

# MASTERARBEIT

## **RISIKOMANAGEMENT BEI BESTEHENDEN STÜTZBAUWERKEN IM STRECKENNETZ DES LANDES STEIERMARK**

Bmstr.Stefan S. Grubinger, B.Sc.

Vorgelegt am  
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft

Betreuer  
Univ. Prof. Dr.techn. Gottfried Mauerhofer  
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft

Univ. Prof. Dipl.- Ing. Dr.techn. Roman Marte  
Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik

Dipl.- Dipl.- Ing. Dr.techn. Matthias J. Rebhan, BSc  
Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik

Graz am 05. Juni 2020



# Eidesstattliche Erklärung

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

.....  
Datum

.....  
Unterschrift



# Kurzfassung

## Risikomanagement bei Stützbauwerken im Streckennetz des Landes Steiermark

Das Land Steiermark – Abteilung 16 - Referat Bauwerkserhaltung und Geotechnik verwaltet auf ca. 5.000 km Straße rund 4.760 Stützbauwerke, deren Erhaltungszustand gemäß den rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen der Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS) in regelmäßigen Abständen zu erfassen ist. Diese Vorschriften sind rechtlich bindend und müssen durch die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Landes Steiermark umgesetzt werden.

Die oben angeführten ca. 5.000 Stützbauwerke setzen sich aus unterschiedlichsten Typen und Ausführungsarten zusammen. Die Vielfalt an Bauwerken und die Tatsache, dass es sich dabei um eine große Anzahl an Bauwerken handelt, führt dazu, dass viele Ressourcen durch die Umsetzung der RVS gebunden werden. In dieser Arbeit wird ein Weg für eine effizientere Durchführung der Bauwerksprüfung gesucht, um mit diesen wertvollen Ressourcen sparsamer umzugehen. Diverse Lösungsansätze wurden untersucht und auf ihre Praxistauglichkeit hin beurteilt. Aus diesen Untersuchungen hat sich der Ansatz herauskristallisiert, eine RMZ (Risikomaßzahl) zu ermitteln. Diese Zahl lässt anhand von fünf Faktoren eine Aussage über den Erhaltungszustand von einem Stützbauwerk zu. Jeder Faktor deckt einen risikorelevanten Bereich ab. Verwendet werden dazu bekannte Daten wie beispielsweise der Rang der Straße oder die vorhandenen Planunterlagen eines Bauwerkes. Zusammengerechnet bieten diese Faktoren eine ausreichende Einschätzung des zu Erwartenden Risikos für ein bestehendes Stützbauwerk und berücksichtigen dabei die maßgebenden Kenntnisse über ein Bauwerk, den Zustand und die Relevanz.

In dieser Arbeit wurden praxisrelevante Stützbauwerke anhand der Risikomaßzahl bewertet, um die Umsetzbarkeit der vorgeschlagenen Methode zu prüfen und diese auch in Form eines „Leitfadens“ aufzubereiten. Um eine laufende Verbesserung dieser Methode zu ermöglichen, wurde die Möglichkeit der Anpassung der Methode an zukünftige Entwicklungen und Erfahrungen geschaffen. Dieser Prozess wird nachvollziehbar beschrieben, um eine einfache Übernahme der Methode in die Praxis zu ermöglichen. Abschließend wurden Digitalisierungsmöglichkeiten im Bereich der Bauwerksprüfung untersucht, um zu prüfen ob diese eine effizientere und wirtschaftlichere Durchführung dieser Tätigkeiten erlauben.

Diese Arbeit entstand in Zusammenarbeit mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Landes Steiermark, welche vor allem bei der Definition der Anforderungen und der praktischen Umsetzung dieser Methode zum Risikomanagement ihre Erfahrung und ihr Fachwissen einfließen ließen.



# **Abstract**

## **Long-term experiences for the safety assessment of existing retaining structures in Styria**

The road network of the Austrian state of Styria has about 4.760 retaining structures along a total distance of about 5.000 km. In order to be able to carry out a useful and efficient inspection method to this number of structures, a risk management (priority management) concept has been created. This method is based on the rating of significant parameters regarding the stability of these structures, the available planning information and the structure itself.

The result of this work is a practical solution for an easy and simple risk management for retaining structures. This method was validated by practical examples to show its advantages and disadvantages as well as the usability of the method developed.

