



Dipl.- Ing. Matthias Rebhan, BSc

# **Ist- Zustandserfassung und Bewertung bestehender, unverankerter Stützbauwerke**

## **MASTERARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Bauingenieurwissenschaften - Geotechnik und Wasserbau

eingereicht an der

**Technischen Universität Graz**

Betreuer

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

Institut für Bodenmechanik und Grundbau



## **EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG**

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

---

Datum

---

Unterschrift



# Danksagung

Einleitend möchte ich mich bei Herrn Univ. Prof. Dipl.- Ing. Dr. techn. Roman Marte bedanken, der in mir das Interesse an Geotechnik geweckt hat, und mich mit seinem Fachwissen und seiner Expertise bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützte.

Für die Unterstützung bei der Erarbeitung des Kapitels Monitoring möchte ich mich bei Herrn Univ. Prof. Dipl.- Ing. Dr. techn. Werner Lienhart vom Institut für Ingenieur-geodäsie und Messsysteme bedanken.

Besonderer Dank gilt den Mitgliedern der ÖGG-Arbeitsgruppe, auf deren Grundlage diese Arbeit erstellt wurde. Durch ihre Hilfe bei Fragen zur praktischen Umsetzung der Arbeit und die vielen Diskussionen im Zuge der Besprechungen.

Reinhold Czizsek, Asfinag Service GmbH

Thomas Gabl, Asfinag Alpenstraßen GmbH

Helmut Hartl, Amt der burgenländischen Landesregierung

Bernhard Irnberger, Land Salzburg

Andreas Kammersberger, Amt der steiermärkischen Landesregierung

Walter Karigl, Asfinag Service GmbH

Christian Kitzler, IGT Geotechnik und Tunnelbau

Werner Lienhart, TU Graz

Thomas Marcher, Skava Consulting ZT-GmbH

Florian Scharinger, GDP ZT GmbH

Kurt Schippinger, Dr. K. Schippinger

Christian Stadler, KMP ZT-GmbH

Jürgen Stern, ÖBB

Danke!

Ein besonderer Dank gilt an dieser Stelle natürlich auch meiner Familie, allen voran meinen Eltern, die mir das Studium ermöglicht haben und mich immer tatkräftig in all meinen Vorhaben unterstützten.

Zu guter Letzt geht mein Danke an meine Freundin Romana, meine guten Freunde und Studienkollegen, im speziellen die Gruppe 1.



## Kurzfassung

Durch die geografische Lage in den Alpen und dem Voralpenland ist es erforderlich, bei einer Vielzahl von bau- und geotechnischen Aufgabenstellungen in Österreich auf Stützkonstruktionen, oder artverwandte Systeme zurückzugreifen, um Höhensprünge oder Geländeeinschnitte herstellen zu können.

Der Bestand an Stützbauwerken in Österreich ist sowohl in seiner technischen Gestaltung, als auch dem Errichtungszeitpunkt weit gefächert. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Sicherheit dieser Bauwerke ist es erforderlich, den aktuellen Zustand des Bauwerkes durch in regelmäßigen Abständen stattfindende Untersuchungen zu erfassen, zu dokumentieren und zu bewerten. Begründet durch das steigende Bauwerksalter werden im Österreichischen Straßen- und Schienennetz vermehrt Untersuchungen und daraus folgend Sanierungen von bestehenden Stützbauwerken durchgeführt. Um diese Untersuchungen – als Grundlage für eine Zustandsbewertung – durchführen zu können ist es erforderlich, den Aufbau und die Zusammensetzung des Bauwerkes zu kennen und den zum Errichtungszeitpunkt gültigen Normen- und Kenntnisstand mit zu berücksichtigen. Daher wird in dieser Masterarbeit mit der Aufarbeitung des Normenstandes und der gültigen Regelwerke im Zusammenhang mit Stützbauwerken und deren Materialien begonnen. Weiters werden die möglichen Versagensszenarien und daraus folgende Schadensbilder an Bauwerken behandelt. Dabei wird ein bisher neuer Lösungsansatz zur Findung aller maßgebenden Versagensbilder erarbeitet, welcher als Grundlage für die Sicherheitsbewertung herangezogen werden kann.

Einen der Hauptbestandteile dieser Masterarbeit bildet die Zustandsbeurteilung. Einerseits ist die Beurteilung eines vorliegenden Bauwerkes immer von der Objektivität des Prüfers beeinflusst, andererseits ist durch die Diversität der Arten von Stützbauwerken eine Kategorisierung (und damit Schematisierung der Tätigkeit) nur bedingt möglich.

Als Abschluss der Arbeit wird versucht, Maßnahmen (Sanierungskonzepte) für einige Stützbauwerktypen darzustellen, und die neu ausgearbeiteten Lösungsansätze für die Ist – Zustandserfassung von unverankerten Stützbauwerken zu validieren. Weiters ist zu erwähnen, dass im Zuge dieser Masterarbeit mit der Bearbeitung einer ÖGG – Richtlinie (Österreichische Gesellschaft für Geomechanik) zu diesem Themenbereich begonnen wurde.





## **Abstract**

Given Austria's location in the Alps and the Alpine foothills, it is often necessary to refer to retaining structures or related construction methods to enable a variety of structural and geotechnical tasks.

Depending on their technical design details and the time of construction, a wide spread of retaining structures exist in Austria. To guarantee the sufficient safety of these structures, it is necessary to periodically investigate each retaining structure, acquire data of the structural condition, document the finding, and perform an evaluation (rating) based on the given information. Particularly due to the increasing age of the structure, it is often difficult to gather and evaluate all the data and information necessary to perform a condition assessment of a retaining structure. On the one hand the given data and the quality of documentation often depend on the time of construction, on the other hand, knowledge of the used standards and guidelines are not always given. Therefore, this master thesis investigates the standards and rules applied on existing retaining structures and their construction materials. Further investigation on common failure mechanisms and consequently upcoming damage symptoms should be determined. Moreover a new solution to find the main failure mechanisms is developed and can be used as a new basis for the safety assessment of retaining structures.

The condition assessment of a retaining structure is the main part of this thesis. On the one hand, the rating is often influenced by the objectivity of the inspection personal. On the other hand, a schematization of this process, given by the diversity of types of retaining structures, is not possible at all.

As a conclusion, this master thesis presents methods for remediation of retaining structures, as well as a validation of new methods for the status detection of non-anchored retaining structures. Further on, a concept of an ÖGG – Guideline related to the condition assessment of existing retaining structures is given at the end of this master thesis.



# Inhalt

1	Einleitung .....	1
2	Zielsetzung.....	3
3	Begriffe, Definitionen & Stützbauwerke .....	4
3.1	Begriffe .....	4
3.2	Stützbauwerke .....	7
4	Erhaltungsstrategien .....	24
4.1	Instandhaltungsarten.....	28
4.2	Inspektionstätigkeiten.....	29
4.3	Rechtliche Grundlagen für die Erhaltung von Bauwerken.....	30
5	Lastannahmen & Bemessung von Stützbauwerken .....	32
5.1	Einwirkungen auf Stützbauwerke .....	33
5.2	Bemessung von Stützbauwerken .....	48
5.3	Normative Änderungen bei Stützbauwerken .....	49
6	Versagensszenarien & mögliche Schadensbilder.....	57
6.1	Zuverlässigkeitsniveau .....	58
6.2	Versagensszenarien gemäß Eurocode .....	59
6.3	Bauwerksspezifische Versagensszenarien.....	66
6.4	Schadensursachen .....	67
6.5	Erscheinungsformen von Schäden.....	71
6.6	Hilfestellung zur Definition maßgebender Versagensmechanismen .....	80
7	Zustandserfassung.....	87
7.1	Bauaufnahme & Zustandserfassung .....	88
7.2	Erstaufnahme.....	93
7.3	Bauwerksuntersuchungen und Vermessungen zur Bauaufnahme .....	95
7.4	Operative Instrumente.....	125
7.5	Inspektion (zur Zustandserfassung) .....	127
7.6	Ergebnisse & Dokumentation der Zustandserfassung.....	129
8	Zustandsbeurteilung.....	130

8.1	Derzeitiger Stand der Zustandsbeurteilung .....	130
8.2	Vorschläge für eine erweiterte Zustandsbeurteilung .....	138
8.3	Andere Lösungsansätze zur Zustandsbewertung .....	147
8.4	Ablaufschema für die Zustandserfassung und Zustandsbeurteilung von Stützbauwerken .....	148
9	Maßnahmen .....	149
9.1	Sanierungskonzept .....	149
9.2	Planung von Maßnahmen .....	151
9.3	Sofortmaßnahmen .....	152
9.4	Maßnahmenkatalog .....	153
9.5	Monitoring als Maßnahme (Beobachtungsmethode) .....	162
10	Ergebnisse & Empfehlungen .....	206
10.1	Vorwort .....	209
10.2	Zielsetzung .....	210
10.3	Begriffe & Definitionen .....	210
10.4	Erhaltungsstrategien .....	214
10.5	Lastannahmen und Bemessung von Stützbauwerken .....	215
10.6	Versagensszenarien & mögliche Schadensbilder bei Stützbauwerken .....	219
10.7	Zustandserfassung .....	221
10.8	Zustandsbeurteilung .....	224
10.9	Maßnahmen und Monitoring .....	231
10.10	Weiterführende Literatur .....	238
11	Literaturverzeichnis .....	239

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Links – Sicherung eines Geländesprunges; Rechts – Herstellung einer horizontalen Ebene .....	7
Abb. 2: Links - Beispiel einer Stützmauer in Form einer Raumgitterkonstruktion (Witt & Partner); Rechts - Beispiel einer Stützwand in Form einer Pfahlwand (SSF-ING) .....	8
Abb. 3: Einteilung der Stützbauwerke nach Boley (Boley, 2012).....	11
Abb. 4: Links – Querschnitt einer Gewichtsmauer aus Beton; Rechts – Querschnitt einer Gewichtsmauer aus Steinblöcken.....	13
Abb. 5: Lage der Kernfläche für verschiedene Querschnitte (Schneider, 2012) .....	14
Abb. 6: Links - gekrümmter „optimaler“ Verlauf einer Gewichtsmauer (Schmidt et. al., 2014); Mitte – Grundlagen für die Ermittlung des optimalen Querschnittes (Schmidt et. al., 2014); Rechts – Entwurfsempfehlungen für Gewichtsmauern (Boley, 2012).....	15
Abb. 7: Formen für Winkelstützmauern (modifiziert aus (Boley, 2012)).....	16
Abb. 8: Links – Erddruckansatz bei kurzem Schenkel (Boley, 2012); Rechts – Erddruckansatz bei langem Schenkel (Boley, 2012).....	16
Abb. 9: Links – schematischer Erddruckansatz in Folge eines Sporns (Schmidt et. al., 2014); Rechts – Entwurfsempfehlung für Winkelstützmauern (Boley, 2012) .....	17
Abb. 10: Links – Raumgitterkonstruktion aus Betonfertigteilen (Bellingham); Rechts – Holzkrainerwand (Giehler).....	18
Abb. 11: Links – Fertiggestellte Gabionenwand zur Sicherung eines Geländesprunges (htb rochlitz); Rechts – Etagenweise Herstellung einer Gabionenwand (fmt).....	19
Abb. 12: Kombination von Gabionen mit Geokunststoffen (Boley, 2012) .....	19
Abb. 13: Links – lagenweise Herstellung eines Bewehrte Erde Körpers; Rechts – Ansicht eines fertiggestellten Bewehrte Erde Körpers .....	20
Abb. 14: Links – Ablaufschema zur Herstellung einer Schlitzwand (Boley, 2012); Rechts – Ansichtsfläche einer rückverankerten Schlitzwand zur Baugrubensicherung	21
Abb. 15: Links oben – aufgelöste Bohrpfahlwand (Boley, 2012); Rechts oben – tangierende Bohrpfahlwand (Boley, 2012); Links unten – überschrittene Bohrpfahlwand (Boley, 2012); Rechts unten – Bewehrungskorb eines Bohrpfahls.....	22
Abb. 16: Links – Ansicht einer fertiggestellten Brunnenwand zur Sicherung eines Rutschhanges; Rechts – Brunnenwand im verwachsenen Zustand (Brandl, Konstruktive Hangsicherung, 1986).....	23
Abb. 17: Klassifizierung der Nutzungsdauer (ÖNORM EN 1990, 2003) .....	24

Abb. 18: schematische Darstellung des Erhaltungszustandes eines Ingenieurbauwerkes (ONR 24803, 2008) .....	24
Abb. 19: Gesamtübersicht über die Instandhaltung (ÖNORM EN 13306, 2010) .....	26
Abb. 20: Schematische Darstellung der zeitbezogenen Instandhaltung und den damit verbundenen Instandhaltungszeiten und Stillstandszeiten adaptiert nach (ÖNORM EN 13306, 2010) .....	27
Abb. 21: Schema des Instandhaltungszyklus bei Stützbauwerken mit Betrachtung der Inspektionstätigkeiten .....	28
Abb. 22: Erddruck hinter dem Schenkel einer Winkel-stützmauer .....	34
Abb. 23: Vorliegende Erddruckkraft bezogen auf die erforderliche Wandverschiebung .....	35
Abb. 24: Grundformen der Wandbewegung bei Stützbauwerken .....	36
Abb. 25: Erforderliche Verschiebung eines Stützbauwerkes zur Aktivierung des aktiven Erddruckes bei nicht bindigem Bodenmaterial (ÖNORM B 4434, 1993) .....	38
Abb. 26: Erforderliche Verschiebungen eines Stützbauwerkes (in Richtung des Erdkörpers) zur Aktivierung des vollen passiven Erddruckes in nicht bindigen Böden (ÖNORM B 4434, 1993) .....	40
Abb. 27: Vervielfältigungsfaktor $m(\varphi)$ zur Ermittlung des Kriechdruckes (Brandl, Konstruktive Hangsicherung, 1986) .....	43
Abb. 28: Strömungsnetz um eine Baugrube (EAU, 2004) .....	44
Abb. 29: Links – Anschluss einer Galerie an ein Stützbauwerk; Rechts – Gebäude hinter einem Stützbauwerk (Kolymbas, 2011) .....	45
Abb. 30: Chloridschädigung an den Widerlagern einer Brücke (Kreuznach) .....	46
Abb. 31: Chronologischer Abriss der verwendeten Normen für Lasten und Lastannahmen in Bezug auf Stützbauwerke .....	50
Abb. 32: Chronologischer Abriss der verwendeten Normen für die geotechnische Bemessung in Bezug auf Stützbauwerke .....	51
Abb. 33: Chronologischer Abriss der deutschen Normen für die Belastung und Berechnung in der Geotechnik .....	52
Abb. 34: Chronologischer Abriss über die verwendeten Betonbaunormen in Bezug auf Stützbauwerke .....	53
Abb. 35: Gliederung der Versagensszenarien für Stützbauwerke .....	59
Abb. 36: Grenzzustände der Tragfähigkeit – Gesamtstandsicherheit (ÖNORM EN 1997-1, 2009) .....	60
Abb. 37: Grenzzustände der Tragfähigkeit – Fundamentversagen bei Gewichtsstützwände (ÖNORM EN 1997-1, 2009) .....	61

Abb. 38: Grenzzustände der Tragfähigkeit – Versagen bodengestützter Wände durch Drehung (ÖNORM EN 1997-1, 2009).....	62
Abb. 39: Grenzzustände der Tragfähigkeit – innere Versagensmechanismen (ÖNORM EN 1997-1, 2009) .....	64
Abb. 40: Mögliche bauwerksspezifische Versagensszenarien für eine Winkelstützmauer mit hinterseitigem Sporn (Marte, Kienreich, Scharinger, & Stadler, 2014) .....	66
Abb. 41: Zusammensetzung eines Schadens zur Feststellung der notwendigen Instandhaltungstätigkeiten.....	67
Abb. 42: Links – Prozesse der Betonzerstörung; Rechts – Abspaltungen an einer Betonoberfläche (Stahr, 2011).....	73
Abb. 43: Links – Betonausblühungen in der Nähe eines Risses; Rechts – Betonausblühungen an einer Spritzbetonsicherung in der Nähe einer Straße mit Tausalzverwendung .....	74
Abb. 44: Sammlung von schematischen Abbildungen zu Rissen (Weber, 2013).....	76
Abb. 45: Links – Abrisskante eines rutschgefährdeten Hanges (meinbezirk.at); Rechts – Geländeänderung als Versagensankündigung für einen Böschungsbruch . .....	79
Abb. 46: Einteilung zur Findung der maßgebenden Grenzzustände .....	81
Abb. 47: Zusammenhänge bei der Detektion der maßgeblichen Versagensmechanismen.....	83
Abb. 48: Detailliertere Zusammenhänge bei der Detektion von Versagensmechanismen.....	85
Abb. 49: Unterteilung der Zusammenhänge Einwirkung und Standsicherheit .....	85
Abb. 50: Zusammenhänge bei der Findung von Versagensmechanismen.....	86
Abb. 51: Lebenszyklus von Gebäuden, Prozess der Bauplanung und Bestandserfassung (Donath, 2008).....	87
Abb. 52: chronologischer Ablauf der Zustandserfassung .....	87
Abb. 53: Prinzip der Abbildung eines dreidimensionalen Gebäudes (Donath, 2008)	89
Abb. 54: Möglicher Ablauf der Erstaufnahme und allen folgende Aufnahmeprozessen .....	93
Abb. 55: Unterteilung der Methoden und Verfahren für die Bauaufnahme/Zustandserfassung.....	95
Abb. 56: Allgemeine Einteilung der Messmittel modifiziert aus (Wiedemann, 2004).	98
Abb. 57: Links – Schnurlot (Wikipedia, Lot (Werkzeug)); Rechts – Laserlot mit zugehöriger Bezugsebene (Hilti) .....	99

Abb. 58: Links – Achsensystem eines Theodoliten; Rechts – Schema des Achsensystems eines Theodoliten (Wiedemann, 2004) .....	100
Abb. 59: Links – digitaler Rollmeter (Conrad) ; Rechts – Rollmessband (Construction).....	101
Abb. 60: Links – einfaches Laserentfernungsmessgerät (Leica Geosystems) ; Rechts – Leica 3D Disto (Leica Geosystems).....	102
Abb. 61: Links – Bestimmung des Höhenunterschiedes (Matthews, 1996) ; Verwendung eines digitalen Nivelliergeräts (Leica Geosystems).....	103
Abb. 62: Links –Rotationslaser (Hilti) ; Rechts – Mehrachsenlaser (Hilti) .....	104
Abb. 63: Totalstation (Leica Geosystems).....	105
Abb. 64: Links – schienengeführtes Kernbohrgerät; Rechts – Ansicht eines Kernbohrers (Hilti) .....	107
Abb. 65: Links – Einblick in eine Kernbohrung (Kernbohrservice) ; Rechts – Bewehrungsführung an einem Bohrkern erkennbar (Fraebag) .....	108
Abb. 66: Links – Rissbreitenvergleichsmaßstab; Rechts – Risslupe (Weber, 2013) ....	109
Abb. 67: Links – großflächige Abplatzungen eines Stahlbetonbauteiles; Rechts – Bestimmung des Stabstahldurchmessers (Weber, 2013) .....	110
Abb. 68: Geräte zur Auffindung von Bewehrung (Hilti) .....	110
Abb. 69: Geräte zur Auffindung von Bewehrung (Hilti) .....	111
Abb. 70: Links – Rückprallhammer an einer Bauteiloberfläche (Bögl) ; Rechts – Umrechnungstabelle zwischen der Rückprallzahl und der Betondruckfestigkeit .....	114
Abb. 71: Links – leichte Rammsonde - Künzelstab (Geotool) ; Mitte – schwere Rammsonde auf einem Raupenfahrwerk (Geotool) ; Rechts – Protokoll einer Rammsondierung (IGEWA).....	117
Abb. 72: Links – Prinzip einer CPT – Sonde (Boley, 2012); Mitte – schematischer Schnitt durch eine CPT – Sonde (Boley, 2012); Rechts – Messprotokoll einer Drucksondierung (Wabihuniry) .....	118
Abb. 73: Links – Werkzeuge zur Bohrgutentnahme bei einer Trockenbohrung (Boley, 2012); Rechts – PVC-Rohre mit Kernentnahmen aus einer Rammkernbohrung (Schützeichel) .....	120
Abb. 74: Links – Schurf in Lockergestein; Rechts – Schichtenverlauf an der Wandung eines Baggerschurfs.....	121
Abb. 75: Unterteilung der Operativen Instrumente bei der Zustandserfassung- und Beurteilung von Stützbauwerken .....	125
Abb. 76: Personelles und zeitliches Schema der Inspektionstätigkeiten über die Nutzungsdauer des Stützbauwerkes .....	127



Abb. 77: Zusammenhang zwischen den operativen Instrumenten und den Inspektions-tätigkeiten bei Stützbauwerken.....	129
Abb. 78: Schulnotensystem zur Bewertung von nicht geankerten Stützbauwerken (RVS 13.03.61, 2014).....	133
Abb. 79: Beispiel eines Bewertungs- und Beurteilungsschemas eines Stützbauwerkes (Scharinger, 2013) .....	134
Abb. 80: Zusammenstellung der Einflüsse einer Zustandsbeurteilung .....	138
Abb. 81: Aufteilung des Gesamtobjekts bei der Zustandsbeurteilung.....	139
Abb. 82: Schematischer Zusammenhang zwischen der Zuverlässigkeit der Zustandsbewertung und der Versagenswahrscheinlichkeit .....	146
Abb. 83: Ablaufschema für die Zustandserfassung und Zustandsbeurteilung von Stützbauwerken .....	148
Abb. 84: Ablauf bei der Erarbeitung eines Sanierungskonzeptes.....	150
Abb. 85: Planungssysteme nach ÖNORM B 1801-1 (ÖNORM B 1801-1, 2009)....	152
Abb. 86: Einteilung der Maßnahmen zur Sanierung und Instandsetzung von unverankerten Stützbauwerken.....	153
Abb. 87: Begriffe im Zusammenhang mit Genauigkeit (Boley, 2012) .....	165
Abb. 88: Ergebnisse einer Inklinometermessung; Links – Biegelinie; Mitte – Neigungswerte; Rechts – Momentenlinie (angepasst nach (Boley, 2012)) .....	168
Abb. 89: Zusammenhänge zwischen Differentiation und Integration.....	169
Abb. 90: Zusammenhänge zwischen Differentiation und Integration für eine Messwertfunktion unter Berücksichtigung eines linearen Trends.....	171
Abb. 91: Unterteilung der Messgrößen für die Zustandsbeurteilung (und das Monitoring) von Stützbauwerken (teilweise übernommen aus (DIN 18710-4, 2010)).	172
Abb. 92: Messgrößen zur Zustandsbeurteilung von Stützbauwerken.....	174
Abb. 93: Beispiele für unterschiedliche Signalformen (Parthier, 2008).....	182
Abb. 94: Ablaufschema zur Planung eines geeigneten Monitoringkonzeptes.....	186
Abb. 95: Zusammenstellung der geometrischen Messgrößen und der zugehörigen Messmittel / Instrumente / Sensoren .....	190
Abb. 96: Zusammenstellung der physikalischen Messgrößen und der zugehörigen Messmittel / Instrumente / Sensoren .....	191
Abb. 97: Zusammenstellung der chemischen Messgrößen und der zugehörigen Messmittel / Instrumente / Sensoren .....	192
Abb. 98: Totalstation (Leica Geosystems).....	193
Abb. 99: GNSS Sensor (Leica Geosystems).....	193
Abb. 100: Oben – Laserscanner (Laserscanning); Unten – Ergebnis eines Laserscans (GIS Blog) .....	194

Abb. 101: SAR verwendet zum Brücken-monitoring (Metasensing, 2014).....	194
Abb. 102: Apparatur zur Photogrammetrie und 3D Modell eines Bauwerkes (SYNO Systems).....	195
Abb. 103: Links - Nivellier zur Bestimmung von Höhendifferenzen (Leica Geosystems); Rechts – Digitalnivellier (Trimble) .....	195
Abb. 104: Links – Schlauchwaagensysteme (Interfels) ; Rechts – Drucksystem (Shoef) .....	196
Abb. 105:Neigungssensor (Wyler).....	196
Abb. 106: Inklinometer in einem Bohrloch (Stump).....	197
Abb. 107:Wegaufnehmer (SGHG).....	197
Abb. 108: Fissurometer zur Erfassung von Bewegungen in drei Richtungen (Glötzl) .....	198
Abb. 109: Dehnmessstreifen (HBM, Dehnmessstreifen).....	198
Abb. 110: Konvergenzband (Boley, 2012).....	198
Abb. 111: Links – Schematischer Schnitt eines Stangenextensometer (Geosond) ; Rechts – Verwendung eines Drahtextensometer in einem Tunnelquerschnitt (Geotechpedia) .....	199
Abb. 112: Mikrometer (Boley, 2012) .....	199
Abb. 113: Links – Temperaturlaufnehmer zum Einbau in Betonbauteile (Stauff) ; Rechts – Infrarot Thermometer (Fluke).....	200
Abb. 114: Feuchtemesser (Trotec).....	200
Abb. 115: Kraftaufnehmer (HBM) .....	200
Abb. 116: Erddruckaufnehmer in Kombination mit einem Piezometer (Glötzl) .....	201
Abb. 117: Porendruckaufnehmer (Glötzl) .....	201
Abb. 118: Faseroptischer Dehnungssensor (ZSE) .....	202
Abb. 119: Beschleunigungsaufnehmer (db-prüftechnik) .....	202
Abb. 120: Schwingensaitenaufnehmer appliziert an einen Bewehrungskorb (Garbers, Fischer, Cudmani, & Maitschke).....	202
Abb. 121: Schwingungsgenerator Moses (Flesch, 2013).....	203
Abb. 122: Links – Korrosionsanalysegerät auf Basis der Potentialfeldmessung ; Rechts – Widerstandsmessgerät zur Erfassung des elektrischen Widerstandes von Betonbauteilen (Proceq).....	204
Abb. 123: Ultraschallmessgerät (Proceq) .....	204
Abb. 124: Permeabilitätsanalysegerät (Proceq).....	205
Abb. 125: Wärmebildkamera (Fluke) .....	205
Abb. 126: Stützbauwerke im Zusammenhang mit dieser Richtlinie (in Anlehnung an RVS 13.03.61 – Nicht geankerte Stützbauwerke (RVS 13.03.61, 2014)).....	213

Abb. 127:	Inspektionstätigkeiten im Zusammenhang mit Stützbauwerken.....	214
Abb. 128:	Chronologischer Abriss der verwendeten Normen für Lasten und Lastannahmen in Bezug auf Stützbauwerke.....	215
Abb. 129:	Chronologischer Abriss der verwendeten Normen für die geotechnische Bemessung nach ÖNORM in Bezug auf Stützbauwerke .....	216
Abb. 130:	Chronologischer Abriss der verwendeten Normen für die geotechnische Bemessung nach DIN in Bezug auf Stützbauwerke.....	216
Abb. 131:	Chronologischer Abriss der verwendeten Betonbaunormen in Bezug auf Stützbauwerke .....	217
Abb. 132:	Zusammenhänge bei der Findung der maßgeblichen Versagensmechanismen von bestehenden Stützbauwerken.....	219
Abb. 133:	Unterteilung der Methoden und Verfahren zur Bauaufnahme.....	222
Abb. 134:	Zusammenhänge zwischen den Operativen Instrumenten und den Inspektionstätigkeiten bei Stützbauwerken .....	223
Abb. 135:	Schema der Zustandsbeurteilung im Zusammenhang mit der Zustandserfassung und dem Anlagenmanagement.....	224
Abb. 136:	Darstellung der Möglichkeiten für eine Zustandsbeurteilung basierend auf der Kombination aus Beurteilung des Bauwerkszustandes und der Bewertung des Kenntnisstandes.....	227
Abb. 137:	Schematischer Zusammenhang zwischen der Zuverlässigkeit der Zustandsbewertung und der Versagenswahrscheinlichkeit .....	229
Abb. 138:	Ablaufschema einer Zustandsbeurteilung .....	230
Abb. 139:	Ablaufschema zur Erarbeitung von Sanierungskonzepten .....	231
Abb. 140:	Einteilung der Maßnahmen zur Sanierung und Instandsetzung.....	231
Abb. 141:	Messgrößen zur Zustandsbeurteilung von Stützbauwerken .....	234
Abb. 142:	Zusammenstellung der geometrischen Messgrößen und der zugehörigen Messmittel / Instrumente / Sensoren .....	236
Abb. 143:	Zusammenstellung der physikalischen Messgrößen und der zugehörigen Messmittel / Instrumente / Sensoren .....	237
Abb. 144:	Zusammenstellung der chemischen Messgrößen und der zugehörigen Messmittel / Instrumente / Sensoren .....	238



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Begriff der Instandhaltung mit Beschreibung der einzelnen Unternehmen .....	29
Tabelle 2:	Verschiebungsgrößen $u_B$ in % der Wandhöhe zum Erreichen eines bestimmten Grenzzustandes (ÖNORM B 4434, 1993) .....	37
Tabelle 3:	Einfluss der Bodenkennwerte ( + ... Erhöhung; - ... Verringerung).....	37
Tabelle 4:	Grenzen des Erddruckansatzes .....	39
Tabelle 5:	Auflistung des „klassischen Schrifttums“ im Zusammenhang mit Geotechnik (Türke, 1999).....	52
Tabelle 6:	Schriften und technische Richtlinien zu Raumgitterkonstruktionen.....	55
Tabelle 7:	Technische Richtlinien und Normen zu Geokunststoffen und Bewehrte Erde Konstruktionen.....	55
Tabelle 8:	Normen zu Gabionen .....	55
Tabelle 9:	Normen zu Steinmaterialien .....	56
Tabelle 10:	Normen für sonstige Materialien und Baustoffe im Zusammenhang mit Stützbauwerken .....	56
Tabelle 11:	Eurocodes zur Bemessung der inneren Tragfähigkeit von Stützbauwerken .....	63
Tabelle 12:	Übersicht über Schäden und deren Ursachen an Betonbauteilen (Stahr, 2011) .....	72
Tabelle 13	Vor- und Nachteile der Methoden zur Findung der Versagensmechanismen.....	81
Tabelle 14:	Klassifizierung der Informationsdichten modifiziert aus (ÖNORM A 6250, 2001) .....	90
Tabelle 15:	Elemente der Bestandsaufnahme und deren Informationsdichte modifiziert aus (ÖNORM A 6250-1, 2013) Anhang A.....	91
Tabelle 16:	Fehlerarten (Wiedemann, 2004).....	97
Tabelle 17:	Termine für die Durchführung von Untersuchungen nach RVS 13.03.61 (RVS 13.03.61, 2014).....	132
Tabelle 18:	Beurteilungssystem nach RVS (RVS 13.03.61, 2014) und dessen Erweiterung .....	140
Tabelle 19:	Beurteilungsschema bei Stützbauwerken mit den Erweiterungen in Bezug auf Einschränkungen und die Instandsetzung .....	141
Tabelle 20:	Bewertungsschema für den Kenntnisstand in Anlehnung an (ÖNORM EN 1998-3, 2013) .....	143

Tabelle 21: Darstellung der Zusammenhänge bei der Beurteilung und Bewertung von bestehenden Stützbauwerken .....	144
Tabelle 22: Beschreibung der Inhalt aus Tabelle 21 .....	145
Tabelle 23: Instandhaltungsprinzipien nach ÖNORM EN 1504-1 (ÖNORM EN 1504-1, 2005) .....	155
Tabelle 24: Bestandteile einer Monitoringanlage (RVS 13.03.01, 2012) .....	166
Tabelle 25: SI – Basisgrößen und Basiseinheiten (Parthier, 2008) .....	172
Tabelle 26: Klassifizierung der Messsignale nach der Signalform (Parthier, 2008)	181
Tabelle 27: Begriffsdefinitionen.....	210
Tabelle 28: Stützbauwerke im Zusammenhang mit dieser Richtlinie.....	212
Tabelle 29: Erweitertes Beurteilungsschema nach RVS 13.03.061.....	225
Tabelle 30: Erweitertes Beurteilungsschema nach RVS 13.03.61 mit den aus einer Beurteilung folgenden Einschränkungen und / oder erforderlichen Instandhaltungstätigkeiten.....	225
Tabelle 31: Bewertungsschema für den Kenntnisstand eines Bauwerkes (in Anlehnung an ÖNORM EN 1998-3).....	226
Tabelle 32: Beschreibung der Inhalt aus Abb. 136.....	228







# 1 Einleitung

Durch seine geografische Lage in den Alpen- und dem Alpenvorland besitzt Österreich eine sehr markante Topografie. Aufgrund dieser ist es erforderlich, bei einer Vielzahl von bau- und geotechnischen Aufgabenstellungen auf Stützkonstruktionen, oder artverwandte Systeme zurückzugreifen.

Immer wieder ist es bei der Planung und Errichtung von Bauvorhaben notwendig, Geländeänderungen oder Anpassungen vorzunehmen. Um die hierbei bearbeiteten Bodenmassen zu stützen, oder auch erst eine Nutzung dieser Geländebereiche für Bauzwecke zu ermöglichen, sind Stützbauwerke erforderlich.

Die Verwendung von Stützbauwerken zur Hangsicherung oder zur Nutzbarmachung von Geländebereichen hat in Österreich eine lange Tradition. So ist etwa der Begriff „Krainer Wand“ mit seinem Ursprung in der österreichisch-ungarischen Monarchie in der ganzen Welt in Verwendung. Auch der „Vater der Bodenmechanik“ – Karl von Terzaghi hat seine Wurzeln in Österreich und beschäftigte sich im Jahre 1934 in seinem Werk „*Large Retaining Wall Tests*“ mit der Thematik der Stützbauwerke.

Um die Nutzbarkeit von Stützbauwerken sicherzustellen ist eine über die gesamte Lebensdauer hinweg andauernde Instandhaltung dieser erforderlich. Im Vergleich zu anderen instand zu haltenden Bauwerken bieten jedoch Stützbauwerke meist nur beschränkt Zugangsmöglichkeiten. Einerseits sind gewisse Bereiche von Stützbauwerken aufgrund ihrer Nutzung nicht einsehbar – wie zum Beispiel die Erdseite der Konstruktion - andererseits befinden sich diese Bauwerke oftmals in nur schwer zugänglichem Gelände.

Durch die große Anzahl an Stützbauwerken in der Nähe von Infrastrukturanlagen, oder Bereichen mit vermehrtem Personenaufkommen, ist es für die Besitzer, Betreiber und Instandhalter dieser Anlagen wichtig, den Zustand der vorhandenen Baustrukturen zu kennen und ihn sachgemäß beurteilen zu können. Derzeit werden vermehrt Untersuchungen zum Zustand von Stützbauwerken in den Nahebereichen von Infrastruktureinrichtungen durchgeführt. Nachfolgende Auflistung soll einen Überblick über den vorhandenen Bauwerksbestand einiger Bauwerkserhalter Österreichs widerspiegeln.

- Österreichische Bundesbahnen:

Im Streckennetz der ÖBB sind ca. 9.400 Stück unverankerte Stützbauwerke vorhanden. Diese weisen – begründet durch den zum Zeitpunkt der Jahrhundertwende einsetzenden Bauboom der Eisenbahn – ein durchschnittliches Bauwerksalter von 77 Jahren auf. Bedingt durch die lange Nutzungsdauer lässt sich ein erheblicher Erhaltungs- und Erfassungsaufwand ableiten.

- Land Burgenland:

Im flachsten Bundesland Österreichs sind 103 Stück Stützbauwerke in der Nähe von Straßen in Landeseigentum vorhanden. Diese wurden vollständig erfasst und werden mit jährlichen Investitionen von ca. 520.000 € instandgehalten.

- Land Salzburg:

Begründet durch aktuelle Schadensfälle, liegt das Augenmerk in Salzburg auf Raumgitterkonstruktionen. Davon befinden sich ca. 150 Stück in der Nähe von landeseigenen Straßen oder Infrastruktureinrichtungen. Aus der Zustandserfassung und Bewertung resultiert ein geschätzter Erhaltungsaufwand von sechs Mio. € in den nächsten drei Jahren. Des Weiteren sind ca. 3.000 bis 4.000 Stück unverankerte Stützbauwerke vorhanden, welche weder vollständig dokumentiert, noch erfasst sind.

- Land Steiermark:

- 12 Bewehrte Erde Konstruktionen
- 46 Gitterwände
- 2461 Schwergewichtsmauern
- 16 Steinmauern
- 1993 Steinschichtungen
- 2 Winkelstützmauern
- 173 unerfasste und nicht näher bekannte Stützbauwerke

Zwar lässt sich aufgrund der strengen normativen und behördlichen Forderungen in Österreich von einem allgemein guten Zustand aller Bauwerke ausgehen, jedoch zeigen einige Beispiele auf, dass bei Stützmauern geringe Veränderungen der Umgebungsbedingungen oder Langzeiterscheinungen zu großen, oftmals nicht mehr behebbaren, Schäden führen können.

## 2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, die Zustandsbeurteilung von unverankerten Stützbauwerken zu untersuchen um hierfür einen Leitfaden zu erstellen, welcher in der Praxis verwendet werden kann. Dadurch sollen die Phasen der Instandhaltung für Bauwerke dieser Art vereinheitlicht und vereinfacht werden. Es soll ein „Werkzeug“ für alle mit der Nutzung und Erhaltung von Stützbauwerken befassten Personen zur Verfügung gestellt werden, welches die Kommunikation verbessert und den Ablauf der notwendigen Schritte systematisiert.

Die Hauptinhalte dieses Leitfadens sollen die folgenden Punkte sein:

- Die Vereinheitlichung der Begriffe und eine Beschreibung der zu untersuchenden Stützbauwerke.
- Eine Erfassung der vorhandenen Erhaltungsstrategien und daraus folgende Inspektions- und Untersuchungstätigkeiten, sowie die rechtlichen Grundlagen für die Instandhaltung von Bauwerken.
- Auflistung der für die Berechnung und den Entwurf von Stützbauwerken maßgebenden Normen – sowohl den derzeitigen als auch den früheren Normenstand.
- Darstellung der im Zusammenhang mit dem Versagen von Stützbauwerken auftretenden Versagensmechanismen und Schadensbilder.
- Zusammenfassung der zur Zustandserfassung erforderlichen Tätigkeiten, wie der Bauaufnahme, der Erstaufnahme und der Bauwerksuntersuchung. Außerdem die Operativen Instrumente und die Inspektionstätigkeiten bei Stützbauwerken.
- Ausarbeitung eines neuen, effektiveren Beurteilungs- und Bewertungsschemas für die Zustandsbeurteilung. Des Weiteren soll ein Ablaufschema zur Erfassung des Zustandes und als Grundlage für die Zustandsbewertung erarbeitet werden.
- Aufzeigen einiger Maßnahmen, die zur Sanierung oder im Zuge einer Instandhaltung durchgeführt werden können.

## 3 Begriffe, Definitionen & Stützbauwerke

Nachfolgende Auflistung enthält sowohl normativ definierte Begriffe als auch in dieser Arbeit eingeführte Begriffe. Die aus Normen oder sonstigen Unterlagen zitierten Definitionen sind durch die Anführung der Quelle gekennzeichnet.

### 3.1 Begriffe

#### 3.1.1 Instandhaltung

*„Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Einheit, die dem Erhalt und der Wiederherstellung ihres funktionsfähigen Zustandes dient, sodass die geforderte Funktion erfüllt werden kann.“ (ÖNORM EN 13306, 2010)*

#### 3.1.2 Laufende Instandhaltung

Alle Instandhaltungstätigkeiten, die geplant, und in einem zeitlich definierten Abstand durchgeführt werden.

#### 3.1.3 Außerordentliche Instandhaltung

Alle kurzfristigen Instandhaltungstätigkeiten, die außerplanmäßig als Ergebnis einer Inspektion durchgeführt werden und eine signifikante Verbesserung des Zustandes herbeiführen.

#### 3.1.4 Geplante Instandhaltung

Alle Instandhaltungstätigkeiten, die als Ergebnis einer Inspektion durchgeführt werden.

#### 3.1.5 Ertüchtigung

*„... alle baulichen Maßnahmen, die zu einer Tragfähigkeitsverbesserung über den ursprünglichen Zustand hinausgehen.“ (ONR 24008, 2014)*

#### 3.1.6 Erneuerung

*„Abbruch und Ersatz/Austausch von wesentlichen Bauwerksteilen (z.B. Überbau) oder der gesamten Anlage.“ (ONR 24008, 2014)*

#### 3.1.7 Instandhaltungszyklus

Wiederkehrender Zyklus, über welchen Instandhaltungstätigkeiten an einem Bauwerk durchgeführt werden.

#### 3.1.8 Inspektion

Jene Tätigkeiten, die im Zusammenhang mit der Zustandserfassung und Beurteilung von Stützbauwerken stehen.

#### 3.1.9 Erstaufnahme

Jene Tätigkeiten die vor Beginn der ersten Inspektion oder während dieser durchgeführt werden.

#### 3.1.10 Nachaufnahme

Jene Tätigkeiten die im Zuge von Inspektionen durchgeführt werden und ergänzende Informationen zur Erstaufnahme liefern und Lücken in einem Bestandsblatt ausfüllen.

### 3.1.11 Bestandsblatt

Primäres Ergebnis der Erstaufnahme. Darstellung aller bekannten Informationen und Daten über ein Stützbauwerk. Wird durch die Ergebnisse aus den Nachaufnahmen und allen Inspektionstätigkeiten laufend ergänzt.

### 3.1.12 Operative Instrumente

Personen oder Fachkräfte, welche Arbeiten oder Leistungen im Zuge der Inspektion durchführen. Nähere Information sind in Kapitel 7.4 gegeben.

### 3.1.13 Rechtmäßiger Bestand

Laut der steiermärkischen Bauordnung VIII. Abschnitt §40 gilt folgendes als rechtmäßiger Bestand:

- (1) Bestehende bauliche Anlagen und Feuerstätten, für die eine Baubewilligung zum Zeitpunkt ihrer Errichtung erforderlich gewesen ist und diese nicht nachgewiesen werden kann, gelten als rechtmäßig, wenn sie vor dem 1. Jänner 1969 errichtet wurden.
- (2) Weiters gelten solche bauliche Anlagen und Feuerstätten als rechtmäßig, die zwischen dem 1. Jänner 1969 und 31. Dezember 1984 errichtet wurden und zum Zeitpunkt ihrer Errichtung bewilligungsfähig gewesen wären.

### 3.1.14 Betriebszeit

Jener Zeitraum, in welchem ein Bauwerk aufgrund seiner Eigenschaften in direkter Verwendung, ohne Einschränkungen, verwendet werden kann.

### 3.1.15 Nutzungszeit

Jener Zeitraum, in welchem ein Bauwerk für die geplante und angedachte Nutzung, mit Einschränkungen, verwendet werden kann.

### 3.1.16 Grenzzustand

*„Zustände bei deren Überschreitung das Tragwerk die Entwurfskriterien nicht mehr erfüllt.“ (ÖNORM EN 1990, 2003)*

### 3.1.17 Versagensszenario

Szenario, welches mit dem Erreichen eines Grenzzustandes verbunden ist oder sein kann.

### 3.1.18 Versagensmechanismus

Mechanismus (mechanisch oder geometrisch), welcher als Grundlage für das Erreichen eines Grenzzustandes und den damit verbundenen Versagensszenarien verbunden ist.

### 3.1.19 Schadensbild

An der Oberfläche eines Baukörpers oder der Geländeoberfläche unter Zuhilfenahme von Mess- und Untersuchungsmitteln erkennbarer Schaden.

### 3.1.20 Messmittel

Instrumente und Geräte, die zur Erfassung von Messgrößen und der Erfassung und Dokumentation von Bauteileigenschaften verwendet werden.

### 3.1.21 Untersuchungsmittel

Instrumente und Geräte, die zur Erfassung von Bauteil- und Baustoffeigenschaften verwendet werden

### 3.1.22 **Zuverlässigkeit**

Eigenschaft eines Objektes (Bauwerkes), welche angibt, wie zuverlässig (das Objekt) die geforderten Eigenschaften über einen definierten Zeitraum erfüllt.

### 3.1.23 **Robustheit**

Fähigkeit eines Systems (oder Objektes) gegen Veränderungen ohne erforderliche Anpassungen zu reagieren.

### 3.1.24 **Schaden**

Ein materieller oder immaterieller Nachteil einer Person oder an einer Sache.

### 3.1.25 **Mangel**

Im Bauwesen oftmals als ein „*nichtvertragsgemäßer Zustand zum Zeitpunkt der Übergabe*“ (ÖNORM B 2110, 2013) definiert, im Zusammenhang mit der Sicherheit von Bauwerken jedoch auch eine Einschränkung der Nutzbarkeit.

## 3.2 Stützbauwerke

Böschungen oder Geländesprünge sind natürliche oder anthropogen entstandene Veränderungen des Geländes. Die natürlichen Veränderungen unterliegen physikalischen Grundsätzen, welchen der Hang oder die Böschung entsprechend der äußeren Einwirkung unterworfen sind. In manchen Fällen führt dies dazu, dass sich Hänge bzw. Böschungen im Grenzgleichgewicht oder nahe an diesem befinden. Der Grenzzustand bzw. das Grenzgleichgewicht eines Geländesprunges ist mit einer rechnerischen Sicherheit von  $\eta = 1,00$  definiert. Bei Änderungen der äußeren Umstände, wie den Materialeigenschaften, den (Grund-)Wasserverhältnissen im Bauwerk und/oder dem Untergrund oder auch durch bauliche Maßnahmen kann es zu einer Veränderung der Standsicherheit eines Hanges kommen.

Bei Geländeänderungen im Zuge einer Bauwerkerrichtung werden oftmals Maßnahmen erforderlich, um die Einhaltung der geforderten Standsicherheit zu gewährleisten. Hierzu werden verschiedene Arten von Stützbauwerken herangezogen.

Für die Notwendigkeit eines Stützbauwerkes kann es zwei Gründe geben:

- **Sicherung eines Geländesprunges:**

Um die Standsicherheit einer vorhandenen Böschung oder eines Geländesprunges und der darunter liegenden Flächen oder Bauwerke zu gewährleisten, ist die Errichtung eines Stützbauwerkes erforderlich. Durch das Stützbauwerk wird die Standsicherheit des Hanges oder Geländes erhöht.

- **Herstellung einer horizontalen Ebene:**

Oftmals wird zur Herstellung von Gebäuden oder Infrastrukturbauwerken in Hanglage eine Veränderung des natürlichen Geländes erforderlich. Um die Sicherheit dieser Hanganschnitte bzw. Anschüttungen zu gewährleisten werden Stützbauwerke errichtet.

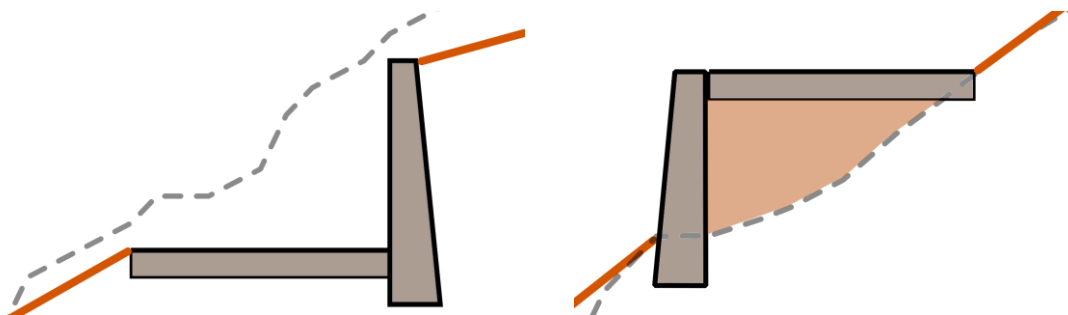


Abb. 1: Links – Sicherung eines Geländesprunges; Rechts – Herstellung einer horizontalen Ebene

### 3.2.1 Gliederung von Stützbauwerken

„Stützbauwerke umfassen alle Arten von Wänden oder Stützsystemen, bei denen Bauteile durch Kräfte aus dem gestützten Material beansprucht werden.“ (ÖNORM EN 1997-1, 2009)

Umgangssprachlich wird der Begriff „Stützmauer“ für Bauwerke zur Herstellung von Geländesprüngen verwendet. In der Literatur (Boley, 2012) und einigen Normen wird hierbei jedoch in Stützmauern und Stützwände unterschieden. Als **Stützmauern** werden Bauwerke bezeichnet, bei welchen die an der Hinterseite wirkenden Druckkräfte durch Spannungen an der Sohle der Stützkonstruktion in den Baugrund abgeleitet werden. Für die Ableitung dieser Kräfte ist daher entweder ein sehr hohes Mauergewicht bzw. die Nutzung von Erdauflasten erforderlich oder es muss eine entsprechend große Aufstandsfläche gegeben sein. Zu Folge dieser Beschreibung werden diese Bauwerke auch oft als „flach gegründete Stützbauwerke“ bezeichnet. Im Gegensatz zu Stützmauern werden bei **Stützwänden** die an der Hinterseite auftretenden Druckkräfte durch Anker, Aussteifungselemente oder die Biegesteifigkeit des Bauwerkes in den Untergrund abgeleitet. Um diese Biegesteifigkeit erforderlichenfalls zu aktivieren, ist eine Einspannung im Bereich der Sohle erforderlich. Daher werden diese Bauwerke auch als „tief gegründete Stützbauwerke“ bezeichnet.

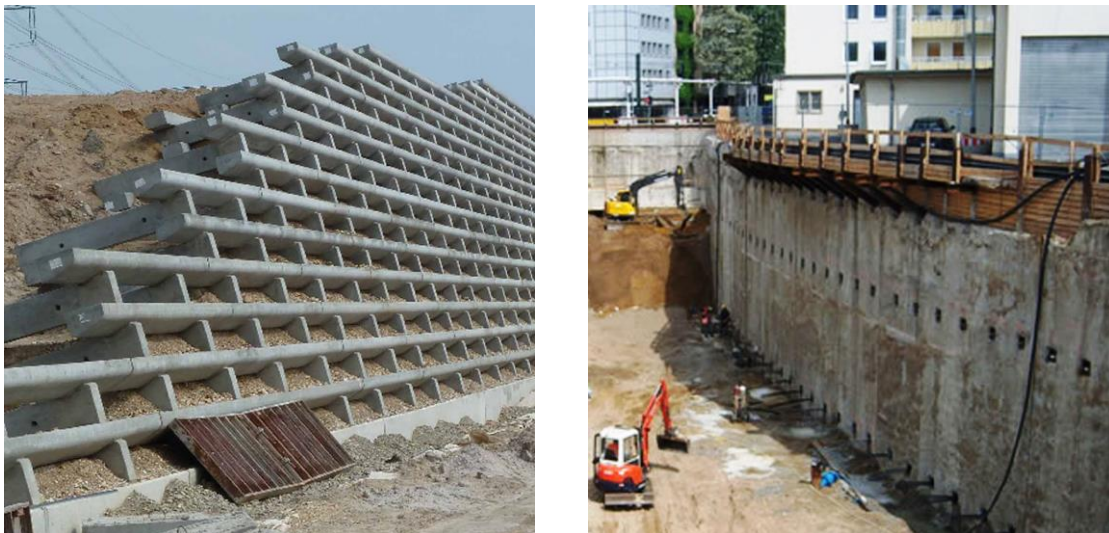


Abb. 2: Links - Beispiel einer Stützmauer in Form einer Raumgitterkonstruktion (Witt & Partner); Rechts - Beispiel einer Stützwand in Form einer Pfahlwand (SSF-ING)

Bei näherer Betrachtung der obigen Beschreibung wird jedoch ersichtlich, dass eine „eindeutige“ Einteilung oder Kategorisierung der Stützbauwerke nicht wirklich durchführbar ist. Nachfolgende Auflistungen sollen einige der in der Literatur



angeführten Ansätze zur Gliederung von Stützbauwerken zeigen. Aufgrund der Vielzahl derartiger Gliederungsansätze ist diese Aufzählung nicht erschöpfend.

#### 3.2.1.1 Hauptarten gemäß ÖNORM EN 1997-1

Der Eurocode 7 (ÖNORM EN 1997-1, 2009) unterscheidet in Kapitel 9 – Stützbauwerke in folgende für die Art der Bemessung maßgebenden Gruppen von Stützbauwerken:

- Gewichtsstützwände (Pkt. 9.1.2.1)

*„Wände aus Stein oder Beton oder Stahlbeton auf einem Fundament, mit oder ohne Sporn, Fuß oder Stützpfiler. Das Wandgewicht selbst, gegebenenfalls einschließlich stabilisierender Boden-, Fels- oder Hinterfüllungsmassen, spielt bei der Stützwirkung eine wesentliche Rolle. Beispiele sind Gewichtsstützwände aus Beton mit konstanter oder variabler Dicke, Winkelstützwände, Widerlagerwände.“*

- Im Boden einbindende Wände (Pkt. 9.1.2.2)

*„Relativ dünne Wände aus Stahl, Stahlbeton oder Holz, die durch Verankerungen, Steifen und/oder den Erdwiderstand gestützt werden. Die Biegesteifigkeit solcher Wände spielt bei der Stützwirkung eine wesentliche Rolle, während das Wandgewicht ohne große Bedeutung ist. Beispiele sind eingespannte Stahlspundwände, verankerte oder ausgesteifte Stahl- oder Betonspundwände, Schlitzwände.“*

- Zusammengesetzte Stützkonstruktionen (Pkt. 9.1.2.3)

*„Wände, die sich aus Elementen der vorgenannten beiden Arten zusammensetzen. Es gibt eine große Vielfalt derartiger Konstruktionen, und Beispiele dafür sind Kastenfangedämme, durch Anker, Geokunststoffe oder Injektionen bewehrte Erdbauwerke, Tragwerke mit mehreren Lagen von Bodenankern oder Bodennägeln.“*

#### 3.2.1.2 Ergänzungen nach DIN 1054

Zusätzlich zu den in 3.2.1.1 dargestellten Definitionen erweitert die deutsche Erd- und Grundbau Norm (DIN 1054, 2010) den Anwendungsbereich für Stützbauwerke wie folgt: *„Dieser Abschnitt gilt auch für im Boden eingebettete Bauwerke, z.B. Tiefkeller, Tunnel in offener Baugrube und, soweit anwendbar, für unterirdisch aufgefahrenen Tunnel sowie allgemein für Baumaßnahmen für vorübergehende Zwecke, z.B. Baugrubenkonstruktionen und Pressenwiderlager.“*

### 3.2.1.3 Einteilung der Stützbauwerke im anglikanischen Sprachraum

Ebenso wie im Eurocode 7, werden auch in der Literatur des anglikanischen Sprachraumes (Clayton et. al., 2013) die Stützbauwerke in drei Hauptgruppen unterteilt:

- Gravity walls (Schwergewichtsmauern)
- Embedded walls (im Boden einbindende Wände)
- Composite retaining structures (zusammengesetzte Stützkonstruktionen)

### 3.2.1.4 Einteilung nach Brandl (Brandl, Stützbauwerke und konstruktive Hangsicherungen, 2009)

- Konventionelle Stützbauwerke: Alle jene Stützungsmaßnahmen, welche nicht direkt im Zusammenhang mit einer Einspannwirkung des Bodens stehen. Beispiele sind Schwergewichtsmauern, Winkelstützmauern und Konsolmauern.
- Stützwände: Merkmal dieser ist die „*gelenkige oder eingespannte Lagerung des Wandfußes im Untergrund*“<sup>1</sup>. Hierunter werden eingespannte und teilweise rückverankerte Bauwerke wie Pfahlwände, Brunnenwände, Schlitzwände und Düsenstrahlwände, sowie zwingend rückverankerte Konstruktionen wie Rippenwände, Ankerwände und Futtermauern verstanden.
- Stützmauern nach dem Verbundprinzip: „*Stützmauerartige Verbundkonstruktionen stellen Bauwerke dar, bei denen einerseits Fertigteilelemente sowie „Anker“ und „Bewehrungsglieder“, und andererseits der Boden (Füllung oder natürlich gewachsen) zu einer gemeinsamen Tragwirkung herangezogen werden.*“<sup>2</sup> Beispielhaft hierfür seien die Raumgitter-Stützkonstruktionen, in sich verankerte Mauern, bewehrte Erde Konstruktionen und Gabionenwände genannt.
- Bodenvernagelung und Bodenverdübelung: Stützkonstruktionen, die aufgrund einer Verbundkörperwirkung ihre Funktion erfüllen. Zur Herstellung dieser Verbundkörper werden in den gewachsenen oder anstehenden Boden Bewehrungselemente unterschiedlichster Art eingebracht. Hierzu zählen Stützbauwerke aus Nagelwänden, Injektionsvernagelung- und Verdübelungen, Stabwände und Hangverdübelungen.
- Aufgelöste Stützkonstruktionen: Bei diesen wird der Stützkörper nicht aus massiven Bauteilen hergestellt. Es werden flächenhafte oder lokale Sicherungselemente eingebaut, um die Stabilität des Hanges zu sichern. Hierzu

<sup>1</sup> (Brandl, 2009) Seite 751 & 752

<sup>2</sup> (Brandl, 2009) Seite 798

gehören die Steinstützkörper, Stützscheiben, flächenhafte Hangsicherungen wie Spritzbetonwände oder örtliche Sicherungen wie etwa Gitterroste oder Trägerroste aus Fertigteilen.

### 3.2.1.5 Einteilung nach Boley (Boley, 2012)

Im Gegensatz zum Eurocode 7 und der anglikanischen Literatur, wird in diesem Werk eine grobe Einteilung nach den beiden Hauptgruppen flach- und tief gegründete Stützbauwerke vorgenommen.

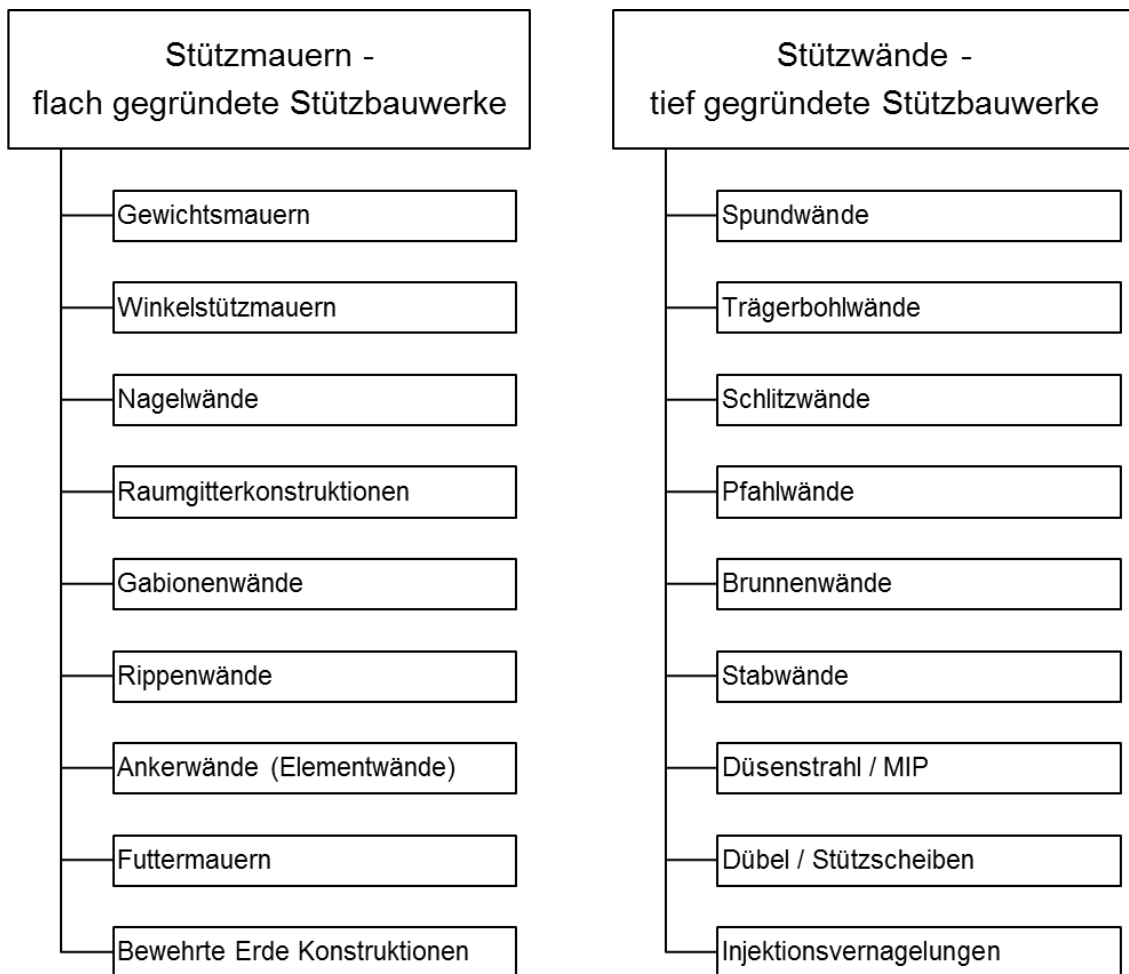


Abb. 3: Einteilung der Stützbauwerke nach Boley (Boley, 2012)

Ähnliche Einteilungen werden auch in der restlichen deutschsprachigen Literatur verwendet. Wobei als Grundlage die beiden Begriffe Stützmauer und Stützwand benützt werden. In den Untergliederungen und den Einstufungen sind jedoch wiederum signifikante Unterschiede zu finden.

In den nachfolgenden Kapiteln wird die Einteilung nach Boley verwendet.

### 3.2.2 Arten von Stützbauwerken

Als Grundlage dieser Arbeit werden auf den nachfolgenden Seiten die unterschiedlichen Arten und Typen von Stützbauwerken kurz beschrieben. Damit Missverständnisse vermieden werden, wird die bereits erwähnte Einteilung nach Boley verwendet. Diese ist aufgrund ihrer Übersichtlichkeit leicht verständlich und erscheint als praxisorientiertester Ansatz.

Trotz dieser Gliederung ist es nicht immer möglich, eine klare Einteilung und Zuordnung zu treffen.

Da die Arbeit nur unverankerte Stützbauwerke zum Inhalt hat, werden diese anfangs näher beschrieben. Bei dieser Beschreibung wird nicht näher auf die Bemessung und Dimensionierung von Stützbauwerken eingegangen. Die Belastungen, durch welche Stützbauwerke beansprucht werden und die konstruktive und geotechnische Bemessung sind in Kapitel 5 näher erläutert.

### 3.2.2.1 Gewichtsmauer

Gewichts- oder Schwergewichtsmauern sind eines der ältesten vom Menschen verwendeten Stützbauwerke. Begründet durch ihre sehr einfache Form und dem daraus resultierenden Tragverhalten konnte dieser Art der Sicherung und Abstützung bereits in frühen Epochen des Ingenieurwesens verwendet werden, da zu ihrer Herstellung einfachste Materialien verwendet werden konnten.

*„Das in der Sohlfuge wirkende Moment aus horizontalen Erddrucklasten wird über das rückdrehende Moment aus vertikalen Eigengewichtslasten aufgenommen.“<sup>3</sup>*

Aus der obigen Beschreibung wird ersichtlich, dass für das Tragverhalten dieser Art von Stützbauwerk das Eigengewicht eine entscheidende Rolle spielt. Zur Erreichung der erforderlichen Mauermassen können sowohl heute übliche Baustoffe wie Stahl- oder Mass beton, als auch einfachere Baustoffe, wie etwa Steine bzw. Blöcke in Form einer Steinschichtung verwendet werden.

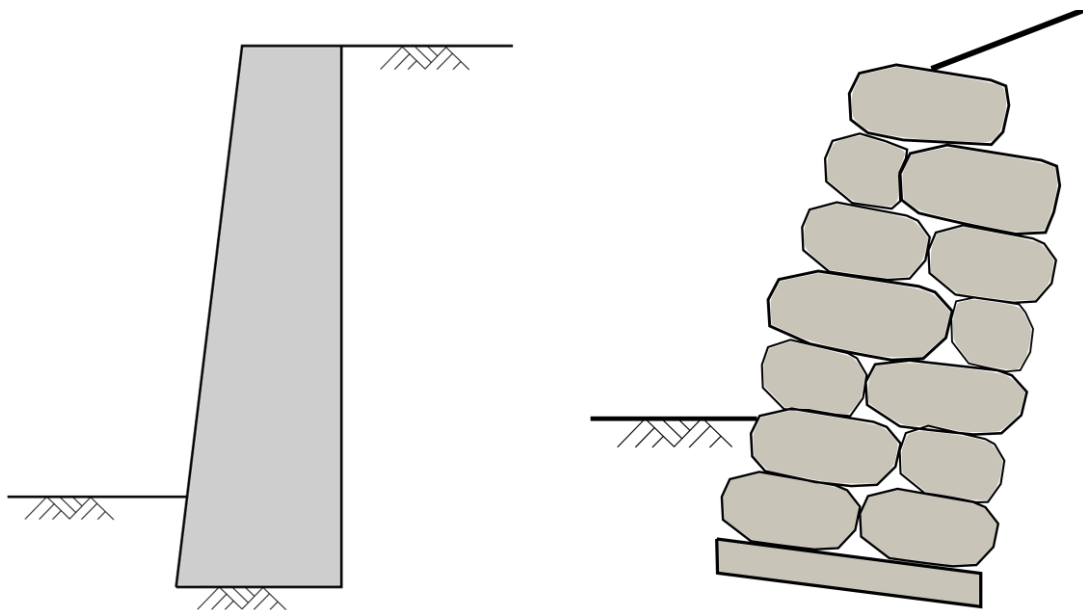


Abb. 4: Links – Querschnitt einer Gewichtsmauer aus Beton; Rechts – Querschnitt einer Gewichtsmauer aus Steinblöcken

Beim Entwurf und der Bemessung von Gewichtsmauern ist darauf zu achten, dass die Gleitsicherheit des Gesamtkörpers durch ausreichende Sohlreibung zwischen dem Baukörper und dem Baugrund sichergestellt wird. Die Aktivierung dieser Reibung wird durch geringfügige Bewegungen erreicht. Daher wird als Belastung im Allgemeinen der aktive Erddruck angenommen. Durch einen entsprechenden Entwurf der Mauer in

<sup>3</sup> (Boley, 2012)

Form einer Ansträgung oder Schiefstellung kann eine Verringerung des Erddruckes erreicht werden. Ob der aktive Erddruck als Lastansatz ausreichend ist, hängt jedoch auch noch von anderen Randbedingungen wie z.B. dem Langzeitverhalten, eventuell zu errichtenden Baustrukturen (Straßen oder Gelände) oberhalb des Stützbauwerkes oder möglichen Kriechbewegungen des Untergrundes in Hanglage ab. Ein weiteres Entwurfskriterium stellt die Lage der Resultierenden in der Sohlfuge dar. Kommt diese im Bereich der Kernfläche einer Gewichtsmauer zu liegen, so ist ein Kippversagen ausgeschlossen. Die Größe der Kernfläche kann dabei entweder durch einen, meist überdimensionierten Gesamtquerschnitt erreicht werden oder durch die Verbreiterung der Aufstandsfläche, durch welche nicht nur die Kippsicherheit erhöht sondern auch die Kontaktspannungen in der Sohlfuge reduziert wird, woraus sich eine Erhöhung der Grundbruchsicherheit ergibt. Durch die Definition der Kernfläche aus der Allgemeinen Baustatik ist es möglich, dass bei Lage der Resultierenden innerhalb dieser Fläche nur Spannungen eines Vorzeichens – im gegenständlichen Fall nur Druckspannungen - auftreten. Die Kernfläche einer Gewichtsmauer ist durch ein Sechstel der jeweiligen Querschnittsabmessung definiert.

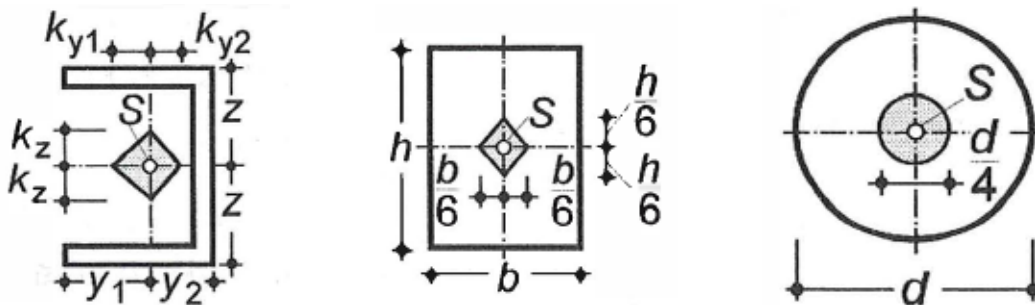


Abb. 5: Lage der Kernfläche für verschiedene Querschnitte (Schneider, 2012)

Mit Hilfe der Kenntnis über die Kernfläche lässt sich nun der allgemeine Fall für die optimale Form einer Gewichtsmauer wie folgt definieren (Schmidt et. al., 2014):

$$\int_0^z g(x; z)(x - x_s)dz = \int_0^s e_a(x; z)h(x; z)dS \quad (1)$$

$g(x; z)$  ... Funktion für das Gewicht des Stützbauwerkes

$x$  ... Abstand vom Nullpunkt des Querschnittes

$x_s$  ... Abstand zwischen Nullpunkt und Schwerpunkt

$e_a(x; z)$  ... Funktion des aktiven Erddruckes

$h(x; z)$  ... Höhe des Stützbauwerkes

Aus dieser Gleichung ergibt sich eine stetig gekrümmte Mauerform, welche jedoch praktisch schwierig herzustellen ist. Meist wird die Masse mit einem konischen Verlauf zur Mauerkrone hin ausgeführt.

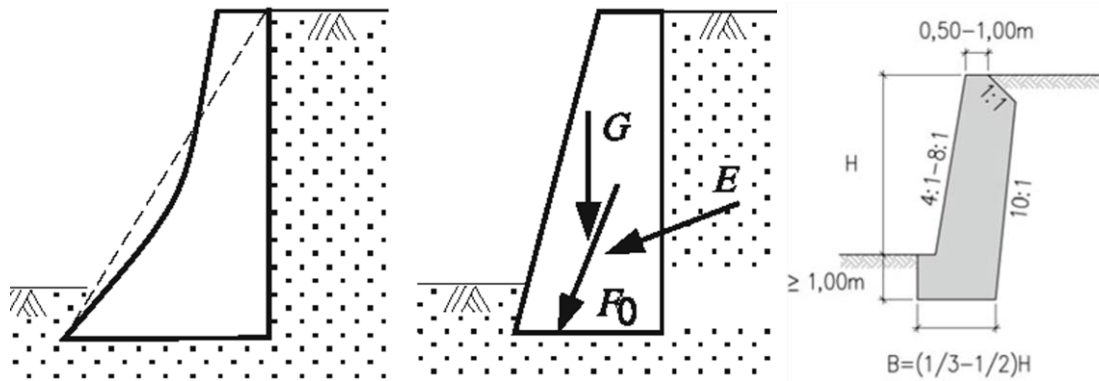


Abb. 6: Links - gekrümmter „optimaler“ Verlauf einer Gewichtsmauer (Schmidt et. al., 2014);  
Mitte – Grundlagen für die Ermittlung des optimalen Querschnittes (Schmidt et. al.,  
2014); Rechts – Entwurfsempfehlungen für Gewichtsmauern (Boley, 2012)

Eine Sonderform der Gewichtsmauern stellen die Bewehrte Erde Konstruktionen dar. Diese werden in Kapitel 3.2.2.5 näher erläutert.

### 3.2.2.2 Winkelstützmauer

Im Gegensatz zu Gewichtsmauern, kommen bei Stützbauwerken in Form von Winkelstützmauern schlankere und meist höhergradig bewehrte Stahlbetonbauteile zum Einsatz. Durch ihre schlanke Form steht verhältnismäßig wenig Eigengewicht zur Abtragung der horizontalen Lasten aus Erddruck zur Verfügung. Jedoch kann die Gewichtskomponente durch die Aktivierung von Erdkeilen vor oder hinter der Mauer vergrößert werden.

Kennzeichnend für das Verhalten von Winkelstützmauern ist die Tatsache, dass die Resultierende aus der Wandbelastung und dem Eigengewicht der Stahlbetonkonstruktion selbst außerhalb der Kernweite des Bauwerkes zu liegen kommt. Während zur Gleitsicherheit des Bauwerkes ebenso die Reibung zwischen den Bauteilen und dem Baugrund aktiviert werden muss, sind zur Sicherstellung der Kippsicherheit zusätzliche reaktive Lasten erforderlich. Diese können aus dem Untergrund in Form von Sohlspannungen resultieren, in Form von Zusatzlasten durch die Aktivierung von Erdkeilen herrühren oder durch Rückverankerung mobilisiert werden.

Die Bezeichnung Winkelstützmauer ergibt sich aus ihrer charakteristischen Form, die an ein großes L oder an einen Winkel erinnert. Diese Form ist notwendig, um einerseits zusätzliche Erdkeile zu aktivieren und andererseits die Lastabtragung in den Baugrund sicherzustellen. Dabei wird die Biegebeanspruchung des aufgehenden Schenkels in den horizontalen Schenkel übertragen, woraus sich wiederum die Sohlspannungsverteilung zwischen Bauteil und Untergrund ergibt.

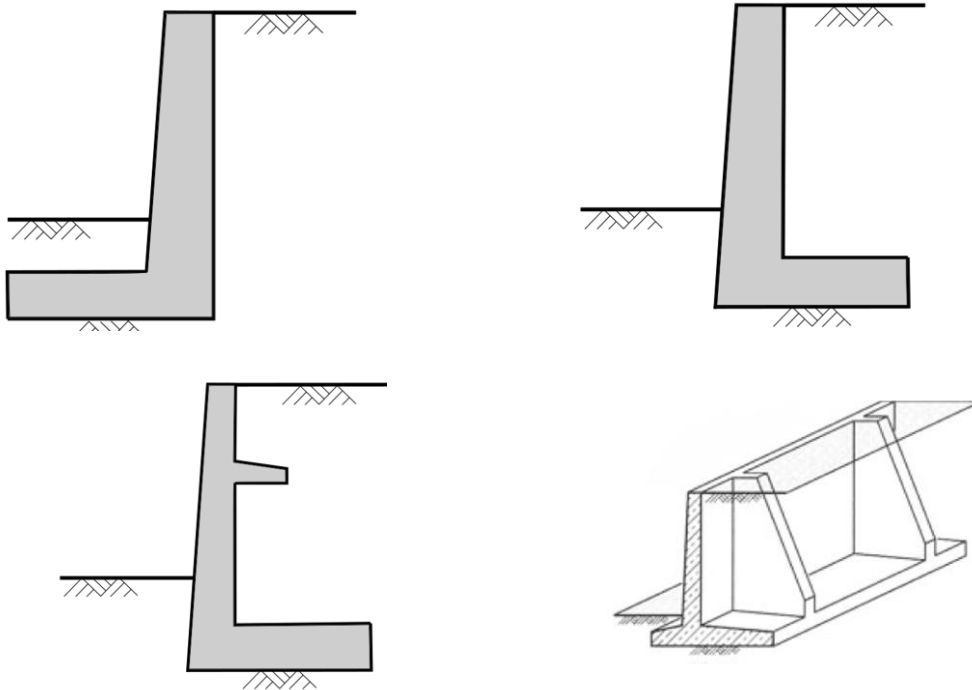


Abb. 7: Formen für Winkelstützmauern (modifiziert aus (Boley, 2012))

Für die Form und Ausbildung von Winkelstützmauern sind zahlreiche Möglichkeiten gegeben. Limitationen sind im Allgemeinen durch den vorhandenen Bauplatz und die Komplexität der Bauteile gegeben. Die Einschränkungen durch die Bauplatzgeometrie können dazu führen, dass der horizontale Schenkel der Winkelstützmauer nicht in den zu stützenden Hangbereich hineinragt, sondern nach vorne hinaus, von diesem wegläuft. Daraus resultieren geringere Auflasten, was zu einer Verringerung der Standsicherheit der Mauer führt. Gegenmaßnahmen hierfür sind oft der Einsatz von Steifen (als Abstreben zwischen aufgehenden Schenkel und dem Fundament) oder Spornen im oberen Bereich der Mauerrückseite. Hierdurch werden einerseits zusätzliche vertikale Auflasten generiert, andererseits kommt es im Bereich unter Spornen zu einem „Abschattungseffekt“ siehe Abb. 9 Links – d.h. der auf das Bauwerk wirkende Erddruck verringert sich.

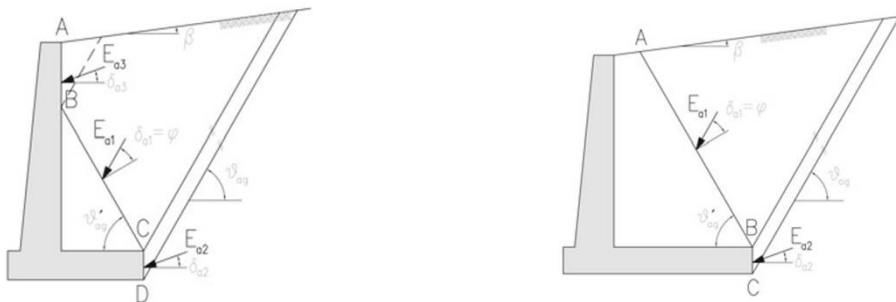


Abb. 8: Links – Erddruckansatz bei kurzem Schenkel (Boley, 2012); Rechts – Erddruckansatz bei langem Schenkel (Boley, 2012)



Bei großen Höhen des Geländesprungs kann durch den erforderlichen Einschnitt an der Hinterseite der Mauer die Herstellung einer temporären Baugrundsicherung erforderlich werden.

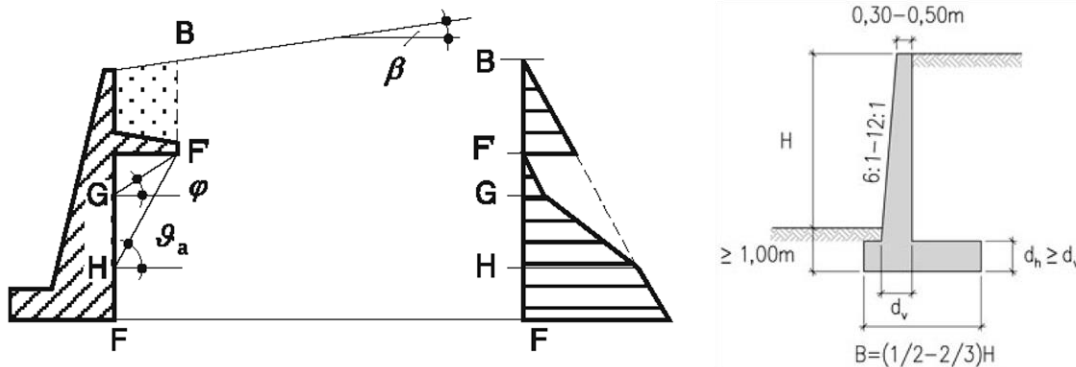


Abb. 9: Links – schematischer Erddruckansatz in Folge eines Sporns (Schmidt et. al., 2014); Rechts – Entwurfsempfehlung für Winkelstützmauern (Boley, 2012)

### 3.2.2.3 Raumgitterkonstruktion

Durch das horizontal kraftschlüssige Aufeinanderstapeln von stabförmigen Elementen (z.B. aus Stahlbeton) und dem Hinterfüllen des Bereichs zwischen diesen entsteht eine räumliche Gitterstruktur, welche einen Verbundkörper bildet. Durch diese Stapelung und die Modularität der Elemente ist eine sehr gute Anpassung an die vorgegebenen geometrischen Randbedingungen möglich. Weiters bilden Raumgitterkonstruktionen durch ihre aufgelöste Form eine sehr „naturnahe“ Art der Hang- und Böschungssicherung. Durch eine Begrünung der vorderseitigen Hinterfüllungsbereiche kann diese naturnahe Strukturgestaltung noch verstärkt werden.

Die Elemente können aus beinahe jedem Stoff hergestellt werden. So wurden früher zur Herstellung von Forstwegen oft Holzkrainerwände als eine Form der Raumgitterkonstruktion hergestellt. Aufgrund der Feuchteanfälligkeit und Vermoderung von Holzbauteilen werden Holzkrainerwände heute meist nur mehr für untergeordnete bzw. nicht dauerhafte Zwecke verwendet und kommen im modernen Infrastrukturbau kaum mehr zum Einsatz. Heute werden vorwiegend Systeme aus Betonfertigteilen verwendet. Diese haben einen hohen Vorfertigungsgrad und können durch ein Baukastensystem sehr gut an die gegebenen Randbedingungen der zu sichernden Böschung oder des Einschnittes angepasst werden. Im angloamerikanischen Raum werden vorwiegend Schlaufenelemente verwendet, bei welchen die stabförmigen Elemente horizontal zur Böschung durch Stahldrähte (in Form einer Totmannkonstruktion) hergestellt werden.



Abb. 10: Links – Raumgitterkonstruktion aus Betonfertigteilen (Bellingham); Rechts – Holzkrainerwand (Giehler)

Für die äußere Nachweisführung ist eine Raumgitterkonstruktion wie eine Gewichtsmauer zu betrachten. Durch die Herstellung des Verbundkörpers wird das Eigengewicht des Bodens zur Erreichung der Standsicherheit mit herangezogen. Im Allgemeinen werden Raumgitterkonstruktionen mit einer Neigung von 5:1 bis 10:1 hergestellt und auf Streifen- oder Einzelfundamenten gegründet.

#### 3.2.2.4 Gabionenwand

Wie bereits erwähnt, stellen Gabionenwände eine Sonderform der Gewichtsmauern dar. Hierbei wird der massive Baukörper nicht durch Massenbeton oder Steinschichtungen erzeugt, sondern durch übereinander geschichtete mit Steinen gefüllten Drahtkörben.

Zur Herstellung einer Gabionenwand stehen zwei unterschiedliche Typen zur Auswahl. Entweder werden bereits durch den Hersteller gefüllte Drahtkörbe ausgeliefert und in abgetreppter Form übereinander gestapelt oder es werden vor Ort Körbe mit Hilfe von Drahtmatten oder Geotextilien und Kunststoffen hergestellt, welche im Zuge der Bauphasen mit Steinmaterial verfüllt werden. Um die innere Standsicherheit und den Verbund zwischen den Körben zu gewährleisten ist auf eine ausreichende Kraftübertragung zwischen diesen zu achten. Dies kann entweder durch die Verwendung von Verbindungsstücken oder durch die sachgemäße Verdichtung im Zuge der Herstellung sichergestellt werden.



