfassbar, können aber in den höher beanspruchten Bereichen zu einer Anhäufung von Schäden und zu einer Zunahme des Schadensfortschrittes führen.

- A Neben der Lasteinleitung in vorhandene Gründungselemente ist die **Verformungskompatibilität** zwischen dem **Stützbauwerk und der Gründung** sicherzustellen. Ein mögliches **Lastumlagerungspotential** des Bauwerks ist hierfür sowohl aus konstruktiver als auch aus geotechnischer Sicht zu ermöglichen. Beispielhaft hierfür sei die erforderliche Aktivierung eines Erdwiderstandes angeführt.
- A Die zur Ermittlung der geotechnischen Einwirkungen und Widerstände herangezogenen **Parameter, Kennwerte und Kenngrößen** unterliegen meist einer signifikanten Streuung. Auswirkungen dieser Streuungen sollten erforderlichenfalls durch die Anwendung einer Parameteruntersuchung oder Sensibilitätsstudie genauer quantifiziert werden.
- A Das **Gelände im Umfeld** des Stützbauwerks sollte zur Abbildung möglicher Schadensbilder bei der Zustandserfassung hinzugezogen werden. Aus natürlichen Veränderungen der Oberfläche kann auf mögliche Versagensmechanismen oder zusätzliche Gefährdungen aus dem Nahbereich des Bauwerks geschlossen werden.
- A Neben dem Gelände als Indikator für Versagensmechanismen können **Veränderungen an bestehenden Bauwerken** (im Nahbereich des Stützbauwerks) auf mögliche vorliegende Schadensbilder und Versagensmechanismen hindeuten.
- A Einflüsse und Randbedingungen resultierend aus den massiven Querschnitten und dem räumlichen Tragverhalten sollten bei der **Modellierung und Nachrechnung** bestehender unverankerter Stützbauwerke beachtet werden.
- A Besondere Einflüsse auf die Modellierung und Nachrechnung bestehender unverankerter Stützbauwerke ergeben sich aus der abschnittswisen **Herstellung** und den aus dieser resultierenden **Material- und Verbundeigenschaften** im Bauteil sowie aus den Sicherungsmaßnahmen und den Bauabläufen in der Herstellungsphase.
- A Bei **mehrteiligen** und oftmals auch **abgetrept** ausgeführten **Konstruktionen** ist auf die gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Konstruktionsteile zu achten. Hierbei bilden einzelne Versagensmechanismen unterschiedlicher Teilbereiche oftmals ein kombiniertes Versagensbild des Bauwerks ab.
- A **Einbauten und Installationen** im Nahbereich des Bauwerks (z.B. Rohrleitung im luftseitigen Erdwiderlagerbereich) sollten einerseits in die Zustandserfassung mitaufgenommen werden, da diese Schäden oder Mängel zufolge einer Bewegung des Bauwerks aufweisen könnten. Andererseits können diese möglicherweise erforderliche Widerstände signifikant reduzieren und sind daher in der Beurteilung und einer möglichen Nachrechnung zu berücksichtigen.

Mit den nachfolgenden Punkten sollen Ursachen, Schadensbilder und Anmerkungen zu unverankerten Stützbauwerken aus dem Bereich des Beton- und Stahlbetonbaus sowie die konstruktive Durchbildung des Bauwerkes (z.B. Drainage und Entwässerungseinrichtungen) näher behandelt werden.

- U **Korrosion der Bewehrung** ist auf Grund des oftmals aggressiven chemischen Milieus (Chloride) im Umfeld von Stützbauwerken als eine der Hauptschadigungsursachen für Stahlbetonbauteile anzusehen.

- U Der **Zustand der Entwässerungseinrichtungen** ist vor allem im Hinblick auf ihre Funktionstüchtigkeit zu überprüfen. Beispielsweise kann sich bei schlechter bis mangelnder Funktion dieser Bauteile zusätzlich zum Erddruck ein Wasserdruck auf das Bauwerk aufbauen.
- U Der **Bewuchs** an Bauwerken kann einerseits Hinweise auf wasserführende Bereiche und Schichten geben, andererseits können durch ihn auch Schäden am Bauwerk verdeckt und verschleiert, aber auch verursacht (z.B. Aufsprengen der Mauerwerksfugen durch Wurzeldruck) werden. Neben diesen Effekten visueller Art, beeinflusst Bewuchs (Durchwurzelung) oftmals auch Entwässerungseinrichtungen (im Nahbereich) von Stützbauwerken in negativer Weise.
- U Bei in **mehreren Betonierabschnitten** hergestellten Bauwerken ist der Verbund zwischen den unterschiedlichen Betonierphasen (Arbeitsfugen) zu beachten. Die Ausbildung von Block- und Dehnfugen sollte untersucht werden. Hieraus können sich vor allem bei massiven Bauwerken (Gewichtskonstruktionen) erhebliche Zusatzspannungen aus Zwang und Temperatur ergeben, welche zu bestimmten Schadensbildern in der Betonkonstruktion führen können.
- A Bauwerke mit größeren Längsabmessungen wurden (und werden) häufig in **einzelnen Blöcken** hergestellt. Um eine **Gesamtragwirkung** des Bauwerks zu erreichen und um optisch störende Verformungsabweichungen an der Vorderseite zu verhindern, wurden Dorne, Verdübelungen oder Auflagernasen hergestellt. Durch das Wissen um das Vorhandensein und die Beschaffenheit derartiger Bauteile (und deren Veränderung) können Rückschlüsse auf vorgefundene und gemessene Verformungen und das Tragverhalten der Konstruktion gezogen werden.
- A Die Durchbildung des Anschlusses zwischen Gründung und Stützbauwerk hat einerseits Einfluss auf das Tragverhalten des Bauwerkes und die Lasteinleitung in den Untergrund, andererseits sollten vorhandene konstruktive Anschlusslösungen (z.B. Zugkeildeckung) beachtet werden.
- A Die im Zuge einer Bauwerksuntersuchung erhaltenen oder aus Unterlagen zum Bau vorhandenen **Kennwerte** zum Bauwerk unterliegen im Allgemeinen einer **gewissen Streuung**. Der Einfluss dieser Streuung sollte, sofern die Kennwerte zur Ermittlung von Widerständen oder Belastungen herangezogen werden, durch eine Parameterstudie und Sensibilitätsanalyse auf ihre Anwendbarkeit hin untersucht werden.

5.3.2. Gewichtskonstruktionen

Zu den Gewichtskonstruktionen zählen in der nachfolgenden Auflistung alle Bauwerke, bei welchen das Gewicht als die wesentliche stabilisierende Größe wirkt. Hierzu zählen die in 3.2 angeführten klassischen Gewichtsmauern aus Beton oder Stahlbeton, Raumgitterkonstruktionen, Gabionenwände, Steinstützkörper sowie Bewehrte Erde Konstruktionen. Ebenfalls in dieses Kapitel fallen die äußeren Versagensmechanismen und Schadensbilder an Winkelstützmauern.

- U Unterschiedliche **Gründungstiefen** oder allgemein unterschiedliche Gründungsverhältnisse (Fest- oder Lockergestein) bei benachbarten Bauwerksabschnitten führen oftmals zu unterschiedlichem Setzungs- und Verformungsverhalten, aus welchem mögliche Schadensmechanismen entstehen können.

- S **Differentielle Setzungen oder ungleichmäßige Verformungen** des Bauwerks können zu übermäßigen Zwangsspannungen in Betonbauteilen führen, welche sich häufig in Form von Abplatzungen oder ähnlichen Schäden äußern. Weiters können differentielle Setzungen und ungleichmäßige Verformungen des Bauwerks zu möglicherweise unterschiedlichen geotechnischen Versagensmechanismen und daraus resultierenden Schadensbildern entlang des Stützbauwerkes führen.
- U In Abhängigkeit von der Bauwerkshöhe und der **Hangsituation** entlang der Längsabwicklung von Gewichtsmauern können sich oftmals unterschiedliche Erddruckverhältnisse einstellen oder aufbauen.
- U Das Fehlen oder Herausfallen von **Zwickelsteinen** (Ausfüllungsbereich zwischen großen Steinen) bei Steinstützkörpern kann als Ursache und/oder Folge für eine Vielzahl von Schäden gesehen werden.
- S Das Herausfallen oder Fehlen von **Zwickelsteinen** oder auch die Erosion von Verfüllmaterial zwischen den Blöcken bei Steinstützkörpern kann auf mögliche Veränderungen (oder das Fehlen) der Entwässerung, vorliegende Verformungen oder Belastungszunahmen hindeuten. Oftmals liegen derartige Schäden in Kombination mit Ausbauchungen oder anderen Veränderungen der Oberfläche vor.
- S Bei Gewichtsmauern oder sich ähnlich wie Gewichtsmauern verhaltenden Bauwerken kommt es bei den geotechnischen Versagensmechanismen hauptsächlich zu Erscheinungen des **Verdrehens** (Kippens), **Verzerrens** oder **Gleitens**. Im Allgemeinen betrifft dies das Bauwerk als Ganzes. Bei gewissen Stützbauwerktypen (z.B. Gabionenwände) kann dies auch Teilkörper der Wand betreffen.
- S Bei Gewichtskonstruktionen, bestehend aus einzelnen **großformatigen Elementen** wie Steinstützkörpern, können Änderungen der Oberfläche oder Ausbauchungen auf eventuell vorhandene und sich ankündigende Versagensmechanismen hindeuten.
- S Bei der geometrischen Erfassung von Gewichtsmauern sollte unter anderem auf die **Anzüge und Neigungen** des Bauwerks geachtet werden. Oftmals können bereits aus diesen Verformungen des Bauwerkes abgeleitet werden.
- S Bei Steinstützkörpern sind die **Frost- und Tausalzbeständigkeit** der verwendeten Materialien bzw. daraus resultierende Schäden zu untersuchen. Bei nicht geeignetem Baumaterial treten häufig Abplatzungen und Frostschäden auf. Bei fehlenden Zwickelsteinen können derartige Schadensbilder jedoch auch auf eine Überbeanspruchung oder Lastumlagerung hindeuten.
- A Grundlage für eine ausreichende Standsicherheit vieler Gewichtskonstruktionen ist der **Nachweis der Lage der Resultierenden** innerhalb der ersten Kernfläche, um bei Betonbauteilen das Vorliegen von Zugspannungen im Querschnitt zu verhindern.
- A Die **Art der Fundamentausbildung** und der Fundamentsohle sollte bei der Untersuchung der Lastableitung und des Tragverhaltens berücksichtigt werden. Einerseits kann die Ausführung und Beschaffenheit dieser bereits eine Aussage über mögliche in der Entwurfs- und Planungsphase interpretierten (oder beurteilten) Versagensmechanismen (z.B. geneigte Sohlfäche) geben, andererseits können bedingt durch die geometrische Ausbildung dieser

Bauteile zusätzliche Mechanismen (z.B. zusätzliche Auflasten, Anschlussbereich Betonbau, Wirkung ähnlich einer „Winkelstützmauer“) hervorgerufen werden.