In addition, the input and knowledge of the personnel of the Amt der steiermärkischen Landesregierung have been included in the design and the validation of the concept.

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Menschen bedanken, die mich während meines Studiums und der Diplomarbeit unterstützt haben. An erster und sicherlich wichtigster Stelle möchte ich mich bei Eva für die selbstlose, uneingeschränkte Unterstützung über viele Jahre bedanken, ohne die ich vieles nicht geschafft hätte.

Großer Dank gilt meinen Betreuern, welche mir stets mit einem offenen Ohr für Diskussionen, Empathie und Anregungen zur Seite standen und so wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei allen Mitstudierenden welche mit mir gelacht, gefeiert, diskutiert haben, mich beim „Blick über den Tellerrand“ zu unterschiedlichsten Disziplinen/Fachrichtungen begleiteten und somit maßgebend bei der Entwicklung in diesem Lebensabschnitt beteiligt waren.

Als Ankerpunkt, immerwährende Wegbegleiter und Anlaufstelle für wirklich alles, und wenn auch nur für den gemeinsamen Genuss isotonischer Erfrischungsgetränke bei einem erbauenden Gespräch, möchte ich mich auch bei meinen Geschwistern bedanken, die mich stets unterstützt haben.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die trotz der unendlichen Anzahl an „Warum- und Wieso-Fragen“ in meiner Kindheit, welche sicher nicht immer einfach zu beantworten waren, unermüdlich geantwortet haben und mich ebenso unermüdlich bei allen meinen Schritten unterstützt haben.

Stefan Grubinger  
Juni 2020

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stützbauwerke</b>	<b>2</b>
2.1	Gewichtskonstruktionen	2
2.2	Winkelstützmauern	4
2.3	Raumgitterkonstruktionen	5
2.4	Gabionenwände	6
2.5	Bewehrte Erde - Konstruktionen	7
2.6	Steinstützkörper	8
<b>3</b>	<b>Bestandsbauwerke</b>	<b>9</b>
3.1	Definition Bestand	9
3.2	Bauwerksprüfung	10
3.3	Umgang mit Bestandsbauwerken	12
3.4	Bauwerkserhaltung	12
<b>4</b>	<b>Risikobewertung</b>	<b>14</b>
4.1	Risiko bei Stützbauwerken	15
4.2	Versagen von Stützbauwerken	16
4.3	Relevante Bauwerksparameter	18
4.4	Vereinfachte Risikobewertung - ÖGG	20
4.5	Erstaufnahme von Stützbauwerken im Land Salzburg	20
4.6	Zusammenfassung Risikobewertung	21
<b>5</b>	<b>Risikomanagement für Bestandsbauwerke des Landes Steiermark</b>	<b>22</b>
5.1	Einleitung	22
5.2	Bestandsbauwerke	23
5.3	Entwicklung einer Methode zum Risikomanagement von Straßenzügen und Einzelbauwerken	24
5.4	Risikomaßzahl & Kriterienkataloge	30
5.4.1	Ermittlung der Risikomaßzahl	31
5.4.2	Kriterienkatalog Straßenzug	33
5.4.3	Kriterienkatalog Einzelbauwerk	34

5.4.4	Drop-Out Kriterien	36
5.4.5	Ergebnisse der Risikobewertung	36
5.4.6	Schematische Beispiele zur Ermittlung der Risikomaßzahl	38
5.5	Zusammenfassung sowie Ablaufdarstellung einer Risikobewertung für ein Einzelbauwerk	42
<b>6</b>	<b>Wirtschaftliche Aspekte Bauwerksprüfung</b>	<b>43</b>
6.1	Quantitative Betrachtungen	44
6.1.1	Betrachtung Bauwerkskontrollen	44
6.1.2	Betrachtung Bauwerksprüfungen	45
6.1.3	Vergleichsbetrachtungen	46
6.2	Prozessanpassung – Iterative Optimierung	48
6.3	Zusammenfassung	49
<b>7</b>	<b>Digitale Aufnahme und Verarbeitung von Bauwerksdaten</b>	<b>50</b>
7.1	Digitale Bestandserhebung	51
7.2	Datenaufbereitung und Verarbeitung	51
7.3	Ansätze zur Umsetzung	53
7.4	Möglichkeiten der Darstellung	54
7.5	Datenbank	55
7.6	Zusammenfassung digitale Bauwerksprüfung	56
<b>8</b>	<b>Ausblick und Resümee</b>	<b>57</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>58</b>