Abb. 11: Links – Fertiggestellte Gabionenwand zur Sicherung eines Geländesprunges (htb rochlitz); Rechts – Etagenweise Herstellung einer Gabionenwand (fmt)

Um die Ebenheit der Aufstellfläche und die gleichmäßige Lasteinleitung zu gewährleisten sind entweder Streifenfundamente anzubringen oder im Sandbett gelagerte Gabionen zu verwenden.

Oftmals werden Gabionenwände als Unterkonstruktion oder Gründung anderer Stützbauwerke und in Kombination mit anderen geotechnischen Baustoffen wie etwa Geokunststoffen verwendet.

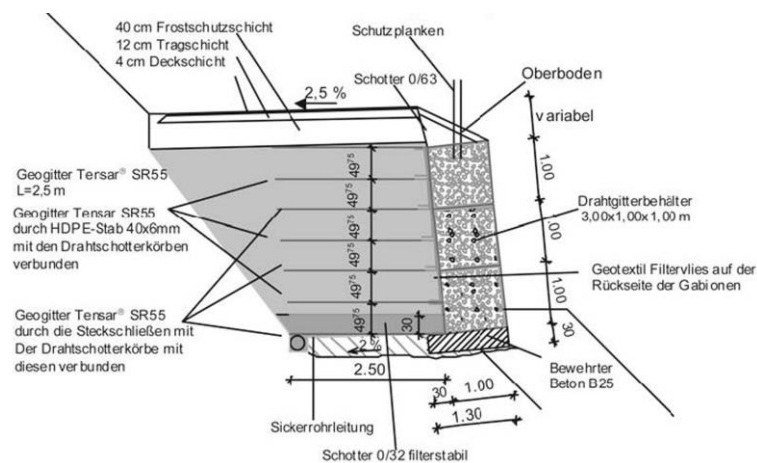


Abb. 12: Kombination von Gabionen mit Geokunststoffen (Boley, 2012)

### 3.2.2.5 Bewehrte Erde Konstruktion

Bewehrte Erde Konstruktionen werden durch die Einlage von Bewehrungselementen zwischen Schüttelelementen hergestellt. Die klassische Bewehrte Erde (Terre Armee) wurde vom französischen Ingenieur Henri Vidal entworfen. Dabei wurde eine Außenhaut an der Vorderseite der Konstruktion mit Bewehrungsbändern verbunden, welche die auftretenden Zugkräfte über Reibung in den Boden einleiten.

Das gleiche Prinzip wird auch heute noch angewendet. Dazu wird an der Außenseite eine Außenhaut angebracht, um das oberflächennahe Ausbrechen oder Abrutschen des Bodenmaterials zu verhindern. Zur Gewährleistung der Standsicherheit und um die Außenhaut „zurückzuhalten“, werden lagenweise Bewehrungselemente angeschlossen, welche über Reibung die Kräfte in den Boden eintragen. Die Außenhaut besteht heute üblicherweise aus Bewehrungsmatten mit Vlies, oder Geotextilien, jedoch kommen auch Stahlbleche oder Betonfertigteile zum Einsatz. Die Bewehrungselemente werden üblicherweise durch hochzugfeste Geokunststoffe (z.B. Geogitter) gebildet, welche sich aufgrund ihrer Struktur besonders gut mit dem eingebauten Bodenmaterial verbinden. Jedoch können hierfür auch andere geotechnische Bauelemente wie zum Beispiel „*Mikropfähle, Injektionsrohre, Stahl- oder Kunststoffstäbe oder Reibungsbänder und Gitter*“<sup>4</sup> verwendet werden.



Abb. 13: Links – lagenweise Herstellung eines Bewehrte Erde Körpers; Rechts – Ansicht eines fertiggestellten Bewehrte Erde Körpers

Um das Einbringen der Bewehrungselemente zu ermöglichen, ist eine lagenweise Herstellung des Bewehrten Erde Körpers von unten nach oben erforderlich. Dabei ist besonders auf die Verdichtung der einzelnen Lagen zu achten, um die notwendige Reibung zwischen den Bodenlagen und den Bewehrungselemente sicherzustellen.

#### 3.2.2.6 Schlitzwände

Bei Schlitzwänden handelt es sich um ein tiefgegründetes Flächentragwerk. Es werden meist massive, und bewehrte Betonquerschnitte zur Herstellung des Geländesprunges verwendet.

<sup>4</sup> (Boley, 2012) Punkt 12.6.1 Absatz 1

Aufgrund ihrer flächigen Form und bei geeigneter Ausführung der Arbeitsfugen bilden sie einen dichten Abschluss gegen anstehende Grundwässer. Ein weiterer Vorteil, im Vergleich zu den bisher genannten Stützbauwerken ist in der Art der Herstellung gegeben. Eine Schlitzwand kann im anstehenden Boden vorab erstellt werden und die eigentliche Beanspruchung des Stützbauwerkes entsteht erst im Zuge der Aushubarbeiten zur Herstellung des Geländesprunges.

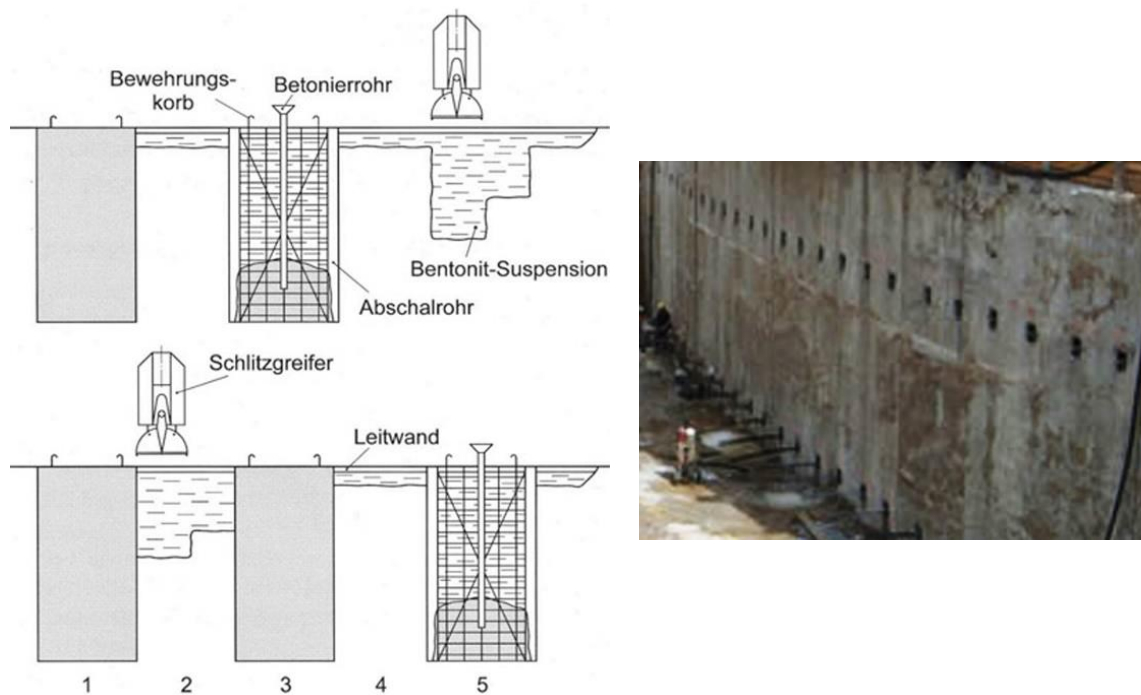


Abb. 14: Links – Ablaufschema zur Herstellung einer Schlitzwand (Boley, 2012); Rechts – Ansichtsfäche einer rickverankerten Schlitzwand zur Baugrubensicherung

Durch ihren massiven Querschnitt und die Verwendung von Bewehrungselementen ist es bis zu einer gewissen Höhe des Geländesprunges möglich, Schlitzwände unverankert auszuführen. Dies führt zu einer Aktivierung des vorderseitigen Erdwiderlagers, wodurch eine Einspannung der Wand ermöglicht wird.

Aufgrund der erforderlichen Baumaschinen und den daraus resultierenden Baustelleneinrichtungskosten, werden Schlitzwände meist erst ab einer größeren Abwicklungsfläche oder sonstigen speziellen Anforderungen wie die Dichtheit oder Ebenflächigkeit eingesetzt.

### 3.2.2.7 Pfahlwände

Neben den Schlitzwänden stellen auch Pfahlwände tiefgegründete Sicherungsmaßnahmen dar. Jedoch kommen hier keine flächenförmigen Bauteile zum Einsatz. Die Stützung des Bodens wird durch den Einbau von stabförmigen Elementen erreicht. Diese Elemente können aufgelöst, tangierend oder überschnitten hergestellt werden. Aufgelöste Bohrpfahlwände stellen keine vollständige, durchgehende Stützung des Bodens dar. Die Zwischenräume der Pfähle können durch die natürliche „Gewölbewirkung“ des Bodens oder durch eine Spritzbetonsicherung ausgefüllt werden. Bei tangierenden Bohrpfahlwänden werden die Pfähle Mann an Mann hergestellt. Dadurch wird eine annähernd geschlossene Oberfläche der Pfahlwand erreicht, die jedoch nicht als dicht angesehen werden kann. Ebenso wie Schlitzwände, sind überschnittene Bohrpfahlwände zur Herstellung einer wasserundurchlässigen, flächigen Oberfläche möglich.

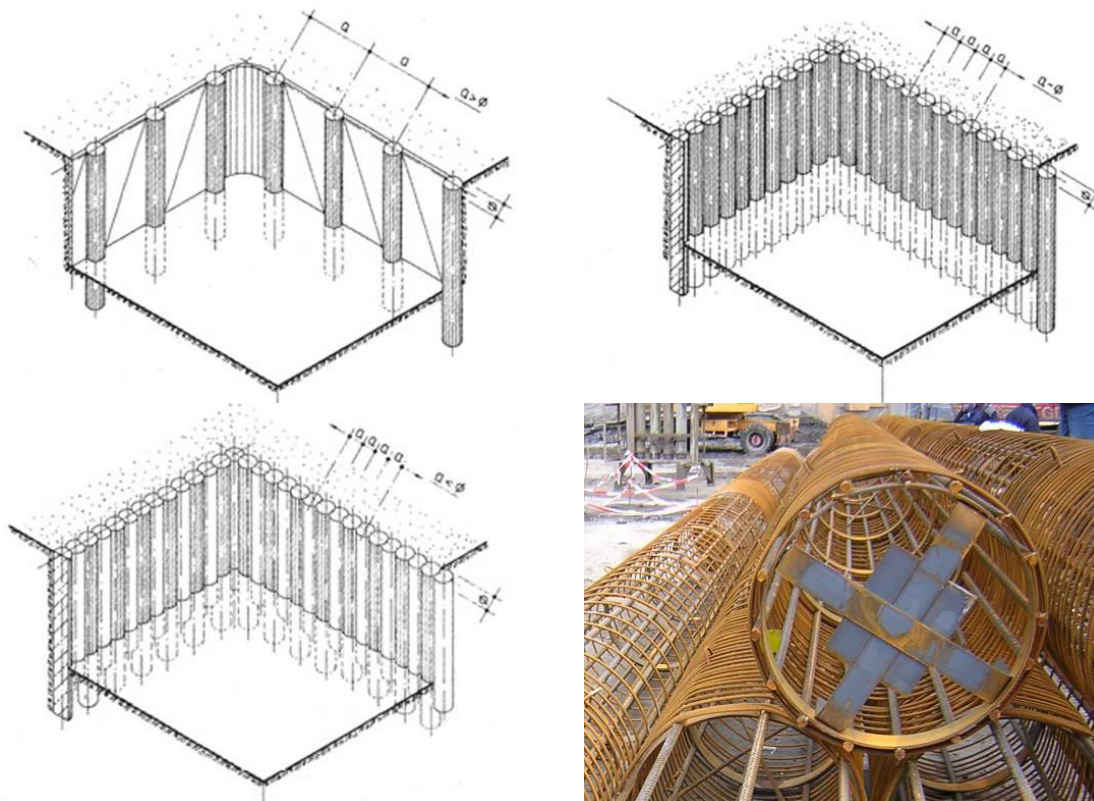


Abb. 15: Links oben – aufgelöste Bohrpfahlwand (Boley, 2012); Rechts oben – tangierende Bohrpfahlwand (Boley, 2012); Links unten – überschnittene Bohrpfahlwand (Boley, 2012); Rechts unten – Bewehrungskorb eines Bohrpfahls

Bohrpfahlwände werden ähnlich den Schlitzwänden von der bestehenden Geländeoberfläche aus hergestellt. Oftmals werden Pfähle im Zusammenhang mit Stützbauwerken auch als Tiefgründungselemente verwendet.

### 3.2.2.8 Brunnenwände

„Brunnenwände können als Pfahlwände mit sehr großen Pfahldurchmessern angesehen werden. Den aufzunehmenden Seitendruckkräften sind im allgemeinem elliptische Querschnitte vorzuziehen.“<sup>5</sup> Zur Herstellung von Brunnenwänden wird oftmals das „Abtäufverfahren“ verwendet. Hierbei wird von oben beginnend, ein Schacht etagenweise hergestellt. Dazu wird der ausgehobene Bodenbereich – welcher eine gewisse freie Standhöhe aufweisen muss -durch die Herstellung einer Ortbetonschale, oder heute üblich durch das Aufbringen einer Spritzbetonschale gesichert. Diese Schalen weisen eine Dicke von ca. 10 – 50 cm auf und können mehrlagig bewehrt sein. Nach der Herstellung bis in die erforderliche Tiefe werden die Brunnenschächte entweder vollständig mit Beton verfüllt oder in Form von Druckringen, wenn dies die Beanspruchung der Innenschale zulässt, unausgefüllt belassen. Da es sich bei Brunnenwänden, um eine „Form“ der aufgelösten Pfahlwand handelt, muss der Bereich zwischen den Brunnen ebenso gesichert werden. Dies kann entweder durch die „Gewölbewirkung“ des Bodens (Berücksichtigung der Verwitterung) oder durch die Anbringung einer Schale geschehen. Diese Schale kann aus einer Spritzbetonsicherung in Form eines Gewölbes oder durch eine durchlaufende Außenschale aus Stahlbeton hergestellt werden.



Abb. 16: Links – Ansicht einer fertiggestellten Brunnenwand zur Sicherung eines Rutschhanges; Rechts – Brunnenwand im verwachsenen Zustand (Brandl, Konstruktive Hangsicherung, 1986)

Aufgrund ihres großen Herstellungsaufwandes, der enormen Herstellungskosten und den Platzanforderungen werden Brunnenwände nur bei sehr großen Beanspruchungen und bei für andere Baumethoden ungünstigen Randbedingungen als Stützkonstruktion herangezogen.

<sup>5</sup> (Brandl, Konstruktive Hangsicherung, 1986)

## 4 Erhaltungsstrategien

Der Begriff Erhaltungsstrategie ist eng mit der Lebens- und Nutzungsdauer von Bauwerken verbunden.

Die Lebensdauer umfasst die gesamte Zeit, welche mit der Planung, der Genehmigung, der Errichtung und Inbetriebnahme sowie der Nutzung von Bauwerken verbunden ist. Bei Ingenieurbauwerken wird hierfür oftmals die Bezeichnung der „geplanten Nutzungsdauer“ nach Eurocode 0 (ÖNORM EN 1990, 2003) verwendet:

Klasse der Nutzungsdauer	Planungsgröße der Nutzungsdauer (in Jahren)	Beispiele
1	10	Tragwerke mit befristeter Standzeit <sup>a</sup>
2	10–25	Austauschbare Tragwerksteile, z. B. Kranbahnträger, Lager
3	15–30	Landwirtschaftlich genutzte und ähnliche Tragwerke
4	50	Gebäude und andere gewöhnliche Tragwerke
5	100	Monumentale Gebäude, Brücken und andere Ingenieurbauwerke

<sup>a</sup> ANMERKUNG Tragwerke oder Teile eines Tragwerks, die mit der Absicht der Wiederverwendung demontiert werden können, sollten nicht als Tragwerke mit befristeter Standzeit betrachtet werden.

Abb. 17: Klassifizierung der Nutzungsdauer (ÖNORM EN 1990, 2003)

Wie aus Abb. 17 zu erkennen ist, werden für „Brücken und andere Ingenieurbauwerke“ geplante Nutzungsdauern von 100 Jahren angesetzt. Um dieses Alter bei Bauwerken zu erreichen, gibt es unterschiedliche Ansätze. Diese können von einer „permanenten Instandhaltung“ über eine „erforderliche Instandhaltung“ bis hin zu einem „kontrollierten Verfall“ reichen. Da bei Ingenieurbauwerken ein gewisses (kritisches) Sicherheitsniveau nicht unterschritten werden darf, kommt meist die Methode der permanenten Instandhaltung zur Anwendung.

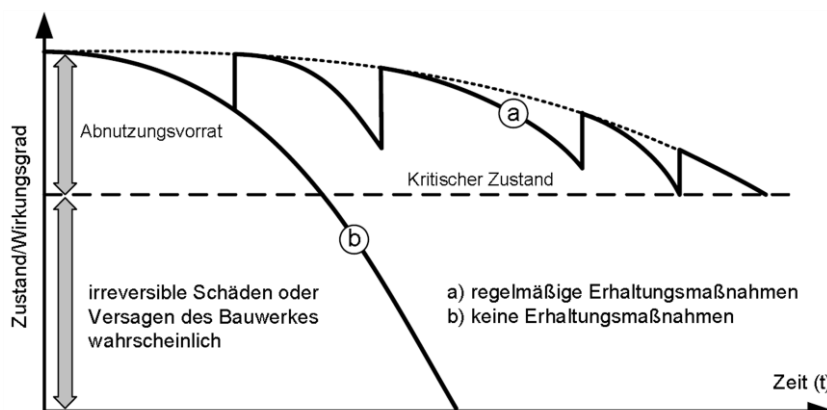


Abb. 18: schematische Darstellung des Erhaltungszustandes eines Ingenieurbauwerkes (ONR 24803, 2008)



Wie in Abb. 18 zu erkennen ist, hat jedes Bauwerk einen bestimmten Abnutzungsvorrat. Dieser beinhaltet bei Stützbauwerken im Allgemeinen jene Mängel, die vorliegen dürfen, bevor ein kritischer Zustand erreicht wird und daraus ein Versagen eintreten kann oder unzulässige Einschränkungen in der Gebrauchstauglichkeit entstehen. Durch das Unterlassen von Instandhaltungsmaßnahmen (Linie b in Abb. 18) liegt eine „baldige“ Abnutzung des Bauwerkes vor, woraus eine drastische Verringerung der Nutzungsdauer resultieren kann. Werden regelmäßige Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt (Linie a in Abb. 18) kann die Erreichung des kritischen Zustandes verhindert (oder hinausgezögert) werden, woraus eine Verlängerung der Nutzungsdauer resultiert.

Allgemein kann die Erhaltung in zwei Übergruppen unterteilt werden. Die präventive und die korrigierende Erhaltungsstrategie:

- **Präventive Strategie: (ÖNORM EN 13306, 2010)**

Durch die präventive (vorbeugende) Behandlung von Bauwerken wird im Allgemeinen die angesetzte Nutzungsdauer erhalten, bzw. sogar verlängert. Daraus resultieren Arbeiten, welche meist in kontinuierlichen Abständen durchzuführen sind und welche einen gewissen Koordinationsaufwand erfordern. Mit Hilfe der präventiven Maßnahmen soll jedoch nicht nur eine Verlängerung der Nutzungsdauer, sondern auch ein kontinuierlich guter Zustand des Bauwerkes erreicht werden, welcher einerseits die erforderliche Sicherheit gewährleistet, andererseits auch erhöhte Widerstände gegen auftretende Schäden oder Mängel bietet. Ein weiterer positiver Effekt der präventiven Instandhaltung ist die, aus den Maßnahmen resultierende, fortlaufende Untersuchung und Begutachtung des Bauwerkes, woraus sich der Zustand (und dessen Veränderung) ableiten lassen. Mit dieser Kenntnis kann das zukünftige Verhalten des Bauwerkes bereits vorzeitig in den Instandhaltungsmaßnahmen berücksichtigt werden.

- **Korrigierende Strategie: (ÖNORM EN 13306, 2010)**

Im Gegensatz zu präventiven Maßnahmen werden korrigierende Eingriffe immer dann angesetzt, wenn dies die Umstände erfordern. Dabei werden „kurzfristig“ eingeplante Arbeiten eingesetzt, um entweder den aktuellen Zustand zu verbessern, oder auch um eine radikale Abnahme der Nutzungsdauer – im schlimmsten Fall einen Kollaps – zu verhindern. Diese korrigierenden Maßnahmen kommen meist nach besonderen Ereignissen (Unterwetter, Katastrophen, usw.) oder beim Vorliegen und Erkennen einer Schädigung des Bauwerkes zur Anwendung.

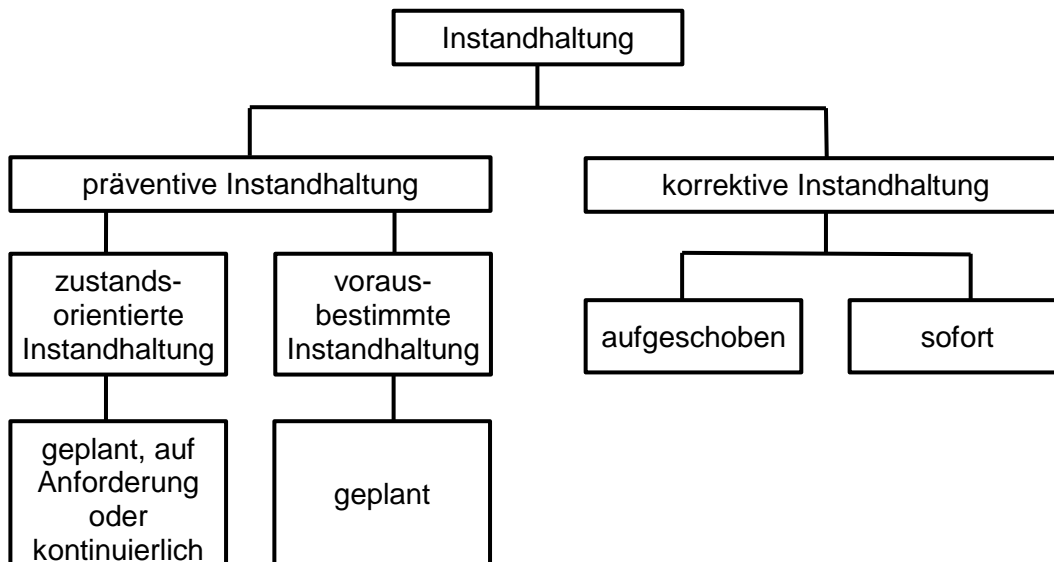


Abb. 19: Gesamtübersicht über die Instandhaltung (ÖNORM EN 13306, 2010)

- Bei der zustandsorientierten Instandhaltung, werden die Instandhaltungstätigkeiten aufbauend auf eine Zustandsüberwachung geplant und durchgeführt. Diese Zustandsüberwachung kann dabei planmäßig, auf Aufforderung oder kontinuierlich von statten gehen.
- Ohne vorherige Zustandsermittlung werden vorausbestimmte Instandhaltungstätigkeiten durchgeführt. Diese können in festgelegten Zeitabständen durchgeführt werden oder durch andere von der Nutzung abhängige Größen definiert werden.
- Entsprechend definierter Instandhaltungsregeln werden aufgeschoben korrektive Instandhaltungen durchgeführt. Hierbei kann ein zeitlicher Unterschied zwischen der Fehlererkennung und der Durchführung der Instandhaltungstätigkeit liegen.
- Im Gegensatz zu den aufgeschobenen sind bei sofortigen korrektiven Instandhaltungen unverzügliche Instandhaltungstätigkeiten durchzuführen, um unannehmbare Folgen aus deren Unterlassung zu vermeiden.

Je nach Art des Schadens, dem Zeitpunkt der Schadenserkennung und den damit verbundenen Pflichten des Bauwerkserhalters können die durchzuführenden Instandhaltungstätigkeiten in eine der oben genannten Kategorien eingeteilt werden.

Im Zusammenhang mit dieser Arbeit sind die zustandsorientierten Instandhaltungen - aufbauend auf eine Zustandserfassung und Beurteilung - und die sofortigen korrektiven Instandhaltungstätigkeiten in Folge der laufenden Überwachung als die beiden Wichtigsten anzusehen.

Instandhaltung betrifft auch immer einen Kostenfaktor, der bereits in der Investitionsentscheidung berücksichtigt werden sollte. Da bei Bestandsbauwerken oftmals bereits Aufzeichnungen über die Instandhaltung bekannt sind, lässt sich die Kostenfrage für die Instandhaltung aufgrund dieser Unterlagen ermitteln.

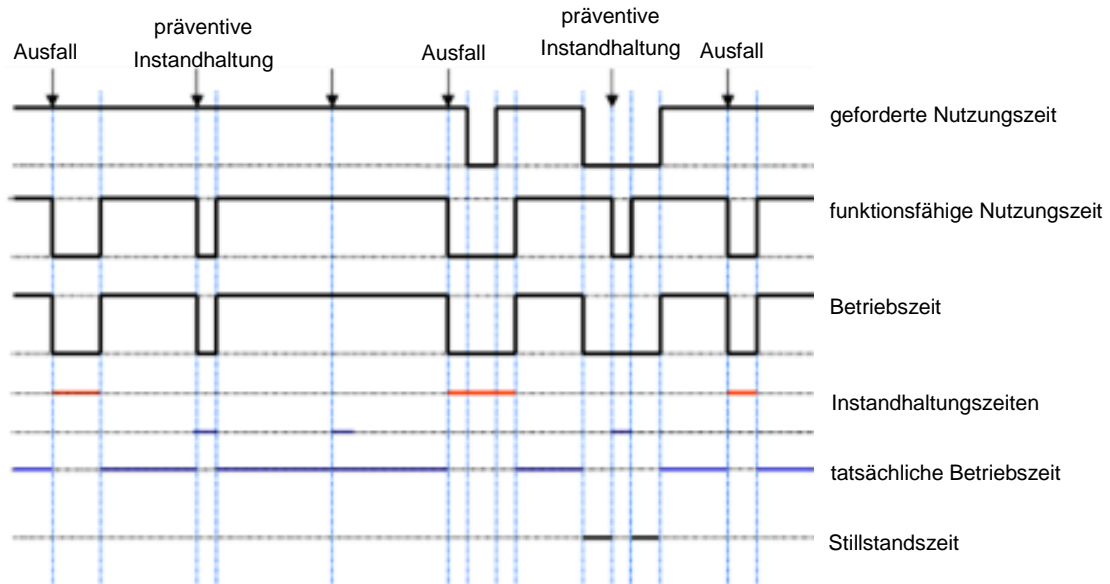


Abb. 20: Schematische Darstellung der zeitbezogenen Instandhaltung und den damit verbundenen Instandhaltungszeiten und Stillstandszeiten adaptiert nach (ÖNORM EN 13306, 2010)

Der wichtigste Zeitfaktor für den Unterhalt von Stützbauwerken wird über die geforderte Nutzungsdauer (Nutzungszeit) geregelt. Nur während dieser Zeit ist eine Wertschöpfung aus dem Bauwerk gegeben. Durch alle anderen in Abb. 20 dargestellten Linien wird der Nutzungszeitraum verringert – wodurch die Wertschöpfungskette unterbrochen wird.

Diese Unterbrechungen der Wertschöpfungskette hängen einerseits von der Dauer der durchgeführten oder geplanten Instandhaltungstätigkeiten, andererseits auch von deren Einflüssen auf den Betrieb ab. So haben kleinere Instandhaltungstätigkeiten oftmals keinen direkten Einfluss auf die Nutzung, können jedoch größere Maßnahmen vorwegnehmen und so die Betriebs- und Nutzungsdauer des Bauwerkes massiv beeinflussen.

## 4.1 Instandhaltungsarten

Um den Ablauf einer Instandhaltung zu planen und vorausschauend agieren zu können, gibt es unterschiedliche Arten der Instandhaltung. Diese lassen sich einerseits nach ihrem zeitlichen Auftreten, andererseits nach der Notwendigkeit ihrer Durchführung gliedern. Die vorliegenden Normen bieten hierfür jedoch eine unvollständige Grundlage, da sich diese eher auf die Bereiche und Problemstellungen des Hochbaues beziehen und nicht mit den rechtlichen und normativen Grundlagen bei Infrastrukturbauwerken konform sind. Daher werden in dieser Arbeit Bezeichnungen und Definitionen aus den rechtlichen Grundlagen für Straßen- und Infrastrukturerhalter herangezogen.

Nachfolgend soll der zeitliche Ablauf eines Instandhaltungszyklus für ein Stützbauwerk dargestellt werden.

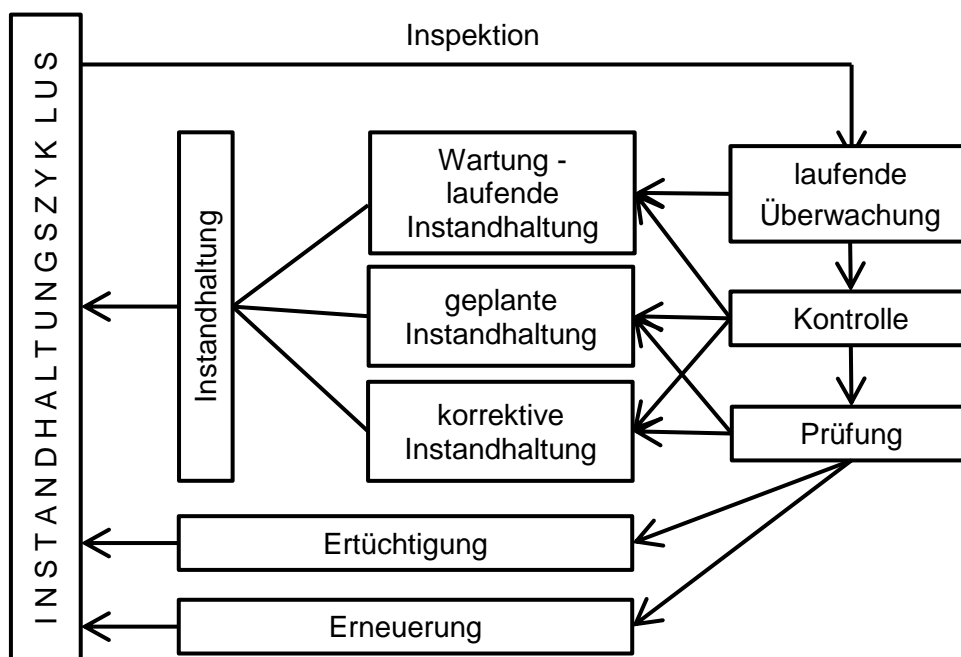


Abb. 21: Schema des Instandhaltungszyklus bei Stützbauwerken mit Betrachtung der Inspektionstätigkeiten

In Abb. 21 ist ersichtlich, dass es im Allgemeinen drei wesentliche Bestandteile eines Instandhaltungszyklus gibt. Die Instandhaltung, welche laufend, im Zuge der Wartung; geplant, nach Instandhaltungsplänen; oder korrektiv, als Sofortmaßnahme zufolge einer Kontrolle oder Prüfung erfolgt. Daneben kann eine Tragfähigkeitsverbesserung im Zuge einer Ertüchtigung durchgeführt werden. Das Ende des Instandhaltungszykluses wird durch die Erneuerung des Bauwerkes definiert.

## 4.2 Inspektionstätigkeiten

Ebenso wie bei den Instandhaltungsarten, gibt es auch bei den Tätigkeiten eine Fülle an unterschiedlichen Bezeichnungen und Definitionen. Grund hierfür ist einerseits die nicht ganz klare Normengrundlage zu diesem Thema, andererseits die Tatsache, dass diese Instandhaltungstätigkeiten von unterschiedlichen Unternehmen oder Betrieben durchgeführt werden – woraus andere rechtliche und innerbetriebliche Grundlagen resultieren.

Aus obigem Zusammenhang wird ersichtlich, dass eine eindeutige Nomenklatur in diesem Bereich schwierig ist. Daher werden die in 3.1 definierten Begriffe nachfolgend durch die Bezeichnungen der österreichischen Unternehmen und Betriebe aus dem Bereich der Infrastruktur erweitert.

Tabelle 1 Begriff der Instandhaltung mit Beschreibung der einzelnen Unternehmen

<b>Bezeichnung nach 3.1</b>	<b>ÖBB</b>	<b>Asfinag</b>	<b>Bund</b>	<b>Land</b>
Inspektion	-	-	-	-
Laufende Überwachung	Inspektion	Laufende Überwachung	Laufende Überwachung	Laufende Überwachung
Kontrolle	Untersuchung	Kontrolle	Kontrolle	Kontrolle
Prüfung	Begutachtung	Prüfung	Prüfung	Prüfung

Um eine Vereinheitlichung zu schaffen, Überschneidungen zu vermeiden und die Lesbarkeit dieser Arbeit zu gewährleisten, werden die Begriffe aus 3.1 laut ihrer dortigen Definition in den weiterführenden Kapiteln dieser Arbeit verwendet.

Der nachfolgende Ablauf soll als Grundlage für die, über die gesamte Lebensdauer eines Stützbauwerkes durchzuführenden Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Zustandserfassung, Zustandsbeurteilung und Instandhaltung dienen.

### 4.3 Rechtliche Grundlagen für die Erhaltung von Bauwerken

Generell sind die rechtlichen Grundlagen für die Instandhaltung an den Bauwerkseigentümer bzw. den zuständigen Verfügungsberechtigten gebunden. Damit kann einerseits eine optische als auch eine sicherheitsrelevante Instandhaltung verbunden sein. Bei Gebäuden, welche in eine schützenswerte Umgebung eingebunden sind, oder selbst ein schützenswertes Objekt darstellen sind oftmals optische Instandhaltungsmaßnahmen durchzuführen, um die Wahrung dieser schützenswerten Bereich sicherzustellen. Bauwerke (oder Teile dieser), deren Verlust der Tragfähigkeit zu einer erheblichen Einschränkung der Sicherheit von Personen oder umliegenden Bauwerken führen würde, sind einer sicherheitsrelevanten Instandhaltung zu unterziehen. Die optische Instandhaltung ist hierbei nebensächlich zu betrachten geht jedoch oftmals mit einer sicherheitsrelevanten Instandhaltung einher.

In der unten angeführten Zusammenfassung soll kurz auf die rechtliche Situation mit Bezug auf die erforderliche Durchführung der Instandhaltung hingewiesen werden. Auf eine Unterlassung dieser Tätigkeit und die damit verbundenen (oder möglichen) Folgen wird nicht näher eingegangen.

#### 4.3.1 Situation in Österreich

Nachfolgend sollen die wichtigsten, im Zusammenhang mit der Verpflichtung zur Erhaltung von Stützbauwerken stehenden rechtlichen Grundlagen für Österreich dargestellt werden.

##### 4.3.1.1 Denkmalschutzgesetz

DMSG 2015 §4 (1) Pkt. 2: *„Einer Zerstörung ist gleichzuhalten, wenn der Eigentümer oder sonstige für die Instandhaltung Verantwortliche die Durchführung der für den Bestand des Denkmals unbedingt notwendigen Instandhaltungsmaßnahmen in der offenbaren Absicht, es zu zerstören, unterlässt, obwohl es sich um Maßnahmen handelt, die dem Eigentümer (Verantwortlichen) insgesamt zumutbar sind, weil die Beseitigung keine oder nur geringe Geldmittel erfordert (wie z.B. die Ergänzung einzelner zerbrochener Dachziegel, Verschließung offenstehender Fenster und dergleichen).“* (DMSG, 2015)

Aus dieser rechtlichen Aussage lässt sich zwar keine direkte Notwendigkeit zur Durchführung von Instandhaltungsarbeiten ableiten, jedoch befinden sich einige Stützbauwerke (Arlberg, Brenner, Semmering,...) aufgrund ihres Alters und der mit ihrer Errichtung verbundenen Leistungen unter Denkmalschutz.

#### 4.3.1.2 Landesbauordnungen & OIB Richtlinien

Die Berücksichtigung der Instandhaltung wird in den Grundlagen der länderspezifischen Bauordnungen für Österreich wie folgt definiert: „*Unter rechtmäßigen Bestand ist zu verstehen, dass das Bauwerk dem von den Bauordnungen geforderten Erhaltungszustand (unter Berücksichtigung der Instandhaltung) entspricht. Das erforderliche Sicherheitsniveau des rechtmäßigen Bestand ist jenes, das zum Zeitpunkt der Baubewilligung unter Berücksichtigung des damaligen Standes der Technik maßgebend war.*“ (OIB RL 1, 2011)

Die oben zitierte Notwendigkeit der Instandhaltung bei (allen) Bauwerken wurde in den unterschiedlichsten Ausprägungen in die aktuellen Länderbauordnungen, Bauverordnungen oder Baugesetze übernommen. Ein rechtmäßiger Bestand liegt vor, wenn das Bauwerk zum Zeitpunkt seiner Errichtung bewilligungsfähig gewesen wäre – es den Anforderungen durch die (damalige) Bauordnung entsprochen hätte und gemäß dem (damals gültigen) Stand der Technik errichtet wurde.

#### 4.3.1.3 Sonstiges

Neben den bereits angeführten rechtlichen Grundlagen werden die RVS – Richtlinien (Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen) als Stand der Technik angesehen. Diese gelten als rechtlich verbindliche Grundlage für alle Staatsbetriebe und Wirkungsbereiche staatlicher Institutionen, wie Bund und Länder als Bauwerkseigentümer. Ebenso wurden diese durch die Asfinag und ÖBB als verbindliche Rechtsgrundlage aufgenommen.

#### 4.3.2 Situation in Deutschland

In Deutschland wurde durch den Erlass „Hinweise für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer/Verfügungsberechtigten“ (Bauministerkonferenz, 2006) die rechtliche Lage zur Instandhaltung wie folgt geregelt: „*Nach § 3 Abs. 1 der Musterbauordnung (MBO) sind bauliche Anlagen u. a. so instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden.*“ In diesen Unterlagen wird neben dieser rechtlichen Vorbemerkung auf den Anwendungsbereich, ein Bauwerks- oder Objektbuch und den Ablauf und die erforderlichen Qualifikationen zur Durchführung einer Bauwerksprüfung eingegangen. Des Weiteren wird darauf verwiesen, dass bei der Planung und Errichtung von Neubauten auf die Ergebnisse und Rückschlüsse aus Bauwerksuntersuchungen eingegangen werden sollte, und das Frühwarnsysteme (Alarmpläne u.d.gl) zur Erhöhung der Sicherheit einzuplanen sind.

## 5 Lastannahmen & Bemessung von Stützbauwerken

Bei Entwurf, Berechnung und Gestaltung von Stützbauwerken treffen im Allgemeinen mehrere Randbedingungen aus unterschiedlichen Ingenieurdisziplinen aufeinander.

Einerseits die durch den **Baugrund und die Topologie** hervorgerufenen Randbedingungen. Diese definieren einen Großteil der auf das Bauwerk einwirkenden Belastungen und beeinflussen die Form und Art des Stützbauwerkes. Daraus ergibt sich eine große Bandbreite an Aspekten durch welche ein Stützbauwerk beeinflusst wird. Zumeist ist es schwierig, all die mit dem Boden, Baugrund und der Topologie verbundenen Eigenschaften, Randbedingungen und Erschwernisse oder Erleichterungen detailliert zu quantifizieren. Einerseits weil diese einer gewissen Streuung unterworfen sind (Heterogenität des Bodens), andererseits weil eine genaue Feststellung, Erkundung und Untersuchung meist schwierig ist (Zugänglichkeit, Kosten, Zeit).

Neben den Randbedingungen aus dem Untergrund, kommen bei der Bemessung und dem Entwurf von Stützbauwerken auch noch **konstruktive Randbedingungen** hinzu. Diese definieren die „innere Tragfähigkeit“ des Bauwerkes, können jedoch auch Einfluss auf die Umgebungsbedingungen haben. Im Gegensatz zu den Baugrundeigenschaften lassen sich diese leichter quantifizieren – und auch qualifizieren. Einerseits gibt es genaue normative Grundsätze (und Regeln), die nur einen bedingten Interpretationsspielraum zulassen. Andererseits sind vor allem Erfahrungswerte und Bauherrenwünsche ein maßgeblicher Punkt durch welchen der Entwurf und die Planung beeinflusst werden.

Abschließend sollen Infrastrukturbauwerke auch noch den **optischen Anforderungen** des Auftraggebers (und Bauwerkserhalters) genügen. Gerade hier wird oft das „ingenieurmäßige Denken“ gefordert, da „optisch ansprechend“ nicht immer gleich „konstruktiv einfach“ ist.

Wie sich aus den obigen Beschreibungen erkennen lässt, sind die Anforderungen und Randbedingungen sehr breit gefächert. Zusätzlich zu diesen Punkten kommen bei der Inspektion und der Instandhaltung von bestehenden Stützbauwerken noch politische, betriebswirtschaftliche und soziale Randbedingungen hinzu – wodurch sich die Anzahl der zu berücksichtigenden Faktoren im Allgemeinen nochmals vergrößert.



## 5.1 Einwirkungen auf Stützbauwerke

Wie alle Bauwerke, sind auch Stützbauwerke im Allgemeinen durch die drei folgenden Einwirkungsgruppen beansprucht:

- **Ständige Einwirkungen (G)**

*„Eine Einwirkung, von der vorausgesetzt wird, dass sie während der gesamten Nutzungsdauer wirkt und deren zeitliche Größenänderung gegenüber dem Mittelwert vernachlässigbar ist oder bei der die Änderung bis zum Erreichen eines bestimmten Grenzwertes immer in der gleichen Richtung (gleichmäßig) stattfindet.“<sup>6</sup>*

- **Veränderliche Einwirkungen (Q)**

*„Eine Einwirkung, deren zeitliche Größenänderung nicht vernachlässigbar ist oder für die die Änderung nicht immer in der gleichen Richtung stattfindet.“<sup>7</sup>*

- **Außergewöhnliche Einwirkungen (A)**

*„Eine Einwirkung die i.d.R. von kurzer Dauer, aber von bedeutender Größenordnung ist, und die während der geplanten Nutzungsdauer des Tragwerkes, jedoch mit keiner nennenswerten Wahrscheinlichkeit auftreten kann.“<sup>8</sup>*

Durch Einteilung der einzelnen, auf das Stützbauwerk wirkenden Einwirkungen lassen sich Lastgruppen, Lastfälle und Lastfallkombination erstellen, welche zu den Design-Belastungen führen. Mit diesen wird die Auslegung (Bemessung) des Bauwerkes durchgeführt. Nicht immer ist eine klare Einteilung eines Lastfalls in eine dieser Einwirkungsgruppen möglich. Gewisse Einwirkungen treten erst im Zuge einer Änderung in den äußeren Randbedingungen (z.B. geänderte Lagerungsbedingungen oder Anpassungen am Bauwerk) auf. Derartige Einflüsse sollten bei der Planung des Bauwerkes untersucht werden, und sind erforderlichenfalls im Entwurf und der Bemessung zu berücksichtigen.

Bei bestehenden Stützbauwerken gestaltet sich diese Einteilung etwas schwieriger. Hierfür ist die Kenntnis der zum Zeitpunkt der Planung und Errichtung geltenden Normen und des vorherrschenden Erkenntnisstandes über das Bauwerk selbst erforderlich. Da letzteres oft nicht ausreichend dokumentiert ist, wesentliche Dokumente fehlen oder sich Regelungen und Empfehlungen geändert haben, ist es schwierig eine genaue Einschätzung bzw. Beurteilung zu treffen.

---

<sup>6</sup> (ÖNORM EN 1990, 2003) Punkt 1.5.3.3

<sup>7</sup> (ÖNORM EN 1990, 2003) Punkt 1.5.3.4

<sup>8</sup> (ÖNORM EN 1990, 2003) Punkt 1.5.3.5

### 5.1.1 Eigenlasten des Bauwerkes

Zu den Eigenlasten zählen alle „ständigen ortsfesten Einwirkungen“<sup>9</sup>, welche Lasten in ein Bauwerk einleiten oder Spannungen und Deformationen in diesem verursachen.

Im Zusammenhang mit Stützbauwerken sind vor allem folgende Lastfälle als Eigenlasten zu betrachten:

- Eigengewicht des Stützbauwerkes, sowie auf das Bauwerk wirkende Erdlasten
- Ausrüstungen und Anbauten an Stützbauwerken
- Eigengewicht von ständig auf dem Stützbauwerk befindlichen Bauwerken wie z.B. Gebäude im unmittelbaren Nahebereich des Stützbauwerkes oder Straßenverkehrsanlagen hinter dem Stützbauwerk
- Indirekte Einwirkungen aus dem Schwindverhalten von Betonbauteilen
- Indirekte Einwirkungen aus gleichmäßigen Setzungen des Bauwerkes oder benachbarter Bauwerke
- Permanente Vorspannlasten aus den Bauteilen des Stützbauwerkes selbst
- Permanente Vorspannlasten aus Ankern oder Aussteifungsbauteilen

Bei der Betrachtung der äußeren Standsicherheit von Winkelstützmauern können somit Erdkeile, welche Kräfte auf die Schenkel ausüben ebenso als permanent – als Eigengewicht – betrachtet werden. Gleiches gilt für die Erdkeile, welche die Sporne von Stützbauwerken belasten. Die Größe dieser Erdkeile ist abhängig von der Länge des in Frage kommenden Schenkels oder Sporns.

Neben den in obiger Auflistung angeführten Lastfällen, können bei Bestandsbauwerken auch noch andere Lasten als Eigenlasten des Bauwerkes

angesehen werden. Diese rühren oftmals aus bereits durchgeführten Sanierungen des Stützbauwerkes her und müssen bei weiteren Betrachtungen mitberücksichtigt werden.

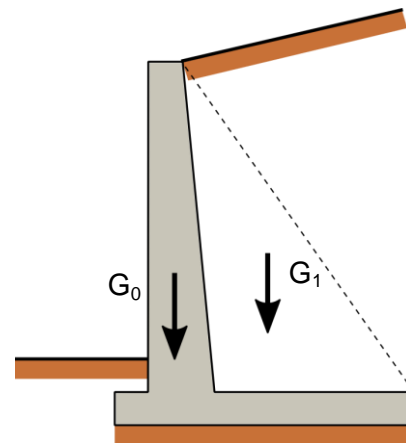


Abb. 22: Erddruck hinter dem Schenkel einer Winkelstützmauer

<sup>9</sup> (ÖNORM EN 1991, 2011) Punkt 2.1 (1)

### 5.1.2 Erddruck auf Stützbauwerke

„Erddruck ist diejenige Spannung, die in der Berührungsfläche zwischen Stützkonstruktion (Wand, Mauer, Verbau) und dem angrenzenden Untergrund wirkt, sofern die Kontaktfläche vertikal oder geneigt verläuft.“<sup>10</sup>

Der Erddruck hinter einem Stützbauwerk wird über die Relativbewegung (Bauwerk zu Erdkörper) beschrieben. Daraus resultierend ergeben sich der aktive Erddruck, der Erdruhedruck, der passive Erddruck und ihre Abwandlungen bzw. Teilmodifikationen. Alle anderen Formen des Erddruckes (wie z.B. Verdichtungsdruck während der Herstellung) entstehen aus Umgebungsbedingungen oder Herstellungseffekten – liegen jedoch in der Bandbreite zwischen dem aktiven und dem passiven Erddruck.

- **Ansatz des Erddruckes:**

Unabhängig von der Art und Größe der Bewegung des Stützbauwerkes können für den Erddruck drei Grenzfälle definiert werden:

- Aktiver Erddruck – Bewegung der Stützkonstruktion vom Erdreich weg
- Erdruhedruck – keine Relativbewegung zwischen Erdreich und Stützkonstruktion
- Passiver Erddruck – Bewegung der Stützkonstruktion zum Erdreich hin

Quantitativ kann die vorliegende Erddruckkraft, welche an der Hinterseite eines Stützbauwerkes wirkt, wie folgt dargestellt werden:

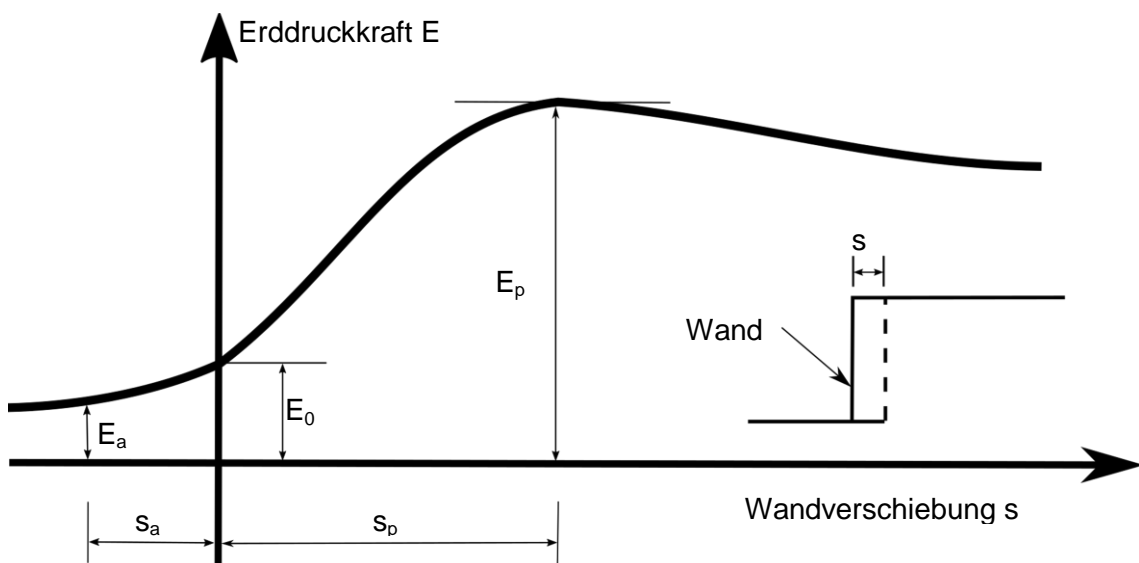


Abb. 23: Vorliegende Erddruckkraft bezogen auf die erforderliche Wandverschiebung

<sup>10</sup> (ÖNORM B 4434, 1993) Punkt 4.1

Wie aus Abb. 23 ersichtlich wird, ist für die Festlegung des maßgebenden Erddruckes die Kenntnis über die zukünftige Verschiebung (und die Verschiebungsmöglichkeiten) des Bauwerkes erforderlich. Da diese von einer Vielzahl von Parametern – sowohl auf geotechnischer als auch konstruktiver Seite – abhängig sind, kann sich die genaue Bestimmung der zu erwartenden Erddruckkomponente schwierig gestalten. Daraus ergibt sich, dass für den Erddruckansatz auf Stützbauwerke eine kritische Betrachtung durchzuführen ist und daraus resultierende Festlegungen zu treffen sind.

• **Bewegung von Stützkonstruktionen:**

Die Art bzw. Größe des vorherrschenden Erddruckes ist abhängig von der Art und den Eigenschaften des Stützbauwerkes – und damit verbunden den geometrischen Bewegungsmöglichkeiten – und den möglichen Bewegungsrichtungen und Bewegungsgrößen. Die Bewegungsrichtung definiert den Unterschied zwischen:

- Aktiver Erddruck (bzw. Bewegungsmöglichkeit in %)
- Passiver Erddruck (bzw. Bewegungsmöglichkeit in %)

Diese Bewegung kann durch folgende Grundformen oder deren Überlagerungen dargestellt werden (ÖNORM B 4434, 1993):

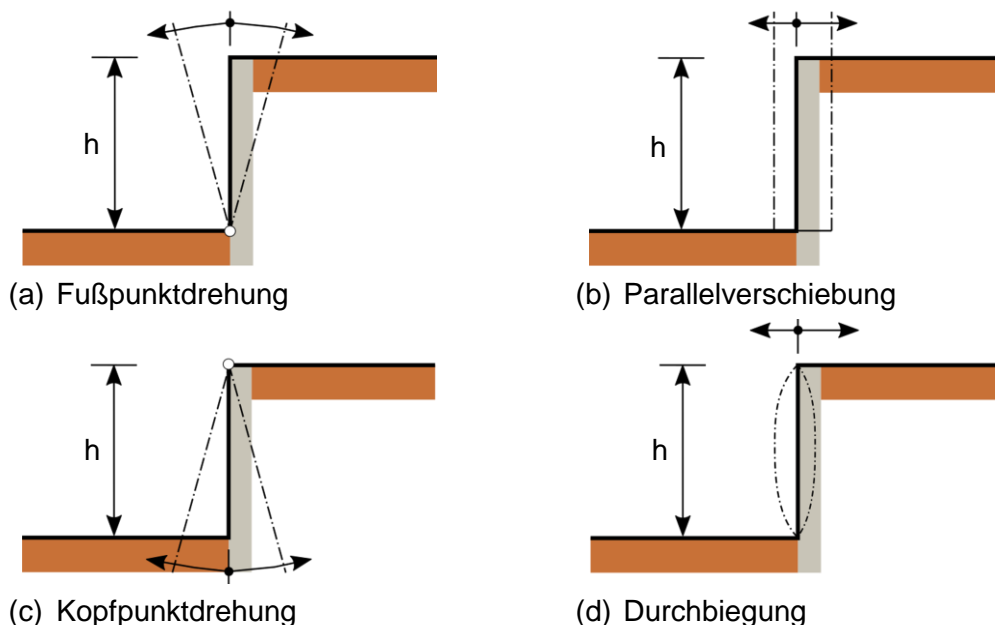


Abb. 24: Grundformen der Wandbewegung bei Stützbauwerken

Die erforderlichen Bewegungsgrößen des Stützbauwerkes zur Mobilisierung eines bestimmten Erddruckzustandes hängt unter anderem auch von der Wandhöhe ab.

Tabelle 2: Verschiebungsgrößen  $u_B$  in % der Wandhöhe zum Erreichen eines bestimmten Grenzzustandes (ÖNORM B 4434, 1993)

Bewegungsart	Aktiver Erddruck		Passiver Erddruck	
	lockere Lagerung	dichte Lagerung	lockere Lagerung	dichte Lagerung
Fußpunktdrehung (a)	0,4 – 0,5	0,1 – 0,2	30 (4,0)	10 (2,5)
Parallelverschiebung (b)	0,2	0,05 – 0,1	10 (0,5)	5 (0,5)
Kopfpunktdrehung (c)	0,8 – 1,0	0,2 – 0,5	15 (1,0)	5 (0,5)
Durchbiegung (d)	0,4 – 0,5	0,1 – 0,2	-	-

- **Ansatz von Bodenkennwerten:**

Bodenparameter zur Ermittlung des Erddruckes sind die Wichte, der Reibungswinkel, die Kohäsion und der Wandreibungswinkel.

Eine Erhöhung der Wichte führt zu einer Vergrößerung sowohl des aktiven, als auch des passiven Erddruckes. Mit Erhöhung des Reibungswinkels, sinkt der aktive Erddruck, der passive Erddruck wird vergrößert. Gleiches gilt für die Änderung der Kohäsion. Beim Ansatz der Kohäsion ist zu berücksichtigen, dass diese im anstehenden Boden dauerhaft vorliegen muss, was bei Stützbauwerken aufgrund ihrer langen Lebensdauer und den möglicherweise veränderlichen Bedingungen vor und hinter der Wand schwierig zu definieren ist. Der Wandreibungswinkel wird über die Reibungskomponente zwischen dem Wandrücken und dem Bodenkörper definiert und beschreibt die Verzahnung zwischen den beiden Körpern. Er ist abhängig von der Scherfestigkeit des Bodens, der Rauigkeit der Oberfläche der Stützkonstruktion und der Relativbewegung zwischen Stützbauwerk und Boden. Als Obergrenze ist er durch den Reibungswinkel  $\varphi$  begrenzt. Eine Erhöhung des Wandreibungswinkels führt zu einer Verringerung des aktiven und zu einer Erhöhung des passiven Erddruckes.

Tabelle 3: Einfluss der Bodenkennwerte (+ ... Erhöhung; - ... Verringerung)

Bodenkennwert	Aktiver Erddruck	Erdruchedruck	Passiver Erddruck
Wichte	+	+	+
Reibungswinkel	-	-	+
Kohäsion	-	-	+
Wandreibungswinkel	-	-	+

### 5.1.2.1 Aktiver Erddruck

„Der aktive Erddruck wird in der Regel bei äußerlich nachgiebigen und bei nichtgestützten Stützbauwerken angesetzt. Dies gilt unabhängig davon, ob diese Bauwerke hinterfüllt werden oder mit dem gewachsenen Boden in Berührung stehen.“<sup>11</sup>

Wie bereits beschrieben, ist für das Vorliegen des aktiven Erddruckes eine Bewegung des Stützbauwerkes vom Erdreich weg erforderlich. Die in Tabelle 2 definierten Grenzen für die Verschiebung eines Stützbauwerkes bei anstehendem nicht bindigem Bodenmaterial lassen ersichtlich werden, dass für die Aktivierung des aktiven Erddruckes relativ geringe Verschiebungsraten notwendig sind.

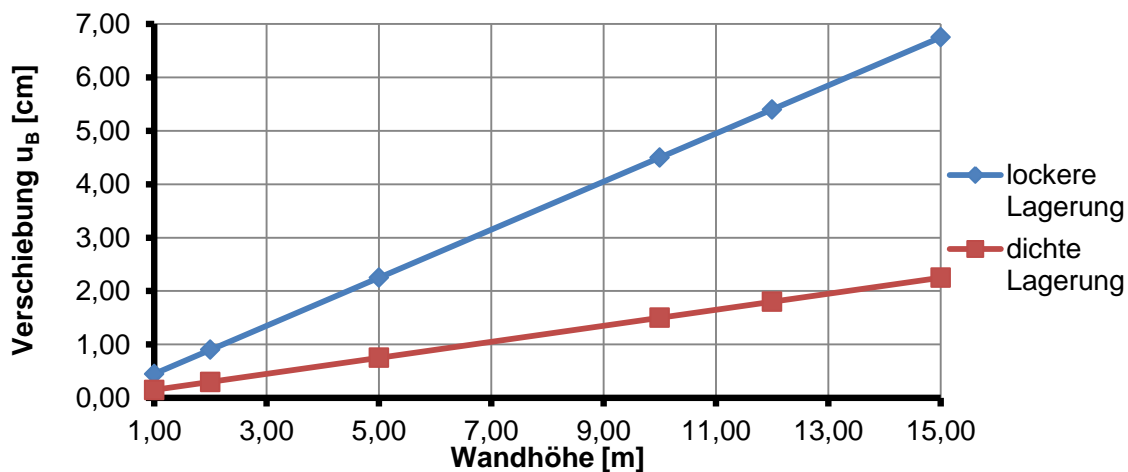


Abb. 25: Erforderliche Verschiebung eines Stützbauwerkes zur Aktivierung des aktiven Erddruckes bei nicht bindigem Bodenmaterial (ÖNORM B 4434, 1993)

Bei der Berechnung der aktiven Erddruckresultierenden  $E_a$  sind zusätzlich zum Eigengewicht des Gleitkörpers auch gleichmäßig verteilte Auflasten, vertikale Einzellasten und die Kohäsion des Bodens (sofern vorhanden) mitzubersichtigen. Allgemein, nur für das Eigengewicht des Gleitkörpers gültig, kann der aktive Erddruck wie folgt ermittelt werden: <sup>12</sup>

$$E_a = \frac{\gamma' \cdot h^2}{2} \cdot K_{a\gamma} \quad (2)$$

$$K_{a\gamma} = \frac{\cos(\alpha - \beta)}{\cos^2 \alpha} \cdot \frac{\cos(\vartheta - \alpha) \cdot \sin(\vartheta - \varphi)}{\sin(\vartheta - \beta) \cdot \cos(\vartheta - \chi)} \quad (3)$$

<sup>11</sup> (ÖNORM B 4434, 1993) Punkt 6.1

<sup>12</sup> (ÖNORM B 4434, 1993) Formel (5) & (6)

- **Erhöhter aktiver Erddruck zwischen Bauwerk und Erdkörper**

„Erddruck, der größer als der aktive Erddruck, aber kleiner als der Erdruhedruck ist.“ (ÖNORM B 4434, 1993). Dieser Zwischenwert entsteht, wenn die erforderliche Relativbewegung zur Mobilisierung des aktiven Erddruckes nicht (dauerhaft) erreicht bzw. sichergestellt werden kann. Diese Einschränkung in der Bewegungsmöglichkeit kann bei Stützbauwerken z.B. durch folgende Randbedingungen gegeben sein:

- durch die Gründungsverhältnisse, wie z.B. durch die Gründung einer Stützmauer auf Fels
- bei massiven Konstruktionen, wie z.B. bei Widerlagerwänden
- durch Verankerungen, Aussteifungen und anderen Konstruktionen, welche die Bewegungsmöglichkeiten herabsetzen
- durch ein über die Zeit (beständig) stattfindendes „Nachbewegen“ des Erdkörpers in Richtung des Stützbauwerkes

Abhängig von der Verformungsempfindlichkeit benachbarter Bauwerke und der Nachgiebigkeit der Stützkonstruktion werden folgende Fälle des erhöhten aktiven Erddruckes unterschieden: (ÖNORM B 4434, 1993)

$$E_h = 0,25 \cdot E_{0h} + 0,75 \cdot E_{ah} \quad (4)$$

$$E_h = 0,50 \cdot E_{0h} + 0,50 \cdot E_{ah} \quad (5)$$

$$E_h = 0,75 \cdot E_{0h} + 0,25 \cdot E_{ah} \quad (6)$$

In der Literatur (Boley, 2012) und der Normung (ÖNORM B 4434, 1993) werden hierfür folgende Anwendungsgrenzen definiert:

Tabelle 4: Grenzen des Erddruckansatzes

Nachgiebigkeit	Beispiel	Erddruckansatz
nachgiebig	Stützbauwerke mit geringen Verformungen z.B. Stützwände gegründet auf Lockergestein	aktiver Erddruck
wenig nachgiebig	Stützbauwerke mit unerwünschten Verformungen in Richtung der Erddruckbelastung	erhöhter aktiver Erddruck ( 4 )
annähernd unnachgiebig	Stützbauwerke die aufgrund ihrer Konstruktion anfänglich gering nachgiebig sind und später keine Verformungen mehr aufweisen können / sollen	erhöhter aktiver Erddruck ( 5 )
unnachgiebig	Stützkonstruktionen die aufgrund ihrer Konstruktion weitgehend unnachgiebig sind	erhöhter aktiver Erddruck ( 6 ) / Erdruhedruck

### 5.1.2.2 Erdruhedruck

Durch den Erdruhedruck wird streng genommen nur der in-situ Zustand des Bodens beschrieben. Im Gegensatz zum aktiven Erddruck wirkt der Erdruhedruck hinter einer Wand immer dann, wenn diese keine Bewegung ausführt. Wie aus Abb. 23 zu erkennen ist, liegt der Erdruhedruck größtenteils zwischen dem aktiven und dem passiven Erddruck. Der horizontale Erdruhedruck kann bei ehemals vorgelegenen Überlagerungen (Gletscher, Erdkörper, ...) auch ein Mehrfaches der gegenwärtig vorherrschenden Vertikalspannung zufolge der aktuell vorliegenden Überlagerung ausmachen.

Der Erdruhedruck wird durch das Verhältnis zwischen den vertikalen und den horizontalen Spannungen im ungestörten Boden definiert. Für eine horizontale Geländeoberflächen und nicht vorbelasteten Untergrundbedingungen gilt:

$$e_0 = \gamma' \cdot z \cdot K_0 \quad (7)$$

$$K_0 = 1 - \sin \varphi \quad (8)$$

### 5.1.2.3 Passiver Erddruck

Als passiver Erddruck oder auch Erdwiderstand ist jene Kraft bzw. Spannungen aus Bodeneigengewicht zu verstehen, die durch ausreichend große Verschiebungen des Bauwerkes in Richtung des Erdkörpers hervorgerufen wird und welche aus diesen großen Verformungen resultierend zu einem Bruchzustand im Untergrund führt.

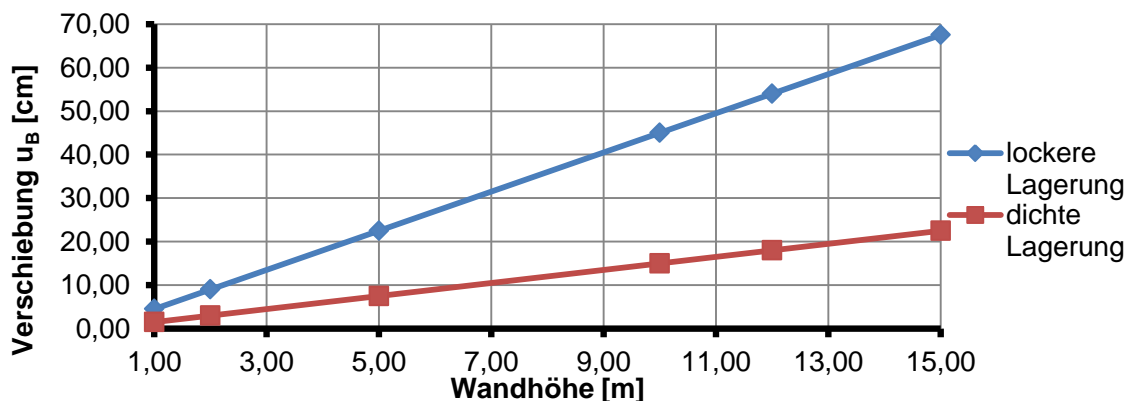


Abb. 26: Erforderliche Verschiebungen eines Stützbauwerkes (in Richtung des Erdkörpers) zur Aktivierung des vollen passiven Erddruckes in nicht bindigen Böden (ÖNORM B 4434, 1993)

Die Größe und Verteilung des rechnerischen passiven Erddruckes unterliegt oft großen Schwankungen, abhängig vom verwendeten Berechnungsmodell und der Bewegungsart. Beim Ansatz des passiven Erddruckes (vor allem als Stützkraft) sollte die Kompatibilität dieses Ansatzes aufgrund der sehr großen erforderlichen



Verschiebungen mit der möglichen zulässigen Verschiebung des Stützbauwerkes überprüft werden.

#### 5.1.2.4 Verminderter passiver Erddruck

Ebenso wie der erhöhte aktive Erddruck wird durch den verminderten passiven Erddruck der Fall abgebildet, dass nicht die kompletten, erforderlichen Verschiebungen zur Erreichung des Grenzzustandes vorliegen. Hierbei liegt das Ergebnis zwischen dem Erdruchdruck und dem passiven Erddruck.

Dieser Ansatz wird oft zur Erreichung eines erforderlichen Sicherheitsniveaus herangezogen. Dabei wird nicht der gesamte mögliche passive Erddruck in Rechnung gestellt, sondern nur ein Prozentsatz dessen. Dieser ergibt sich aus den zu erwartenden Verschiebungen und muss daher mit dem Gesamtsystem und dessen Verformungs- oder Verschiebungskapazität kompatibel sein.

#### 5.1.2.5 Erddruck zufolge Kohäsion

Die Kohäsion innerhalb des Bodens führt zu einer Beeinflussung der Erddruckkräfte. Wie bereits beschrieben, wird der aktive Erddruck durch die Kohäsion verringert, während der passive Erddruck erhöht wird.

$$E_c = c \cdot h \cdot K_c \quad (9)$$

Für den Grundfall der horizontalen Geländeoberfläche ergeben sich folgende Vereinfachungen, der Beiwerte zur Berücksichtigung der Kohäsion in der Erddruckermittlung:

$$K_{ac} = -2 \sqrt{K_{a\gamma}} \quad (10)$$

$$K_{pc} = 2 \sqrt{K_{p\gamma}} \quad (11)$$

#### 5.1.2.6 Mindesterdruk

Bei der Ermittlung des aktiven Erddruckes unter Berücksichtigung der Kohäsion könnte der Fall eintreten, dass sich negative Erddrücke zu Folge der Kohäsionskomponente ergeben. Da durch Boden keine (oder kaum) Zugkräfte aufgenommen werden können ist der Mindesterdruk anzusetzen. (ÖNORM B 4434, 1993)

$$\min e_{ah} = 0,20 \cdot \gamma' \cdot z \quad (12)$$

#### 5.1.2.7 Erddruck aus geneigten Oberflächen

Allgemein wird die Geländeoberfläche hinter dem Stützbauwerk in der Ermittlung des Erddruckes infolge des Eigengewichts des Bodens mitberücksichtigt. Hierbei spielt die Neigung des Geländes hinter dem Stützbauwerk ( $\beta$ ) eine wichtige Rolle, da durch diesen das zusätzliche Volumen (Gewicht) des Gleitkeiles definiert wird.

Bei gebrochenen oder abgestuften Geländeoberflächen hinter dem Stützbauwerk müssen hierzu verschiedene Gleitkeile untersucht werden, um den Einfluss der Geländeoberfläche in der Ermittlung des Erddruckes berücksichtigen zu können.

#### 5.1.2.8 Erddruck infolge Auflasten

Sowohl Einzellasten, Streifenlasten als auch Flächenlasten haben Einfluss auf den Erddruck hinter einem Stützbauwerk. Jedoch sind diese im Unterschied zu den Erddrucklasten aus dem Eigengewicht des Bodens nicht linear mit der Tiefe zunehmend, sondern hängen neben der Lastgröße auch von den geometrischen Bedingungen an der Geländeoberfläche ab. Genauere Angaben zur Größe und Dimension derartiger Lasten werden durch die gültigen Regelwerke gegeben.

#### 5.1.2.9 Silodruck

Werden Stützbauwerke in der Nähe zu unverschieblichen Objekten wie etwa anderen Stützbauwerken oder Felswänden hergestellt und hinterfüllt, so tritt der Silodruck als Belastung dieses Stützbauwerkes auf. Dabei kann sich im Allgemeinen kein vollständiger Gleitkeil ausbilden, woraus der resultierende Erddruck kleiner als der Coulomb'sche Erddruck wird. Daraus folgt, dass Erddrücke kleiner dem aktiven Erddruck vorherrschen können.

Hierfür können die Erddruckbeiwerte mit Hilfe einer Gleichgewichtsbetrachtung zwischen den beiden stützenden Bauwerken ermittelt werden. Bei der Bemessung derartiger Stützbauwerke ist jedoch oft der Verdichtungsdruck ein maßgebender Faktor, welcher sich aus der Herstellungsmethode (Hinterfüllung und Verdichtung) ergibt.

#### 5.1.2.10 Verdichtungsdruck

Infolge von Verdichtungsarbeiten hinter dem Stützbauwerk können Verdichtungsdrücke auftreten, welche größer als der Erdruchdruck werden können. Beim Ansatz des Verdichtungsdruckes ist auf die Art des Stützbauwerkes zu achten. Handelt es sich um verschiebliche Stützbauwerke, so führen diese höheren Drücke zu einer zusätzlichen Verformung der Wand, während diese bei unverschieblichen Bauwerken zu entsprechend hoher Beanspruchung des Bauwerkes führen.

### 5.1.2.11 Kriechdruck

Wird ein Stützbauwerk dazu verwendet, einen Einschnitt in einem durch kriechförmige Bewegungen gekennzeichneten Hang zu sichern, so wirkt der sogenannte Kriechdruck an der Hinterseite dieses Stützbauwerkes. Dieser wird durch die Bewegung der hinter dem Stützbauwerk liegenden Erdmasse in Richtung des Stützbauwerkes erzeugt. Der Kriechdruck wird trotz gewisser Verschiebungsmöglichkeiten der Wand, über die Zeit Werte größer dem Erdruchdruck annehmen, und kann so zu einer maßgebenden Belastung in der Bemessung von Stützbauwerken werden.

Die Größe des Kriechdruckes ist dabei maßgeblich von der Steifigkeit des Stützbauwerkes und dem Reibungswinkel des Bodens abhängig. Eine für „homogene“ Untergrundverhältnisse obere Grenze des Kriechdruckes wird durch die Ansätze von Haefeli (Haefeli, 1944) gegeben. Der Kriechdruck kann durch die Verwendung eines Vervielfältigungsfaktors  $m(\varphi)$  (Brandl, Konstruktive Hangsicherung, 1986) berücksichtigt werden.

$$E_{Kr} = m(\varphi) \cdot \gamma \cdot \frac{h^2}{2} \cdot \cos^2 \varphi \quad (13)$$

Der Vervielfältigungsfaktor durch den Kriechdruck kann wie folgt dargestellt werden:

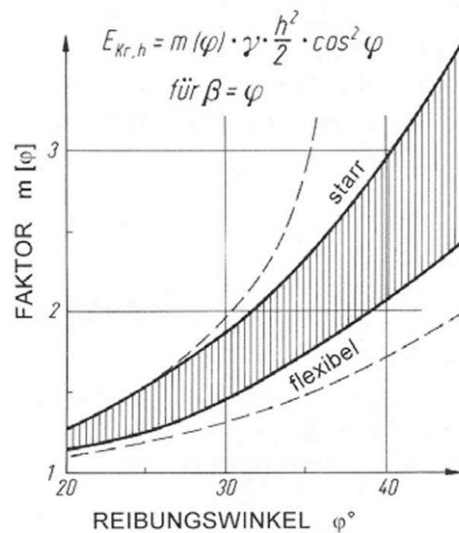


Abb. 27: Vervielfältigungsfaktor  $m(\varphi)$  zur Ermittlung des Kriechdruckes (Brandl, Konstruktive Hangsicherung, 1986)

### 5.1.2.12 Sonstige Arten des Erddruckes

Durch die Trägheit des Bodens, kann die Art der Beanspruchung einen Einfluss auf die Größe der vorherrschenden Erddruckkräfte haben. Durch den **dynamischen Erddruck** kann dabei der Einfluss der Trägheit des Untergrundes und des Bauwerkes auf dynamische Einflüsse, wie etwa Erdbeben oder Verkehrslasten berücksichtigt werden. Bei Bauwerken mit begrenzten Abmessungen, und dem Anschluss an andere Bauwerke oder Bauteile kann es zur Ausbildung eines **räumlichen Erddruckes** kommen. Streng genommen gelten die obigen Aussagen zum Erddruck nur für ein unendlich ausgedehntes Stützbauwerk, bei welchem keine Beeinflussungen durch Nachbarbauteile vorliegen. Durch die Verwendung des räumlichen Erddruckes kann dieser Beeinflussung Rechnung getragen werden. Im Fall des aktiven Erddruckes liegt diese Beeinflussung in Form einer Gewölbewirkung zwischen den Begrenzungen vor. Im Bereich des passiven Erddruckes bilden sich Bruchmuscheln aus. Beide Formen führen zu einer räumlichen Verteilung des Erddruckes.

### 5.1.3 Wasserdrücke auf Stützbauwerke

Sollte (Grund-)Wasser an der Hinterseite eines Stützbauwerkes anstehen, muss unterschieden werden, ob es sich um ruhendes oder um strömendes Wasser handelt. Ruhendes Grundwasser hat einen maßgebenden Einfluss auf den hinter einem Stützbauwerk wirkenden Erddruck. In der Berechnung des Erddruckes wird – beeinflusst durch das Grundwasser – die Wichte des erdfeuchten Bodens durch jene des Bodens unter Auftrieb ersetzt. Zusätzlich zu diesem muss jedoch auch der Wasserdruck des anstehenden Grundwassers angesetzt werden. Im Gegensatz zu ruhendem Grundwasser ändert sich der Wasserdruck bei strömendem Wasser infolge des Potentialabbaus und des Strömungsdruckes. Diese beeinflussen auch die effektiven Spannungen und damit den auf das Stützbauwerk wirkenden Erddruck. Aus dem Strömungsnetz kann der wirkende Wasserdruck entlang des Gleitkeiles wie auch der Einfluss auf den Erddruck ermittelt werden.

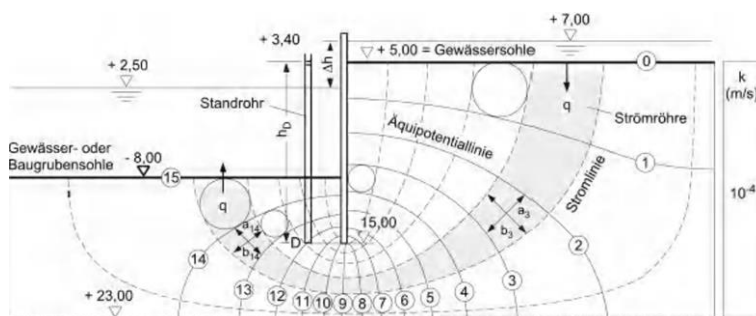


Abb. 28: Strömungsnetz um eine Baugrube (EAU, 2004)

Allgemein kann der Einfluss des Wassers durch sachgemäße und dauerhaft wirksame Drainagierungsmaßnahmen verringert oder gar unterbunden werden. Durch die Ausbildung von Drainage- oder Entwässerungsmaßnahmen ist es möglich, das anfallende Wasser von der Rückseite der Wand abzuleiten bevor sich der Wasserdruck auf die Wand aufbauen kann.

### 5.1.4 Auflasten auf Stützbauwerke

Im Allgemeinen ist bei Auflasten auf Stützbauwerken zu unterscheiden:

- Werden die Auflasten direkt in das Stützbauwerk eingeleitet? oder
- Befinden sich die Auflasten im Einflussbereich des Stützbauwerkes?

Bei Ersterem kann diese Lasteneinleitung als direkte Beanspruchung des Bauteiles gesehen werden. Dies kann zum Beispiel durch die Auflagerung anderer Bauteile auf das Stützbauwerk oder den Anschluss an ein weiteres Bauwerk geschehen.

Bei Zweiterem muss unterschieden werden, an welcher Stelle hinter dem Stützbauwerk sich die Auflast befindet. In unmittelbarer Nähelage kommt es zu Erddrücken infolge Auflast – wodurch sich die Erddruckbeanspruchung auf die Wand erhöht. Ist die Auflast in einer gewissen Entfernung zum Stützbauwerk situiert, so kann es lediglich zu einer indirekten Beeinflussung der Bewegungen hinter der Wand (Massenbewegung, Hangrutschung) kommen, jedoch nicht zu einer direkten Erhöhung durch die Auflast selbst.



Abb. 29: Links – Anschluss einer Galerie an ein Stützbauwerk; Rechts – Gebäude hinter einem Stützbauwerk (Kolymbas, 2011)

## 5.1.5 Sonstige Einwirkungen auf Stützbauwerke

### 5.1.5.1 Schnee- & Eiseinwirkungen

Im Vergleich zu Hochbauten, bei welchen die Schnee- und Eiseinwirkungen an horizontalen Bauteilen meist eine der maßgebenden Bemessungsgrößen darstellen, haben diese bei Stützbauwerken eher eine untergeordnete Rolle.

Jedoch sind mit Schneeeinwirkungen – und der Jahreszeit in der sie auftreten – zwei maßgebliche Faktoren zur Beeinflussung eines Stützbauwerkes verbunden:

- **Frost – und Taumittel im Bereich von Straßen und Verkehrsanlagen**

Um den Verkehr aufrecht zu erhalten, und die Benutzbarkeit der Infrastruktur sicherzustellen, werden (besonders auf Autobahnen, Schnellstraßen und Landesstraßen) Taumittel eingesetzt. Diese weisen bei Kontakt mit Betonbauwerken und deren Bestandteilen eine hohe Reaktivität auf, woraus häufig Schädigungen und Schwächungen resultieren, welche die Tragfähigkeit und Standsicherheit wesentlich beeinflussen können.



Abb. 30: Chloridschädigung an den Widerlagern einer Brücke (Kreuznach)

- **Schmelzwasser**

Zwar verursachen die Schnee- und Eiseinwirkungen im Nahebereich von Stützbauwerken meist nur geringe Auflasten und Drücke, welche im Vergleich zu den anderen Einwirkungen vernachlässigbar klein sind, jedoch beeinflusst das Schmelzwasser in der Tauperiode die Grundwasser- und Strömungsverhältnisse, welche einen Einfluss auf den Entwurf und die Bemessung des Stützbauwerkes haben.

### 5.1.5.2 **Wurzeldruck**

Die Wurzeln von Begrünungen oder Bewuchs in der Nähe von Stützbauwerken können sowohl einen positiven als auch negativen Einfluss auf die Standsicherheit des Stützbauwerkes haben. Einerseits kann durch die Wurzelstruktur das anstehende Erdreich gehalten werden, woraus eine Reduktion der Erddruckbelastung auf das Stützbauwerk entsteht. Andererseits führt der Wurzeldruck zu einer Erhöhung der Druckbelastung entstehend durch das Wachstum der Wurzeln und die damit verbundene Volumenzunahme. Des Weiteren ist ein Druckunterschied zur Gewährleistung des osmotischen Potentials in der Wurzel erforderlich.

### 5.1.5.3 **Unfälle**

Durch (Verkehrs)Unfälle, welche im Bereich von Infrastrukturbauwerken auftreten, können ungeplante Lasten in das Stützbauwerk eingeleitet werden. Diese sind im Allgemeinen sehr schwierig zu quantifizieren. Einerseits sind Unfälle statistisch schwierig zu beschreiben und erfordern oftmals eine dynamische Betrachtung, andererseits ist der Ort ihres Auftretens nicht genau definierbar.

### 5.1.6 **Erdbebeneinwirkungen auf Stützbauwerke**

Erdbebeneinwirkungen auf Stützbauwerke sind in die außergewöhnliche Bemessungssituation BS3 einzuordnen.

Die Erdbebeneinwirkung kann durch den Ansatz des dynamischen Erddruckes berücksichtigt werden. Dabei wird eine Verformung des Bauwerkes vorausgesetzt und die Trägheit des betrachteten Erdkeiles aufgrund der Erdbebenbeschleunigung in Rechnung gestellt. Aus dieser Trägheit und der Beschleunigung ergeben sich zusätzliche Kräfte, welche zu den Ansätzen des Coulomb'schen Erddruckes aufaddiert werden.