5.3.3. Winkelstützmauern

Bei Winkelstützmauern wird nachfolgend vor allem auf die inneren Versagensmechanismen eingegangen. Die äußere Standsicherheit, ist bis auf einige Sonderfälle im Allgemeinen wie für Gewichtsmauern (Kap. 5.3.2) zu betrachten.

- U Bei Winkelstützmauern sollte zufolge ihrer meist sehr hochgradig bewehrten Ausführung auf den **Zustand der Bewehrung** besonders geachtet werden. Vor allem in den kritischen Bereichen derartiger Bauwerke kommt es häufig zu Korrosionserscheinungen. Beispielhaft hierfür sei der Zustand der Bewehrung im Bereich des Anschlusses Fundament und aufgehendes Mauerwerk (Bauwerksanschlussfuge) angeführt, sowie der Anschluss von Spornen oder ähnlichen Konstruktionselementen.
- U Durch eine mangelhafte Ausführung (z.B. Kiesnester, zu geringe Betondeckung) oder zu große Verformung des Bauwerks kann die **Bewehrung im Bereich vorhandener Risse** oder Schadstellen freiliegen, woraus sich im Zusammenspiel mit Wasser und Chlorid korrosionsfördernde Umgebungsbedingungen ergeben.
- S **Spornmauern** weisen oftmals erhebliche Risse zufolge Überbeanspruchung an der Vorderseite der Konstruktion auf. Einerseits deuten diese auf eine eindeutige Schädigung des Bauwerks hin, andererseits können diese Schadensbilder ebenfalls zur Auffindung von Spornmauern herangezogen werden.
- A **Spornmauern** stellen in ihrer Tragwirkung im Allgemeinen eine Kombination aus einer bewehrten Betonkonstruktion und einer Gewichtskonstruktion dar. Durch die Herstellung eines Sporns wird zum einen zusätzliches Gewicht und zum anderen eine Verringerung des Erddruckes auf die Konstruktion (Abschattungseffekt) bewirkt, woraus sich eine Erhöhung der Standsicherheit ergibt. Es gelten deshalb sowohl obige Anmerkungen zu Gewichtskonstruktionen als auch jene zu Winkelstützmauern.
- S **Neigungsänderungen** einer Wand können verschiedene Ursachen haben. Einerseits geotechnisch aus möglichen Änderungen des Erd- und Wasserdruckes und ungleichmäßigen Setzungen an der Bauwerkssohle. Andererseits können Änderungen in der Neigung auch aus einer Schwächung des Bauteils selbst herrühren. Beispielhaft hierfür seien Steifigkeitsänderungen zufolge der Rissbildung des Querschnittes oder vorliegender Korrosion der Bewehrung angeführt.
- S Bei **mehrteiligen Winkelstützmauern** (abgetreppt oder durch einen Sporn getrennt) können sich mehrere innere Versagensmechanismen ausbilden, welche im Detail unterschiedliche Schadensbilder zur Folge haben können.
- A Die **Korrosionsschädigung** von Bewehrungselementen (als tragfähigkeitsrelevante Elemente) sollte bei Winkelstützmauern eingehender untersucht werden. Vor allem die Verteilung der Korrosionsschädigung innerhalb eines Korrosionsbereichs sollte validiert werden. Beispielhaft hierfür sei als Korrosionsbereich die Arbeitsfuge (Anschluss Fundament zu Aufgehendem) angeführt. In dieser Zone des Bauwerks können auf Grund unterschiedlicher Einflüsse (z.B. Kiesnester, Öffnen der Arbeitsfuge zu Folge Überbeanspruchung) Bereiche

unterschiedlicher Korrosionsausprägung (gleichmäßige und ungleichmäßige Korrosion der Bewehrungsstäbe) auftreten.

- A Bei **korrodierten Bewehrungselementen** sollte/kann eine eventuell vorhandene Querverteilungswirkung durch die horizontal angebrachte Bewehrung berücksichtigt werden.
- A Bei der Anwendung **zerstörender Verfahren wie Kernbohrungen oder Hochdruck -Wasserstrahlen** sollte eine dadurch möglicherweise stattfindende irreversible Schädigung des Bauwerks (vor allem bei Winkelstützmauern) in Betracht gezogen werden.
- A Bei **Winkelstützmauern auf Pfahlgründungen** sollte die Situation und Art der Lasteinleitung in die Gründung untersucht werden. Hierbei sollten vor allem unterschiedliche Belastungsniveaus und Lastfallkombinationen berücksichtigt werden.

5.3.4. In den Boden einbindende Stützbauwerke

Mit den nachfolgenden Auflistungen soll auf die Ursachen, Schadensbilder und Anmerkungen bei in den Boden einbindenden Stützbauwerken (siehe 3.2.7 bis 3.2.9) eingegangen werden.

- A In den Boden einbindende Konstruktionen, welche zur Sicherung von **Kriechhängen oder Massenbewegungen** herangezogen wurden, sind nicht Inhalt dieser Empfehlungen und bedürfen einer gesonderten Beurteilung durch einen Geotechniker.
- A Bei im Boden voll oder teilweise eingespannten Stützbauwerken ist die Kenntnis über die **Tiefe der Einbindung** der Bauteile unerlässlich. Die geometrischen Abmessungen, sowie die Schichtung und Eigenschaften des anstehenden Untergrundes sind als Grundlage für die genaue Beurteilung der Lastausleitung aus diesen Gründungselementen heranzuziehen.
- A Die **erforderlichen Verformungen** für die Aktivierung einer Teil- oder Volleinspannung der Gründungselemente sollte beachtet werden. Ebenso die damit im Bauwerksumfeld erforderlichen Randbedingungen. Die Wirkung und Beeinflussung benachbarter Pfähle sollte in diesen Untersuchungen berücksichtigt werden. Weiters sei auf mögliche negative Einflüsse zufolge im Nahbereich stattfindender Bebauungen, Nutzungsänderungen oder Lasterhöhungen (z.B. negative Mantelreibung, passive Pfahlbeanspruchung zufolge Anschüttung) hingewiesen.
- A Die Funktion sowie die Wirkung von **Ausfachungen oder Gewölben** zwischen einzelnen freistehenden vertikalen Konstruktionselementen sollte überprüft und in die Zustandserfassung und die Beurteilung miteinbezogen werden.
- A Die Wirkung von **horizontal ausgeführten Riegeln** (z.B. Kopfbalken) zwischen einzelnen freistehenden vertikalen Tragelementen sollte bei der Lastein- und ausleitung des Bauwerks sowie bei der Gruppenwirkung des Gesamtbauwerks berücksichtigt werden.

6. VERTIEFTE ZUSTANDSERFASSUNG / BAUWERKSÜBERWACHUNG

Mit Hilfe vertiefter Untersuchungen am Bauwerk selbst, und/oder in dessen Umfeld können Informationen über eine Vielzahl maßgebender Parameter des Bauwerks und dessen Materialeigenschaften gewonnen werden. Beispielhaft hierfür seien die detaillierte Erfassung der Geometrie, Laboruntersuchungen zur Erfassung spezifischer Bodenkennwerte und die Entnahme und Untersuchung von Baustoffproben genannt. Eine vertiefte Zustandserfassung kann erforderlich werden, wenn:

- dies aufgrund des Befundes einer Bewertung gemäß RVS 13.03.61 [3] oder auf Basis von unternehmensinternen Vorschriften (z.B. Instandhaltungsplan) angeordnet wird (Sonderprüfung);
- genauere Untersuchungen aufgrund der Ergebnisse einer Risikobewertung (Abschnitt 7.2 & 7.3) erforderlich werden;
- eine Nachrechnung in Anlehnung an ONR 24008 [1] durchgeführt wird;
- eine Instandsetzung oder Ertüchtigung erforderlich ist oder geplant wird.

Zur vertieften Zustandserfassung eines Bauwerks sind allenfalls Experten der Fachgebiete Geotechnik, Geologie, Statik, Vermessung, Messtechnik und Materialprüfung hinzuzuziehen. Dabei ist zu beachten, dass die Art und der Umfang der Untersuchungen, die entsprechenden Messgrößen, der Untersuchungszeitraum, sowie die eingesetzten Instrumente und Geräte dem vorliegenden Sachverhalt oder Erhaltungszustand und Verhalten der Stützkonstruktion und/oder ihres Umfeldes entsprechend gewählt werden müssen.

Des Weiteren sind die Kenntnis der möglichen Versagensmechanismen und deren Erscheinungsformen von wesentlicher Bedeutung. Erfahrungswerte über das Bauwerksverhalten sowie Ergebnisse aus bekannten Schäden und Versagensfällen ähnlicher Konstruktionen können ebenfalls bei der Zustandsbeurteilung zweckdienlich verwendet werden.

Das endgültige Untersuchungsprogramm, die Auswertung, die Ergebnisse sowie eine allfällige Interpretation der Erkenntnisse sind schlüssig und nachvollziehbar darzulegen und zu dokumentieren.

6.1. Bestimmung von Kennwerten und Kenngrößen

Kennwerte und Kenngrößen können grundsätzlich durch zerstörungsfreie, zerstörungsarme und zerstörende Untersuchungsmethoden vor Ort oder in einem Labor oder Testfeld ermittelt werden. Die Art, sowie der Umfang der Untersuchungen ist hierbei an die lokalen Anforderungen und Randbedingungen anzupassen und mit dem Bauwerkserhalter abzuklären. Die folgenden, wesentlichen Kennwerte bzw. Kenngrößen können für eine vertiefte Zustandserfassung erforderlich werden:

- Querschnittsabmessungen wie Bauteildicken, Neigungen und Anzüge
- Art der Gründung sowie die Gründungstiefe
- Bodenkennwerte, Bodenaufbau und Bodenschichtung sowohl des Hinterfüllungs- als auch des Gründungskörpers
- Kennwerte der verwendeten Baustoffe (z.B. Betongüte, Steinklasse, Stahlgüte)

- Lage und Art der Entwässerungseinrichtungen und Drainagen
- Geländeform sowohl im an das Bauwerk angrenzenden Nahbereich, als auch im gesamten Einflussbereich des Bauwerkes
- Art und Ausführung der Anschlussfugen zwischen einzelnen Bauteilen und Herstellungsabschnitten
- Art und Ausführung der Bauwerksrückseite
- Lage und Zustand tragfähigkeitsrelevanter Bauelemente (z.B. Betondeckung, Bewehrungskorrosion)

Nähere Beschreibungen zur Erfassung und Bestimmung oben angeführter Kennwerte und Kenngrößen können den Kapiteln 6.2 bis 6.6 und dem Anhang A sowie für Betonbauteile im Speziellen der ÖNORM B 4706 [14] entnommen werden.

6.2. Handnahe Begutachtung

Grundsätzlich erfolgt die Handnahe Begutachtung im Rahmen der Untersuchungen gemäß RVS 13.03.61 [3]. Im Rahmen dieser Empfehlungen kann die Handnahe Begutachtung für die Lokalisierung und Auswahl der Untersuchungsbereiche für eine vertiefte Zustandserfassung zur Anwendung kommen.