# Formelzeichen und Abkürzungen

## Buchstaben

A	[m <sup>2</sup> ]	Querschnittsfläche
H	[m]	Höhe
RVS	[-]	Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen
FSV	[-]	Österr. Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr
StVO	[-]	Straßenverkehrsordnung
ÖGG	[-]	Österreichische Gesellschaft für Geomechanik
KBE	[-]	König-Bewehrte-Erde
ONR	[-]	ON-Regel
RI-ERH - ING	[-]	Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten
R	[-]	Risiko
P	[-]	Eintretenswahrscheinlichkeit
E	[-]	Erwartungswert des Schadens
JDTV	[-]	jährlich durchschnittliche Verkehrsaufkommen
RMZ	[-]	Risikomaßzahl
A	[-]	Erstes Drop-Out Kriterium
B	[-]	Zweites Drop Out Kriterium
C	[-]	Bauwerkskriterium
D	[-]	Unterlagen zum Bauwerk
E	[-]	Rang der Straße

## Kleine griechische Buchstaben

$\lambda_1$	[-]	Wert für Drop-Out Kriterium
$\lambda_2$	[-]	Wert für Bauwerkskriterium



# 1 Einleitung und Zielsetzung

Stützbauwerke stellen neben Dämmen, Tunneln und Galerien einen Hauptbestandteil der Ingenieurbauwerke im Bereich der Straßeninfrastruktur dar. Aktuelle Schätzungen (vgl. Rebhan, 2019b) gehen davon aus, dass sich in Österreich ca. 150.000 Stützbauwerke in öffentlicher Hand befinden. Hier nicht erfasst ist die (vermutlich gleich) große Anzahl von Stützbauwerken, die von Privaten und Unternehmen errichtet wurden und zu verwalten sind. Die laufende Erhaltung dieser Bauwerke stellt eine große Herausforderung für die Besitzer und Verwalter dar und ist mit einem erheblichen Kosten- und Personalaufwand verbunden. Die Erfassung des „*Erhaltungszustandes*“ ist in RVS 13.03.61 (FSV, 2014) für das hoch- und niederrangige Straßennetz geregelt. Dabei handelt es sich um ein mehrstufiges System, welches auf kurzfristig eintretende Schäden (z.B. zufolge Naturgewalten) und langfristig stattfindende Schädigung (z.B. Korrosion) eingeht. Die Umsetzung dieser Inspektionstätigkeiten stellt oftmals einen hohen zeitlichen und personellen Aufwand dar, welcher nicht durch alle Bauwerkserhalter bzw. Erhaltungsverpflichteten (entspricht dem Erhalter nach StVO§98 Abs. 3) abgedeckt werden kann. Um trotzdem die Sicherheit und Verfügbarkeit der Strecken sicherzustellen wird in dieser Arbeit ein Konzept zur Durchführung einer optimierten Inspektionstätigkeit bei Stützbauwerken im Streckennetz des Landes Steiermark erarbeitet und anhand von Beispielen evaluiert. Die Ziele hierbei sind (vgl. Nöhrer *et al.*, 2019):

- Reihung der vorhandenen nicht geankerten Stützbauwerke nach ihrer Priorität in Bezug auf Inspektions- und Prüftätigkeiten;
- Schaffung von begründeten Ausnahmen der Prüfpflicht nach RVS;
- Reduktion des Bauwerksrisikos durch eine schnelle und effiziente Durchführung von „Erstprüfungen“;
- Reaktionsmöglichkeit bei Bauwerken mit Gefahr im Verzug;
- Verbesserung des Datenbestandes zu Stützbauwerken;
- Optimierung des Ressourceneinsatzes in den zuständigen Abteilungen.

Die oben angeführten Ziele sollen in dieser Arbeit näher untersucht werden. Hierzu werden einleitend nicht geankerte Stützbauwerke und der Umgang mit Bestandsbauwerken diskutiert. Im Anschluss wird die Prüfung und Beurteilung von Stützbauwerken sowie eine Kategorisierung dieser betrachtet. Aufbauend hierauf wird ein Konzept ausgearbeitet, welches aus der Sicht von theoretischen und praktischen Beispielen untersucht wird.