## 5.2 Bemessung von Stützbauwerken

Bei der Bemessung von Stützbauwerken sind generell alle „möglichen“ Versagensmechanismen – alle maßgebenden Grenzzustände – zu betrachten. Laut Eurocode 7 (ÖNORM EN 1997-1, 2009) kann bei der Bemessung von Stützbauwerken die Bemessung nach vier Verfahren durchgeführt werden:

- Geotechnische Bemessung aufgrund von Berechnungen: Basierend auf den Grundlagen des Eurocode 0 (ÖNORM EN 1990, 2003) und den durch den Eurocode 7 (ÖNORM EN 1997-1, 2009) definierten Regeln, kann eine Bemessung durch Berechnung geführt werden. Dazu sind die Einwirkungen auf das Bauwerk, die Materialeigenschaften (Boden und Bauwerk), die geometrischen Angaben und die definierten Grenzwerte erforderlich. All diese Parameter können unter Verwendung eines geeigneten Rechenmodells zur Lösung des Problems herangezogen werden. Diese Rechenmodelle können analytische, halbempirische oder numerische Verfahren als Grundlage haben.
- Entwurf und Bemessung aufgrund von anerkannten Tabellenwerten: Bemessungssituationen, welche keinen Nachweis durch ein Rechenmodell zulassen, oder die Berechnung im Allgemeinen nicht zielführend ist (Dauerhaftigkeit, Frosteinwirkung, ...). Hierfür kann auf die Anwendung von anerkannten Tabellenwerten zurückgegriffen werden.
- Probelastungen und Modellversuche: Neben der direkten Berechnung und der Verwendung von Tabellenwerten können auch Ergebnisse von Probelastungen herangezogen werden. Diese können an Prüfkörpern aus dem Bauwerk oder an maßstäblichen Modellen vorgenommen werden.
- Verwendung der Beobachtungsmethode zur Bemessung von Bauwerken.

Mit einem oder einer Kombination dieser Verfahren kann die Bemessung des Stützbauwerkes für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) und den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) durchgeführt werden. Die in diesen beiden Fällen zu untersuchenden Grenzfälle – auch als Versagensmechanismen bezeichnet – sind in Kapitel 6.2 näher dargestellt. Wichtig für den Entwurf und die Bemessung von Stützbauwerken ist, dass „*sich Grenzzustände deutlich ankündigen*“<sup>13</sup>. Dies kann erreicht werden, indem die Duktilität des Bauwerkes soweit erhöht wird, dass es zu auffallend großen Verformungen kommt, bevor ein Versagen des Stützbauwerkes eintritt.

---

<sup>13</sup> (ÖNORM EN 1997-1, 2009)



### 5.3 Normative Änderungen bei Stützbauwerken

Bei der Zustandserfassung – und noch wichtiger – im Zuge einer Zustandsbeurteilung ist die Kenntnis der zum Errichtungszeitpunkt angesetzten Lasten und Bemessungskonzepte unerlässlich. Wie einführend gezeigt wurde, weist Österreich eine lange Baugeschichte im Bezug zu Stützbauwerken auf. Daher soll mit nachfolgendem Kapitel die Grundlage zur Beurteilung dieser Bauwerke auf normativer Basis geliefert werden. Dazu sollen alle relevanten österreichischen – und auszugsweisen europäischen Normen aufgelistet werden, die im Zusammenhang mit den Lastannahmen und der Bemessung von Stützbauwerken stehen.

Bei Stützbauwerken ist eine klare Unterscheidung zwischen den geotechnischen und den konstruktiven Aspekten zu treffen. Geschichtlich gesehen, trifft diese Unterteilung immer schon auf den Entwurf und die Bemessung von Stützbauwerken zu. Daher wird nachfolgendes Kapitel auch in diese beiden maßgeblichen Bereiche unterteilt.

Allgemein lässt sich die Bemessung von Stützbauwerken in mehrere zeitliche Abschnitte einteilen. Zwei große Bereiche sind die Berechnung nach den semiprobabilistischen Konzepten – wie im Eurocode verankert – und die deterministischen Konzepte – als Grundlage für ältere Normen. Daneben besteht auch noch die Möglichkeit zu einer allgemeinen chronologischen Einteilung. Die historischen Bauvorschriften seien nachfolgend nur erwähnt, sind aber nicht Teil dieser Arbeit und werden auch nicht genauer behandelt. Ihre Auflistung wurde aus ONR 24009 (ONR 24009, 2013) entnommen.

- Circulare der k.k. Landesregierung in Erzherzogthume unter der Enns 1829
- Verordnung des k.k. Ministeriums des Inneren vom 23. September 1859 (Bauordnung für die k.k. Reichshaupt- und Residenzstadt Wien)
- Normalien des Österreichischen Ingenieur- und Architektenvereins: Bestimmungen für die Belastung von Baukonstruktionen und Beanspruchungen von Baumaterialien, Wien 1902
- Österreichische Regierungsvorschrift vom 15. November 1907

Weitere Sammlungen zu den chronologischen Veränderungen bei Stützbauwerken sind in den unterschiedlichen Ausgaben der Grundbautaschenbücher und in Statik im Erdbau (Türke, 1999) enthalten.

### 5.3.1 Änderungen der Lastannahmen

Bei den Lastannahmen werden hier nur jene, die den Bereich der geotechnischen Bauwerke betreffen betrachtet. Lasten aus dem Hochbau oder den werkstoffbedingten Einflüssen (Kriechen, Schwinden, Temperatur, ...) werden nicht näher betrachtet.

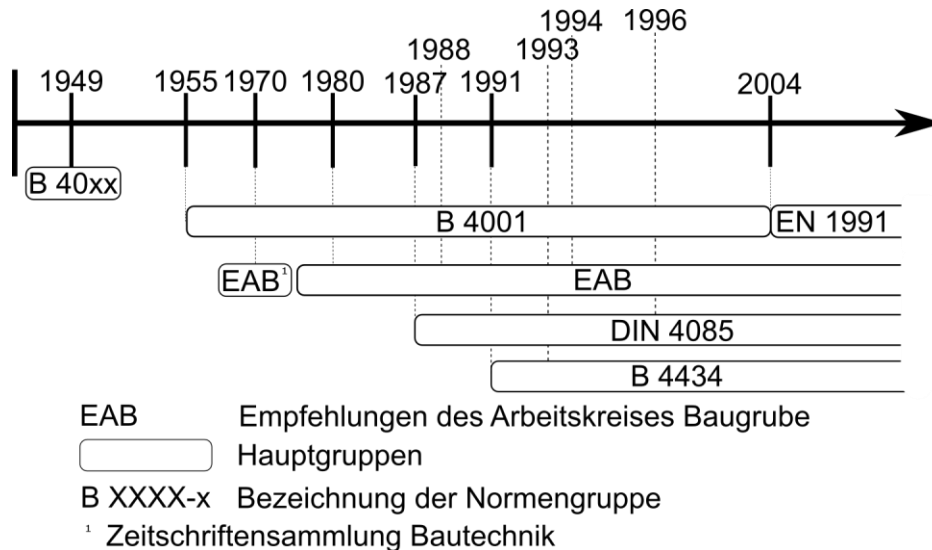


Abb. 31: Chronologischer Abriss der verwendeten Normen für Lasten und Lastannahmen in Bezug auf Stützbauwerke

In Abb. 31 wird ersichtlich, dass für die Lastannahmen bei Stützbauwerken im Vergleich zu anderen Normen erst seit der Mitte des 20. Jahrhunderts Regelungen vorhanden sind. Die Grundlagen für diese – und alle folgenden aktuell gültigen Regelungen wurden durch die Arbeiten von Coulomb und Rankine geliefert. Die Ergebnisse dieser Arbeiten wurden, um eine einfachere Verwendung zu ermöglichen, durch verschiedene Autoren in sogenannten Erddrucktafeln festgehalten. Beispiele hierfür sind in „Theoretische Bodenmechanik“ (Syffert, 1929) und „Soil Mechanics“ (Caquot & Kerisel, 1949) zu finden.

Beginnend mit der Normenreihe ÖNORM B 40xx im Jahre 1949 wurden die Grundlagen für die Berechnung von Tragwerken – und damit auch die Lastannahmen gegeben. In diesen wurde in der ÖNORM B 4001 – Belastungsannahmen für Bauwerke die allgemeine Grundlage für die Lastannahmen definiert. In den 70er Jahren wurde im Zuge der Empfehlungen des Arbeitskreises Baugrube eine detaillierte Beschreibung der Erddrücke auf Bauwerke vorgenommen. Die erste Auflage dieser Schriftenreihe erschien im Jahre 1970 in der Zeitschrift Bautechnik und wurde in den Jahren 1980, 1988, 1994, 2006 und 2012 als Gesamtausgabe veröffentlicht. Gleichzeitig mit der Veröffentlichung dieser Schriften erschienen auch in Deutschland und Österreich die ersten Normen mit Bezug auf Grundbau und die

Erddruckberechnung. Mit Erscheinen der Eurocodes wurden in Eurocode 0 Angaben zu den Bauwerkslasten geliefert. Die gerade in Arbeit befindliche ÖNORM B 1997-1-4 – Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Erddruckermittlung wird die zurzeit noch gültigen Erddrucknormen in Zukunft ablösen.

### 5.3.2 Änderungen der geotechnischen Bemessung

Unter der geotechnischen Bemessung werden in dieser Arbeit jene Bereiche der Geotechnik verstanden, bei denen der Nachweis von geotechnischen Versagensmechanismen durchgeführt wird. Die Bemessung von speziellen geotechnischen Bauteilen – wie Gabionen oder Steinschichtungen – wird in Kapitel 5.3.3.2 unter den geotechnischen Werkstoffen näher behandelt.

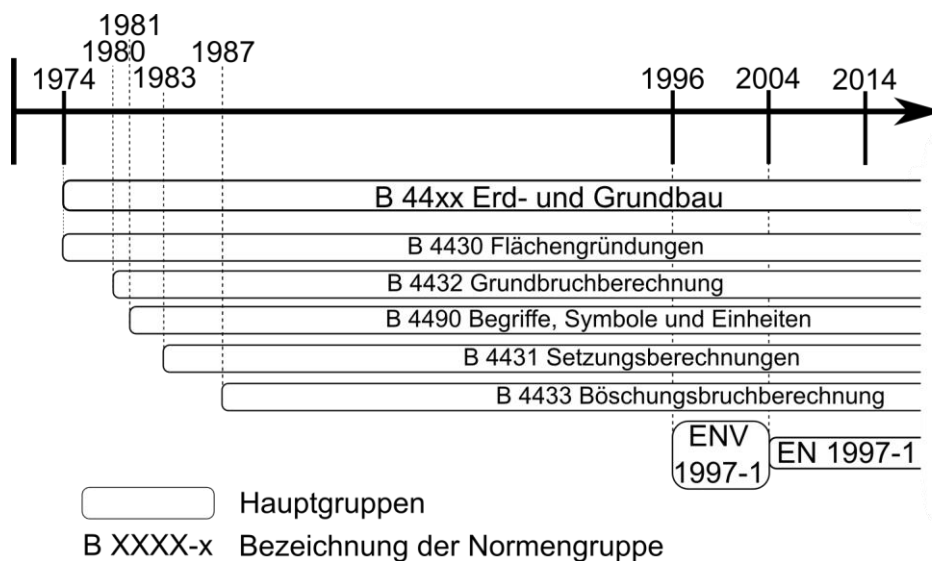


Abb. 32: Chronologischer Abriss der verwendeten Normen für die geotechnische Bemessung in Bezug auf Stützbauwerke

Die Normung im Bereich der geotechnischen Bemessung wurde in Österreich erst Anfang der 70er Jahre des 20. Jahrhunderts eingeführt. Davor wurden häufig die deutschen Normen und Richtlinien verwendet oder Empfehlungen aus der Fachliteratur herangezogen.

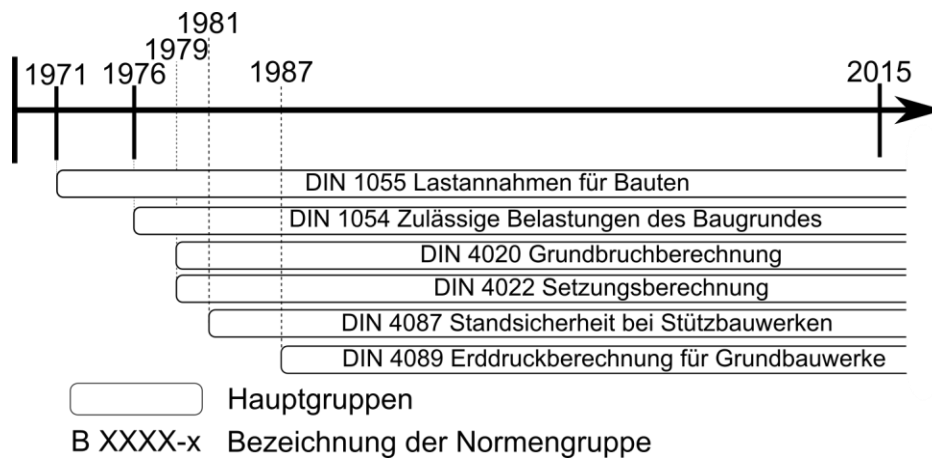


Abb. 33: Chronologischer Abriss der deutschen Normen für die Belastung und Berechnung in der Geotechnik

Tabelle 5: Auflistung des „klassischen Schrifttums“ im Zusammenhang mit Geotechnik (Türke, 1999)

Jahr	Autor	Bezeichnung
1857	Rankine W.	Von der Stabilität der Lockerböden
1888	Kötter F.	Über das Problem der Erddruckbestimmung
1906	Müller – Breslau H.	Erddruck auf Stützmauern
1925	Terzaghi K.	Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage
1926	Fellenius W.	Erdstatische Berechnung mit Reibung und Kohäsion unter Annahme kreiszylindrischer Gleitflächen
1932	Krey H.	Erddruck, Erddruckwiderstand und Tragfähigkeit des Baugrundes
1955	Streck A.	Erddruck und Erdwiderstand
1962	Kezdi A.	Erddrucktheorien
1971	Bendel H. & Hugi H.R.	Stützmauern
1971	Bobe R. & Göbel C.	Grundbaustatik
1973	Jenne G.	Erddruck (Betonkalender 1973)
1974	Goldscheider M. & Gudehus G.	Verbesserte Standsicherheitsnachweise
1977	Agatz A. & Lackner E.	Erfahrungen mit Grundbauwerken
1980	Gudehus G.	Erddruckermittlung
1987	Brandl H.	Konstruktive Hangsicherungen
1987	Smolczyk U.	Stützmauern (GBT 1987)

### 5.3.3 Änderungen der konstruktiven Bemessung

Im Bereich der konstruktiven Bemessung gilt es hier einerseits, die Bemessung von Betonbauteilen und andererseits die Bemessung von geotechnischen Werkstoffen zu definieren.

#### 5.3.3.1 Bemessung von Betonbauteilen

Mit der nachfolgenden Abbildung soll ein chronologischer Abriss über die verwendeten Betonbaunormen dargestellt werden.

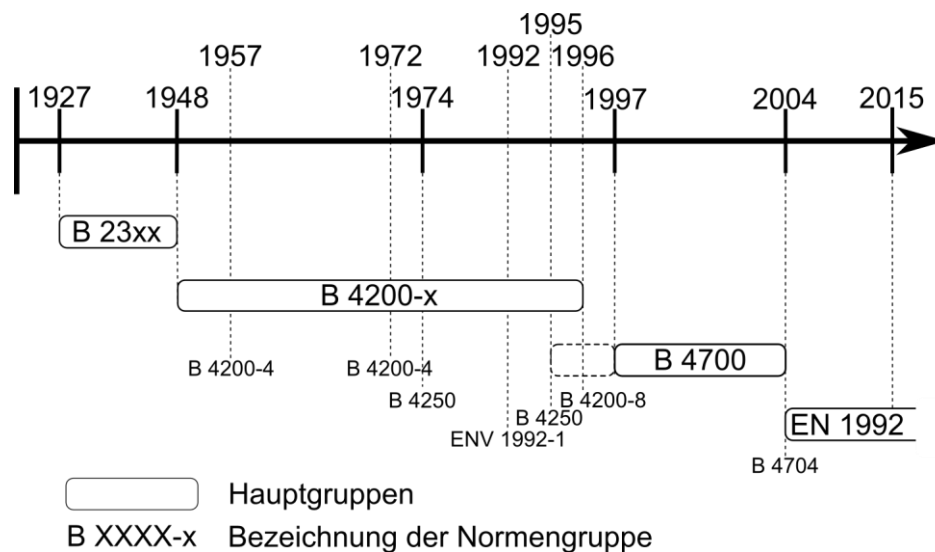


Abb. 34: Chronologischer Abriss über die verwendeten Betonbaunormen in Bezug auf Stützbauwerke

In der Zwischenkriegszeit und dem Zeitraum bis zum Ende des Zweiten Weltkrieges wurden Normen aus der Reihe der Beton- und Eisenbetonbaunormenreihe verwendet. Diese lieferten nur mangelnde Grundlagen in Bezug auf eine detaillierte Berechnung von Betonbauteilen, wurden jedoch durch Erfahrungen und bekannte Details ergänzt. In der Nachkriegszeit bis in die Mitte der 1990er Jahre wurden die Normen der Reihe ÖNORM B 42xx verwendet, welche das deterministische Sicherheitskonzept als Grundlage hatten und schon von einer Bemessung einzelner, maßgebender Bauteile ausgingen.

Auf die Normenreihe der ÖNORM B 42xx aufbauend wurden die Normen der Reihe ÖNORM B 47xx im Jahre 1995 eingeführt. Diese hatten bereits das semiprobabilistische Sicherheitskonzept implementiert und basierten teilweise auf der 1992 erschienenen Vornorm ENV 1992-1-1. 2004 wurde in Österreich, sowie in den meisten anderen europäischen Ländern der Eurocode als Grundlage für den Entwurf und die Bemessung von Betonbauteilen eingeführt.

### 5.3.3.2 Bemessung von geotechnischen Werkstoffen

Unter geotechnischen Werkstoffen werden in dieser Arbeit Materialien verstanden, welche neben Beton zur Herstellung von Stützbauwerken verwendet werden. Dazu gehören:

- Raumgitterkonstruktionen: Jene Bauteile und Werkstoffe, die zur Errichtung von Raumgitterkonstruktionen herangezogen werden. Hierzu zählen die unterschiedlichsten (meist herstellerabhängige) Formen von stabförmigen Bauteilen und verschiedenste Baukastensysteme. Bei den Materialien werden Holz – als klassisches Material – und Beton – sowohl Stahlbeton als auch Spannbeton – als gebräuchliches Material angesehen.
- Geokunststoffe: Kunststoffmaterialien, die zur Verbesserung der Bodeneigenschaften verwendet werden. Hierbei vor allem im Zusammenhang mit Bewehrte Erde Konstruktionen oder zur Verwendung als Filtermaterial bei Drainage oder Entwässerungsmaßnahmen.
- Gabionen: Eigenschaften der Drahtkörbe und der Drahtmaterialien die zur Herstellung von Gabionenkonstruktionen verwendet werden.
- Steinmaterialien: Steine (natürlich oder gebrochen) die zur Herstellung von Gewichtsmauern oder Verkleidungen verwendet werden.

Um die Verwendung der zeitlichen Abrisse zu vereinfachen, werden für die oben angeführten Arten von Stützbauwerken neben den verwendeten Materialien auch die geotechnischen Grundlagen der Planung und Ausführung dargestellt. Diese sollen als Ergänzung zu den in Kapitel 5.3.2 angeführten technischen Regelwerken gelten.

- **Raumgitterkonstruktionen:**

Tabelle 6: Schriften und technische Richtlinien zu Raumgitterkonstruktionen

Jahr	Autor	Bezeichnung
1980	Brandl H.	BMBTS Heft 141 - Tragverhalten und Dimensionierung von Raumgitterkonstruktionen
1982	Brandl H.	BMBTS Heft 208 – Raumgitter-Stützmauern (Krainierwände), Großversuche, Baustellenmessungen, Anwendungsbeispiele, Berechnung, Konstruktion, Bauausführung
1986	Brandl H. & Dalmatiner J.	BMBTS Heft 280 – Stützmauersystem „NEW“ und andere Konstruktionen nach dem Boden-Anker-Verbundprinzip
2006	FGSV	MB Raumgitterkonstruktionen – Merkblatt für Raumgitterkonstruktionen

- **Geokunststoffe (Bewehrte Erde):**

Tabelle 7: Technische Richtlinien und Normen zu Geokunststoffen und Bewehrte Erde Konstruktionen

Jahr	Autor	Bezeichnung
1992 2015	ÖNORM EN ISO 10318	Geokunststoffe – Begriffe
1997 2010	EBGEO	Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen
1998 2005 2015	ÖNORM EN 13251	Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Geforderte Eigenschaften für die Anwendung im Erd- und Grundbau sowie in Stützbauwerken
1999 2005	ÖNORM EN 13738	Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Bestimmung des Herausziehwiderstandes aus dem Boden
2002 2007	ÖNORM EN 14475	Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Bewehrte Schüttkörper

- **Gabionen:**

Tabelle 8: Normen zu Gabionen

Jahr	Autor	Bezeichnung
1993 2014	ÖNORM EN 10223-3	Stahldraht und Drahterzeugnisse für Zäune und Drahtgeflechte
2009 2014	ÖNORM EN 10223-8	Stahldraht und Drahterzeugnisse für Zäune und Drahtgeflechte
2013	ÖNORM L 1129	Anforderungen an Gabionen für Gartengestaltung und Landschaftsbau

• **Steinmaterialien:**

Tabelle 9: Normen zu Steinmaterialien

Jahr	Autor	Bezeichnung
1952 1981	ÖNORM B 3124	Prüfung von Naturstein; mechanische Gesteinseigenschaften; einaxiale Zylinderdruckfestigkeit
1952 1981	ÖNORM B 3120	Natürliche Gesteine; Probenahme; allgemeine Grundlagen und gesteinskundliche Beschreibung
1995 1999 2009	ÖNORM EN 1926	Prüfverfahren für Natursteine – Bestimmung der einachsigen Druckfestigkeit
1999 2002 2004 2009 2014	ÖNORM EN 13383	Wasserbausteine – Teil 1: Anforderungen und Teil 2: Prüfverfahren

5.3.4 **Sonstige verwendete Materialien und Baustoffe:**

Bei den sonstigen verwendeten Materialien und Baustoffen handelt es sich vor allem um Bauteile, wie unterirdische Einbauten oder die Drainage- und Entwässerungseinrichtungen von Stützbauwerken.

Tabelle 10: Normen für sonstige Materialien und Baustoffe im Zusammenhang mit Stützbauwerken

Jahr	Autor	Bezeichnung
1970 1988 2004	ÖNORM B 2533	Koordinierung unterirdischer Einbauten - Planungsrichtlinien
1990	DIN 4095	Baugrund; Dränung zum Schutz baulicher Anlagen; Planung; Bemessung und Ausführung
1992 1996 2008	ÖNORM EN 752	Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden
1994 2006	ÖNORM EN 1433	Entwässerungsrinnen für Verkehrsflächen – Klassifizierung, Bau- und Prüfungsgrundsätze, Kennzeichnung und Beurteilung der Konformität
1999 2011	ÖNORM EN 13508	Zustandserfassung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden



## 6 Versagensszenarien & mögliche Schadensbilder

Durch die (skizzenhafte) Verbildlichung der maßgebenden Versagensszenarien für ein geplantes Bauwerk ist es möglich, die maßgebenden Beanspruchungsfälle zu definieren und darauf aufbauend den Entwurf und die Bemessung durchzuführen. Dies gilt nicht nur für geotechnische Bauwerke sondern auch für alle Typen von Ingenieur- und Hochbauten.

Ein Versagensszenario wird dabei durch das Auftreten eines bestimmten Grenzzustandes definiert. Dieser Grenzzustand stellt die Ober- oder Untergrenze eines bestimmten und vorab definierten Zustandes dar, ab dessen Über- bzw. Unterschreiten von einem unzulässigen Verhalten des Bauwerkes ausgegangen wird. Dieses Verhalten kann sowohl im Bereich der Tragfähigkeit, als auch der Gebrauchstauglichkeit liegen. Im Bereich von geotechnischen Bauwerken wird in diesem Zusammenhang oftmals von „äußerer“ und „innerer“ Standsicherheit gesprochen. Diese Unterteilung wird nur im Bereich der geotechnischen Strukturen verwendet, da der Boden hier ebenso als Baustoff zu betrachten ist, wie alle anderen Baumaterialien, die zur Herstellung verwendet werden. Aus dieser „Unterteilung“ ergeben sich zwei maßgebende, zu betrachtende Gruppen bei der Untersuchung von Stützbauwerken:

- **der gesamte Baukörper (äußere Versagensmechanismen):** Es sind alle eintretenden Versagensmechanismen im Zusammenhang mit dem Bauwerk und der Umgebung zu betrachten. Ein Überschreiten der Bauteiltragfähigkeit liegt nicht vor.
- **einzelne Bauteile (innere Versagensmechanismen):** Die Versagensmechanismen beziehen sich auf Bauteile des Bauwerkes.

Im Zuge der Bemessung eines Bauwerkes werden diese Versagensszenarien als Grenzzustände<sup>14</sup> bezeichnet. Hierfür gibt es vordefinierte Grenzzustände, welche im Zuge des Entwurfs und der Planung eines Stützbauwerkes zu untersuchen sind - diese sind in Kapitel 6.2 näher dargestellt. Neben diesen vordefinierten Zuständen sind jedoch gerade bei Stützbauwerken oft Kombinationen aus mehreren Versagensmechanismen möglich. Um alle maßgebenden Versagensmechanismen – und daraus folgend, die zu untersuchenden Grenzzustände eines Stützbauwerkes – herauszufinden, wird hierzu in Kapitel 6.4 eine Hilfestellung erarbeitet.

---

<sup>14</sup> „Zustände bei deren Überschreitung das Tragwerk die Entwurfskriterien nicht mehr erfüllt.“ (ÖNORM EN 1990, 2003) Absatz 1.5.2.12

## 6.1 Zuverlässigkeitsniveau

Für Neubauten wird im Zuge der Berechnung nach dem aktuellen Normenstand das Erreichen eines gewissen Zuverlässigkeitsniveaus gefordert. Dieses Niveau bezieht sich im Allgemeinen auf die beiden Bereiche Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit. Unabhängig vom Zeitpunkt der Errichtung gilt diese Forderung auch für Bauwerke im Bestand. Diesen wurden zwar zum Zeitpunkt ihres Entwurfs und ihrer Errichtung andere normative Grundlagen zugeordnet, jedoch sind die Forderung nach der Zuverlässigkeit oder Robustheit eines Bauwerkes allgemein gültig.

Die Zuverlässigkeit von Bauwerken im Bereich des Neubaus ist in Eurocode 0 (ÖNORM EN 1990, 2003) geregelt. In dieser Norm werden vor allem die Grundlagen des Entwurfs und der Planung von Neubauten gegeben. Dabei sind die grundlegenden Anforderungen definiert durch:

- die Wahl geeigneter Baustoffe,
- durch zweckmäßigen Entwurf und Bemessung und geeignete bauliche Durchbildung, sowie
- durch die Festlegung von Überwachungsverfahren für den Entwurf, die Herstellung, Ausführung und Nutzung entsprechend den Besonderheiten des Projektes.

Bei Arbeiten an bestehenden Bauten bzw. generell bei Bauwerken im Bestand können diese Grundsätze jedoch nicht immer umgesetzt werden.

Die Veränderung des Zuverlässigkeitsniveaus bei Bauwerken kann oft auch mit der Abnahme der Nutzungsqualität über die Nutzungsdauer (siehe Kapitel 4) verglichen werden. Beide weisen eine zeitliche Progression auf. Die (zeitlichen) Änderungen von Bauwerken im Bestand sind oftmals schwierig abzuschätzen und der Umgang mit diesen ist nicht immer ganz einfach. Jedoch stellen sie eine wichtige Grundlage für viele Entscheidungen des Managements im Zusammenhang mit der Instandhaltung von Stützbauwerken dar.

Weitere Informationen bezüglich des Themas „Sicherheitsniveau“ und die Grundlagen zur Statistik und Wahrscheinlichkeit im Bauwesen sind in „Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen“ (Schneider J., 2007) zu finden.

## 6.2 Versagensszenarien gemäß Eurocode

Wie bereits beschrieben, werden Versagensmechanismen im Zuge der Bemessung als Grenzzustände bezeichnet. Für Stützbauwerke sind diese im Eurocode 7 (ÖNORM EN 1997-1, 2009) unter Kapitel 9.7 und 9.8 zusammengefasst.

Im Kapitel 9.7 des Eurocode 7 werden die Grenzzustände der Tragfähigkeit definiert, in Kapitel 9.8 jene der Gebrauchstauglichkeit.

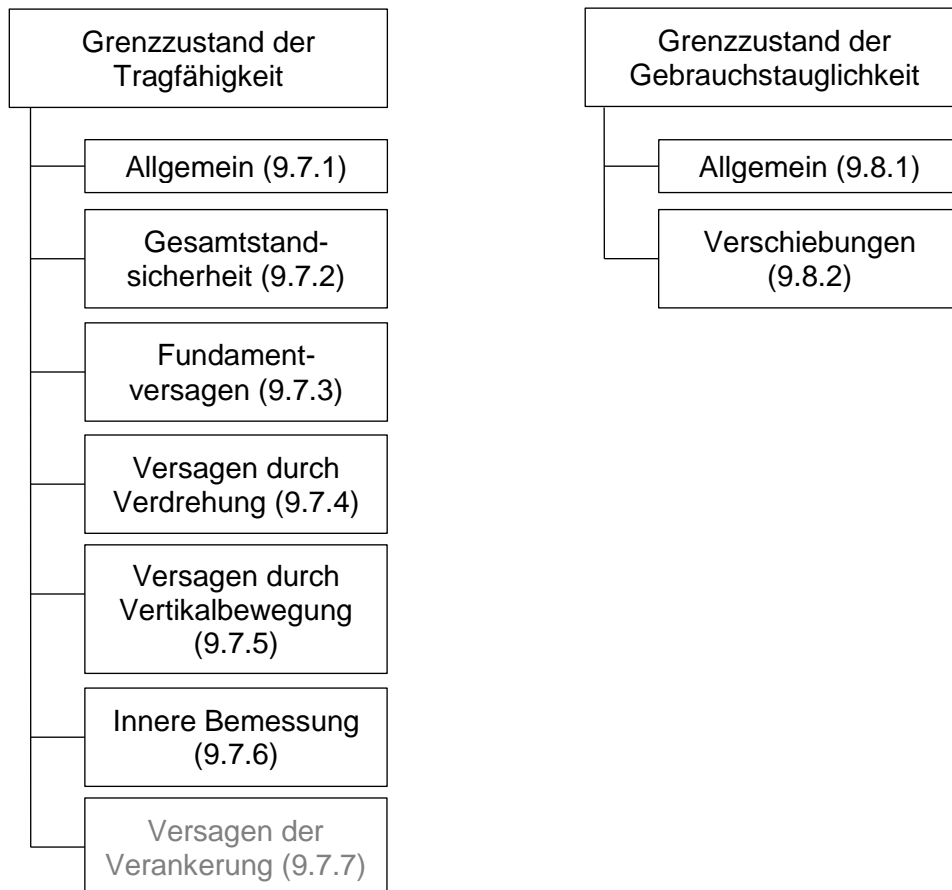


Abb. 35: Gliederung der Versagensszenarien für Stützbauwerke

Durch diese Abgrenzung und den daraus folgenden Beschreibungen und Eingrenzungen der Grenzzustände soll eine Grundlage für die Bemessung geliefert werden. Bestimmt durch die Einzigartigkeit jedes Bauwerkes und den jeweils unterschiedlichen Randbedingungen wird mit der Definition der Grenzzustände nur ein Teil der möglichen Grenzzustände widerspiegelt. Die restlichen (möglicherweise) maßgebenden Grenzzustände sind durch den planenden Ingenieur zu finden, und deren Auftreten durch geeignete Maßnahmen und entsprechende Nachweise zu verhindern bzw. zu widerlegen.

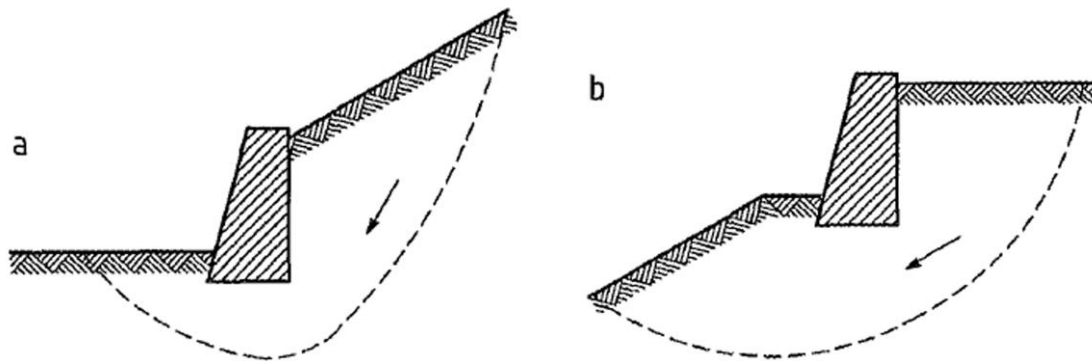
### 6.2.1 Äußere Versagensmechanismen (Tragfähigkeit)

Die nachfolgend dargestellten möglichen Versagensmechanismen stellen die durch den Eurocode 7 für Stützbauwerke mindestens zu untersuchenden Grenzzustände dar.

- **Gesamtstandsicherheit:**

Bei der Gesamtsicherheit ist der gesamte geotechnische Baukörper – also der sich aus Boden und baulicher Struktur ergebende Körper – zu betrachten. Aus dieser Betrachtung heraus sollen sich Grenzzustände im Zusammenhang mit dem Verlust der Gesamtstandsicherheit, übermäßigen Bodenbewegungen (Setzungen, Hebungen,...) und Einbußen der Gebrauchstauglichkeit benachbarter Bauten ergeben.

Im Eurocode 7 werden hierzu die beiden nachfolgenden Abbildungen als Mindestinhalt dieses Grenzzustandes definiert.



a) Geländebruch

b) Böschungsbruch

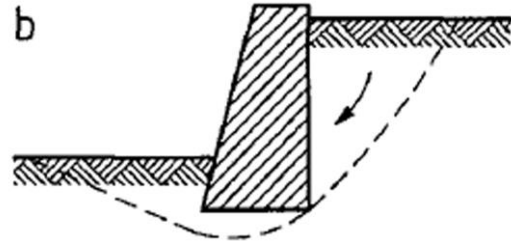
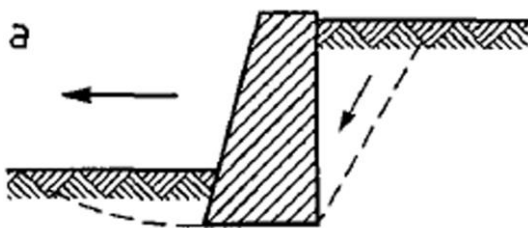
Abb. 36: Grenzzustände der Tragfähigkeit – Gesamtstandsicherheit  
(ÖNORM EN 1997-1, 2009)

Die beiden in Abb. 36 dargestellten Grenzzustände beschreiben einen Gelände- bzw. Böschungsbruch. Wobei es sich hier rein mechanisch um das gleiche Verhalten handelt. Bei dieser Form des Versagens wird der Scherwiderstand entlang einer maßgebenden Gleitfuge überschritten, wodurch es zum Eintreten einer Massenbewegung kommt. Diese Massenbewegung kann dabei einerseits durch eine Deformation dieses Erdkörpers eintreten, andererseits kann auch der gesamte Erdkörper (und das darin befindliche Stützbauwerk) als ein starrer Körper abrutschen.

Zum Nachweis der Gesamtstandsicherheit von Stützbauwerken ist es erforderlich, eine Vielzahl von Gleitflächen (und dazugehörigen Gleitfiguren) zu untersuchen, um die maßgebende Versagensform zu identifizieren.

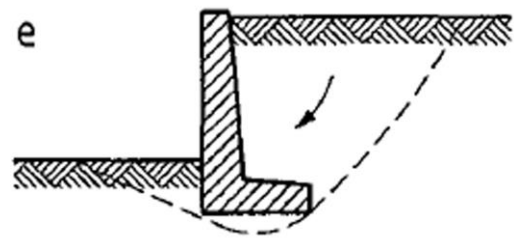
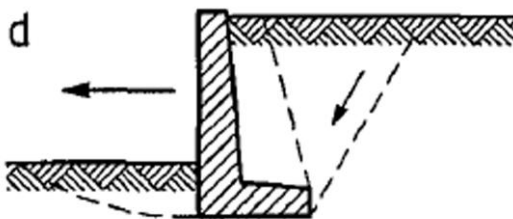
- **Fundamentversagen bei Gewichtsstützwänden:**

Ebenso wie bei Flächengründungen müssen nach Eurocode 7 für Stützbauwerke die möglichen Versagensformen des Grundbruches und des Gleitens untersucht werden. Dabei bilden sich bruchmechanische Formen, ähnlich jener der Gesamtstandsicherheit aus, jedoch ist der geometrische Verlauf dieser Gleitflächen durch das tangieren oder anschneiden der Fundamentunterkante (oder Aufstandsfläche) des Stützbauwerkes definiert.



a) Gleitversagen einer Gewichtsmauer

b) Grundbruch einer Gewichtsmauer



c) Gleitversagen einer Winkelstützmauer

d) Grundbruch einer Winkelstützmauer

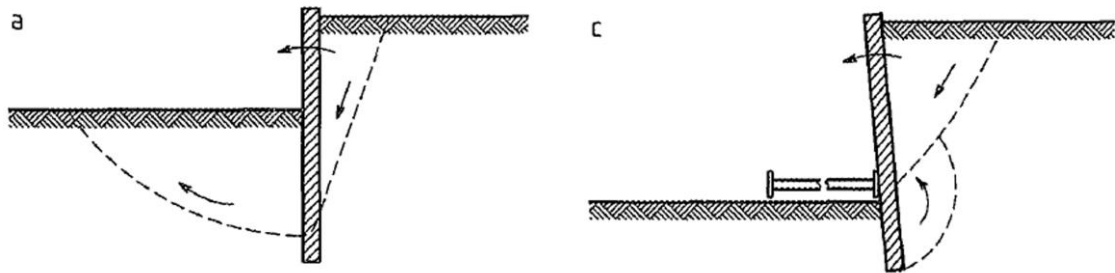
Abb. 37: Grenzzustände der Tragfähigkeit – Fundamentversagen bei Gewichtsstützwände (ÖNORM EN 1997-1, 2009)

Wie aus den obigen Abbildungen ersichtlich wird, sind hierbei zwei Versagensmechanismen maßgebend:

- Gleitversagen: Durch ungünstige Lage der Unterkante des Fundamentes, geringer Scherwiderstände in der Fundamentsohle und/oder einem zu gering aktivierbaren passiven Erdwiderlager kommt es zu einer translatorischen Bewegung der gesamten Struktur.
- Grundbruch: Es liegt ein Überschreiten des Scherwiderstandes des Bodens unmittelbar unter der Sohle des Gründungskörpers vor.

- **Versagen bodengestützter Wände durch Drehung:**

Diese Art des Versagens kann im Allgemeinen nur bei tiefgegründeten Stützbauwerken (Stützwänden) auftreten. Liegt kein Gleichgewicht zwischen den treibenden Kräften hinter der Stützkonstruktion und den rückhaltenden Kräften im Bereich der „Fußeinspannung“ vor, kommt es zu einer Verdrehung / Verkippung der Stützkonstruktion.



a) Drehung eines tiefgegründeten Stützbauwerkes

b) Drehung eines im Fußbereich gestützten, tiefgegründeten Stützbauwerkes

Abb. 38: Grenzzustände der Tragfähigkeit – Versagen bodengestützter Wände durch Drehung (ÖNORM EN 1997-1, 2009)

Diese Art des Versagens ist sowohl von der Einbindetiefe des Bauwerkes, den Bodeneigenschaften der vorliegenden „Einspannung“ im Untergrund, als auch von der Steifigkeit des Stützbauwerkes selbst abhängig.

- **Versagen bodengestützter Wände durch Vertikalbewegung:**

Bei verankerten oder sehr massiven, tiefgegründeten Stützbauwerken kann der Fall eintreten, dass die auftretenden Vertikalkräfte (aus Ankern oder Eigengewicht) die Scherwiderstände des Bodens in Höhe der Gründungssohle überschreiten und es dadurch zu einem „Setzen“ des Stützbauwerkes kommt.

Weiters werden im Eurocode 7 unter Punkt 9.7.7 noch zusätzliche Versagensszenarien für verankerte und ausgesteifte Konstruktionen behandelt. Aufgrund der Beschränkung dieser Arbeit auf unverankerte Stützbauwerke werden diese jedoch nicht näher erläutert.

### 6.2.2 Innere Versagensmechanismen (Tragfähigkeit)

Die innere Standsicherheit eines Stützbauwerkes ist gemäß Eurocode 7 (ÖNORM EN 1997-1, 2009) für alle konstruktiven Bauteile nachzuweisen. Da ein Stützbauwerk oftmals aus einer Fülle an unterschiedlichen Bauteilen, Stücken und Elementen besteht, kommen hier meist mehrere unterschiedliche Normenwerke zur Anwendung. Diese sind – mit Ausnahme der geotechnischen Baustoffe – alle in den Eurocodes der Reihen 2, 3, 5 und 6 inkludiert.

Tabelle 11: Eurocodes zur Bemessung der inneren Tragfähigkeit von Stützbauwerken

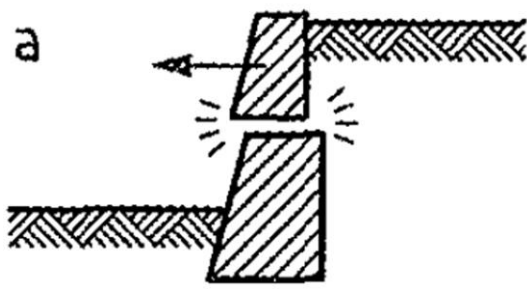
EC	Bezeichnung	
2	EN 1992	Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken
3	EN 1993	Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten
5	EN 1995	Bemessung und Konstruktion von Holzbauten
6	EN 1996	Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten

Ergänzend zu diesen Regelungen dienen als Grundlage auch noch andere Normenwerke und Richtlinien bei der Bemessung von Stützbauwerken. Als weitere Randbedingungen für den Entwurf und die Bemessung sind einerseits Regeldetails zu berücksichtigen, andererseits auch Richtlinien, wie zum Beispiel die RVS oder Empfehlungen des Arbeitskreises Baugrube oder Empfehlungen der Arbeitsgruppe Pfahl.

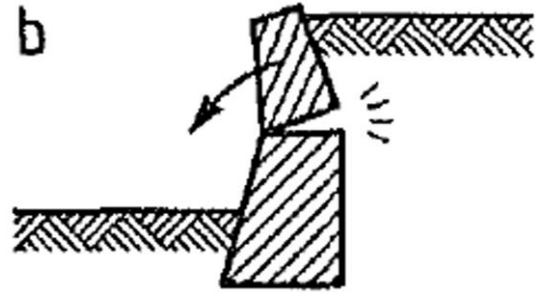
Beim Eintreten eines inneren Versagenszustandes bei Stützbauwerken werden die inneren Widerstände eines Bauteils oder ganzer Bauteilgruppen überschritten. Einerseits können diese Versagensmechanismen zu einem Kollaps, also der totalen Zerstörung gewisser Bauteile – führen, andererseits können in weniger dramatischen Fällen auch nur Einschränkungen im Bereich der Gebrauchstauglichkeit auftreten.

Bei Bauwerken im Bestand sind oftmals die Einschränkungen der Gebrauchstauglichkeit limitierende Faktoren, da in diesem Teilbereich des konstruktiven Ingenieurwesens die größten normativen Änderungen eingetreten sind.

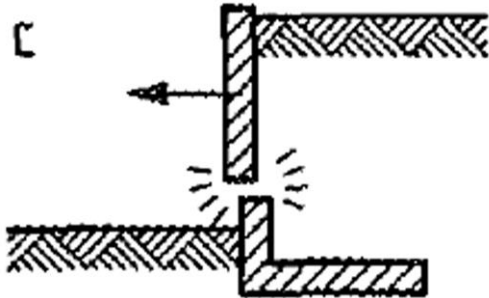
Nachfolgende Abbildungen sollen einige, der im Eurocode 7, als Grundlagen für die inneren Versagensmechanismen gelieferten Grenzzustände darstellen.



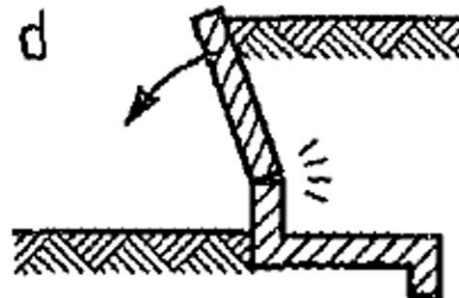
a) Bruch einer Gewichtsmauer



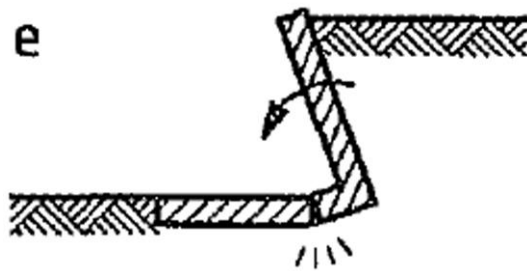
b) Biegebruch einer Gewichtsmauer



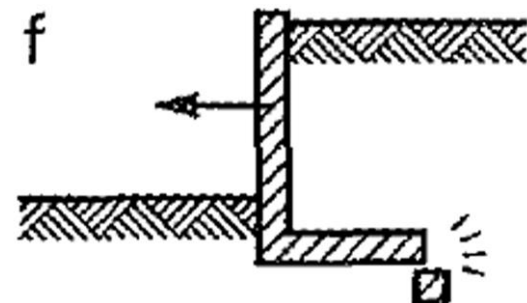
c) Bruch einer Winkelstützmauer



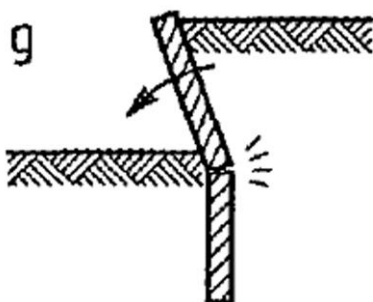
d) Biegebruch einer Winkelstützmauer



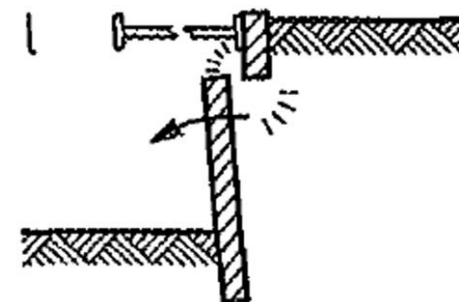
e) Vorderseitiger Schenkelbruch einer Winkelstützmauer



f) Hinterseitiger Schenkelbruch einer Winkelstützmauer



g) Biegebruch eines tiefgegründeten Stützbauwerkes



h) Elementbruch eines tiefgegründeten Stützbauwerkes

Abb. 39: Grenzzustände der Tragfähigkeit – innere Versagensmechanismen (ÖNORM EN 1997-1, 2009)

Aufgrund der Anzahl der in Abb. 39 abgebildeten Versagensmechanismen lässt sich erkennen, dass der Verlust der inneren Tragfähigkeit durch eine mannigfaltige Anzahl von „denkbaren“ bzw. möglichen Grenzzuständen gekennzeichnet sein kann.



### 6.2.3 Versagensmechanismen im Zusammenhang mit der Gebrauchstauglichkeit

Für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit werden im Eurocode 7 im Gegensatz zum Grenzzustand der Tragfähigkeit keine definierten Aussagen zu den möglichen Versagensmechanismen – und deren Grenzen – geliefert.

Es sind lediglich – ähnlich den anderen europäischen Bemessungsvorschriften – Grenzwerte für Verformungen und Verschiebungen einzuhalten. Einerseits sind diese Grenzwerte durch die Einschränkung der Nutzbarkeit des Bauwerkes zu definieren, andererseits werden durch die Art und die Größe der Verformung und Verschiebung eines Bauwerkes oftmals unterschiedliche Erddruckansätze abgeleitet.

Es wird jedoch definiert, dass in folgenden Fällen genauere Untersuchungen zur Verschiebung vorzunehmen sind: <sup>15</sup>

- wenn benachbarte Gebäude und Einbauten verschiebungsempfindlich sind,
- wenn keine vergleichbaren Erfahrungen vorliegen,
- wenn die Wand einen über 6 m hohen anstehenden bindigen Boden von niedriger Plastizität oder;
- wenn die Wand einen über 3 m hoch anstehenden Boden von hoher Plastizität stützt, und
- wenn die Wand in weichen Ton einbindet oder dieser unter dem Wandfuß ansteht.

Neben dieser Auflistung und den generellen Untersuchungen in Bezug auf Verschiebungen und Verformungen sind bei Stützbauwerken zusätzlich die konstruktiven Nachweise für den verwendeten Baustoff des Stützbauwerkes zu erwähnen.

Diese sind in den normativen Grundlagen zur Bemessung der inneren Tragfähigkeit enthalten und sollen die Widerstandsfähigkeit und Dauerhaftigkeit über die gesamte Nutzungsdauer des Bauwerkes gewährleisten. Aus dieser Vielzahl an Nachweisen seien hier nur die Rissbreitenbeschränkung des Betons und die Fließkontrolle des Baustahls erwähnt.

---

<sup>15</sup> (ÖNORM EN 1997-1, 2009) Absatz 9.8.2 (5)P & (6)P

### 6.3 Bauwerksspezifische Versagensszenarien

Durch die in Kapitel 6.2 definierten Versagensmechanismen (Fachliteratur und Normung) sind jedoch nicht alle möglichen Versagensszenarien und die diesen zugrunde liegenden Versagensmechanismen abgedeckt. Im Anlassfall (im Zuge einer Zustandserfassung oder nach einem Schadensfall) sind oftmals aufbauend auf den Versagensmechanismen der Eurocodes andere, bauwerksspezifische Versagensmechanismen zu untersuchen.

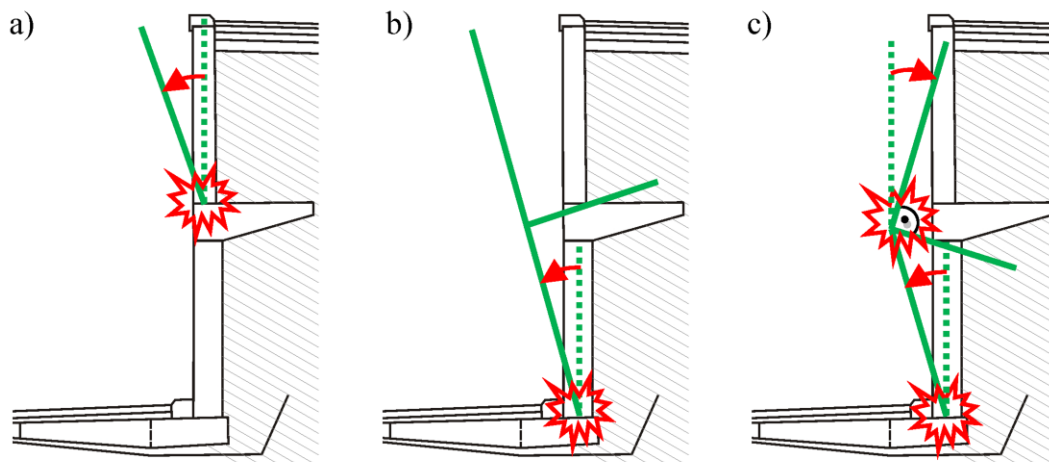


Abb. 40: Mögliche bauwerksspezifische Versagensszenarien für eine Winkelstützmauer mit hinterseitigem Sporn (Marte, Kienreich, Scharinger, & Stadler, 2014)

Die drei in Abb. 40 dargestellten Fälle, stellen die für dieses Bauwerk spezifischen Versagensszenarien dar, welche im Zuge einer Zustandserfassung und Beurteilung untersucht und bewertet wurden. Laut den für dieses Stützbauwerk durchgeführten Untersuchungen und Berechnungen stellt der Versagensmechanismus b) – das Versagen der aufgehenden Wand im Anschluss zur Bodenplatte – das wahrscheinlichste Versagensbild dar. Als zweiter, zu untersuchender Versagensfall wurde ein Versagen der Fuge im Bereich des Spornanschlusses (Abb. 40 a) identifiziert. Das letzte identifizierte, bauwerksspezifische Versagensbild ergibt sich im unteren Anschlussbereich des Sporns. Durch einen Biegebruch an der Fuge unmittelbar unterhalb des Spornanschlusses (Abb. 40 c).

Die bauwerksspezifischen Versagensszenarien können teilweise von bereits vorliegenden Schadensbildern abgeleitet werden. Einige dieser Schadensbilder (und deren mechanische Grundlagen) sind in Kapitel 6.5 kurz zusammengefasst.

## 6.4 Schadensursachen

Grundlage für eine sichere und dauerhafte Instandsetzung ist eine aussagekräftige Schadensdiagnose. Inhalt und Ziel einer solchen Schadensdiagnose sollte sein:<sup>16</sup>

- **Schadensursache**

Ohne die Kenntnis über die Ursache (den Auslöser) des Schadens, ist es im Allgemeinen nicht möglich den Schaden in angemessener Weise zu behandeln. Einerseits kann ohne die genaue Ursache eine weitere Schadensfolge durch die nur oberflächliche Erfassung nicht vollständig ausgeschlossen werden, andererseits kann ohne die Kenntnis über die Ursache diese auch nicht gezielt beseitigt werden.

- **Schädigungsgrad**

Neben dem Schaden und dem Schadensauslöser muss zusätzlich die Schwere der Schädigung erfasst werden. Dies dient sowohl als Grundlage für die Bewertung, als auch als Instrument bei der Planung von Instandhaltungstätigkeiten.

- **Schadensumfang**

Abschließend ist der Umfang des Schadens zu erfassen. Dabei soll die Abgrenzung der geschädigten Bereiche im Vordergrund stehen. Neben dem Schädigungsgrad ist dies eine weitere – in Bezug auf die Ausschreibung und Vergabe die wichtigste – Grundlage für die Planung von Instandhaltungstätigkeiten.

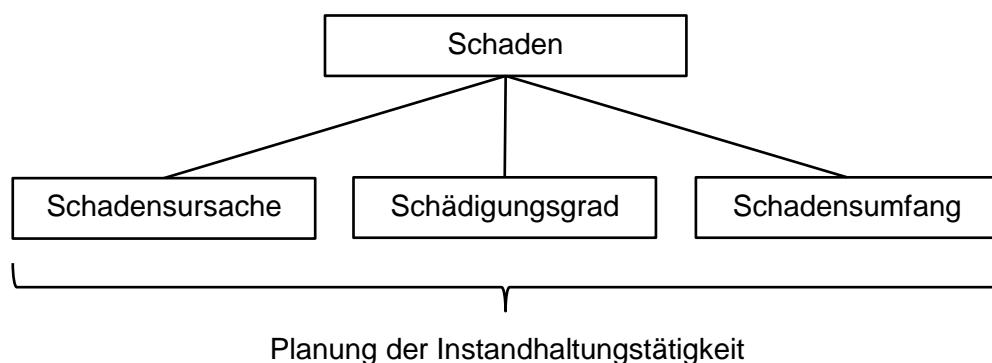


Abb. 41: Zusammensetzung eines Schadens zur Feststellung der notwendigen Instandhaltungstätigkeiten

<sup>16</sup> (Stahr, 2011)

#### 6.4.1 Schadensursache - Schadensverursacher

Wie bereits erwähnt, ist ein Hauptbestandteil der Schadenserfassung die Findung der Schadensursache. Dabei kann die Unterteilung in „*Verursachungsgruppen*“<sup>17</sup> hilfreich sein. Als Obergruppe zu den Verursachern können der Errichtungszeitpunkt und jede durchgeführte Instandhaltungstätigkeit angesehen werden.

- **Planungsfehler**

Als erste Fehlerquelle bei der Umsetzung eines Bauvorhabens (oder bei der Planung von Instandhaltungstätigkeiten) können bei der Planung ein oder mehrere Fehler auftreten, welche sich in der späteren Nutzung und während dem Betrieb des Bauwerkes negativ auswirken. Fehler bei der Planung von Stützbauwerken können wie folgt gegliedert werden:

- Fehler in der Entwurfsphase (sowohl bei der Planung als auch bei der Berechnung) von Stützbauwerken führen im Allgemeinen zu einem unsachgemäßen und nicht zweckmäßigen Bauwerk, da dieses nicht den Anforderungen (des Bauherren) entspricht und somit wahrscheinlich in seiner Nutzung eingeschränkt sein wird, oder einen erhöhten Instandhaltungsaufwand mit sich zieht.
- Durch die falsche Planung der Herstellungsmethode kann bei geotechnischen Bauwerken oftmals eine Schädigung der Umgebung auftreten, welche sich wiederum ungünstig auf das geplante Bauwerk auswirken kann.
- Abschließend kann im Zuge der Planung die falsche Materialauswahl zu Schäden an einem Bauwerk führen. Bei geotechnischen Bauwerken sind dies meist Beton und Boden. Verwendete Betone, welche nicht auf die Exposition durch die Umgebung angepasst sind oder Boden, welcher durch eine falsche und/oder ungenügende Bodenuntersuchung in seinen Eigenschaften – und damit der möglichen Verwendung – falsch eingeschätzt wurde.

- **Ausführungsfehler**

Nach der Planung weist die Herstellung (Bauausführung) eines Stützbauwerkes ein großes Fehlerpotential auf.

- Mögliche Umplanungen durch das ausführende Unternehmen oder die Nichtbeachtung von Planvorgaben können dazu führen, dass Fehler oder Schäden verursacht werden, die der Planer durch seine eigene Planung

---

<sup>17</sup> (Stahr, 2011) Kapitel 1.4.5

ausgeschlossen hätte. Oftmals sind die daraus resultierenden Schäden nur schwierig zu erkennen, da ihre Ursache nicht aus den Bestandsdokumenten erkennbar ist.

- Neben der Wahl einer ungeeigneten Herstellungsmethode in der Planungsphase kann auch die Anpassung des Herstellungsverfahrens in der Ausführungsphase zu Schäden führen. Einerseits kann dies durch eine Anpassung der Herstellung an die Umgebungsbedingungen geschehen, andererseits kann der Einsatz von schlecht geschultem Personal zu Fehlern führen.
- Ebenso wie in der Planungsphase kann der Einsatz von ungenügendem oder ungeeignetem Material in der Ausführungsphase die Entstehung von Schäden begünstigen. Diese Schäden können sehr weitreichend sein, da die Zugänglichkeit (für erforderliche Materialprüfungen) bei Stützbauwerken nicht immer gegeben ist.
- Abschließend kann die Unterlassung von erforderlichen Schutzmaßnahmen bei der Ausführung zur Herstellung einer unsachgemäßen Stützkonstruktion führen. Oftmals führt der unzulässige Schutz des Bodenkörpers (während der Herstellung) oder die unsachgemäße Herstellung von Betonbauteilen zu Mängeln, die in Kombination mit anderen Fehlern ein hohes Schädigungspotential aufweisen können.

- **Nutzungsfehler**

In der längsten Phase der Lebensdauer eines Stützbauwerkes – der Nutzung – können einerseits Schäden zufolge Planungs- oder Herstellungsfehlern auftreten, wobei das Ausmaß und die Auswirkungen derartiger Schäden durch die Art und Weise wie diese behandelt (oder nicht behandelt) werden, wesentlich beeinflusst wird.

Andererseits können Schäden durch eine „unsachgemäße“ Verwendung des Stützbauwerkes auftreten bzw. verursacht werden, die durch die vorliegende Differenz zwischen Planungs- und Nutzungsbedingungen nicht berücksichtigt wurden. Weiters können bereits vorhandene Schäden durch die Nutzung verstärkt (Erhöhung des Schädigungsgrades) werden.

#### 6.4.2 **Schädigungsgrad**

Die Feststellung des Schädigungsgrades – also der Stärke und Intensität der vorhandenen Schädigung – kann einen schwierigen Prozess im Zusammenhang mit der Bearbeitung eines Schadens darstellen. Bedingt durch die Einzigartigkeit vieler Bauwerke können auch die an ihnen auftretenden Schäden sehr mannigfaltig sein. Zwar ist eine gewisse Vergleichbarkeit gegeben, jedoch sind die zusammenwirkenden Faktoren wie z.B. Auslöser, Umgebungsbedingungen, mögliche Beeinflussung durch Instandhaltungsmaßnahmen etc. meist nicht oder nur bedingt vergleichbar.

Zur Klassifizierung des Schädigungsgrades sind vor allem für den Hochbau – bedingt durch die größere Anzahl an Objekten und die bessere Schematisierung – Bewertungskataloge vorhanden, welche zur Einteilung des Schädigungsgrades herangezogen werden können. Beispiele hierfür sind in „Bausanierung“ (Stahr, 2011) und „Baufaufnahme und Planung im Bestand“ (Donath, 2008) gegeben. Für Stützbauwerke liegen derartige Unterlagen noch nicht vor. In dieser Arbeit wird nicht versucht, ein Bewertungsschema für die Schädigung von Stützbauwerken zu erstellen, sondern Anhaltspunkte und Überbegriffe für die Erarbeitung durch den Ingenieur zu geben.

#### 6.4.3 **Schadensumfang**

Letztlich ist der Umfang eines vorliegenden Schadens zu betrachten. Bei Stützbauwerken ist hierbei die ein-, zwei- bzw. dreidimensionale Ausdehnung eines Schadens gemeint. Die Eingrenzung des Schadensbereiches kann einerseits bei der Findung der Schadensursache herangezogen werden, andererseits kann mit Hilfe einer präzisen Unterteilung des Schadensbereiches auch eine geeignete Instandhaltungs-lösung gefunden werden.

## 6.5 Erscheinungsformen von Schäden

Sich entwickelnde Versagensmechanismen sind bei Stützbauwerken in den meisten Fällen durch eine „Schadensankündigung“ erkennbar. Diese Schadensankündigung findet z.B. in Form von Rissen, Abplatzungen, Verschiebungen oder Verformungen d.h. in Form von Schadensbildern statt. Um ein mögliches Versagensprinzip erkennen zu können, und dies somit in der Zustandserfassung und –beurteilung zu berücksichtigen, ist es notwendig, Grundkenntnisse über mögliche Schäden an Bauwerken zu haben. Ohne hier direkt auf Stützbauwerke einzugehen, werden in den nachfolgenden Unterkapiteln mögliche Schadensbilder für verschiedene Bauteile oder Baustoffe näher beschrieben:

- Schadensbilder Beton & Stahlbeton: Eine Vielzahl geotechnischer Bauwerke wird unter Verwendung von Beton hergestellt. Mögliche Schädigungen betreffen die Oberfläche, Schwächen die Dauerhaftigkeit ein, und führen zu einer Veränderung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit der Bauteile.
- Schadensbilder Stahl: Vereinzelt kommen neben Beton auch Stahlbauteile (Gabionenkörbe u.d.gl.) bei Stützbauwerken zum Einsatz. Die Schädigung von Betonstahl wird im Zusammenhang mit Beton – als gesamtheitliches Bauteil – betrachtet.
- Schadensbilder Kunststoff: Bei Stützkonstruktionen nach dem Verbundprinzip (Bewehrte Erde Konstruktionen) kommen Kunststoffe zum Einsatz. Neben diesen tragenden Bauteilen soll hier auch das Schädigungsausmaß von unterirdischen Kunststoffbauteilen (Drainage, Entwässerung, ...) behandelt werden.
- Schadensbilder Boden: Als letzter Baustoff – und meist im Zusammenhang mit der Gesamtstandsicherheit des Objektes – werden Schadensbilder des Bodens behandelt.

### 6.5.1 Schadensbilder Beton

Eine Vielzahl möglicher Schädigungen an Betonbauteilen sind direkt an der Oberfläche zu erkennen. Daraus folgend können die Schäden an Betonbauteilen wie folgt vorkategorisiert werden:

Tabelle 12: Übersicht über Schäden und deren Ursachen an Betonbauteilen (Stahr, 2011)

Schadensbild	Ursache		
	1	2	3
Betonabsprengung	X	X	X
Betonausblühung	X	X	X
Betonauslaugung	X		
Betonkorrosion	X	X	
Risse im Beton		X	
Rostflecken am Beton		X	X
Treiben des Betons	X	X	
<b>1</b>	Roh- oder Baustoff mangelhaft, ungeeignet oder falsch eingesetzt		
<b>2</b>	Baukonstruktion fehlerhaft		
<b>3</b>	Baustoffherstellung oder Verarbeitung fehlerhaft		

Die in Tabelle 12 aufgelisteten Schadensbilder werden in nachfolgender Aufzählung durch Bilder und eine kurze Beschreibung dargestellt.

- **Betonabsprengung**

Absprengungen von Betonteilen sind eine Folge des Carbonatisierungsvorganges. Im Allgemeinen ist die Bewehrung eines Betonbauteils durch seine Betonüberdeckung – mit einem pH-Wert  $> 9,5$  – vor Korrosion geschützt, jedoch kann unter Zusammenwirkung unterschiedlichster Faktoren der Korrosionsprozess am Bauwerk einsetzen:

- zu geringe Betondeckung
- geringe Betonfestigkeitsklasse
- Sauerstoff- und/oder Feuchtigkeitszutritt
- Absinken des pH-Wertes unter 9
- Chlorideinwirkung



In Folge dieses Korrosionsvorganges kommt es zu einer Volumenausdehnung (bis zu 2,5 Volumensanteile) in Folge von Rost (Oxidationsprodukt) der Bewehrungselemente. Der durch diese Erscheinung entstehende Sprengdruck kann zu Rissen an der Oberfläche und anschließend – in einem fortschreitenden Prozess – zur Abplatzung ganzer Betonkeile führen.

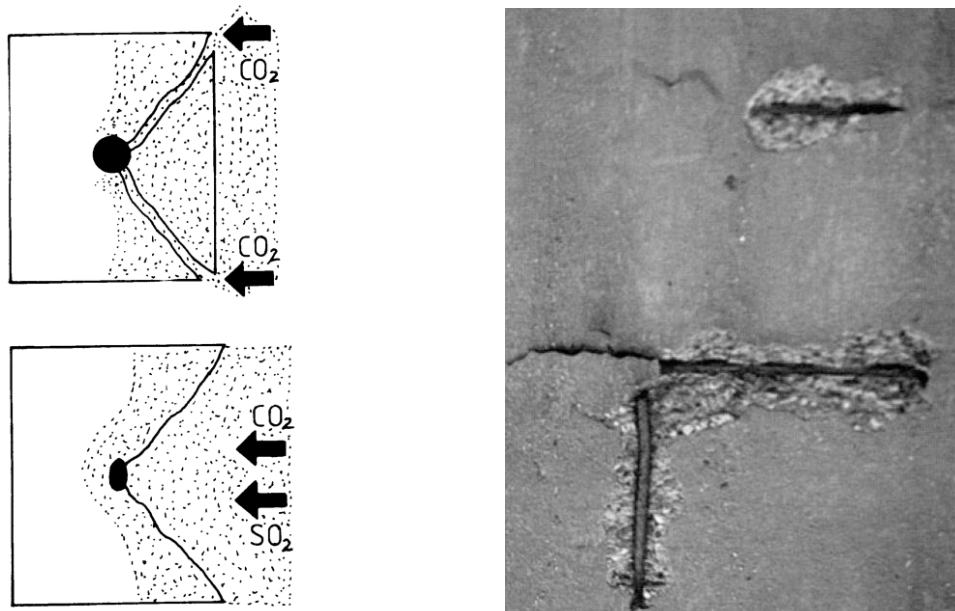


Abb. 42: Links – Prozesse der Betonzerstörung; Rechts – Absprengungen an einer Betonoberfläche (Stahr, 2011)

Die Gefährdung eines Betonbauteils in Hinsicht auf Abplatzungserscheinungen kann durch die Feststellung der Karbonatisierungstiefe und die Überprüfung der Betondeckung untersucht werden.

- **Betonausblühung**

Betonausblühungen können in Folge von zwei Prozessen entstehen:

- Ausblühungen entstehen, durch den unsachgemäßen Einsatz von Frostschutzmitteln oder Erstarrungsbeschleunigern in der Herstellungsphase des Betons oder bei der Verwendung von verunreinigtem Anmachwasser. Wasserlösliche Salze (Sulfat oder Chlorid) sind hierbei die am häufigsten vorkommenden Verunreinigungen.
- Bei chemischer Belastung der Bauteiloberfläche können die gleichen Schädigungen entstehen, wie bei der Belastung durch chemische Prozesse im Inneren. Die Auslöser sind identisch, jedoch muss zum Einsetzen der chemischen Reaktionen bereits eine Schädigung der Oberfläche vorliegen. Salze können in Form von Tausalz oder durch die Umspülung mit belastetem

Grundwasser an die Oberfläche gelangen, während Reaktionsprodukte aus Kalzium meist durch belastete Luft an das Bauteil herangetragen werden.



Abb. 43: Links – Betonausblühungen in der Nähe eines Risses; Rechts – Betonausblühungen an einer Spritzbetonsicherung in der Nähe einer Straße mit Tausalzverwendung

Ausblühungen können durch den sogenannten Fällungsnachweis, unter Zugabe von Barytwasser (Sulfat) oder Silbernitrat (Chlorid) zu einer Probe des Betonsteins, nachgewiesen werden.

- **Betonauslaugung**

Betonauslaugungen sind ähnlich zu erkennen wie Betonausblühungen. Auch in ihrer Entstehung und der Analyse sind diese ähnlich zu behandeln. Bei der Verwendung von wasserlöslichen Beimengungen zu den Zuschlagstoffen, wie etwa Lehm, Ton, Kreide, Gipsstein oder Tonschiefer kann es zu Anhaftungen dieser Stoffe an den Zementstein kommen – wodurch das Abbindeverhalten des Zementsteins verringert oder im schlimmsten Fall verhindert wird. Ebenso können Auslaugungen bei ungenügender oder ungleichmäßig gemischter Betonage entstehen. Diese werden als Betonester bezeichnet, und sind bei sachgemäßem Verschließen (durch Reperaturmörtel) nicht als gefährlich anzusehen. Als letztes können Betonauslaugungen auch noch als Folge von gelösten Salzen oder Säuren in Wasser entstehen – dies wird als Betonkorrosion bezeichnet.

- **Betonkorrosion**

Diese Art der Schädigung entsteht, wenn Säure- oder Salzlösungen mit den Kalziumverbindungen des Betonbindemittels (Zement) reagieren und diese Verbindungen in wasserlösliche Verbindungen umwandeln.

- **Risse im Beton**

Im Allgemeinen treten bei allen Stahlbetonbauteilen Risse auf. Diese sind erforderlich, um die (Stahl-)Bewehrungselemente zu aktivieren, und somit die Verbundtragfähigkeit von Stahlbetonbauteilen zu mobilisieren. Jedoch sollten die hierzu erforderlichen Risse

in ihren Abmessungen (Rissweite) und ihrem Erscheinen (Rissbild) beschränkt sein, und nicht die Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit des Objektes negativ beeinflussen. Risse in Betonkonstruktionen können unterschiedliche Gründe haben. Einerseits können die bereits beschriebenen Betonausblühungen, die Betonauslaugung und die Betonkorrosion dazu führen, dass sich vor allem kleinflächig konzentrierte Risse an der Oberfläche bilden. Andererseits können statische oder konstruktive Mängel in der Planung und Ausführung dazu führen, dass sich unzulässige Belastungen oder Spannungsspitzen in Form von Rissen im Beton erkennbar machen. Bei den statischen Mängeln ist oftmals eine Unterdimensionierung oder falsche Bewehrungsführung für das übermäßige Entstehen von Rissen verantwortlich. Neben diesen Schäden können auch noch zu gering dimensionierte oder fehlende Ausdehnungsmöglichkeiten (keine Bewegungsfugen) und/oder unsachgemäß hergestellte Bauteile (z.B. zu große oder zu geringe Betondeckung oder mangelhaften Bauteilanschlüsse) zu übermäßigen Risserscheinungen führen.

Risse im Beton lassen sich nach ihrer Form, der Rissweite und der Position des Auftretens beurteilen und können nach folgenden Gesichtspunkten unterteilt werden:

- Biegerisse verlaufen senkrecht zur Achse der Biegezugbewehrung und enden auf Höhe der Spannungsnulllinie des Querschnittes. Durch ihren Verlauf kann die ungefähre Momentenbeanspruchung des Bauteils abgeleitet werden.
- Sammelrisse treten in der Nähe von stark bewehrten Randzonen (Anschlüsse, Fugenbereiche) und bei dicken Massenbetonbauteilen unter zentrischer Zugbeanspruchung auf.
- Zwischenrisse bezeichnen haarfeine Risse zwischen den Biegerissen und den Sammelrissen, welche auf eine Umlagerung der Spannungen zwischen diesen beiden Bereichen hinweisen.
- Schubrisse stellen eine Form von Biegerissen dar. Wobei die Rissentstehung nicht durch das beanspruchende Moment sondern durch hohe Querkräfte (Auflagerbereiche und Anschlusszonen) verursacht wird. Sie verlaufen meist schräg zur Stabachse und lassen eine Ableitung auf das hinter dem Tragmodell stehende Fachwerkmodell zu (Zugstab).
- Verbundrisse treten vor allem im Bereich von Lasteinleitungen (Verankerungs- oder Anschlussbereich) auf. Sie verlaufen parallel zur Bewehrungslage und breiten sich mit Schubrisen oder Zwischenrissen zu großflächigen Rissen aus.

- Trennrisse verlaufen über den gesamten Querschnitt (trennen diesen) und deuten auf eine Überbeanspruchung (durch Zug) des Bauteils hin.

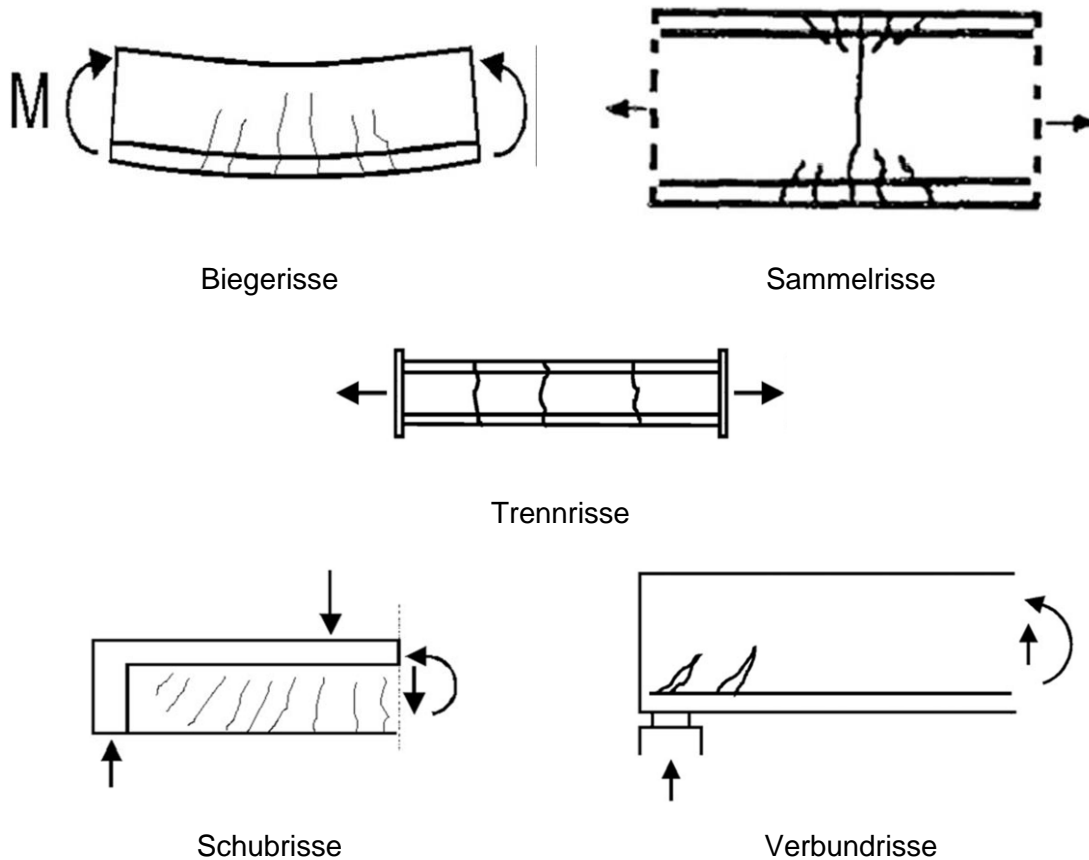


Abb. 44: Sammlung von schematischen Abbildungen zu Rissen (Weber, 2013)

Die Untersuchung von Rissen an der Betonoberfläche kann durch das Dokumentieren von Rissbildern, durch Rissweitenaufnehmer, Gipsmarken zur Überprüfung der zeitlichen Veränderung von Rissen oder durch die Begutachtung von Betonkernbohrungen durchgeführt werden.

#### • Rostflecken am Beton

Rötliche Verfärbungen der Betonoberfläche lassen auf einen Austrag von Rost schließen. Dieser kann entweder durch freiliegende Bewehrung – zu geringe Betondeckung oder Bewehrungskorrosion im Bereich von Rissen – oder durch nicht rostfreie Anbauteile aus Stahl hervorgerufen werden. Die Rostflecke an sich stellen – abgesehen von der optischen Beeinflussung – keinen Schaden dar, sind allerdings Anzeichen für dahinterliegende Schädigungen.

### 6.5.2 Schadensbilder Stahl

Stahlbauteile, wie generell alle metallischen Baustoffe, unterliegen Korrosionsprozessen die sich z.B. in Form von Vergrößerungen an der Oberfläche (Rost) auswirken. Die Korrosionsprozesse werden durch den Kontakt mit der atmosphärischen Luft oder Wasser ausgelöst. Diese Korrosion stellt eine von der Oberfläche des Metalls ausgehende Zerstörung dar, welche durch chemische und elektrochemische Reaktionen ausgelöst wird. Neben diesen Reaktionen in Folge des Kontaktes mit Luft oder Wasser kann eine korrosive Reaktion auch durch den Kontakt zwischen Metall und unterschiedlichsten anderen Baustoffen entstehen.

- Unlegierte Baustähle korrodieren bereits unter Einwirkung der atmosphärischen Umgebung, Kontakt mit Chemikalien und durch den Kontakt mit anderen Metallen. Durch passiven Korrosionsschutz – Überziehen mit Zink, Aluminium oder Chrom – kann dieser Prozess verhindert werden.
- Die Korrosion von Betonstahl wird durch die Alkalität des Betons verhindert, bzw. unterbunden
- Hochlegierte Baustähle (Chrom oder Chrom-Nickel) sind bereits durch ihre Zugaben und Legierungen korrosionsbeständig.
- Andere metallische Baustoffe, wie Aluminium, Zink oder Kupfer bilden zum Schutz vor aggressiven Umgebungsbedingungen eine Schutzschicht. Durch diese Korrosionsschicht wird der pH- Wert der Oberfläche angehoben (zwischen 4 und 10), wodurch die Reaktivität des metallischen Stoffes unterbunden wird.

### 6.5.3 Schadensbilder Kunststoff

Im Gegensatz zu Beton und Stahl weist Kunststoff aufgrund seiner Zusammensetzung (und der Tatsache, dass es ein Erdölderivat ist) eine hohe Beständigkeit gegen chemische Belastungen und Angriffe durch chemisch oder biologisch belastete Luft und Wasser auf. Durch andauernde Bewitterung von Kunststoffbauteilen, kann es jedoch zur Schädigung des Materials kommen. Dies ist vor allem auf UV- Belastungen, Temperaturwechsel und Feuchtigkeitsänderungen zurückzuführen. Durch die Beigabe von Stabilisatoren kann dies jedoch verringert oder unterbunden werden. Die Verwendung von unzureichend geschützten Kunststoffen kann jedoch sehr schnell zu einer Abnahme der Festigkeit führen, verbunden mit einem möglichen spröden Versagen des Bauteils. Weiters sind einige Kunststoffe nicht für die Verwendung in der Nähe von alkalischen Bereichen (Beton, Kalk) geeignet.

Neben dem Einsatz als „tragendes Bauteil“ im Bereich der Stützkonstruktionen nach dem Verbundprinzip kommen Kunststoffe auch zur Instandsetzung von Betonbauteilen zum Einsatz. Beispielhaft seien hier kunstharzmodifizierte Mörtel zur Reparatur von Betonbauteilen und Kunststoff als Injektionsmittel genannt.

#### 6.5.4 Schadensbilder Boden

Die Schadensbilder des Bodens der sowohl als Baustoff als auch als Bauteil zu betrachten ist, sind nach jenen Grenzzuständen zu unterteilen, die in Eurocode 7 (ÖNORM EN 1997-1, 2009) dargestellt sind. Einige dieser Grenzzustände zeigen spezifische Schadensbilder, die mit der Versagensankündigung im Zusammenhang stehen. Schadensbilder im Boden können z.B. Setzungs- oder Erhebungserscheinungen, Risse und Höhenversätze an der Oberfläche oder Bodenausspülungen zufolge Erosion sein.



Abb. 45: Links – Abrisskante eines rutschgefährdeten Hanges (meinbezirk.at); Rechts – Geländeänderung als Versagensankündigung für einen Böschungsbruch

Veränderungen des Bodens bzw. bestimmter Bodeneigenschaften können auch durch Änderungen des Grundwasserspiegels (bzw. allgemein der Grundwasserverhältnisse) verursacht werden. In diesem Zusammenhang wird auf die Bedeutung der Funktionstüchtigkeit von Drainagen und Entwässerungseinrichtungen hingewiesen. Schadhafte oder nicht funktionstaugliche Drainagemaßnahmen können z.B. zu einer wesentlichen Erhöhung der Wasserdrücke auf ein Bauwerk und in Folge zu Schäden oder einem Versagen führen. Zusätzlich zu den Schadensbildern am umliegenden Bodenkörper können sich Veränderungen des Bodens auch am Bauwerk bzw. an angrenzenden Bauwerken abzeichnen. So können sich Setzungen (im speziellen differenzielle Setzungen) an der Oberfläche in Form von Setzungsrisse entlang des Bauwerkes verlängern. Diese Risse sind im Gegensatz zu Rissen aus Überbeanspruchung des Materials durch ihren Verlauf und oftmals ihre Größe gekennzeichnet. Während Biegerisse oder dergleichen bei Betonbauteilen zu kleinen Rissdimensionen führen, sind Setzungsrisse ausgelöst durch Setzungsmulden meist ausgedehnter und lassen einen Rückschluss auf die Richtung und den Verlauf der Setzung zu.