6.3. Zerstörungsfreie¹ Untersuchungsmethoden

Methoden, welche es ermöglichen, Erkenntnisse über ein Bauwerk (Bauteil) oder Parameter und Eigenschaften eines Baustoffs zu erhalten, ohne dieses zerstören oder schädigen zu müssen, werden als zerstörungsfreie Untersuchungsmethode bezeichnet. Aufgrund der meist indirekt² erfassten Ergebnisse sind derartige Untersuchungen vor Ort zu kalibrieren und auf ihre Plausibilität hin zu prüfen. Bei der Anwendung derartiger Methoden ist darauf zu achten, dass die kleinflächig hergestellten Zerstörungen bzw. Beschädigungen am Bauwerk oder an Bauteilen nach Abschluss der Untersuchungen beseitigt und der Zustand der Untersuchungsbereiche und damit die Dauerhaftigkeit wiederhergestellt werden.

- Bestimmung der Querschnittsabmessungen

Zur Erfassung der Abmessungen eines Bauteils oder zur Überprüfung der planlichen Angaben, können Bohrungen oder dergleichen herangezogen werden.

- Bohrungen bis zu einem Durchmesser von 35 mm (A.1)
- Ultraschalluntersuchungen (A.2)
- Impact-Echo-Verfahren (A.3)

¹ Eine Unterteilung zwischen zerstörungsfreien und zerstörungssarmen Untersuchungsmethoden wird in diesen Empfehlungen nicht vorgenommen.

² Aufgrund von Korrelationen mit anderen Messgrößen oder Kennwerten.

- Bestimmung des Aufbaus von Betonquerschnitten

Neben der Bestimmung der Abmessungen eines Betonsegments ist es mit Hilfe von zerstörungsfreien Untersuchungen möglich, Fehlstellen und Inhomogenitäten zu erfassen und diese gegebenenfalls auch in ihrer Größe und Lage zu definieren.

- Abklopfen – vor allem bei oberflächennahen Hohlstellen
- Ultraschalluntersuchungen (A.2)
- Impact-Echo-Verfahren (A.3)
- Low-Strain-Verfahren (A.3)
- Radar (A.3)
- Magnetisches Wechselfeldverfahren (A.4)

- Bestimmung der Schädigung der Betonstruktur

Zur Bestimmung der Schädigung oder des Schädigungsfortschrittes an Betonbauteilen können folgende Untersuchungen durchgeführt werden:

- Bestimmung der Alkalikieselsäurereaktion

- Bestimmung der Materialzusammensetzung oder der Baustoffeigenschaften

Um die Materialzusammensetzung eines Betonbauteils, beziehungsweise die Eigenschaften (und oftmals notwendige Kenngrößen) eines Bauteils zu bestimmen, können folgende Geräte zur Anwendung kommen:

- Rückprallhammer (A.6)
- Ultraschalluntersuchungen (A.2)
- Elektrische Widerstandsmessung (A.7)
- Magnetisches Gleichfeld (A.8)
- Magnetisches Wechselfeldverfahren (A.4)

- Untersuchung der Bewehrung von Betonbauteilen

Zur Erfassung der Bewehrungselemente in Betonbauteilen können unterschiedlichste Methoden herangezogen werden.

- Bestimmung der Karbonatisierungstiefe (A.5)
- Bestimmung des Chloridgehalts (A.5)
- Radar (A.3)
- Magnetisches Gleichfeld (A.8)
- Magnetisches Wechselfeldverfahren (A.4)
- Potentialfeldmessung (A.9)

- Untersuchungen mittels bildgebender Geräte
Mit Hilfe bildgebender Geräte ist es möglich, ansonsten unzugängliche Bereiche, wie etwa Schächte, Drainage- und Entwässerungseinrichtungen sowie die Innenseite von Kernbohrungen näher zu erfassen und zu dokumentieren.
 - Endoskopie (A.10)
- Untersuchungen in Bodenkörpern
Zur Erfassung des Bodenkörpers stehen derzeit nur wenige Methoden zur Verfügung.
 - Untersuchungen im Bohrloch (A.11)
 - Geophysikalische Untersuchungen (A.12)

6.4. Zerstörende Untersuchungsmethoden

Messungen, welche aufgrund einer (meist kleinflächigen) Zerstörung des Bauwerks oder Baustoffs genauere Informationen über die Eigenschaften (Geometrie, Aufbau, Material) und Parameter (Festigkeit, Güte) eines Bauwerks oder Bauteils liefern, werden als zerstörend bezeichnet.

Im Gegensatz zu den zerstörungsfreien Methoden ist es durch die Entnahme von Bauteilproben möglich, diese einer direkten Untersuchung und Prüfung im Labor zu unterziehen. Durch die Entnahme von Bauteilproben können umfangreichere Untersuchungen durchgeführt werden, und eine unmittelbare Ermittlung von Kennwerten wird ermöglicht. Weiters ist es möglich und empfohlen, zerstörungsfreie Untersuchungsmethoden durch die Entnahme von Proben zu kalibrieren und zu validieren. Im Anschluss an die Anwendung einer zerstörenden Untersuchung ist ebenfalls auf die sachgemäße Wiederherstellung des Zustands zu achten. Dabei ist vor allem an die Anbindung der neuen Baustoffe oder Elemente an den Bestand sowie die Dauerhaftigkeit der Wiederherstellung zu achten. Dies kann bei einer geplanten (zeitnahe) stattfindenden Durchführung einer Instandsetzung des Bauwerks oder Bauteils in Absprache mit dem Bauwerkserhalter entfallen.

- Untersuchungen an Betonbauteilen
Diese Untersuchungen dienen hauptsächlich der Feststellung des Bauwerksaufbaus sowie zur Feststellung von Bauteilabmessungen und zur Entnahme von Bauteilproben.
 - Kernbohrungen (A.13)
 - Kleinflächige Freilegungen durch Stemmen oder Schrämen
 - Hochdruckwasserstrahlen (A.14)
- Untersuchungen am Gesamtbauwerk
Hierbei handelt es sich vor allem um Untersuchungen und Methoden mit dem Ziel, das gesamte Bauwerk oder repräsentative Teilbereiche zu untersuchen. Hauptziel derartiger Untersuchungsmethoden soll es sein, einen Gesamtüberblick über das Bauwerk zu erhalten – im Vergleich zu einer meist punktuellen Erkenntnis aus Ergebnissen anderer zerstörender oder zerstörungsfreier Methoden.
 - Herstellung von Untersuchungsschlitzen oder Zugangsschächten
 - Teilabbruch eines Bauwerks oder Bauteils

6.5. Untersuchungen im Nahbereich des Objektes

Neben den zerstörungsfreien und zerstörenden Untersuchungsmethoden sind im Allgemeinen auch Untersuchungen im Nahbereich des Bauwerks durchzuführen, um den Zustand und die Beschaffenheit der Bauwerksumgebung zu erfassen und daraus resultierende Einflüsse und Randbedingungen auf das Bauwerk abzuklären.

- Augenscheinliche Untersuchung des Geländes
Veränderungen des Bauwerks gehen oftmals mit Veränderungen oder Anpassungen des Geländes einher.
 - Visuelle Erfassung von Verformungen, Aufwölbungen, Anrissen oder Abbrüchen an der Geländeoberfläche
 - Schiefstellungen von Bäumen (Säbelwuchs)
 - Nassstellen und Wasseraustritte
 - Fehlstellungen oder Schiefstellungen an Infrastruktureinrichtungen wie Leitungen, Rohren oder anderen Einbauten
 - Grabungsarbeiten und Schürfe (A.15)
- Untersuchungen im Bodenkörper
Um genauere Aussagen über den Aufbau sowie die Eigenschaften des im Nahbereich eines Stützbauwerks vorliegenden Bodenkörpers zu erhalten, können unterschiedliche teilweise zerstörende, teilweise zerstörungsfreie Untersuchungen angewandt werden.
 - Schürfe (A.15)
 - Hammerbohrungen und Schlitzsonden
 - Hydrogeologische Untersuchungen zu Grund- und Hangwasserströmungen
 - Sondierungen (A.16)
 - Aufschlussbohrungen (A.17)
 - Untersuchungen im Bohrloch (A.11)
 - Geophysikalische Untersuchungen (A.12)

6.6. Sonstige Untersuchungsmethoden

Neben den in den Kapiteln 6.2 bis 6.5 beschriebenen Untersuchungsmethoden können auch Bauteilversuche fallweise herangezogen werden.

6.7. Beobachtungsmethode, Monitoring und Messtechnik

Monitoring kann zur zerstörungsfreien (oder zerstörungsarmen) messwertgebundenen Untersuchung bzw. Überwachung eines Ingenieurbauwerks herangezogen werden. Bei der Planung und Umsetzung von Monitoringaufgaben an Stützbauwerken sind generell die Inhalte der RVS 13.03.01 [2] einzuhalten. Hinsichtlich der Anwendung der Beobachtungsmethode wird auf die Ausführungen gemäß Eurocode 7 [11] verwiesen.

Mittels eines Monitorings können Veränderungen des Bauwerkszustands über die Zeit erfasst und in weiterer Folge beurteilt werden. Verschlechterungen des Bauwerkszustandes können jedoch durch ein Monitoring nicht beseitigt oder entschleunigt werden. Bei sensiblen Bauwerken bzw. kritischen Bauwerkszuständen wird empfohlen, entsprechende Warn- und Alarmwerte und die damit verbundenen Konsequenzen mit den Fachexperten und dem Bauwerkserhalter festzulegen.

6.7.1. Planung des Monitorings

Bei der Planung eines Monitoringsystems ist es erforderlich, die Randbedingungen und Einflüsse für das zu erfassende Bauwerk zu kennen und diese den eventuell bereits vorliegenden Schadensbildern und möglichen Versagensmechanismen gegenüberzustellen.