## 6.6 Hilfestellung zur Definition maßgebender Versagensmechanismen

Mit Hilfe der Informationen aus dem Eurocode wird eine Vielzahl der maßgebenden Versagensmechanismen aufgezeigt. Mit Einhaltung dieser Grenzzustände ist jedoch nicht immer sichergestellt, dass alle maßgebenden und für die Nachweisführung zu berücksichtigenden Versagensmechanismen auch tatsächlich erfasst und untersucht wurden.

Im nachfolgenden Kapitel sollen daher Möglichkeiten aufgezeigt werden, die maßgebenden Versagensmechanismen eines Stützbauwerkes und seiner Umgebung unter gegebenen Randbedingungen und möglicherweise vorhandenen Schadensbilder zu erkennen. Folgende Arbeitsweise kann hierbei zur Erarbeitung der maßgebenden Versagensszenarien herangezogen werden:

- Bei der Untersuchung und Begutachtung eines Stützbauwerkes ist es möglich, durch Kenntnis des Tragverhaltens des Bauwerkes und der vorliegenden Umgebungsbedingungen einerseits und durch Erfahrung andererseits auf die maßgebenden Versagensmechanismen zu schließen.
- Im Zuge der Untersuchung und Begutachtung aufgenommene Mängel und Schäden können Einblick in das Verhalten und die Beanspruchung (Art und Größe) eines Stützbauwerkes liefern. Bereits „erlittene“ Schäden eines Bauwerkes können zu einer Aussage über die Beanspruchung und Schwächung der Konstruktion führen. Durch eine ausführliche Dokumentation der vorhandenen Schadensbilder sowie der Monitoringprozesse ist eine Beurteilung und zeitliche Prognose möglich.

Die Kombination der beiden Methoden stellt bezogen auf die praktische Durchführung einen zielführenden Lösungsansatz dar.



Beide Methoden zeigen in ihrer Anwendung sowohl Vor- als auch Nachteile auf:

Tabelle 13 Vor- und Nachteile der Methoden zur Findung der Versagensmechanismen

maßgebliche Versagensmechanismen		Schadensbilder	
Vorteile	Nachteile	Vorteile	Nachteile
Verwendung der anerkannten Literatur	unbeeinflusst durch vorliegende Schadensbilder	direkte Erkennbarkeit am Bauwerk	oftmals nicht eindeutiger Rückschluss
Rückschluss auf das mechanische Verhalten	genaue Kenntnisse aller Parameter notwendig	Langzeitbeobachtungen durchführbar	kein direkter Rückschluss auf das mechanische Verhalten
normative Ansätze möglich			weitere Untersuchungen erforderlich
unabhängig der Lage des Bauwerkes			eingeschränkte Zugänglichkeit des Bauwerkes

Wie aus der Beschreibung und Auflistung der Vor- und Nachteile ersichtlich wird, ist eine genaue Abgrenzung der beiden Methoden nicht möglich. Und wie bereits erwähnt besteht der beste Lösungsansatz in der simultanen Verwendung beider Methoden.

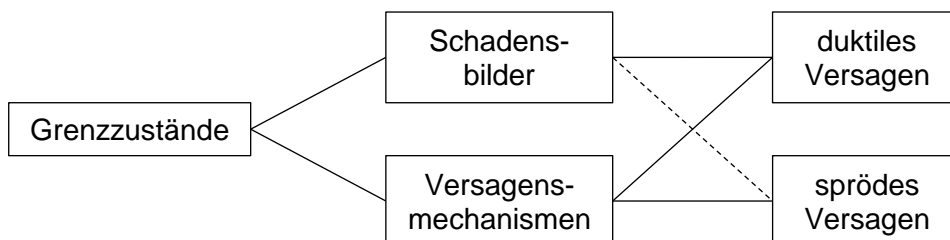


Abb. 46: Einteilung zur Findung der maßgebenden Grenzzustände

Mit Hilfe der Schadensbilder können bereits vorliegende Schädigungen mit einem grundsätzlich duktilem Versagensmechanismus aufgrund ihrer Ankündigung gefunden werden. Inwieweit jedoch nach dem Vorliegen bestimmter Schadensbilder noch weiter von einem duktilen Systemversagen ausgegangen werden kann, ist hiermit jedoch noch nicht definiert. Daraus ermöglicht sich im Allgemeinen das Auffinden bestimmter, maßgebender Grenzzustände. Um die bereits gefundenen Grenzzustände (aus Schadensbildern) um jene der „nicht sichtbaren“ Grenzzustände und den ankündigungslosen Versagensmechanismen zu ergänzen sind die sonstigen maßgebenden Versagensmechanismen mit zu untersuchen.

### 6.6.1 Erkennung und Detektion der maßgeblichen Versagensmechanismen

In diesem Kapitel soll ein Lösungsansatz für das Erkennen und Detektieren der maßgeblichen Versagensmechanismen aufgezeigt werden. Um diese detektieren zu können, ist eine „Zerteilung des Gesamtbauwerkes“ hilfreich. Dazu wurden die maßgeblichen Beeinflussungsfaktoren auf den Zustand eines Stützbauwerkes untersucht, um daraus folgend Rückschlüsse auf die möglichen Grenzzustände ziehen zu können. Thematisch lässt sich für Stützbauwerke diese Einteilung folgendermaßen durchführen:

- **Bauwerksidentifikation:** Jene Informationen über das Bauwerk, die mit der Bestandsaufnahme und den Ergebnissen von Inspektionstätigkeiten vorliegen. Damit sind für jedes Stützbauwerk abhängig von dessen Art, der Lage im Gelände, dem Erhaltungszustand etc. die Grundlagen gegeben. Eine genauere Angabe zu diesen Parametern ist in Kapitel 7.2 ersichtlich.
- **Geländeverhältnisse & Umwelteinflüsse:** Bei der Betrachtung der möglichen Grenzzustände in der Geotechnik spielen die Geländeverhältnisse, deren Veränderungen oder sich möglicherweise bereits entwickelnde Versagensmechanismen, eine große Rolle. Da diese im Zuge der Bestandsaufnahme nicht immer eindeutig dokumentiert und erfasst werden können, ist oftmals eine Nachbegehung ratsam. Einerseits können hierbei durch eine erneut durchgeführte Bestandsaufnahme Untersuchungen und Beobachtungen kontrolliert werden, andererseits kann durch Beiziehen von Experten, oder unter Verwendung von zusätzlichen Werkzeugen ein detaillierter Untersuchungsaufwand sichergestellt werden. Neben den Geländeverhältnissen können im Zuge dieser Untersuchungen auch Umwelteinflüsse auf das Bauwerk miteinbezogen werden.
- **Bauwerkszustand:** Mit Hilfe der Informationen aus der Zustandserfassung, und den vorliegende Zwischenergebnissen der Zustandsbeurteilung kann ein Rückschluss auf den aktuellen Bauwerkszustand getroffen werden. Aufgrund dessen können sich möglicherweise entwickelnde Versagensszenarien erkannt oder detektiert werden. Die Ursachen derartige Versagensszenarien können sowohl auf der Einwirkungs- als auch auf der Widerstandsseite liegen und sind oftmals noch nicht ganz eindeutig zuordenbar. Abschließend kann, resultierend aus mehreren Bestandsaufnahmen, eine zeitliche Abfolge des Bauwerkszustandes erstellt werden, mit Hilfe derer sich unter Umständen eine Prognose über das weitere Bauwerksverhalten erstellen lässt.

- **Einwirkungen:** Auf der Seite der Einwirkungen und Belastungen eines Bauwerkes muss folgende Entscheidung getroffen werden: „Sollen die heutigen, aktuell anzuwendenden Belastungsgrößen und Ansätze herangezogen werden, oder die zum Zeitpunkt der Planung und Errichtung des Stützbauwerkes in der Vergangenheit gültigen normativen Regelungen?“. Um sich einen Überblick über die Veränderungen der anzusetzenden Belastungen zu schaffen kann eine chronologische Auflistung (siehe Kapitel 5.3), beginnend mit dem Planungsstand bis zum Untersuchungszeitpunkt sehr hilfreich sein.
- **Standicherheit:** Inhalt dieses Punktes sollten die gefundenen Grenzzustände und Versagensmechanismen sein. Einerseits können hierfür bereits bekannte Grenzzustände in Frage kommen, andererseits jene, nicht ganz klar erkennbaren Versagensmechanismen, die im Zuge der Bearbeitung der anderen Punkte ersichtlich wurden.
- **Messtechnik & Überwachung:** Oftmals wird die im Eurocode 7 definierte Beobachtungsmethode als eine vorläufige Hilfs-, Überwachungs- oder baubegleitende Maßnahme angewendet. Mit den Ergebnissen dieser messtechnischen Überwachungsmaßnahmen lassen sich wiederum aufgefundene Versagensmechanismen bestätigen oder verwerfen. Zusätzliche Informationen erhöhen zudem die Sicherheit der getroffenen Aussagen und Schätzungen.

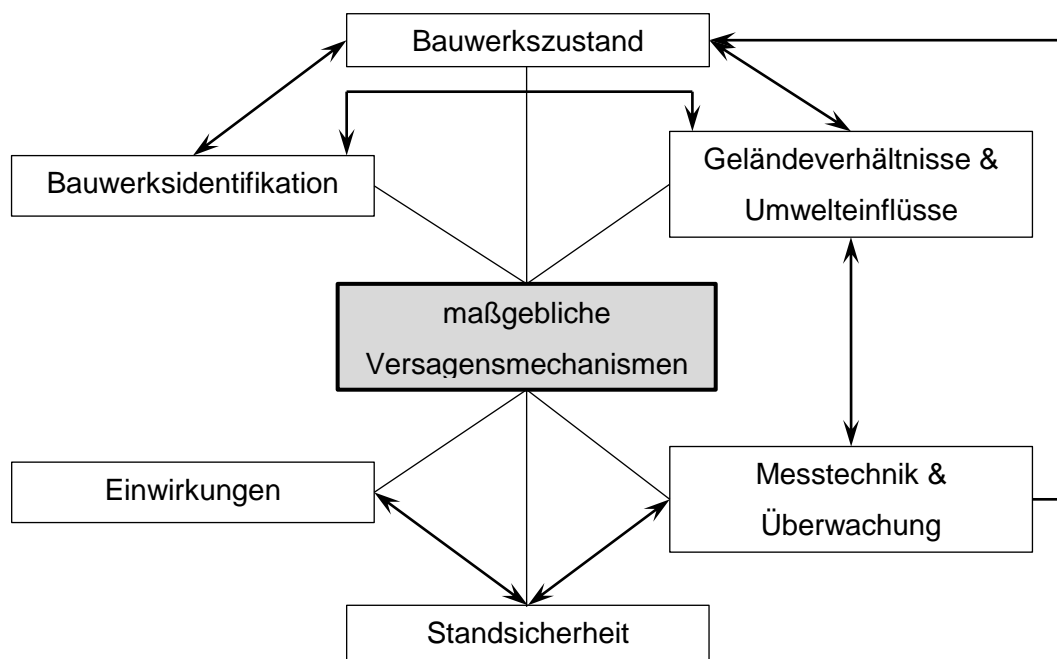


Abb. 47: Zusammenhänge bei der Detektion der maßgeblichen Versagensmechanismen

- **Gegenüberstellung der Erkenntnisse:**

Wie bereits beschrieben, kann eine Gegenüberstellung der Informationen zu den in Abb. 47 dargestellten Themenbereichen einen sehr anschaulichen Hintergrund zur Beurteilung der möglichen Versagensbilder ergeben. Diese Gegenüberstellung kann bei allen Themenbereichen auch mit Hilfe einer Zeitskala geführt werden um eventuell stattfindende Veränderungen bzw. Entwicklungen zu erfassen. Für den Ansatz dieser Zeitskala kann es zwei Wege geben:

- zeitliche Skala über den Beobachtungszeitraum: Bei Stützbauwerken, welche nicht bereits seit ihrer Errichtung beobachtet und überwacht werden, sind oftmals nur Information über einen beschränkten Zeitraum vorhanden. Diese Informationen können einerseits aus den im Zuge einer Beurteilung durchgeführten Inspektionen oder Monitoringmaßnahmen stammen, oder das Ergebnis von periodisch durchgeführten Inspektionen oder Untersuchungen sein. Vorteil dieser Informationen ist, dass sie meist spezifisch für ein Bauwerk und einen untersuchten Versagensmechanismus durchgeführt werden, und daher gezielt auf die entscheidenden Fragen betrachtet werden können. Nachteilig ist jedoch, dass es sehr schwierig ist die Ausgangslage – also den Urzustand des Bauwerkes – als Referenzgrundlage herauszufinden.
- zeitliche Skala über den gesamten Nutzungszeitraum: Im Gegensatz zur obigen Gegenüberstellung ist es hierbei möglich, den Ausgangszustand festzustellen. Dieser kann einerseits vorhanden sein, weil bereits in der Planungsphase Monitoring- oder Überwachungssysteme miteingeplant wurden, oder andererseits, weil die Grundlagen der Planung, Berechnung und Ausführung entsprechend detailliert dokumentiert sind. Dies gilt vor allem für Stützbauwerke, welche auf Grundlage von Regelplanungen erstellt wurden, oder deren Unterlagen noch in ausreichender Qualität und Quantität vorhanden sind.

Mit dieser zusätzlichen Unterteilung lassen sich die in Abb. 47 dargestellten Zusammenhänge verfeinern.

Der **Bauwerkszustand** und die **Geländeverhältnisse & Umwelteinflüsse** lassen sich meist nur über den Beobachtungszeitraum darstellen. Ausnahmen hierzu sind natürlich möglich, jedoch eher selten. Die beiden Punkte **Bauwerksidentifikation** und **Messtechnik & Überwachung** hingegen können in beide Bereiche – sowohl über den Beobachtungszeitraum als auch über die Nutzungsdauer – eingeteilt werden. Die Punkte **Einwirkungen** und **Standicherheit** können bei den meisten Stützbauwerken

für den Zeitraum der Nutzungsdauer als bekannt angenommen werden. Hierbei sind jedoch auch Ausnahmen möglich, da die Planung und Ausführung nicht immer wünschenswert dokumentiert wurde oder nicht die gültigen normativen Grundlagen herangezogen wurden.

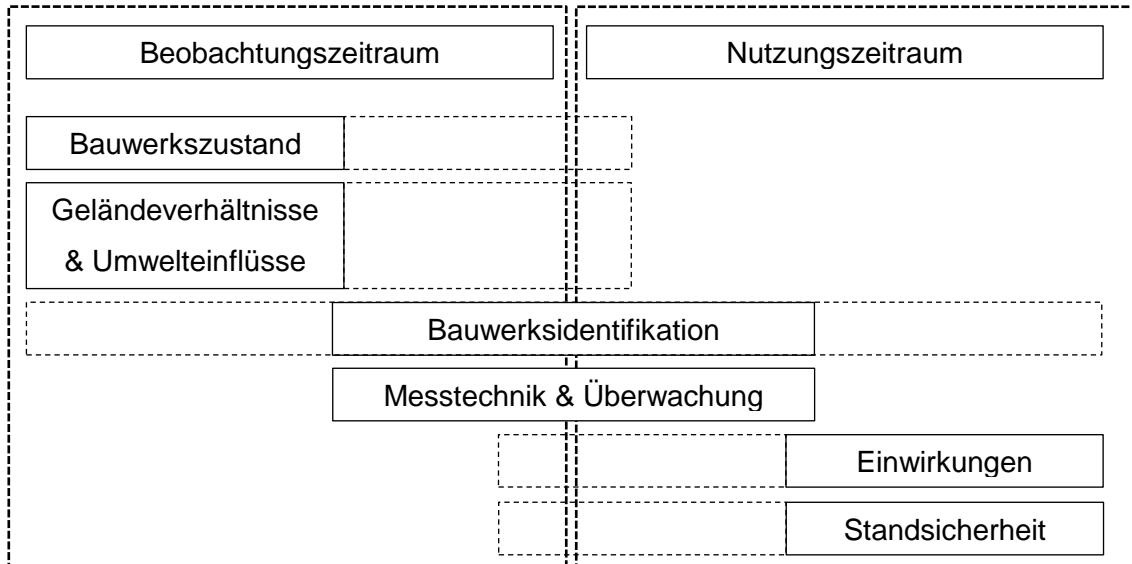


Abb. 48: Detailliertere Zusammenhänge bei der Detektion von Versagensmechanismen  
Aus der Unterteilung der Zusammenhänge Einwirkungen und Standsicherheit lässt sich folgende detailliertere Darstellung ableiten:

Einwirkungen		
Art der Einwirkung	Bau (damals)	Ist (heute)

Standsicherheit					
geotechnisch			konstruktiv		
Grenz-zustand	Bau (damals)	Ist (heute)	Grenz-zustand	Bau (damals)	Ist (heute)

Abb. 49: Unterteilung der Zusammenhänge Einwirkung und Standsicherheit

Der Zusammenhang der Standsicherheit mit den Versagensmechanismen kann in die zwei Bereiche „geotechnisch“ und „konstruktiv“ unterteilt werden, da diese im Zuge der Beurteilung oftmals auch thematisch voneinander unabhängig untersucht und beurteilt werden.

Werden die in Abb. 47, Abb. 48 und Abb. 49 dargestellten Zusammenhänge nun in eine Abbildung zusammengefügt, so ergibt sich ein Schema, mit dessen Hilfe, die Versagensmechanismen eines Stützbauwerkes ausfindig gemacht werden können.

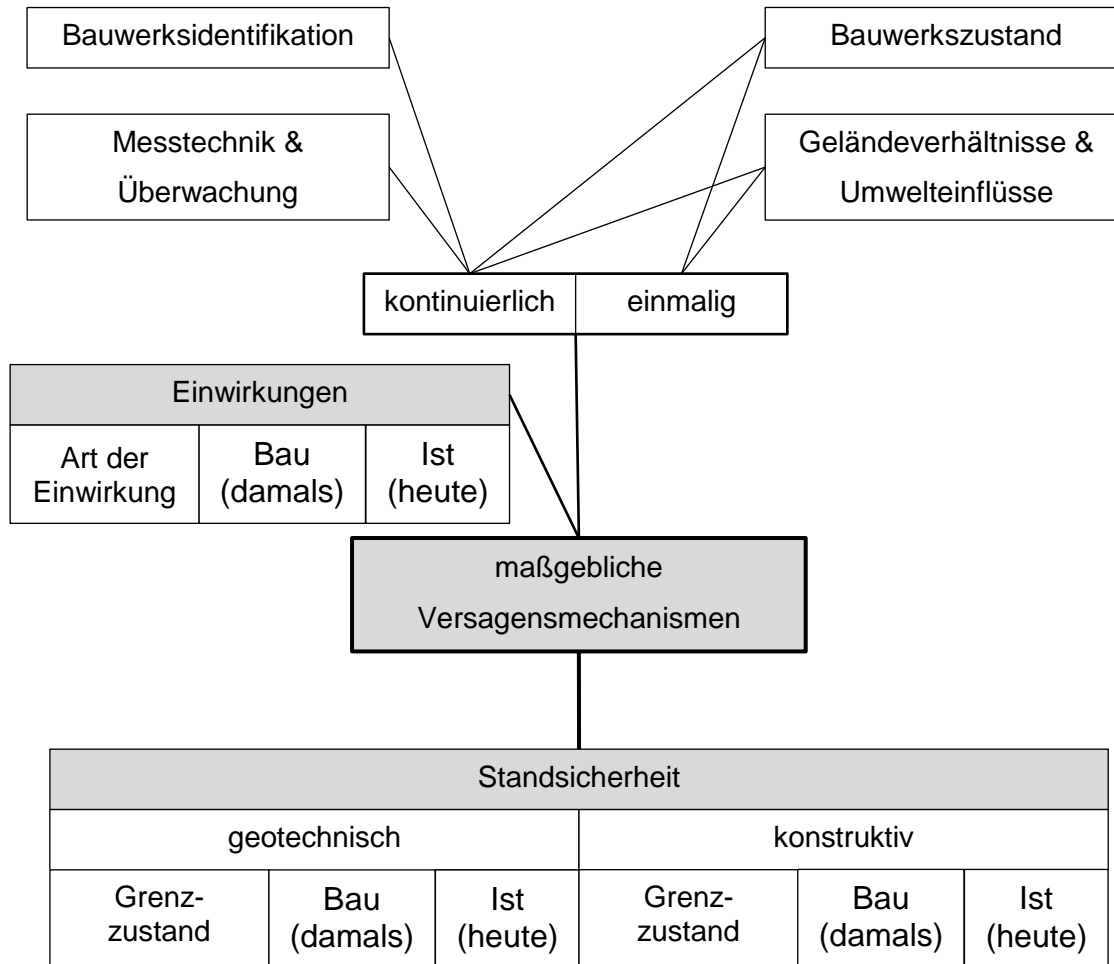


Abb. 50: Zusammenhänge bei der Findung von Versagensmechanismen

Die Hilfestellung zur Auffindung der maßgeblichen Versagensmechanismen soll zwar mit den in Abb. 50 dargestellten Zusammenhängen vereinfacht und strukturiert werden, jedoch sind ingenieurtechnisches Denken, die Kenntnis der wesentlichen und grundsätzlichen Versagensmechanismen und praktische Erfahrung grundlegende Voraussetzung ohne die auch Abb. 50 nur bedingt Nutzen bringen kann.

## 7 Zustandserfassung

Um die möglichen und maßgebenden Versagenszenarien zu erfassen und deren Eintrittswahrscheinlichkeit ermitteln zu können, ist es erforderlich den Zustand des zu untersuchenden Bauwerkes zu kennen – Zustandserfassung. Bei der Zustandserfassung soll, wie der Name bereits erkennen lässt, der Zustand eines Bauwerkes – im Fall dieser Arbeit eines Stützbauwerkes – abgebildet werden. Diese Abbildung wird zur Erfassung aller notwendigen Daten und Informationen verwendet, ebenso bildet diese die Grundlage für Anlagenverzeichnisse und das Verwaltungsmanagement.

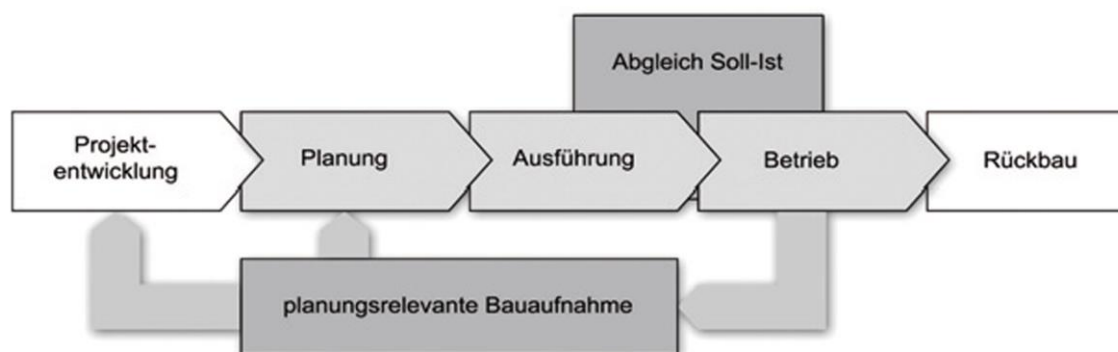


Abb. 51: Lebenszyklus von Gebäuden, Prozess der Bauplanung und Bestandserfassung (Donath, 2008)

Wie Abb. 51 zeigt, ist die Bauaufnahme in allen Abschnitten des Nutzungszeitraumes eines Bauwerkes ein wichtiger Bestandteil. Dabei dient sie einerseits zum Vergleich des Soll- und Ist-Zustandes und andererseits der „planungsrelevanten Bauaufnahme“ um den chronologischen Zustandsverlauf des Bauwerkes abzubilden und damit die Grundlage aller Planungsschritte für z.B. Erhaltungs-, Sanierungs- oder Ertüchtigungsmaßnahmen zu liefern.

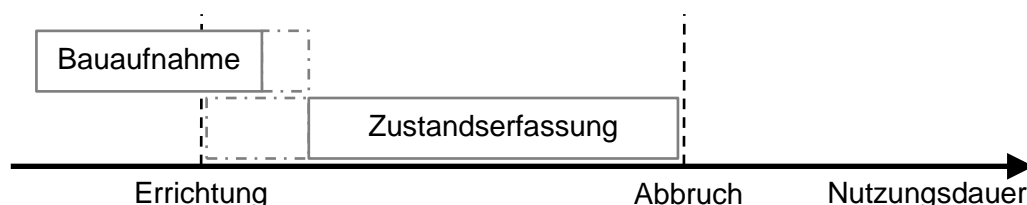


Abb. 52: chronologischer Ablauf der Zustandserfassung

In dieser Arbeit wird der Begriff Zustandserfassung mit jenem der Bauaufnahme gleichgesetzt.

## 7.1 Bauaufnahme & Zustandserfassung

Die Bauaufnahme soll im Allgemeinen die Lücken im Bereich der vorhandenen Daten und Informationen über ein Bauwerk schließen. Daraus folgt, dass die Bauaufnahme ein Erkenntnisprozess im Zuge der Zustandserfassung ist. Das Vorgehen in diesem Prozess ist abhängig von der speziellen Aufgabenstellung und den gewünschten Ergebnissen. So können folgende Abläufe und Aufgaben während der Bauaufnahme durchgeführt werden:

- **Datenerhebung:** Generell können alle Abläufe, welche mit der Ausforschung und Erhebung von Daten und Informationen über ein Bauwerk, die im Zuge der Bauaufnahme durchgeführt werden, als Datenerhebung bezeichnet werden. Oftmals wird darunter auch die Aushebung von Unterlagen aus Datenbanken oder Informationsquellen verstanden. Unter diesen Unterlagen sind die Dokumente zu verstehen, die sich bereits im Bestand des Bauwerksbesitzers befinden, dies können bereits erstellt Pläne, Gutachten oder z.B. messtechnische Berichte sein. Diese Unterlagen können unterschiedlichen Ursprunges, Informationsgehaltes oder Inhaltes sein.
- **Grundlagenforschung:** Im Zuge der Datenerhebung kann es erforderlich sein, die für die Erfassung eines Bauwerkes notwendigen Grundlagen auszuheben. Dies kann einerseits aufgrund von „Unwissenheit“ auf diesem Spezialgebiet sein, andererseits durch das Alter des Bauwerkes erforderlich werden. Bei sehr alten Bauwerken sind oftmals keine Kenntnisse mehr zum damaligen Stand der Technik oder den normativen Grundlagen vorhanden, da diese Informationen in der täglichen Arbeit nicht mehr erforderlich sind. Beispiele für Objekte der Grundlagenforschung können sein:
  - historische Fachbücher und Publikationen
  - frühere Auflagen von Bautabellen oder Nachschlagewerken
  - Normen und Richtlinien
  - Regeldetails und Regelplanungen

All diese Unterlagen können wichtige Informationen des Standes der Technik zum Zeitpunkt der Planung und Errichtung liefern. Zusätzlich können diese Unterlagen aus bereits durchgeführten Bauaufnahmen entnommen werden.

- **Historische Dokumente:** Unter historischen Dokumenten sind hierbei nicht Aufzeichnung aus der Vergangenheit zu verstehen (diese sind in der Grundlagenforschung zu finden) sondern viel mehr Dokumente im Zusammenhang mit der Historie des Bauwerkes. Diese Dokumente können von einer Unzahl an Quellen stammen. Darunter sind neben Plänen und Gutachten auch



Besprechungsprotokolle, Bilddokumentationen oder interne Dokumente zum Zeitpunkt der Bearbeitung des Bauwerkes sein. Die besten Quellen bieten oftmals zuständige Behörden und deren Archive, die für die Planung zuständigen Ingenieurbüros und Ziviltechniker, und die mit der Errichtung beauftragten Unternehmen.

- **Lokale Begutachtung:** Eine lokale Begutachtung in Form einer Geländebegehung, Bauwerksbesichtigung und Bauwerksaufnahme stellt in den meisten Fällen den Hauptbestandteil der Bauaufnahme dar. Einerseits werden hierbei die Informationen und Daten der anderen Erhebungsprozesse kontrolliert, andererseits sind oftmals Ergänzungen dieser Daten erforderlich. Diese Ergänzungen werden durch die Aufgabenstellung jeder Begutachtung teilweise neu definiert und gehen meist über die aus Plänen oder Dokumenten vorhandenen Informationen hinaus.
- **Befragung:** Aus den historischen Dokumenten lassen sich die für die Planung oder Errichtung zuständigen Personen oder Unternehmen ausfindig machen. Deren Fachwissen und Erinnerungen können zusätzliche Ergänzungen zu den Daten und Informationen der „objektiven“ Datenerhebung liefern.

Bei den im Zuge der Datenerhebung gefundenen und erhobenen Daten muss oftmals deren Richtigkeit und Genauigkeit überprüft werden. Daher sind mehrere der oben genannten Abläufe und Aufgaben für eine fachgerechte Bauaufnahme erforderlich.

### 7.1.1 Abbildung und Modellierung

Ziel der Bauaufnahme soll die modellhafte Abbildung der vorhandenen Bauwerksstruktur sein. Diese kann in einer klassischen zeichnerischen 2D-Abbildung vollzogen werden, immer häufiger in Form von 3D-Gebäude- und Bauwerksmodellen. Durch Bim (Building Integration Modeling) können in 3D Modellen zusätzliche Informationen zur Bauwerksinfrastruktur erfasst werden.

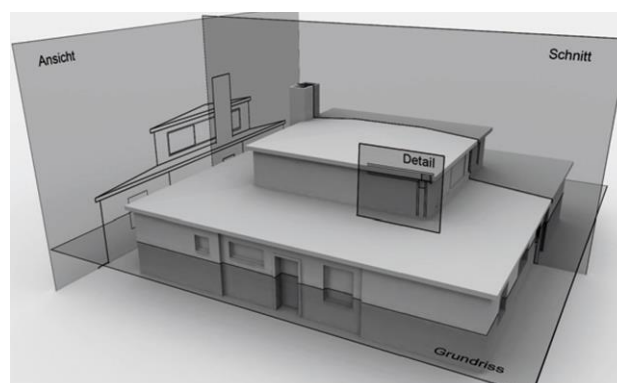


Abb. 53: Prinzip der Abbildung eines dreidimensionalen Gebäudes (Donath, 2008)

Das Grundprinzip beider Darstellungsarten ist dabei die Abbildung eines dreidimensionalen Baukörpervolumens durch die Differenzierung in Schnitte. Diese Schnitte können in Form von direkten Schnitten durch das Bauwerk oder durch Schnitte außerhalb des Bauwerkes (Ansichten) stattfinden. Neben diesen Schnitten des Bauwerkes ist auch noch die Lage des Objektes – als Information aus dem Vermessungswesen – erforderlich um die Abbildung des Bauwerkes zu vervollständigen.

### 7.1.2 Informations- oder Aufnahmedichte

Um die gewünschten Informationen und Daten aus einer Bauaufnahme zu erhalten, ist es erforderlich hierzu eindeutige Standards zu definieren. Diese können, aufbauend auf den normativen Grundlagen der Aufnahme und Dokumentation von Bauwerken (ÖNORM A 6250-1, 2013) in vier Detaillierungsgrade gegliedert werden. Die Abstufung dieser Detaillierungsgrade kann aufgrund ihrer zukünftigen Verwendung in folgende Anwendungsbereiche gegliedert werden:

Tabelle 14: Klassifizierung der Informationsdichten modifiziert aus (ÖNORM A 6250, 2001)

	Anwendung	Anforderung
Informationsdichte I	Vorentwurf, Nutzungsanalyse	Angaben zu Höhe, generelle Aufnahme der Oberfläche Messpunktanordnung verwendbar für Informationsdichte II und III
Informationsdichte II	Einreichplanung M 1:100 für Revitalisierungen	vermehrte Messpunktdichte
Informationsdichte III	Ausführungspläne	Formgetreue Aufnahme bzw. detaillierte zerstörungsfreie Aufnahme des sichtbaren Bestandes
Informationsdichte IV	Feststellung des verborgenen Zustandes, Definition des Erhaltungszustandes	Aufnahme der Tragkonstruktion von Bauteilen. Gegebenenfalls ist es notwendig, durch örtliche Zerstörung der Oberfläche notwendige Detailinformationen zu erlangen

„Die Informationsdichte IV erfordert eine interdisziplinäre Zusammenarbeit mehrerer Fachleute zur Bestimmung der erforderlichen Untersuchungen und Beurteilung der Ergebnisse.“<sup>18</sup> Die in Tabelle 14 beschriebenen Informationsdichten mit der Bezeichnung I bis IV wurden in der Ausgabe der ÖNORM A 6250-1 von 2013 durch die Aufnahmedichteklassen A bis D ersetzt. Inhaltlich unterscheiden sich diese beiden Unterteilungen nicht voneinander, jedoch wird in der aktuellen Normenausgabe eine

<sup>18</sup> (ÖNORM A 6250-1, 2013)

genauere Beschreibung der aufzunehmenden Informationen und Daten für bestimmte Bereiche oder Bauteile gegeben.

Nachfolgende Auflistung stellt die für Stützbauwerke und deren Umgebung relevanten Inhalte aus ÖNORM A 6250-1 dar.

Tabelle 15: Elemente der Bestandsaufnahme und deren Informationsdichte modifiziert aus (ÖNORM A 6250-1, 2013) Anhang A

Elementnummer	Aufnahmeelement	Aufnahmedichten			
		A	B	C	D
1.1	Aufnahmedokumentation				
1.2	Aufnahmezeitraum				
1.8	Allgemeine Bauteildaten	Bauteilbezeichnung	Bauteilbezeichnung Anpassung and Änderung		
2.1	Geländeangaben	Höhenschichtlinien			
2.3	natürliches Gelände	Definition der Lage, des Umrisses, der Flächen sowie der Oberflächenbeschaffenheit. Erweiterte Angaben zur Vegetation			
2.5	konstruktive und technische Bauteile	Angaben zu allen vorhandenen konstruktiven Bauteilen und deren technischen Komponenten wie Gullies, Kanal, Sickerschächte usw.			
2.5.10	Schutzbauwerke (Stützmauern)	---	Lage, Art der Konstruktion, Dimension, Zweck	Lage, Art der Konstruktion, Dimension, Zweck, Material	
3.2	Fundamente (Aufnahme)	---	Lage, Höhe, Materialien und Dimensionen, sowie weiters ermittelbare statisch relevante Informationen (Kernbohrung, Suchschlitze)		
3.4	Lasttragende Bauelemente - Aufnahme	---	Lage, Höhe, Materialien und Dimensionen	Wie Aufnahmedichte II sowie weitere ermittelbare statisch relevanten Informationen (Kernbohrung)	

Wie aus Tabelle 15 zu entnehmen ist, sind Stützbauwerke nur in geringem Umfang geregelt. Jedoch sind diese im Aufnahmeprozess bereits mindestens in die Aufnahmedichte B einzuordnen. Bauteile ähnlich den Stützbauwerken (Fundamente und lasttragende Bauelemente) sind durch ein sehr dichtes Aufnahmeprogramm wie etwa Suchschlitze oder Kernbohrungen definiert.

Allgemein lässt sich aus dieser Einteilung schlussfolgern, dass die Aufnahme und die Aufnahmedichte von Stützbauwerken wie folgt unterteilt werden können:

- Aufnahmedichte A: Nur **geringfügiger Einsatz** von Messmitteln, keine Verwendung von Untersuchungsmitteln. Handskizzen zur Erstellung einer Übersicht über die vorliegenden Bauteile zur Planung von weiteren Aufnahmeprozessen.
- Aufnahmedichte B: **Vertiefter Einsatz** von Messmitteln zur Lagebestimmung der Bauwerke und deren Umgebung.
- Aufnahmedichte C: **Detaillierter Einsatz** von Messmitteln und geringfügige Verwendung von Untersuchungsmitteln.
- Aufnahmedichte D: **Höchste Stufe der Aufnahme**. Verwendung von Mess- und Untersuchungsmitteln zur detaillierten Abbildung aller Informationen und Daten.

Unter Berücksichtigung dieser Einteilung wird eine mehrmalige Aufnahme eines Bestandsbauwerkes erforderlich. Einerseits begründet durch die Steigerung des Informationsgehaltes, andererseits durch eine erforderliche Steigerung der notwendigen Kenntnisse über das Stützbauwerk im Zuge der Beurteilung.

### 7.1.3 Fotodokumentation

Die bildliche Dokumentation der Aufnahme eines Bauwerkes stellt einen Hauptbestandteil der Beurteilungsunterlagen dar. Sowohl das Bauwerk und die Umgebung wie auch die Schäden und Schadensbilder an einem Bauwerk können durch Fotografien festgehalten werden.

Mit Hilfe der erstellten Fotodokumentation wird die Rekonstruktion des Bauwerkes vereinfacht, zugleich findet auch eine bildhafte Abbildung der Schäden und Schadensbilder statt. Daher ist bei der Erstellung einer Fotodokumentation auch immer die Lage und Richtung der Bilder festzuhalten, um eine spätere Zuordnung in Plänen und Abbildungen zu ermöglichen.

## 7.2 Erstaufnahme

Einen wichtigen Teil der Zustandserfassung stellt die Erstaufnahme oder Erfassung des Bauwerkes dar. Ziel der Erstaufnahme soll es sein, die Grundlagen für das weitere Vorgehen im Zusammenhang mit der Zustandserfassung und der darauf aufbauenden Zustandsbeurteilung zu liefern. Die Erstaufnahme besteht dabei aus einer Bauaufnahme, um die geometrischen Informationen des Bauwerks zu erfassen, und der Zustandserfassung, bei welcher Informationen über die einzelnen Bauteile und die eingesetzten Baustoffe gewonnen werden sollen.

Die Erstaufnahme besteht einerseits aus der Begutachtung und Dokumentation des Stützbauwerkes vor Ort, andererseits aus der Findung und Dokumentation der vorhandenen oder bereits erstellten Unterlagen. Dabei ist es gerade bei Letzteren wichtig, den Inhalt und die Qualität dieser auf ihre Richtigkeit zu prüfen.

Im Zuge der Zustandserfassung – und hier genauer der Erstaufnahme – ist es erforderlich die gesammelten Informationen zu dokumentieren und dabei auf die zeitlich Nutzung dieser Unterlagen zu achten.

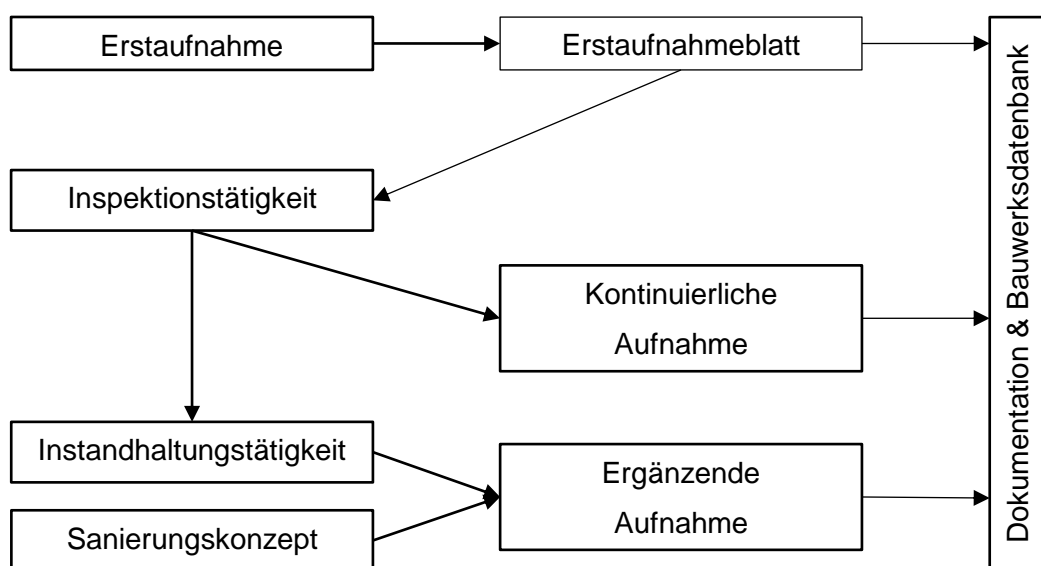


Abb. 54: Möglicher Ablauf der Erstaufnahme und allen folgende Aufnahmeprozessen

### 7.2.1 Erstaufnahmeblatt

Ziel der Erstaufnahme soll der Beginn einer nachhaltigen Dokumentation eines Stützbauwerkes sein. Mit Hilfe eines Erstaufnahmeblattes (oder Bestandsblattes) können diese Informationen gesammelt werden, und auch bei späteren Zustands-

erfassungen als Planungsgrundlage oder Informationsquelle herangezogen werden. Das Ergebnis dieser Erstaufnahme kann dabei abhängig von der Qualität der gewünschten Information oder den gesuchten Daten sehr stark variieren. Die Festlegung bezüglich der Inhalte kann dabei nach den in Kapitel 7.1.2 beschriebenen Informationsdichten geschehen, um eine Vereinheitlichung bei der Aufnahme zu ermöglichen.

Für die Erstellung der Erstaufnahmeblätter sind neben den geometrischen und statischen oder geotechnischen Gesichtspunkten des Bauwerkes an sich auch die möglichen Versagensmechanismen ausschlaggebend. Hierzu können die in Kapitel 6.6 gegebenen Vorschläge zur Auffindung der Versagensmechanismen als Grundlage verwendet werden.

### 7.2.2 Kontinuierliche Aufnahmeprozesse

Nach der Durchführung der Erstaufnahme eines Bauwerkes sollte der Prozess der Aufnahme nicht als abgeschlossen betrachtet werden. Daher sollten die Informationen und Daten des Erstaufnahmeblattes im Zuge jeder weiteren Inspektionstätigkeit im Zusammenhang mit dem Stützbauwerk verifiziert und notwendigenfalls ergänzt werden. Dies kann als kontinuierlicher Aufnahmeprozess, im Zuge der laufenden Überwachung<sup>19</sup>, gesehen werden und ergänzt oder erweitert damit die Ergebnisse des Erstaufnahmeblattes.

### 7.2.3 Ergänzende Aufnahmeprozesse

Neben der kontinuierlichen Erfassung der Bauwerksinformationen im Zuge einer Erstaufnahme oder weiteren Aufnahmeprozessen können auch zusätzliche Aufnahmen des Bauwerkes, bei Durchführung einer Kontrolle<sup>20</sup> oder einer Prüfung<sup>21</sup> erforderlich werden. Dies kann zur Vertiefung der Kenntnisse über das Bauwerk geschehen, und so die Zustandsbeurteilung verbessern, oder im Zuge von Instandhaltungstätigkeiten als Planungsgrundlage herangezogen werden. Zusätzlich kann dadurch der Zustand zu gewissen Zeitpunkten des Bauwerkes erfasst werden. Dies kann in der Dokumentation (und dem Anlagenmanagement) als Grundlage für die Prognose des Schädigungsverhaltens herangezogen werden.

Die Ergebnisse der Erstaufnahme können nach den in RVS 13.04.01 (RVS 13.04.01, 2009) definierten Grundlagen einer Bauwerksdatenbank dargestellt und verarbeitet werden, um mit dieser, oder anderen Datenbank kompatibel zu sein.

---

<sup>19</sup> Siehe Kapitel 7.5.2

<sup>20</sup> Siehe Kapitel 7.5.3

<sup>21</sup> Siehe Kapitel 7.5.4 & 7.5.5

### 7.3 Bauwerksuntersuchungen und Vermessungen zur Bauaufnahme

Der wichtigste Bestandteil der Zustandserfassung von Stützbauwerken sind die Daten und Informationen über das Bauwerk selbst. Einerseits sind dies Daten, welche das Bauwerk als gesamtes betreffen, andererseits sollen Informationen über Bauteile eine Aussage über den Zustand liefern können.

Daher gliedern sich die nachfolgenden Kapitel in die zwei Überbegriffe **Messmittel** und **Untersuchungsmittel**.

- **Messmittel:** Jene Messgeräte und Untersuchungsmethoden, die mit der Untersuchung und Dokumentation des Bauwerkes – als Objekt - an sich im Zusammenhang stehen.
- **Untersuchungsmittel:** Untersuchungsmethoden und Verfahren, die mit der Informationssammlung über die einzelnen Bauteile eines Stützbauwerkes verbunden sind.

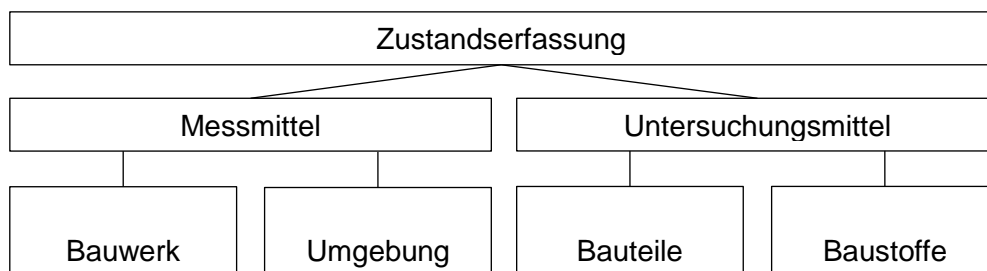


Abb. 55: Unterteilung der Methoden und Verfahren für die Bauaufnahme/Zustandserfassung  
Die gesammelten Ergebnisse aus der Verwendung von Messmitteln und den Untersuchungsmitteln ergibt die Dokumentation der Zustandserfassung. Dies kann sowohl für die Bauaufnahme im Zusammenhang mit der Erstaufnahme sein, also auch für Ergänzungen oder laufende Untersuchungen des Bauwerkes. Gerade bei den Untersuchungsmitteln – im Zusammenhang mit den Bauteilen – werden kontinuierliche Untersuchungen gefordert, um Aussagen über den Zustandsverlauf des Bauteiles liefern zu können. Diese chronologischen Zustandserfassungen sind Inhalt des Kapitels 9.5, da sie zum Monitoring (Beobachtungsmethode) gezählt werden.

Nachfolgend werden größtenteils nur Verfahren und Methoden beschrieben, welche bei der Erstaufnahme und der Erstellung eines Bestandsblattes zur Anwendung kommen können. Gewisse Überschneidungen mit Überwachungsmethoden des Monitorings lassen sich allerdings nicht vermeiden.

### 7.3.1 Messmittel

„Zur Erstellung einer Bauaufnahme<sup>22</sup> ist die Vermessung des Aufnahmegegenstandes zwingend erforderlich. Die zur Anwendung gelangende Messtechnik ist der geforderten Genauigkeit und dem Zweck der Aufnahme anzupassen.“ (ÖNORM A 6250-1, 2013)

Durch diese normative Vorgabe ist die Forderung an eine Vermessung und daraus folgend einer detaillierten Darstellung des bestehenden Stützbauwerkes gegeben. Ebenso wird die Art und Verwendung der Messmittel durch die „geforderte Genauigkeit“ definiert. Um dieser Forderung nachkommen zu können, wird nachfolgend auf in der Praxis verwendete Messmittel eingegangen und eine nähere Beschreibung der gängigen Messmittel angeführt.

- **Messgenauigkeit:**

Wie bereits beschrieben, ist die Messgenauigkeit ein Bestandteil der Allgemeinen Genauigkeit bei der Aufnahme von Bestandsbauwerken. Nicht nur die Qualität und Richtigkeit der Aufnahme sind hiervon abhängig, auch das Ergebnis einer möglichen Beurteilung kann dadurch erschwert oder verfälscht werden.

Auf die detaillierten Forderungen der Messgenauigkeit soll hierbei nicht näher eingegangen werden. Lediglich eine Auflistung der normativen Grundlagen soll dargestellt werden:

- ÖNORM A 6250-1: Aufnahme und Dokumentation von Bauwerken und Außenanlagen
- ÖNORM B 1100: Toleranzen im Bauwesen
- ÖNORM EN 22768 (Normenreihe): Allgemeintoleranzen
- ISO 8322 (Normenreihe): Building construction – Measuring instruments

Neben diesen Forderungen sind oftmals auch Angaben und Randbedingungen des Auftraggebers bei der Auswahl und dem Einsatz von Messmitteln zu berücksichtigen.

- **Lagerichtigkeit:**

Abschließend sei im Zusammenhang mit Messmitteln noch die Lagerichtigkeit zu erwähnen. Dabei sind alle Punkte einer Bauaufnahme auf zumindest einen gesicherten Bezugspunkt mit bekannten Koordinaten zu beziehen. Alle Aufnahmepunkte sollten auf einen gesicherten Ausgangspunkt bezogen werden – dieser kann, abhängig von der Aufnahmedichte auch zu einem späteren Zeitpunkt festgelegt werden.

---

<sup>22</sup> In diesem Zusammenhang sowohl für die Bauaufnahme als auch für die Zustandserfassung



- **Fehlerarten bei Vermessungsaufgaben**

Im Vermessungswesen gibt es drei unterschiedliche Arten von Fehlern. Diese sind sowohl in ihrer Entstehung, als auch in ihren Auswirkungen unterschiedlich.

Tabelle 16: Fehlerarten (Wiedemann, 2004)

Art	Beispiel	Wirkung	Vermeidung oder Reduzierung
zufälliger Fehler	Ablesefehler am Messband	Fehlerfortpflanzung	Mehrfachmessungen und Mittelbildung
systematischer Fehler	Messband zu kurz / Mehrfachanwendung erforderlich	summiert sich auf	Kontrolle des Messsystems – Kalibrierung / Umschlagmessung
grober Fehler	Messbandlage vergessen	deutlicher Einfluss	unabhängige Kontrolle

- Zufällige Fehler sind in der Regel in ihrem Erscheinen normalverteilt und meist unvermeidbar. Beispiel: Verwendung eines zu kurzen Messbandes bei der Erfassung einer Messstrecke - durch ungenaues Anlegen bei der Erfassung einer Einzelstrecke wird die Messung der Gesamtstrecke verfälscht.
- Systematische Fehler entstehen durch einen fortlaufenden Fehler und werden daher immer wieder aufaddiert. Beispiel: Ein durch Temperatureinflüsse ausgedehntes Messband wird verwendet um eine Strecke abzumessen – der Fehler wird bei jeder Messung mitaufaddiert.
- Grobe Fehler werden durch Unachtsamkeit bei der Erstellung der Messungen verursacht. Beispiel: Beim Notieren eines Messwertes passiert ein Zahlensturz.

In der Praxis ist eine saubere Trennung oder auch Einteilung der Fehler nicht immer eindeutig möglich.

- **Überbestimmung**

Zufällige und grobe Fehler können durch sorgfältiges und geplantes Vorgehen verringert werden. Zufällige Fehler lassen sich jedoch niemals ausschließen. Daher ist es oftmals erforderlich, die durchgeführten Messungen durch andere, zusätzliche Messungen zu kontrollieren. Einerseits ist es durch diese Messungen möglich, die Richtigkeit anderer Messungen zu überprüfen, andererseits kann damit auch die Genauigkeit der Bauaufnahme erhöht werden. Durch die Verwendung eines Messnetzes ist eine redundante Aufnahme möglich. Dieses Netz soll das gesamte Bauwerk und dessen Umgebung miteinschließen und nach Möglichkeit an ein übergeordnetes Vermessungsnetz (Festpunkte) angeschlossen sein.

• **Einteilung der Messmittel**

Am einfachsten lassen sich Messmittel nach dem Ergebnis der Messung einteilen. Hierbei kann zwischen

- Winkelmessung,
- Streckenmessung und
- Höhenmessung

unterschied werden.

Weiters lässt sich diese Unterteilung noch in Unterkategorien der Messung einteilen. Daraus können die verwendeten Messprinzipien abgeleitet werden.

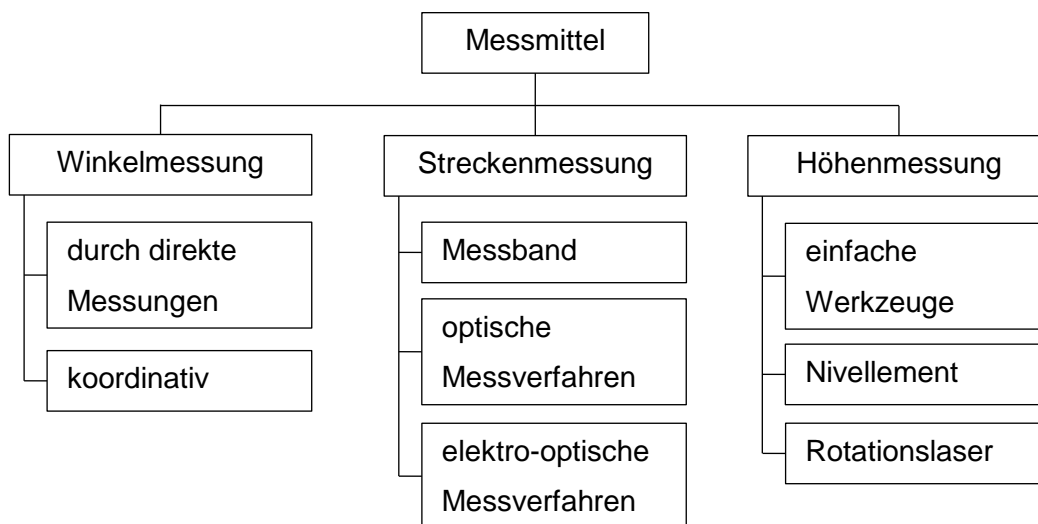


Abb. 56: Allgemeine Einteilung der Messmittel modifiziert aus (Wiedemann, 2004)

Neben dieser Einteilung können Messmittel auch noch nach der Messung – dem Messergebnis – unterteilt werden: (ÖNORM B 1100, 2006)

- Länge, Breite
- Niveau oder Höhe, Horizontale Lage zur Waagrechten oder Senkrechten
- Winkel und Neigung
- Richtung bezogen auf die Vertikale
- Dicke, Geradheit und Wölbung
- Ebenheit, Parallelität

Die oben dargestellten Einteilungen sollen lediglich der Übersicht dienen.

### 7.3.1.1 Winkelmessmittel

Bei der Winkelbestimmung ist auf die korrekte Begriffsverwendung aus dem Vermessungswesen zu achten. Die Richtung beschreibt die Ablesung eines Messgeräts, bezogen auf die Ausgangslage dessen. Ein Winkel wird durch die Differenz zwischen zwei Richtungen definiert, während der Richtungswinkel die rechtsläufige (im Uhrzeigersinn) Angabe zwischen dem Gitternord<sup>23</sup> und der Richtung zum Zielpunkt darstellt.

- **Pythagoreischer Lehrsatz**

Die einfachste Möglichkeit zur Bestimmung eines rechten Winkels ist die „3 : 4 : 5 – Regel“ nach Pythagoras. Diese besagt, dass die Seiten eines rechtwinkligen Dreiecks im Verhältnis 3 : 4 : 5 aufgeteilt sind.

- **Lote**

Ein weiteres, bereits seit Langem in Gebrauch stehendes Messmittel sind Lote. Das klassische Lot besteht aus einer Schnur mit einem am Ende befestigten Gewicht. Diese Schnur bildet – der Schwerkraft folgend – eine vertikale Bezugslinie von der aus auf die Schiefstellung von der Vertikalen geschlossen werden kann. Heute kommen oftmals Laserlote zur Anwendung. Hierbei wird eine – nicht immer zwingend vertikale – Bezugslinie geschaffen.



Abb. 57: Links – Schnurlot (Wikipedia, Lot (Werkzeug)); Rechts – Laserlot mit zugehöriger Bezugsebene (Hilti)

Des Weiteren sind optische Lote zur Justierung und Ausrichtung von Theodoliten oder ähnlichen Geräten in Verwendung.

- **Messwinkel**

Mit einem Messwinkel kann der Winkel zweier kleinerer Bauteile zueinander bestimmt werden. Da es sich bei diesem Messmittel lediglich um zwei zueinander verdrehbare – meist aus Metall – gefertigte Elemente handelt, ist diese Form der Winkelbestimmung

<sup>23</sup> „Gitternord = die Parallele zum Ausgangsmeridian“ (Wiedemann, 2004)

nicht sehr präzise und kann sehr einfach durch Unebenheiten der Oberfläche oder durch unsachgemäße Verwendung verfälscht werden.

- **Doppelpentagonprisma**

Bei einem Doppelpentagonprisma befinden sich zwei fünfeckige Glasprismen übereinander. Durch die Anordnung dieser beiden Prismen zueinander wird es möglich durchzublicken und in einem Prisma nach links, im anderen nach rechts und zwischen den beiden Prismen nach vorne zu blicken. Dadurch lassen sich rechte Winkel zwischen zwei Objekten bestimmen und die Winkel zwischen mehreren Objekten. Diese Art des Messmittels kann häufig jedoch nur für Absteckungen und der gleichen verwendet werden.

- **Theodolit**

„Der Theodolit dient zum Messen und Abstecken beliebig großer Horizontal- und Vertikalwinkel.“<sup>24</sup> Ein Theodolit besteht aus drei Achsensystemen. Die vertikale Stehachse, die horizontale Kippachse und die Zielachse. Die Zielachse und die Kippachse stehen vertikal aufeinander, womit die Neigung des Fernrohres zur Vertikalen bestimmt werden kann. Durch Drehung des Gehäuses um die vertikale Stehachse kann die Verdrehung zu einer vertikalen Bezugsebene bestimmt werden.

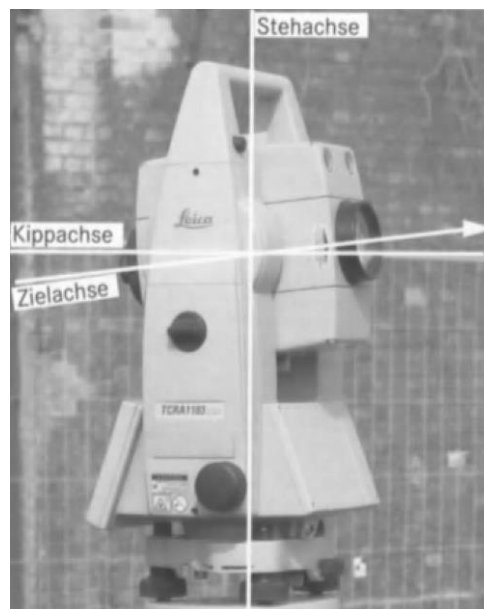
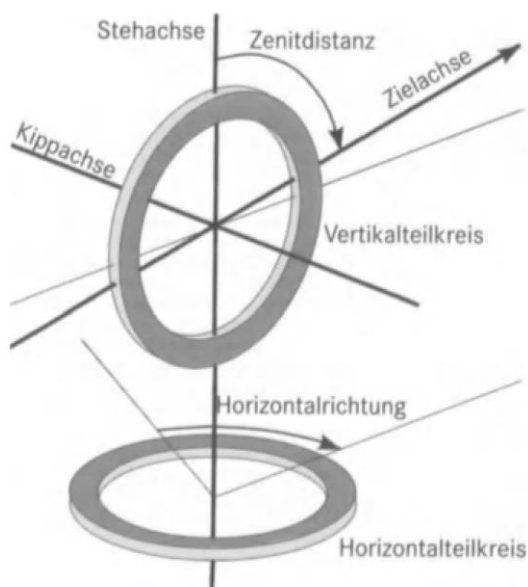


Abb. 58: Links – Achsensystem eines Theodoliten; Rechts – Schema des Achsensystems eines Theodoliten (Wiedemann, 2004)

Theodoliten können zusätzlich mit einem System zur Entfernungsmessung ausgestattet werden.

<sup>24</sup> (Matthews, 1996)

### 7.3.1.2 Streckenmessmittel

Als Strecke wird der horizontale Abstand zwischen zwei Punkten bezeichnet. Schräg gemessene Abstände sind als Raum- oder Schrägstrecke zu bezeichnen. Die Möglichkeiten zur Streckenbestimmung können in die drei Messarten

- Verwendung von Messbändern,
- optische Messmittel und
- elektro-optische Messmittel

eingeteilt werden.

- **Gliedermaßstab**

Eines der bekanntesten Messmittel ist der Gliedermaßstab. Dieses – bereits sehr alte Messmittel – kann zur Messung von kleinen Strecken herangezogen werden.

- **Messband & Rollmessband**

Neben dem Gliedermaßstab ist das Messband (Rollmeter) eines der am häufigsten verwendeten Messmittel. Durch seine kleine Bauart und der praktikablen Anwendung kommt es oft bei kleinen und schwierig zugänglichen Bauteilen zum Einsatz. Um die Beschränkungen in der Messung von Längen zu verringern, werden oftmals auch Rollmessbänder verwendet. Mit diesen können Strecken bis zu einer Länge von 100 m abgemessen werden.



Abb. 59: Links – digitaler Rollmeter (Conrad) ; Rechts – Rollmessband (Construction)

- **Nivellierlatte**

Die Nivellierlatte – meist zur Höhenbestimmung im Zusammenhang mit dem Nivellette verwendet - kann auch für einfache Streckenmessungen herangezogen werden.

- **Basislatte**

Bei der optischen Streckenmessung kann eine so genannte Basislatte verwendet werden. Dazu kann aus den geometrischen Zusammenhängen eines Dreieckes die

Länge eines Streckenabschnittes zweier Punkte zueinander bestimmt werden.

- **Laserentfernungsmesser**

Eine der am häufigsten verwendeten Messmittel stellen die Laserentfernungsmessgeräte dar. Bei diesem elektro-optischen Messsystem wird die Laufzeit einer elektromagnetischen Welle bestimmt. Aus der gemessene Laufzeit und der bekannten Lichtgeschwindigkeit  $c$  ( $\sim 300.000$  km/s) kann die Entfernung bestimmt werden.



Abb. 60: Links – einfaches Laserentfernungsmessgerät (Leica Geosystems) ; Rechts – Leica 3D Disto (Leica Geosystems)

Diese Art der Streckenmessung kann einzeln in Form eines Handlaserentfernungsmessers verwendet werden oder gemeinsam mit einem Theodolit in Form einer Totalstation zum Einsatz kommen.

### 7.3.1.3 Höhenmessmittel

Im Vermessungswesen wird unter der Höhenmessung die Bestimmung der Höhendifferenz zu einer Bezugsfläche auf Meeresniveau verstanden – für Österreich ist dies der Pegelstand von 1875 bzw. 1900 am Molo Sartorio in Triest und wird mit  $m \ddot{u} A.$  abgekürzt. In dieser Arbeit soll mit der Höhenmessung jedoch die Höhe eines Bauwerkes bezogen auf eine nahegelegene Bezugsebene – meist das umliegende Gelände – verstanden werden.

- **allgemeine Messmittel**

Da die Höhe eines Bauwerkes – mit der Ausnahme von gekrümmten Bauwerken – lediglich eine vertikale Strecke bezeichnet, können die meisten Messmittel, die zur Bestimmung von Strecken verwendet werden auch zur Bestimmung der Höhe herangezogen werden. Neben diesen bereits beschriebenen Messmitteln kommen jedoch auch noch spezielle, besonders zur Höhenbestimmung geeignete Messmittel zum Einsatz.

- **Schlauchwaage**

Auf dem Prinzip der kommunizierenden Gefäße basierend, stellt die Schlauchwaage eines der ältesten Messinstrumente überhaupt dar. Zwar kann mit diesem Gerät nicht direkt die Höhe – als Strecke – bestimmt werden, jedoch ermöglicht es die Erstellung einer horizontalen Bezugsebene, aufgrund derer unter Zuhilfenahme weiterer Messmittel eine Höhendifferenz dargestellt werden kann. Des Weiteren können Schlauchwaagen zur Kontrolle der Ebenheit oder Geradlinigkeit von horizontalen Bauteilkanten eingesetzt werden. Schlauchwaagen – heutzutage digital – werden sehr häufig zur Kontrolle oder Überwachung im Bereich des Monitorings eingesetzt.

- **Setzlatte**

Neben der Schlauchwaage können auch Setzlaten – auch als Wasserwaagen bekannt – zur Herstellung einer horizontalen oder vertikalen Bezugsebene verwendet werden. Häufig kommen diese Messmittel beim Ausstecken von Bauwerkskanten oder bei der Herstellung von Geländeoberkanten zum Einsatz.

- **Nivelliergerät**

Ein Nivelliergerät ist neben der Erstellung einer horizontalen Bezugsebene auch zur direkten Bestimmung des Höhenunterschieds zwischen dem Aufstellungspunkt des Nivelliers und dem Standpunkt der Messlatte geeignet. Dazu wird durch die Zielachse des Fernrohrs des Nivelliergeräts der Höhenunterschied an einer horizontal positionierten Messlatte abgelesen. Das Ablesen kann dabei analog oder digital erfolgen.

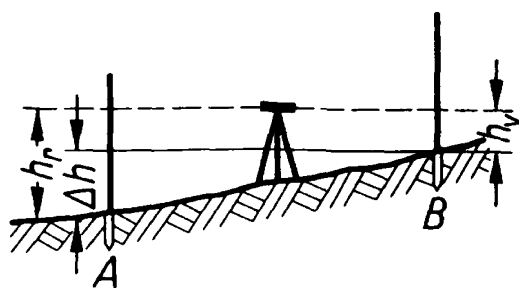


Abb. 61: Links – Bestimmung des Höhenunterschieds (Matthews, 1996) ; Verwendung eines digitalen Nivelliergeräts (Leica Geosystems)

- **Rotationslaser**

Das heutzutage wohl am häufigsten zur Herstellung einer Bezugsebene genutzten Messmittel sind dynamische Laserlote – auch als Rotationslaser bezeichnet. Dabei wird ein Laserstrahl durch Rotieren um eine oder mehrere Achsen auf umliegende

Bauteile oder Elemente projiziert. Aufgrund ihrer Ausführung können manche Geräte gemeinsam mit einer Nivellierlatte zur Höhenbestimmung verwendet werden.

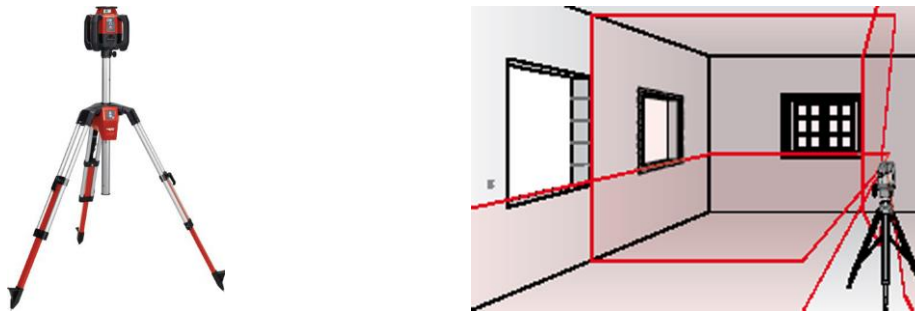


Abb. 62: Links –Rotationslaser (Hilti) ; Rechts – Mehrachsenlaser (Hilti)

Neben den klassischen Rotationslasern, mit denen lediglich eine horizontale Bezugsebene erstellt werden kann, sind bei der Bauaufnahme oftmals Mehrachsenlaser im Einsatz. Mit diesen kann sowohl ein horizontaler, als auch vertikaler Bezug hergestellt werden.

- **Teleskopmeter**

Ein beliebtes Instrument zur direkten Bestimmung des Höhenunterschiedes ist das sogenannte Teleskopmeter. Hierbei handelt es sich um eine Messlatte, die durch vertikales teleskopieren auf die Höhe des zu messenden Bauteils eingerichtet wird. Anschließend kann die abgewickelte Länge dieser Messlatte nachgemessen, oder direkt durch eine digitale Anzeige abgelesen werden.

#### 7.3.1.4 Sonstige Messmittel

Neben den Messmitteln zur Bestimmung von Winkeln, Strecken oder Höhen gibt es auch noch andere Messmittel, die sich nicht direkt in diese drei Untergruppen einteilen lassen.

- **Tastlehren**

Die Tastlehre dient zum Festhalten der Geometrie eines bestimmten Körpers und dem anschließenden vermessen dieser Geometrie durch ein anderes Messmittel. Diese Geometrie kann durch eine Strecke oder Fläche definiert werden, oder durch die Form eines Schlitzes, Spaltes oder Risses definiert werden. Im Zusammenhang mit Stützbauwerken werden Tastlehren zur Bestimmung von Risstiefen oder Bauteilspalten verwendet. Und kommen oftmals gemeinsam mit Risslehren zum Einsatz.



- **Messkeile / Messlehren**

Eine besondere Form der Tastlehren stellen die Messkeile dar. Dabei handelt es sich um keilförmige Messinstrumente, die in einen Spalt oder Schlitz eingeführt werden können, und bei denen direkt die Tiefe dieser abgelesen werden kann.

- **Totalstationen**

In einer Totalstation werden die Möglichkeiten der Winkelmessung und der Streckenmessung kombiniert. Dabei wird ein elektronischer Theodolit und eine elektro-optisches Entfernungsmessgerät zusammengefügt.



Abb. 63: Totalstation (Leica Geosystems)

Ein Vorteil dieser digitalen Geräte ist, dass standortbezogene Eigenschaften wie Temperatur oder Luftdruck bereits während der Messung berücksichtigt werden können. Ebenso haben moderne Totalstationen bereits Systeme zur Speicherung und Verarbeitung von Daten implementiert, wodurch das Auftreten von groben Fehlern verringert wird.

Bei einer motorisierten und reflektorlosen Ausführung ist die Verwendung des Geräts durch eine Person ermöglicht.

### 7.3.2 Untersuchungsmittel

Im Gegensatz zu den Messmitteln – welche zur Bestimmung von geometrischen Zusammenhängen verwendet werden – dienen die Untersuchungsmittel der Bestimmung von Bauteileigenschaften. In der Baustoff- und Bauteilprüfung werden die hier nachfolgend beschriebenen Verfahren auch als Diagnoseverfahren oder Untersuchungsmethoden bezeichnet.

Generell lassen sich die Untersuchungsmittel im Zusammenhang mit der Bauwerksdiagnostik in die drei Bereiche zerstörungsfrei, zerstörungsarm und zerstörend unterteilen. Diese Unterteilung wird im nachfolgenden Kapitel jedoch nicht verwendet, da sie wenig zielführend im Zusammenhang mit Stützbauwerken erscheint. Vielmehr wird hier eine Unterteilung in die konstruktiven, die materialspezifischen und die geotechnischen Untersuchungsmittel vorgenommen.

Aus den obigen Aufzählungen wird ersichtlich, dass eine sehr hohe Interdisziplinarität in diesem Bereich der Zustandserfassung vorliegt. Zwar weisen die meisten Berufe – im Bereich des Bauwesens – eine gewisse „artverwandte Ausbildung“ auf, jedoch handelt es sich hierbei meist nur um sehr rudimentäre Kenntnisse, welche zwar zur Auffindung des erforderlichen Spezialgebietes ausreichen, jedoch keine qualifizierte und fundierte Aussage zu Spezialthemen aus diesem Bereich zulassen.

Allen drei Untersuchungsbereichen ist ein Verfahren gemein. Jenes des **Augenscheins**. Durch langjährige Erfahrung, oder Kenntnisse aus der Durchführung ähnlicher oder gleicher Projekte kann durch das geschulte Auge des Ingenieurs bereits ein gewisses Vorergebnis geliefert werden. Durch das Vorliegen von Schadensbildern oder gewisser „Systembestandteile“ kann oftmals bereits die Reichweite der Ergebnisse einer durchgeführten Untersuchung abgeschätzt oder zumindest qualitativ bewertet werden.

### 7.3.2.1 Konstruktive Untersuchungsmittel

Mit diesen Untersuchungsmitteln soll der allgemeine konstruktive Zustand eines Bauteiles festgestellt werden. Zusätzlich zu dieser Feststellung können diese Untersuchungsmittel auch zum Erlangen von Informationen oder zum Ergänzen dieser im Zusammenhang mit den konstruktiven Eigenschaften eines Bauteiles verwendet werden. Des Weiteren werden Verfahren abgebildet, mit deren Hilfe der zeitliche Verlauf eines Schadens oder Mangels kontrolliert und überwacht werden kann – wobei die Messmittel zur Überwachung in Kapitel 9.5.11.4 ausführlicher behandelt werden.

- **Kernbohrungen**

Eine der genauesten Möglichkeiten zur Untersuchung und Feststellung des konstruktiven Zustandes eines Bauteiles stellen direkte Probenahmen dar. Bei bautechnischen Bauteilen wie Beton- oder Stahlbetonbauwerken kann diese Entnahme am einfachsten durch Kernbohrungen bewerkstelligt werden. Mit Hilfe dieser Bohrungen können Fenster in das Innere eines Bauteiles hergestellt werden. Durch dieses kann einerseits der Zustand festgestellt werden, andererseits können auch konstruktiv wichtige Informationen (wie z.B. die Betondeckung, der Bewehrungsabstand oder die Karbonatisierungstiefe) über das Bauteil gewonnen werden.

Wie die Bezeichnung Kernbohrung bereits erahnen lässt, wird durch diese ein Kern aus dem Bauteil gewonnen. Die Kernbohrung kann dabei kontinuierlich mit Hilfe eines durchgehenden Bohrkernes oder diskontinuierlich durch das mehrmalige Entfernen des Bohrkerns und das Anstückeln eines Bohrgestänges an den Bohrkern erfolgen.



Abb. 64: Links – schienengeführtes Kernbohrgerät; Rechts – Ansicht eines Kernbohrers (Hilti)

Kernbohrungen weisen jedoch aufgrund ihrer im Vergleich zu den Abmessungen des Gesamtbauwerkes sehr geringen Dimensionen eine sehr hohe Fehlerquelle auf. Daher ist bei der Verwendung von Kernbohrungen der Einsatz von ergänzenden, meist zerstörungsarmen oder zerstörungsfreien Untersuchungsmitteln zu empfehlen. Des Weiteren sollten Kernbohrungen, gerade im Bereich von statisch relevanten Bereichen eines Bauteils zur Vermeidung einer zu starken Schwächung nur sehr begrenzt eingesetzt werden. Da das Ziel einer Kernbohrung der Aufschluss der statisch

relevanten Bereiche (wie z.B. die im Allgemeinen statisch hoch beanspruchten Anschlussbereich zwischen Wandschenkel und Fundament einer Winkelstützmauer) sein soll, wird genau durch Herstellung dieser Bohrungen das statische Gefüge des Bauwerkes geschwächt. Diese Schwächung muss durch einen Ingenieur bewertet werden. Im Zuge dieser Bewertung sollten auch die späteren Auswirkungen nach Durchführung einer solchen Untersuchung mitbetrachtet werden. Abhängig von der Tiefe des Bauteils, der Festigkeit des zu durchbohrenden Materials und bei Stützbauwerken oftmals auch der Zugänglichkeit sind verschiedene Bohrdurchmesser möglich. Diese reichen üblicherweise von 50 mm bis 400 mm und sind neben der erforderlichen Aufschlussgröße auch vom Hersteller des Bohrgerätes abhängig.

Da mit Hilfe einer Kernbohrung der gesamte Querschnitt eines Bauteiles ersichtlich wird, handelt es sich hierbei um ein sehr aussagekräftiges Untersuchungsmittel. Einige der wichtigsten Kenntnisse aus einer Kernbohrung sind:

- Bauteilabmessung entlang der Bohrung
- Materialqualität über den Querschnitt ersichtlich
- Betondeckung erkennbar
- Bewehrungslage und Bewehrungsdurchmesser erkennbar (abhängig vom  $\emptyset$ )
- Einsicht in den „verdeckten“ Bereich des Stützbauwerkes (erdseitige Arbeitsfuge)



Abb. 65: Links – Einblick in eine Kernbohrung (Kernbohrservice) ; Rechts – Bewehrungsführung an einem Bohrkern erkennbar (Fraebag)

Neben der Erstellung einer Kernbohrung können auch noch kleinere, weniger invasive Maßnahmen wie Endoskopien durchgeführt werden.

- **Rissaufnahme**

Häufig stellen Risse eines der auffälligsten Schadensbilder bei Betonbauwerken dar. Diese Risse können in unterschiedlichster Form und Ausprägung vorkommen. Des Weiteren können Risse durch mannigfaltige Ursachen entstehen. Bei der Aufnahme von Rissen ist neben der genauen Lage im Bauwerk, auch noch der Zustand des Risses in der Aufnahme mit zu berücksichtigen. Genauere Informationen zur Erkennung und Aufnahme von Risse sind in „Bauphysik Kalender 2012“ (Fouad, 2012) und „Betoninstandsetzung – Baustoff-Schadensfeststellung-Instandsetzung“ (Weber, 2013) gegeben.

Zur Bestimmung der Rissbreite können entweder Vergleichswerkzeuge – wie etwa Rissbreitenvergleichsmaßstäbe oder Rissbreitenmesskarten – oder optische Untersuchungsmittel wie Risslupen verwendet werden.



Abb. 66: Links – Rissbreitenvergleichsmaßstab; Rechts – Risslupe (Weber, 2013)

Die Bestimmung der Tiefe eines Risses gestaltet sich hingegen etwas schwieriger. Breite Risse können direkt durch eine Schublehre oder dergleichen bis zur Risswurzel hin bestimmt werden. Die Tiefe von dünneren Rissen kann durch eine Bohrkernentnahme bestimmt werden. Dazu wird der Riss vor der Herstellung der Bohrung durch Epoxidharz verschlossen – dadurch bleibt die Struktur des Risses erhalten.

- **Bestimmungen im Zusammenhang mit der Bewehrung**

Um eine korrekte Aussage über den Zustand – und somit das statisch-konstruktive Verhalten – eines Stahlbetonbauteiles treffen zu können sind Kenntnisse über den Bewehrungsgrad, den Bewehrungsabstand, die Betondeckung und eventuelle Korrosionsschäden erforderlich. Zur Bestimmung dieser Parameter können unterschiedliche, sowohl zerstörungsfreie, als auch zerstörende Verfahren angewendet werden.

Bei bereits geschädigten Bauteilen – durch Betonabplatzungen oder Lochfraskorrosion – kann eine direkte, visuelle Begutachtung der Bewehrung vorgenommen werden.

Beim Fehlen einer oberflächennah vorhandenen Schädigung können auch oberflächliche Bereiche zur Aufnahme der Bewehrung freigelegt werden. Wie bei allen zerstörenden Verfahren sollten jedoch auch diese Schwächungen des Bauteils sehr sorgfältig geplant und kontrolliert werden. Durch eine großflächige Freilegung der Bewehrung wird jedoch die Qualität der Bauaufnahme erhöht. Es können sowohl die Betondeckung, der Bewehrungsdurchmesser und der Bewehrungsabstand bestimmt werden. Neben diesen Parametern kann bei geschädigten Bauteilen die Abrostrate des Betonstahls bestimmt werden – womit eine Aussage über die Korrosionsschädigung möglich ist.



Abb. 67: Links – großflächige Abplatzungen eines Stahlbetonbauteiles; Rechts – Bestimmung des Stabstahldurchmessers (Weber, 2013)

Ist eine direkte, visuelle Untersuchung der Bewehrung eines Bauteils nicht möglich, so kann mit Hilfe von zerstörungsarmen oder zerstörungsfreien Untersuchungsmitteln die Untersuchung der Bewehrung ermöglicht werden. Als einfachstes Gerät zur Ortung der Bewehrung kann ein Haftmagnet verwendet werden. Diese haben im Allgemeinen nur eine sehr geringe Eindringtiefe von ca. 15 mm und können nur zur quantitativen Auffindung der Bewehrungsstäbe verwendet werden. Weitaus effizienter sind hierbei Bewehrungssuchgeräte. Diese Geräte basieren auf dem magnetischen Gleichfeldverfahren und lassen eine Aussage über die Betondeckung und die Bewehrungslage zu.



Abb. 68: Geräte zur Auffindung von Bewehrung (Hilti)

Mit Hilfe dieser Geräte kann jedoch meist keine genaue Aussage über den Zustand oder den Durchmesser der Bewehrung getroffen werden. Neben diesen Einschränkungen ist auch noch der Messbereich dieser Geräte begrenzt. Diese Beschränkung beruht auf der Stärke des angewendeten Magnetfeldes und der Dichte des untersuchten Betonbauteils. Abhängig vom Hersteller der Geräte liegt diese Tiefenbeschränkung zwischen 50 mm und 200 mm.

Um die genaue Lage der Bewehrung und eine bessere Bestimmung der Betondeckung zu ermöglichen, können auch Induktionsthermografen verwendet werden. Dabei wird die Bewehrung durch elektromagnetische Induktion erwärmt und die Wärmeabgabe durch Erstellung eines Wärmebildes gemessen. Aus den Wärmestrahlungsbereichen an der Betonoberfläche können die Betondeckung und der Bewehrungsdurchmesser bestimmt werden. Da dieses Verfahren jedoch einen sehr großen Aufwand erfordert wird es nur in Einzelfällen eingesetzt.

Zur genaueren Darstellung der Bewehrungslagen, deren Durchmesser und der Betondeckung kann auch das Radarverfahren angewendet werden. Dieses Verfahren bietet die Möglichkeit, aufgrund der eingesetzten stärkeren Strahlung, auch tiefere Bewehrungslagen effektiv darzustellen. Durch die Reflektion der Radarstrahlen an Zonen einer Materialänderung und die damit verbundene Laufzeitänderung ist es möglich, sowohl den Durchmesser, als auch die Betondeckung zu bestimmen. Aufgrund ihrer sehr handlichen Bauform kommen diese Geräte sehr oft zum Einsatz.



Abb. 69: Geräte zur Auffindung von Bewehrung (Hilti)

Wurden in den Bauteilen nichtmagnetische Bewehrungsstähle – also Edelstahl oder verzinkte Elemente – verwendet, so ist der Einsatz von Untersuchungsmitteln auf Basis des Wirbelstrom-Verfahrens erforderlich.

Des Weiteren gibt es noch verschiedenste Möglichkeiten zur Untersuchung des Zustandes der Bewehrung selbst. Diese sind in den materialspezifischen Untersuchungsmitteln in Kapitel 7.3.2.2 näher beschrieben.

- **Bestimmungen im Zusammenhang mit der Betonstruktur**

Nach den Elementen der Bewehrung sollten auch Fehlstellen der Betonstruktur an sich untersucht werden. Oberflächlich können solche Mängel durch „Betonester“ oder Bluterscheinungen des Betons gekennzeichnet sein. Diese sind entweder direkt visuell feststellbar, oder mit der Abklopfmethode erkennbar. Bei Massenbetonbauteilen sind Fehlstellen im Inneren meist sehr unwahrscheinlich, da hier die Verdichtung des Betons in der Einbringungsphase sehr einfach ist. Bei hochgradig bewehrten Bauteilen oder Bauelementen mit schwierigen geometrischen Formen gestaltet sich die Verdichtung jedoch nicht so einfach. Durch einen hohen Bewehrungsgrad kann es dazu kommen, dass sich der Beton nicht in die gewünscht Form einbringen lässt, oder sich in Bereichen der Bewehrung verkeilt und es dadurch zu einer Verstopfung der Betoniergassen kommt. Bei schwierigen Geometrien oder komplexen Bauteilen kann die erforderliche Verdichtung – oder besser gesagt die notwendige Verdichtungsenergie – nicht in das Bauteil eingebracht werden.

Aufgrund ihres geringen Energieeintrags ist die Abklopfmethode nur bis in beschränkte Tiefen einsetzbar. Um größere Tiefen zu erreichen sind andere Methoden erforderlich.

Für größere Tiefen können Echo-Verfahren auf Basis des Echlotprinzips angewendet werden. Diese weisen jedoch eine große Störanfälligkeit für vorhandene, und zu dicht verlegte Bewehrung auf. Neben diesem Verfahren können auch noch zuverlässigere Röntgen- oder Thermografieverfahren angewendet werden. Diese sind in ihrer Eindringtiefe beinahe uneingeschränkt und können sowohl zur Auffindung von Bewehrung, als auch zur Untersuchung von Fehlstellen innerhalb des Betonbauteils verwendet werden. Nachteilig ist jedoch die schwierige Handhabung solcher Geräte und der große Platzbedarf im Bereich der Untersuchungsstelle.



### 7.3.2.2 **Materialspezifische Untersuchungsmittel**

Bei dieser Form der Untersuchungsmittel sollen die Eigenschaften eines bestimmten Baustoffes festgestellt oder untersucht werden. Hierbei sind jedoch nur die „konstruktiven“ Baustoffe – wie etwa Stahl, Beton oder Holz – gemeint. Bei Untersuchungen im Zusammenhang mit den verwendeten Materialien kann in in-situ und Laborversuche unterschieden werden. Um die Umstände bei in-situ Versuchen zu berücksichtigen, sollte der wahrscheinliche Streuungsbereich dieser Messergebnisse berücksichtigt werden. Laboruntersuchungen können zusätzlich zu einer höheren Genauigkeit auch zusätzlich Ergebnisse (im Vergleich zu in-situ Versuchen) liefern.

- **Bestimmung der Betongüte**

Kleinere Verfahren zur Bestimmung der Abriebfestigkeit (Klebestreifenmethode) und die Ritzprobe mit Hilfe eines spitzen Gegenstandes zur Bestimmung der Oberflächenhärte können sehr einfach an allen zugänglichen Bereichen des Bauwerkes durchgeführt werden.

- Dichtigkeitsuntersuchung an Betonoberflächen

Zur Beurteilung der Dichtigkeit – und damit der Durchlässigkeit – eines Betonbauteils können sehr einfache Methoden angewendet werden. Am einfachsten kann der Abperleffekt nach dem Benetzen des Bauteils visuell beurteilt werden. Weiters sind Untersuchungsmittel zur quantitativen Untersuchung der Kapillarität der Betonoberfläche vorhanden.

- Feuchtegehalt des Betons

Der Feuchtegehalt des Betons ist ein qualitativer Parameter für die Beurteilung der Schädigung des Betons. Einerseits kann damit die Durchlässigkeit des Betons ermittelt werden, andererseits auch eine mögliche Abnahme der Druckfestigkeit infolge einer Durchfeuchtung des Bauteils. Großflächige Beurteilungen sind mit Hilfe von Thermografieuntersuchungen möglich. Feuchte Bauteile weisen einen höheren spezifischen Wärmedurchgang auf und sind somit auf Thermografieaufnahmen ersichtlich. Detailliertere Untersuchungsverfahren stellen die CM-Methode oder die H-NMR Methode dar. Hierzu sind jedoch Probenahmen erforderlich. Diese Proben können entweder aus bereits abgeplatzten Bauteilelementen entnommen oder durch eine Kernbohrung gewonnen werden. Bei beiden Entnahmen ist jedoch auf eine Verfälschung der Probe durch die Umgebungsfeuchte zu achten.

- Bestimmung der Oberflächenzugfestigkeit

Mit Hilfe des Abrissversuches kann die Oberflächenzugfestigkeit des Betons bestimmt werden. Mit dieser Untersuchung kann die Eignung der Betonoberfläche für die Instandsetzung des Betons oder die Herstellung einer zusätzlichen Betonschicht nachgewiesen werden. Mit der Kontrolle der Haftzugfestigkeit kann dabei der Verbund zwischen zwei unterschiedlichen Schichten verifiziert werden, während die Oberflächenzugfestigkeit zur Abschätzung der Betondruckfestigkeit herangezogen werden kann. Ebenso kann die Qualität von durchgeführten Sanierungsmaßnahmen – in Form einer Oberflächenbehandlung – mit dieser Methode kontrolliert werden.

- Rückprallhammer nach Schmidt

Zur Bestimmung der oberflächennahen Betondruckfestigkeit kann die Methode des Rückprallhammers nach Schmidt angewendet werden. Dieses Verfahren basiert auf dem Energieerhaltungssatz. Wird Energie – hierbei in Form eines Schlages – in einen Werkstoff eingeleitet, so wandelt sich ein Teil dieser Energie um. Je härter der Werkstoff, desto weniger Energie wird durch die Verformung des Bauteils aufgenommen. Durch den Rückprallhammer wird die nicht aufgenommene Energie gemessen und diese kann der Betondruckfestigkeit gegenübergestellt werden.

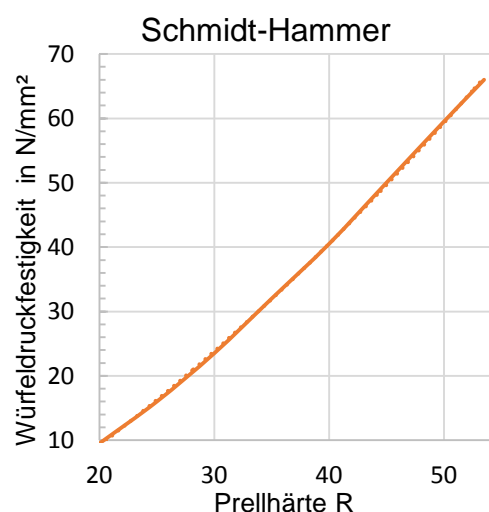


Abb. 70: Links – Rückprallhammer an einer Bauteiloberfläche (Bögl) ; Rechts – Umrechnungstabelle zwischen der Rückprallzahl und der Betondruckfestigkeit

Da dieses Verfahren auf Rückschlüssen aus Versuchen an Bauteilen beruht und daher eine gewisse Streuung der Messergebnisse vorliegt sind Randbedingungen bei der Bestimmung der Betondruckfestigkeit nach Schmidt zu beachten. Des Weiteren gilt die hierbei ermittelte Betondruckfestigkeit streng genommen nur für oberflächennahe Bereiche des Betonbauteils. Ein Rückschluss auf die Verteilung der Betondruckfestigkeit über die Querschnittstiefe kann mit Hilfe einer Kernbohrung und der aus den Probekernen ermittelten Festigkeiten in Laborversuchen gezogen werden.

- **Untersuchung des Betonstahls**

Ebenso wie bei der Bestimmung der Parameter für die Bewehrung kann auch der Zustand der Bewehrung bei freigelegten Bauteilbereichen am besten untersucht werden. So können der Korrosionsgrad und der allgemeine Zustand direkt und visuell bestimmt werden. Neben diesen Arten der Untersuchungsmittel können auch noch elektronische Untersuchungsmittel angewendet werden. Diese basieren meistens auf dem Prinzip der Potentialfelddifferenzen, mit welcher es ermöglicht wird, geschwächte oder bereits korrodierte Bereiche der Bewehrung zu detektieren.

### 7.3.2.3 Geotechnische Untersuchungsmittel

Durch die Positionierung von Stützbauwerken ist es erforderlich genaue Kenntnisse über den Umgebungsbereich und die Materialeigenschaften dieser zu haben. Dazu sind geotechnische Untersuchungen erforderlich. Diese können einerseits Aufschluss über die Lage und Position des Untergrundes geben, andererseits sollen sie auch Informationen über die Eigenschaften des Baustoffes Boden liefern. Aufgrund der oftmals sehr geringen Kenntnisse in diesem Bereich der Zustandsbeurteilung wurde dieser Bereich hier als eigenes Unterkapitel angeführt und nicht in die materialspezifischen Untersuchungsmittel eingegliedert.

Bei den geotechnischen Untersuchungsmitteln handelt es sich im Allgemeinen um jene Geräte und Verfahren, die auch zur Baugrunderkundung bzw. Untersuchung im Zuge der Planung und Ausschreibung verwendet werden.

Sollten keine Unterlagen zum Baugrund aus der Planungsphase vorhanden sein, so sind diese durch ergänzende Untersuchungen nachzuerfassen. Hierzu gibt es einfache Mittel, mit denen sich ein Überblick erstellen lässt. Zu diesen Untersuchungsmitteln gehören z.B. die Einsicht in geologische Karten und die Befragung der Nachbarn. Aus geologischen Karten kann eventuell ein grober Überblick der vorhandenen Bodenart erhalten werden. „Nachbarn“ – im Fall von Stützbauwerken oftmals die Unterlagen von Nachbarbauwerken, können Aufschluss über die Schichtung und den Verlauf des vorliegenden Untergrunds liefern. Solche Angaben und Daten sind jedoch mit Vorsicht Hand zu haben (zu verwenden) und sollten durch zusätzliche Untersuchungen überprüft und ergänzt werden.

Eine gewisse Hilfestellung zu bestimmten Boden- bzw. Grundwasserverhältnissen können der Bewuchs und die Pflanzen im Nahebereich des Bauwerkes sein („Zeigerpflanzen“). Mit Hilfe von Pflanzen kann sowohl ein Rückschluss auf die Grundwasserverhältnisse, als auch auf den umgebenden Boden gezogen werden.

Problematisch sind bei dieser Methode jedoch einerseits die Erhaltung des Stützbauwerkes, durch welche störender Bewuchs entfernt wird, oder ein gewisser Bewuchs und eine definierte Bepflanzung für die optische Erscheinung eines Bauwerkes vorgesehen sind. Nähere Informationen zu diesem Thema sind „Handbuch der Baugrunderkundung“ (Buja, 2009) zu entnehmen.

- **Handbohrer und Schlitzsonden**

Eine einfache Methode zur Untersuchung des vorliegenden Baugrundes sind Bohrgeräte, die ohne großen Maschinen oder Personalaufwand betrieben werden können. Dazu gehören Hand- oder Schlitzbohrer. Das Bohrelement dieser hat einen Durchmesser von 30 bis 100 mm und das Gestänge kann verlängert werden. Die Tiefen sind mit ca. 1,00 m bis 2,00 m beschränkt. Bei der Verwendung von Schlitzsonden ist durch deren spezielle Ausführung die Entnahme von Bodenproben möglich.

- **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 genormte Stahlstangen in den Boden eingebracht. Dieses Einbringen kann durch schlagen, rammen oder drücken vonstattengehen. Dabei können aus der zum Einbringen erforderlichen Kraft – in Form der Schlagzahl, Eindringtiefe oder des Druckes korrelativ bestimmte Bodenkennwerte abgeleitet werden. Sondierungen eignen sich besonders zur Ergänzung von aufwendigeren Untersuchungsmitteln. So kann eine Sondierung durch eine Aufschlussbohrung kalibriert werden und anschließend als günstigere Variante an mehreren Stellen eingesetzt werden.

- **Rammsondierung**

Bei der Rammsondierung handelt es sich um ein Verfahren, bei dem eine genormte Sondierspitze mit Hilfe eines definierten Fallgewichtes in den Boden eingerammt wird. Die in Form von Schlägen eingebrachte Energie wird der dadurch erzeugten Eindringung gegenübergestellt. Das Ergebnis einer Rammsondierung ist die Schlagzahl  $N_{10}$  (in manchen Fällen  $N_{20}$ ) mit deren Hilfe z.B. direkt auf die Lagerungsdichte rückgeschlossen werden kann. In manchen Fällen ist auch ein Rückschluss auf andere Untergrundeigenschaften möglich.

Rammsonden können abhängig vom installierten Fallgewicht in leichte (10 kg – auch als Künzelstab bezeichnet), mittelschwere (30 kg) und schwere (50 kg) Rammsonden unterschieden werden. Leichte Rammsonden sind durch ihre kleine Bauart sehr einfach zu transportieren und anzuwenden. Sie können händisch oder mechanisch (Aufsatzmotor) von einer Person betrieben werden. Aufgrund des geringen Fallgewichts und der kleinen Fallhöhe sind sie jedoch in ihrer Anwendung nur bis in Tiefen von ca. 10 m möglich. Mittelschwere und schwere Rammsonden sind meist auf fahrbaren Untersätzen montierte Geräte, die nicht mehr händisch betrieben werden.

Begründet durch die Art, wie die Energie in den Boden eingebracht wird, sind Rammsondierungen ein eher „grobes Mittel“ zur Untergrunderkundung.



Abb. 71: Links – leichte Rammsonde - Künzelstab (Geotool) ; Mitte – schwere Rammsonde auf einem Raupenfahrwerk (Geotool) ; Rechts – Protokoll einer Rammsondierung (IGEWA)

Durch die Verwendung von speziellen Sondierspitzen wird die Entnahme von Bodenmaterial aus dem Rammloch ermöglicht. Da es sich hierbei jedoch um gestörte Proben handelt dienen diese meist nur der visuellen Feststellung der Bodenart und können daher nur bedingt für weitere Laborversuche herangezogen werden.

- Cone Penetration Test CPT - Drucksondierung

„Mit der Drucksondierung wird der Eindringwiderstand einer definiert ausgebildeten Sondierspitze und dem daran befindlichen Sondiergestänge bei Eindrücken mit konstanter Geschwindigkeit von 2 cm/s in den Untergrund bestimmt.“<sup>25</sup> Dabei können sowohl der Spitzenwiderstand als auch die Mantelreibung gemessen werden. Aus diesem Grund werden Drucksondierungen neben der Baugrund-erkundung auch im Zusammenhang mit der Bemessung der Tragfähigkeit von Pfählen verwendet.

<sup>25</sup> (Boley, 2012)

Da mit Hilfe einer Drucksonde zwei Kennwerte des Bodens gewonnen werden ist eine Zweiteilung des Geräts erforderlich. Die Sonde besteht aus einem Kegel mit einer definierten Querschnittsfläche (10 oder 15 cm<sup>2</sup>). Die Reibungshülse zur Bestimmung der Mantelreibung hat im Allgemeinen eine Fläche von 150 cm<sup>2</sup>. Die Mantelreibung kann entweder aus der Differenz des Gesamtwiderstandes und dem Spitzendruck ermittelt oder separat gemessen werden. Neben diesen beiden Messwerten kann mittels CPT-Sonde auch noch der Porenwasserdruck bestimmt werden. Dazu werden im Gestänge des CPT-Geräts eingebaute Piezometer verwendet. Zur Bestimmung des Grundwasserdruckes werden sogenannte Dissipationstests durchgeführt wozu die Sonde in der gewünschten Tiefe über eine bestimmte Zeit „angehalten“ wird. Mittels CPT-Sondierung können durch Einsatz spezieller Spitzen auch chemische Untersuchungen oder die Wellenausbreitung ermittelt werden.

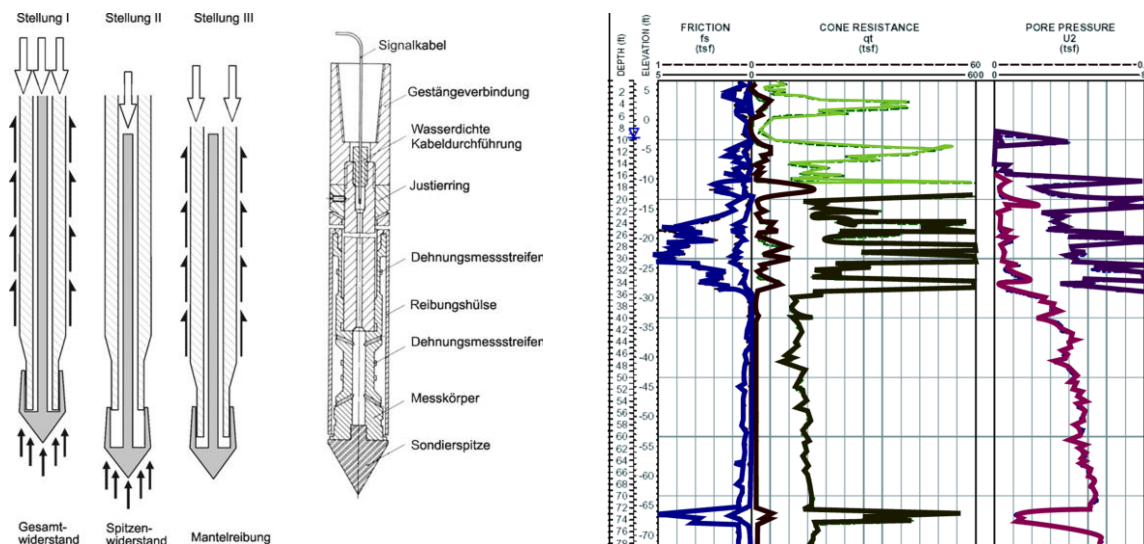


Abb. 72: Links – Prinzip einer CPT – Sonde (Boley, 2012); Mitte – schematischer Schnitt durch eine CPT – Sonde (Boley, 2012); Rechts – Messprotokoll einer Drucksondierung (Wabihuniry)

- Standard Penetration Test (SPT)

Im Gegensatz zu den Ramm- und Drucksondierungen wird der SPT nicht als eigenständiger Test durchgeführt sondern in einem bereits hergestellten Bohrloch verwendet. Dazu wird eine Sonde in das Bohrloch abgeteuft, mit Hilfe derer die Bodeneigenschaften an der Bohrlochsohle bestimmt werden können. Im Allgemeinen handelt es sich hierbei um eine spezielle Form der Rammsonde. Das Einrammen dieser kann entweder durch ein Gestänge vom Bohrlochoberen aus oder durch ein Fallgewicht an der SPT-Sonde selbst bewerkstelligt werden. Zusätzlich ist es mit dieser Sonde möglich ungestört Proben aus einem Bereich unterhalb der Bohrung zu entnehmen. Der ermittelte  $N_{30}$ -Wert gibt die erforderliche Anzahl von Schlägen für eine Eindringung von 30 cm an.

- Flügelsonden

Eine Weiterentwicklung der Handbohrer und Schlitzsonden stellen die Flügelsonden dar. Eine Sonde mit vier Flügeln am Ende wird in den Boden eingebracht und anschließend um die eigene Achse gedreht. Durch diese Drehung und die Messung des Drehwinkels und des Drehmomentes kann auf die undrainierte Scherfestigkeit des Bodens rückgeschlossen werden. Die Messergebnisse können sehr leicht durch Einlagen wie Steine oder Einschlüsse verfälscht werden.

- **Aufschlussbohrungen**

Im Vergleich zu Sondierungen bieten Aufschlussbohrungen eine höhere Genauigkeit in Bezug auf die Erkundung des Bodens. Während bei Sondierungen immer nur 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. Nach der Qualität der Erkundungsbohrung lassen sich Aufschlussbohrung in hochwertige und weniger hochwertige Bohrungen unterteilen.

Zu den hochwertigen Bohrungen zählen die Trockenbohrung und die Rammkernbohrung. Durch das Einbringen einer Verrohrung im Bohrloch wird dieses gestützt und es besteht die Möglichkeit den Boden im Schutz dieser Verrohrung zu entnehmen. Zur Entnahme von bindigen Böden können Bohrschnecken, Kernrohre, Bohreimer oder Bohrschappen verwendet werden, wobei hierbei eine sehr hohe Störung des Bodens erfolgt. Sollten im Bereich der Bohrung Festgesteine vorgefunden werden ist auch der Einsatz von Meiseln oder anderen Werkzeugen möglich. Wie aus der Auflistung der Werkzeuge ersichtlich wird, handelt es sich hierbei um sehr invasive Maßnahmen. Daher kann auch nur von einer teilweise ungestörten Bodenprobe aus diesem Verfahren ausgegangen werden. Rammkernbohrungen beruhen auf dem Trockenbohrverfahren. Im Unterschied zu diesem Verfahren wird die Entnahme des Bodenmaterials jedoch im Schutz der Verrohrung nach oben gezogen. Durch diesen zusätzlichen Verfahrensschritt wird das im Bohrloch befindliche Material vor Störungen geschützt und es liegt eine einigermaßen ungestörte Bodenprobe vor. Am anfälligsten für derartige Störungen sind lockergelagerte Sande, welche durch die eingebrachte Rammenergie auch im Kernbereich der Bohrung verdichtet werden können.

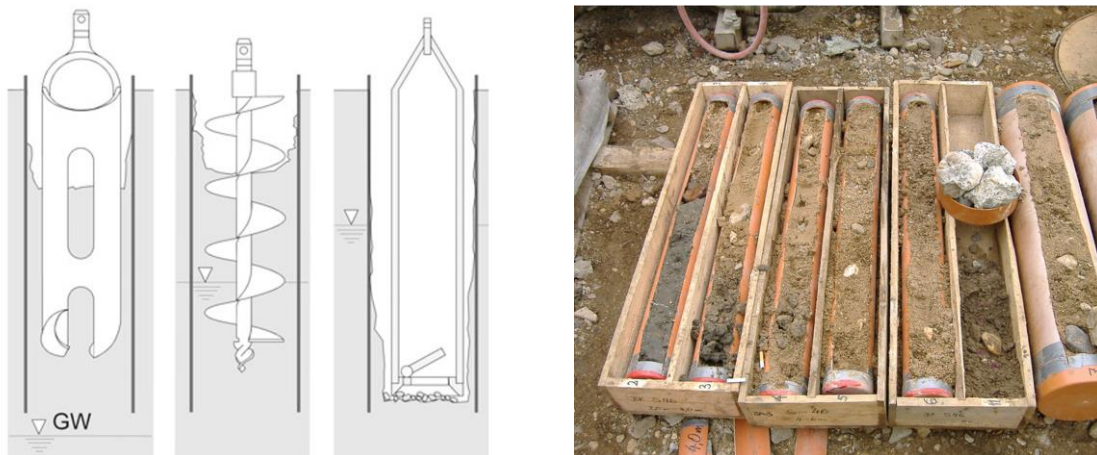


Abb. 73: Links – Werkzeuge zur Bohrgutentnahme bei einer Trockenbohrung (Boley, 2012);  
Rechts – PVC-Rohre mit Kernentnahmen aus einer Rammkernbohrung (Schützzeichel)

Zu den weniger hochwertigen Bohrungen zählen Kernbohrungen mit Überspültechnik, Spülbohrungen, Kleinbohrungen und Hohlschneckenbohrungen. Die beiden Verfahren der Überspültechnik und der Spülbohrung kommen hauptsächlich bei der Herstellung von Bohrungen für geotechnische Bauteile wie Anker oder an Pfählen zum Einsatz. Da durch ihre Ausführung die Bodenproben vollständig zerstört wird, sind aus diesen meist nur Schlammproben oder dergleichen zu gewinnen. Im Zusammenhang mit Untersuchungen im Bohrloch oder als vorlaufendes Verfahren zu einem SPT-Test werden sie jedoch sehr häufig angewendet, da ein sehr hoher Leistungsdurchsatz bei der Erstellung des Bohrloches vorliegt. Neben diesen beschriebenen Verfahren werden auch noch klassische Kernbohrungen zur Gewinnung von Bodenproben verwendet.

- **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 vergleichbar.

- **Schürfe**

Durch die Herstellung eines Schurfs erhält man einen großflächigen (unter Umständen begehbaren) Untergrundaufschluss. Normalerweise werden diese mit Hilfe eines Baggers hergestellt und können verbaut oder unverbaut – abhängig von der Tiefe und der Arbeitssicherheit – hergestellt werden. Durch die Zugänglichkeit von außen können die Schichten – und der Schichtenwechsel direkt untersucht werden und wenn notwendig „ungestörte“ Proben direkt aus dem Boden oder der Wandung der Schürfgube – mit Hilfe eines Stechzylinders - entnommen werden.





Abb. 74: Links – Schurf in Lockergestein; Rechts – Schichtenverlauf an der Wandung eines Baggerschurfs

Zusätzlich bieten Schürfe einen guten Einblick in den Wasserhaushalt des Untergrundes. Schichtenwässer und anstehendes Grundwasser sind direkt ersichtlich und Sickerversuche können sehr einfach – wenn auch nicht sehr genau – durchgeführt werden.

Im Zusammenhang mit bestehenden Bauwerken bilden Schürfe oftmals ein Problem. Um einen aussagekräftigen Schichtenverlauf zu erhalten muss der Baggerschurf in der Nähe des Stützbauwerkes erstellt werden – wodurch eventuell die Standsicherheit des Bauwerkes gefährdet wird. Weiters ist auf die Wasserhaltung während der Erstellung des Schurfes zu achten und die Hinterfüllung des Schurfes sehr sorgfältig durchzuführen.

- **Geophysikalische Untersuchungen**

Die bisher beschriebenen Verfahren stellen im Allgemeinen nur eine punktweise Untersuchung des Untergrundes dar. Mittels der geophysikalischen Untersuchungsmethoden können hingegen großflächige Untersuchungen des Bodens durchgeführt werden. Durch diese indirekte Art der Untersuchung ist es zwar nicht möglich, bodenkundliche Ergebnisse in Form von direkten 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 und damit das Gesamtbild des Untergrundes signifikant verbessert und erweitert werden kann. Weiters können unter Umständen „Fehlstellen“ oder Schwachpunkte im Bodenaufbau erkannt werden, die bei einer punktuellen Untersuchung möglicherweise nicht erkannt worden wären.

Anhand der verwendeten Verfahren lassen sich geophysikalische Untersuchungen in folgende Unterkapitel unterteilen:

- seismische Untersuchung
- dynamische Untersuchung
- bodenelektronische Untersuchung
- Untersuchung mittels radioaktiver Isotope

Weitere Informationen zu diesen Themen sind in „Handbuch Geotechnik“ (Boley, 2012) und „Handbuch der Baugrunderkundung“ (Buja, 2009) zu finden.

### 7.3.3 Messverfahren & Messplanung

Mit der Kenntnis über die einzelnen Mittel, welche zur Bauaufnahme erforderlich sind, kann nun der Aufnahmeprozess geplant werden. Sowohl die notwendigen Verfahren zur Durchführung einer Bestandsaufnahme, also auch die Planung der Abläufe und Inhalte sollte damit abgebildet werden.

#### 7.3.3.1 Messprinzipien

Bei der Durchführung von Messungen und Untersuchungen gilt immer das Prinzip „*vom Großen ins Kleine*“<sup>26</sup>. Durch die präzise und genaue Aufnahme und Erfassung von großen Elementen kann die Einpassung und Eingliederung von kleinen Elementen – oftmals nachträglich durchgeführte Aufnahmen – erleichtert werden.

Diese Vorgehensweise wird durch folgende Punkte geprägt:

- Kontrolle aller Einzelmaße durch das Gesamtmaß
- Kontrollmessungen zum Ausschluss von groben Fehlern

Neben diesen beiden – als Kontrollelemente bezeichnbaren – Prozessen kann zusätzlich die Verwendung eines intelligenten und angepassten Messnetzes erwähnt werden.

#### 7.3.3.2 Messverfahren

Unter den Messverfahren wird der Einsatz der verschiedenen Messmittel verstanden, um als Ergebnis eine vollständige und umfassende Dokumentation der Bestandsaufnahme zu liefern.

---

<sup>26</sup> (Wiedemann, 2004) Kapitel 3 – Erfassung von Messelementen

Im Allgemeinen hängen die zu verwendenden Messverfahren vom gewünschten Ergebnis ab. Meist wird dieses Ergebnis durch die Anforderungen des Auftraggebers und dem aktuellen Planungsstand definiert. Folgende Elemente können dabei im Zusammenhang mit den Messverfahren beschrieben werden:

- **Schrittskizze:** Mit Hilfe von Schrittskizzen können einfache geometrische Zusammenhänge erfasst werden. Diese können später als Grundlage für genauere Aufnahmeprozesse herangezogen werden.
- **Handaufmaß:** Zur Ergänzung von Schrittskizzen können Handaufmaße zur genaueren Darstellung und Abbildung der geometrischen Bedingungen verwendet werden. Zur Durchführung eines Handaufmaßes ist jedoch immer der direkte Zugang zu den Messobjekten erforderlich.
- **Punktbestimmung:** Im Vermessungswesen wird die Punktbestimmung zur Herstellung von Feldrissen verwendet. Diese werden in Zusammenhang mit Höhenmessungen zur Darstellung der näheren Umgebung von Stützbauwerken herangezogen.
- **Zielpunktvermessung:** Im Gegensatz zum Handaufmaß kann die Zielpunktvermessung verwendet werden, wenn die Zugänglichkeit zu einem Messobjekt nicht gegeben ist.
- **Standpunktvermessung**
- **Netzmessung**

#### 7.3.3.3 **Messplanung**

Durch die geeignete Kombination und Auswahl von Messverfahren, kann die leichte, richtige und sachgemäße Durchführung der geforderten Messaufgaben sichergestellt werden. Bei der Messplanung sind im Allgemeinen folgende Ablauf- und Planungsprozesse einzuhalten:

- **Methodenauswahl**
- **Planung des Bezugsnetzes**
- **Planung einzelner Messungen**
- **Planung sonstiger Vermessungsaufgaben**

Bei der Planung von Untersuchungen im Bereich von Stützbauwerken ist, so wie im Zuge jeder Zustandserfassung eine detaillierte Einbautenerhebung durchzuführen.

#### 7.3.3.4 Auswahl der Untersuchungsstellen

Generell sind vor allem jene Bereiche zu untersuchen, an denen bereits eine Schädigung vorliegt. Neben diesen, offensichtlichen Bereichen eines Stützbauwerkes sind aber auch alle anderen Bereiche zu untersuchen. Da dies aus Zeit- und Kosteneinschränkungen meist nicht möglich ist, werden geeignete Untersuchungsbereiche aufgrund einer statistischen Verteilung ausgewählt. Neben der Erfahrung des Untersuchungsingenieurs sind hier vor allem die Kenntnisse der möglichen und wahrscheinlichen Versagensmechanismen und Schadensbilder für die Definition der Untersuchungsbereiche erforderlich. Um die geeigneten Untersuchungsbereiche zu definieren, kann das Ergebnis einer visuellen Begutachtung herangezogen werden. Ebenso können die Ergebnisse und Dokumentationen vorangegangener Bauaufnahmen und Zustandserfassungen verwendet werden.

## 7.4 Operative Instrumente

Das zur Durchführung einer Zustandserfassung – und auch der darauffolgenden Zustandsbeurteilung – notwendige Personal wird hier als die „Operativen Instrumente“ (ONR 24800, 2009) der Zustandserfassung und Beurteilung bezeichnet. Dieses muss in Abhängigkeit der Untersuchungstiefe (siehe Kapitel 7.5) unterschiedliche Qualifikationen und Fähigkeiten aufweisen. Dazu wird das Personal, ähnlich der Unterteilung der Inspektion, in drei Untergruppen unterteilt:

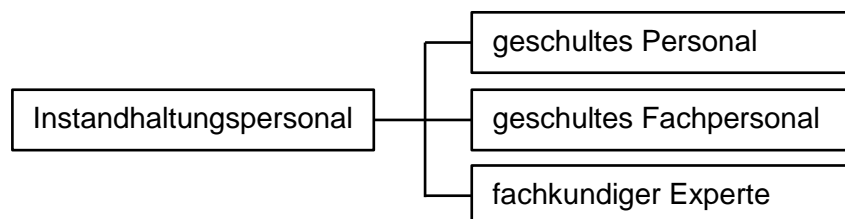


Abb. 75: Unterteilung der Operativen Instrumente bei der Zustandserfassung- und Beurteilung von Stützbauwerken

### 7.4.1 Geschultes Personal

Personal, welches im Allgemeinen direkt mit der Instandhaltung der Stützbauwerke beauftragt ist und durch seine regelmäßige Anwesenheit in der Nähe des Stützbauwerkes vertiefte Kenntnisse über das Stützbauwerk sammelt. Zur Durchführung dieser Inspektionstätigkeiten sind lediglich Kenntnisse über das Verhalten des Stützbauwerkes erforderlich. Diese Kenntnisse können durch Unterweisung dieses Personals durch geschultes Fachpersonal oder einen fachkundigen Experten erworben werden.

### 7.4.2 Geschultes Fachpersonal

Geschultes Fachpersonal besitzt eine Ausbildung in Bereichen des Bauwesens und weist Grundkenntnisse in folgenden Bereichen auf:

- Kenntnisse über die maßgebenden Prozesse im Zusammenhang mit Stützbauwerken
- statisches Verhalten von Stützbauwerken
- konstruktive Ausbildung von Stützbauwerken
- geotechnische Grundkenntnisse für die Objektbeurteilung
- Kenntnis der vorliegenden Versagensmechanismen
- Ansprache von Schadensbildern und deren Ursachen

Aufgrund seiner Ausbildung und dieser Kenntnisse ist es dem geschulten Fachpersonal möglich, die Informationen des geschulten Personals zu verarbeiten und dadurch den Ablauf weiterer zusätzlicher Inspektionstätigkeiten zu planen und diese erforderlichenfalls durchzuführen.

#### 7.4.3 **Fachkundiger Experte**

Personal mit universitärer Ausbildung im Bereich des Bauwesens und/oder der Geotechnik und dazugehörige Berufserfahrung. Durch die vertiefte Ausbildung ist es dem fachkundigen Experten möglich, die Versagensmechanismen zu untersuchen und auf ihre Relevanz hin zu beurteilen und die vorliegenden Schadensbilder einem möglichen Versagens- oder Grenzzustand zuzuordnen. Durch die bereits erstellten Unterlagen des geschulten Fachpersonals und die Schilderungen und Beobachtungen des geschulten Personals ist es dem fachkundigen Experten möglich, eine Beurteilung über das Objekt zu erstellen und somit auch die Grundlage für das weitere Vorgehen und Anpassungen des Inspektionszykluses und der Instandhaltung zu legen.

Wichtig bei allen drei Operativen Instrumenten ist, dass ein geschlossener Informationsfluss zwischen diesen stattfinden muss. Einerseits kann dadurch eine vorzeitige Erkennung von Schadensbildern hervorgerufen werden, andererseits ist eine lückenlose Dokumentation der Zustandsveränderung gegeben. Bei einem frühzeitigen Erkennen der Schadensbilder kann ehestmöglich in den Instandhaltungszyklus eingegriffen werden. Eine lückenlose Dokumentation der Zustandsveränderung kann als Grundlage für die Planung des Instandhaltungszykluses herangezogen werden.

Der Zusammenhang zwischen den Operativen Instrumenten und den unterschiedlichen Inspektionstätigkeiten sind in Kapitel 7.5 dargestellt.

## 7.5 Inspektion (zur Zustandserfassung)

Um den Verlauf des Zustandes eines Stützbauwerkes oder auch anderer Bauwerke zu erfassen und zu dokumentieren, sind kontinuierliche Beobachtungen und Untersuchungen erforderlich.

### 7.5.1 Allgemeines zur Inspektionstätigkeit

Die Inspektion – aus dem lateinischen inspectio: „Einsicht, Durchsicht“ – umfasst alle Tätigkeiten, die mit der Erhebung des Zustandes eines Stützbauwerkes in Zusammenhang stehen. Dies können sowohl kleinere Beobachtungen (Augenschein) oder größere Untersuchungen unter Zuhilfenahme von Mess- und Untersuchungsmitteln sein. Die Gesamtheit der Inspektionstätigkeit soll als Grundlage für die Beurteilung des Bauwerkes und dessen Veränderungen sein.

Dieser sich über die gesamte Lebens- und Nutzungsdauer des Bauwerkes hindurchziehende Prozess sollte dabei, ebenso wie die Zustandserfassung selbst, in unterschiedliche Genauigkeiten und Untersuchungstiefen unterteilt werden. Ähnlich jenen Untersuchungen in der Bewertung der Tragfähigkeit von Brückenbauwerken (ONR 24008, 2014) ist hier eine Dreiteilung in diesem Bereich sinnvoll. Dieser Ansatz erscheint insofern zweckmäßig, da hier nicht nur eine Teilung im Bereich des Personales sondern auch in der Zuständigkeit und dem Untersuchungszeitraum durchgeführt wird.

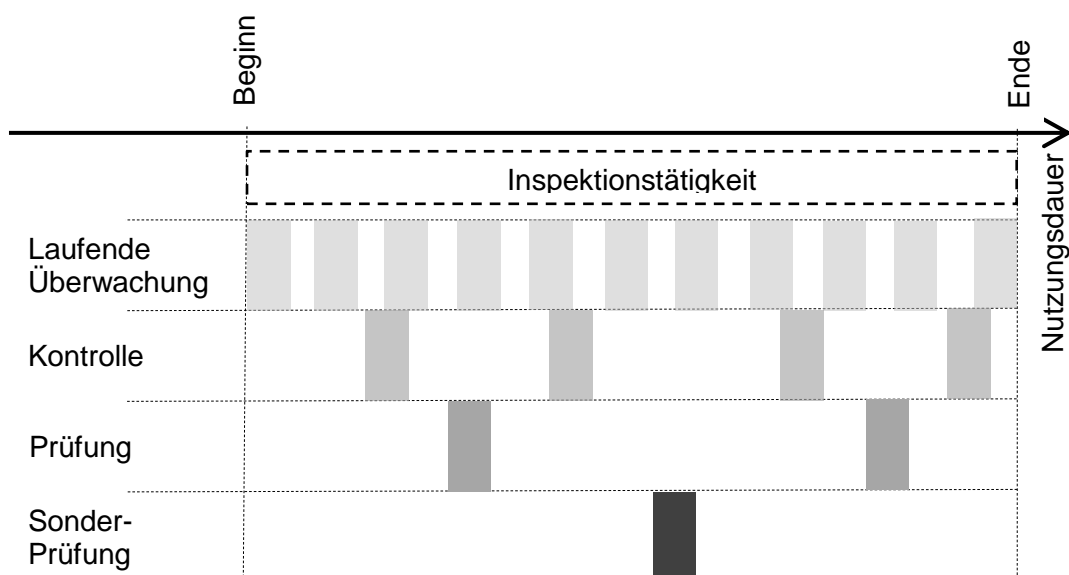


Abb. 76: Personelles und zeitliches Schema der Inspektionstätigkeiten über die Nutzungsdauer des Stützbauwerkes

### 7.5.2 Laufende Überwachung

Bei dieser – der häufigsten Inspektionstätigkeit – soll vor allem der Augenschein als Beurteilungsgrundlage herangezogen werden. Durch den Einsatz von geschultem Personal kann der Erhaltungszustand des Bauwerkes „augenscheinlich“ festgestellt werden, und vorliegende aus dem Augenschein erkennbare Mängel können notwendigenfalls durch einen kurzfristigen Personaleinsatz behoben werden, bevor dieser zu einer Verschlechterung des Bauwerkszustandes führt. Das Hauptaugenmerk des geschulten Personals wird dabei hauptsächlich auf das äußere Erscheinungsbild gerichtet und wird notwendigenfalls durch betriebsinterne – auf einzelne Bauwerkstypen oder Bauwerke beschränkte – Anweisungen und Hinweise ergänzt. Ebenso wird durch das geschulte Personal die Kommunikation innerhalb des Bauwerkserhalters verbessert, da diese häufiger im „Außeneinsatz“ tätig sind, und daher mit den Bauwerken direkt in Kontakt kommen. Durch den Inhalt dieser Rückmeldungen – in Form eines Berichtes oder Protokolls – kann das weitere Vorgehen zur Zustandsbeobachtung des Bauwerkes geplant und abgestimmt werden.

### 7.5.3 Kontrolle

Die Kontrolle – als periodische Inspektionstätigkeit – wird durch geschultes Fachpersonal durchgeführt. Sie hat den Zweck, neben dem äußeren Erscheinen auch noch zusätzliche Beobachtungen durchzuführen. So können kleinere Messungen, oder auch Prüfungen einzelner Bauteile oder Baustoffe und die Kontrolle und Ablesung von Monitoringeinrichtungen durchgeführt werden. Ziel ist hierbei, die Informationen aus der laufenden Überwachung zu überprüfen, mögliche Fehlstellen des Bauwerkes festzustellen, und das weitere Vorgehen zu planen. Ergebnis dieser Tätigkeit kann sowohl das weitere Vorgehen bei der Instandhaltung sein, als auch die (falls erforderlich) Hinzuziehung eines fachkundigen Experten im Zuge einer Sonderprüfung. Als Abschluss der Kontrolle kann ein Bericht oder eine Beurteilung erstellt werden, welcher eine Aussage über den Bauwerkszustand liefert und als Grundlage für weitere Kontrollen oder Prüfungen dient.

### 7.5.4 Prüfung

Als Erweiterung der Kontrolle kann die Prüfung angesehen werden. Bei dieser werden der Bauwerkszustand und dessen Veränderung im Vergleich zu den vorhergehenden Kontrollen oder Prüfungen dargestellt. Diese Inspektionstätigkeit wird durch einen fachkundigen Experten – intern oder extern – durchgeführt. Ziel soll es sein, einen abschließenden Bericht über das Bauwerk zu verfassen und in diesem eine Beurteilung vorzunehmen. Diese Beurteilung dient einerseits zur Erfassung der



Zustandsveränderung (im Verlauf über mehrere Prüfungen) und andererseits bildet sie die Grundlage für den weiteren Umgang mit dem Stützbauwerk. Der Ablauf einer solchen Beurteilung wird in Kapitel 8 näher dargestellt.

### 7.5.5 Sonderprüfung

Wie bereits erwähnt, kann eine Sonderprüfung je nach Bedarf durchgeführt werden. Bedarf für eine Sonderprüfung kann vorliegen, wenn besondere äußere Einflüsse wie etwa Muren oder Erdbeben das Stützbauwerk belastet haben oder wenn der aktuelle Zustand des Bauwerkes, erfasst durch die Kontrolle, dies erfordert.

## 7.6 Ergebnisse & Dokumentation der Zustandserfassung

Den Abschluss einer Zustandserfassung bilden immer die Ergebnisse und die Dokumentation der Zustandserfassung. Dabei sollte die Dokumentation so durchgeführt werden, dass eine Rekonstruktion der Daten und Informationen ermöglicht wird. Weiters sollten die Ergebnisse aufgezeigt werden, um diese in einer späteren Zustandsbeurteilung zu analysieren. Hierbei ist jedoch wie bei einem Gutachten strikt auf die Trennung zwischen dem Befund (Feststellung der Tatsachen) und der gutachterlichen Bewertung (Erkenntnis und Schlussfolgerungen aus dem Befund) zu achten.

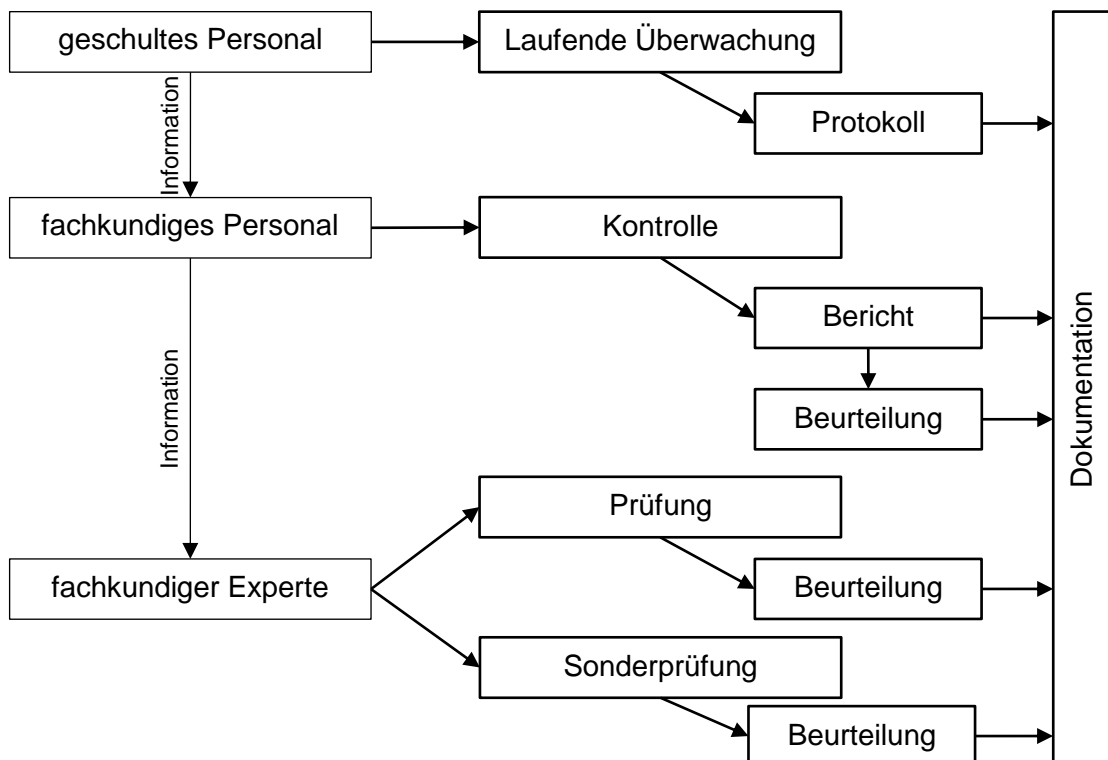


Abb. 77: Zusammenhang zwischen den operativen Instrumenten und den Inspektions-tätigkeiten bei Stützbauwerken

## 8 Zustandsbeurteilung

Auf Basis einer durchgeführten Zustandserfassung wird oftmals eine aussagekräftige Zustandsbeurteilung als Entscheidungsgrundlage für das Management des Erhaltes oder Besitzers des Stützbauwerkes durchgeführt. Um die Grundlagen für die Beurteilung zu liefern werden im nachfolgenden Kapitel die bisherigen Vorgaben beschrieben und ein dem aktuellen Stand der Normung angepasstes Beurteilungsschema erarbeitet.

### 8.1 Derzeitiger Stand der Zustandsbeurteilung

Die normativen Grundlagen zur Zustandsbeurteilung von Stützbauwerken in Österreich sind in den zugehörigen Richtlinien des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie geregelt. Diese sind in Kapitel 4.3 näher beschrieben.

#### 8.1.1 RVS – Richtlinien:

Folgende Teile der Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS) geben Auskunft über den Inhalt, die Durchführung und die Bewertung von unverankerten Stützbauwerken:

- RVS 13.03 – Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten
- RVS 13.03.61 – Qualitätssicherung bauliche Erhaltung: Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten – nicht geankerte Stützbauwerke
- RVS 13.04.01 – Qualitätssicherung bauliche Erhaltung: Bauwerksdatenbank – Allgemeiner Teil
- RVS 13.04.13 – Qualitätssicherung bauliche Erhaltung: Bauwerksdatenbank – Mauern und geankerte Konstruktionen

Des Weiteren sind neben den oben angeführten Richtlinien auch noch Richtlinien zur Bewertung anderer Bauteile und Bauelemente im Zusammenhang mit einem Stützbauwerk zu beachten. Hierzu zählen zum Beispiel Verkehrssicherungseinrichtungen, Entwässerungsanlagen u.d.gl.

#### 8.1.1.1 RVS 13.03.61

„Diese RVS ist für die bautechnische Überwachung, Kontrolle und Prüfung von nicht geankerten Stützbauwerken im Zuge von Verkehrswegen ab einer Höhe von 1,5 m über Gelände Oberkante anzuwenden.“ (RVS 13.03.61, 2014)

Die Regelungen dieser Richtlinie gelten für Schwergewichtsmauern, Winkelstützmauern, Pfahlwände, Steinmauerwerke, Steinschichtungen, Raumgitterwände, Bewehrte Erde Konstruktionen und Gabionenkonstruktionen. Die Behebung von Mängeln und Schäden ist jedoch nicht Gegenstand dieser Richtlinie. Es werden lediglich Vorschläge zur Durchführung und Abhaltung von Untersuchung und Bewertung dieser Stützbauwerktypen gegeben.

- **Durchzuführende Untersuchungen**

Es werden drei Arten von Untersuchungen definiert. Diese unterscheiden sich in der Art ihrer Durchführung, des erforderlichen Personals und den Terminen ihrer Durchführung.

- Laufende Überwachung:

Die geringste Stufe der Untersuchung eines Stützbauwerkes stellt die laufende Überwachung dar. Hierbei sollen grobe Schäden oder auffällige Änderungen im Zuge einer Befahrung untersucht werden. Die Durchführung der laufenden Überwachung ist durch Mitarbeiter des Streckendienstes – als geschultes Personal – durchzuführen.

- Kontrolle:

Hierbei wird die Veränderung des Erhaltungszustandes festgestellt, festgehalten und meist auch bewertet. Dies ist durch „*sachkundige Ingenieure oder entsprechend geschultes und erfahrenes Fachpersonal*“<sup>27</sup> – geschultes Fachpersonal – im Zuge eines Augenscheins durchzuführen.

- Prüfung:

„*Im Zuge der Prüfung wird der Erhaltungszustand der nicht geankerten Stützbauwerke erhoben, dokumentiert und bewertet.*“ (RVS 13.03.61, 2014) Mit der Prüfung ist ein sachkundiger Ingenieur oder entsprechend geschultes und erfahrenes Fachpersonal zu betrauen. Es müssen die grundlegenden statischen Verhältnisse des Objektes bekannt sein, und der Einfluss von Schäden auf das Stützbauwerk soll abgeschätzt werden.

---

<sup>27</sup> (RVS 13.03.61, 2014) Abschnitt 4 - Kontrolle

- **Termine der Durchführung**

Nachfolgend sind die Termine für die Durchführung der Untersuchungen, wie beschrieben aufgelistet:

Tabelle 17: Termine für die Durchführung von Untersuchungen nach RVS 13.03.61 (RVS 13.03.61, 2014)

Untersuchung	Durchführung	Bemerkung
laufende Überwachung	mindestens einmal jährlich im Zuge einer Kontrollfahrt und nach außergewöhnlichen Ereignissen	keine Aufzeichnungen der Ergebnisse erforderlich
Kontrolle	in Zeitabständen von höchstens drei Jahren oder wenn es der Zustand oder die geotechnischen Verhältnisse erfordern	die Befunde der letzten Kontrolle oder Prüfung sind als Grundlage anzuwenden
Prüfung	innerhalb von fünf Jahren nach Bauübernahme in einem maximalen Zeitabstand von 12 Jahren – wenn keine kürzeren Prüfintervalle definiert werden	
Sonderprüfung	je nach Anforderung	

- **Bewertungssystem**

In der aktuellen Ausgabe der RVS 13.03.61 (RVS 13.03.61, 2014) wird das Bewertungssystem in die Objekt- und die Bauteilbewertung unterteilt. Dabei bezieht sich die Objektbewertung auf das gesamte Stützbauwerk an sich, also sowohl die Bauteile, als auch deren Umgebung und sonstige, nicht direkt mit den Bauteilen in Beziehung stehenden Bauelementen. Die Bauteilbewertung hingegen beschäftigt sich mit den einzelnen Bauteilen und Elementen, welche in ihrer Gesamtheit das Stützbauwerk an sich bilden.

Zur Bewertung oder Beurteilung eines nicht geankerten Stützbauwerkes wird ein dem Schulnotensystem ähnliches Schema vorgegeben. Bei der Objektbewertung wird dieses Schulnotensystem auf das gesamte Objekt angewendet, während die Bauteilbewertung unterschiedliche Noten für unterschiedliche Bauteile zulässt. Aufgrund dieser Bewertung können Rückschlüsse auf Einschränkungen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit gezogen werden, als auch Hinweise für die Instandsetzung gegeben werden.

Der genaue Zusammenhang zwischen der Objektbewertung und der Bauteilbewertung wird jedoch nicht gegeben. Diese Entscheidung wird den Operativen Instrumenten, dem mit der Bewertung beauftragten Personal, überlassen.

<b>1 – sehr guter Zustand</b>
<b>2 – guter Zustand</b>
<b>3 – ausreichender Zustand</b>
<b>4 – mangelhafter Zustand</b>
<b>5 – schlechter Zustand</b>

Abb. 78: Schulnotensystem zur Bewertung von nicht geankerten Stützbauwerken (RVS 13.03.61, 2014)

Das genaue Bewertungsschema ist dem Anhang 3 der RVS zu entnehmen.

Aufbauend auf diesem Bewertungssystem wurde von der Asfinag im Jahr 2013 die Erstellung eines Bewertungsschemas für nicht geankerte Stützbauwerke in Auftrag gegeben (Scharinger, 2013). In diesem neuen Bewertungsschema wurde eine genauere Unterteilung der Bewertung in folgende Teilbereiche vorgenommen:

- Bewertung „Unterlagen“
- Bewertung „Monitoring“
- Bewertung „Untergrund“
- Bewertung „Statik (Nachrechnung)“
- Bewertung „Bauwerksprüfung“

In diesem Bewertungsschema wurden, im Zuge der Bewertung Punkte vergeben, welche in einer Benotung des Stützbauwerkes resultieren. Die Punkte wurden allgemein im Bereich zwischen 0 und 2 verteilt. Wobei 0 der schlechtesten Bewertung entspricht und 2 der Besten. Durch die Vergabe von Punkten für einzelne Elemente der Bewertung wird anschließend eine Skala zur Umwandlung der Bewertung in das Benotungssystem erstellt. Aus diesen einzelnen Benotungssystemen der oben angeführten Unterpunkte kann eine Gesamtbenotung über den Zustand eines Stützbauwerkes erstellt werden. Diese Gesamtbenotung lässt sich anschließend wieder in das laut RVS 13.03.61 definiert Schulnotensystem einreihen.

<b>Unterlagen</b>			
	J	N	B
Pläne	x		2
Statik (Bestand)		x	0
Prüfungen	x		2
Erkundung	x		2
Monitoring		x	0
Statik (Nachrechnung)	x		2
<b>Punkte</b> (≤4 schlecht; 5 bis 8 ausreichend; ≥ 9 gut)	<b>8,0</b>		
<b>Anmerkungen/Ergänzungen</b>			
<b>Monitoring</b>			
	Anzahl	B	
Geodätische Messpunkte	0	-	
Inklinometer	0	-	
Extensometer	0	-	
Fissurometer/Risspione	0	-	
<b>Punkte</b> (≤3 schlecht; 4 bis 5 ausreichend; ≥ 6 gut)	-		
<b>Untergrund</b>			
<b>Hinterfüllbereich</b>			
Ansprache generell	Boden		
Ansprache Boden/Fels	A/G-S		
Schichtung	vorh. * <sup>1</sup>		
<b>Sohlbereich</b>			
Ansprache generell	Boden		
Ansprache Boden/Fels	G-S * <sup>2</sup>		
Schichtung	n.b.		
<b>Allgemeine Einschätzung</b>			
Tragfähigkeit (1...gut; 2...mäßig/ausr.; 3...schlecht)	<b>1</b>		
<b>Anmerkungen/Ergänzungen</b>			
* <sup>1</sup> Schichtung aus Anschüttung und "Murschotter" * <sup>2</sup> Murschotter			
<b>Statik (Nachrechnung)</b>			
Statik: 3G ZT GmbH (2013)			
	μ≤100%		
	J	N	B
Gesamtstandsicherheit	x		2
Kippen	x		1
Gleiten	x		1
Grundbruch	x		1
Innere Standsicherheit	x		2
<b>Bewertung</b> (Notensystem; Beschreibung siehe Abschlussbericht)	<b>2</b>		
<b>Anmerkungen/Ergänzungen</b>			
Die äußere Standsicherheit kann nur für den aktiven Erddruck nachgewiesen werden. Die innere Standsicherheit kann nur für einen um 50% erhöhten Erddruck (BS1a) nachgewiesen werden.			
<b>Bauwerksprüfungen</b>			
(nicht verankerte Konstruktionen)			
Prüf.: Hauptprüfung 2012			
			Note
Gelände/Gründung			-
Stützbauwerk			2
Abdichtung/Entwässerung			2
Randbalken/Gesims			2
Ausrüstung			2
<b>Gesamtobjekt</b> (Bewert. gem. RVS 13.03.61 u. AP-Nr. 12)	<b>2</b>		
<b>Anmerkungen/Ergänzungen</b>			
nächste Hauptprüfung: 2018 (2023) nächste Sonderprüfung: keine			
Aus Gründen der Standsicherheit sind keine Maßnahmen erforderlich. Die Installation von Risspionen (oder gleichwertigem) zur Beobachtung von Verschiebungen der Wand wird empfohlen.			

Abb. 79: Beispiel eines Bewertungs- und Beurteilungsschemas eines Stützbauwerkes (Scharinger, 2013)

### 8.1.1.2 RVS 13.04.xx

Mit dieser Richtlinie wird die Erstellung einer Datenbank zur Erfassung und Verwaltung von baulichen Objekten definiert. Dabei soll eine Datenbank durch Objektklassen erstellt werden. Eine dieser Objektklassen stellen Mauern und geankerte Konstruktionen dar. Diese Datenbank wurde durch die Einführung der BauT online umgesetzt.

### 8.1.2 RI-ERH-ING

In Deutschland wurde durch die Einführung der RI-ERH-ING - Richtlinie für die Erhaltung von Ingenieurbauten (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2013) ein Werkzeug für den Umgang mit bestehenden Kunstbauten erstellt. In diesem werden sowohl Brücken- als auch Kunstbauten jeglicher Art (Stützbauwerke) unter Verwendung der gleichen Nomenklatur und der gleichen Ablaufschemen aufgearbeitet und alle erforderlichen Prozesse im Zusammenhang mit der Instandhaltung definiert und näher beschrieben.

Diese gliedert sich in zwei Teile:

- OSA – Leitfaden Objektbezogene Schadensanalyse, welcher einerseits die erforderlichen Ablaufschritte einer Objektprüfung definiert, und andererseits auch Hilfestellungen zur Schadensbewertung, und der Einteilung von Schäden gibt.
- RI-EBW-PRÜF – Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076. Ebenso wie diese Arbeit soll diese Richtlinie detailliertere Angaben zur gültigen Normung im Bereich der Erfassung und Bauwerksprüfung liefern, gibt Angaben über die im Zuge der Bewertung zu vergebenden Noten und Informationen über die Art der Erfassung und Dokumentation von Mängeln und Schäden.

### 8.1.3 ÖNORM EN & B 1998-3

Neben den speziell für die Beurteilung von Stützbauwerken verwendeten Richtlinien und normativen Grundlagen können auch noch andere normative Regelungen für die Bewertung eines Stützbauwerkes herangezogen werden. Eine der ausführlichsten Darstellungen hierzu liefert der Eurocode 8 (ÖNORM EN 1998-3, 2013) im Zusammenhang mit der Bewertung von bestehenden Bauwerken gegen ihre Erdbebensicherheit.

Dieser beschreibt in Kapitel 3 die erforderlichen Informationen zur Beurteilung der Konstruktion und in Kapitel 4 die Grundlagen zur Beurteilung eines Bauwerkes. Ebenso werden in den folgenden Kapiteln zu treffende Entscheidungen und Auslegungen bei konstruktiven Eingriffen definiert. Die dort beschriebenen Prozesse und Vorgänge dienen der Erfassung des seismischen Widerstandes eines bestehenden Bauwerkes.

Zur Beurteilung der Konstruktion werden folgende Daten oder Informationen benötigt, welche erforderlichenfalls zu erheben sind:

- **Allgemeine Informationen und Vorgeschichte**

Die Vorgeschichte des Bauwerkes soll durch Zusammentragen und Überkreuzprüfung unterschiedlicher Informationen wie etwa vorhandenen Dokumenten und zum Errichtungszeitpunkt gültigen Normen abgebildet werden. Zusätzlich sollen diese Informationen durch in-situ und/oder Laborversuche ergänzt und verfeinert werden.

- **Erforderliche Eingangsdaten**

Neben den allgemeinen Kenntnissen über das Bauwerk – welche hier als Eingangsdaten für die Beurteilung und den Nachweis der seismischen Eignung eines Bauwerkes verwendet werden, sind auch eine Vielzahl von Daten und Informationen über die statischen, konstruktiven und baustofftechnischen Eigenschaften des Baukörpers zu erheben.

In Kapitel 3.2 der ÖNORM EN 1998-3 werden die zu einer Beurteilung erforderlichen Unterlagen definiert. Diese bestehen aus den nicht näher definierten Grundlagen zur seismischen Einschätzung des Bauwerkes. Diese reichen von der Fundamentierung über Querschnittseigenschaften der Bauteile bis hin zur geplanten Nutzung und der aufgezwungenen Einwirkung durch ein Erdbeben. Des Weiteren werden Entscheidungsgrundlagen geliefert, wie sich die Qualität der vorhandenen Kenntnisse auf die Beurteilung und Berechnung des Bauwerkes auswirkt.



- **Kenntnisstand**

Um die vorher genannte Qualität der Kenntnisse genauer definieren zu können, wird in Kapitel 3.3 der Kenntnisstand erhoben.

Um die zulässigen Berechnungsmethoden und die Größe des Konfidenzbeiwertes zu ermitteln wurden drei Kenntnisstände (Knowledge Levels, KL) definiert:

- KL 1 – Beschränkter Kenntnisstand
- KL 2 – Normaler Kenntnisstand
- KL 3 – Vollständiger Kenntnisstand

Die Einteilung in einen dieser drei Stände erfolgt aufgrund der folgenden Grundlagen:

- Geometrie:

Alle geometrischen Eigenschaften des Bauwerkes, welche das Bauwerksverhalten beeinflussen.

- Konstruktive Einzelheiten:

Zustand und Umfang der konstruktiven Einzelheiten eines Bauteils und dessen Verhalten innerhalb des Bauwerkes. Diese sind durch die Menge und Verteilung der Bewehrung, die Anschlüsse von Stahlbeton- und Stahlbauteilen, die Einbindung der Deckenscheiben und Aussteifungssysteme und der Verbund der Mauerwerkselemente näher beschrieben.

- Werkstoffe:

*„Die mechanischen Eigenschaften der eingebauten Werkstoffe.“<sup>28</sup>*

- **Identifikation des Kenntnisstandes**

Zur genauen Identifikation der Zusammenhänge zwischen den vorgefundenen Unterlagen und den Kenntnisständen sind stufenweise aufgebaute Untersuchungsmethoden und Prozesse definiert, mit deren Hilfe die Einteilung in einen Kenntnisstand ermöglicht werden soll. Diese reichen von der Überprüfung des Planstandes über erweiterte in-situ Inspektionen der konstruktiven Details bis hin zu umfassenden in-situ Versuchen im Bereich der Werkstoffprüfung.

---

<sup>28</sup> (ÖNORM EN 1998-3, 2013)

## 8.2 Vorschläge für eine erweiterte Zustandsbeurteilung

Nachfolgendes Kapitel wurde gemeinsam durch den Autor und dessen Betreuer Univ. Prof. Dipl.- Ing. Dr. techn. Roman Marte erarbeitet und verfasst.

Die Zustandsbeurteilung dient zur Beurteilung des aktuellen Zustandes eines Stützbaues. Dabei sollte nicht nur der aktuelle Zustand beurteilt und analysiert, sondern auch die Ergebnisse von Beobachtungen des Langzeitverhaltens mitberücksichtigt werden. Einerseits wird dadurch eine Aussage über das Verhalten des Bauwerkes im aktuellen (zu beobachtenden) Zustand geliefert, andererseits kann auch eine Prognose bezüglich des weiteren Verhaltens erstellt werden.

Da sich Stützbaues oft aus mehreren, miteinander wirkenden und verbundenen Bauteilen zusammensetzen, wird in den aktuellen Werken zur Zustandsbeurteilung bereits zwischen einer Objekt- und einer Bauteilbeurteilung unterschieden. Durch eine derartige Aufteilung wird eine zuverlässigere und spezifischere Zustandsbeurteilung ermöglicht. Bei dieser Aufteilung muss jedoch besonders auf die Wichtigkeit einzelner Bauteile Bedacht genommen werden. Bauteile, welche zu einer rapiden Zustandsänderung des Gesamtobjektes führen können, oder maßgeblich zu einem Versagen beitragen können, sind in der Gesamtbeurteilung strenger zu beachten, als jene, deren Einfluss auf das Gesamtobjekt eher nachrangig ist. In den nachfolgenden Kapiteln soll der Ablauf einer Zustandsbeurteilung im Zusammenhang mit allen vorherigen Kapiteln gezeigt werden. Begonnen bei der Zustandserfassung als Grundlage für die Zustandsbeurteilung, den verschiedenen Arten der Inspektion bis hin zu den maßgebenden Versagensmechanismen. Ebenfalls wird ein neues Bewertungs- und Beurteilungsschema dargestellt, mit welchem ein Mehrwert in der Beurteilung erreicht werden soll und welches eine detailliertere Aussage über das Bauwerk abgeben soll.

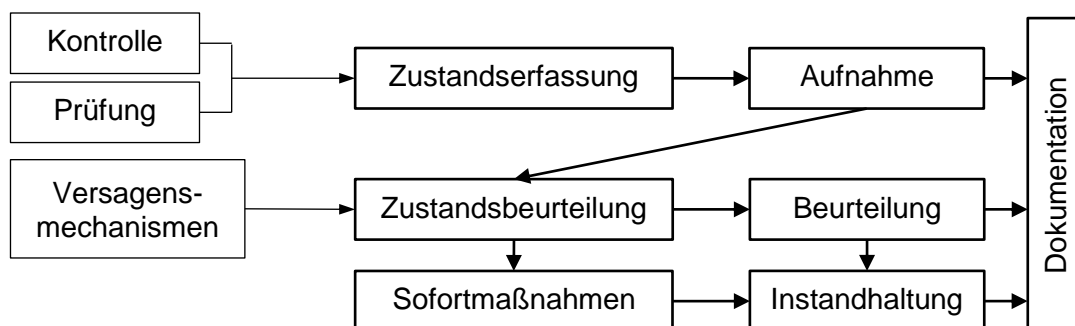


Abb. 80: Zusammenstellung der Einflüsse einer Zustandsbeurteilung

### 8.2.1 Ablauf einer Zustandsbeurteilung

Wie bereits erwähnt, stellt eine Zustandsbeurteilung den Abschluss einer Inspektions-tätigkeit dar. Dabei ist es unerheblich, ob die Zustandsbeurteilung am Ende einer Laufenden Überwachung, einer Kontrolle, einer Prüfung oder einer Sonderprüfung stattfindet. Ergebnis jeder einzelnen Zustandsbeurteilung soll eine Aussage über den aktuellen Zustand des Objektes sein und die Veränderung des Zustandes über den Beobachtungszeitraum miteinbeziehen.

Zur Zustandsbeurteilung sollte das Bauwerk in unterschiedliche Bauteile unterteilt werden. Jedes Bauteil sollte gesondert beurteilt werden und anschließend im Zusammenhang mit allen anderen Bauteilen betrachtet werden. Durch diese Aufteilung wird eine einfachere Erfassung und Dokumentation des Zustandes ermöglicht, der einfache Zusammenhang aller Einflüsse kann dargestellt werden. Diese Einzelbewertungen der Bauteile sollten anschließend zu einer Gesamtbeurteilung des Objektes zusammengeführt werden. Um die Überleitung von Einzelbauteilen zum Gesamtobjekt zu ermöglichen, muss die Beurteilung der Einzelbauteile gewertet werden. So kann der Einfluss der Bauteile berücksichtigt werden, und das Zusammenwirken der Bauteile und deren Zuverlässigkeit kann verständlich abgebildet werden.

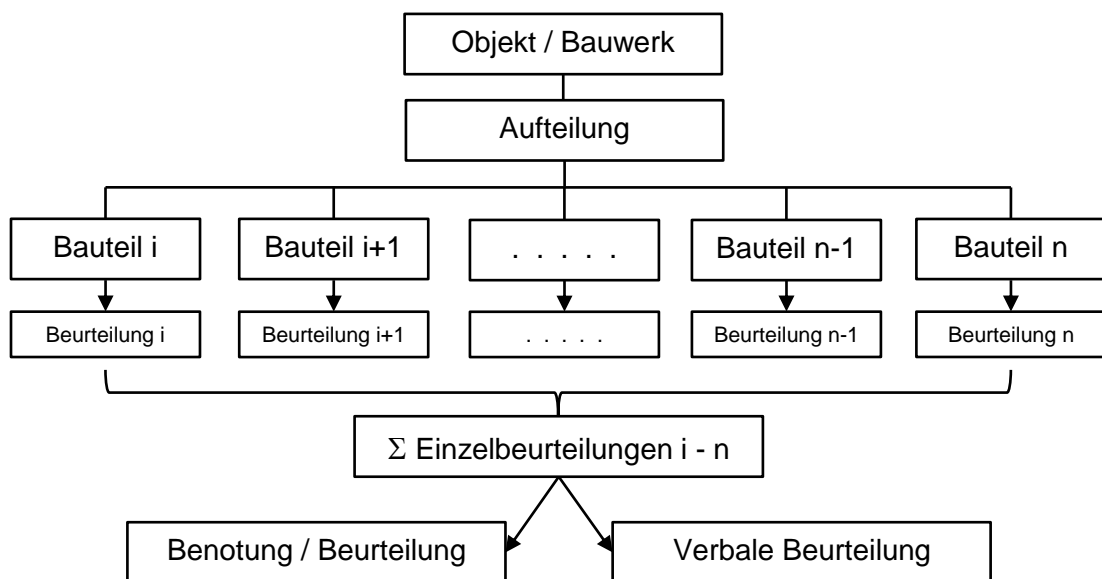


Abb. 81: Aufteilung des Gesamtobjekts bei der Zustandsbeurteilung

Als Ergebnis einer Beurteilung sollte am Ende neben der zahlenmäßigen Beurteilung/Benotung auch eine verbale Beurteilung des Objektes, mitsamt den Empfehlungen zum Bauwerk stehen. Diese Beurteilung/Benotung und die verbale Beurteilung werden in Kapitel 8.2.2 näher dargestellt.

## 8.2.2 Beurteilungs- und Bewertungsschema

Mit Hilfe eines neuen Schemas zur Beurteilung des Bauwerkes kann ein Mehrwert im Anschluss an die Zustandserfassung generiert werden. Dabei werden sowohl der Bauwerkszustand, als auch der Kenntnisstand über das Bauwerk erfasst. Nachfolgend wird näher auf diese beiden Punkte eingegangen und eine mögliche Schematisierung dieser Beurteilung aufgezeigt.

### 8.2.2.1 Beurteilung des Bauwerkszustandes

Diese soll den aktuellen Zustand – und dessen Veränderung über den Beobachtungszeitraum des Stützbauwerkes abbilden. Dabei werden die vorgefundenen Daten und Informationen dokumentiert, analysiert und beurteilt. Das Ergebnis einer solchen Beurteilung kann mit Hilfe des Schulnotensystems abgebildet werden. Dabei kann das bereits in der RVS (RVS 13.03.61, 2014) verankerte Beurteilungssystem herangezogen werden. Zusätzlich wird das vorhandene Beurteilungssystem noch um eine Kategorie erweitert. Wenn der Zustand eines Stützbauwerkes aufgrund der durchgeführten Untersuchungen noch nicht beurteilt werden kann, wird hierfür eine eigene Beurteilung eingeführt, um dem Objekt nicht einen unzutreffenden Zustand aufgrund fehlender Informationen zuzuweisen. Diese Beurteilung wird durch eine „6 – nicht beurteilbar“ vergeben.

Tabelle 18: Beurteilungssystem nach RVS (RVS 13.03.61, 2014) und dessen Erweiterung

1	sehr guter Zustand
2	guter Zustand
3	ausreichender Zustand
4	mangelhafter Zustand
5	schlechter Zustand
6	nicht beurteilbar

Das in Tabelle 18 dargestellte Beurteilungsschema kann sowohl für die Beurteilung des Gesamtobjektes, als auch für jene der Einzelobjekte (Bauteile) herangezogen werden. Wie bereits beschrieben, sollte ein Zusammenhang zwischen der Bauteil- und der Objektbeurteilung gegeben sein. Es ist möglich, dass gewisse Bauteile, welche keinen maßgebenden Einfluss auf das Bauwerk aufweisen, mit einer 5 (schlechter Zustand) beurteilt werden, jedoch das Bauwerk als gesamtes besser beurteilt wird. Andererseits führt eine negative (oder schlechte) Beurteilung eines für den Gesamtzustand wesentlichen Einzelbauteiles zwingend zu einer ebenso negativen Beurteilung des Gesamtobjektes. Wichtig für diese Unterscheidung ist, dass der Zusammenhang zwischen der Beurteilung des Bauteils und jener des Gesamtobjektes

klar definiert wird. Zusätzlich zu diesen Beschreibungen sollten bei der Objektbeurteilung die Zusammenhänge zwischen der Beurteilung und den damit verbundenen Einschränkungen und der Instandhaltung betrachtet werden. Dazu kann das in Tabelle 18 verwendete Beurteilungsschema um eine Beschreibung - ähnlich (RVS 13.03.61, 2014) - erweitert werden.

Tabelle 19: Beurteilungsschema bei Stützbauwerken mit den Erweiterungen in Bezug auf Einschränkungen und die Instandsetzung

Note	Beurteilung	Beschreibung
1	sehr guter Zustand	Keine oder sehr geringe Schäden; unwesentliche Mängel aus der Bauzeit wie Abweichungen der Abmessungen, ästhetische Mängel. Keine Einschränkungen der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit. Keine Instandsetzungstätigkeiten erforderlich.
2	guter Zustand	Geringe, leichte Schäden; geringfügige Mängel aus der Bauherstellung, die noch keine Verschlechterung zeigen. Keine Einschränkungen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit.
3	ausreichender Zustand	Mittelschwere Schäden, die keine Einschränkung der Tragfähigkeit zur Folge haben. Es sind Anzeichen einer Verminderung der Gebrauchstauglichkeit bzw. Dauerhaftigkeit des Bauwerkes zu erkennen. Eine Instandsetzung sollte mittelfristig in Angriff genommen werden, um die Gebrauchstauglichkeit bzw. die Dauerhaftigkeit auf das geplante bzw. (unmittelbar) erforderliche Maß anzuheben.
4	mangelhafter Zustand	Schwere Schäden, die derzeit noch keine Einschränkung der Tragfähigkeit zur Folge haben. Es ist eine Verminderung der Gebrauchstauglichkeit und der Dauerhaftigkeit deutlich zu erkennen. Eine Instandsetzung sollte kurzfristig in Angriff genommen werden.
5	schlechter Zustand	Sehr schwere Schäden, die eine Einschränkung der Tragfähigkeit und/oder Gebrauchstauglichkeit in unzulässigem Ausmaß bis zum Abschluss der Instandsetzung/Erneuerung zur Folge haben. Instandsetzungs- oder Erneuerungsarbeiten sind unverzüglich einzuleiten.
6	nicht beurteilbar	Beurteilbarkeit aufgrund fehlender oder nicht ausreichender Informationen nicht möglich. Notwendige Maßnahmen zur Erhöhung des Informationsstandes bzw. Kenntnisstandes des Bauwerkes bzw. gegebenenfalls notwendige Einschränkungen oder sonstige eventuelle Sofortmaßnahmen sind durch das geschulte Fachpersonal oder den fachkundigen Experten zu veranlassen.

### 8.2.2.2 Bewertung des Kenntnisstandes

Neben der im vorherigen Kapitel beschriebenen Bewertung des Bauwerkszustandes ist eine Beurteilung des Wissen- bzw. Kenntnisstandes über das Objekt wichtig. Mit Hilfe des Kenntnisstandes kann – ähnlich der Beurteilung von Bestandsgebäuden auf ihre Erdbebensicherheit (ÖNORM EN 1998-3, 2013) – die Vertrauenswürdigkeit der Beurteilung selbst dargestellt werden. Mit der Bewertung des Kenntnisstandes ergibt sich folgender Mehrwert für die Beurteilung:

- Die Darstellung des Kenntnisstandes ermöglicht eine Abschätzung der Qualität bzw. Vertrauenswürdigkeit der Beurteilung. Bei geringeren Kenntnissen über das Bauwerk ist die Wahrscheinlichkeit, dass gewisse maßgebende Versagensmechanismen nicht identifiziert werden können, oder das – aufgrund fehlender oder eingeschränkter Informationen – das Gesamtverhalten des Bauwerkes falsch eingeschätzt wird höher.
- Durch die zusätzliche Bewertung des Kenntnisstandes ist auch eine Beurteilung möglich, wie groß der Handlungsbedarf in Bezug auf eine vertiefte Zustandserfassung des Bauwerkes selbst ist. Während bei einem sehr hohem Kenntnisstand größtenteils nur mehr die aus der Zustandsbeurteilung abgeleiteten Maßnahmen zur Anwendung kommen werden, sind bei geringem Kenntnisstand vermutlich noch zusätzliche Untersuchungen erforderlich, um weitere Daten und Informationen über das Objekt als Basis für eine zutreffende Zustandsbeurteilung zu erhalten.

In Anlehnung an den Eurocode 8-3 – Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden (ÖNORM EN 1998-3, 2013) könnte zur Erfassung des Kenntnisstandes folgende Unterteilung angedacht werden:

- **Geometrie**

Die geometrischen Eigenschaften eines Bauteiles oder des Gesamtobjektes, welche einen Einfluss auf das Tragverhalten des Stützbauwerkes haben.

- **Konstruktive Einzelheiten**

Neben der Kenntnis der Geometrie sind ebenfalls Kenntnisse über die weiteren statischen und konstruktiven Eigenschaften der Bauteile erforderlich. Dies können z.B. Kenntnisse über die Verteilung und Menge der Bewehrung in Stahlbetonteilen sein oder die Eigenschaften der Anschlüsse anderer Elemente. Ebenso gehören hierzu Kenntnisse zur Bettung und Lagerungssituation des Stützbauwerkes und die Verbindung mit dem Untergrund und dem angrenzenden Gelände.

- **Werkstoffe**

Die mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe aus welchen die Einzelbauteile hergestellt sind. Hierzu gehören insbesondere der verwendete Beton und die Bewehrung, sowie der Boden auf oder mit Hilfe das Bauwerk errichtet wurde. Damit lässt sich der Kenntnisstand über ein Stützbauwerk wie folgt gliedern:

Tabelle 20: Bewertungsschema für den Kenntnisstand in Anlehnung an (ÖNORM EN 1998-3, 2013)

#	Bewertung	Beschreibung
A	umfangreicher Kenntnisstand	<p><u>Geometrie</u>: detaillierte Kenntnisse über die Geometrie des Bauwerkes und die sonstigen geometrischen Randbedingungen; vorhandene Unterlagen wurden in-situ überprüft und sind zutreffend oder wurden durch diese Untersuchungen ergänzt</p> <p><u>Konstruktive Einzelheiten</u>: bei der Überprüfung der Geometrie wurde die konstruktive Durchbildung der Bauteile lückenlos erfasst.</p> <p><u>Werkstoffe</u>: Werkstoffeigenschaften wurden aus den vorhandenen Unterlagen entnommen und/oder durch in-situ- oder Laborversuche bestätigt; vollständiger Aufschluss des geologischen Profils in der Umgebung des Stützbauwerkes aus den Planungsunterlagen und/oder durch ergänzende Bodenuntersuchungen</p>
B	eingeschränkter Kenntnisstand	<p><u>Geometrie</u>: unvollständige Bestandsunterlagen wurden zumindest teilweise durch in-situ Messungen oder Untersuchungen ergänzt und durch die notwendigen Ergänzungen auf den aktuellen Stand gebracht</p> <p><u>Konstruktive Einzelheiten</u>: Feststellung der statischen und konstruktiven Eigenschaften der maßgebenden Bauteile des Objektes</p> <p><u>Werkstoffe</u>: Feststellung der wesentlichen Werkstoffeigenschaften der maßgebenden Bauteile – durch in-situ- oder Laborversuche und/oder durch die Einsicht in Bestandsunterlagen und historischen Regelwerke; Kenntnisse über den Aufbau und die Zusammensetzung des umliegenden Bodens und der Hinterfüllungsmaterialien</p>
C	mangelhafter Kenntnisstand	<p><u>Geometrie</u>: keine und/oder nur mangelhafte Bestandsunterlagen – nicht spezifizierte Regelplanungen – deren Inhalt nur mangelhaft überprüft und kontrolliert wurde/werden kann</p> <p><u>Konstruktive Einzelheiten</u>: fehlende bzw. sehr lückenhafte Bestandsdokumentation und Ausführungsplanung;</p> <p><u>Werkstoffe</u>: keine oder mangelhafte Informationen zu den maßgebenden Werkstoffen aus welchen sich die tragenden Bauteile zusammensetzen; mangelhafte Kenntnisse über den Aufbau und die Zusammensetzung des umliegenden Bodens und der Hinterfüllungsmaterialien</p>

### 8.2.2.3 Verbale Beurteilung des Bauwerkes und Empfehlungen

Neben der beschriebenen Beurteilung des Zustandes und die Bewertung des Kenntnisstandes kann durch die Erstellung einer abschließenden verbalen Beurteilung das Ergebnis dieser beiden Elemente klar geschildert werden. Dabei ist auf folgendes zu achten:

- die verbale Beurteilung soll als Begründung für die Beurteilung und Bewertung herangezogen werden können. Dabei soll sowohl auf die Ergebnisse der Zustandserfassung eingegangen werden, als auch auf die Sichtung und die daraus gezogenen Schlüsse der Bestandsunterlagen (und auch der vorhandenen Dokumentation),
- der Inhalt dieser Verbalisierung soll auf die gezogenen Schlüsse bezogen sein und soll zur Objektivierung der Beurteilungsfindung beitragen, und
- ergänzend können Empfehlungen – und auch mit deren Einhaltung oder Unterlassung verbundene Folgen – gegeben werden. Diese können sowohl auf die weitere Beobachtung des Bauwerkes abzielen, als auch Änderungen oder Anpassungen der Instandhaltungsmaßnahmen nahelegen.

### 8.2.2.4 Generelle Darstellung des Beurteilungs- und Bewertungsschemas

In nachfolgender Abbildung soll nochmals der Zusammenhang zwischen den in den Kapiteln 8.2.2.1 und 8.2.2.2 geschilderten Beurteilungs- und Bewertungskriterien dargestellt werden.