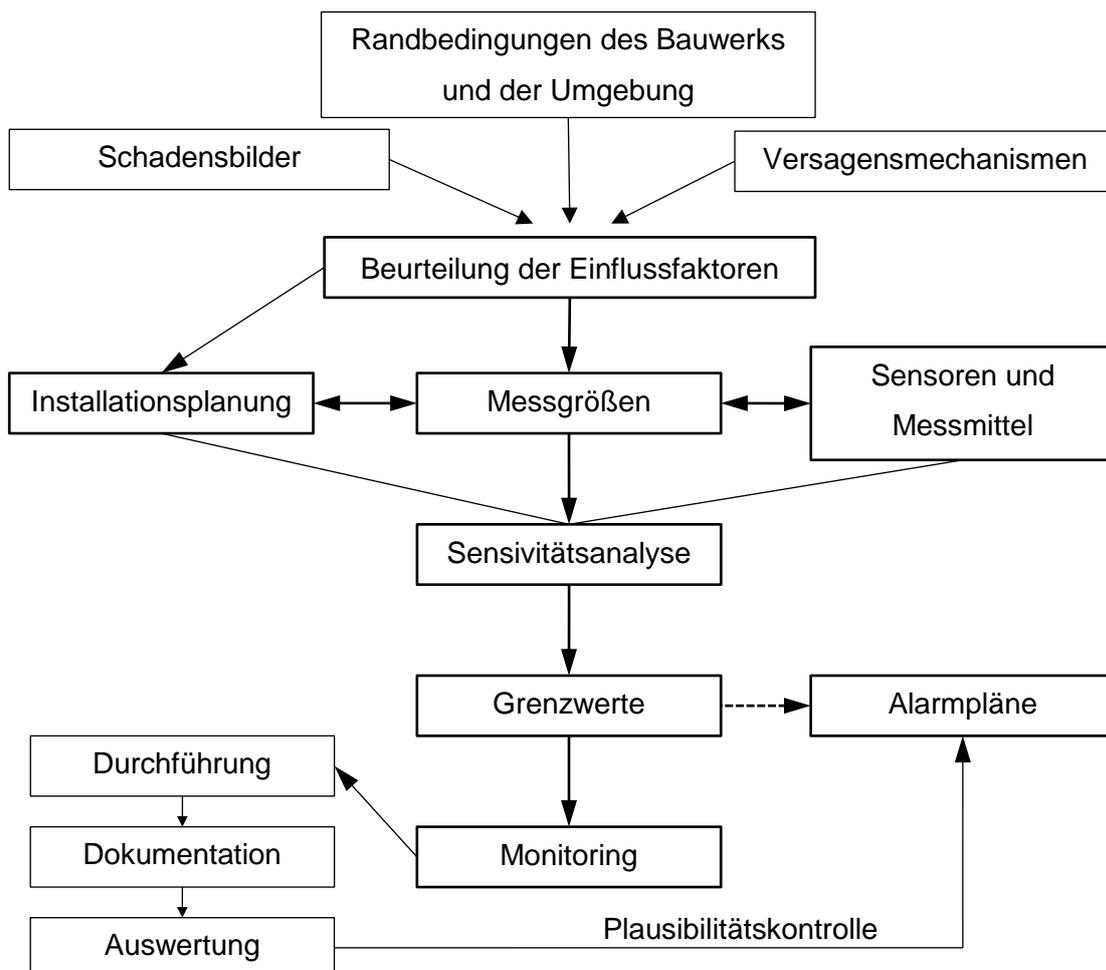


Abb. 13: Ablauf zur Erarbeitung eines Monitoringkonzeptes

In die Beurteilung der Einflussfaktoren für ein Monitoring fließen die Schadensbilder, die Randbedingungen des Bauwerks und der Umgebung sowie die Versagensmechanismen ein. Aufbauend auf dieser können Messgrößen sowie Sensoren und Messmittel und ein dazugehöriger Installationsplan für das Monitoring erstellt werden.

Aufbauend auf einer Sensitivitätsanalyse zu den ausgewählten Messgrößen, Messmitteln und deren Genauigkeit können Grenzwerte definiert werden, welche wiederum eine Grundlage für die Erstellung von Alarmplänen und weiteren Maßnahmen bilden.

Die Durchführung des Monitorings ist durch eine Dokumentation sowie eine Auswertung der Messergebnisse zu vervollständigen. Die Auswertung sollte laufend erfolgen, während die Ergebnisse mit Grenzwerten bzw. Randbedingungen aus Alarmplänen abzugleichen sind.

6.7.2. Positionierung von Messmitteln (Installationsplanung)

Neben der Auswahl der richtigen Messgröße und eines für die Erfassung dieser Messgröße geeigneten Messinstruments ist ebenfalls die Positionierung dieser ausschlaggebend für die Aussagekraft der erhaltenen Messwerte. Messinstrumente können hierfür im Baugrund, an angrenzenden Objekten, am Bauwerk selbst oder an für die Tragfähigkeit erforderlichen Einzelbauteilen angebracht werden.

6.7.3. Prognosemodelle und Alarmpläne

Zusätzlich zur Auswertung der Messergebnisse können Prognosemodelle für die Abschätzung des zukünftigen Bauwerksverhaltens herangezogen werden. Die Erstellung derartiger Modelle ist jedoch im Allgemeinen mit einem hohen Datenaufwand und einem sehr detaillierten Kenntnisstand über das Bauwerk verbunden. Ein laufendes Update des Modells ist erforderlich (Modell Updating) um die verwendeten Parameter und Stoffgesetze auf das aktuelle Bauwerksverhalten hin anzupassen. Die Anwendung derartiger Modelle kann jedoch eine Interpretation der erhaltenen Messergebnisse nie ersetzen.

Durch die Erstellung von Alarmplänen und die Festlegung von Alarm- und Grenzwerten in Kombination mit einer Alarmkette kann die Sicherheit des Bauwerks (oder einzelner Streckenabschnitte) erhöht werden.

Die Messgrößen können durch unterschiedlichste Messinstrumente und auf Grundlage mehrerer Mess- und Erfassungsmethoden bestimmt werden und unterteilen sich in geometrische, physikalische und chemische Messgrößen (siehe Tab. 1). Hierbei können Sensoren sowohl für ein Monitoring (zerstörungsfreie messwertgebundene automatisierte Überwachung eines Ingenieurbauwerks nach RVS 13.03.01 [2]) als auch für eine ähnlich der Beobachtungsmethode (siehe Eurocode 7 [11]) periodisch stattfindende Erfassung der Messwerte herangezogen werden. Weiters können einige der Messgrößen auch dazu herangezogen werden, Kennwerte oder Materialparameter (und deren Änderung) vor Ort oder durch Laboruntersuchungen zu bestimmen.

Tab. 1 zeigt beispielhaft den Zusammenhang zwischen den einzelnen Messinstrumenten / Messmitteln / Sensoren und den zugehörigen geometrischen, physikalischen und chemischen Messgrößen. Eine detaillierte Erläuterung der jeweiligen Messinstrumente ist dem Anhang B zu entnehmen.

Messmittel / Instrumente / Sensoren	geometrische Messgrößen						physikalische Messgrößen								chemische Messgrößen										
	Starrkörperbewegung		Längen- änderung		Neigung [°]		Risstiefe [m]	Rissbreite [m]	Druck	Erddruck [N/m²]	Porenwasserdruck [N/m²]	Kraft [N]	Temperatur [°K]	Schwinggeschwindigkeit [m/s²]	Eigenfrequenz [Hz]	Dämpfung [%]	Feuchte [%]	Feuchtigkeitsgehalt [%]	Festigkeit [N/m²]	Wärmedurchlässigkeit [W/m²K]	Korrosion [-]	Karbonatisierung [%/m]	Chloridgehalt [%]	Grundwasser Chemie [-]	Boden Chemie [-]
Position	Verschiebung [m]	Verdehung [°]	Schiefstellung [m]	Setzung [m]	Stauchung [%]	Dehnung [%]																			
Totalstation	XX	XX	X	XX	X	X																			
GNSS Sensor	XX	XX	X	X	X	X																			
Laserscanning	XX	X	X	XX	X	X																			
bodenbasiertes SAR																									
satellitenbasiertes SAR																									
Photogrammetrie		X	X	X	X	X																			
Nivellier		X																							
Schlauchwaage																									
Pendel / Lot			XX	XX																					
Neigungssensor			XX	XX																					
Inklinometer		X	X	X																					
Inklinodefometer ²		X	X	X																					
Wegaufnehmer		XX																							
Fissurmeter		X	X																						
Dehnmessstreifen				XX	XX	XX																			
Konvergenzband		X	X	X	XX	XX																			
Extensometer		X	X	X	XX	X																			
Gleitmikrometer		X	X	X	X	X																			
Temperaturaufnehmer												XX													
Feuchteaufnehmer												X													
Kraftaufnehmer						X					XX														
Erddruckaufnehmer										XX															
Piezometer										XX															
Faseroptischer Sensor						XX						XX													
Massenerreger													X		XX										
Potentialfeldmessung ¹																									
Elektrischer Widerstand ¹																									
Ultraschallmessung ¹																									
Permeabilitätsanalyse ¹																									
Laboruntersuchungen ¹																									

¹ im Zuge einer Bauwerksprüfung
² in Entwicklung befindlich oder bereits in der Forschung in Anwendung

XX direkte Messgröße
X indirekte Messgröße

Tab. 1: Eignung von Messinstrumenten zur Erfassung von geometrischen, physikalischen und chemischen Messgrößen

6.7.4. Monitoring und Beobachtung von Stützbauwerken

Neben der Art und dem Umfang einer Messung sollten im Zusammenhang mit Stützbauwerken (generell Ingenieurbauwerken) folgende Grundsätze und Besonderheiten beachtet werden:

- Monitoring kann die notwendigen Grundlagen liefern, um eine Veränderung (Verschlechterung) des Bauwerkszustandes zu erkennen. Die dieser Veränderung zugrunde liegenden Randbedingungen können jedoch durch ein Monitoring nicht beseitigt oder entschleunigt werden;
- Bei Beschädigung oder Verlust sind die Messeinrichtungen zu ergänzen;
- Bei einer allenfalls erforderlichen Fortsetzung einer Messreihe ist bei einer Veränderung des Messsystems auf die Kompatibilität der Messergebnisse zu achten;
- Vorhandene und verwendete Referenz- und Messeinrichtungen sollten dauerhaft vor Beschädigung oder Alterung geschützt werden;
- Die Messintervalle sind in Abstimmung zwischen den Fachplanern und dem Erhaltungsverpflichteten festzulegen.

Die oben angeführten Punkte sollten in allen Bereichen des Monitorings, von der Planung über die Durchführung bis hin zu einer Stilllegung des Monitoringsystems, mit in Betracht gezogen werden. Von einem Monitoring eines Bauwerks oder der Anwendung der Beobachtungsmethode kann lediglich gesprochen werden, wenn periodische Folgemessungen unter Anwendung eines Messinstrumentes durchgeführt werden.

Die Notwendigkeit eines Monitoringsystems sollte gemeinsam mit dem Bauwerkserhalter erarbeitet werden und bereits in frühen Phasen durch darauf spezialisierte Personen kontrolliert und validiert werden.

6.8. Ergebnisse & Maßnahmen

Am Ende einer vertieften Zustandserfassung kann in Anlehnung an RVS 13.03.61 [3] eine Zustandsbeurteilung mit dem Bewertungssystem und einem Befund (Befundung und eventuelle gutachterliche Bewertung) erfolgen. Auf Basis der Ergebnisse der Zustandserfassung und der Zustandsbeurteilungen (sowie Befundung) sind entsprechende Maßnahmenempfehlungen anzugeben. Hierbei soll vor allem auf folgende Punkte eingegangen werden:

- Auswirkungen und Konsequenzen des aktuellen Zustandes ohne zusätzliche Maßnahmen;
- Ergänzende Maßnahmen, um die Zuverlässigkeit des Bauwerks dauerhaft sicherzustellen;
- Durchführung detaillierter Untersuchungen oder Installation und Auswertung eines Monitoringsystems zur Überwachung des Bauwerkszustandes;
- Änderungen und Anpassungen in den aktuellen Erhaltungs- und Instandsetzungsphasen des Bauwerks;
- Maßnahmen am Bauwerk, welche einer Instandsetzung, Instandhaltung, Ertüchtigung oder Erneuerung entsprechen;

- Durchführung von Sofortmaßnahmen bei Vorliegen eines schlechten Ist- Zustandes gemäß RVS 13.03.61 [3] und Veranlassung von entsprechenden Maßnahmen zur Behebung der zugehörigen Schäden;
- Organisatorische Maßnahmen wie Straßensperren, Umleitungen, Streckensperren oder die Anordnung von Langsamfahrbereichen;
- Ersatz des Bauwerks oder einzelner Bauwerksteile;
- Außerbetriebnahme des Bauwerks;
- Rückbau des Bauwerks.