Tabelle 21: Darstellung der Zusammenhänge bei der Beurteilung und Bewertung von bestehenden Stützbauwerken

Bewertung (Kenntnisstand)		Beurteilung (Zustand)					
		1	2	3	4	5	6
		sehr gut	gut	ausreichend	mangelhaft	schlecht	
A	umfangreich	1A	2A	3A	4A	5A	nicht beurteilbar
B	eingeschränkt	1B	2B	3B	4B	5B	
C	mangelhaft	1C	2C	3C	4C	5C	

Aus der Darstellung (Benotung) in Tabelle 21 geht explizit hervor, dass die mit dem Begleitbuchstaben C beurteilten Objekte hinsichtlich ihrer Beurteilungsnote (Zahlen von 1 bis 5) eine geringere Vertrauenswürdigkeit aufweisen wie jene mit einem Begleitbuchstaben A oder B bewerteten Objekte. Der einer Beurteilung zugrundeliegende mangelhafte Kenntnisstand über das Bauwerk lässt keine „treffsichere“



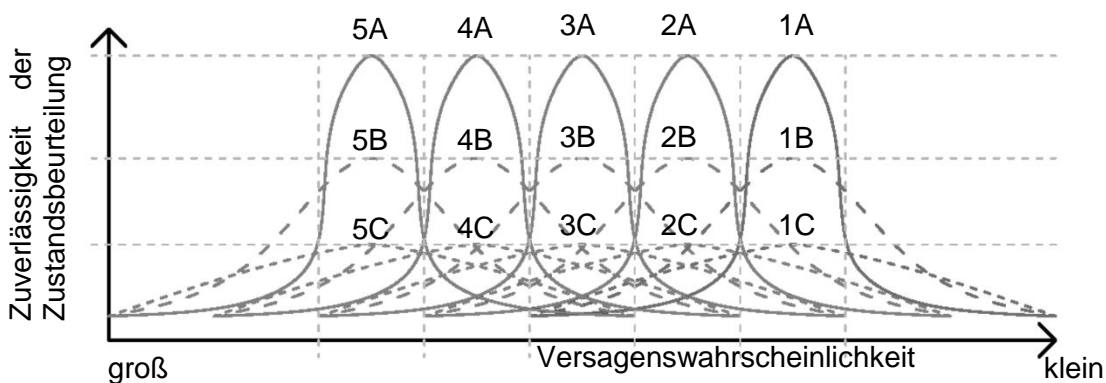
Bewertung zu. Dies hat zur Folge, dass der Autor die „Zustände 1C und 2C“ nicht mit sehr gut (dunkelgrün) und/oder gut (grün) bewertet, da hiermit eine „(Bewertungs)Sicherheit“ vorgetäuscht werden würde, die aufgrund des mangelhaften Kenntnisstandes über das Bauwerk nicht „vergeben“ werden darf (obwohl vielleicht alle vorhandenen Informationen dies nahelegen). Auch der Zustand 4C sollte begründet durch die geringere „Treffsicherheit“ der Beurteilung nicht mit mangelhaft (orange) sondern schlecht (rot) beurteilt werden, da der mangelnde Kenntnisstand letztlich eine „größere Unschärfe“ der Note 4 mit sich bringt und diese somit nicht der Note 4A gleichgesetzt werden darf, bei welcher der mangelhafte Zustand aufgrund des hohen Kenntnisstandes „treffsicher(er)“ beurteilt werden kann. Letztlich wird durch dieses (it Zahlen und Buchstaben) zweiteilige Benotungssystem etwas „quantifiziert“, was der Ingenieur in der Praxis i.A. automatisch macht: Der geringe Kenntnisstand, der das Risiko einer „Fehleinschätzung“ (zum Guten wie zum Schlechten) erhöht, führt zu Lasten einer schlechteren Benotung. Das heißt Unwissenheit (Unkenntnis) wird aus Sicherheitsüberlegungen tendenziell zu einer schlechteren Benotung führen, als der Augenschein (der geringe Kenntnisstand) es darstellt.

Tabelle 22: Beschreibung der Inhalte aus Tabelle 21

	Farbe / Schema	Beurteilung (Zustand)	Bewertung (Kenntnisstand)
1A	Dunkelgrün	sehr gut	umfangreich
1B	Schraffur Dunkelgrün / Hellgrün	sehr gut	eingeschränkt
1C	Schraffur Hellgrün / Weiß	sehr gut	mangelhaft
2A	Schraffur Dunkelgrün / Hellgrün	gut	umfangreich
2B	Hellgrün	gut	eingeschränkt
2C	Schraffur Gelb / Weiß	gut	mangelhaft
3A	Schraffur Hellgrün / Gelb	ausreichend	umfangreich
3B	Gelb	ausreichend	eingeschränkt
3C	Orange	ausreichend	mangelhaft
4A	Orange	mangelhaft	umfangreich
4B	Schraffur Orange / Rot	mangelhaft	eingeschränkt
4C	Rot	mangelhaft	mangelhaft
5A	Rot	schlecht	umfangreich
5B	Rot	schlecht	eingeschränkt
5C	Rot	schlecht	mangelhaft
6	Weiß	-	-

Um die Unterscheidung zwischen einigen der in Tabelle 21 und Tabelle 22 dargestellten und beschriebenen Ergebnisse der Zustandsbeurteilung besser zu

verdeutlichen, können diese mit Hilfe eines Diagrammes dargestellt werden. Dieses setzt sich aus der Versagenswahrscheinlichkeit auf der Abszisse und der Zuverlässigkeit der Zustandsbeurteilung auf der Ordinate zusammen. In Abhängigkeit der Zuverlässigkeit der Beurteilung (durch die Bewertung des Kenntnisstandes) ergeben sich Verteilungskurven mit kleiner Streuung (umfangreicher Kenntnisstand) bis zu Verteilungskurven mit großer Streuung (mangelhafter Kenntnisstand). Die Lage der Kurven (= Beurteilung) auf der Abszisse (Versagenswahrscheinlichkeit) spiegelt das Beurteilungsergebnis wieder. Werden z.B. die 3 Kurven mit unterschiedlicher Streuung (unterschiedlicher Kenntnisstand) für die Beurteilung des Zustandes mit „gut“ betrachtet, so ist erkennbar, dass für die Kurve für den mangelhaften Kenntnisstand (2C – große Streuung) eine höhere Versagenswahrscheinlichkeit vorherrscht wie für die Kurven 2A und 2B. Diesem Umstand wird durch die Farbgebung „Schraffur gelb/weiß“ (2C) im Vergleich zu der Farbe „dunkelgrün“ (2A) bzw. hellgrün (2B) Rechnung getragen.



Beurteilung	
1	sehr gut
2	gut
3	ausreichend
4	mangelhaft
5	schlecht

Bewertung	
—	A umfangreich
- -	B eingeschränkt
- - -	C mangelhaft

Abb. 82: Schematischer Zusammenhang zwischen der Zuverlässigkeit der Zustandsbewertung und der Versagenswahrscheinlichkeit

Die schematische Darstellung der Zustandsbeurteilung inklusive des vorliegenden Kenntnisstandes in Tabelle 22 bzw. in Abb. 82 drückt somit durch die Zahlen und Buchstabenkennzeichnung sowie durch die Farbgebung sowohl qualitativ mess- bzw. beurteilbare Größen wie „Kenntnisstand“ und „Zustandsbewertung“ als auch eine rein „qualitative“ Einstufung des Versagenspotentials durch die Farbgebung aus.

### 8.3 Andere Lösungsansätze zur Zustandsbewertung

Ein weiterer, hier nur am Rande erwähnter Ansatz zur Bewertung des Zustandes eines Stützbauwerkes könnte ähnlich jenem in den aktuellen Normen und Richtlinie zur Erstellung von Energieausweisen für Gebäude sein. In diesen wird, um den Zustand (oder die Ausführung) eines Gebäudes zu definieren ein sogenannter  $f_{GEE}$  Faktor eingeführt. Dieser Faktor (für die Gesamt Energie Effizienz) besagt, wie sich das Gebäude im Vergleich zu einem nach den aktuell gültigen Normen und Bauordnungen errichteten Gebäude (Referenzobjekt) mit den gleichen Eigenschaften und Abmessungen verhält. Dieser Faktor wird durch die Beziehung zwischen dem Heizwärmebedarf des geplanten (oder bestehenden) Gebäudes und dem Referenzobjekt gebildet.

Für Stützbauwerke könnte dieses Verfahren auf die statische Berechnung, die geotechnischen Nachweise und die Konstruktion eines Objektes angesetzt werden. Somit wären folgende Aussagen über das Stützbauwerk möglich:

- Ist der Beurteilungsfaktor kleiner 1, so wurden höher Lasten als in den aktuell gültigen Normen definiert angesetzt, alle definierten Versagensmechanismen wurden untersucht, eine ausreichende Sicherheit nachgewiesen und die konstruktive Durchbildung des Bauwerkes wurde nach dem aktuellen Stand der Technik durchgeführt. Das Bauwerk weist eine sehr hohe Sicherheitsreserve auf, und besitzt Reserven für Änderungen der Nutzung und der Umgebungsbedingungen.
- Ist der Faktor gleich 1, so handelt es sich um ein wirtschaftliches, und optimiertes Bauwerk, welches gerade dazu im Stand ist, die aktuellen Normen zu erfüllen. Jedoch ist das Bauwerk nicht auf Veränderungen in der Normenlage oder den Umgebungsbedingungen gewappnet.
- Ist der Faktor größer 1, bedeutet dies, dass das betrachtete Gebäude nicht den aktuellen Normen und Anforderungen entspricht und keine Reserven für Änderungen der Nutzung oder der Umgebungsbedingungen aufweist. Jedoch ist hierbei auf die Regelung des „rechtmäßigen Bestandes“ (siehe Kapitel 4.3.1.2) zu achten.

Der oben beschriebene Ansatz zur Bewertung und Benotung von Stützbauwerken dürfte sich bei Bauten im Bestand als schwierig umsetzbar erweisen, da Berechnungen und Nachweise in geforderter Qualität und Quantität vorhanden sein müssen, um diese mit den aktuellen Berechnungen zu vergleichen.

### 8.4 Ablaufschema für die Zustandserfassung und Zustandsbeurteilung von Stützbauwerken

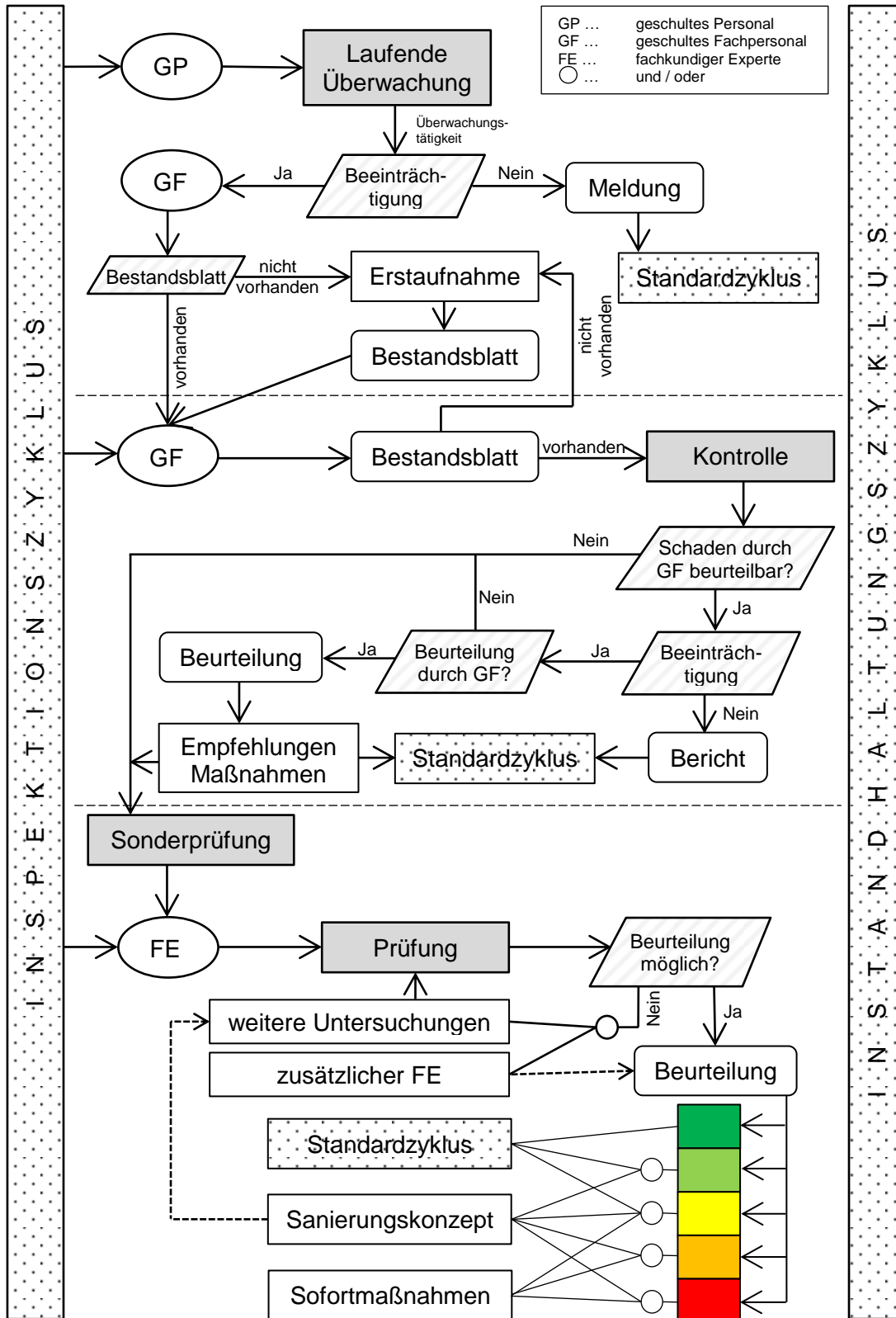


Abb. 83: Ablaufschema für die Zustandserfassung und Zustandsbeurteilung von Stützbauwerken

## 9 Maßnahmen

Die Entscheidung, Maßnahmen wie z.B. Sanierungs- oder Sofortmaßnahmen an einem Stützbauwerk durchzuführen kann entweder als geplante Folge des Instandhaltungszykluses getroffen werden, oder ist das Ergebnis einer Zustandsbeurteilung und wird im Sanierungskonzept näher untersucht. Beiden zu Grunde liegt, dass Maßnahmen immer mit einer detaillierteren Erfassung des Zustandes (und Bestandes) und einer notwendigen Planung zur Durchführung verbunden sind.

Bei der Planung von Maßnahmen muss, bestimmt durch die vorliegenden Schäden, zwischen Maßnahmen an Bauteilen und jenen am Gesamtobjekt unterschieden werden. Oftmals werden kleinere Maßnahmen an Einzelbauteilen in regelmäßigen Abständen durchgeführt, und sind somit im Instandhaltungsplan definiert. Größere Maßnahmen an Einzelbauteilen, die nicht zwingend in der zyklischen Instandhaltung liegen, stehen meist im Zusammenhang mit den Instandhaltungstätigkeiten am Gesamtobjekt.

In dieser Arbeit sollen Maßnahmen als Überbegriff gesehen werden. Nicht nur die physische, und technische Umsetzung von Baumaßnahmen – und damit Eingriffe in das Bauwerk – sind hier gemeint sondern, z.B. auch die in der Geotechnik häufig angewendete Beobachtungsmethoden. In Kapitel 9.3 und 9.4 wird auf die Umsetzung der baulichen Maßnahmen näher eingegangen, während in Kapitel 9.5 die Beobachtungsmethode eingängiger behandelt wird.

### 9.1 Sanierungskonzept

Das Sanierungskonzept steht als ein mögliches Ergebnis am Ende einer Zustandsbeurteilung und stellt die Planung der Umsetzung spezieller Empfehlungen dar. Dabei kann, abhängig von der Schwere der vorhandenen Schädigung und der daraus resultierenden Dringlichkeit der Umsetzung (der Empfehlungen) ein zeitlicher Ablauf des Sanierungskonzeptes wie folgt eingeteilt werden:

- **Entwicklung von Sanierungsvorschlägen**

Wie bei jedem Planungsprozess stehen auch bei der Sanierung von Stützbauwerken im Allgemeinen verschiedene Möglichkeiten (Varianten) zur Diskussion. All diese Varianten und unterschiedlichen Lösungsansätze sollten gesammelt nach einem ersten Ausscheidungsprozess (vorab rudimentär) durchgeplant werden. Dabei sollte, keine spezielle Lösung von vorn herein genauer betrachtet oder ausgeschlossen

werden. Jedoch sollten die Randbedingungen durch das Bauwerk und dessen Umgebung, sowie die Vorgaben und Wünsche durch den Bauherrn mitberücksichtigt werden. Wichtig bei der Lösungsfindung ist neben der Objektivität des Planers auch, dass vor Beginn der Planung die gewünschten Ziele definiert werden und alle Randbedingungen im Zusammenhang mit dem Stützbauwerk bekannt sind.

- **Bewertung der Sanierungsvorschläge**

Nach der ersten Grobplanung für die nicht ausgeschiedenen Varianten gilt es diese zu bewerten. Bei der Bewertung sollten die bereits als Planungsgrundlage herangezogenen Randbedingungen und Zieldefinitionen verwendet werden. Nachdem alle Vorschläge auf Basis dieser Angaben überprüft wurden, kann eine genauere Erarbeitung mehrerer Sanierungsvorschläge durchgeführt werden. Einerseits wird dadurch die Qualität der Lösungsfindung erhöht, andererseits können damit Schwächen und Fehler ausgemerzt werden. Jedoch kann auch die Bewertung aller Varianten eindeutig ausfallen und eine Vertiefung der Planung gewisser Varianten ist daraus folgend nicht mehr erforderlich.

- **Entscheidung für einen Sanierungsvorschlag**

Abschließend ist eine Entscheidung für die Durchführung der bewerteten Sanierungsvarianten zu treffen. Dazu sind neben den Ergebnissen der Bewertung auch zusätzliche Prioritäten des Bauherrn zu berücksichtigen.

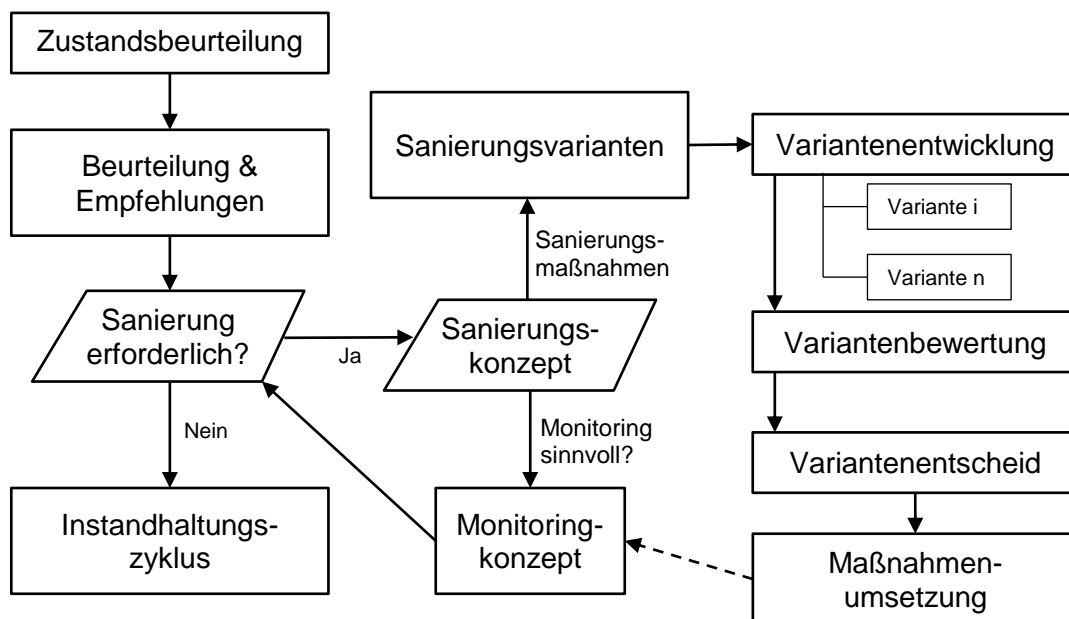


Abb. 84: Ablauf bei der Erarbeitung eines Sanierungskonzeptes

## 9.2 Planung von Maßnahmen

Die Maßnahmenplanung bei Bauwerken im Bestand unterscheidet sich in wenigen Punkten von der Planung eines neu zu errichtenden Bauwerkes. Einer der wesentlichen Unterschiede ergibt sich z.B. daraus, ob der „Betrieb und die Nutzung“ während der Durchführung der Sanierung fortlaufen sollten. Ein anderer Unterschied besteht darin, dass der vorhandene Bestand (sofern er nicht abgerissen sondern weiter verwendet werden soll) die Freiheiten in der Entwicklung von Sanierungsvarianten wesentlich einschränken kann. Das heißt, durch den Bestand werden Randbedingungen vorgegeben, welche die Wahl eventuell möglicher Sanierungsmethoden unter Umständen wesentlich begrenzen können. Besonderes Augenmerk ist dabei lediglich auf die Informationen aus dem Bestand zu legen. Weiters sollte bei der Erstellung von Planungen im Bestand immer auch der Schutz des Bestandsobjektes und der Umgang mit den nicht mehr abänderbaren Eigenschaften der bestehenden Bauteile miteinbezogen werden.

### 9.2.1 Planungskriterien & Planungsziele

Die Planungskriterien – und aus diesen folgend auch die Planungsziele – bei einem Bauvorhaben im Bestand lassen sich von den Handlungsbereich der Objekterrichtung nach ÖNORM B 1801-1 (ÖNORM B 1801-1, 2009) ableiten.

- Qualitätsplanung: Ermittlung, Festlegung und Beschreibung der geforderten Qualität, mit welcher die Sanierungsvorschläge ausgearbeitet werden sollen, und welche Qualitätseigenschaften das Stützbauwerk aufweisen soll.
- Kostenplanung: Um eine Sanierung oder Instandsetzung bestmöglich abzuschließen, und den größtmöglichen Erfolg zu erzielen ist es erforderlich, den Kostenrahmen für die Instandhaltungstätigkeiten festzulegen.
- Terminplanung: Neben der Qualität der Baumaßnahmen und den Kosten für diese, ist auch noch eine Betrachtung der Termine erforderlich. Bei Stützbauwerken stehen die Termine nicht nur mit der Bauausführung an sich in Zusammenhang sondern auch mit den oftmals erforderlichen Eingriffen in die Verkehrsführung oder anderen Bereichen der Infrastruktur im Nahebereich des Stützbauwerkes.

Mit Hilfe dieser drei Grundkategorien soll es möglich sein, alle Kriterien und Ziele für die Planung der Umbaumaßnahmen vorzeitig zu definieren und damit eine einheitliche Grundlage für die Bewertung der einzelnen Maßnahmen zu liefern.

## 9.2.2 Planungsphasen

Gleich den Kriterien und Zielen können auch die Planungsphasen nach ÖNORM B 1801-1 (ÖNORM B 1801-1, 2009) eingeteilt werden.

Handlungsbereich		Projektphase					
		Entwicklungsphase	Vorbereitungsphase	Vorentwurfsphase	Entwurfsphase	Ausführungsphase	Abschlussphase
Qualität	Qualität	Qualitätsziel	Qualitätsrahmen	Vorentwurfsbeschreibung	Entwurfsbeschreibung	Ausführungsbeschreibung	Qualitätsdokumentation
	Quantität	Quantitätsziel	Raumprogramm	Vorentwurfsplanung	Entwurfsplanung	Ausführungsplanung	Planungsdokumentation
Kosten	Kosten	Kostenziel	Kostenrahmen	Kostenschätzung	Kostenberechnung	Kostenanschlag	Kostenfeststellung
	Finanzierung	Finanzierungsziel	Finanzierungsrahmen	Finanzierungsplan			
Termine	Termine	Terminziel	Terminrahmen	Großterminplan	Genereller Ablaufplan	Ausführungsterminplan	Terminfeststellung
	Ressourcen	Ressourcenziel	Ressourcenrahmen	Ressourcenplan			

Abb. 85: Planungssysteme nach ÖNORM B 1801-1 (ÖNORM B 1801-1, 2009)

Bei der Variantenstudie sollten die Planungen bis zur Vorentwurfsphase ausgearbeitet werden, dadurch ist garantiert, dass keine maßgebenden Einflüsse vernachlässigt werden.

## 9.3 Sofortmaßnahmen

Im Zuge der Zustandserfassung von Stützbauwerken kann es sein, dass Schäden oder mögliche Versagensmechanismen vorliegen, die in ihrem Erscheinen und den damit verbundenen Auswirkungen so gravierend sind, dass umgehende Verbesserungen des Bauwerkszustandes erforderlich werden. Dabei wird die Zeitspanne zwischen dem Prozess der Zustandserfassung bzw. Bewertung und der Durchführung der Maßnahmen verkürzt. Dabei sei jedoch Vorsicht geboten, da die Empfehlung zu Sofortmaßnahmen meist ernste Folgen hat:

- das Sicherheitsgefühl für Personen im Bereich des Stützbauwerkes leidet unter den (sichtbaren) Maßnahmen
- Sofortmaßnahmen können nur sehr kurzfristig geplant werden, sind oftmals überdimensioniert und teuer und stehen eventuellen späteren Sanierungsprozessen „im Weg“

Aus diesen Gründen sollte der Einsatz von Sofortmaßnahmen nur bei Gefahr im Verzug oder sonstigen triftigen Gründen angeordnet werden, und wenn möglich oder erforderlich, durch Einsetzung eines fachkundigen Experten abgesichert werden.



## 9.4 Maßnahmenkatalog

Bei den Maßnahmen zur Sanierung und Instandsetzung von unverankerten Stützbauwerken gibt es eine Vielzahl an möglichen Lösungsansätzen. Wie bereits erwähnt können diese auf Einzelbauteile oder das Gesamtobjekt angewendet werden.

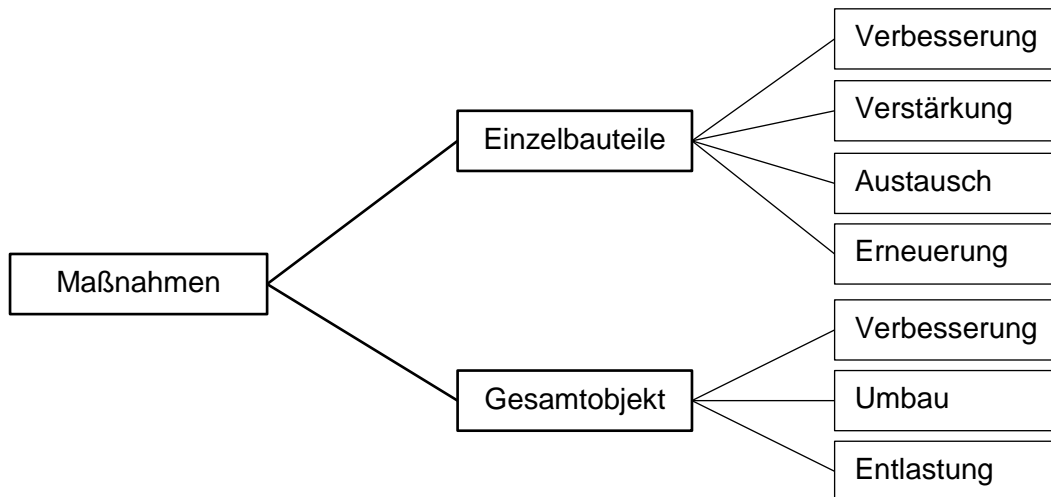


Abb. 86: Einteilung der Maßnahmen zur Sanierung und Instandsetzung von unverankerten Stützbauwerken

### 9.4.1 Einzelbauteile

Bei Instandsetzungstätigkeiten von Einzelbauteilen soll lediglich die Eigenschaft des betrachteten Bauteils auf ein erforderliches Niveau hin verändert werden. Dies kann durch eine Verbesserung, eine Verstärkung, einen Austausch oder die Erneuerung dieses Bauteils geschehen.

- Eine Verbesserung des Bauteils wird durch die reine Sanierung der tragenden und lastableitenden Elemente erreicht. Dies tritt oft bei Bauteilen aus Stahlbeton ein, bei denen durch eine Betoninstandsetzung die Dauerhaftigkeit erhöht und somit das Tragfähigkeitsniveau über eine größere Dauer gehalten werden kann.
- Durch die Erhöhung der Tragfähigkeit des Bauteils im Zuge einer Verstärkung kann nicht nur die Dauerhaftigkeit verlängert werden, sondern auch die statischen Eigenschaften erhalten eine Aufwertung. Durch eine derartige Verbesserung wird es für das Bauteil einfacher die Anforderungen an die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit zu erfüllen.
- Bei systematisch aufgebauten Bauwerken, die nicht zusammenhängend, oder zumindest einfach trennbar, miteinander verbunden sind, ist es möglich durch

den Austausch einzelner Komponenten eine Erhöhung oder Verbesserung der Tragfähigkeit zu erreichen. Ebenso können die Gebrauchstauglichkeitsanforderungen durch ein neu eingebautes Bauteil – und somit einem neuen Steuerungselement in der Planung – verbessert werden. Bei der Planung einer derartigen Maßnahme ist jedoch immer auf das Zusammenwirken zwischen den bestehenden und den neu eingebrachten Bauteilen zu achten.

- Als letztes, wenn der Austausch einzelner Bauteilkomponenten nicht möglich ist, kann eine Erneuerung des Bauteils den gewünschten Erfolg bringen. Dabei gelten die gleichen Anforderungen wie für einen Austausch, jedoch ist das erneuerte Bauteil als selbstständige Komponente zu betrachten.

#### 9.4.2 Gesamtobjekt

Instandhaltungs- oder Sanierungstätigkeiten am Gesamtobjekt verändern im Allgemeinen die statischen und / oder geotechnischen Eigenschaften des Bauwerkes. Dabei kommt es meist zu Baumaßnahmen die das gesamte statische System beeinflussen. Dies kann in Form einer Bauteilveränderung geschehen oder eine Anpassung des Gesamtsystems sein. Zusätzlich zu anderen Maßnahmen oder Veränderungen kann auch noch eine Entlastung des Bauwerkes das Tragverhalten nachhaltig verändern.

- Ebenso wie bei einem Einzelbauteil kann auch die Verbesserung des Gesamtobjektes als Sanierungsvariante in Betracht gezogen werden. Im Unterschied zu einem Bauteil oder dessen Komponenten, wird jedoch hierbei das gesamte Objekt – alle Komponenten gemeinsam – verbessert. Damit ist oftmals eine Betrachtung des Bauwerkes nach den aktuellen Vorschriften, Regeln und Normen durchzuführen.
- Als letzte konstruktive Maßnahme kann ein Umbau des Bauwerkes auf das erforderliche Tragfähigkeits- oder Gebrauchstauglichkeitsniveau durchgeführt werden. Dies wird durch eine Verbesserung und / oder Verstärkung einzelner Bauteilkomponenten oder Bauteile erreicht.
- Eine generell (und theoretisch) bei allen Stützbauwerken durchführbare Maßnahme stellt die Entlastung dar. Um die Beanspruchung des Bauwerkes zu verringern, und somit die Schädigungen zu verhindern (oder zu entschleunigen), kann eine Entlastung des Bauwerkes durchgeführt werden.

Die beiden Maßnahmen des Austausches, Neubaus oder des Abbruchs eines Stützbauwerkes werden hierbei nicht beschrieben, da sie keine direkte Baumaßnahme am Bestandsobjekt darstellen.

### 9.4.3 Beispiele für Maßnahmen

Nachfolgend sollen einige Maßnahmen aufgezeigt werden. Da es sich bei den meisten Maßnahmen um speziell an das Bauwerk angepasste Sanierungsvarianten handelt, werden hier nur Beschreibungen geliefert und keine detaillierten Aussagen zum Funktionsprinzip oder der Herstellung dieser Maßnahmen gemacht.

#### 9.4.3.1 Maßnahmen am Einzelbauteil

Die meisten Maßnahmen an Einzelbauteilen werden bei Bauwerken aus Beton durchgeführt. Daher werden nachfolgend hauptsächlich Sanierungsvorschläge für Betonbauteile aufgelistet. Diese sind größtenteils aus ÖNORM EN 1504 – Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandhaltung von Betontragwerken – Teil 2 – 9 entnommen. In dieser Norm wird zwischen den Instandhaltungsprinzipien für Beton und Betonstahl unterschieden. Diese teilen sich wie folgt auf:

Tabelle 23: Instandhaltungsprinzipien nach ÖNORM EN 1504-1 (ÖNORM EN 1504-1, 2005)

Material	Bezeichnung	Beispiele
Beton	PI – Schutz gegen das Eindringen von Stoffen	Hydrophobierung Versiegelung Beschichtung Örtliche Abdeckung von Rissen Füllen von Rissen Umwandlung von Rissen in Dehnfugen Montage von Vorsatzplatten Aufbringen von Membranen
	MC – Regulierung des Wasserhaushaltes des Betons	Hydrophobierung Versiegelung Beschichtung Montage von Vorsatzplatten Elektrochemische Behandlung
	CR – Betonersatz	Mörtelauftrag von Hand Querschnittsergänzung durch Betonieren Beton- und Mörtelauftrag durch Spritzverarbeitung Auswechseln von Bauteilen
	SS – Verstärkung des Betontragwerkes	Zufügen oder Auswechseln von eingebetteten oder außenliegenden Bewehrungsstäben Einbau von Bewehrung in den Beton Verstärkung durch Laschen Querschnittsergänzung durch Mörtel oder Beton

		Injizieren in Risse, Hohlräume oder Fehlstellen Füllen von Rissen, Hohlräumen oder Fehlstellen Vorspannen
	PR – Erhöhung des physikalischen Widerstandes	Beschichtung Versiegelung Mörtel- und Betonauftrag
	RC – Erhöhung des Chemikalien-Widerstandes	Beschichtung Versiegelung Mörtel- oder Betonauftrag
Bewehrungs- stahl	RP – Erhalt oder Wiederherstellung der Passivität	Erhöhung der Betondeckung Ersatz von schadstoffhaltigem oder karbonatisiertem Beton Elektrochemische Realkalisierung von karbonatisiertem Beton Realkalisierung von karbonatisiertem Beton durch Diffusion Elektrochemische Chloridextraktion
	IR – Erhöhung des elektrischen Widerstandes	Hydrophobierung Versiegelung Beschichtung
	CC – Kontrolle kathodischer Bereiche	Begrenzung des Sauerstoffgehaltes (an der Kathode) durch Sättigung oder Oberflächenbeschichtung
	CP – Kathodischer Schutz	Anlegen eines elektrischen Potentials
	CA – Kontrolle anodischer Bereiche	Anstrich der Bewehrung durch aktive pigmentierte Beschichtungen Anstrich der Bewehrung mit Beschichtungen nach dem Barriere-Prinzip Anwendung von Korrosionsinhibitoren auf den oder zum Beton

Einige der in Tabelle 23 beschriebenen Maßnahmen zielen auf die Verbesserung und Erhöhung der Dauerhaftigkeit des Betonbauwerkes ab. Dies wird hauptsächlich durch das Aufbringen von Beschichtungen oder Verschleißmaterialien erzielt. Durch diesen Materialauftrag wird eine Reduzierung der in das Betonmedium eindringenden korrosionsfördernden Medien (Luft, Wasser) erreicht.

- **Hydrophobierung**

Unter der Hydrophobierung versteht man die wasserabweisende Ausführung eines Baustoffes. Dies geschieht durch die Anwendung des Kapillargesetzes und den damit verbundenen physikalisch- chemischen Effekten.

- **Versiegelung**

Die Versiegelung der Betonoberfläche dient dazu, die Poren und Hohlräume an der Oberfläche eines Bauteiles zu versiegeln. Dabei werden im Unterschied zur

Beschichtung auch die Hohlräume an sich geschlossen, und nicht nur die Oberfläche und der sichtbare Öffnungsbereich.

- **Beschichtung**

Im Gegensatz zu einer Versiegelung werden bei der Beschichtung nur dünne Schutzschichten aufgetragen, welche lediglich den Zutritt schädigender Stoffe an die Oberfläche verhindern. Die Poren und Hohlräume werden nur zu einem gewissen Teil verschlossen und nicht vollständig verfüllt.

Die Sanierungsvarianten für den Beton beziehen sich hauptsächlich auf die Steigerung der Tragfähigkeit – welche oftmals auch mit einer Verbesserung der Dauerhaftigkeit einhergeht. Hierbei ist nicht immer nur der Beton (als Dreiphasengemisch an sich) zu betrachten, sondern die Kombination aus Beton und Stahl - Stahlbeton. Bedingt durch das Prinzip des Stahlbetons ist hier immer die Wechselwirkung zwischen Beton (im Allgemeinen die Druckzone) und Bewehrung (im Allgemeinen die Zugzone) gemeinsam zu untersuchen.

- **Betonersatz – Mörtel- oder Betonauftrag**

Um die ursprüngliche Form und Tragfähigkeit wieder zu erreichen und die Dauerhaftigkeit zu gewährleisten, wird ein Betonersatz durchgeführt. Hierzu werden speziell geeignete Baustoffe (Mörtel oder Betone) verwendet und auf die Fehlstellen aufgetragen. Dies kann bei kleinflächiger Schädigung von Hand geschehen, bei großflächigen Schädigungen wird das Spitzverfahren angewendet. Wichtig vor dem Aufbringen des Ersatzstoffes ist die Vorbehandlung und Reinigung des Untergrundes. Zur Anwendung kommen Zementmörtel, polymermodifizierte Zementmörtel oder Betone und polymergebundene Mörtel und Betone. Wichtig bei all diesen Materialien ist, dass sie eine feinkörnige Struktur aufweisen und gute Verbund- und Verschlusseigenschaften mit den bestehenden Baumaterialien aufweisen.

- **Auswechseln von Bauteilen**

Neben dem Ersatz von schadhaften Stellen kann es bei sehr stark geschädigten Bauteilen auch erforderlich sein, diese auszutauschen. Dazu wird ein großflächiger Bereich in der Umgebung der schadhaften Bereiche entfernt und durch Neumaterial ersetzt. Dazu kommen ähnliche Materialien wie für den Betonersatz zur Anwendung. Wichtig bei der Planung und Ausführung einer derartigen Maßnahme ist, dass die Standsicherheit des Bauwerkes untersucht wird und notwendigenfalls kurzzeitige Verstärkungsmaßnahmen eingeplant werden.

- **Einbettung und Einbau neuer Bewehrungselemente**

Ein wichtiger Bestandteil von Stahlbetonbauteilen ist die Bewehrung. Sollte diese schadhaft sein oder ist eine Steigerung der Tragfähigkeit erforderlich, so kann ein Austausch oder eine Anpassung durchgeführt werden. Dazu werden Bereiche des Bauteils freigelegt und die vorhandene Bewehrung ersetzt oder erweitert. Wichtig hierbei ist die Anpassung an die vorhandene Betonqualität und die Herstellung der erforderlichen Verbundeigenschaften. Diese sind sowohl für den Bewehrungsstab (Verbundlänge) als auch für den Beton (Lastein- und weiterleitung) gesondert zu untersuchen. Beim Austausch von Bewehrung kommen Sonderbauteile, wie Spezialkleber und Mörtel oder Gewindemuffen zum Einsatz.

- **Verstärkung durch Laschen**

Ist die Verstärkung der Bewehrung auf Höhe der bestehenden Bewehrung nicht möglich, so können andere Maßnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit herangezogen werden. Dazu werden außenliegende Bewehrungselemente verwendet. Diese Elemente können aus unterschiedlichsten Materialien bestehen. So können Stahlbleche, textile Fasern und Gewebe oder Kunststoffe verwendet werden. Heute sehr häufig sind kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK-Lamellen) in Verwendung. Zur Verbindung zwischen den bestehenden Oberflächen und den neuen Bewehrungselementen kommen Zwei-Komponenten-Kleber oder Epoxidharze zur Anwendung. Wichtig bei dieser Form der Sanierung ist, dass eine Untergrundbehandlung durchgeführt wird, und der Witterungsschutz der außenliegenden Bewehrungselemente nach Durchführung einer derartigen Verstärkung wiederhergestellt wird.

- **Injektion oder Füllung von Rissen, Hohlräumen und Fehlstellen**

Ist die Tragfähigkeit eines Bauteils aufgrund von Rissen, Hohlräumen oder Fehlstellen gefährdet oder in erheblichem Maße reduziert worden, so können diese durch Injektion oder Füllung wieder geschlossen werden. Bei der Injektion (sowohl unter Druck als auch drucklos) können Risse in ihrer vollen Ausdehnung geschlossen werden. Bei Rissen mit einer großen Ausdehnung kann die Injektion nicht mehr ausreichend durchgeführt werden. Gemeinsam mit Rissen werden Hohlräumen und Fehlstellen durch Füllungen verschlossen.

Die Sanierungsmaßnahmen bei Bewehrungsstahl beschränken sich hauptsächlich auf das Wiedererlangen der Dauerhaftigkeit und die Verhinderung von Folgeschäden durch eine bereits vorhandene Schädigung. Hierbei gilt es oft, die chemischen Eigenschaften des Stahles anzupassen und das umliegende Milieu wieder auf das angestrebte Niveau zu heben.

- **Betonersatz**

Der Betonersatz kann bei der Bewehrung zur Wiederherstellung der erforderlichen Betondeckung und damit der Erhöhung der Dauerhaftigkeit herangezogen werden. Ebenso können Versiegelungen oder Beschichtungen dazu verwendet werden, im die Schädigungen aus zu geringen Bewehrungsabständen zu korrigieren.

#### 9.4.3.2 Maßnahmen am Gesamtobjekt

Hier sollen einige Sanierungsvarianten aufgezeigt werden, deren Ziel es ist, das Gesamtverhalten des Bauwerkes und / oder das statische System zu verändern und anzupassen.

- **Auflastentfernung**

Durch das Entfernen von Auflasten hinter dem Stützbauwerk kann der auf das Bauwerk einwirkende Erddruck verringert werden, womit eine Belastungsabnahme einzelner Bauteile bewirkt werden kann. Neben der Entfernung von direkten Auflasten wie geneigten Aufschüttungen oder Bermen im Bereich des Stützbauwerkes kann auch die Behandlung von Bauwerken im Nahebereich zielführend sein. So kann z.B. die Gründungsebene eines Bauwerkes in tiefere Schichten verlegt werden, um aus dem Einflussbereich des Stützbauwerkes zu fallen. Des Weiteren kann die Entfernung von Gehölz oder Wurzelwerk zu einer Entlastung des Bauwerkes führen.

- **Entwässerungsmaßnahmen**

Neben dem Erddruck und den Verkehrslasten kann der Wasserdruck einer der Hauptbelastungsgrößen von Stützbauwerken sein. Durch die Ableitung des Wassers, bevor es sich an der Rückseite eines Bauwerkes anstauen kann, wird gewährleistet, dass sich kein Wasserdruck aufbaut. Diese Entwässerung kann durch verschiedene Maßnahmen sichergestellt werden:

- Warten bestehender Entwässerungseinrichtungen: Durch die sachgemäße Wartung der vorhandenen Entwässerungseinrichtungen kann die Funktionsfähigkeit dieser erhalten werden. Eventuelle Reparaturen oder das Austauschen der Drainage ist jedoch, bedingt durch die unzugängliche Lage, oftmals nur sehr schwierig möglich. Daher sind bei beschädigten oder nicht mehr funktionstüchtigen Drainageanlagen anderen Entwässerungseinrichtungen erforderlich.
- Drainageanlage am Fuß eines Bauwerkes: Einige Bauwerke wurden, aufgrund der Kenntnisse zu ihrer Errichtungszeit oder anderen Planungsansätzen nicht mit einer Drainage im Fußbereich ausgestattet. Daher kann der nachträgliche

Einbau einer Entwässerung in diesem Bereich zielführend sein. Bedingt durch die Geometrie und die erschwerte Zugänglichkeit kann dies jedoch nicht immer linienförmig (wie es bei der Neuerrichtung geschehen würde) passieren, sondern muss durch punktförmige Öffnungen geschehen. Oftmals werden derartige Entwässerungen auch in unterschiedlichen Höhenlagen errichtet, um eine bessere Wasserableitung zu gewährleisten.

- **Drainageanlage im Hinterfeld** des Bauwerkes: Sind Entwässerungen direkt hinter dem Bauwerk nicht möglich, oder ist der Wasserandrang zu groß, so können Entwässerungen in der Umgebung des Bauwerkes zielführend sein. Diese können durch den Einbau von Brunnen oder Entwässerungsbohrungen durch das Bauwerk geschehen. Oftmals ist dies zielführend, um die wasserführenden Schichten zu entwässern, bevor diese mit dem Stützbauwerk in Kontakt kommen.

- **Ankern des Objektes**

Eine der häufigsten Sanierungsvarianten von unverankerten Stützbauwerken stellt das Rückverankern des Bauwerkes dar. Dadurch wird nicht nur die Tragfähigkeit dessen erhöht, sondern auch die Gebrauchstauglichkeit verbessert. Zu beachten ist hierbei jedoch, dass sich auch das statische System des „Verkleidungselementes“ – hier die Stützmauer selbst – ändert und daher vertiefte Untersuchungen erforderlich sind. Des Weiteren ist die Ankerung des Bauwerkes auch mit einer Erhöhung des Erddruckes verbunden (Einschränkung der Bewegungsmöglichkeit) und führt neben den hohen Sanierungskosten oftmals zu einer Erhöhung des Inspektions- und Instandhaltungsaufwandes für die neu errichteten Ankerelemente.

- **Einbau von Verstärkungsbauteilen**

Neben der Verankerung von Stützbauwerken kann auch noch die statische Verstärkung des gesamten Bauwerkes als Sanierungsvariante angesehen werden. Dabei wird die Kapazität der tragenden Bauteile erhöht, und dadurch auch die Gesamttragfähigkeit erhöht. Weitere Details hierzu sind bei den Einzelbauteilen (Kapitel 9.4.1) dargestellt, da es sich hier um eine Verbesserung verschiedener Bauteile handelt, welche sich zu einer Verbesserung des Gesamtbauteils zusammenfügen.



- **Erhöhung des Eigengewichts**

Bei einigen Stützbauwerken (Gewichtsmauern und Winkelstützmauern) kann es zielführend sein, das Gewicht des Stützbauwerkes zu erhöhen, um die statischen Eigenschaften zu verbessern. Dies kann in Form einer Erhöhung der Auflasten, über Injektionen bis zu Anbauten am Bauwerk selbst reichen. Bei diesen Sanierungsvarianten ist auf das Zusammenwirken zwischen den Bestandsbauteilen und den neu ergänzten Elementen zu achten.

- **Verbesserung der Aufstandsfläche**

Sollten die statischen Eigenschaften des Stützbauwerkes an sich ausreichen, ist jedoch die Gründungssituation ungenügend, so können sich Bewegungen einstellen, welche zu einer Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit führen und in weiterer Folge auch die Tragfähigkeit des Bauwerkes beeinflussen können. Derartige Schäden können durch die Verbesserung der Aufstandsfläche des Bauwerkes behoben werden. Durch den Einbau von tragenden Elementen in der Lastableitungsfläche des Bauwerkes kann dessen Krafterleitung verbessert werden, wodurch sich mögliche Verdrehungen oder Verschiebungen verringern lassen. Oftmals wird im Zusammenhang mit diesen Maßnahmen auch die Herstellung des Urzustandes (die Rückstellung der Verformungen) durchgeführt.

- **Beobachtungsmethode**

Eine weitere Maßnahme bei Schäden oder Beeinträchtigungen an Stützbauwerken stellt die Beobachtungsmethode dar. Da es sich hier um eine, hinsichtlich ihrer Möglichkeiten, sehr weitreichende Maßnahme handelt, wird diese in Kapitel 9.5 näher behandelt.

## 9.5 Monitoring als Maßnahme (Beobachtungsmethode)

Ein warnender Leitsatz in der Messtechnik und im Monitoring lautet: „*Wer viel misst, misst viel Mist!*“<sup>29</sup>. Um die Bewahrheitung dieser Aussage bei den messtechnischen Grundlagen der Zustandsbeurteilung von Stützbauwerken zu vermeiden, soll nachfolgendes Kapitel einen Überblick über die vorhandenen Messmittel und Informationen zu deren Anwendungsbereichen liefern sowie einen kurzen Abriss über die Ergebnisse beim Einsatz dieser darstellen. Das Monitoring wurde in dieser Arbeit mit Absicht in eines der letzten Kapitel gelegt. Einerseits ist es normativ im Eurocode 7 (ÖNORM EN 1997-1, 2009) im Bereich der Beobachtungsmethode unter Anderem als Sanierungsvariante – oder möglicher begleitender Schritt einer Sanierung – angeführt, andererseits bietet das Monitoring bei der Zustandserfassung und Beurteilung oftmals unterschätzte Möglichkeiten. Diese Möglichkeiten im Rahmen der Zustandserfassung und das daraus folgende Potential für die Sanierung und Instandhaltung von Stützbauwerken sollen nachfolgend aufgezeigt werden.

### 9.5.1 Definition des Monitorings

Allgemein wird unter Monitoring die systematische Erfassung, Beobachtung und Überwachung von Vorgängen verstanden. Inhalt dieses systematischen Vorganges ist dabei die wiederholte und regelmäßige Durchführung eines definierten Untersuchungsprogrammes zur Datenerfassung und eine Auswertung dieser Daten zur Beobachtung und Überwachung. Monitoring wird nicht nur im Baubereich verwendet, sondern kommt auch in anderen Bereichen, wie der Wirtschaftsanalyse und der Medizin zum Einsatz. Bei Bauwerken kann das Monitoring bereits als Planungsgrundlage (oder Nachweismethode) von Beginn der Lebensdauer an verwendet werden, oder erst im Zuge einer Untersuchung und Erfassung des Bauwerkszustandes eingeführt werden. Oftmals werden für das Monitoring im Bauwesen auch die Begriffe Bauwerksüberwachung, Beobachtungsmethode, Deformationsmonitoring oder Structural Health Monitoring (SHM) verwendet.

- **Bauwerksüberwachung:**

Die Bauwerksüberwachung (auch als Bauwerksmonitoring bezeichnet), dient als Überbegriff für eine „*fortlaufende messtechnische Überwachung*“<sup>30</sup> und einer aus dieser gewonnenen ingenieurmäßigen Bewertung des Bauwerkes oder der bautechnischen Struktur.

---

<sup>29</sup> Genaue Quelle unbekannt

<sup>30</sup> (Wikipedia Bauwerksüberwachung)

- **Beobachtungsmethode:**

Zur Bemessung von geotechnischen Bauwerken (ÖNORM EN 1997-1, 2009) ist neben der Bemessung aufgrund von Berechnungen, der Berechnung aufgrund von anerkannten Tabellenwerken und Probelastungen oder Modellversuchen, auch die Beobachtungsmethode als eine der Grundlagen der geotechnischen Bemessung erlaubt. Diese wird im Eurocode 7 wie folgt geregelt:

*„Wenn die Vorhersage des geotechnischen Verhaltens schwierig ist, kann es zweckmäßig sein, das als „Beobachtungsmethode“ bekannte Verfahren anzuwenden, bei dem der Entwurf während der Bauausführung überprüft und gegebenenfalls angepasst wird.“<sup>31</sup>* Zwar geht diese Aussage davon aus, dass die Beobachtungsmethode nur bei Neubauten von geotechnischen Strukturen zum Einsatz kommt, jedoch kann auch die Sanierung im Zuge einer Ertüchtigung – und damit der Neubau einiger Objektbauteile eines Stützbauwerkes – als Neubau angesehen werden. Hierbei sind die folgenden Forderungen an die Beobachtungsmethode einzuhalten:<sup>32</sup>

- Es müssen zulässige Grenzen für das Verhalten des Bauwerkes festgelegt werden.
- Die Bandbreite des möglichen Verhaltens muss geplant werden, und Untersuchungen, ob das wirkliche Bauwerksverhalten in diesem Bereich liegt müssen geführt werden.
- Ein Messkonzept muss erstellt werden, mit welchem nachgewiesen wird, dass das Bauwerksverhalten innerhalb des Toleranzbereiches liegt, eine frühzeitige Verhaltensankündigung stattfindet und die Möglichkeit zur Durchführung von Gegenmaßnahmen gegeben ist.
- Die Messgeber und Verfahren zur Auswertung müssen geeignet sein, mögliche Systemveränderungen in ausreichend kurzer Zeit wiedergeben zu können.
- Die erforderlichenfalls zur Anwendung kommenden Gegenmaßnahmen müssen durchgeplant und in ihrer Wirksamkeit untersucht sein.

- **Deformationsmonitoring:**

Ähnlich der Beobachtungsmethode bei geotechnischen Bauwerken kommt das Deformationsmonitoring hauptsächlich bei Brücken und Kunstbauten zum Einsatz. Dabei kann durch die Messung und Auswertung der Verformung im Zusammenhang

---

<sup>31</sup> (ÖNORM EN 1997-1, 2009) Punkt 2.7 (1)

<sup>32</sup> (ÖNORM EN 1997-1, 2009) Punkt 2.7 (2)

mit den Lastmodellen auf die Belastung der tragenden Bauteile geschlossen werden, woraus sich eine Prognose des Bauwerksverhaltens erstellen lässt.

- **Structural Health Monitoring:**

Structural Health Monitoring (SHM) zielt darauf ab, für jeden Zeitpunkt der Lebensdauer eines Bauwerkes, eine Diagnose über den aktuellen Bauwerkszustand zu liefern. Dadurch sollen Schädigungen (Verformungen oder Risse) des Bauwerks frühzeitig erkannt werden und somit die ehestmögliche Einleitung von Gegenmaßnahmen gewährleistet werden.

- **Monitoring gemäß RVS – Richtlinie**

Durch die RVS 13.03.01 – Qualitätssicherung baulicher Erhaltung – Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten – Monitoring von Brücken und anderen Ingenieurbauwerken (RVS 13.03.01, 2012) wird das Monitoring im Zusammenhang mit Stützbauwerken wie folgt definiert: *„Zerstörungsfreie messwertgebundene automatisierte Untersuchung bzw. Überwachung an Ingenieurbauwerken. Die derart erhobenen realen Daten können sowohl für die Einwirkungsseite als auch für die Widerstandsseite bereitgestellt werden. Es werden Sensoren temporär oder permanent am Ingenieurbauwerk installiert. Je nach Aufgabenstellung können mit den Sensoren unterschiedliche physikalische Parameter (die sogenannten Messgrößen) statisch und/oder dynamisch gemessen werden. Man unterscheidet hierbei globale und lokale Monitoringsysteme.“*

### 9.5.2 Grundlagen des Monitoring

*„Unter dem Begriff Monitoring im Zusammenhang mit Strukturen wird eine zerstörungsfreie Methode basierend auf physikalischen Messdaten verstanden, welche sowohl automatisch als auch manuell in vorgegebenen Intervallen erhoben werden.“* (BetonKalender 2013, 2013) Diese erhobenen Messdaten können bei Bauwerken sowohl auf der Einwirkungs- als auch auf der Widerstandsseite sein. Diese Unterscheidung ist durch die Vorgaben und Randbedingungen des Auftraggebers definiert und durch den möglichen Einsatz von unterschiedlichen Monitoringsystemen beschränkt. Durch die Messergebnisse und die daraus zu ziehenden Erkenntnisse kann im optimalen Fall eine unmittelbare Prognose über das Verhalten des Bauwerkes erstellt werden. Mit Hilfe dieser Prognose und gegebenenfalls erforderlichen und ergänzenden Berechnungen wird es in vielen Fällen möglich den Ist-Zustand zu beurteilen und etwaige Gegenmaßnahmen einzuleiten oder Limitationen zu definieren.

Monitoring ist kein Ersatz zur Bauwerksprüfung – und daraus folgend den Inspektionen oder Zustandsbeurteilungen – sondern stellt eine wichtige und sinnvolle Ergänzung im Zusammenhang mit diesen Tätigkeiten dar.

### 9.5.3 Genauigkeit

Neben der Genauigkeit in Bezug auf die Bestandsaufnahme oder Zustandserfassung (Aufnahmedichten) eines Stützbauwerkes wird unter der Genauigkeit beim Monitoring oftmals die in der Messtechnik verwendeten Begriffe von Auflösung, Präzision und Genauigkeit verstanden.



Abb. 87: Begriffe im Zusammenhang mit Genauigkeit (Boley, 2012)

Durch die Auflösung wird dabei die Fähigkeit eines Sensors beschrieben, Messwerte mit nur sehr geringem Unterschied aufzuzeigen. Je höher die Auflösung, desto geringer kann der Unterschied in den Messwerten sein. Die Streuung von oftmalig wiederholten Messungen (mit demselben Messwert) kann durch die Präzision des Sensors beschrieben werden. Die Fähigkeit des Sensors, den Messwert möglichst nahe am „Erwartungswert (Istgröße in der Natur)“<sup>33</sup> wiederzugeben wird als Genauigkeit bezeichnet.

Wie in Abb. 87 Mitte dargestellt ist es (unter Zuhilfenahme einer Mittelwertbildung) durchaus möglich, dass auch Sensoren mit einer geringe Präzision zu sehr hohen Messgenauigkeit führen.

### 9.5.4 Monitoringsysteme – Definition, Begriffe & Einteilung

Einer der wichtigsten Begriffe im Zusammenhang mit Monitoring ist die **Referenz- oder Basismessung**<sup>34</sup>. Diese beschreibt die erste Messung an einem Bauwerk – unabhängig vom Zeitpunkt – und dient somit als Ausgangslage bzw. Bezug für alle zukünftigen Messungen und Interpretationen.

Nach der Örtlichkeit einer Messung für Monitoringzwecke kann zwischen globalen und lokalen Messungen unterschieden werden. **Globale Messungen** sollen das

<sup>33</sup> (Boley, 2012) Kapitel 15.2.2

<sup>34</sup> (RVS 13.03.01, 2012) Punkt 4.3

Gesamtverhalten des Bauwerkes oder zumindest der wesentlichen Bauteile untersuchen. Wohingegen bei **lokalen Messungen** lediglich das Verhalten einzelner Bauteile – und deren Zusammenwirken mit anderen – erfasst wird. Neben diesen beiden – als Hauptunterscheidungsmerkmale zu bezeichnenden – Merkmalen, können Monitoringprozesse zusätzlich noch nach der Dauer ihrer Installation oder Verwendung unterteilt werden. Werden die Messgrößen nur zu definierten Zeitpunkten (oder Intervallen) erfasst und weiterverarbeitet, so spricht man vom **temporären Monitoring**. Hierbei wird der Bauwerkszustand zu einem bestimmten Zeitpunkt erfasst und anschließend in periodischen Abständen erneut gemessen. Um eine dauerhafte und durchgängige Messung zu erhalten kann das **permanente Monitoring** verwendet werden. Im Gegensatz zum temporären Monitoring werden hierbei die Messwerte über einen längeren Zeitraum – nicht zwingend durchgehend – erfasst.

Eine weitere Unterscheidung der Monitoringsysteme kann nach dem Messintervall geschehen. Bei Messungen mit einem Intervall von 1 Messung/h spricht man von **statischen Messungen**. Im Gegensatz hierzu stehen die **dynamischen Messungen**. Die genaue Grenze zwischen den beiden Messbereichen ist nicht definiert, wird jedoch oftmals (RVS 13.03.01, 2012) mit der Grenze von 50 Hz angegeben.

Alle Bestandteile eines Monitoringsystems, welche zur Erfassung, Abbildung und Weiterleitung von Messgrößen erforderlich sind, werden als Bauteile einer Monitoringanlage bezeichnet.

Eine Monitoringanlage besteht im Allgemeinen aus folgenden Bauteilen:

Tabelle 24: Bestandteile einer Monitoringanlage (RVS 13.03.01, 2012)

Messwertaufnehmer	Sensor – zur Erfassung der Messgrößen
Sensoranschluss	Verbindung zwischen Sensor und Datenlogger
Datenlogger	zur Wandlung und Aufzeichnung der Messdaten
Messcomputer	Zur direkten Darstellung der Messgrößen vor Ort – nicht zwingend erforderlich, kann jedoch auch zur Datenspeicherung verwendet werden
Stromversorgung	Batterien oder Netzanschluss
Kommunikationseinheit	zur Datenübertragung
Störmeldesystem	Einerseits zur Meldung von Störungen, andererseits auch als Warnsystem bei der Überschreitung von definierten Grenzwerten

### 9.5.5 Physikalische Größen - Messgrößen

Das Ergebnis einer Messung sollten Messgrößen sein, mit Hilfe derer das Verhalten der Struktur beschrieben werden kann. Messgrößen bestehen dabei immer aus einer physikalischen Größe und der zugehörigen Einheit. Die Erfassung dieser Messgrößen lässt sich wie folgt definieren:

$$\text{Messwert} = \text{Maßzahl} \cdot \text{Maßeinheit}$$

Messgrößen lassen sich aufgrund ihrer Herkunft – oder Entstehung – in die drei folgenden Gruppen unterscheiden:<sup>35</sup>

- Direkte Messgrößen: Sind direkt durch einen Sensor gemessene physikalische Größen. Ein Beispiel hierfür sind Verformungen an einem Bauteil – diese lassen sich direkt durch den Unterschied (z.B. die Verformungsänderung) erfassen.
- Indirekte Messgrößen: Können aus Beziehungen zwischen der physikalischen Größe und anderen Kennwerte bestimmt werden. Die Spannung in einem Bewehrungselement kann beispielsweise aus dem Zusammenhang zwischen der Dehnung (z.B. durch einen Dehnmessstreifen bestimmt) und der Querschnittsfläche bestimmt werden.
- Interpretierte (oder abgeleitete) Messgrößen: Hierbei kann erst nach Interpretation (oder Ableitung) der physikalischen Größe auf einen Messwert rückgeschlossen werden. Beispiel hierbei ist die Eigenfrequenz eines Bauwerkes.

Beispielhaft können diese drei Gruppen von Messgrößen wie folgt erklärt werden:

- Das Ergebnis der Messung der Rissbreite bei Betonbauteilen mit Hilfe von optischen Messmitteln wie etwa Schublehren, Linealen oder einem Rissbreitenmaßstab kann als direkte Messgröße bezeichnet werden, da keine Umwandlung des vorliegenden Messergebnisses erforderlich ist.
- Wird die Rissbreite des Stahlbetonbauteils durch die Verwendung von Dehnmessstreifen (Änderung des elektrischen Widerstandes) bestimmt, so kann von einer indirekten Messgröße gesprochen werden, da zur Ausgabe der Rissbreiten erst eine Umrechnung des elektrischen Widerstandes auf die Längenänderung durchgeführt werden muss.

---

<sup>35</sup> (RVS 13.03.01, 2012) Punkt 6

- Werden die Ergebnisse der Rissbreitenmessung (durch optische Messmittel oder Dehnmessstreifen) dazu herangezogen, die Schnittkräfte innerhalb des Betonbauteils zu ermitteln, so spricht man bei den dabei erhaltenen Kräften von interpretierten (aus einem Messergebnis abgeleiteten) Messgrößen

Abhängig von der verwendeten Fachliteratur, werden diese drei Arten von Messgrößen auch als direkte, abgeleitete oder rückgerechnete Messgrößen bezeichnet. Wie bereits der Name erkennen lässt, sind die direkten Messgrößen jene, welche die genaueste und unverfälschteste Aussage über die Messgröße liefern.

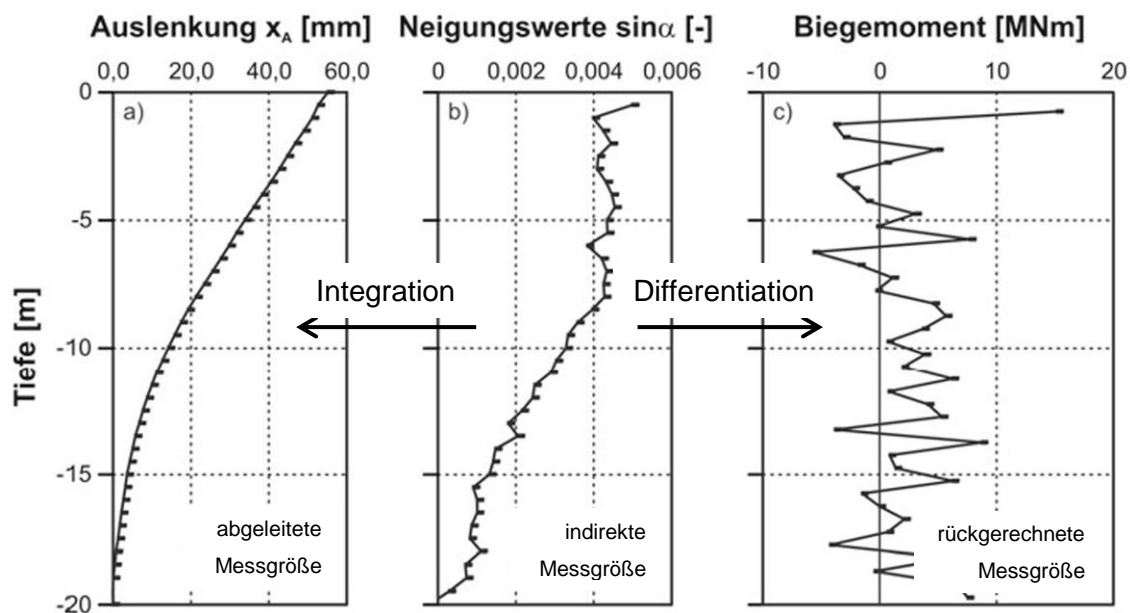


Abb. 88: Ergebnisse einer Inklinometermessung; Links – Biegelinie; Mitte – Neigungswerte; Rechts – Momentenlinie (angepasst nach (Boley, 2012))

Die in Abb. 88 Mitte dargestellten Neigungswerte  $\sin \alpha$  stellen die Messergebnisse einer Inklinometermessung in einem Bohrpfehl (indirekte Messgröße) dar. Diese Kurve zeigt einen charakteristischen, durch die Messungenauigkeit beeinflussten gezackten Verlauf auf. Durch Integration kann auf die Biegelinie (Links) geschlossen werden (= abgeleitete Messgröße). Diese Kurve zeigt wiederum einen stetigen, geglätteten Verlauf auf. Unter Berücksichtigung der Biegesteifigkeit  $EI$  des Bohrpfehles kann durch Differentiation auf das vorherrschende Biegemoment geschlossen werden. Wie im rechten Verlauf ersichtlich ist, stellt dies weder ein qualitative noch quantitative zufriedenstellendes Ergebnis dar und lässt somit keinen Rückschluss auf die real wirkende Biegebeanspruchung zu. Erst durch erweiterbare Berechnungsmethoden (in diesem Fall Optimierungsroutinen) lassen sich „sinnvoll interpretierte“ Ergebnisse des Biegemomentenverlaufes (als rückgerechnete Messgröße) erhalten.



Aus diesem Beispiel wird auch ersichtlich, dass bei der Auswertung von Messergebnissen die Integration im Hinblick auf die Auswirkung von Messstreuung eine geringere Anfälligkeit aufweist, während durch Differentiation ermittelte Daten zufolge der Messstreuungen oftmals unbrauchbare Ergebnisse liefern. Nachteilig an der Integration von Messergebnissen ist jedoch, dass sich Integrationskonstanten ergeben, für deren Lösung Randbedingungen erforderlich sind. Des Weiteren haben andere Effekte, wie etwa der Sensordrift, bei Anwendung der Integration einen wesentlich größeren Einfluss als bei der Differentiation.

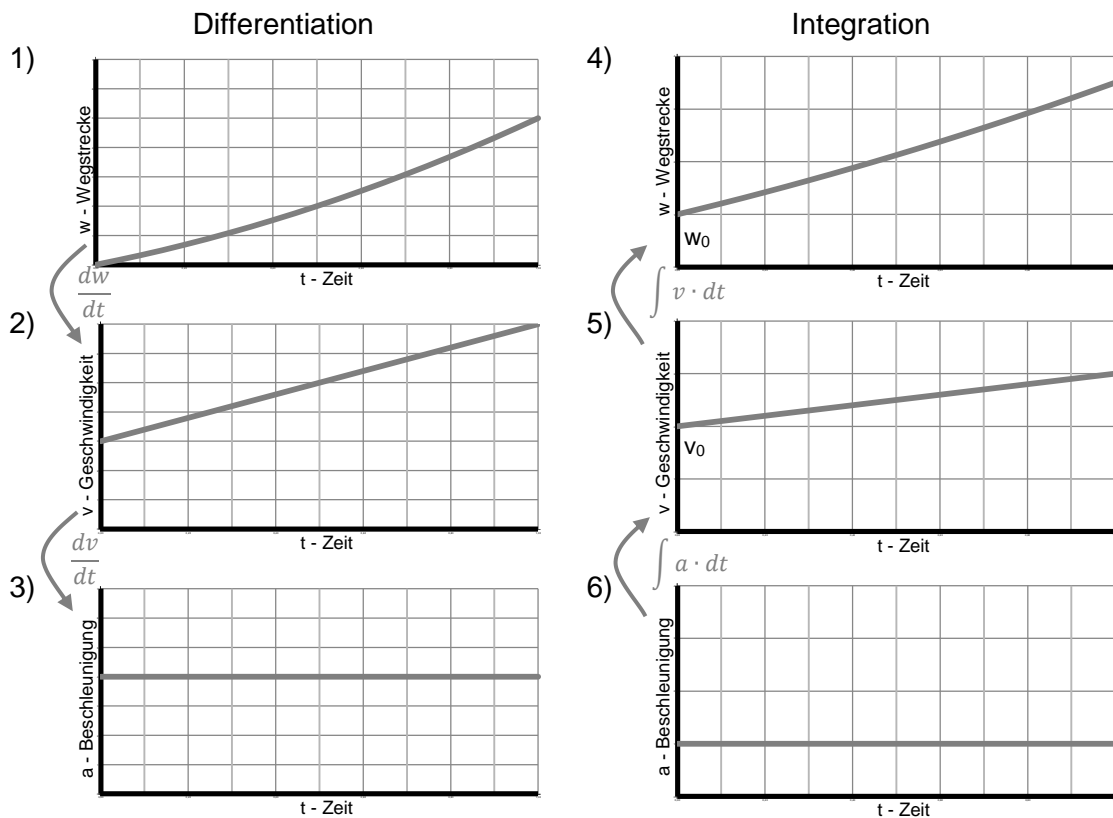


Abb. 89: Zusammenhänge zwischen Differentiation und Integration

Abb. 89 zeigt den Zusammenhang zwischen der Differentiation und der Integration von Messgrößen. In der linken Spalte wird die Differentiation der Geschwindigkeit und der Beschleunigung aus einer gemessenen Wegstrecke dargestellt.

Abb. 89 – 1) zeigt den Verlauf des erfassten Messwertes der Wegstrecke  $w$ . Aus dieser ist es durch einfache Ableitung nach der Zeit  $t$  möglich, die Geschwindigkeit  $v$  (als abgeleitete Größe) zu ermitteln. Durch einen weiteren Ableitungsschritt (zweifache Ableitung der Wegstrecke  $w$ ) erhält man die Beschleunigung  $a$  (als abgeleitete Größe). Für eine einfache quadratische Funktion ergibt sich daraus folgender Formelapparat:

$$w = a \cdot x^2 + b \cdot x \quad (14)$$

$$v = w' = \frac{\partial}{\partial x}(a \cdot x^2 + b \cdot x) = 2 \cdot a \cdot x + b \quad (15)$$

$$a = v' = w'' = \frac{\partial}{\partial x}(2 \cdot a \cdot x + b) = 2 \cdot a \quad (16)$$

Aus den Formeln ( 15 ) und ( 16 ) wird ersichtlich, dass die vorliegende Funktion ohne Verlust von Genauigkeit oder Aussagekraft differenziert werden, und keine weiteren Informationen zur Durchführung dieser Aufgabe benötigt werden.

Abb. 89 – 6) gibt den Verlauf einer gemessenen Beschleunigung  $a$  über die Zeit  $t$  wieder. Durch einmaliges Integrieren der Funktion für die Beschleunigung  $a$  lässt sich die Geschwindigkeit  $v$  (als abgeleitete Größe) ermitteln. Wird diese erneut integriert (Doppelintegral von  $a$ ) so erhält man die Wegstrecke  $w$  (als abgeleitete Größe) in Abhängigkeit der Zeit  $t$ . Dies soll am einfachen Beispiel einer gerade Funktion  $f(t) = f(x)$  für die Beschleunigung aufgezeigt werden:

$$a = f(x) \quad (17)$$

$$v = \int a \, dx = \int f(x) \, dx = f \cdot x + c_1 \quad (18)$$

$$w = \int v \, dx = \int f(x) \cdot x + c_1 \, dx = \frac{f(x) \cdot x^2}{2} + c_1 \cdot x + c_2 \quad (19)$$

Formel ( 19 ) verdeutlicht am besten, dass bei der Integration von Messgrößen zusätzliche Informationen in Form von Randbedingungen erforderlich sind, um wie in diesem Beispiel angeführt den Weg  $w$  mit Hilfe von Integration aus einer gemessenen Beschleunigung  $a$  zu ermitteln. Abhängig von der verwendeten Messausrüstung und den zu ermittelnden Messgrößen kann die Bestimmung dieser Randbedingungen sehr schwierig bis beinahe unmöglich sein.

Wie bereits erwähnt, weisen eine Vielzahl von Sensoren – und damit auch deren Messwerte – einen linearen Trend (z.B. Sensordrift) auf. Dieser Trend (z.B. mit der Funktion  $y = k \cdot t$ ) kann in den Kurven in Abb. 89 1) und 6) durch eine lineare Zunahme der Funktion dargestellt werden.

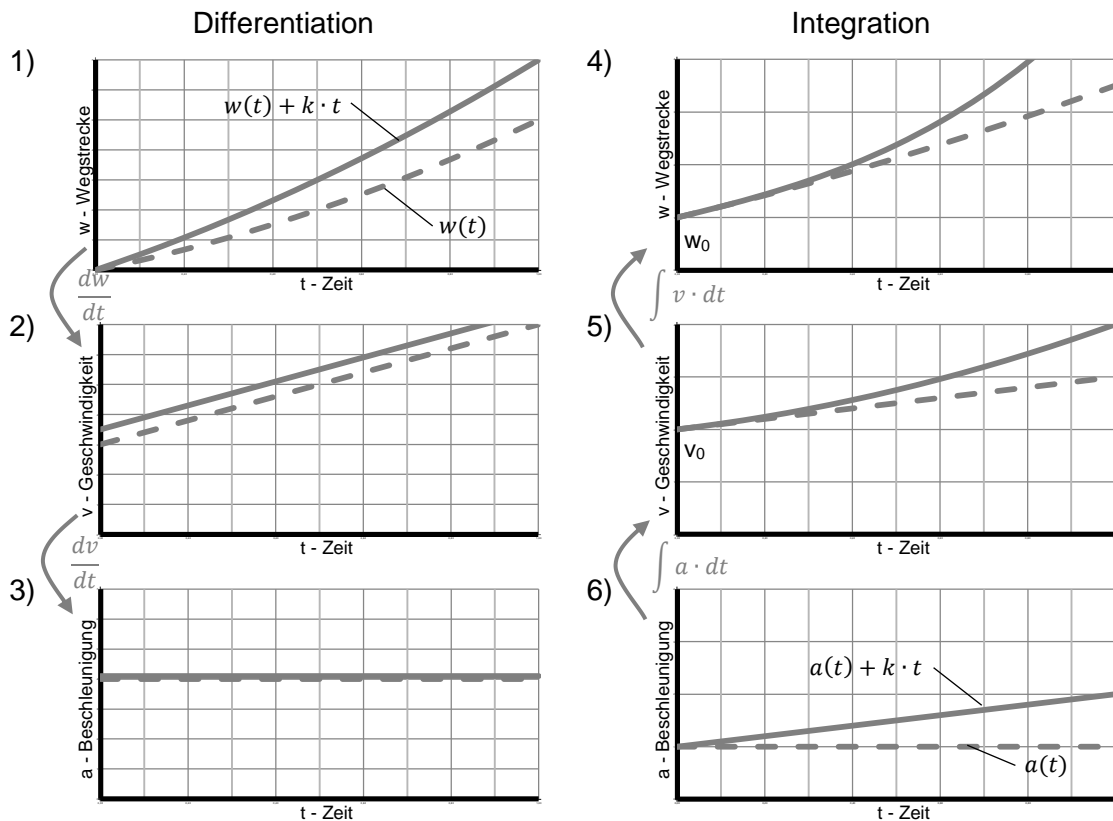


Abb. 90: Zusammenhänge zwischen Differentiation und Integration für eine Messwertfunktion unter Berücksichtigung eines linearen Trends

Abb. 90 – 1) zeigt die „realen“ Messwerte durch die Funktion  $w(t)$  und die erfasste, um den linearen Trend erhöhte Funktion  $w(t) + k \cdot t$ . Aus Abb. 90 - 2) wird ersichtlich, dass sich der lineare Trend der Funktion nur mehr durch einen Versatz der Funktion für die Geschwindigkeit  $v$  auswirkt. Die durch erneute Differentiation erhaltene Funktion für die Beschleunigung  $a$  weist keine Beeinflussung durch den erfassten linearen Trend des Sensors auf. Anders verhält es sich für den Fall der erfassten Beschleunigung  $a(t)$  in Abb. 90 – 6) und die durch den linearen Trend des Sensors beeinflusste Funktion  $a(t) + k \cdot t$ . Die durch Integration erhaltenen Ergebnisse für die Geschwindigkeit  $v$  und den Weg  $w$  weisen eine deutliche Beeinflussung durch den linearen Trend des Sensors auf. Bei der in diesem Beispiel verwendeten linearen Funktion für das Verhalten des Sensors wird die Geschwindigkeit  $v$  durch einen quadratischen Anstieg der Ergebnisse in Abhängigkeit der Zeit beeinflusst, bei der abgeleiteten Messgröße des Weges wird diese Beeinflussung durch eine Funktion dritter Ordnung beschrieben.

Als Grundlage für die Ausgabe der Messgrößen dienen die SI-Einheiten. Deren sieben Basisgrößen stellen eine einheitliche Definition dar – sind somit von der Umgebung und dem Standort unabhängig.

Tabelle 25: SI – Basisgrößen und Basiseinheiten (Parthier, 2008)

Basisgröße	Zeichen	Basiseinheit	Zeichen	Definition
Länge	l	Meter	m	Lichtgeschwindigkeit und Zeit
Zeit	T	Sekunde	s	Periodendauer einer Strahlung
Masse	m	Kilogramm	Kg	Prototyp im BIPM
Stromstärke	I	Ampere	A	Kraftwirkung zwischen parallelen elektrischen Leitern
Temperatur	T	Kelvin	K	Tripelpunkt des Wassers
Lichtstärke	$I_v$	Candela	cd	Strahlung des schwarzen Körpers
Stoffmenge	n	Mol	mol	Atomzahl ( $^{12}\text{C}$ in 12 g)

Jede der Basisgrößen – mit Ausnahme des Kilogramms – basiert auf Angaben zu einer Naturkonstanten. Von den sieben Basisgrößen kann jede sonstige physikalische Größe abgeleitet werden. Daraus folgend sind alle erfassten Messgrößen direkt in den SI-Einheiten zu finden, oder sind auf diese rückführbar. Zur einfacheren Anwendung wurden Normale eingeführt. Diese dienen der Erfassung der SI-Einheiten durch ein physikalisches Objekt. Die bekannteste Normale ist das Urkilogramm, auf dessen Grundlage heute noch immer Eichungen von Waagen durchgeführt werden.

Ergebnis eines Monitorings sollen Messgrößen sein, welche einen Rückschluss auf das Verhalten des Bauwerkes, Bauteilen oder seiner Umgebung ziehen lassen. Für Ingenieurbauwerke und die Zustandserfassung können Messgrößen mit dem nachfolgenden Prinzip unterteilt werden:

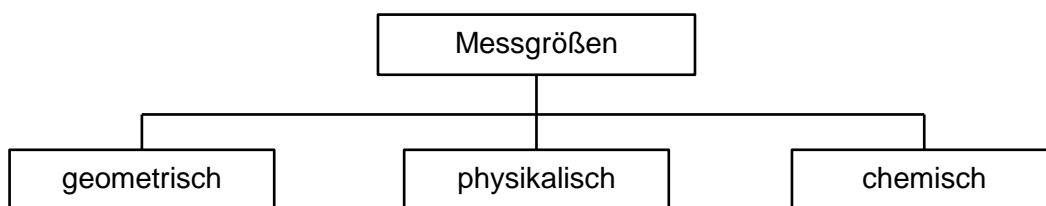


Abb. 91: Unterteilung der Messgrößen für die Zustandsbeurteilung (und das Monitoring) von Stützbauwerken (teilweise übernommen aus (DIN 18710-4, 2010))

- **Geometrische Messgrößen**

Neben den Änderungen der Bauteilabmessungen, werden mit Hilfe der geometrischen Messgrößen auch die Eigenschaften des Bauwerkes beschrieben. Diese sind vor allem die Veränderungen der Lage und der Position im Raum. Diese Messgrößen beschreiben lediglich das Verhalten des Bauwerkes und seiner Bauteile und sind im Allgemeinen von der Basisgröße Länge [m] abhängig.

- **Physikalische Messgrößen**

Durch die physikalischen Messgrößen werden hauptsächlich die Einflüsse auf das Stützbauwerk und die Eigenschaften der Bauteile und Baustoffe erfasst. Diese Messgrößen sind oftmals direkt mit den in der Bemessung und Konstruktion verwendeten Eigenschaften zu vergleichen. Physikalische Messgrößen setzen sich häufig aus einer Kombination verschiedener SI-Basiseinheiten zusammen. Maßgebend hierbei sind Länge [m], Zeit [sec.], Masse [kg] und Temperatur [°K].

- **Chemische Messgrößen**

Als letzte Unterteilung können die chemischen Messgrößen für ein Monitoring herangezogen werden. Diese setzen sich einerseits aus speziellen Einwirkungen und Einflüssen auf das Bauwerk und andererseits aus den Eigenschaften der Baustoffe zusammen. Chemische Messgrößen sind nicht immer eindeutig von den SI-Basiseinheiten ableitbar. Grundlage sind jedoch oftmals Masse [kg], Zeit [sec.], Temperatur [°K] und Stoffmenge [mol].

Wie aus der Definition des Monitorings in Kapitel 9.5.1 ersichtlich wird, handelt es sich beim Monitoring um eine kontinuierlich durchgeführte Tätigkeit im Zusammenhang mit der Erfassung von Messwerten. Diese Messwerte bilden die Basis für die Interpretation und die Aufzeichnung (und Aufzeichnung) des Bauwerksverhaltens. Um eine derartige Interpretation zu ermöglichen, ist es erforderlich, die Differenzen zwischen Messergebnissen unterschiedlicher Zeitperioden zu bilden. Die aus dieser Betrachtung gewonnenen Messergebnisse können dazu verwendet werden, die Änderungen des Bauwerksverhaltens über den Beobachtungszeitraum (im Idealfall die Lebensdauer) abzubilden und liefern damit eine Grundlage für die Zustandsbeurteilung des Bestandsbauwerkes.