Bei der Planung und Ausarbeitung einer Maßnahme müssen folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Eine Beseitigung der Ursache(n) des Schadens muss durch die Umsetzung der Maßnahme sichergestellt werden;
- Beseitigung oder Verlangsamung der vorgefundenen möglichen Versagensmechanismen;
- Behebung des Schadens oder der Schäden am Bauwerk und in dessen Umgebung;
- Schutz des Bauwerks vor weiteren Schäden oder dem Eintreten anderer Versagensmechanismen.

Allgemein ist bei Veränderungen, Instandsetzungen oder Anpassungen des Bauwerks immer eine mögliche Systemänderung der Lastableitung (Lastumlagerung) in der Planung und Ausführung der Maßnahme zu beachten. Erforderlichenfalls ist hierfür eine messtechnische Ausstattung des Bauwerks vorzusehen. Zur Sicherungstellung der Verhältnismäßigkeit einer Maßnahme ist diese im Gesamten durchzuplanen, auf ihren Nutzen, die Wirtschaftlichkeit und auf die Randbedingungen der Bauwerkserhaltung hin zu überprüfen. Unter Umständen ist eine Prognose der Restnutzungsdauer, auf Basis der zeitlichen Zustandsentwicklung, sowie der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit, von Interesse.

7. RISIKOBEWERTUNG

7.1. Allgemeines

Nicht immer ist es möglich, eine eindeutige Beurteilung des Erhaltungszustandes, der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit von unverankerten Stützbauwerken auf Basis der erhaltenen Informationen (Zustandserfassung, Zustandsbeurteilung, Berechnungen, etc.) vorzunehmen. Mögliche Gründe hierfür können sein:

- Fehlende oder unvollständige Informationen zum Bauwerk;
- Unkenntnis über den Erhaltungszustand tragfähigkeitsrelevanter Bauteile oder Materialien;
- Schwankungsbreite der Ergebnisse aus der Zustandserfassung;
- Mangelnde Dokumentation und fehlende Unterlagen zu Veränderungen oder Vorschädigungen am Bauwerk.

Aus den oben angeführten Gründen kann es daher erforderlich werden, eine Risikobewertung durchzuführen. Deren Ergebnis dient zur genaueren Bewertung der Auswirkungen und Planung allenfalls erforderlicher Maßnahmen. Dazu können die klassischen Methoden zur Risikobewertung angewendet werden. Auf eine erforderliche Evaluierung der Ergebnisse der Risikobewertung ist in regelmäßigen Abständen Bedacht zu nehmen. Die im nachfolgenden Kapitel 7.2 angeführte Vereinfachte Risikobewertung stellt im einfachsten Fall eine Risikoklassifizierung bzw. –spezifizierung im Sinne einer Risikobewertung (vgl. [3] Anwendungsbereich) dar.

7.2. Vereinfachte Risikobewertung

Mit einer vereinfachten Risikobewertung, die auch jener im Anwendungsbereich der RVS 13.03.61 [3] entspricht, soll es dem Bauwerkserhalter ermöglicht werden, das Risiko in dessen Wirkungsbereich oder entlang eines bestimmten Streckennetzes zu spezifizieren. Hierfür kann eine Prioritätenreihung auf Grundlage unterschiedlichster Kriterien durchgeführt werden. Diese Prioritätenreihung soll dabei Bezug auf die Ereignisschwere und das Schadensausmaß (ONR 24008 [1]) nehmen. Bei einer derartigen Reihung müssen unterschiedliche Einflüsse auf das Bauwerk, die Historie im Zusammenhang mit dem Bauwerk sowie der Bauwerkstyp betrachtet werden. Hierfür können folgende Kriterien herangezogen werden:

- Rang der Straße (Bundesstraßen A und S, Landesstraßen B und L, Gemeindestraßen, Sonstige Wege, Forstwege); Streckenkategorie oder Streckenrang bei Eisenbahnverkehr;
- Bauwerkstypen, Bauwerke sowie standsicherheitsrelevante Bauteile, bei denen in der Vergangenheit massive Schäden vorgefunden wurden oder die als Ursache für Versagensfälle galten;
- Der Vertrauensgrundsatz für den vorliegenden Bauwerkstyp ist aufgrund von Erfahrungen oder bisherigem Kenntnisstand nicht mehr anwendbar;
- Die Verkehrsstärke (z.B. JDTV) des betrachteten Streckenabschnittes; Zugzahlen bei Eisenbahnstrecken;
- Stützbauwerke ab einer Höhe größer als 3,00 m über Geländeoberkante;
- Das Alter des Bauwerks;

- Der augenscheinliche Erhaltungszustand des Stützbauwerks;
- Bauwerke und Bauwerkstypen, deren Art der Lastabtragung in den Untergrund unklar oder unbekannt ist;
- Bauwerke im Bereich von öffentlichen Verkehrswegen, Infrastruktureinrichtungen oder öffentlich zugänglichen Bereichen, welche eine unmittelbare Gefahr für Leib und Leben darstellen könnten;
- Bauwerke, deren Versagen oder Teilversagen aus ökonomischer, ökologischer und sicherheitstechnischer Sicht oder einem anderen Grund nicht in Kauf genommen werden kann;
- Abstand der Stützkonstruktion von schützenswerten Bereichen. Beispielhaft sei hierbei das Verhältnis zwischen Abstand zum Fahrbahnrand und Bauwerkshöhe genannt.

Die oben angeführten Kriterien sind als nicht vollständig zu betrachten. Die Auswahl, Wertung und Reihung der Kriterien ist in Abstimmung mit dem Erhalter vorzunehmen.

7.3. Vertiefte Risikobewertung

Wenn zufolge der Ergebnisse einer vertieften Zustandserfassung von einem erhöhten Risiko eines Einzelbauwerks auszugehen ist, kann eine vertiefte Risikobewertung nach dem Stand der Technik durchgeführt werden. Im Gegensatz zu einer vereinfachten Risikobewertung sind bei der vertieften Risikobewertung probabilistische Methoden erforderlich, um eine quantitative Bewertung des Risikos vorzunehmen. Diese ist besonders dann anzuwenden, wenn die Methoden einer vertieften Zustandserfassung (Kapitel 6) bereits ausgeschöpft sind und eine Beurteilung des Bauwerks nach dem Stand der Technik nicht möglich ist.

Hierbei ist folgendes zu beachten:

- Eine Vertiefte Risikobewertung kann lediglich zur Beurteilung eines einzelnen Bauwerks angewendet werden, und stellt den letztmöglichen Schritt im Zuge einer Zustandsbewertung eines Bauwerks dar;
- Pauschalierte Aussagen zu ähnlichen oder benachbarten Stützbauwerken sind auf Grund der Vielzahl der in derartige Untersuchungen einfließenden Parameter und Randbedingungen nicht möglich;
- Für die Durchführung einer aussagekräftigen vertieften Risikobewertung ist im Allgemeinen eine große Datenmenge über das Untersuchungsobjekt erforderlich;
- Trotz ausreichend vorhandener Daten kann die Zuverlässigkeit einer vertieften Risikobewertung, und damit die Qualität der Risikobewertung, deutlich streuen. Streuungen der Eingangsdaten in einer Bewertung sind nach Möglichkeit durch eine Sensitivitätsanalyse näher zu erfassen und darzustellen.

Die Durchführung einer vertieften Risikobewertung sowie die aus den Ergebnissen abzuleitenden Maßnahmen sind in Absprache mit dem Bauwerkserhalter und den erforderlichen Fachexperten abzustimmen und festzulegen.

ANHANG A – UNTERSUCHUNGSMETHODEN

A.1. Bohrungen $DN \leq 35$ mm

Unter Verwendung von Bohrgeräten (im Regelfall ohne Spülung) können kleine Bohrungen mit einem Durchmesser von bis zu 35 mm hergestellt werden. Durch Bohrungen mit derartig kleinem Durchmesser soll die Schädigung des Bauwerks im Regelfall gering gehalten werden. Anhand dieser Bohrungen ist es einerseits möglich die Dicke des Bauteils (bis ca. 60 cm) zu erfassen, andererseits können Baustoffproben entnommen werden.

A.2. Ultraschalluntersuchungen

Diese Untersuchungsmethode beruht auf der Erzeugung eines mechanischen Impulses durch einen am Bauteil applizierten Prüfkopf. Dieser Impuls breitet sich als elastische Welle im Bauteil aus und liegt für Betonbauteile im Allgemeinen in einem Frequenzbereich zwischen 30 und 100 Hz. An Schichtgrenzen wie etwa der Bauteilrückwand, Bewehrungsstäben, Einbauteilen oder Hohlräumen wird das Messsignal reflektiert. Je größer der Unterschied in der Impedanz (Produkt von Rohdichte zu Ausbreitungsgeschwindigkeit) ist, desto stärker wird das Messsignal reflektiert. Beim Übergang zwischen Beton und Luft, wie dies im Bereich von Nestern oder Hohlstellen oder auch am Übergang zwischen Bauteil und Boden der Fall ist, kommt es zu einer beinahe totalen Reflektion des Signals, und es findet eine Abschattung des Messsignals hinter derartigen Bereichen statt. Neben der Erfassung der Position und Größe von Einbauelementen und Hohlstellen kann diese Untersuchungsmethode ebenfalls zur Erfassung der Querschnittsabmessungen verwendet werden.

A.3. Echo Verfahren

Das Impact-Echo Verfahren sowie Untersuchungsinstrumente basierend auf Radar zählen zu den so genannten Echo-Verfahren. Bei diesen ist der Zugang zum Bauteil lediglich von einer Seite aus erforderlich. Beim Impact-Echo Verfahren werden akustische Wellen (Schall) in das Bauteil eingebracht, welche an Bauteilgrenzen, Einbauten oder Fehlstellen reflektiert werden. Diese reflektierten Wellen können entweder durch Beschleunigungssensoren oder unter Anwendung von Mikrofonen an der Oberfläche erfasst werden. Aufgrund des linearen Zusammenhangs zwischen der Laufzeit der Schallwelle und der Schallwellengeschwindigkeit des Baustoffs kann die Bauteilabmessung oder die Lage vorhandener Einbauten oder Fehlstellen bestimmt werden. Auf einem ähnlichen Prinzip, nur unter Verwendung elektromagnetischer Impulse, basieren Radarmessungen, auch als Impulsradar bezeichnet. Beiden Verfahren gemein sind mögliche Einschränkungen in der Detektionstiefe (Energieverlust des Impacts) und einer Verschattung des eingebrachten Impulses durch Einbauten und Fehlstellen. Für spezielle Bauteile, deren seitliche Ausdehnung im Verhältnis zur Länge sehr gering ist, kommen oftmals auch Low-Strain-Verfahren zum Einsatz (z.B. Integritätsprüfung von Pfählen).

A.4. Magnetisches Wechselfeldverfahren

Ein durch eine Erregerspule erzeugtes Magnetfeld (Primärfeld) wird durch die Anwesenheit metallischer Gegenstände verändert. Hieraus entstehen sekundäre Magnetfelder, welche an der Empfangsspule gemessen werden können. Aus der Messung der beiden Magnetfelder lässt sich die Lage des Bewehrungsseisens (Deckung und Abstand) erfassen sowie, mit gewissen Unschärfen behaftet, auch dessen Durchmesser.

A.5. Untersuchungen zur Struktur des Betons

Zur Bestimmung der Karbonatisierungstiefe des Betons lassen sich mehrere Methoden anwenden. Am bekanntesten und am baupraktisch relevantesten ist der so genannte Phenolphthaleintest. Bei diesem wird die pH-Wert Änderung des Betons durch Aufbringen einer Indikatorlösung erfasst. Diese Methode kann sowohl an (noch jungen) Abplatzungen der Oberfläche durchgeführt werden als auch an entnommenen Bohrkernen oder im Bereich von Abschrägungen oder Stemmschlitzten. Weiters kann die Karbonatisierung des Betons durch Bohrmehlentnahmen, Mikroskopien oder Thermoanalysen bestimmt werden.

Als einfachster Indikator für den Chloridgehalt kann Silbernitrat zur Anwendung kommen. Hiermit kann jedoch lediglich die Anwesenheit von Chlorid nachgewiesen werden. Für genauere Aussagen ist eine Bohrmehlentnahme und chemische Analyse im Labor erforderlich. Die Bestimmung des Chloridgehalts an Bohrkernen ist nicht immer zweckmäßig, da das zur Kühlung der Schneidkronen eingesetzte Wasser, Chloride aus den Untersuchungsbereichen ausspülen kann.

A.6. Rückprallhammer

Mittels Rückprallhammer lässt sich die Druckfestigkeit von Beton (oder auch Steinmaterialien) bestimmen. Das Messprinzip basiert auf der Umwandlung der kinetisch eingebrachten Energie an der Bauteiloberfläche. Die Grundlagen für eine derartige Prüfung sind in ÖNORM EN 12504 - 2 zu finden. Durch die Prüfung von Betonbohrkernen lassen sich die aus der Bestimmung der Rückprallzahl erhaltenen Betondruckfestigkeiten eichen und validieren.

A.7. Elektrische Widerstandsmessung

Durch die Erfassung des elektrischen Widerstands zwischen zwei an der Oberfläche eines Betonbauteils angebrachten Sonden lässt sich die Feuchte des Bauteils bestimmen.

A.8. Magnetisches Gleichfeld

Durch eine von außen kommende Magnetisierung eines Bewehrungselementes wird ein permanentes Magnetfeld entlang des Stabes erzeugt. Dieses lässt sich durch die Anwendung der magnetischen Anziehungskraft oder durch den Streufusseffekt bestimmen. Ziel hierbei ist es, die Betondeckung und die Lage der Bewehrung zu ermitteln.

A.9. Potentialfeldmethode

Korrodierte Bewehrungselemente bilden einen Potentialunterschied (geschlossener galvanischer Stromkreislauf) zwischen der Korrosionsstelle und dem noch passiven Bereich des Bewehrungsstahls aus. Durch die Messung der Spannung an der Betonoberfläche kann dieser Potentialunterschied erfasst werden und lässt Rückschlüsse auf die Korrosionsschädigung zu. Aufgrund der meist sehr geringen Spannungsunterschiede ist diese Art der Messung nur bis in gewisse Tiefen möglich – woraus die Anwendung bei geotechnischen Bauwerken wie Winkelstützmauern (Korrosion der rückseitigen Zugzone) vor der Anwendung zu prüfen ist.

A.10. Endoskopie

Durch endoskopische Untersuchungen ist es möglich, visuelle Einblicke in das Innere von Bauteilen oder Sondieröffnungen zu erhalten. Hierdurch können die konstruktiven Ausbildungen (Bauteilfugen), Bauteilzustände (Drainage und Entwässerung) aber auch detailliertere Aufnahmen von Bohrungen erstellt werden.

A.11. Untersuchungen im Bohrloch

Um die Erkenntnisse aus einem durch eine Bohrung oder Sondierung hergestellten Bodenprofil zu verfeinern, können bohrlochgeophysikalische Methoden, z.B. zur Ausbreitungsgeschwindigkeit von p- oder s- Wellen im Untergrund, angewendet werden. Die angewendeten Verfahren sind im Groben mit jenen der geophysikalischen Untersuchungen [A.12] vergleichbar.

A.12. Geophysikalische Untersuchungen

Mittels geophysikalischer Untersuchungsmethoden können großflächige Untersuchungen des Bodens durchgeführt werden. Durch diese indirekte Art der Untersuchung ist es zwar nicht möglich, bodenkundliche Ergebnisse in Form von direkten Aufschlüssen oder Bodenproben zu erhalten, jedoch können in Ergänzung mit anderen Untersuchungsmitteln Rückschlüsse auf die Bodeneigenschaften gezogen werden. Ein Vorteil dieser Methoden besteht darin, dass eine große Fläche untersucht werden kann, woraus das Gesamtbild des Untergrundes signifikant verbessert und erweitert werden kann. Weiters können unter Umständen „Fehlstellen“ oder Schwachpunkte im Bodenaufbau erkannt werden, welche bei einer punktuellen Untersuchung möglicherweise nicht erkannt worden wären. Beispielhaft hierfür seien seismische Untersuchungen, dynamische Untersuchungen, bodenelektronische Untersuchungen und die Verwendung radioaktiver Isotope (Tracer) angeführt.

A.13. Kernbohrungen

Durch die Herstellung von Bohrungen und die Entnahme der Bohrkern in einem Bestandsbauteil können unterschiedliche Informationen zu Bauteil und Baustoff erhalten werden. So können die Mächtigkeit des Bauteils an dieser Stelle, die Lage und Größe der Bewehrung, sowie vorhandene Gefügestörungen untersucht werden. Neben diesen rein visuellen Erfassungen können ebenfalls Laboruntersuchungen an den entnommenen Proben durchgeführt werden. Im Zuge dieser Prüfungen können erforderliche Kennwerte wie die Rohdichte, die Druckfestigkeit und der E-Modul der entnommenen Betonprobe bestimmt werden. Neben diesen rein im Labor durchzuführenden Prüfungen können auch vor Ort Untersuchungen (beispielsweise A.5) vorgenommen werden. Bohrkern zur Prüfung der Druckfestigkeit nach ÖNORM EN 12390-3 sind in Anlehnung an ÖNORM EN 12504-1 herzustellen, zu lagern und zu bepröfen.

Bei der Planung und Durchführung einer derartigen Untersuchung ist vor allem auf die Lage der Bohrung im Bauwerk zu achten, um nicht die Tragfähigkeit des Bauwerks zu gefährden. Weiters sei angemerkt, dass durch Kernbohrungen lediglich ein punktueller Aufschluss über das Bauwerk erhalten wird. Dieser kann durch Herstellungsungenauigkeiten, Anpassungen vor Ort oder andere Einflussparameter stark streuen. Daher sollte versucht werden, diese zerstörenden Untersuchungsmethoden durch zerstörungsfreie oder zerstörungsarme Untersuchungen zu ergänzen.

Obige Ausführungen gelten für Beton und Mauerwerk und sind nicht für Bohrungen im Zuge geotechnischer Untersuchungen anwendbar.

A.14. Hochdruckwasserstrahlen (HDW)

Durch die Anwendung des Hochdruckwasserstrahlens erfolgt ein Abtrag der Betonoberfläche, welcher bis hin zur Herstellung eines Fensters über die gesamte Bauteilstärke stattfinden kann. Dieser Abtrag kann kleinflächig zur Herstellung eines Untersuchungsbereichs sein, aber auch an großen Teilen der Oberfläche durchgeführt werden, um schadhafte Bereiche zu entfernen oder um die erforderliche Qualität für eine Oberflächennachbehandlung sicherzustellen. Bei der Herstellung dieser Untersuchungsbereiche ist zu beachten, dass diese eine Schwächung des Bauteiles darstellen und daher die Auswahl der Untersuchungsstellen mit Bedacht durchgeführt wird.

Vorteilhaft bei der Anwendung der HDW- Methode ist, dass ein großflächigerer Bereich im Vergleich zu Kernbohrungen untersucht werden kann, und dass vor allem Untersuchungen an Bewehrungselementen zielgenauer durchgeführt werden können.

A.15. Grabungsarbeiten und Schürfe

Durch kleinflächige Grabungsarbeiten oder Schürfe (direkter Aufschluss entsprechend ÖNORM B 1997-2) kann der Aufbau des Bodenkörpers visuell bestimmt werden. Weiters ist es möglich, Bodenproben zu entnehmen, den Wasserhaushalt im Untersuchungsbereich zu beobachten und eventuelle Einlagerungen zu erfassen. Zu beachten hierbei sind neben den Anforderungen an den Arbeitnehmerschutz auch jahreszeitliche und jährliche Schwankungen (Grund- und Sickerwässer) bei derartigen Untersuchungen.

A.16. Sondierungen

Sondierungen werden zur Ermittlung der Schichtgrenzen im Lockergestein verwendet. Des Weiteren kann durch den Eindringwiderstand auf die Lagerungsdichte bzw. die Konsistenz des Bodens rückgeschlossen werden. Bei der Durchführung einer Sondierung werden Stahlstangen in den Boden eingebracht. Dieses Einbringen kann durch Schlagen, Rammen oder Drücken vonstattegehen. Dabei können aus der für das Einbringen erforderlichen Kraft (in Form der Schlagzahl, Eindringtiefe oder des Druckes) bestimmte Bodenkennwerte korrelativ abgeleitet werden. Sondierungen eignen sich besonders zur Ergänzung von aufwändigeren Untersuchungsmitteln. So kann eine Sondierung durch eine Aufschlussbohrung kalibriert werden und anschließend als günstigere Variante an mehreren Stellen eingesetzt werden. Sondierungen sind indirekte Aufschlüsse nach ÖNORM B 1997-2 und sind daher für die Erkundung meist nicht ausreichend.

Beispielhaft hierfür seien Flügelsondierung, Rammsondierung und Drucksondierung (CPT) angeführt.

A.17. Aufschlussbohrungen

Im Vergleich zu Sondierungen bieten Aufschlussbohrungen (direkter Aufschluss entsprechend ÖNORM B 1997-2) eine höhere Genauigkeit in Bezug auf die Erkundung des Bodens. Während bei Sondierungen lediglich indirekte Rückschlüsse auf den vorliegenden Boden gezogen werden können, ist es durch die Entnahme von Bohrmaterial möglich, eine visuelle Begutachtung durchzuführen und Probenmaterial für Laborversuche zu gewinnen.

Zweckmäßigerweise werden im Zuge der Bohrarbeiten auch Standard Penetration Tests (SPT) durchgeführt.