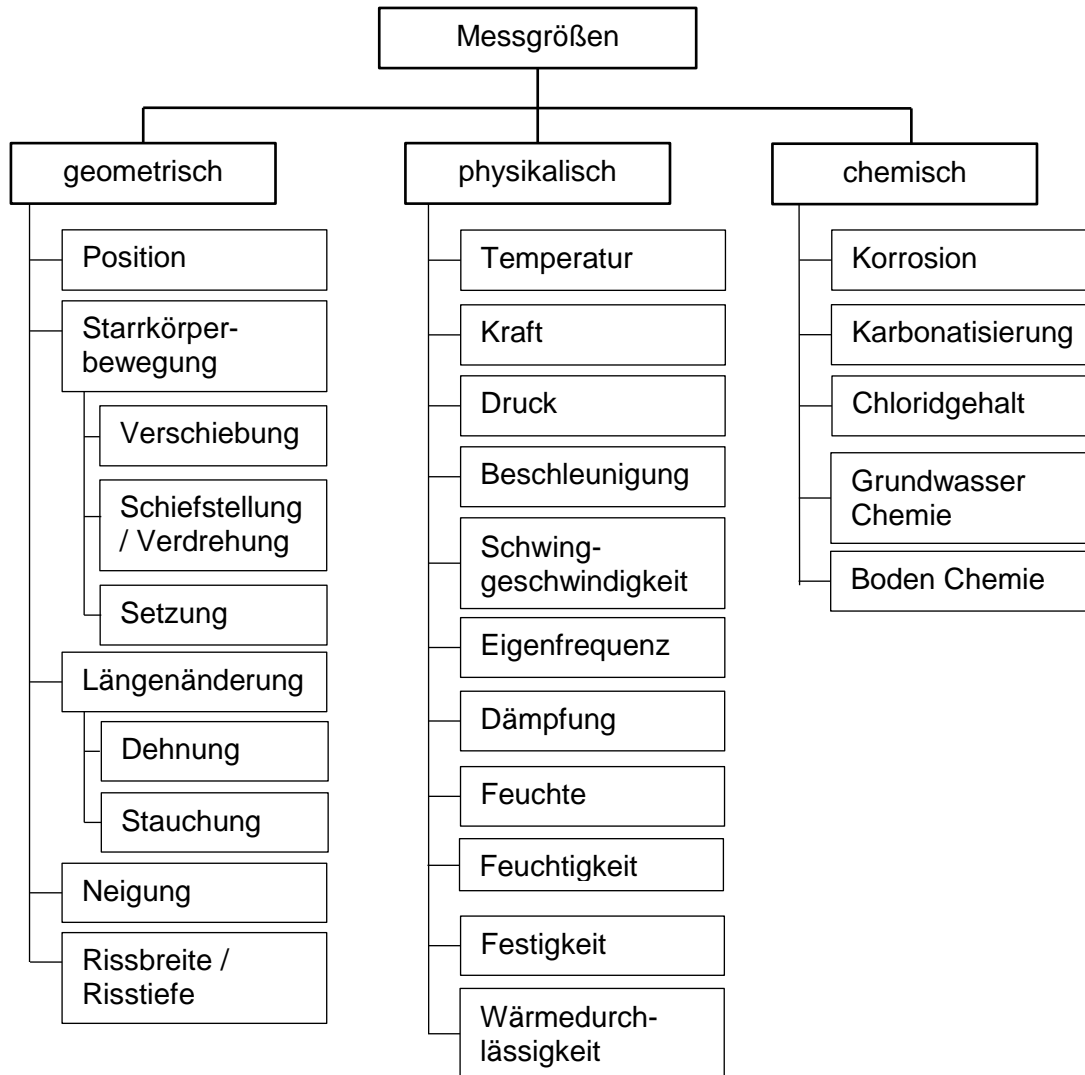


Abb. 92: Messgrößen zur Zustandsbeurteilung von Stützbauwerken

Einige der in Abb. 92 dargestellten Messgrößen stellen keine direkten Messgrößen dar, sondern werden vielfach aus anderen Messgrößen in Zusammenhang mit der Zeit (oder anderen Bezugsgrößen) errechnet.

Nachfolgend werden die in Abb. 92 abgebildeten Messgrößen näher beschrieben.

### 9.5.5.1 Geometrische Messgrößen

- **Position - Lage im Raum bzw. im globalen Koordinatensystem**

Zur Bestimmung der genauen Lage eines Bauwerkes kann die Koordinatenbestimmung z.B. durch Methoden des Vermessungswesens angewendet werden. Die Ergebnisse können durch das kartesische Koordinatensystem im Raum abgebildet werden. Mit Hilfe dessen kann die Lage eines Punktes durch ein Koordinatensystem mit Bezug auf einen Nullpunkt definiert werden. Die Position eines Punktes des Bauwerkes liefert zwar noch keine Messgröße, stellt jedoch den Referenzwert für eine Vielzahl anderer Messgrößen dar. Bei kontinuierlicher Durchführung der Vermessungsaufgabe für einen Punkt kann dies als Grundlage für die meisten geometrischen Messgrößen betrachtet werden.

- **Starrkörperbewegung**

Eine Starrkörperbewegung ist dadurch gekennzeichnet, dass sich die geometrischen Größen zwischen den Objektpunkten nicht ändern, das heißt, der Körper zwar seine Lage im Raum verändert, jedoch formstabil bleibt. Diese Lageveränderung kann dabei durch eine rotatorische oder translatorische (oder Kombination beider) Bewegung vollzogen werden.

- **Verschiebung**

Verschiebungen stellen den translatorischen Anteil einer Starrkörperbewegung dar. Sie können sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung auftreten. Meist liegt eine Kombination aus beiden vor. Horizontale Verschiebungen stellen eine maßgebende Randbedingung bei Stützbauwerken dar. Einerseits kann z.B. durch die Verschiebung des gesamten Bauwerkes auf die Gleitsicherheit rückgeschlossen werden, andererseits wird durch die Größe dieser Verschiebung auch die wirkende Erddruckkraft – sowohl aktiv als auch passiv – beeinflusst. Vertikale Verschiebungen eines Bauteiles können bei Hochbauten auf eine Überbeanspruchung von flächenförmigen Bauteilen oder eine Änderung der Lagerungsbedingungen (z.B. Stützensenkung infolge von Schwindprozessen, jedoch keine Bauwerkssetzungen) hinweisen. Bei Stützbauwerken werden vertikale Verschiebungen im Zusammenhang mit den Lagerungsbedingungen auch als Setzungen bezeichnet.

- **Schiefstellung / Verdrehung**

Rotatorische Veränderungen eines Bauteils oder Bauwerkes werden als Verdrehung bezeichnet. Bei einer Verdrehung wird im Allgemeinen von der Gesamtverdrehung eines Bauwerkes ausgegangen. Zur detaillierteren Darstellung

können auch noch Schiefstellungen verwendet werden. Bei diesen handelt es sich um die Verdrehung eines Bauteils in Bezug auf seine Ausgangslage oder den unverformten Bestandteilen eines Bauwerkes.

– **Setzung**

Wie bereits erwähnt stellen Setzungen den vertikalen Anteil einer Verschiebung (translatorische Starrkörperbewegung) dar. Bei Stützbauwerken können Setzungen in zwei Bereichen interessant sein. Die vertikalen Verschiebungen des Stützbauwerkes an sich liefern eine Aussage über die Gründungssituation, während die Setzungen von Nachbarbauwerken oder vertikale Veränderungen des Geländes auf die Umgebungsbeeinflussung des Stützbauwerkes schließen lassen. Wichtig ist bei den Setzungen zwischen totalen und differentiellen Setzungen zu unterscheiden. Totale Setzungen führen zu einer Lageveränderung des Bauteils. Diese Lageveränderung kann einerseits aus einer Überbelastung des Bodens durch das Bauwerk entstehen, andererseits kann es auch die Antwort des Bodens (vor allem bei wenig bis gering tragfähigen Böden) auf die aufgebrachten Lasten sein. Daraus resultieren hauptsächlich Einschränkungen der Gebrauchstauglichkeit jedoch nur in bestimmten Ausnahmefällen eine Einschränkung der Tragfähigkeit. Differentielle Setzungen hingegen führen zu einer Erhöhung der Spannungen in den Bauteilen und können so neben den entstehenden Einschränkungen der Gebrauchstauglichkeit (erhöhte Rissbildung und Spannungsabplatzungen) auch zu einer Unterschreitung des geforderten Tragfähigkeitsniveaus führen. Negative Setzungen werden allgemein als Hebungen bezeichnet.

• **Längenänderungen**

Zur Beurteilung von Spannungen in Bauteilen und Bauelementen können Längenänderungen  $\Delta l = l_{ti} - l_{t0}$  herangezogen werden. Ebenso kann die Änderung der geometrischen Abmessungen eines Bauwerkes durch die Längenänderung erfasst werden. Durch den Bezug der Längenänderung auf den Ausgangszustand können, abhängig von der Richtung Dehnungen oder Stauchungen durch  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$  definiert werden.

– **Dehnung nach (DIN 18710-4, 2010):**

Dehnungen stellen eine positive Längenänderung (Vergrößerung des Bauteiles) dar. Dehnungen in horizontaler Richtung werden allgemein als Zerrung bezeichnet.



– **Stauchung nach (DIN 18710-4, 2010):**

Stauchungen stellen eine negative Längenänderung (Verkürzung des Bauteiles) dar. Stauchungen in horizontaler Richtung werden allgemein als Pressung bezeichnet.

- **Neigung**

Die Neigung eines Stützbauwerkes liefert eine sehr gute Aussage über das Verhalten des Bauteils. Neigungen werden als eine Sonderform der Schiefstellung betrachtet. Bei der Ermittlung der Neigung wird die Schiefstellung des Bauteils auf eine bestimmte (und definierte) Ausgangslänge bezogen.

- **Rissbreite & Risstiefe**

Die an der Oberfläche von Betonbauwerken entstehenden Risse können überwacht und kontrolliert werden. Im Hochbau wird dies hauptsächlich durch einfache Gipsmarken durchgeführt. Bei Stützbauwerken – und deren zeitlicher Veränderung – ist eine Aussage über das zeitliche Verhalten der Risse erforderlich. Dadurch wird es erforderlich die Risse kontinuierlich bzw. in zeitlich definierten Abständen zu erfassen.

#### 9.5.5.2 **Physikalische Messgrößen**

- **Temperatur**

Die Temperatur stellt generell eine der wichtigsten Messgrößen dar. Das Bauwerk und dessen Bauteile (häufig Betonstrukturen) weisen einen nicht unerheblichen Einfluss auf Temperatureinwirkungen auf. Andererseits sind eine Vielzahl von Messgrößen wie etwa die Längenmessung von der Umgebungstemperatur abhängig bzw. durch diese beeinflusst. Daraus folgend ist bei einer Vielzahl von Messungen eine Temperaturkorrektur der Messergebnisse erforderlich.

- **Kraft**

Ebenso wie bei Spannungen kann aus der Erfassung von Kräften in einem Bauteil eine Vielzahl von Informationen gewonnen werden, so kann eine Umlagerung auf Überbeanspruchung oder Ausfall einzelner Bauteile hinweisen. Bei Stützbauwerken werden Kraftmessungen meist nur bei Bauteilen wie Ankern durchgeführt. Eine besondere Art der indirekten Kraftmessung stellt die Erddruckmessung dar, welche später noch näher erklärt wird.

- **Druck**

Bei Stützbauwerken sind nicht zwingend die Kräfte innerhalb des Bauwerkes aussagekräftig, sondern vielmehr die Belastung aus welcher die Beanspruchungen entstehen. Zwei der Hauptbelastungsgrößen sind dabei der Porenwasserdruck hinter dem Bauwerk und der Erddruck. Hierbei ist sowohl der Erddruck hinter dem Bauwerk (Belastung) als auch jener vor dem Bauwerk (Widerstand) interessant.

- **Porenwasserdruck**

Oftmals ist Wasser im Baugrund einer der maßgebenden Faktoren bei Schäden oder Versagen. Durch Porenwasserdrücke ändern sich die effektiven Spannungsverhältnisse im Boden, welche auf den Entwurf und die Errichtung von Stützbauwerken einen erheblichen Einfluss haben können. Neben statischen Wasserdrücken können auch Belastungen aus strömendem Wasser auf Bauwerke bzw. Erdkörper wirken.

- **Erddruck**

Eine der wichtigsten Belastungsgrößen auf ein Stützbauwerk stellt der Erddruck dar. Als zu messende Größe ist er eine große Herausforderung. Der Messort zur Bestimmung des Erddruckes befindet sich in einem unzugänglichen Bereich des Bauwerkes, sodass die zutreffende Erfassung des vorherrschenden Erddruckes eine messgeräte-spezifische Herausforderung darstellt.

- **Beschleunigung**

Zeitlich veränderliche Einwirkungen erzeugen eine ebenso zeitlich veränderliche Antwort des Bauwerkes. Die Messung dieser Antwort – oder der Bauwerksinteraktion auf diese Art der Einwirkung – ist oftmals Basis für die Kontrolle wie auch Kalibrierung von Berechnungsmodellen. Die Beschleunigung steht in Bezug mit der Geschwindigkeit (Ableitung des Weges) und der Zeit und ist daher meist nicht als direkte Messgröße zu betrachten.

- **Schwinggeschwindigkeit**

Die Schwinggeschwindigkeit, als Integration der Schwingbeschleunigung oder Ableitung einer Positionsänderung kann zur Beurteilung der Beeinflussung durch dynamische Lasten herangezogen werden. Bei Stützbauwerken können diese dynamischen Belastungen durch Anregung aus dem Verkehr oder dem Baugrund hervorgerufen werden.

- **Eigenfrequenz**

Ebenso wie die Schwinggeschwindigkeit kann auch die Eigenfrequenz eines Bauwerkes zur Beurteilung von dynamischen Effekten herangezogen werden. Die Eigenfrequenz wird hierbei als Referenzwert für die Untersuchung und die Anfälligkeit auf dynamische Anregungen herangezogen.

- **Dämpfung**

Letztlich kann im Zusammenhang mit den dynamischen Effekten auch noch die Dämpfung, bei Stützbauwerken oftmals der Boden und dessen Bettungseigenschaften, untersucht und beobachtet werden.

- **Feuchte**

Die Untersuchung der Feuchte des Bodens- und auch der anliegenden Bauteile kann zur Beurteilung des Feuchtigkeitstransportes außerhalb der Bauteile erforderlich sein.

- **Feuchtigkeit**

Die Veränderungen der Feuchtigkeit – als Einwirkung auf einen Baustoff und dessen Eigenschaften – kann bei der Beurteilung eines Stützbauwerkes wichtig sein. Einerseits kann die Festigkeit des Baustoffes durch Änderungen des Feuchtegehalts beeinflusst werden, andererseits können durch die Beobachtung der hygrischen Verhältnisse eines Baustoffes auch Änderungen in den Wasserverhältnissen der Umgebung erkannt werden.

- **Festigkeit**

Die Kenntnis über die Veränderungen der Festigkeit von bestimmten (und maßgebenden) Baustoffen und Bauteilen kann bei der Modellierung und der Nachrechnung von Bauwerken – und damit der Ist- Zustandserfassung und Bewertung wie auch der Prognose des weiteren Bauwerksverhaltens – erforderlich sein.

- **Wärmedurchlässigkeit**

Eine weitere bauphysikalische Aussage über das vorliegende Material kann durch die Überwachung der Wärmedurchlässigkeit getroffen werden. Nicht nur, dass damit das Verhalten von Poren und Einschlüssen untersucht wird, auch können Feuchtigkeitsanlagerungen und thermische Einflüsse kontrolliert werden.

### 9.5.5.3 Chemische Messgrößen

- **Korrosion**

Die Alterung und Beanspruchung von Stahl (und Metallbauteilen) ist ebenso wie die Festigkeit von Baustoffen wesentlich für die Ist- Zustandsbewertung bzw. Prognose des weiteren Bauwerksverhaltens. Die zutreffende Erfassung des Korrosionszustandes von metallischen Baustoffen ist eine große und noch ungeklärte Aufgabe bei der Erfassung von bestehenden Stützkonstruktionen.

- **Karbonatisierung**

Ein wichtiger Bestandteil der Untersuchung von Betonbauteilen stellt die Karbonatisierung des Baustoffes dar. Hierbei dient die Feststellung des Karbonatisierungszustandes als Ausgangslage für die Ist- Zustandsbeurteilung. Veränderungen dieses Zustandes können Aufschluss auf mögliche Schädigungen oder Umwelteinflüsse geben.

- **Chloridgehalt**

Chlorid – als chemische Beanspruchung und eine Hauptschädigungsursache von Beton wie auch der Bewehrung – kann in Wasser und Luft gebunden sein. Die Erfassung einer derartigen chemischen Beanspruchung ist wesentlich als Grundlage zur Beurteilung des Ist- Zustandes und möglicher Schädigungen von Stahlbetonkonstruktionen.

- **Grundwasser - Chemie**

Als äußere Beanspruchung des Bauwerkes – und einer der möglichen Schädigungseinflüsse auf das Bauwerk und dessen Baustoffe – kann die chemische Zusammensetzung des Grundwassers und deren zeitliche Änderung beobachtet werden.

- **Boden - Chemie**

Ebenso wie bei Grundwasser kann die chemische Zusammensetzung des verwendeten Bodenmaterials zur Abgrenzung von Schadensfolgen beobachtet werden.

### 9.5.6 Messsignale

Zur Übertragung der Messwerte – in Form der physikalischen Größe – ist ein Signal erforderlich. Dieses Signal – im Zusammenhang mit der Messtechnik als Messsignal bezeichnet – stellt den zeitlichen Verlauf einer physikalischen Größe dar. Je nach der Signalart kann zwischen elektrischen, mechanischen, pneumatischen und hydraulischen Signalen unterschieden werden. In der Messtechnik am häufigsten sind, aufgrund der steigenden Anzahl an elektrischen Sensoren die elektrischen Signale. Bei Ingenieurbauwerken kommen zudem noch mechanische Signale zur Kraft- oder Verformungsmessung zum Einsatz. Vorteil der mechanischen Signale sind die sehr einfachen, damit verbundenen Messeinrichtungen. In Kombination mit einer elektronischen Signaleinheit kann auch der Nachteil der optischen Ablesung dieser Messgeräte begrenzt werden. Diese Unterscheidung wird im Allgemeinen nur bei der Planung von Messeinrichtungen verwendet und liefert keine Aussage über die Qualität der Messung oder des erfassten Signals. Die wichtigste Unterscheidung im Zusammenhang mit dem Messmittel und dem Messsignal ist die Signalform des erfassten Messwertes.

Tabelle 26: Klassifizierung der Messsignale nach der Signalform (Parthier, 2008)

Signalform	Parameter	Vorteil	Nachteil
Analog	Beliebig viele Werte innerhalb des Wertebereichs	Proportionale Abbildung von Messsignal und Information möglich	Störung durch z.B. externes Störsignal einfach möglich
Diskret	Endlich viele Werte innerhalb des Wertebereichs	Störeinflüsse erst nach Überschreitung des Grenzwertes erkennbar	Möglicher Informationsverlust
Kontinuierlich	Wert kann zu jedem beliebigen Zeitpunkt geändert werden	Zeitlicher Verlauf der Messwerte ist jederzeit nachverfolgbar	Oftmals unnötig große Daten- und Informationsmenge
Diskontinuierlich	Der Wert kann nur zu diskreten Zeiten geändert werden	Störungen zwischen den Zeitpunkten der Parameteränderungen können sich nicht auswirken	Informationen nur zu bestimmten Zeitpunkten verfügbar
Determiniert	Abhängigkeit des Messwertes	Informationen durch einmalige Messung gewinnbar	Unbrauchbare Messungen durch eine Störung
Stochastisch	Repräsentiert eine stochastische Größe	Störungen werden über die Messzeit integriert – starke Reduktion des Einflusses	Informationen nur durch mehrmalige Messungen gewinnbar

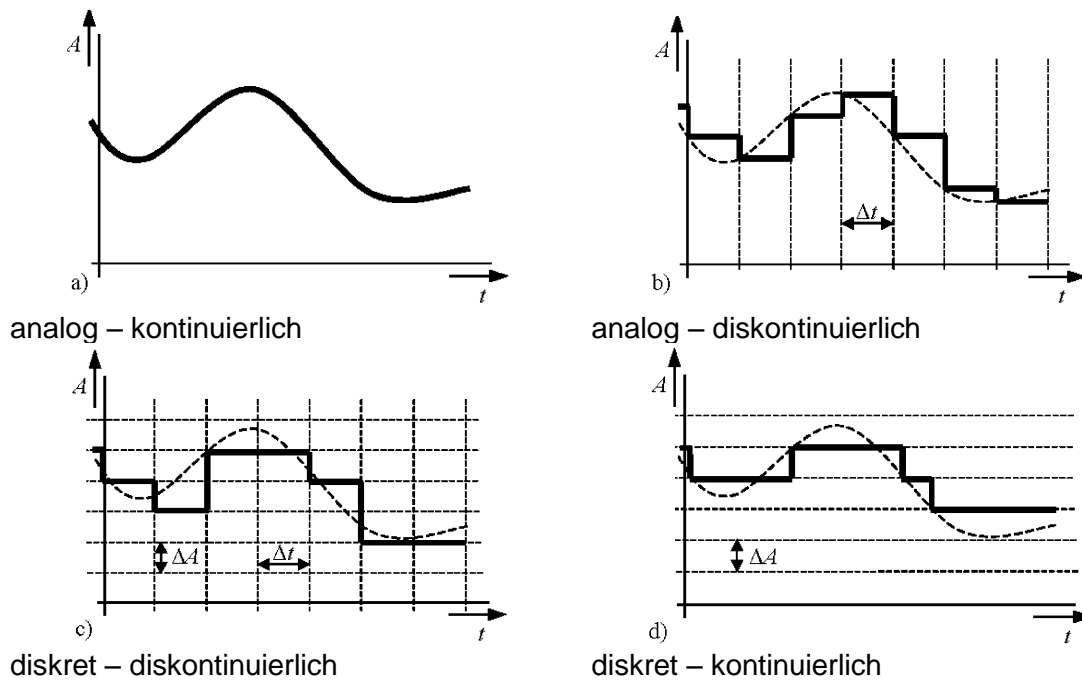


Abb. 93: Beispiele für unterschiedliche Signalformen (Parthier, 2008)

Abb. 93 zeigt einige der möglichen Kombinationen der in Tabelle 26 beschriebenen Messsignale. Ein wie in a) dargestelltes analog - kontinuierliches Signal bietet dabei die Möglichkeit, zu jedem beliebigen Zeitpunkt einen Messwert aus dem Signal abzugreifen, während dieses (oder besser gesagt die Änderung des Messwertes) bei einer analog – diskontinuierlichen Funktion lediglich in Zeitschritten  $\Delta t$  möglich ist. Gleiches gilt für die beiden diskreten Funktionen in Abb. 93 c) und d), zusätzlich hierzu weisen jedoch diese beiden noch einen Informationsverlust durch eine diskrete Beschreibung der wirklichen Messgröße auf.

Um die erhaltenen Messsignale interpretieren zu können oder um eine computerbasierte Verarbeitung zu ermöglichen ist oftmals eine Wandlung des Messsignales erforderlich. Hierbei kann in zwei Arten der Messsignalwandlung unterschieden werden:

- Wandlung der Signalform des Informationsparameters: Hierbei wird die physikalische Größe an sich nicht verändert. Lediglich dessen Form wird an die Notwendigkeiten der Weiterverarbeitung angepasst. Bestes Beispiel hierfür ist ein Messverstärker. Die Amplitude des Messsignales wird an die Anzeige und Verarbeitung angepasst. Die Amplitude – als Messsignal – bleibt jedoch immer noch der Informationsparameter.
- Wandlung der physikalischen Größe in einen Informationsparameter: Oftmals ist die physikalische Größe – unabhängig von direkten Veränderungen – nicht

zur Darstellung oder Verarbeitung geeignet. Daher ist es erforderlich, dieses Messsignal durch ein anderes, welches die Möglichkeiten zur Abbildung und Verarbeitung bietet umzuwandeln. Beispiel hierfür ist die elektrische Temperaturmessung. Die Temperatur an sich kann nicht direkt elektronisch abgebildet werden, jedoch kann der temperaturabhängige Widerstand durch eine Spannungsänderung angezeigt werden.

#### 9.5.7 Messmethoden

Die grundlegende Funktion eines Messinstrumentes kann durch dessen Messmethode beschrieben werden. Durch die Kenntnisse dieser sehr rudimentären und nicht immer direkt physikalisch umsetzbaren Vorgänge können Schwächen oder Fehlereinflüsse eines Messmittels besser abgeschätzt und bewertet werden. Dabei lassen sich drei Methoden unterscheiden:

- **Ausschlagmethode**

Wenn die Messgröße – als Eingangsgröße – direkt der Ausgangsgröße gegenübergestellt werden kann so spricht man von der Ausschlagmethode. Die zur Erzeugung des Ausschlages erforderliche Energie wird dem Messobjekt direkt entzogen. Der daraus resultierende Energieverlust des Ausgangsobjektes kann dabei zu einer Verfälschung des Ergebnisses führen. Ein Beispiel für die Anwendung dieser Methode sind Kraftmessuhren. Bei diesen wird die einwirkende Kraft direkt in einen Ausschlag des Zeigers an einer Skala umgewandelt.

- **Differenzmethode**

Wird die Messgröße einer Vergleichsgröße gegenübergestellt und die dabei auftretenden Differenzen gemessen, so spricht man von der Differenzmethode (oder auch Methode der unvollständigen Kompensation). Störeinflüsse können sich hierbei lediglich in der Differenz ergeben, woraus zu schließen ist, dass bei geringen Differenzen auch geringe Störanfälligkeiten der Messeinrichtung vorliegen. Beispiel hierfür ist die Neigungswaage, bei welcher der Ausschlag der Messuhr auf den Unterschied zwischen der linken und der rechten Seite einer Pendelwaage schließen lässt.

- **Kompensationsmethode**

Im Gegensatz zur Differenzmethode wird bei der Kompensationsmethode versucht, die Differenz gegen Null gehen zu lassen. Dies wird durch die Variation der Vergleichsgröße ermöglicht. Vorteilhaft hierbei ist, dass dem Messobjekt keine Energie entzogen wird, die Messmethode aufgrund der Justierbarkeit eine unendliche

Empfindlichkeit aufweist und durch die Gleichheit des Eingangs- und Ausgangswertes Störeinflüsse keine Auswirkung haben. Diese Art der Messung kommt bei Apothekerwaagen zum Einsatz. Bei diesen wird im Gegensatz zur Pendelwaage das Gewicht der linken Seite solange verändert, bis es jenem der rechten Seite entspricht.

#### 9.5.7.1 Zeitliche Abfolge von Messungen

Generell kann beim Monitoring in drei zeitliche Bereiche unterschieden werden.

- **Vor Beginn der Baumaßnahme:**

Dient der Erfassung des Ist-Zustandes als Planungsgrundlage. Dies kann der Beweissicherung umliegender Objekte dienen oder erforderliche Informationen über essentielle Randbedingungen der Planung liefern. Beispiele hierfür können die zeitliche Veränderung der Grundwassersituation oder die Erfassung der Bewegungsraten eines Rutschhanges sein.

- **Während der Bauausführung:**

Zur begleitenden Überwachung, der Steuerung gewisser Bauverfahren oder der Qualitätssicherung dieser, können Messmittel während der Bauausführung eingesetzt werden.

- **Nach Abschluss der Bauausführung:**

Bei neuerrichteten Bauwerken können Langzeitbeobachtungen Teil der Planung und Bauwerkserhaltung sein.

Bei bestehenden Bauwerken können, im Zuge einer geplanten Instandsetzung oder aufgrund von eingetretenen Randbedingungen Monitoringprozesse erforderlich werden. Diese können entweder durch die Wiederbelebung von bereits installierten Messmitteln oder durch die Herstellung der erforderlichen Messmittel geschehen. Gerade bei dieser Art des Monitorings ist die Ermittlung der Ausgangslage oftmals schwierig. Der „Urzustand“ des Bauwerkes ist aufgrund einer fehlenden Nullmessung oft nicht rekonstruierbar und es fehlen Daten aus dem bisherigen Nutzungszeitraum.

Natürlich können bei Bauwerken auch alle drei zeitlichen Abfolgen des Monitorings eingesetzt werden, um eine lückenlose und geschlossene Dokumentation bzw. Überwachung des Verhaltens zu bekommen.

#### 9.5.7.2 Umfang und Häufigkeit der Messungen

Werden Bauwerke neu errichtet und ist das Verhalten des gesamten Bauwerkes oder einzelner Elemente nicht eindeutig abbildbar, so können bereits im Entwurf



mitbeachtete Monitoringkonzepte eingesetzt werden (Beobachtungsmethode). Diese unterscheiden sich in ihrer Verbindung zum Bauwerk und der zeitlichen Abfolge der Messung eindeutig von nachträglich eingebauten Monitoringsystemen.

Die Art und der Umfang der erforderlichen Messungen zur Beurteilung des Bauwerkszustandes hängen von den maßgebenden Versagensmechanismen und Schadensbildern ab. Abhängig von der Veranlassung zur Planung eines Monitoringsystems kann in zwei Gruppen unterschieden werden:

- Untersuchung einer schnellen Zustandsänderung: Bei diesem, im Bauwesen als sprödes Versagen bekannten Szenario ist ein Monitoring zur „Beobachtung“ des Systemverhaltens oftmals nicht zielführend, da die erforderliche Zeit um Gegenmaßnahmen einzuleiten nicht gegeben ist.
- Aufzeichnung und Abbildung eines Schadensverlaufes: Ist aufgrund von Voruntersuchungen und Simulationen mit einem duktilen Verhalten des Bauteiles zu rechnen, so können Aufzeichnungen über den Verlauf und den Zuwachs der Schädigung bei der Analyse verwendet werden.

Aus diesen beiden Gruppen können wiederholte und kontinuierliche Messkonzepte abgeleitet werden. Zur Untersuchung einer schnellen Zustandsänderung sind kontinuierliche Messungen unerlässlich um den aktuellen Zustand des Bauwerkes zu jedem Zeitpunkt des Untersuchungszeitraumes zu kennen und nötigenfalls eingreifen zu können. Um den Schadensverlauf verfolgen zu können sind oftmals wiederholte periodische Messungen ausreichend. Und zusätzlich stellen diese im Vergleich zu kontinuierlichen Messungen einen meist geringeren Kostenaufwand dar.

#### 9.5.8 Planung des Monitorings

Als der wesentliche Bestandteil einer Bauwerksüberwachung stellen Monitoring- und Überwachungsprogramme oftmals eine Herausforderung für alle Beteiligten dar. Einerseits stellen sie für den Erhalter und Besitzer des Bauwerkes einen wesentlichen monetären und personellen Aufwand dar, andererseits sind die an der Beurteilung und Installation beteiligten Planer in der richtigen Gestaltung des Monitoringkonzeptes gefordert.

Für die Findung der Randbedingungen kann von der Aussage „*Was will ich messen und wozu will ich es messen*“<sup>36</sup> ausgegangen werden. Mit Hilfe dieser Frage können die möglichen Versagensmechanismen oder Schadensbilder mit den vorliegenden

---

<sup>36</sup> (Boley, 2012) Kapitel 15.2.5

Randbedingungen kombiniert werden. Aus dieser Kombination heraus kann anschließend das am besten geeignete Monitoringsystem entwickelt werden. Jedoch ist hierbei auf die Eigenschaften der Messinstrumente zu achten. Nicht jedes Messmittel eignet sich zur Darstellung der geforderten Messgrößen bzw. der erforderlichen Messgenauigkeit bei dem vorliegenden Stützbauwerk.

Eine zusätzliche Randbedingung, welche aus den beschriebenen Vorüberlegungen hervorgehen sollte, sind die Grenzwerte für das geplante Monitoringsystem. Einerseits werden mit diesen die Einsatzmöglichkeiten gewisser Messmittel und Instrumente beschränkt, andererseits sind diese Grundlage bei der Erstellung von Alarmplänen.

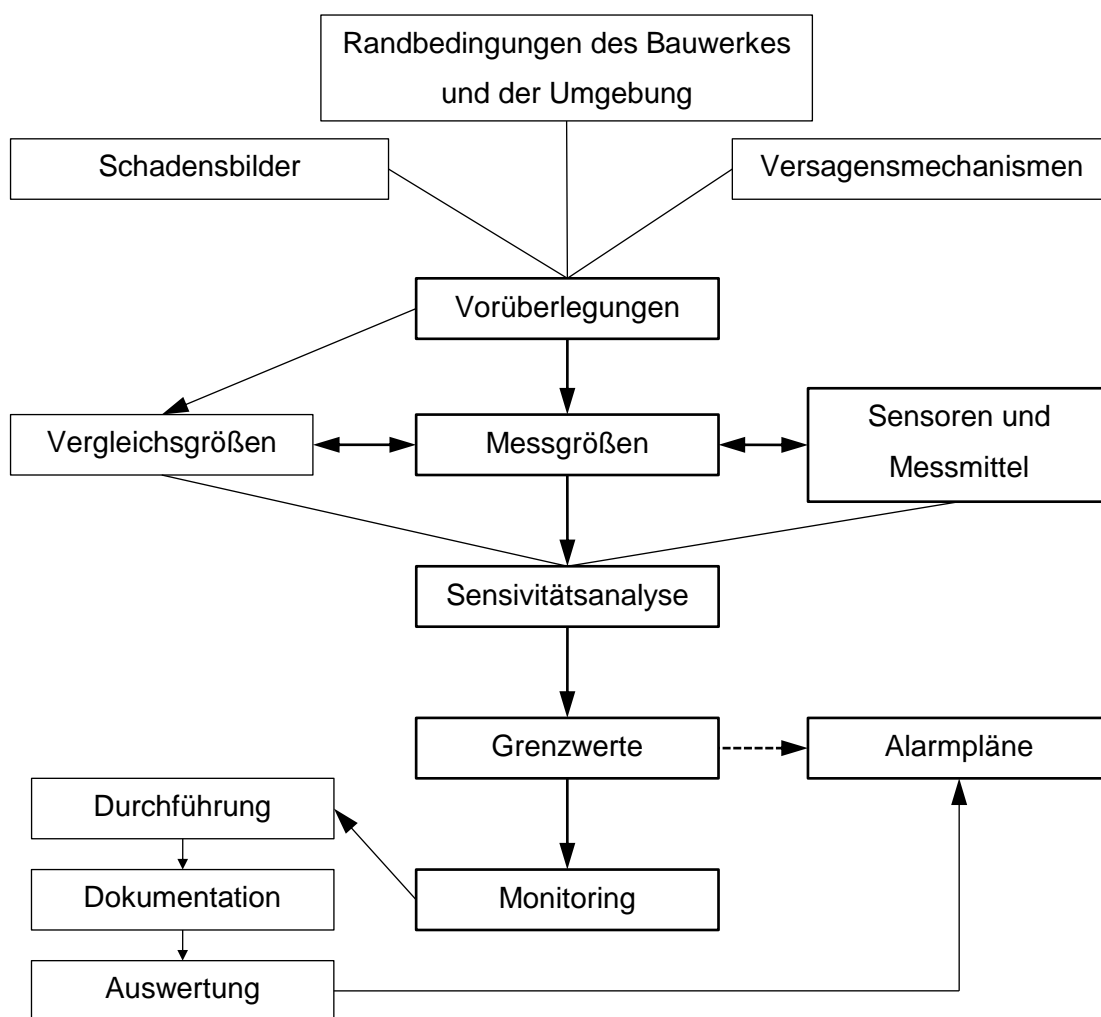


Abb. 94: Ablaufschema zur Planung eines geeigneten Monitoringkonzeptes

Mit Abb. 94 sollen die Abläufe bei der Planung eines Monitoringsystems schematisch vereinfacht dargestellt werden. Die durch das Bauwerk und seine Umgebung definierten Randbedingungen und die möglichen Schadensbilder und Versagensszenarien dieses Bauwerkes bilden die Vorüberlegungen zur Planung. Aus

diesen Vorüberlegungen lassen sich die Vergleichsgrößen definieren. Diese Vergleichsgrößen stellen die maßgebenden Größen dar, mit welchen das Verhalten des Bauwerkes – über die zugehörigen Messgrößen – definiert werden kann. Den Vergleichsgrößen gegenüber stehen die Messgrößen. Dies sind jene Größen, die aus den Vergleichsgrößen gewonnen werden können und zur Prognose des Verhaltens verwendet werden. Nach Kenntnis der Messgrößen können die Sensoren und zugehörigen Messmittel definiert werden. Diese werden anschließend einer Sensitivitätsanalyse unterzogen. Bei dieser werden die zu erwartende Größe der Messwerte, deren Häufigkeit und das Messmittel selbst untersucht. Die Messwerte und deren Häufigkeit können aus Erfahrungswerten oder Parameterstudien gewonnen werden und sind abhängig von der Eindeutigkeit mit den Vergleichswerten (bei direkter Verwendung dieser) oder den Messwerten (bei Wandlung der Vergleichswerte) gegenüberzustellen. Bei der Untersuchung des Messmittels sind vor allem Aussagen über dessen Genauigkeit, Präzision und Auflösung wichtig. Neben diesen drei Hauptmerkmalen ist auch noch die Beeinflussbarkeit des Sensors durch Umgebungsbedingungen oder Umwelteinflüsse (z.B. Driften durch Alterungseffekte) zu berücksichtigen. Sollte die Sensitivitätsanalyse negativ ausfallen, so ist zu untersuchen, ob nur das untersuchte Messmittel auszutauschen ist, oder ob die Messgröße an sich geändert werden muss. Sollte letzteres der Fall sein, so müssen Änderungen in den Vorüberlegungen getroffen werden.

#### 9.5.8.1 Positionierung von Messmitteln

Um qualitative und richtige Aussagen über das Verhalten eines Bauwerkes zu erhalten ist neben der Findung der maßgebenden Messgrößen der Bereich in denen diese erfasst werden äußerst wichtig.

Die Bereiche eines Stützbauwerkes, in welchen Messwerte erfasst werden, können wie folgt eingeteilt werden:<sup>37</sup>

- **Baugrund**

Um das Verhalten eines Stützbauwerkes richtig beurteilen zu können, stellen der Aufbau des Untergrundes und dessen Kennwerte wichtige Bemessungsgrößen dar. Neben den Kennwerten kann auch die Interaktion zwischen dem Bauwerk und dem Boden signifikanten Einfluss auf die vorliegenden Versagensmechanismen oder Schadensbilder haben.

---

<sup>37</sup> angelehnt an (Boley, 2012) Kapitel 15.2.1.2

- **Angrenzende Objekte**

Die Beobachtung von Bauwerken oder Elementen (z.B. Bewuchs an der Oberfläche) im Nahebereich eines Stützbauwerkes kann Aufschluss über die Beeinflussung und die Interaktion geben. Neben diesen, mit der Zustandsbeurteilung in Zusammenhang stehenden Aussagen, dient die Beobachtung von Nachbargebäuden auch der Beweissicherung und muss bei der Erstellung von Alarmplänen berücksichtigt werden.

- **Gesamtbauwerk**

Die Abbildung des Gesamtbauwerkes stellt die schwierigste Aufgabe dar. Nur in Einzelfällen wird dies durch ein einzelnes Messmittel ohne die Kombination mit einem Prognosemodell von statten gehen können. Zur Vereinfachung dieser Aufgabe können Einzelbauteile verwendet werden. Jedoch ist bei der Beurteilung von Bauwerken auch immer auf die Streuung der Eigenschaften entlang des Bauwerkes zu achten. So sind bei der Planung von Messkonzepten diese Einflüsse durch die Anordnung von Messstellen über den gesamten Bauwerksbereich zu beachten.

- **Einzelbauteile**

Einfacher als die Beurteilung des Gesamtbauwerkes ist die Untersuchung von Einzelbauteilen, welche eine wichtige Rolle im Tragverhalten einnehmen. Hierfür sind diese Bauteile in den Vorüberlegungen zu identifizieren und nötigenfalls mit einem redundanten System auszustatten um die richtige Dateninterpretation zu garantieren.

#### 9.5.9 Durchführung der Messaufgaben

Gemeinsam mit den Kenntnissen über die Messinstrumente und dem geplanten Monitoringkonzept sollte abschließend die Durchführung der Messaufgaben geplant werden. Neben einer weiteren „vertieften“ Sensitivitätsanalyse können hier nochmals die erhaltenen Messgrößen überprüft werden und auch baupraktische Untersuchungen durchgeführt werden. Ein Ansatz für die Messaufgabe kann die Aufteilung des Gesamtobjektes in die einzelnen Zustandserfassungsschritte (siehe Kapitel 8.2.1) und anschließend in die zu betrachtenden Einzelobjekte sein.

- **Werkstoffe**

Abhängig vom Planungszeitpunkt haben Kenntnisse über Werkstoffe einen großen Einfluss auf das weitere Vorgehen. Bei der Durchführung von Monitoringprozessen kommen diese Arten des Monitorings jedoch meist erst sehr spät zum Einsatz, da sie aufwendig sind und meist nicht zerstörungsarm oder zerstörungsfrei von statten gehen.

- **Bauteile**

Die Untersuchung und Beobachtung von Bauteilen ist eine der am häufigsten verwendeten Monitoringprozesse. Einerseits stellt die Art der Positionierung der Messmittel keine Beschädigung des Bauwerkes dar, andererseits ist der Informationsgewinn meist sehr groß und kann zur Bildung von Prognosemodellen verwendet werden. Des Weiteren sind die untersuchten Bauteile auch jene, welche die Grundlage für Alarmpläne und Grenzwerte liefern.

- **Bauwerk**

Das Monitoring eines gesamten Bauwerkes stellt die Kombination aus Werkstoffen und Bauteilen dar. Damit soll das Verhalten des Bauwerkes für eine Vielzahl der Belastungsfälle und Zeitpunkte abgebildet werden. Aus diesen Informationen und Daten kann anschließend ein sehr detailliertes Prognosemodell erstellt werden. Dieses kann mit den Messgrößen kalibriert und anschließend zur Prognose des Verhaltens verwendet werden.

#### 9.5.10 Prognosemodelle & Alarmpläne

Zusätzlich zur Auswertung der Messergebnisse können Prognosemodelle und Alarmpläne erstellt werden. Mit Hilfe der Prognosemodelle kann das Verhalten des Bauwerkes abgebildet werden, wodurch eine zeitliche Prognose für die Beurteilung erstellt werden kann. Alarmpläne, können in Kombination mit einer Alarmkette und Grenzwerten zur Erhöhung der Sicherheit verwendet werden.

9.5.11 Messinstrumente und Messgrößen

9.5.11.1 Geometrische Messgrößen

Messmittel / Instrumente / Sensoren	geometrische Messgrößen									
	Position	Starrkörper- bewegung				Längen- änderun		Neigung [°]	Rissbreite [m]	Risstiefe [m]
		Verschiebung [m]	Schiefstellung [m]	Verdrehung [°]	Setzung [m]	Dehnung [%]	Stauchung [%]			
Totalstation	XX	XX	X	X	XX	X	X	X		
GNSS Sensor	XX	XX	X	X	X	X	X	X		
Laserscanning	XX	X	X	X	XX	X	X	X		
bodenbasiertes SAR	X	X								
Photogrammetrie		X	X	X	X	X	X	X	XX	
Nivellier		X			XX			X		
Schlauchwaage			XX	X	XX			XX		
Pendel / Lot			XX	XX				XX		
Neigungssensor			XX	XX				XX		
Inklinometer		X	X	X				XX		
Wegaufnehmer		XX			XX	XX	XX		XX	
Fissurometer			X	X				XX	X	
Dehnmessstreifen						XX	XX		XX	
Konvergenzband		X	X	X	X	XX	XX			
Extensometer		X	X	X	XX			X		
Gleitmikrometer				X		X	X			
Temperaturaufnehmer										
Feuchtaufnehmer										
Kraftaufnehmer						X	X			
Erddruckaufnehmer										
Piezometer										
Faseroptischer Sensor						XX	XX		XX	
Beschleunigungssensor										
Geschwindigkeitssensor										
Schwingsaitenaufnehmer						XX	XX		X	
Massenerreger										
Betonprüfhammer										
Haftzugprüfung										
Potentialfeldmessung										X
Elektrischer Widerstand										X
Ultraschallmessung										X
Permeabilitätsanalyse										X
Wärmebildsensor										
Laboruntersuchungen									X	XX

Abb. 95: Zusammenstellung der geometrischen Messgrößen und der zugehörigen Messmittel / Instrumente / Sensoren

9.5.11.2 **Physikalische Messgrößen**

Messmittel / Instrumente / Sensoren	physikalisch Messgrößen											
	Temperatur [°K]	Kraft [N]	Druck		Beschleunigung [m/s <sup>2</sup> ]	Schwinggeschwindigkeit [m/s <sup>2</sup> ]	Eigenfrequenz [Hz]	Dämpfung [%]	Feuchte [%]	Feuchtigkeitsgehalt [%]	Festigkeit [N/m <sup>2</sup> ]	Wärmedurchlässigkeit [W/m <sup>2</sup> K]
			Porenwasserdruck [N/m <sup>2</sup> ]	Erddruck [N/m <sup>2</sup> ]								
Totalstation												
GNSS Sensor												
Laserscanning												
bodenbasiertes SAR												
Photogrammetrie												
Nivellier												
Schlauchwaage												
Pendel / Lot												
Neigungssensor												
Inklinometer												
Wegaufnehmer												
Fissurometer												
Dehnmessstreifen												
Konvergenzband												
Extensometer												
Gleitmikrometer												
Temperaturaufnehmer	XX								X			X
Feuchteaufnehmer	X							XX	XX	X		
Kraftaufnehmer		XX										
Erddruckaufnehmer				XX								
Piezometer			XX									
Faseroptischer Sensor	XX											
Beschleunigungssensor					XX	X	X	X				
Geschwindigkeitssensor					X	XX	X	X				
Schwingsaitenaufnehmer	XX	XX										
Massenerreger						X	XX	XX				
Betonprüfhammer									X	X	XX	
Haftzugprüfung										X	XX	
Potentialfeldmessung									X	X		
Elektrischer Widerstand									X	XX		X
Ultraschallmessung									X		X	
Permeabilitätsanalyse									XX	XX	X	
Wärmebildsensor	XX								X	X		XX
Laboruntersuchungen									XX	XX	XX	XX

Abb. 96: Zusammenstellung der physikalischen Messgrößen und der zugehörigen Messmittel / Instrumente / Sensoren

9.5.11.3 Chemische Messgrößen

Messmittel / Instrumente / Sensoren	chemisch Messgrößen				
	Korrosion [-]	Karbonatisierung [%/m]	Chloridgehalt [%]	Grundwasser - Chemie [-]	Boden - Chemie [-]
Totalstation					
GNSS Sensor					
Laserscanning					
bodenbasiertes SAR					
Photogrammetrie					
Nivellier					
Schlauchwaage					
Pendel / Lot					
Neigungssensor					
Inklinometer					
Wegaufnehmer					
Fissurometer					
Dehnmessstreifen					
Konvergenzband					
Extensometer					
Gleitmikrometer					
Temperaturaufnehmer					
Feuchteaufnehmer					
Kraftaufnehmer					
Erddruckaufnehmer					
Piezometer					
Faseroptischer Sensor					
Beschleunigungssensor					
Geschwindigkeitssensor					
Schwingsaitenaufnehmer					
Massenerreger					
Betonprüfhammer		X			
Haftzugprüfung		X			
Potentialfeldmessung	XX	X			
Elektrischer Widerstand	XX	XX	X		
Ultraschallmessung	X	X			
Permeabilitätsanalyse	X	X	X		
Wärmebildsensor					
Laboruntersuchungen	XX	XX	XX	XX	XX

Abb. 97: Zusammenstellung der chemischen Messgrößen und der zugehörigen Messmittel / Instrumente / Sensoren



#### 9.5.11.4 Beschreibung der Messmittel / Instrumente / Sensoren

Nachfolgende Beschreibung soll einen kurzen Überblick über die in Abb. 95 bis Abb. 97 aufgelisteten Messmittel, Instrument und Sensoren geben.

- **Totalstation**

Eine Totalstation (auch als elektronischer Tachymeter bezeichnet) stellt eine Erweiterung eines Tachymeters dar. Die Richtungen sowie die Distanz werden nach dem Zielvorgang selbstständig erfasst und an eine elektronische Datenverarbeitungseinheit weitergegeben. Die Distanzmessung wird dabei elektronisch durch Lichtwellenmessung (Reflektor erforderlich) oder Laserentfernungsmesser (auf jeder Oberfläche möglich) durchgeführt. Diese Eigenschaften ermöglichen es, eine automatisierte Überwachung von Bauwerken durchzuführen. Die Genauigkeit der Winkelmessung liegt (ebenso wie bei Tachymetern) im Sekundenbereich z.B.  $\sigma_{\text{Winkel}} = 1''$  ( $\equiv 3 \text{ mm auf } 600 \text{ m Distanz}$ ). Die Bestimmung der



Abb. 98: Totalstation (Leica Geosystems)

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 ist bei der reflektorlosen Messung (Laserentfernungsmesser) auch die Beschaffenheit und Farbe der Oberfläche ausschlaggebend für die zu erreichende Genauigkeit der Entfernungsmessung.

- **GNSS Sensor**

GNSS (Global Navigation Satellite System) ist ein Überbegriff für die unterschiedlichsten globalen Satellitensysteme (z.B. GPS, GLONASS oder Galileo). Wie der Name bereits erkennen lässt, kann mit diesen Sensoren die Position bestimmt werden. Zur Erfassung dieser ist die freie Sicht auf mindestens vier Satelliten erforderlich. Durch den Datenverkehr zwischen dem Sender (Satellit) und dem Empfänger (Sensor) werden die genaue Position der Satelliten und die Uhrzeit übermittelt. Aus diesen kann der Schnittpunkt der Kugelflächen zwischen den Satelliten bestimmt werden, woraus sich die Position des Punktes ergibt. Die Genauigkeit der Messung



Abb. 99: GNSS Sensor (Leica Geosystems)

erhöht sich mit jedem zusätzliche Satelliten, dessen Signal empfangen wird. Des Weiteren kann der Vergleich der Messergebnisse mit Referenzpunkten zur Erhöhung der Genauigkeit herangezogen werden.

- **Laserscanning**

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



Abb. 100: Oben – Laserscanner (Laserscanning); Unten – Ergebnis eines Laserscans (GIS Blog)

- **Bodenbasiertes SAR**

SAR (Synthetic Aperture Radar – Radarinterferometer) ist eine auf dem Radarprinzip basierende Sensortechnik. Dabei wird für zwei nebeneinander angeordnete Antennen der Phasenunterschied (Doppler-Verschiebung) 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 verwendet.



Abb. 101: SAR verwendet zum Brückenmonitoring (Metasensing, 2014)

- **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.



Abb. 102: Apparatur zur Photogrammetrie und 3D Modell eines Bauwerkes (SYNO Systems)

- **Nivellier**

Mit Hilfe eines Nivelliers ist es möglich, eine horizontale Bezugsebene zu erzeugen. Aufbauend auf diese Bezugsebene können Lageveränderungen in Bezug auf einen Referenzpunkt bestimmt werden. Das Nivelliergerät oder der Rotationslaser dienen zur Erstellung einer horizontalen Bezugsebene und können 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.



Abb. 103: Links - Nivellier zur Bestimmung von Höhendifferenzen (Leica Geosystems); Rechts – Digitalnivellier (Trimble)

- **Hydrostatische Messsysteme**

Hydrostatische Messsysteme stellen eines der ältesten Messmittel dar. Sie basieren auf dem Prinzip der kommunizierenden Gefäße, und können zur Herstellung eines hydrostatischen Nivellements herangezogen werden. Neben den alten 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.

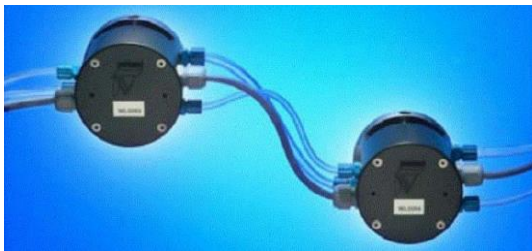


Abb. 104: Links – Schlauchwaagensysteme (Interfels) ; Rechts – Drucksystem (Shoef)

- **Pendel / Lot**

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

- **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 sollen Rotationsbewegungen eines Starrkörpers erkannt werden.



Abb. 105: Neigungssensor (Wyler)

- **Inklinometer**

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



Abb. 106: Inklinometer in einem Bohrloch (Stump)

- **Wegaufnehmer**

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



Abb. 107: Wegaufnehmer (SGHG)

- **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 Messscheiben (analog) oder mit Hilfe von elektrischen Messaufnehmern (permanent

digital) geschehen. Diese Art der Überwachung kann bei Bauteilfugen, Rissen oder Felsklüften verwendet werden.



Abb. 108: Fissurometer zur Erfassung von Bewegungen in drei Richtungen (Glötzl)

- **Dehnmessstreifen**

Dehnmessstreifen sind Messsensoren zur Erfassung von Dehnungen oder Stauchungen entlang der Applikationsstrecke. Infolge der Verformung oder Längenänderung des Bauteiles kommt es zu einer Längenänderung (verbunden mit einer Querschnittsreduktion) der Dehnmessstreifen. Diese Querschnittsänderung zieht eine Veränderung des elektrischen Widerstandes, welcher gemessen werden kann, mit sich. Aufgrund ihrer sehr einfachen Funktionsweise und der geringen Größe sind sie Grundlage für eine Vielzahl anderer Messeinrichtungen, bei denen die Bestimmung einer Verformung oder Wegänderung erforderlich ist.

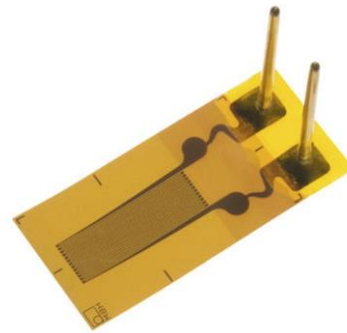


Abb. 109: Dehnmessstreifen (HBM, Dehnmessstreifen)

- **Konvergenzband**

Zur Bestimmung des Abstandes (und dessen Änderung) zwischen zwei Punkten kann ein Konvergenzband verwendet werden. Dies findet hauptsächlich im Bereich des Tunnelbaues (Verformungen des Querschnittes) Anwendung. Bei Stützbauwerken kann es bei sogenannten Trogbauwerken (gegenüberliegende Querschnitte) zur Überwachung der Kopfverformungen eingesetzt werden.

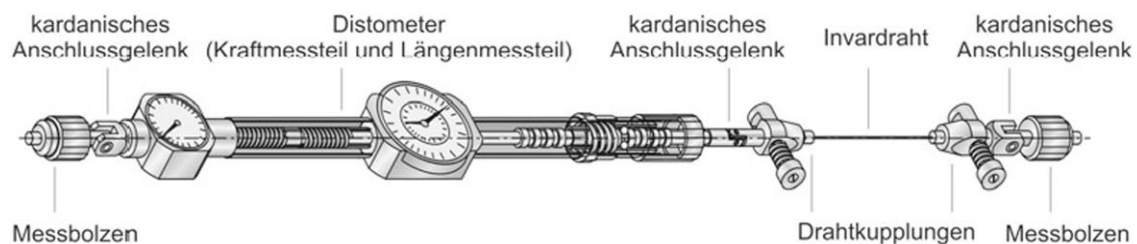


Abb. 110: Konvergenzband (Boley, 2012)

- **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 fix 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 zu ermitteln, so können Mehrfachextensometer angewendet werden. Bei einem Drahtextensometer wird die Messung der Längenänderung durch die Erfassung der Veränderungen eines Drahtes durchgeführt. Dieser Draht kann dabei entweder (wie das Stangenextensometer) in einem Bohrloch verankert sein, oder wird (wie z.B. im Tunnelbau) zwischen zwei Fixpunkten an der Tunnelschale (oder anderen Bauteilen) befestigt.

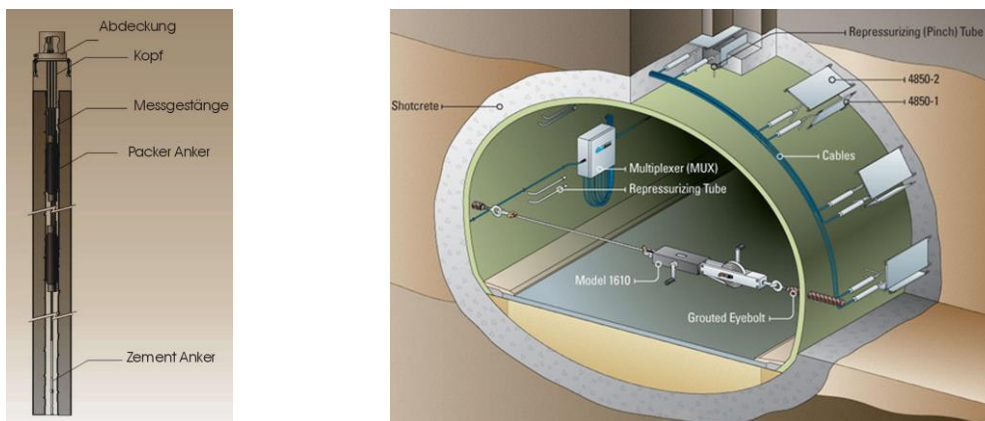


Abb. 111: Links – Schematischer Schnitt eines Stangenextensometers (Geosond) ; Rechts – Verwendung eines Drahtextensometers in einem Tunnelquerschnitt (Geotechpedia)

- **Gleitmikrometer**

Mit Hilfe eines Gleitmikrometers ist es möglich, die Dehnungsverteilung in einem Messrohr zu ermitteln. Dazu wird die Messsonde in das Messrohr eingebracht und in dieses an vordefinierten Messmarken verspannt. Anschließend wird die Dehnungsverteilung entlang der Rohrachse mit Hilfe eines Wegaufnehmers bestimmt.

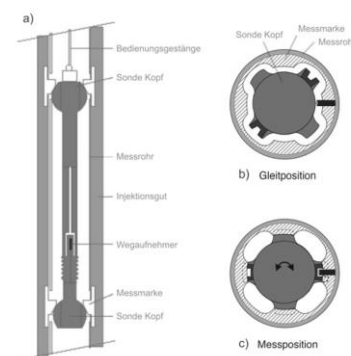


Abb. 112: Mikrometer (Boley, 2012)

- **Temperaturaufnehmer**

Ein klassischer Temperaturaufnehmer (oder allgemein ein Thermometer) basiert auf der Temperaturabhängigkeit der Ausdehnung von Flüssigkeiten, Gasen oder Festkörpern. Um diese Abhängigkeit bestimmen zu können ist ein Kontakt mit dem zu messenden Objekt erforderlich. Im Gegensatz hierzu ist dies bei der berührungslosen Temperaturmessung nicht erforderlich. Bei dieser ist es möglich, die elektromagnetische Temperaturstrahlung eines Objektes mit Hilfe von Infrarotsensoren zu bestimmen.



Abb. 113: Links – Temperaturaufnehmer zum Einbau in Betonbauteile (Stauff) ; Rechts – Infrarot Thermometer (Fluke)

- **Feuchteufnehmer**

Die Feuchtebestimmung eines Baustoffes kann entweder direkt in Form einer Entnahme und Trocknung, oder indirekt durch Messung bestimmt werden. Die direkte Entnahme kann bei oberflächlichen Untersuchungen 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.



Abb. 114: Feuchtemesser (Trotec)

- **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 kleineren Bauform, mit Dehnmessstreifen bestückte Kraftmessdosen zum Einsatz. Abhängig von der Messgröße und dem Bauteil gibt es unterschiedlichste Formen der Ausführung.

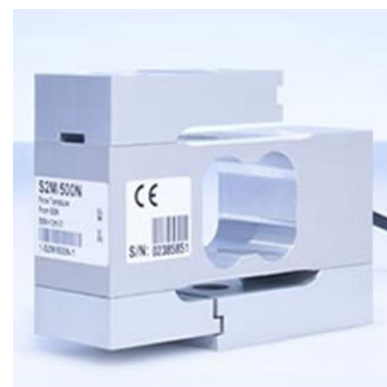


Abb. 115: Kraftaufnehmer (HBM)



- **Erddruckaufnehmer**

Erddruckaufnehmer haben das gleiche Funktionsprinzip wie hydraulische Kraftzellen. Durch ihren Einbau ist es möglich, die auf sie einwirkenden totalen Spannungen des Bodens zu erfassen. In Kombination mit einem Piezometer (zur Messung der Porenwasserdrücke) ist es möglich, die effektiven Spannungen des betrachteten Bodenkörpers zu bestimmen. Je nach Anforderung können diese Sensoren flächenförmig (einbetonierbar) oder punktförmig sein. 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.



Abb. 116: Erddruckaufnehmer in Kombination mit einem Piezometer (Glötzl)

- **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 Wasserpegels (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 das keine Beeinflussung bei sich langsam ändernden Grundwasserverhältnissen (geringe Durchlässigkeit) vorliegt.



Abb. 117: Porendruckaufnehmer (Glötzl)

- **Faseroptischer Sensor**

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 Lichtstrahles, die Wellenlänge und deren Schwingrichtung (Polarisation) sowie die Laufzeit des Signales untersucht werden. Aus diesen Werten kann auf die Temperatur und/oder die Dehnung rückgeschlossen werden.



Abb. 118: Faseroptischer Dehnungssensor (ZSE)

- **Beschleunigungssensor**

Beschleunigungssensoren gehören zur Gruppe der Inertialsensoren und dienen der Messung einer Beschleunigung. Diese Messung wird durch die Bestimmung der auf eine Testmasse wirkenden Trägheitskraft durchgeführt.

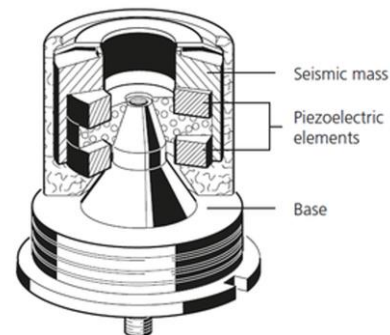


Abb. 119: Beschleunigungsaufnehmer (db-prüftechnik)

- **Geschwindigkeitssensor**

Ebenso wie Beschleunigungssensoren basieren Geschwindigkeitssensoren auf dem ersten newtonschen Axiom (Trägheitsprinzip).

- **Schwingsaitenaufnehmer**

Einen der vielseitigsten Sensoren stellt der Schwingsaitenaufnehmer dar. Das Funktionsprinzip basiert auf der Änderung der Eigenfrequenz einer schwingenden Saite, sobald sich deren Spannkraft ändert. Durch diese Veränderung lässt sich die Dehnung über die Beobachtungsstrecke (ähnlich dem Wegaufnehmer), eine einwirkende Kraft, der Umgebungsdruck oder die Temperatur bestimmen.



Abb. 120: Schwingsaitenaufnehmer appliziert an einen Bewehrungskorb (Garbers, Fischer, Cudmani, & Maitschke)

- **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 an das Bauwerk weiter. Aufgrund des Verhaltens des Bauwerkes und der Bauwerksantwort kann auf die Eigenfrequenz des Bauwerkes, das Dämpfungsverhalten (Boden- Bauwerksinteraktion) oder mögliche Schäden rückgeschlossen werden.

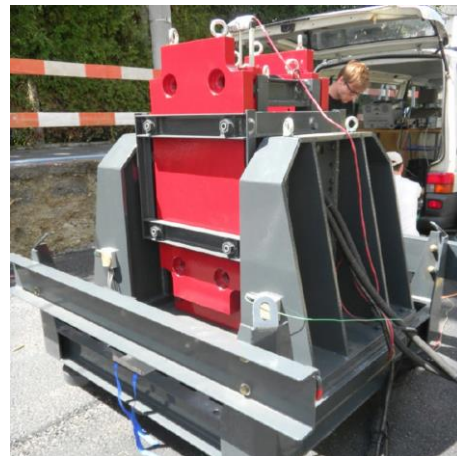


Abb. 121: Schwingungsgenerator Moses (Flesch, 2013)

- **Betonprüfhammer (siehe Kapitel 7.3.2)**

Der Betonprüfhammer (Schmidt-Hammer oder Rückprallhammer) wird für zerstörungsfreie Festigkeitsuntersuchungen an Beton- oder Gesteinsoberflächen verwendet. Zur Bestimmung der Bauteilfestigkeit wird kinetische Energie in Form eines Bolzenschlages in das Bauteil eingebracht. Abhängig von der Festigkeit des Baustoffes wird ein Teil dieser Energie in Verformung umgewandelt (Energieerhaltungssatz). Durch Messung der Größe der umgewandelten Energie kann auf die Baustoffdruckfestigkeit (und den Elastizitätsmodul) rückgeschlossen werden.

- **Haftzugprüfung (siehe Kapitel 7.3.2)**

Durch Abziehen eines aufgeklebten Prüfstempels auf eine definierte Oberfläche kann die Haftzugfestigkeit des Baustoffes bestimmt werden. Ebenso wie bei der Verwendung eines Betonprüfhammers kann auch mit der Haftzugprüfung die Festigkeit des Betons bestimmt werden.

- **Potentialfeldmessung**

Die Potentialfeldmessung ist eine zerstörungsfreie Methode und wird dazu verwendet, die Korrosionsaktivität in Stahlbetonbauteilen zu bestimmen. Dazu wird eine Bezugslektrode in Form einer Gleichspannung mit den Bewehrungselementen verbunden, durch eine Kupfersulfatelektrode an der Oberfläche des Bauteiles wird der elektrische Kreislauf geschlossen. Die korrodierten Bereiche des Baustahles bilden dabei die Anode des elektrochemischen Korrosionsvorganges. Das Ergebnis einer derartigen Messung bilden Äquipotentiallinien. Extreme Potentialstellen (als Hinweis

auf eine Anode) zeigen dabei Bewehrungsbereiche die besonders korrosionsgefährdet sind, oder deren Milieu auf eine erhöhte Korrosionsgefahr hindeutet.

- **Elektrischer Widerstand**

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



Abb. 122: Links – Korrosionsanalysegerät auf Basis der Potentialfeldmessung ; Rechts – Widerstandsmessgerät zur Erfassung des elektrischen Widerstandes von Betonbauteilen (Proceq)

- **Ultraschallmessung**

Basierend auf der Impulsgeschwindigkeitsmessung und 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 Inhomogenität oder Fehlstellen hinweisen kann. Des Weiteren wird durch eine Laufzeitbestimmung der Impulswellen eine Messung der Bauteildicke ermöglicht.



Abb. 123: Ultraschallmessgerät (Proceq)

- **Permeabilitätsanalyse**

Die Permeabilität (Durchlässigkeit) eines Betonbauteiles 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 ein 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.



Abb. 124: Permeabilitätsanalysegerät (Proceq)

- **Wärmebildsensor**

Wärmebildkameras wandeln im Gegensatz zu herkömmlichen Kameras Infrarotstrahlungen – die für das menschliche Auge unsichtbare Wärmestrahlung eines Objektes – in ein Bild um. Neben der thermischen Untersuchung von Gebäudehüllen kommen Wärmebildkameras vor allem zur Leckageortung oder Auffindung von Feuchtstellen an Bauteiloberflächen zum Einsatz. Die meisten Kameras messen lediglich den Unterschied zwischen der empfangenen Leistung an den unterschiedlichsten Stellen der Bauteiloberfläche, wodurch ohne Kombination mit Temperaturmessungen eine deutliche Aussage über den Wärmeverlust an der Oberfläche möglich ist.



Abb. 125: Wärmebildkamera (Fluke)

- **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 eine zerstörende Untersuchungsmethode, da zur Entnahme der Probe (wenn auch geringfügig) eine Schädigung des Bauteils oder Bauwerkes erforderlich ist. Beispiel hierfür sind Zylinderdruckprüfungen an Betonbohrkernen oder Siebversuche zur Bestimmung von Bodenkennwerten.

## 10 Ergebnisse & Empfehlungen

In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse der Arbeit in Form von Bausteinen für eine Empfehlung dargestellt werden. Diese Empfehlungen bilden die Grundlage für die weitere Erstellung der ÖGG-Richtlinie zu diesem Thema. Des Weiteren soll damit die Querlesbarkeit zwischen dieser Arbeit und der ÖGG-Richtlinie erörtert werden.

Nachfolgende Punkte stellen die vorläufige Gliederung der ÖGG-Richtlinie „Zustandserfassung und Bewertung von unverankerten Stützkonstruktionen“ dar. In ihrer Gliederung und der Aufteilung und Bezeichnung der Kapitel können jene Kapitel dieser Arbeit mit einem Unterkapitel der ÖGG-Richtlinie gegenübergestellt werden. Nicht für die Umsetzung oder Verwendung der ÖGG-Richtlinie relevante Kapitel oder einzelne Textpassagen aus der Arbeit sind daher in den nachfolgenden Kapiteln nicht enthalten.

# **Richtlinie zur Zustandserfassung und Bewertung von unverankerten Stützbauwerken**

Erfassung von unverankerten Stützbauwerken im Bestand,  
Erstellung von Bestandsblättern, Zustandserfassung der Bauteile  
und des Gesamtobjekts sowie deren Beurteilung und die Festlegung  
von Maßnahmen in allen Erhaltungsphasen

Arbeitsunterlagen: Stand Ende Oktober 2015

## **Gliederung der Richtlinie**

1. Vorwort
2. Zielsetzung
3. Begriffe & Definitionen
4. Erhaltungsstrategien
5. Lastannahmen und Bemessung von Stützbauwerken
6. Versagensszenarien & mögliche Schadensbilder bei Stützbauwerken
7. Zustandserfassung
8. Zustandsbeurteilung
9. Maßnahmen und Monitoring
10. Weiterführende Literatur



## 10.1 Vorwort

Die Österreichische Gesellschaft für Geomechanik hat sich in ihrer Satzung dem Erfahrungs- und Gedankenaustausch sowie der Verbesserung auf dem Gebiet der Planung von Bauwerken im Boden und Fels seit jeher zum Ziel gesetzt.

Ein Ergebnis dieser Bemühungen stellt die vorliegende Richtlinie zur Zustandserfassung und Beurteilung von unverankerten Stützbauwerken dar. Diese soll als Ergänzung zu den in diesem Bereich bereits vorhandenen technischen Regelwerken und Normen gesehen werden. Anlass für die Herausgabe der Richtlinie waren die Erfordernisse einer detaillierteren Regelung zur Vereinheitlichung der Bestandsuntersuchung und Bewertung von unverankerten Stützbauwerken. Um die Inhalte der gültigen RVS 13.03.61 – „Qualitätssicherung baulicher Erhaltung – Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten – nicht geankerte Stützbauwerke“ und den Normenregeln ONR 24008 – „Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken“ und ONR 24009 – „Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Hochbauten“ zu ergänzen und nicht in Konflikt mit diesen zu stehen, wurde auf eine Vereinbarkeit dieser technischen Werke besonders geachtet.

Hauptbestandteil der gegenständlichen Richtlinie ist die Beurteilung von bestehenden Stützbauwerken, welche auf Grundlage von Bestandsunterlagen und einer Zustandsbeurteilung mit Zustandserfassung erfolgt. Diese Aufnahme muss dabei nicht immer zwingend mit der Erfassung des Bestandsobjekts an sich im Zusammenhang stehen sondern kann auch auf bereits durchgeführten Instandhaltungstätigkeiten aufbauen.

Zur Beurteilung der Bauobjekte wird ein zweigeteiltes Beurteilungsschema in Anlehnung an den Nachrechnungsbereich des Erdbebeningenieurwesens gewählt. Dadurch wird nicht nur der Zustand einzelner Bauteile oder des Gesamtobjektes an sich verifiziert, sondern es wird auch eine Aussage zum Kenntnisstand über das Stützbauwerk und der vorhandenen Unterlagen geliefert.

Um die Historie eines Objektes nachverfolgen zu können und somit Änderungen in der Bemessung und Gestaltung darstellen zu können, wird in Kapitel 5 – Lastannahmen und Bemessung von Stützbauwerken auf die zeitliche Änderung der Entwurfs- und Bemessungsgrundlagen hingewiesen.

Bei der Inspektion von bestehenden Tragwerken soll neben dem aktuellen Zustand des Objektes auch die Veränderung des Bauwerksverhaltens untersucht werden.

## 10.2 Zielsetzung

Ziel dieser Richtlinie ist die Beschreibung zur Vorgehensweise für die fachgerechte Erfassung eines Bestandsobjektes, auf deren Grundlage eine zutreffende und fachdisziplinübergreifende Beurteilung durchgeführt werden kann. Diese kann sowohl durch geschultes Personal, fachkundiges Personal oder fachkundige Experten erfolgen und ist somit in allen Bereichen der Nutzungsdauer eines Stützbauwerkes verankert.

## 10.3 Begriffe & Definitionen

### 10.3.1 Definitionen

Die nachfolgenden Begriffe sollen als Grundlage für den Sprachgebrauch in dieser Richtlinie dienen und die Kommunikation erleichtern.

Tabelle 27: Begriffsdefinitionen

Begriff	Beschreibung / Definition
geschultes Personal	Personal, welches im Allgemeinen direkt mit der Instandhaltung von Stützbauwerken beauftragt ist, und durch seine regelmäßige Anwesenheit im Nahebereich des Bauwerkes vertiefte Kenntnisse über das Stützbauwerk (und dessen Verhalten) sammelt.
geschultes Fachpersonal	Personal, welches eine Ausbildung im Bereich des Bauwesens oder der Geotechnik aufweist und Grundkenntnisse in den Bereichen Statik, Konstruktion und Geotechnik hat.
fachkundiger Experte	Personal mit universitärer Ausbildung im Bereich des Bauwesens oder der Geotechnik und dazugehöriger Berufserfahrung.
Inspektionstätigkeit	Alle Tätigkeiten, die mit der Erhebung des Zustandes eines Stützbauwerkes im Zusammenhang stehen.
Laufende Überwachung	Von geschultem Personal optisch (durch Augenschein) durchgeführte Untersuchung des Stützbauwerkes.
Kontrolle	Von geschultem Fachpersonal periodisch durchgeführte, auf die Laufende Überwachung aufbauende Inspektionstätigkeit. Grundlage für die Planung weiterer Tätigkeiten (sowohl für Inspektion, als auch Instandhaltung). Abschluss durch Bericht und / oder Beurteilung.
Prüfung	Von fachkundigen Experten periodisch durchgeführte Zustandserfassung und anschließende Bewertung des Stützbauwerkes.

Sonderprüfung	Außerhalb einer Untersuchungsperiode (Inspektionszyklus) durchgeführte Prüfung des Bauwerkes durch einen fachkundigen Experten. Anordnung im Zusammenhang mit Unwetterereignissen, sonstigen außergewöhnlichen Situationen oder nach Erfordernis aus einer durchgeführten Kontrolle.
Nutzungsdauer	Jener, von Bauwerksbesitzer oder Instandhalter definierte Zeitraum, in welchem die einwandfreie Nutzung des Bauwerkes ohne Einschränkungen möglich sein soll.
Stützkonstruktion	Bauwerke, die zur Herstellung eines Geländesprunges oder einer horizontalen Ebene herangezogen werden und der Stützung von Boden- oder Anschüttungsmaterial dienen.
Stützbauwerk	Alle Arten von Wänden oder Stützsystemen, deren Bauteile durch Kräfte aus gestütztem Material beansprucht werden. (ÖNORM EN 1997-1)
Stützmauer	Stützbauwerke, welche an ihrer Hinterseite wirkende Kräfte durch Sohlspannungen in den Baugrund ableiten.
Stützwand	Stützbauwerke, die an ihrer Hinterseite wirkende Kräfte durch Anker, Aussteifungselemente oder ihre Biegesteifigkeit in den Baugrund ableiten.

### 10.3.2 Stützbauwerke

Im Zusammenhang mit dieser Richtlinie werden folgende Stützbauwerke als unverankert betrachtet:

Tabelle 28: Stützbauwerke im Zusammenhang mit dieser Richtlinie

Bezeichnung	Beschreibung
Gewichtsmauern	Stützkonstruktionen, bei denen die wirkenden Kräfte aus Horizontallasten (z.B. Erddruck) durch das Eigengewicht der Konstruktion bzw. mobilisierter Erdaufasten sicher in den Untergrund abgeleitet wird.
Winkelstützmauern	Schlanke, meist höhergradig bewehrte Stahlbetonkonstruktionen, bei denen die Resultierende aus den Belastungen außerhalb der Kernfläche des Fundamentes zum Liegen kommen kann.
Raumgitterkonstruktionen	Stützkonstruktionen ähnlich den Gewichtsmauern, bei denen der Gewichtskörper durch erdgefüllte, kraftschlüssig miteinander verbundene räumlich angeordnete stabförmige Konstruktionselemente hergestellt wird.
Gabionenwände	Gewichtsmauern, bei denen der Gewichtskörper durch mit Steinmaterial gefüllte Drahtkörbe hergestellt wird.
Bewehrte Erde Konstruktionen	Aus Schüttmaterial hergestellter Stützkörper, dessen mechanische erdstatische Eigenschaften durch den Einbau von horizontalen, flächenförmigen Bewehrungselementen erhöht wurde.
Schlitzwände	Flächenförmig, tiefgegründet und vom Ursprungsniveau aus hergestellte Stützwandelemente, welche die einwirkenden Kräfte durch Biegung der Elemente (sowie ggf. Rückverankerungen) in den Untergrund einleiten.
Pfahlwände	Stabförmig hergestellte Stützwandelemente, mit ähnlichen Lastabtragungseigenschaften wie Schlitzwände, jedoch oftmals geringeren Anforderungen an die Dichtigkeit und Ebenflächigkeit.
Brunnenwände	Meist elliptische, tiefgegründete i.A. ausbetonierte Brunnen, die durch zwischen ihnen ausbildenden Gewölbe aus Erddruck belastet werden.

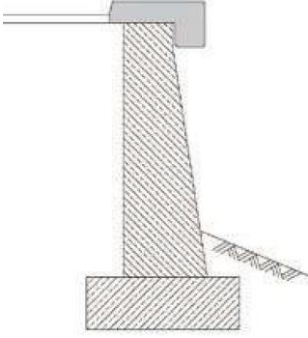
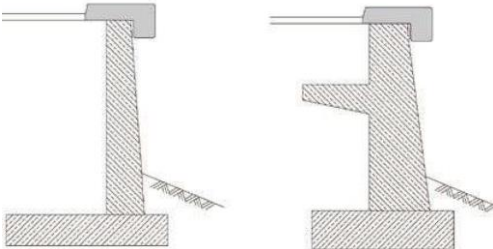
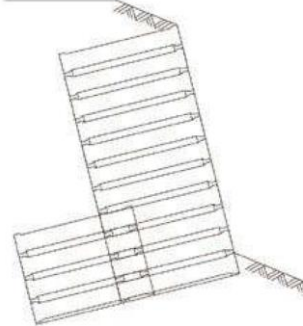
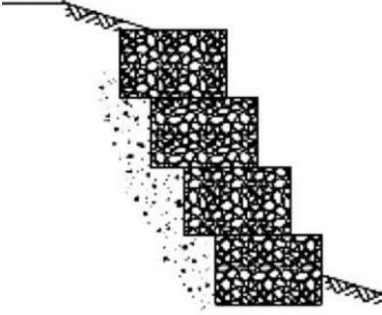
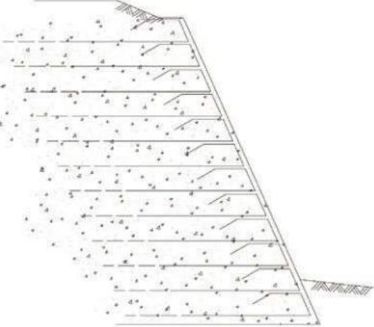
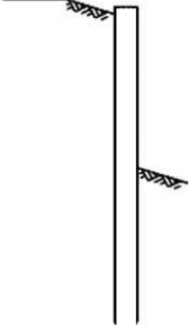
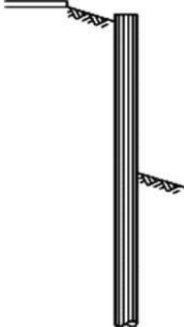

	
<p>Gewichtsmauer</p>	<p>Winkelstützmauer</p>
	
<p>Raumgitterkonstruktion</p>	<p>Gabionenwand</p>
	
<p>Bewehrte Erde Konstruktion</p>	<p>Schlitzwand</p>
	
<p>Pfahlwand</p>	<p>Brunnenwand</p>

Abb. 126: Stützbauwerke im Zusammenhang mit dieser Richtlinie (in Anlehnung an RVS 13.03.61 – Nicht geankerte Stützbauwerke (RVS 13.03.61, 2014))

## 10.4 Erhaltungsstrategien

Im Zuge der Zustandserfassung und Beurteilung von unverankerten Stützbauwerken sind innerbetriebliche Tätigkeiten durchzuführen, welche sich in den Zyklus der Instandhaltung einteilen lassen. Vor allem mit den Ergebnissen der unterschiedlichen Inspektionstätigkeiten kann eine Reihe von innerbetrieblichen Tätigkeiten und Maßnahmen ausgelöst werden.