ANHANG B – MESSINSTRUMENTE

B.1. Totalstation

Eine Totalstation (auch als elektronischer Tachymeter bezeichnet) stellt eine Erweiterung eines Tachymeters dar. Die Richtung sowie die Distanz werden nach dem Zielvorgang erfasst und an eine elektronische Datenverarbeitungseinheit weitergegeben. Die Distanzmessung wird auf einem Reflektor oder reflektorlos auf jeder Oberfläche durchgeführt. Durch motorisierte Einheiten ist es des Weiteren möglich, eine automatisierte Überwachung des Bauwerks durchzuführen. Die Genauigkeit der Winkelmessung liegt im Sekundenbereich z.B. $\sigma_{\text{Winkel}} = 1''$ ($\equiv 3 \text{ mm auf } 600 \text{ m Distanz}$). Die Bestimmung der Schrägstrecke weist, abhängig von der Temperatur entlang der Strecke, dem Luftdruck und der Feuchtigkeit, eine Genauigkeit im mm- Bereich auf. Zusätzlich zu diesen drei Einflussfaktoren sind bei der reflektorlosen Messung auch die Beschaffenheit und Farbe der Oberfläche sowie der Auftreffwinkel ausschlaggebend für die zu erreichende Genauigkeit der Entfernungsmessung.

B.2. GNSS Sensor

GNSS (Global Navigation Satellite System) ist ein Oberbegriff für die unterschiedlichsten globalen Satellitensysteme (z.B. GPS, GLONASS oder Galileo). Wie der Name bereits erkennen lässt, dient dieses System der Positionsbestimmung. Zur Erfassung dieser ist freie Sicht auf mindestens vier Satelliten erforderlich. Mit den empfangenen Signalen können die Position des Empfängers und die Uhrzeit bestimmt werden. Die Genauigkeit der Messung erhöht sich mit jedem zusätzlichen Satelliten, dessen Signal empfangen wird. Bei der Anwendung von GNSS-Sensoren zur Positionsbestimmung im cm- Bereich, ist die Einarbeitung von Korrekturfaktoren zwingend erforderlich. Diese können entweder von lokalen Referenzstationen oder einem Referenzstationsnetz entnommen werden und können in Echtzeit (via Funk oder Mobilfunknetzen) oder im Postprocessing in die Datenverarbeitung einfließen.

B.3. Laserscanning

Beim Laserscanning (auch als Laserabtastung bezeichnet) wird die Oberfläche eines Objektes durch eine Punktwolke abgebildet. Diese Punktwolke ergibt sich aus dem Überstreichen der Oberfläche mittels Laserstrahlen. Laserscanning kann in die beiden Bereiche des airborne Laserscanning (ALS) zur Erstellung digitaler Geländemodelle und dem terrestrischen Laserscanning (TLS) zur Objekterfassung unterteilt werden. Für die Thematik der Erfassung von Stützbauwerken können beide Systeme angewendet werden. ALS kann zur Beobachtung der Bauwerksumgebung herangezogen werden, während TLS zur Überwachung (oder Erfassung) des Bauwerks verwendet wird. Ebenso wie bei Totalstationen wird die Genauigkeit der Laserentfernungsmessung durch Umweltbedingungen beeinflusst.

B.4. Bodenbasiertes InSAR

InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) ist eine auf dem Radarprinzip basierende Sensortechnik. Dabei wird für zwei nebeneinander angeordnete Antennen der Phasenunterschied zwischen der ausgesandten und der empfangenen Radarwelle gemessen. Vorteil dieser Messmethode ist, dass Radarwellen eine geringere Beeinflussung durch atmosphärische Einwirkungen (Nebel, Regen oder Schnee) als Lichtwellen aufweisen. Am häufigsten wird SAR (nicht bodenbasiert) zur Kartierung von Oberflächen mit Hilfe von Satelliten eingesetzt.

B.5. Photogrammetrie

Durch die Photogrammetrie (auch Bildmessung) wird es ermöglicht, aus Messbildern des Objektes die räumliche Lage und daraus eine dreidimensionale Form zu erstellen. Dazu wird die Lage der Bilder zueinander zum Zeitpunkt der Bilderstellung mit Hilfe der Zentralprojektion (Bezug der Bildstrahlen auf einen Festpunkt) hergestellt. Durch die aus Umwandlung und Entzerrung der Bilder erhaltenen Daten ist es möglich, ein maßstäbliches, dreidimensionales Modell des betrachteten Objektes zu erstellen. Weiters ist es mit Hilfe der Bildmessung möglich, geometrische Zusammenhänge eines Objektes zu erfassen. Beispielhaft hierfür sei die Erfassung der Rissbreite an Betonbauteilen angeführt.

B.6. Nivellier

Mit Hilfe eines Nivelliers ist es möglich, eine horizontale Bezugsebene zu erzeugen. Aufbauend auf diese Ebene können Höhenveränderungen in Bezug auf einen Referenzpunkt bestimmt werden. Das Nivelliergerät (oder auch der Rotationslaser) dient zur Erstellung einer horizontalen Bezugsebene und kann somit für die Bestimmung von vertikalen Höhenänderungen herangezogen werden. Linienlaser oder Mehrachsenlaser können, ausgehend von ihrer Aufstellung, auch geneigte Bezugsebenen erstellen, woraus sich eine Vielzahl von geometrischen Veränderungen bestimmen lässt.

B.7. Hydrostatische Messsysteme (Schlauchwaage)

Hydrostatische Messsysteme basieren auf dem Prinzip der kommunizierenden Gefäße und können zur Herstellung eines hydrostatischen Nivellements herangezogen werden. Neben den klassischen Schlauchwaagen zur Übertragung von Höhen über größere Wegstrecken kommen in der Bauwerksüberwachung heute Schlauchwaagen und Drucksysteme zum Einsatz. Schlauchwaagen basieren auf einer Füllstandsmessung, während der Höhenunterschied bei Drucksystemen durch Drucksensoren erfasst wird.

B.8. Pendel / Lot

Ähnlich dem Nivellier ist es mit Hilfe eines Pendels möglich, eine Bezugslinie – hierbei jedoch (bedingt durch die Schwerkraft) lediglich vertikal – herzustellen. Von dieser kann unter Verwendung anderer Messmittel eine vorliegende horizontale Lageänderung erfasst werden. Allgemein kommen Pendel und Lote meist bei der Bestandserfassung zum Einsatz. Für Monitoringzwecke werden diese hauptsächlich bei Speicher- oder Sperrenbauwerken in Form eines invertierten Pendels verwendet. Lote können in Kombination mit einem Laserentfernungsmesser zur Bestimmung der vertikalen Wegstrecke (z.B. Wasserspiegel in einem Pegelrohr) genutzt werden.

B.9. Neigungssensor

Neben der Anwendung innerhalb von Inklinometern kommen Neigungssensoren auch bei der punktuellen Überwachung von Bauwerken und deren Neigungsänderungen zum Einsatz. Mit diesen punktuellen Messungen können Rotationsbewegungen eines Starrkörpers erkannt werden.

B.10. Inklinometer

Inklinometer stellen Messgeräte zur linienförmigen Feststellung der Neigung dar. Die Messung kann sowohl vertikal (hinter Stützbauwerken) als auch horizontal (Tunnelschalenausbau) geschehen und kann abhängig von der geforderten Messdichte kontinuierlich, durch fest installierte Sensoren, oder diskontinuierlich durch wiederholte Messungen durchgeführt werden. Zusätzlich kann durch die Verwendung von Ketteninklinometern eine kontinuierliche und automatische Messung über die gesamte Messstrecke sichergestellt werden. Zur Durchführung einer Messung ist die Anbringung von Messrohren entlang der gewünschten Messstrecke erforderlich.

B.11. Wegaufnehmer

Mit Hilfe eines Wegaufnehmers ist es möglich, Abstandsmessungen zwischen einem Bezugspunkt und einem sich zu diesem bewegenden Punkt zu erfassen. Die Messwerterfassung kann entweder in Form eines Potentialunterschiedes (wegabhängige Ausgangsspannung), Induktivitätsänderung (Magnetfeld), Kapazitätsänderung (elektrisches Feld), Impulsänderung oder einer Laufzeitmessung geschehen. Aufgrund der kleinen Abmessungen der Sensoren kann mit diesen nur eine geringe Längenänderung, wie etwa die Öffnungsweite von Bauteilfugen oder eine Rissbreitenänderung, erfasst werden.

B.12. Fissurometer

Fissurometer stellen eine Sonderform des linearen Wegaufnehmers dar. Ähnlich dem Wegaufnehmer ist es mit Hilfe eines Fissurometers möglich, Verschiebungen zu erfassen. Hierbei geht die Messung jedoch nicht zwingend von einem Bezugspunkt aus, sondern von sich zwei voneinander unabhängig bewegenden Starrkörpern. Bewegungen können abhängig von der Ausführung in eine, zwei oder drei aufeinander orthogonal stehende Richtungen bestimmt werden. Die Auswertung kann durch Messuhren (analog) oder mit Hilfe von elektrischen Messaufnehmern (permanent digital) geschehen. Diese Art der Überwachung kann bei Bauteilfugen, Rissen oder Felsklüften verwendet werden.

B.13. Dehnmessstreifen

Dehnmessstreifen sind Messsensoren zur Erfassung von Dehnungen oder Stauchungen entlang der Applikationsstrecke. Infolge der Verformung des Bauteils tritt eine Längenänderung (verbunden mit einer Querschnittsreduktion) des Dehnmessstreifens auf. Diese Querschnittsänderung zieht eine Änderung des elektrischen Widerstandes, welcher gemessen werden kann, mit sich. Aufgrund ihrer sehr einfachen Funktionsweise und der geringen Größe sind sie Grundlage für eine Vielzahl weiterer Messeinrichtungen, bei denen die Bestimmung einer Verformung oder Wegänderung erforderlich ist. Bei der Verwendung von Dehnmessstreifen ist vor allem auf die sachgemäße und dauerhafte Ausführung der Klebeverbindung zu achten.

B.14. Konvergenzband

Zur Bestimmung des Abstandes (und dessen Änderung) zwischen zwei Punkten kann ein Konvergenzband verwendet werden. Bei Stützbauwerken kann es bei z.B. Trogbauwerken (gegenüberliegende Wände) zur Überwachung der Kopfverformungen eingesetzt werden.

B.15. Extensometer

Durch einen Extensometer können Relativverschiebungen bestimmt werden. Hierbei kann zwischen Stangen- und Drahtextensometern unterschieden werden. Bei einem Stangenextensometer wird die Verschiebung einer Stange erfasst, bei welcher ein Ende fest mit dem Bodenkörper verbunden ist, während sich das andere Ende frei bewegen kann. Durch die Bewegungen am Messkopf des Stangenextensometers lassen sich Verschiebungsdifferenzen ermitteln. Liegen mehrere Bodenschichten vor, oder ist es gefordert, die Verschiebungsdifferenzen in unterschiedlichen Schichthöhen getrennt voneinander zu ermitteln, so können Mehrfachextensometer angewendet werden. Bei einem Drahtextensometer wird die Messung der Längenänderung durch die Erfassung der Veränderungen eines Drahtes durchgeführt. Der Draht kann dabei entweder (wie das Stangenextensometer) in einem Bohrloch verankert sein oder er wird (wie z.B. im Tunnelbau) zwischen zwei Fixpunkten an der Tunnelschale (oder anderen Bauteilen) befestigt.