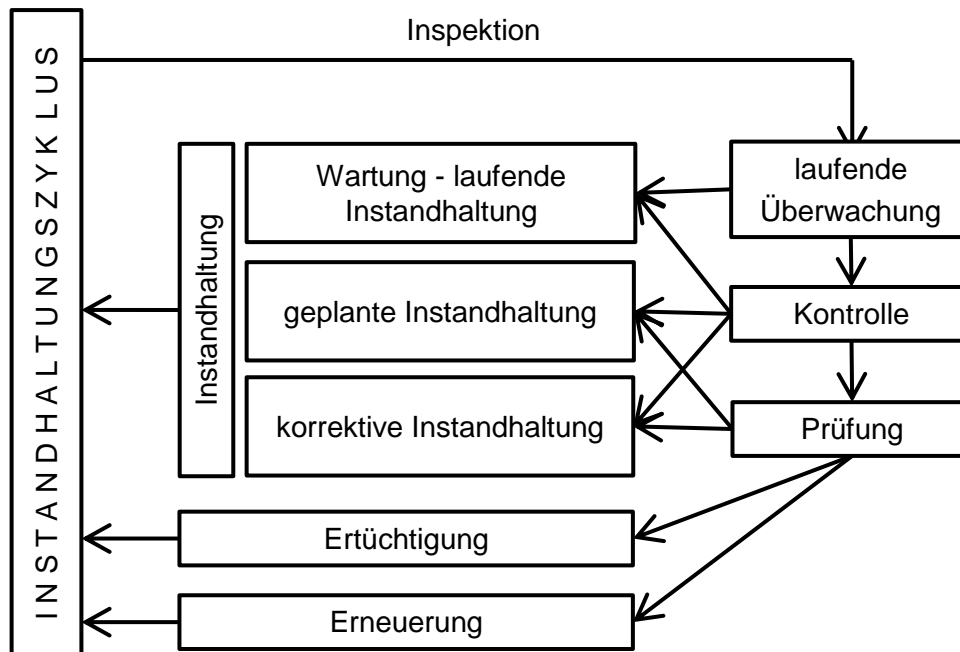


Abb. 127: Inspektionstätigkeiten im Zusammenhang mit Stützbauwerken

Die in Abb. 127 als Instandhaltung bezeichnete Tätigkeit im Zusammenhang mit dem Instandhaltungszyklus eines Stützbauwerkes kann nach ÖNORM EN 13306 in die beiden Bereiche präventive und korrektive Instandhaltung unterteilt werden. Präventive (vorbeugende) Instandhaltungstätigkeiten können sowohl zustandsorientiert als auch durch das Anlagenmanagement geplant durchgeführt werden. Korrektive Instandhaltungen beinhalten sowohl Sofortmaßnahmen, als auch zu einem späteren Zeitpunkt (aufgeschoben) durchgeführte Instandhaltungsmaßnahmen.

## 10.5 Lastannahmen und Bemessung von Stützbauwerken

Bei im Zuge einer Instandhaltung ertüchtigten Stützbauwerken oder bei der Erneuerung von Einzelbauteilen (mit wesentlichem Einfluss auf das Tragverhalten) sollten für die Planung, Berechnung und Durchführung die aktuellen normativen Vorgaben berücksichtigt und eingehalten werden. Bauwerke, die als „rechtmäßiger Bestand“<sup>38</sup> im Sinne der Länderbauordnungen gelten sind nach dem zum Zeitpunkt der Errichtung geltenden Stand der Technik zu betrachten.

### 10.5.1 Normative Änderungen für die Lastannahmen auf Stützbauwerke

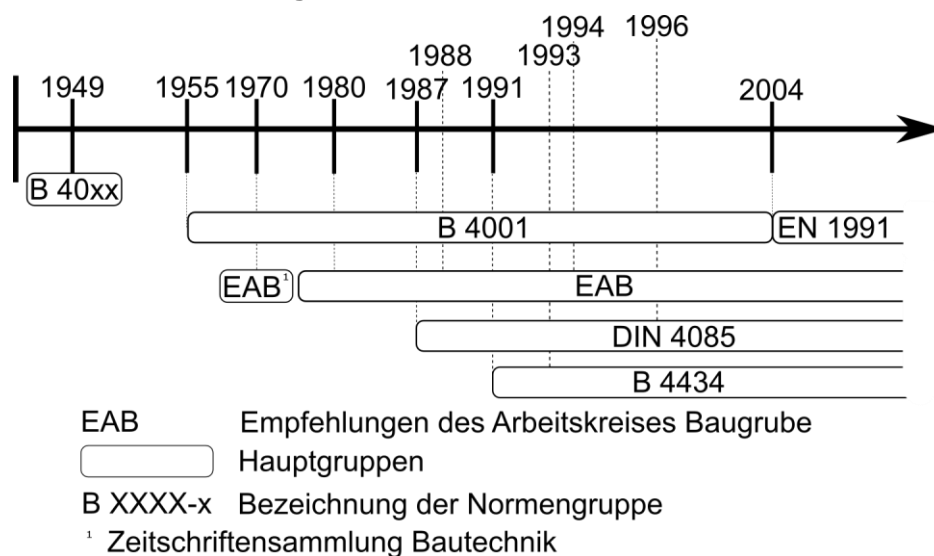


Abb. 128: Chronologischer Abriss der verwendeten Normen für Lasten und Lastannahmen in Bezug auf Stützbauwerke

Neben den in Abb. 128 dargestellten Normen kamen für die Erddruckermittlung 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
- Druckverteilung Erddruck, Erdwiderstand Tragfähigkeit; Dr.- Ing. Heinrich Pihera, Springer Verlag Wien; 1931

<sup>38</sup> „Unter rechtmäßigem Bestand ist zu verstehen, dass das Bauwerk dem von den Bauordnungen geforderten Erhaltungszustand (unter Berücksichtigung der Instandhaltung) entspricht. Das erforderliche Sicherheitsniveau des rechtmäßigen Bestand ist jenes, das zum Zeitpunkt der Baubewilligung unter Berücksichtigung des damaligen Standes der Technik maßgebend war.“ (OIB Richtlinie 1; 2011)

- Erddruck und Erdwiderstand; Streck A. Grundbautaschenbuch; Springer Verlag; 1955
- Erddruck und Erdwiderstand; Helmut Neumeuer; 1960
- Erddrucktheorien; Arpad Kezdi; Springer Verlag; 1962
- Erddrucklehre; Stiegler W.; 1975
- Korrekte Berechnung des aktiven und passiven Erddrucks; Gross H.; 1981

### 10.5.2 Normative Änderungen für die geotechnische Bemessung

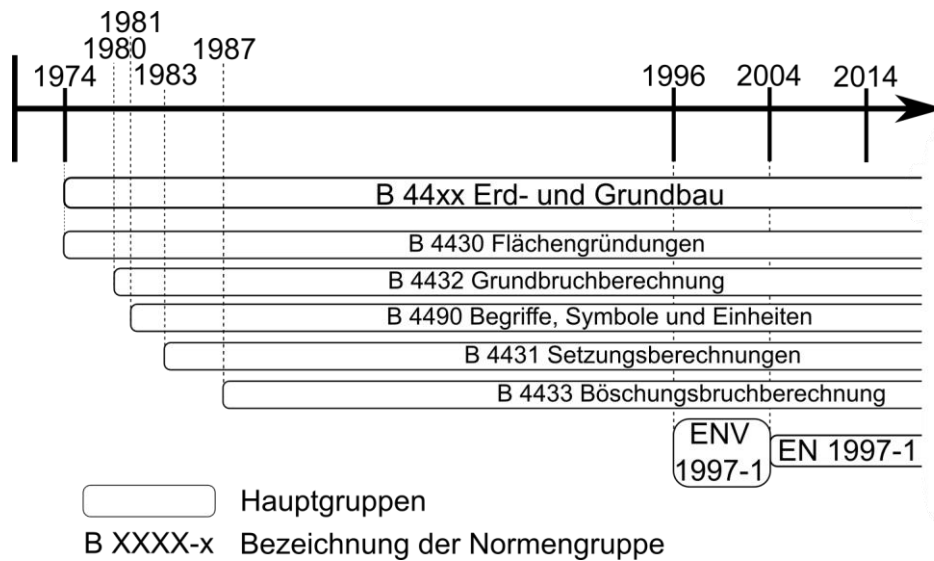


Abb. 129: Chronologischer Abriss der verwendeten Normen für die geotechnische Bemessung nach ÖNORM in Bezug auf Stützbauwerke

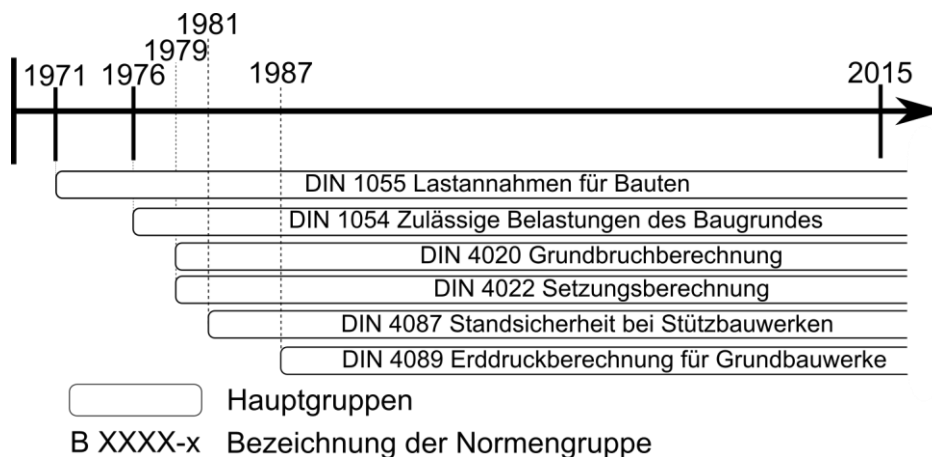


Abb. 130: Chronologischer Abriss der verwendeten Normen für die geotechnische Bemessung nach DIN in Bezug auf Stützbauwerke



Begründet durch die im Verhältnis zu anderen Bemessungsnormen sehr spät eingeführten Regelwerke für die geotechnische Bemessung von Stützbauwerken wurde in den Zeiträumen davor oftmals auf anerkannte Regelwerke und die Fachliteratur zurückgegriffen. Nachfolgende Auflistung soll einen Überblick über einige dieser Werke liefern:

- 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
- Der Grundbau; Szechy K.; 1965
- Stützmauern; Bendel H. & Hugl H.R.; 1971
- Grundbaustatik; Bobe R. & Göbel C.; 1971
- Verbesserte Standsicherheitsnachweise; Goldscheider M. & Gudehus G.; 1974
- Grundbautaschenbuch 1987 – Kapitel Konstruktive Hangsicherungen, Kapitel Stützmauern; Brandl H. & Smolczyk U.; 1987

### 10.5.3 Normative Änderungen für die Bemessung von Betonbauteilen

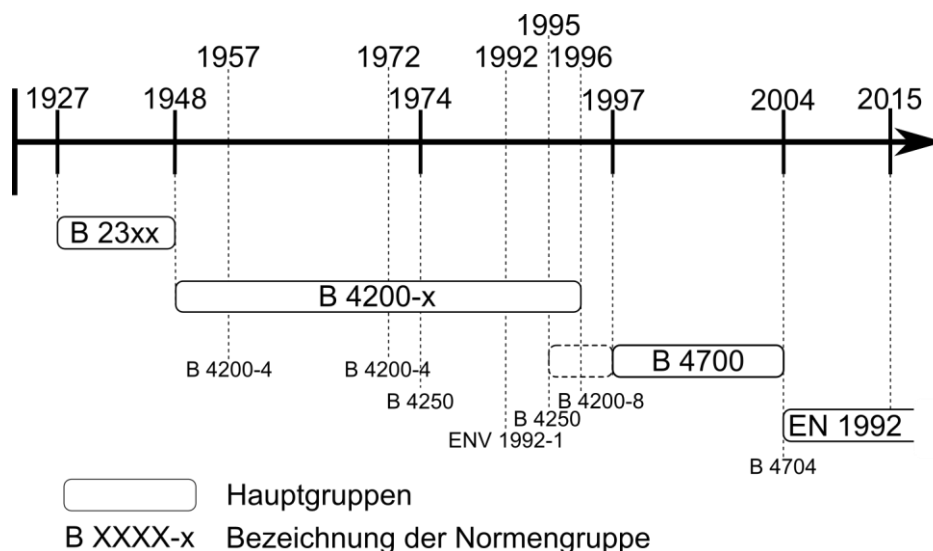


Abb. 131: Chronologischer Abriss der verwendeten Betonbaunormen in Bezug auf Stützbauwerke

#### 10.5.4 Bemessung von geotechnischen Werkstoffen

Nachfolgende Auflistung soll die normativen Änderungen für bei Stützbauwerken typische Baustoffe aufzeigen, die in den bisherigen Kapiteln nicht beinhaltet sind.

- **Raumgitterkonstruktionen**
  - BMBTS Heft 141 – Tragverhalten und Dimensionierung von Raumgitterkonstruktionen Brandl H.; 1980
  - BMBTS Heft 208 – Raumgitter Stützmauern (Krainierwände), 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
- **Geokunststoffe**
  - ÖNORM EN ISO 10318 – Geokunststoffe – Begriffe; 1992 & 2015
  - EBGEO – Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen; 1997 & 2010
  - 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; 1982 & 1981
  - 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 Gebäude

## 10.6 Versagensszenarien & mögliche Schadensbilder bei Stützbauwerken

Neben den in Eurocode 7 in Kapitel 9.7 & 9.8 dargestellten Versagensmechanismen können bei Stützbauwerken noch zusätzliche, im Detail nicht vordefinierte Versagensmechanismen vorliegen. Um im Zuge der Erfassung und Bewertung eines bestehenden Stützbauwerkes alle maßgeblichen Versagensmechanismen herauszufinden sind folgende Einflussgruppen zu berücksichtigen:

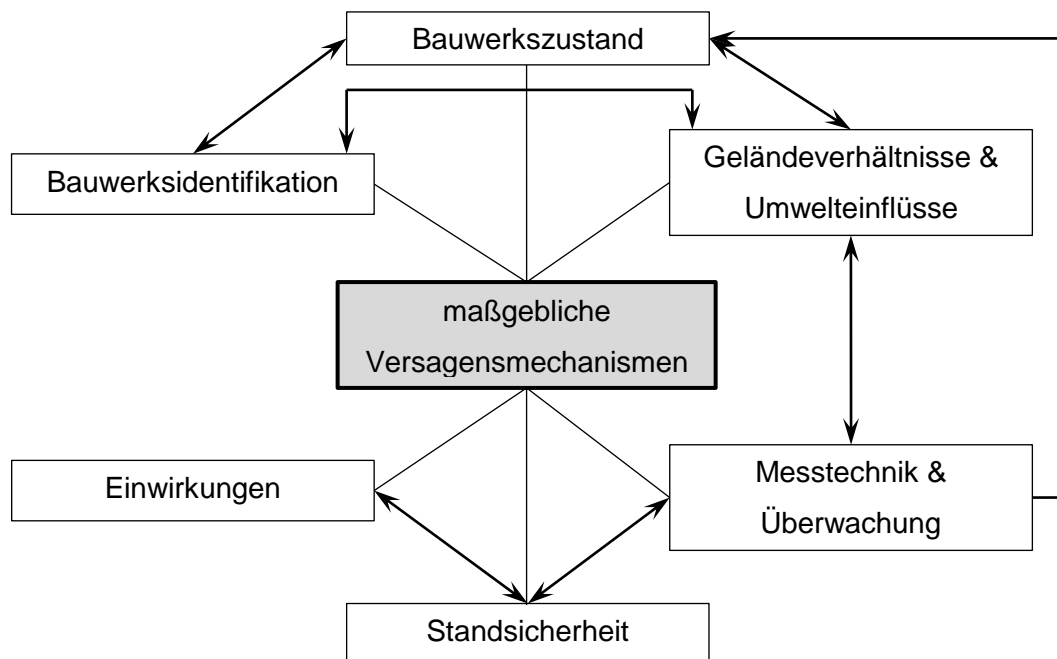


Abb. 132: Zusammenhänge bei der Findung der maßgeblichen Versagensmechanismen von bestehenden Stützbauwerken

Zur Feststellung der maßgebenden Versagensmechanismen ist zu beachten:

- Der systematische Ausschluss aller „denkbaren“ Versagensmechanismen ist nur möglich, wenn das Tragverhalten des Bauwerkes vollständig bekannt ist. Nur durch die Kenntnis aller Randbedingungen können Versagensmechanismen nach dem Ausschlussverfahren behandelt werden.
- Durch eine ausführliche Erfassung und Dokumentation bereits vorliegender (sich entwickelnde) Schadensbilder eines Bauwerkes ist es möglich, aus diesen Versagensmechanismen abzuleiten.

#### 10.6.1 **Bauwerksidentifikation**

Als Abschluss einer Bestandsaufnahme sollte es im Zuge der Bauwerksidentifikation möglich sein, eine Aussage über die Form, Art und Lage des Bauwerkes zu machen, sowie eine Quantifizierung der vorhandenen Eigenschaften zu geben.

#### 10.6.2 **Geländeverhältnisse und Umwelteinflüsse**

Für die Betrachtung der geotechnischen Versagensszenarien muss das Verhalten und die Veränderung des umliegenden Geländes herangezogen werden. Umwelteinflüsse können sowohl geotechnische als auch konstruktive Versagensszenarien hervorrufen.

#### 10.6.3 **Bauwerkszustand**

Mit Hilfe der Informationen aus der Zustandserfassung und den durch bereits durchgeführte Zustandsbewertungen festgehaltenen Bauwerkszustand kann der zeitliche Verlauf einer Schädigung und damit die Ausbildung eines Versagensszenarios festgestellt werden.

#### 10.6.4 **Einwirkungen**

Als Grundlage für das Vorliegen eines Versagensszenarios oder Schadensbildes kann die Auflistung aller (über seine gesamte Lebensdauer) auf das Bauwerk einwirkenden Lasten (bzw. allgemeinen Einwirkungen) verwendet werden, um mögliche Versagensmechanismen ausfindig zu machen.

#### 10.6.5 **Standicherheit**

Durch die Darstellung und Abbildung der bereits vorgefundenen oder definierten Versagensmechanismen und Grenzzustände kann nach dem Ausschlussverfahren mit der Beurteilung weiterer (vielleicht nicht vordefinierter) Versagensmechanismen begonnen werden. Zusätzlich kann durch den Vergleich der Standicherheit zum Zeitpunkt der Errichtung mit jenem nach dem aktuellen Stand der Technik auf die Robustheit des Bauwerkes rückgeschlossen werden.

#### 10.6.6 **Messtechnik und Überwachung**

Monitoring (oder Beobachtungsmethode nach EC7) kann alleinstehend zur Beobachtung oder als Teil einer Instandhaltungs- und Sanierungsvariante verwendet werden, um Versagensmechanismen zu identifizieren und/oder die Wirkung gesetzter (baulicher) Maßnahmen zu überprüfen.

## 10.7 Zustandserfassung

Die Zustandserfassung stellt den Hauptbestandteil der Inspektionstätigkeit am Objekt dar und soll die Grundlage für die Zustandsbewertung liefern. Sie soll im Zuge einer Kontrolle und Prüfung (oder anschließend an diese in Abhängigkeit der Notwendigkeit) durchgeführt werden und ist in Form einer Dokumentation in das Anlagenmanagement aufzunehmen.

Die Zustandserfassung soll derart aufgebaut sein, dass eine chronologische Reihung aufeinander folgender Zustandserfassungen möglich ist, um aus diesen die zeitliche Veränderung der Bauwerkseigenschaften und dessen Zustandsänderungen eindeutig ablesen zu können. Hierzu ist auf bereits vorhandene Unterlagen aufzubauen, wobei diese den Mindestinhalt einer erneuten Zustandserfassung geben. Sollte am betrachtenden Bauwerk noch keine Zustandserfassung durchgeführt worden sein, so ist dies in Absprache mit dem Bauwerkshalter durch eine detailliertere Erstaufnahme durchzuführen.

### 10.7.1 Erstaufnahme

Als Grundlage für die Daten des Instandhaltungsmanagements setzt sich die Erstaufnahme aus folgenden Punkten zusammen:

- Der Findung und Dokumentation von bestehenden Unterlagen über das Bauwerk. Dies können einerseits Unterlagen im Besitz des Bauwerkshalters sein, andererseits auch Dokumente anderer an der Planung, Errichtung und Instandhaltung des Bauwerkes beteiligter.
- Der Begutachtung und Dokumentation des Bauwerkes (vor Ort), in welcher die wesentlichen und zur Beurteilung und Bewertung erforderlichen Daten und Informationen gesammelt und ergänzend durch Planunterlagen und Fotografien dokumentiert sind.

Ergebnis einer Erstaufnahme sollte ein Erstaufnahmeblatt sein, mit Hilfe dessen es möglich ist, alle gesammelten Informationen zu dokumentieren, sowie auf Besonderheiten hinzuweisen. Als Vorlage hierzu können die in den RVS- Richtlinien zur Bauwerksdatenbank gelieferten Grundlagen verwendet werden.

Durch kontinuierliche oder ergänzende Aufnahmeprozesse (im Zuge weiterer Kontrollen und Prüfungen) sollte der Inhalt des Erstaufnahmeblattes ergänzt und erweitert werden. Darauf folgend kann das Erstaufnahmeblatt als Grundlage für die Mindestinhalte bei der Planung von Inspektionstätigkeiten verwendet werden.

### 10.7.2 Bauwerksuntersuchungen und Vermessungen zur Bauaufnahme

Erforderliche Informationen über das Bauwerk oder die Überprüfung von vorhandenen Dokumenten zum Bauwerk können unter Zuhilfenahme von Mess- und Untersuchungsmitteln durchgeführt werden.

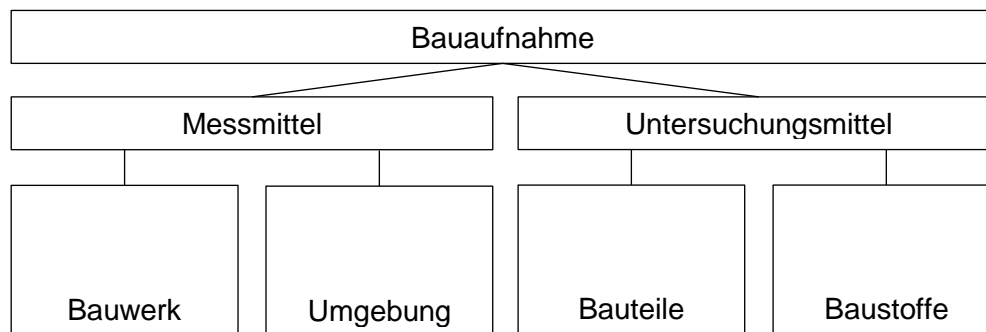


Abb. 133: Unterteilung der Methoden und Verfahren zur Bauaufnahme

- Messmittel bezeichnet dabei jene Messinstrumente und Untersuchungsmethoden, die zur Erfassung des Bauwerkes (als Gesamtobjekt) und dessen Umgebung verwendet werden. Diese lassen sich in Messmittel zur Winkel-, Strecken- und Höhenmessung unterteilen.
- Zur Feststellung der Eigenschaften bestimmter Bauteile oder Baustoffe des Bauwerkes werden Untersuchungsmittel verwendet. Neben der Unterteilung in zerstörungsfreie, zerstörungsarme und zerstörende Messmittel lassen sich diese zusätzlich nach dem Untersuchungsergebnis in konstruktive, materialspezifische und geotechnische Untersuchungsmittel unterteilen.

### 10.7.3 Operative Instrumente

Personen, oder Personengruppen, die mit der Zustandserfassung und Zustandsbeurteilung eines Stützbauwerkes betraut sind, werden nachfolgend als Operative Instrumente bezeichnet. Abhängig von der durchzuführenden Inspektionstätigkeit kann in das geschulte Personal, das geschulte Fachpersonal und den fachkundigen Experten unterteilt werden.

### 10.7.4 Inspektionstätigkeit

Tätigkeiten, die mit der Zustandserfassung und Zustandsbeurteilung oder Bewertung eines Stützbauwerkes in Zusammenhang stehen, werden durch den Überbegriff der Inspektionstätigkeit bezeichnet. Dabei kann in Abhängigkeit der zeitlichen Abfolge und des durchführenden Operativen Instrumentes zwischen der Laufenden Überwachung, der Kontrolle, der Prüfung und der Sonderprüfung unterschieden werden.

### 10.7.5 Ergebnisse und Dokumentation der Zustandserfassung

Um den Datenfluss zwischen einzelnen Inspektionstätigkeiten sicherzustellen, und um die Grundlage für eine zeitliche Beurteilung und Bewertung der Unterlagen zu geben, sollten alle Ergebnisse einer durchgeführten Inspektion erfasst und in Form einer Dokumentation an den Bauwerkserhalter ausgehändigt werden.

Abhängig von der Art der Inspektionstätigkeit kann zwischen einem Protokoll, einem Bericht und einer Beurteilung unterschieden werden.

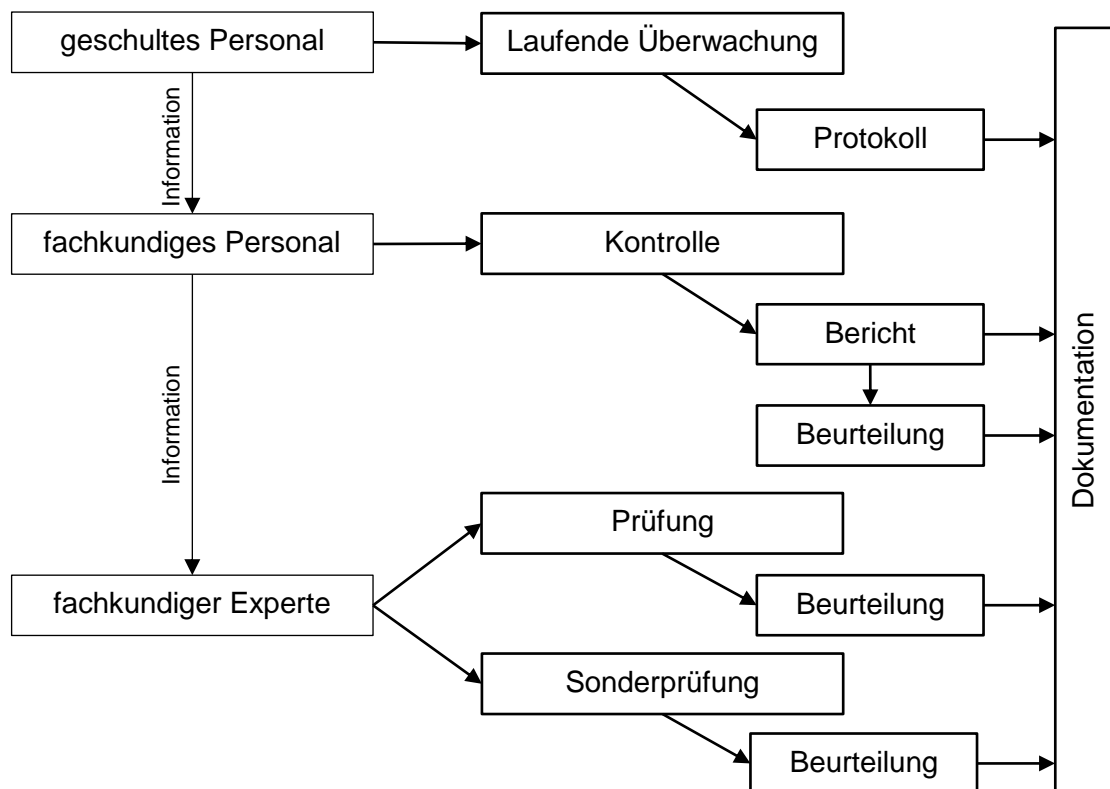


Abb. 134: Zusammenhänge zwischen den Operativen Instrumenten und den Inspektionstätigkeiten bei Stützbauwerken

## 10.8 Zustandsbeurteilung

Basierend auf den Unterlagen und Erkenntnissen der Zustandserfassung ist im Zuge einer Inspektionstätigkeit eines Stützbauwerkes eine Zustandsbeurteilung zu führen. Die Grundsätze und die Bewertungsschemen können den zugehörigen RVS-Richtlinien entnommen werden.

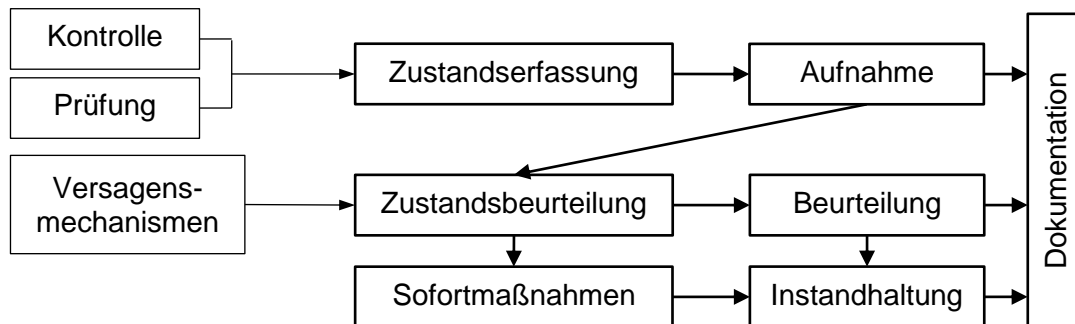


Abb. 135: Schema der Zustandsbeurteilung im Zusammenhang mit der Zustandserfassung und dem Anlagenmanagement

### 10.8.1 Beurteilungs- und Bewertungsschema

Neben dem in den zugehörigen RVS-Richtlinien definierten Beurteilungsschema für bestehende Stützbauwerke kann ein in Anlehnung an die Vorgaben des EC 8 (ÖNORM EN 1998-3, 2013) erarbeitetes Beurteilungs- und Bewertungsschema herangezogen werden. Dieses basiert auf:

- Der Beurteilung des Bauwerkszustandes, mit welchem lediglich der aus der Zustandserfassung bereits bekannte Zustand des Bauwerkes in Anlehnung an das Beurteilungssystem nach RVS 13.03.61 beurteilt wird. Um die Notwendigkeit von zusätzlich erforderlichen Messungen oder Untersuchungen am Bauwerk in dieser Beurteilung berücksichtigen zu können wurde das Beurteilungssystem nach RVS 13.03.61 um die Benotung „6 – nicht beurteilbar“ erweitert. Mit dieser soll es ermöglicht werden, das Nichtvorhandensein von Informationen oder Ergebnissen zur Zustandsbeurteilung des Stützbauwerkes nicht mit einer „5 – schlechter Zustand“ erfassen zu müssen.
- Die zusätzliche Bewertung des Kenntnisstandes über das Bauwerk soll einerseits dazu verwendet werden, um die Qualität der durchgeführten Beurteilung abzuschätzen und andererseits den Handlungsbedarf für die Zustandserfassung wiederzuspiegeln. Dazu ist es erforderlich, die in den Bereichen Geometrie, konstruktive Einzelheiten und Werkstoffe über das Stützbauwerk vorhandenen Kenntnisse zu bewerten. Durch die Einführung



eines dreistufigen Bewertungsschemas für den Kenntnisstand in Anlehnung an ÖNORM EN 1998-3 soll ein Mehrwert aus der Zustandsbeurteilung generiert werden.

Tabelle 29: Erweitertes Beurteilungsschema nach RVS 13.03.061

1	sehr guter Zustand
2	guter Zustand
3	ausreichender Zustand
4	mangelhafter Zustand
5	schlechter Zustand
6	nicht beurteilbar

Tabelle 30: Erweitertes Beurteilungsschema nach RVS 13.03.61 mit den aus einer Beurteilung folgenden Einschränkungen und / oder erforderlichen Instandhaltungstätigkeiten

Note	Beurteilung	Beschreibung
1	sehr guter Zustand	Keine oder sehr geringe Schäden; unwesentliche Mängel aus der Bauzeit wie Abweichungen der Abmessungen, ästhetische Mängel. Keine Einschränkungen der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit. Keine Instandsetzungstätigkeiten erforderlich.
2	guter Zustand	Geringe, leichte Schäden; geringfügige Mängel aus der Bauherstellung, die noch keine Verschlechterung zeigen. Keine Einschränkungen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit.
3	ausreichender Zustand	Mittelschwere Schäden, die keine Einschränkung der Tragfähigkeit zur Folge haben. Es sind Anzeichen einer Verminderung der Gebrauchstauglichkeit bzw. Dauerhaftigkeit des Bauwerkes zu erkennen. Eine Instandsetzung sollte mittelfristig in Angriff genommen werden, um die Gebrauchstauglichkeit bzw. die Dauerhaftigkeit auf das geplante bzw. (unmittelbar) erforderliche Maß anzuheben.
4	mangelhafter Zustand	Schwere Schäden, die derzeit noch keine Einschränkung der Tragfähigkeit zur Folge haben. Es ist eine Verminderung der Gebrauchstauglichkeit und der Dauerhaftigkeit deutlich zu erkennen. Eine Instandsetzung sollte kurzfristig in Angriff genommen werden.
5	schlechter Zustand	Sehr schwere Schäden, die eine Einschränkung der Tragfähigkeit und/oder Gebrauchstauglichkeit in unzulässigem Ausmaß bis zum Abschluss der Instandsetzung/Erneuerung zur Folge haben. Instandsetzungs- oder Erneuerungsarbeiten sind unverzüglich einzuleiten.
6	nicht beurteilbar	Beurteilbarkeit aufgrund fehlender oder nicht ausreichender Informationen nicht möglich. Notwendige Maßnahmen zur Erhöhung des Informationsstandes bzw. Kenntnisstandes des Bauwerkes bzw. gegebenenfalls notwendige Einschränkungen oder sonstige eventuelle Sofortmaßnahmen sind durch das geschulte Fachpersonal oder den fachkundigen Experten zu veranlassen.

Tabelle 31: Bewertungsschema für den Kenntnisstand eines Bauwerkes (in Anlehnung an ÖNORM EN 1998-3)

#	Bewertung	Beschreibung
A	umfangreicher Kenntnisstand	<p><u>Geometrie</u>: detaillierte Kenntnisse über die Geometrie des Bauwerkes und die sonstigen geometrischen Randbedingungen; vorhandene Unterlagen wurden in-situ überprüft und sind zutreffend oder wurden durch diese Untersuchungen ergänzt</p> <p><u>Konstruktive Einzelheiten</u>: bei der Überprüfung der Geometrie wurde die konstruktive Durchbildung der Bauteile lückenlos erfasst.</p> <p><u>Werkstoffe</u>: Werkstoffeigenschaften wurden aus den vorhandenen Unterlagen entnommen und/oder durch in-situ- oder Laborversuche bestätigt; vollständiger Aufschluss des geologischen Profils in der Umgebung des Stützbauwerkes aus den Planungsunterlagen und/oder durch ergänzende Bodenuntersuchungen</p>
B	eingeschränkter Kenntnisstand	<p><u>Geometrie</u>: unvollständige Bestandsunterlagen wurden zumindest teilweise durch in-situ Messungen oder Untersuchungen ergänzt und durch die notwendigen Ergänzungen auf den aktuellen Stand gebracht</p> <p><u>Konstruktive Einzelheiten</u>: Feststellung der statischen und konstruktiven Eigenschaften der maßgebenden Bauteile des Objektes</p> <p><u>Werkstoffe</u>: Feststellung der wesentlichen Werkstoffeigenschaften der maßgebenden Bauteile – durch in-situ- oder Laborversuche und/oder durch die Einsicht in Bestandsunterlagen und historischen Regelwerke; Kenntnisse über den Aufbau und die Zusammensetzung des umliegenden Bodens und der Hinterfüllungsmaterialien</p>
C	mangelhafter Kenntnisstand	<p><u>Geometrie</u>: keine und/oder nur mangelhafte Bestandsunterlagen – nicht spezifizierte Regelplanungen – deren Inhalt nur mangelhaft überprüft und kontrolliert wurde/werden kann</p> <p><u>Konstruktive Einzelheiten</u>: fehlende bzw. sehr lückenhafte Bestandsdokumentation und Ausführungsplanung;</p> <p><u>Werkstoffe</u>: keine oder mangelhafte Informationen zu den maßgebenden Werkstoffen aus welchen sich die tragenden Bauteile zusammensetzen; mangelhafte Kenntnisse über den Aufbau und die Zusammensetzung des umliegenden Bodens und der Hinterfüllungsmaterialien</p>

Aus der Kombination der Beurteilung des Bauwerkszustandes und der Bewertung des Kenntnisstandes ergeben sich folgende Möglichkeiten für die Zustandsbeurteilung eines Stützbauwerkes:

Bewertung (Kenntnisstand)		Beurteilung (Zustand)					
		1	2	3	4	5	6
		sehr gut	gut	ausreichend	mangelhaft	schlecht	
A	umfangreich	1A	2A	3A	4A	5A	nicht beurteilbar
B	eingeschränkt	1B	2B	3B	4B	5B	
C	mangelhaft	1C	2C	3C	4C	5C	

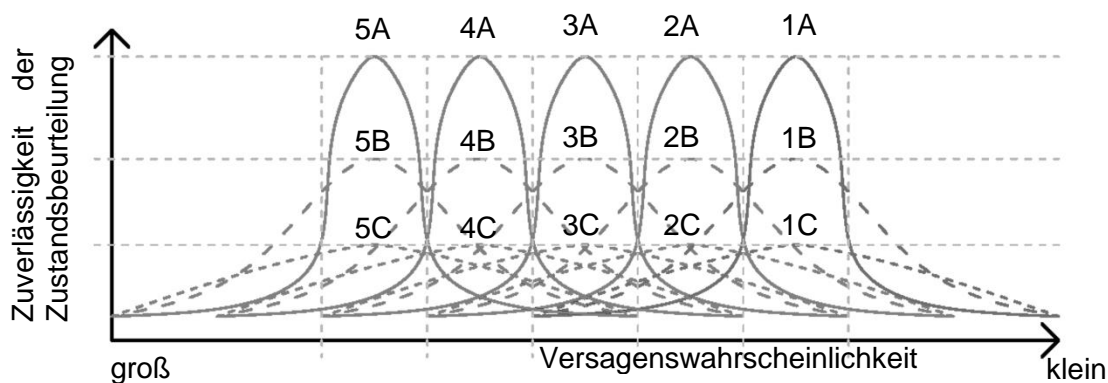
Abb. 136: Darstellung der Möglichkeiten für eine Zustandsbeurteilung basierend auf der Kombination aus Beurteilung des Bauwerkszustandes und der Bewertung des Kenntnisstandes

Aus der Darstellung (Benotung) in Tabelle 31 geht explizit hervor, dass die mit dem Begleitbuchstaben C beurteilten Objekte hinsichtlich ihrer Beurteilungsnote (Zahlen von 1 bis 5) eine geringere Vertrauenswürdigkeit aufweisen wie jene mit einem Begleitbuchstaben A oder B bewerteten Objekte. Der einer Beurteilung zugrundeliegende mangelhafte Kenntnisstand über das Bauwerk lässt keine „treffsichere“ Bewertung zu. Dies hat zur Folge, dass der Autor die „Zustände 1C und 2C“ nicht mit sehr gut (dunkelgrün) und/oder gut (grün) bewertet, da hiermit eine „(Bewertungs-)Sicherheit“ vorgetäuscht werden würde, die aufgrund des mangelhaften Kenntnisstandes über das Bauwerk nicht „vergeben“ werden darf (obwohl vielleicht alle vorhandenen Informationen dies nahelegen). Auch der Zustand 4C sollte begründet durch die geringere „Treffsicherheit“ der Beurteilung nicht mit mangelhaft (orange) sondern schlecht (rot) beurteilt werden, da der mangelnde Kenntnisstand letztlich eine „größere Unschärfe“ der Note 4 mit sich bringt und diese somit nicht der Note 4A gleichgesetzt werden darf, bei welcher der mangelhafte Zustand aufgrund des hohen Kenntnisstandes „treffsicher(er)“ beurteilt werden kann. Letztlich wird durch dieses (mit Zahlen und Buchstaben) zweiteilige Benotungssystem etwas „quantifiziert“, was der Ingenieur in der Praxis i.A. automatisch macht: Der geringe Kenntnisstand, der das Risiko einer „Fehleinschätzung“ (zum Guten wie zum Schlechten) erhöht, führt zu Lasten einer schlechteren Benotung. Das heißt Unwissenheit (Unkenntnis) wird aus Sicherheitsüberlegungen tendenziell zu einer schlechteren Benotung führen, als der Augenschein (der geringe Kenntnisstand) es darstellt.

Tabelle 32: Beschreibung der Inhalte aus Abb. 136:

	Farbe / Schema	Beurteilung (Zustand)	Bewertung (Kenntnisstand)
1A	Dunkelgrün	sehr gut	umfangreich
1B	Schraffur Dunkelgrün / Hellgrün	sehr gut	eingeschränkt
1C	Schraffur Hellgrün / Weiß	sehr gut	mangelhaft
2A	Schraffur Dunkelgrün / Hellgrün	gut	umfangreich
2B	Hellgrün	gut	eingeschränkt
2C	Schraffur Gelb / Weiß	gut	mangelhaft
3A	Schraffur Hellgrün / Gelb	ausreichend	umfangreich
3B	Gelb	ausreichend	eingeschränkt
3C	Orange	ausreichend	mangelhaft
4A	Orange	mangelhaft	umfangreich
4B	Schraffur Orange / Rot	mangelhaft	eingeschränkt
4C	Rot	mangelhaft	mangelhaft
5A	Rot	schlecht	umfangreich
5B	Rot	schlecht	eingeschränkt
5C	Rot	schlecht	mangelhaft
6	Weiß	-	-

Um die Unterscheidung zwischen einigen der in Tabelle 30 und Tabelle 31 dargestellten und beschriebenen Ergebnisse der Zustandsbeurteilung besser zu verdeutlichen, können diese mit Hilfe eines Diagrammes dargestellt werden. Dieses setzt sich aus der Versagenswahrscheinlichkeit auf der Abszisse und der Zuverlässigkeit der Zustandsbeurteilung auf der Ordinate zusammen. In Abhängigkeit der Zuverlässigkeit der Beurteilung (durch die Bewertung des Kenntnisstandes) ergeben sich Verteilungskurven mit kleiner Streuung (umfangreicher Kenntnisstand) bis zu Verteilungskurven mit großer Streuung (mangelhafter Kenntnisstand). Die Lage der Kurven (= Beurteilung) auf der Abszisse (Versagenswahrscheinlichkeit) spiegelt das Beurteilungsergebnis wieder. Werden z.B. die 3 Kurven mit unterschiedlicher Streuung (unterschiedlicher Kenntnisstand) für die Beurteilung des Zustandes mit „gut“ betrachtet, so ist erkennbar, dass für die Kurve für den mangelhaften Kenntnisstand (2C – große Streuung) eine höhere Versagenswahrscheinlichkeit vorherrscht wie für die Kurven 2A und 2B. Diesem Umstand wird durch die Farbgebung „Schraffur gelb/weiß“ (2C) im Vergleich zu der Farbe „dunkelgrün“ (2A) bzw. hellgrün (2B) Rechnung getragen.



Beurteilung	
1	sehr gut
2	gut
3	ausreichend
4	mangelhaft
5	schlecht

Bewertung	
— — — —	A umfangreich
- -	B eingeschränkt
- - - -	C mangelhaft

Abb. 137: Schematischer Zusammenhang zwischen der Zuverlässigkeit der Zustandsbewertung und der Versagenswahrscheinlichkeit

Die schematische Darstellung der Zustandsbeurteilung inklusive des vorliegenden Kenntnisstandes in Abb. 137 bzw. in Tabelle 32 drückt somit durch die Zahlen und Buchstabenkennzeichnung sowie durch die Farbgebung sowohl qualitativ mess- bzw. beurteilbare Größen wie „Kenntnisstand“ und „Zustandsbewertung“ als auch eine rein „qualitative“ Einstufung des Versagenspotentials durch die Farbgebung aus.

10.8.2 Ablaufschema einer Zustandsbeurteilung

Nachfolgendes Schema soll den Ablauf einer Zustandsbeurteilung darstellen:

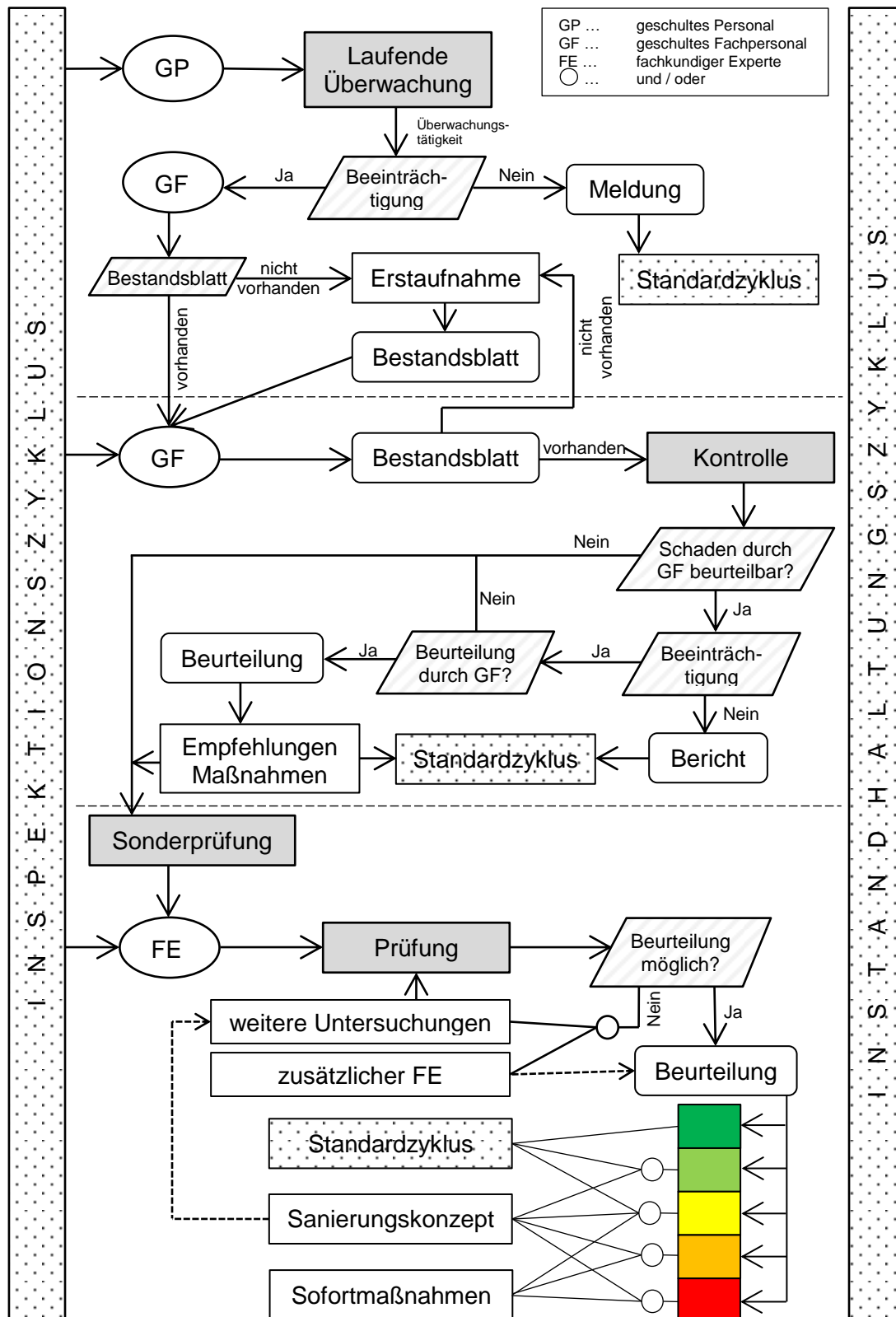


Abb. 138: Ablaufschema einer Zustandsbeurteilung

### 10.9 Maßnahmen und Monitoring

Bei bestehenden Stützbauwerken können eine Vielzahl von Maßnahmen zur Anwendung kommen, um die Dauerhaftigkeit des Bauwerkes zu verbessern und das geforderte Sicherheitsniveau zu erreichen oder dieses über einen geforderten Zeitraum zu halten. Um den bestmöglichen Erfolg der Maßnahmen sicherzustellen sollten diese in einem mehrstufigen Prozess geplant und bewertet werden.

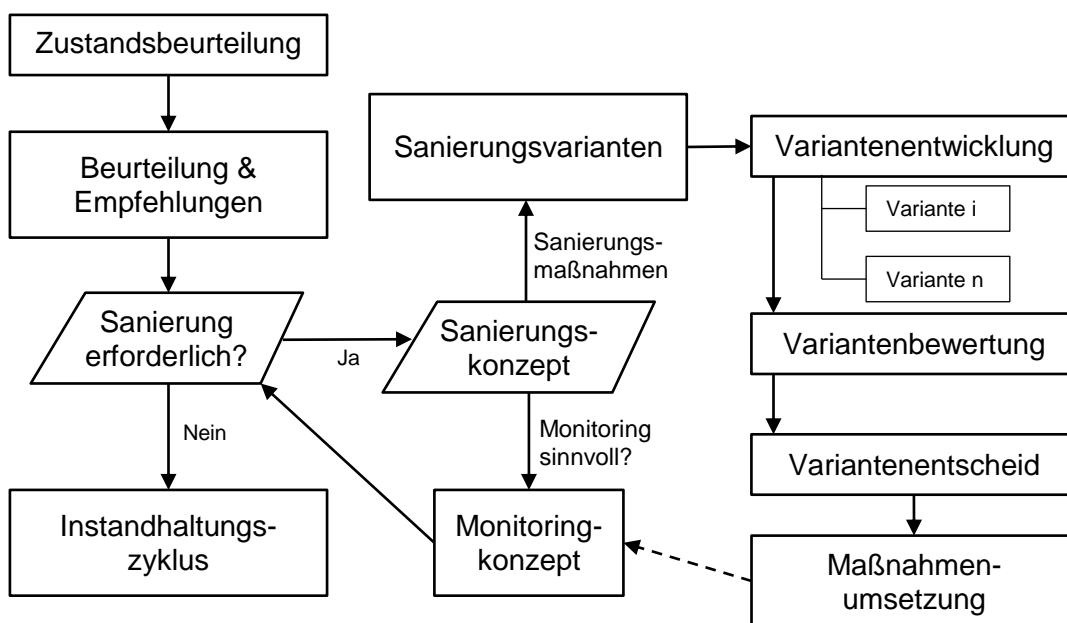


Abb. 139: Ablaufschema zur Erarbeitung von Sanierungskonzepten

Ausgehend von den Ergebnissen der Zustandsbeurteilung können Maßnahmen sowohl an Einzelbauteile, als auch am Gesamtobjekt durchgeführt werden.

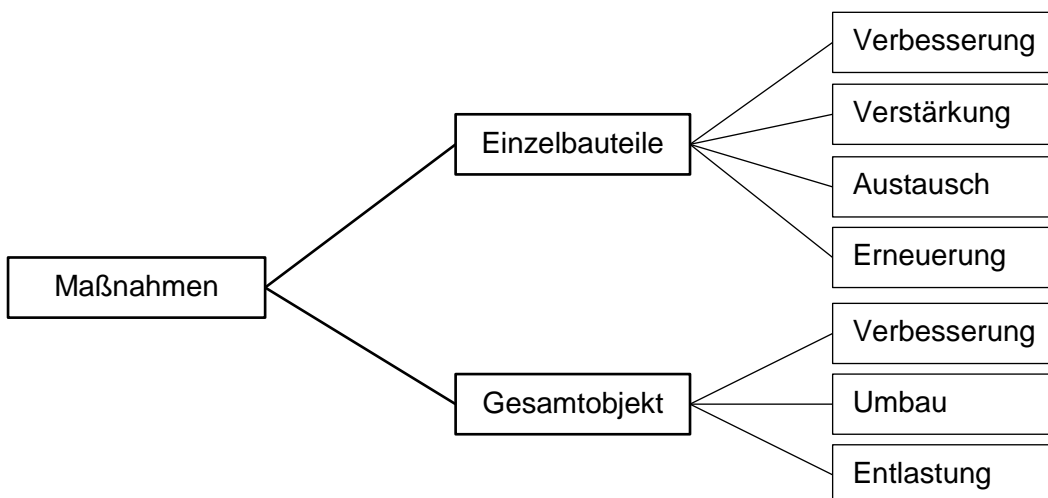


Abb. 140: Einteilung der Maßnahmen zur Sanierung und Instandsetzung

### 10.9.1 Maßnahmen am Einzelbauteil

Instandhaltungstätigkeiten am Einzelbauteil können aus einer „mangelhaften“ oder „schlechten“ Bewertung des Bauteils herrühren, und verbessern dabei lediglich die Eigenschaften des betrachteten Bauteils. Diese Eigenschaftenveränderung kann, muss jedoch nicht zwingend im Zusammenhang mit einer Änderung des Verhaltens des Gesamtobjektes stehen.

- Eine Verbesserung des Bauteils wird durch die reine Sanierung der tragenden und lastableitenden Elemente erreicht. Dies tritt oft bei Bauteilen aus Stahlbeton ein, bei denen durch eine Betoninstandsetzung die Dauerhaftigkeit erhöht und somit das Tragfähigkeitsniveau auf Dauer gehalten werden kann.
- Durch die Erhöhung der Tragfähigkeit des Bauteils im Zuge einer Verstärkung kann nicht nur die Dauerhaftigkeit verlängert werden, sondern auch die statischen Eigenschaften erhalten eine Aufwertung. Durch eine derartige Verbesserung wird es für das Bauteil einfacher die Anforderungen an die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit zu erfüllen.
- Bei systematisch aufgebauten Bauwerken, die nicht zusammenhängend, oder zumindest einfach trennbar, miteinander verbunden sind, ist es möglich durch den Austausch einzelner Komponenten einer Erhöhung oder Verbesserung der Tragfähigkeit zu erreichen. Ebenso können die Gebrauchstauglichkeitsanforderungen durch ein neu eingebautes Bauteil – und somit einem neuen Steuerungselement in der Planung - verbessert werden. Bei der Planung einer derartigen Maßnahme ist jedoch immer auf das Zusammenwirken zwischen den bestehenden und den neu eingebrachten Bauteilen zu achten.
- Als letztes, wenn der Austausch einzelner Bauteilkomponenten nicht möglich ist, kann eine Erneuerung des Bauteils den gewünschten Erfolg bringen. Dabei gelten die gleichen Anforderungen wie für einen Austausch, jedoch ist das erneuerte Bauteil als selbstständige Komponente zu betrachten.



### 10.9.2 Maßnahmen am Gesamtobjekt

Bei am Gesamtobjekt durchgeführten Maßnahmen werden alle Bauteile des Stützbauwerkes (Abhängig von deren Schädigung) einer Instandhaltung unterzogen.

- Ebenso wie bei einem Einzelbauteil kann auch die Verbesserung des Gesamtobjektes als Sanierungsvariante in Betracht gezogen werden. Im Unterschied zu einem Bauteil oder dessen Komponenten, wird jedoch hierbei das gesamte Objekt – alle Komponenten gemeinsam – verbessert. Damit ist oftmals eine Betrachtung des Bauwerkes nach den aktuellen Vorschriften, Regeln und Normen durchzuführen.
- Als letzte konstruktive Maßnahme kann ein Umbau des Bauwerkes auf das erforderliche Tragfähigkeits- oder Gebrauchstauglichkeitsniveau durchgeführt werden. Dies wird durch eine Verbesserung und / oder Verstärkung einzelner Bauteilkomponenten oder Bauteilen erreicht.
- Eine generell (und theoretisch) bei allen Stützbauwerken durchführbare Maßnahme stellt die Entlastung dar. Um die Beanspruchung des Bauwerkes zu verringern, und somit die Schädigungen zu verhindern, kann eine Entlastung des Bauwerkes durchgeführt werden.

Die beiden Maßnahmen des Austausches, Neubaus oder des Abbruches des Stützbauwerkes werden hierbei nicht beschrieben, da sie keine direkte Baumaßnahme am Bauobjekt darstellen.

### 10.9.3 Monitoring von Stützbauwerken

Monitoring (als Structural Health Monitoring) kann im Zuge der Zustandserfassung angewendet werden, um Informationen und Daten über das Bauwerk als Grundlage einer Zustandsbeurteilung zu gewinnen. Weiters stellt die Beobachtungsmethode nach Eurocode 7 eine Maßnahme dar oder kann in Kombination mit anderen Maßnahmen zur Überwachung und Dokumentation der Wirksamkeit dieser eingesetzt werden. Nachfolgend sollen die für das Monitoring erforderlichen Messgrößen und Messinstrumente im Zusammenhang mit Stützbauwerken näher beschrieben werden.

#### 10.9.3.1 Messgrößen

Um die Einteilung der Messgrößen bei Stützbauwerken sinnvoller zu gestalten werden diese in die Obergruppen geometrische, physikalische und chemische Messgrößen unterteilt.

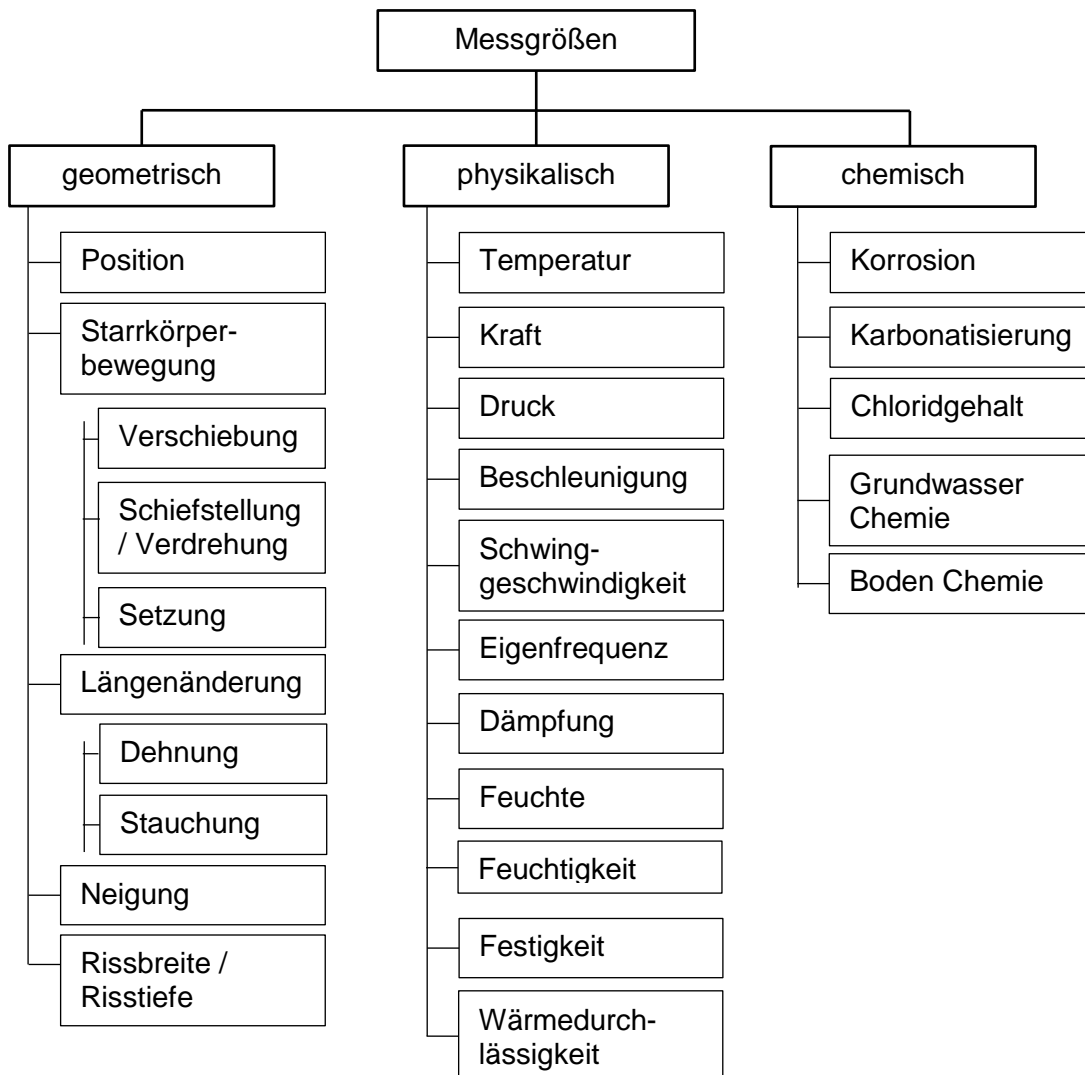


Abb. 141: Messgrößen zur Zustandsbeurteilung von Stützbauwerken

- Geometrische Messgrößen

Messwerte, die zur Bestimmung der Lageveränderung, der Änderungen von Bauteilgrößen oder Änderungen geometrischer Eigenschaften verwendet werden.

- Physikalische Messgrößen

Darunter werden Messgrößen verstanden, die als physische Lasten auf das Bauwerk einwirken.

- Chemische Messgrößen

Jene Einwirkungen die das Bauwerk belasten und mit chemischen Prozessen in Verbindung stehen.

10.9.3.2 Zusammenhang zwischen Messgrößen und Messinstrumenten

Messmittel / Instrumente / Sensoren	geometrische Messgrößen									
	Position	Starrkörper- bewegung				Längen- änderun		Neigung [°]	Rissbreite [m]	Risstiefe [m]
		Verschiebung [m]	Schiefstellung [m]	Verdrehung [°]	Setzung [m]	Dehnung [%]	Stauchung [%]			
Totalstation	XX	XX	X	X	XX	X	X	X		
GNSS Sensor	XX	XX	X	X	X	X	X	X		
Laserscanning	XX	X	X	X	XX	X	X	X		
bodenbasiertes SAR	X	X								
Photogrammetrie		X	X	X	X	X	X	X	XX	
Nivellier		X			XX			X		
Schlauchwaage			XX	X	XX			XX		
Pendel / Lot			XX	XX				XX		
Neigungssensor			XX	XX				XX		
Inklinometer		X	X	X				XX		
Wegaufnehmer		XX			XX	XX	XX		XX	
Fissurometer			X	X				XX	X	
Dehnmessstreifen						XX	XX		XX	
Konvergenzband		X	X	X	X	XX	XX			
Extensometer		X	X	X	XX			X		
Gleitmikrometer				X		X	X			
Temperaturaufnehmer										
Feuchteaufnehmer										
Kraftaufnehmer						X	X			
Erddruckaufnehmer										
Piezometer										
Faseroptischer Sensor						XX	XX		XX	
Beschleunigungssensor										
Geschwindigkeitssensor										
Schwingsaitenaufnehmer						XX	XX		X	
Massenerreger										
Betonprüfhammer										
Haftzugprüfung										
Potentialfeldmessung										X
Elektrischer Widerstand										X
Ultraschallmessung										X
Permeabilitätsanalyse										X
Wärmebildsensor										
Laboruntersuchungen									X	XX

Abb. 142: Zusammenstellung der geometrischen Messgrößen und der zugehörigen Messmittel / Instrumente / Sensoren

Messmittel / Instrumente / Sensoren	physikalisch Messgrößen											
	Temperatur [°K]	Kraft [N]	Druck		Beschleunigung [m/s <sup>2</sup> ]	Schwinggeschwindigkeit [m/s <sup>2</sup> ]	Eigenfrequenz [Hz]	Dämpfung [%]	Feuchte [%]	Feuchtigkeitsgehalt [%]	Festigkeit [N/m <sup>2</sup> ]	Wärmedurchlässigkeit [W/m <sup>2</sup> K]
			Porenwasserdruck [N/m <sup>2</sup> ]	Erddruck [N/m <sup>2</sup> ]								
Totalstation												
GNSS Sensor												
Laserscanning												
bodenbasiertes SAR												
Photogrammetrie												
Nivellier												
Schlauchwaage												
Pendel / Lot												
Neigungssensor												
Inklinometer												
Wegaufnehmer												
Fissurometer												
Dehnmessstreifen												
Konvergenzband												
Extensometer												
Gleitmikrometer												
Temperaturaufnehmer	XX									X		X
Feuchteaufnehmer	X								XX	XX	X	
Kraftaufnehmer		XX										
Erddruckaufnehmer				XX								
Piezometer			XX									
Faseroptischer Sensor	XX											
Beschleunigungssensor					XX	X	X	X				
Geschwindigkeitssensor					X	XX	X	X				
Schwingsaitenaufnehmer	XX	XX										
Massenerreger						X	XX	XX				
Betonprüfhammer									X	X	XX	
Haftzugprüfung										X	XX	
Potentialfeldmessung									X	X		
Elektrischer Widerstand									X	XX		X
Ultraschallmessung									X		X	
Permeabilitätsanalyse									XX	XX	X	
Wärmebildsensor	XX								X	X		XX
Laboruntersuchungen									XX	XX	XX	XX

Abb. 143: Zusammenstellung der physikalischen Messgrößen und der zugehörigen Messmittel / Instrumente / Sensoren

Messmittel / Instrumente / Sensoren	chemisch Messgrößen				
	Korrosion [-]	Karbonatisierung [%/m]	Chloridgehalt [%]	Grundwasser - Chemie [-]	Boden - Chemie [-]
Totalstation					
GNSS Sensor					
Laserscanning					
bodenbasiertes SAR					
Photogrammetrie					
Nivellier					
Schlauchwaage					
Pendel / Lot					
Neigungssensor					
Inklinometer					
Wegaufnehmer					
Fissurometer					
Dehnmessstreifen					
Konvergenzband					
Extensometer					
Gleitmikrometer					
Temperaturaufnehmer					
Feuchteaufnehmer					
Kraftaufnehmer					
Erddruckaufnehmer					
Piezometer					
Faseroptischer Sensor					
Beschleunigungssensor					
Geschwindigkeitssensor					
Schwingsaitenaufnehmer					
Massenerreger					
Betonprüfhammer		X			
Haftzugprüfung		X			
Potentialfeldmessung	XX	X			
Elektrischer Widerstand	XX	XX	X		
Ultraschallmessung	X	X			
Permeabilitätsanalyse	X	X	X		
Wärmebildsensor					
Laboruntersuchungen	XX	XX	XX	XX	XX

Abb. 144: Zusammenstellung der chemischen Messgrößen und der zugehörigen Messmittel / Instrumente / Sensoren

## 10.10 Weiterführende Literatur

## 11 Literaturverzeichnis

- Bauministerkonferenz. (2006). *Hinweise für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer/Verfügungsberechtigten*. Berlin.
- Bellingham, C. o. (kein Datum). *Diversion Dam Access*. Abgerufen am 12. 04 2015 von <http://www.cob.org/government/departments/pw/projects/completed-2012/diversion-dam-repair.aspx>
- BetonKalender 2013. (2013). *Lebensdauerorientierter Entwurf, Konstruktion, Nachrechnung*. Berlin: Ernst & Sohn.
- Bögl, M. (kein Datum). Abgerufen am 25. 05 2015 von <http://max-boegl.de>
- Boley, C. (2012). *Handbuch Geotechnik*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- Brandl, H. (1986). Konstruktive Hangsicherung. In U. Smolczyk, *Grundbautaschenbuch - Teil 3 . Dritte Auflage* (S. 317 - 426). Berlin: Ernst; Verlag für Architektur und technische Wissenschaften.
- Brandl, H. (2009). Stützbauwerke und konstruktive Hangsicherungen. In K. J. Witt, *Grundbau-Taschenbuch Teil 3 - Gründungen und geotechnische Bauwerke (7. Auflage)* (S. 747 - 902). Berlin: Ernst & Sohn.
- Brunner, U. (2009). *Vermessungswesen GL*. Graz: Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme.
- Buja, H.-O. (2009). *Handbuch der Baugrunderkennung*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- Bundesanstalt für Straßenwesen. (2013). *Richtlinie für die Erhaltung von Ingenieurbauten RI-ERH-ING*. Berlin: BMVST.
- Caquot, & Kerisel. (1949). *Grundlagen der Bodenmechanik*. Berlin: Springer.
- CFMS. (kein Datum). *CFMS Soils Org*. Abgerufen am 12. 04 2015 von <http://www.cfms-sols.org/sites/default/files/manifestations/090325/Francois%20Schlosser.pdf>
- Clayton et. al. (2013). *Earth pressure and earth-retaining structures - 3rd Edition*. Broken Sound Parkway: CPC Press.

Conrad. (kein Datum). *Conrad*. Abgerufen am 22. 05 2015 von [http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.conrad.at/medias/global/ce/5000\\_5999/5100/5150/5150/515096\\_LB\\_00\\_FB.EPS\\_1000.jpg&imgrefurl=http://www.conrad.at/ce/de/product/515096/Digitales-Massband-0525-AA-SKIL-F0150525AA&h=1000&w=1000&tbnid=uIRtNuX0f91O](http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.conrad.at/medias/global/ce/5000_5999/5100/5150/5150/515096_LB_00_FB.EPS_1000.jpg&imgrefurl=http://www.conrad.at/ce/de/product/515096/Digitales-Massband-0525-AA-SKIL-F0150525AA&h=1000&w=1000&tbnid=uIRtNuX0f91O)

Construction, W. (kein Datum). *Wimmer*. Abgerufen am 22. 05 2015 von [http://www.wimmer-construction.de/images/product\\_images/popup\\_images/50RBM.jpg](http://www.wimmer-construction.de/images/product_images/popup_images/50RBM.jpg)

db-prüftechnik. (kein Datum). *Beschleunigungsaufnehmer*. Abgerufen am 22. 10 2015 von <http://www.pruftechnik.com/de/produkte/condition-monitoring-systeme/sensoren-und-zubehoer-fuer-condition-monitoring/beschleunigungsaufnehmer.html>

DIN 1054, N. B. (2010). *Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.

DIN 18710-4. (2010). *Ingenieurvermessung - Teil 4: Überwachung*. Berlin: Normenausschuss Bauwesen im DIN.

DIN 31051, N. (2001). *Grundlagen der Instandhaltung*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.

DMSG. (2015). *Bundesgesetz betreffend den Schutz von Denkmalen wegen ihrer geschichtlichen, künstlerischen oder sonstige kulturellen Bedeutung (Denkmalschutzgesetz - DMSG*. Wien: Republik Österreich.

Donath, D. (2008). *Bauaufnahme und Planung im Bestand*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.

EAU. (2004). *Empfehlungen des Arbeitsausschusses Ufereinfassungen*. Berlin: Ernst & Sohn.

Flesch, R. (2013). *Grundlagen der Baudynamik - Erschütterungsschutz*. Graz: AIT.

Fluke. (kein Datum). *Infrarotthermometer*. Abgerufen am 22. 10 2015 von <http://www.fluke.com/fluke/atde/thermometer/infrarot-thermometer/Fluke-572-2-Infrared-Thermometer.htm?PID=76844>



- fmt. (kein Datum). *FMT Pictures*. Abgerufen am 28. 12 2014 von [http://www.fmt-pictures.at/bericht.php?bericht\\_id=3794](http://www.fmt-pictures.at/bericht.php?bericht_id=3794)
- Fouad, N. (2012). *Bauphysik Kalender*. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn.
- Fraebag. (kein Datum). Abgerufen am 23. 05 2015 von [http://fraebag.ch/index.php?id=26&no\\_cache=1&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=45&cHash=5e109ff53dc125f7bbd27ab944665ea2](http://fraebag.ch/index.php?id=26&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=45&cHash=5e109ff53dc125f7bbd27ab944665ea2)
- Garbers, T., Fischer, C., Cudmani, R., & Maitzschke, G. (kein Datum). *Messtechnische Überwachung einer statischen Probelastung an einem Frankipfahl für das Bahnhofsgebäude Stuttgart 21*. Seevetal: ISG.
- Geosond. (kein Datum). *Extensometer - Automatisch/Mechanisch*. Abgerufen am 22. 10 2015 von <http://www.geosond-gmbh.de/Setzungsmessungen%20bei%20Pfahlplattengr%FCndungen.htm>
- Geotechpedia. (kein Datum). *Geokon Modell 1610*. Abgerufen am 22. 10 2015 von [http://geotechpedia.com/Equipment/Show/403/Tape-Extensometers-Model-1610#prettyPhoto\[pp\\_gal\]/1/](http://geotechpedia.com/Equipment/Show/403/Tape-Extensometers-Model-1610#prettyPhoto[pp_gal]/1/)
- Geotool. (kein Datum). Abgerufen am 26. 05 2015 von [www.geotool.de](http://www.geotool.de)
- Giehler, I. (kein Datum). *Ingenieurbüro Giehler GbR*. Abgerufen am 12. 04 2015 von <http://www.ib-giehler.de/wasserbau.html>
- GIS Blog. (kein Datum). *The 5 terrestrial Laser Scanners on Geo-matching*. Abgerufen am 30. 09 2015 von <http://www.gisblog.com/the-5-most-viewed-terrestrial-laser-scanners-on-geo-matching/>
- Glötzl. (kein Datum). Abgerufen am 30. 09 2015 von <http://www.gloetzl.de/home.htm>
- Haefeli. (1944). Zur Erd- und Kriechdruck-Theorie. *Schweizerische Bauzeitung* 124 Nr. 20, 256 - 260.
- HBM. (kein Datum). Abgerufen am 30. 09 2015 von <http://www.hbm.com/de/>
- HBM. (kein Datum). *Dehnmessstreifen*. Abgerufen am 22. 10 2015 von <http://www.hbm.com/de/menu/produkte/dehnungsmessstreifen/>
- Hilti. (kein Datum). Abgerufen am 21. 05 2015 von <https://www.hilti.at/messtechnik>

htb rochlitz. (kein Datum). *Hoch- Tiefbau Rochlitz*. Abgerufen am 27. 12 2014 von <http://www.htb-rochlitz.de/referenzen/hochwasserschutz.html>

IGEWA. (kein Datum). Abgerufen am 26. 05 2015 von [www.igewa.de](http://www.igewa.de)

Interfels. (kein Datum). *Digitale Schlauchwaagensystem*. Abgerufen am 22. 10 2015 von <http://de.itmsoil.com/pages/digitales+schlauchwaagensystem>

Kernbohrservice. (kein Datum). Abgerufen am 23. 05 2015 von <http://kernbohrservice.de/kernbohrungen-nrw.html>

Kolymbas, D. (2011). *Geotechnik*. Innsbruck: Springer Verlag.

Kreuznach, G. (kein Datum). *Kreuznach-blog.de*. Abgerufen am 26. 04 2015 von <http://www.kreuznach-blog.de/2012/03/05/alte-nahebrucke-schadensdokumentation/>

Laserscanning, W. (kein Datum). *Laserscanning*. Abgerufen am 30. 09 2015 von <https://de.wikipedia.org/wiki/Laserscanning>

Leica Geosystems. (kein Datum). Abgerufen am 22. 05 2015 von <http://www.leica-geosystems.at/>

Marte, Kienreich, Scharinger, & Stadler. (2014). Überprüfung und Bewertung des Ist-Zustandes älterer Stützbauwerke im Straßennetz der Asfinag. In T. U. Graz, *Beiträge zum 29 CVK - Stützmassnahmen in der Geotechnik* (S. 165 - 186). Graz: Gruppe Geotechnik Graz.

Mast Grundbau. (kein Datum). *Mast-Grundbau*. Abgerufen am 28. 12 2014 von <http://www.mast-grundbau.de/referenzen.html>

Matthews, V. (1996). *Vermessungskunde Fachgebiete Architektur - Bauingenieurwesen - Vermessungswesen*. Stuttgart: B.G. Teubner.

meinbezirk.at. (kein Datum). *meinbezirk.at*. Abgerufen am 21. 07 2015 von <http://www.meinbezirk.at/telfs/chronik/hangrutsch-im-zirler-naherholungsgebiet-brunnal-m4117889,549121.html>

Metasensing. (2014). FastGB SAR. *Metasensing Radar Solutions*, 2.

- OIB RL 1. (2011). *OIB Richtlinie 1 - Mechanische Festigkeit und Standsicherheit*. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik.
- ÖNORM A 6250. (2001). *Bauaufnahmezeichnungen*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM A 6250-1. (2013). *Aufnahme und Dokumentation von Bauwerken und Außenanlagen*. Wien: Austrian Standard.
- ÖNORM B 1100. (2006). *Toleranzen im Bauwesen - Allgemeine Begriffe und Grundsätze*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM B 1801-1. (2009). *Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 1: Objekterrichtung*. Wien: AS-Norm.
- ÖNORM B 2110. (2013). *Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen - Werkvertragsnorm*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM B 4434. (1993). *Erd- und Grundbau - Erddruckberechnung*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM EN 13306, O.-K. 1. (2010). *Instandhaltung - Begriffe der Instandhaltung*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM EN 13460, O.-K. 1. (2009). *Instandhaltung - Dokumente für die Instandhaltung*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM EN 1504-1. (2005). *Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken*. Wien: AS-Norm.
- ÖNORM EN 15628, O.-K. 1. (2014). *Instandhaltung - Qualifikation des Instandhaltungspersonals*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM EN 16646. (2015). *Instandhaltung - Instandhaltung im Rahmen des Anlagenmanagements*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM EN 1990. (2003). *Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM EN 1991. (2011). *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke*. Wien: Austrian Standards.

- ÖNORM EN 1997-1, O.-K. (2009). *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM EN 1998-3. (2013). *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 3: Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden*. Wien: Austrian Standards.
- ONR 24008, P. 2. (2014). *Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken*. Wien: Austrian Standards.
- ONR 24009. (2013). *Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Hochbauten*. Wien: Austrian Standards.
- ONR 24800. (2009). *Schutzbauwerke der Wildbachverbauung - Begriffe und ihre Definition sowie Klassifizierung*. Wien: Austrian Standards.
- ONR 24803. (2008). *Schutzbauwerke der Wildbachverbauung - Betrieb, Überwachung und Instandhaltung*. Wien: Austrian Standards.
- Parthier, R. (2008). *Messtechnik*. Wiesbaden: Vieweg & Sohn.
- Porr Group. (kein Datum). *Porr Projekte*. Abgerufen am 11. 04 2015 von <http://worldofporr.porr-group.com/uploads/pdf/L348SpisserStrae.pdf>
- Proceq. (kein Datum). *Zerstörungsfrei Prüfung von Betonbauteilen*. Abgerufen am 22. 10 2015 von <http://www.proceq.com/de/home-europe.html?setpqr=1&pqr=2>
- RVS 13.03.01. (2012). *Monitoring von Brücken und anderen Ingenieurbauwerken*. Wien: FSV.
- RVS 13.03.61. (2014). *Nicht geankerte Stützbauwerke*. Wien: FSV.
- RVS 13.04.01. (2009). *Qualitätssicherung baulicher Erhaltung - Bauwerksdatenbank - Allgemeiner Teil*. Wien: FSV.
- Scharinger, F. (2013). *Gesamtbericht - nicht geankerte Stützkonstruktionen der "Priorität I"*. Graz: GDP ZT GmbH.
- Schmidt et. al. (2014). *Grundlagen der Geotechnik - 4. Auflage*. Wiesbaden: Springer Vieweg.

- Schneider. (2012). *Bautabellen für Ingenieure - 20. Auflage*. Köln: Werner Verlag.
- Schneider, J. (2007). *Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen*. Zollikon: Schneider.
- Schützeichel. (kein Datum). Abgerufen am 26. 05 2015 von [www.schuetzeichel.de](http://www.schuetzeichel.de)
- SGHG. (kein Datum). Abgerufen am 30. 09 2015 von <http://www.sghg-bautechnik.de/leistungsprofil/ausstattung>
- Shoef. (kein Datum). *Liquid nivellier sensors based on the connected vessels*. Abgerufen am 22. 10 2015 von <http://www.gabishoef.co.il/Settlement-monitoring-of-structures>
- SSF-ING. (kein Datum). *SSF Ingenieure*. Abgerufen am 05. 02 2015 von <http://www.ssf-ing.de/projekte/tunnel/wehrhahn-linie-duesseldorf.html>
- Stahr, M. (2011). *Bausanierung - Erkennen und Beheben von Bauschäden*. Wiesbaden: Vieweg + Taubner.
- Stauff. (kein Datum). *Temperaturaufnehmer STC*. Abgerufen am 22. 10 2015 von <http://www.stauff.com/index.php?id=4446>
- Stump. (kein Datum). *Rutschbewegung in Braunwald*. Abgerufen am 22. 10 2015 von <http://www.stump.ch/de/home/mit/projekte/komb-setzungsmessungen-mit-piezometer/>
- Suda, J., Sicher, P., & Lamprecht, D. (2007). *Zustandserfassung und -bewertung von Schutzbauwerken der Wildbachverbauung - Teil 2*. BoKu Wien: Institut für konstruktiven Ingenieurbau.
- Syffert, O. (1929). *Erddrucktafeln*. Berlin: Springer Verlag.
- SYNO Systems. (kein Datum). Abgerufen am 30. 09 2019 von <http://blog.synosystems.de/wp-content/uploads/2015/02/Photogrammetrie.png>
- TrigonArt. (kein Datum). Abgerufen am 05. 06 2015 von <http://www.trigonart.com>
- Trimble. (kein Datum). *Trimble DiNi Level*. Abgerufen am 22. 10 2015 von <http://www.trimble.com/Survey/DiNi-Level.aspx>

- Trotec. (kein Datum). *Feuchtemessgerät*. Abgerufen am 22. 10 2015 von <https://www.trotec24.com/de-at/messgeraete/feuchte/materialfeuchte/t510-feuchtemessgeraet.html>
- TUM, I. (kein Datum). Abgerufen am 29. 09 2015 von <http://www.gug.bgu.tum.de/en/geo/met/tachymetrie/>
- Türke, H. (1999). *Statik im Erdbau*. Berlin: Ernst & Sohn.
- Wabihuniry. (kein Datum). Abgerufen am 26. 05 2015 von [www.wabihuniry.htw.pl](http://www.wabihuniry.htw.pl)
- Weber, S. (2013). *Betoninstandsetzung*. Wiesbaden: Springer.
- Wiedemann, A. (2004). *Handbuch Bauwerksvermessung*. Basel: Springer.
- Wikipedia Bauwerksüberwachung. (kein Datum). *Wikipedia - freie Enzyklopedie*. Abgerufen am 27. 09 2015 von <https://de.wikipedia.org/wiki/Bauwerks%C3%BCberwachung>
- Wikipedia. (kein Datum). *Lot (Werkzeug)*. Abgerufen am 21. 05 2015 von [http://de.wikipedia.org/wiki/Lot\\_%28Werkzeug%29#/media/File:Plumb\\_%28PS\\_F%29.png](http://de.wikipedia.org/wiki/Lot_%28Werkzeug%29#/media/File:Plumb_%28PS_F%29.png)
- Wikipedia. (kein Datum). *Wikipedia*. Abgerufen am 12. 04 2015 von <http://de.wikipedia.org/wiki/Spundwand>
- Witt & Partner. (kein Datum). *Witt & Partner*. Abgerufen am 22. 12 2014 von <http://www.wittundpartner.de/Pruefung.referenzen-pruefung.0.html>
- Wyler. (kein Datum). *Messinstrumente - Neigungssensoren*. Abgerufen am 30. 09 2015 von <http://www.wylerag.com/de/produkte/messinstrumente/clino-2000/>
- ZSE. (kein Datum). *ZSE GmbH - Faseroptische Sensoren*. Abgerufen am 22. 10 2015 von [http://www.zse.de/index.cfm/content/products/gr\\_id/744/gr\\_name/Faseroptische%20Sensoren](http://www.zse.de/index.cfm/content/products/gr_id/744/gr_name/Faseroptische%20Sensoren)