B.16. Gleitmikrometer

Mit Hilfe eines Gleitmikrometers ist es möglich, die Längenänderung in einem Messrohr zu ermitteln. Dazu wird eine Messsonde in das Messrohr eingebracht und gegen dieses an vordefinierten Messmarken verspannt. Anschließend wird die Veränderung der Sondenlänge entlang der Rohrachse mit Hilfe eines Wegaufnehmers bestimmt. Als Kombination aus Inklinometer und Gleitmikrometer können auch so genannte Trivec Sonden zum Einsatz kommen.

B.17. Temperaturlaufnehmer

Ein klassischer Temperaturlaufnehmer (oder allgemein ein Thermometer) basiert auf der temperaturabhängigen Ausdehnung von Flüssigkeiten, Gasen oder Festkörpern. Um diese Abhängigkeit bestimmen zu können, muss der Kontakt mit dem zu messenden Objekt hergestellt werden. Im Gegensatz hierzu ist bei der berührungslosen Temperaturmessung kein Kontakt erforderlich. Hierbei wird die elektromagnetische Temperaturstrahlung eines Objektes mit Hilfe von Infrarotsensoren bestimmt.

B.18. Feuchteaufnehmer

Die Feuchtebestimmung eines Baustoffs kann entweder direkt in Form einer Entnahme und Trocknung oder indirekt durch Messung bestimmt werden. Die direkte Entnahme kann bei Untersuchungen an der Oberfläche zum Einsatz kommen. Zur indirekten Messung kommen Verfahren, bei welchen die Leitfähigkeit (abhängig vom Feuchtegehalt) oder der Potentialunterschied (Mikrowellen oder elektromagnetische Wellen) gemessen werden, zum Einsatz.

B.19. Kraftaufnehmer

Zur Bestimmung oder Erfassung von Kräften innerhalb von Bauteilen können Kraftzellen (Kraftaufnehmer) verwendet werden. Bei hydraulischen Kraftmessdosen wird die einwirkende Kraft durch eine hydraulische Flüssigkeit an ein Manometer oder einen Druckaufnehmer übertragen. Häufig kommen, aufgrund ihrer kleinen Bauform, mit Dehnmessstreifen bestückte Kraftmessdosen zum Einsatz. Abhängig von der Messgröße und dem Bauteil gibt es unterschiedlichste Formen der Ausführung.

B.20. Erddruckaufnehmer

Erddruckaufnehmer basieren auf dem Funktionsprinzip der hydraulischen Kraftzellen. Durch ihren Einbau ist es möglich, die auf sie einwirkenden totalen Spannungen des Bodens zu erfassen. In Kombination mit einem Piezometer [B.21] ist es möglich, die effektiven Spannungen des betrachteten Bodenkörpers zu bestimmen. Je nach Anforderung können diese Sensoren flächenförmig (einbetonierbar) oder punktförmig ausgeführt werden. Zum nachträglichen Einbau besonders geeignet sind Erddruckspate die, ähnlich einem Spaten, mit Hilfe einer Führungsstange in die erforderliche Tiefe eingebracht werden können. Für aussagekräftige Messergebnisse ist oftmals eine gewisse Überschüttung des Sensors erforderlich, um die notwendige Überlagerungsspannung aufzubringen.

B.21. Piezometer

Piezometer (oder auch Wasserdruckaufnehmer) sind Sensoren, mit deren Hilfe das Potential (des Grundwassers) punktuell festgestellt werden kann. Es kann zwischen offenen Systemen und geschlossenen Systemen unterschieden werden. Bei offenen Systemen geschieht die Messung durch Ablesung eines Wasserspiegels (ähnlich einem Brunnen), während bei geschlossenen Systemen der Druckunterschied durch Manometer oder piezoresistive Sensoren aufgenommen wird. Vorteil bei der Verwendung von geschlossenen Systemen ist, dass kein Wassertransport erforderlich ist und dass keine Beeinflussung bei sich langsam ändernden Grundwasserverhältnissen (geringe Durchlässigkeit) vorliegt.

B.22. Faseroptische Sensoren

Basierend auf Lichtwellenleitern stellen faseroptische Sensoren ein optisches Messverfahren dar. Die Messgröße wird dabei durch eine optische Größe repräsentiert. Die Parameter dieser optischen Größe können ausgewertet werden. Es können die Intensität des Lichtstrahls, die Wellenlänge, die Rückstrahlfrequenz und deren Schwingrichtung (Polarisation) sowie die Laufzeit des Signals untersucht werden. Aus diesen Messgrößen kann auf die Temperatur und/oder die Dehnung rückgeschlossen werden. Weiters ist es unter der Anwendung von faseroptischen Sensoren möglich, jegliche Veränderung der Lichtbrechungseigenschaften einer Baustoff- oder Bauteiloberfläche zu erfassen. Hierbei lassen sich vor allem chemische und physikalische Messgrößen erfassen, welche im Zusammenhang mit äußeren Einwirkungen und Schädigungen stehen. Allen faseroptischen Sensoren gemein ist, dass die Auswahl des richtigen Sensors sowie dessen Kalibrierung maßgeblichen Einfluss auf die Ergebnisse haben.

B.23. Massenerreger

Ein Massenerreger (als Vibrationsquelle) erzeugt eine Anregung unter Verwendung eines Schwungrades. Die in diesem Schwungrad gespeicherte kinetische Energie kann in Form von Rotationsenergie oder Massenträgheit freigesetzt werden und gibt eine dynamische Belastung auf das Bauwerk weiter. Aufgrund der Bauwerksantwort kann auf die Eigenfrequenz des Bauwerks, das Dämpfungsverhalten (Boden-Bauwerksinteraktion) oder mögliche Schäden rückgeschlossen werden.

B.24. Potentialfeldmessung [A.9]

Die Potentialfeldmessung ist eine zerstörungsfreie Methode und wird dazu verwendet, die Korrosionsaktivität in Stahlbetonbauteilen zu bestimmen. Dazu wird eine Bezugselektrode in Form einer Gleichspannung mit den Bewehrungselementen verbunden. Durch eine Kupfersulfatelektrode an der Oberfläche des Bauteils wird der elektrische Kreislauf geschlossen. Die korrodierten Bereiche des Baustahls bilden dabei die Anode des elektrochemischen Korrosionsvorgangs. Das Ergebnis einer derartigen Messung bilden Äquipotentiallinien. Extreme Potentialstellen (als Hinweis auf eine Anode) weisen dabei auf besonders korrosionsgefährdete Bewehrungsbereiche oder auf eine erhöhte Korrosionsgefahr hin.

B.25. Elektrischer Widerstand [A.7 & A.8]

Der elektrische Widerstand eines Betonbauteils lässt Rückschlüsse auf die Korrosionsaktivitäten innerhalb des betrachteten Querschnittes zu. Ebenso wie die Potentialfeldmessung handelt es sich um eine zerstörungsfreie Untersuchungsmethode.

B.26. Ultraschallmessung [A.2]

Basierend auf der Impulsgeschwindigkeitsmessung in Kombination mit einer Analyse der vorliegenden Wellenform kann Rückschluss auf gewisse Eigenschaften des Betonkörpers gezogen werden. So kann durch die Messung der Impulsgeschwindigkeit die Dichte und Elastizität (Rückschlüsse auf die Druckfestigkeit) des Baustoffes untersucht werden, während die Analyse der Wellenform auf Inhomogenitäten oder Fehlstellen hinweisen kann. Des Weiteren wird durch eine Laufzeitbestimmung der Impulswellen eine Messung der Bauteildicke ermöglicht.

B.27. Permeabilitätsanalyse

Die Permeabilität (Durchlässigkeit) eines Betonbauteils kann als Indikator für die Dauerhaftigkeit des Betons und die Widerstandsfähigkeit des Bauteils gegen das Eindringen aggressiver Substanzen (korrosionsfördernd) gemessen werden. Zur Messung der Permeabilität von Betonoberflächen wird Unterdruck an der Oberfläche erzeugt, durch welchen ein definiertes Volumen an Wasser (oder Luft) angesaugt wird. Durch Rückrechnung kann auf die Durchlässigkeit der Betonoberfläche geschlossen werden.

B.28. Laboruntersuchungen

In labortechnischen Untersuchungen können Eigenschaften von Baustoffen oder anderen Proben bestimmt werden, um Ergänzungen zu den im Feld erfassten Daten und Informationen zu erhalten. Hierbei handelt es sich im Allgemeinen um zerstörende Untersuchungsmethoden, da zur Entnahme der Probe (wenn auch geringfügig) eine Schädigung des Bauteils oder Bauwerks herbeigeführt wird. Beispiel hierfür sind Zylinderdruckprüfungen an Betonbohrkernen oder Siebversuche an Bodenmaterial zur Bestimmung von Bodenkennwerten.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] ONR 24008 – Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken; Austrian Standards Institute; 01.03.2014
- [2] RVS 13.03.01 – Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten – Monitoring von Brücken und anderen Ingenieurbauwerken; FSV; 01.02.2012
- [3] RVS 13.03.61 - Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten – Nicht geankerte Stützbauwerke; FSV; 07.01.2014
- [4] RVS 13.03.11 – Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten – Straßenbrücken; FSV; 01.10.2011
- [5] RVS 06.02.41 – Leistungsbilder, Bestandsprüfung, Brücken und Überbauungen – Ziel- und Aufgabenbeschreibung; FSV; 01.09.2013
- [6] RVS 13.04.13 – Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Bauwerksdatenbank – Mauern und geankerte Konstruktionen; FSV; 18.08.2009
- [7] RVS 06.02.42 – Leistungsbilder, Bestandsprüfung, Brücken und Überbauungen – Aufwand- und Kostenabschätzung; FSV; 01.09.2013
- [8] ÖNORM B 4200-3 – Betonbauwerke; Berechnung und Ausführung; Austrian Standards Institute; 01.06.1986
- [9] ÖNORM B 4200-9 – Betonbauwerke; Berechnung und Ausführung (II); Austrian Standards Institute; 01.10.1996
- [10] ÖNORM B 4200-10 – Betonbauwerke; Herstellung, Verwendung und Gütenachweis; Austrian Standards Institute; 01.07.1996
- [11] ÖNORM EN 1997-1 – Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln (konsolidierte Fassung); Austrian Standards Institute; 15.11.2014
- [12] RVS 13.05.11 – Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Entwurf und Planung – Lebenszykluskostenermittlung für Brücken; FSV; 01.04.2017
- [13] ÖNORM EN 13306 – Instandhaltung – Begriffe der Instandhaltung; Austrian Standards Institute; 01.01.2010
- [14] ÖNORM B 4706 – Instandsetzung von Betonbauwerken – Nationale Festlegungen für Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betonbauwerken gemäß ÖNORM EN 1504; Austrian Standards Institut; 15.07.2015

AUSTRIAN
SOCIETY FOR
GEOMECHANICS

ÖSTERREICHISCHE
GESELLSCHAFT FÜR
GEOMECHANIK

Innsbrucker Bundesstraße 67
5020 Salzburg, Austria

Tel.: +43 662 875519
Fax: +43 662 886748
H.: www.OEGG.at
E.: Salzburg@OEGG.at