Ein Teil dieser Arbeit (Kapitel 5) wurde gemeinsam mit den Betreuern Univ. Prof. Roman Marte und Dr. techn. Matthias J. Rebhan erstellt und erarbeitet. Zusätzlich wurden – um eine praxisnahe Anwendung des umgesetzten Managementsystems zu ermöglichen – die Anmerkungen und Anregungen der Steiermärkischen Landesregierung vertreten durch Dipl.- Ing. BM Franz Nöhrer und Ing. Bernhard Saurug mit in die Erstellung dieser Arbeit aufgenommen.

## 2 Stützbauwerke

Stützbauwerke werden für unterschiedliche Aufgabenstellungen im Zuge der Errichtung von Bauwerken oder Infrastrukturanlagen herangezogen. Prinzipiell kann hier zwischen der Herstellung einer Einschüttung (vgl. Abb. 1 Links) und der Stützung eines Einschnittes (vgl. Abb. 1 Rechts) unterschieden werden.

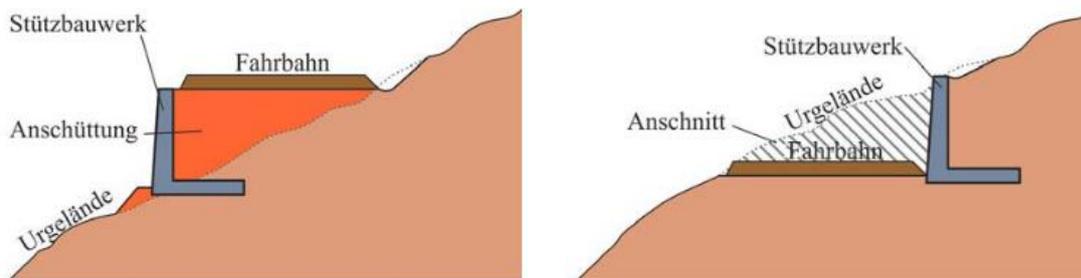


Abb. 1: Anwendungsbereiche für Stützbauwerke (Rebhan, 2019a)

Zur Einteilung von Stützbauwerken und der Kategorisierung ist bereits eine Vielzahl an Untersuchungen und dazugehöriger Literatur vorhanden. Der für den deutschsprachigen Raum oftmals verwendete Ansatz einer Einteilung nach Hauptarten wird auch in dieser Arbeit in Anlehnung an den Eurocode 7 (ÖNORM EN 1997-1, 2014) durchgeführt. Diese umfassen Gewichtsstützwände, im Boden einbindende Wände und zusammengesetzte Stützkonstruktionen. Bei den in dieser Arbeit betrachteten unverankerten Stützbauwerken handelt es sich größtenteils um Gewichtsstützwände:

*„Wände aus Stein oder Beton oder Stahlbeton auf einem Fundament, mit oder ohne Sporn, Fuß oder Stützpfeiler. 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.“* (ÖNORM EN 1997-1, 2014; Pkt. 9.1.2.1)

Für die nachfolgende Arbeit werden lediglich unverankerte (nicht geankerte) Konstruktionen betrachtet.

### 2.1 Gewichtskonstruktionen

Gewichtsmauern, wie auch Schwergewichtsmauern, zählen zu den Gewichtskonstruktionen. Bei diesen wird die einwirkende horizontale Belastung durch ausreichend Eigengewicht der Konstruktion – in Form eines rückdrehenden Momentes – abgeleitet. Wie die Namensgebung bereits andeutet, wird dies durch die große Masse der Konstruktion sichergestellt. Dies geht mit einer massiven Ausführung des Querschnittes der Konstruktion einher.

Um ein ausreichend „rückdrehendes Moment aus vertikalen Eigengewichtslasten“ (Boley & Adam, 2012) sicherstellen zu können, ist eine ausreichende Masse der Konstruktion erforderlich. Dies wird im Regelfall durch Massenbeton bzw. gering bis wenig bewehrten Beton (vgl. Abb. 2 oben) oder durch Steinkörper (vgl. Abb. 2 Rechts unten) sichergestellt.

Weitere Informationen zu der Funktionsweise, des Tragverhaltens und Schadensbildern bei diesem Konstruktionstyp finden sich in den Arbeiten von Lumesberger (2017), Wöls (2018) und Rebhan (2015) sowie den ÖGG Empfehlungen zu Stützbauwerken (ÖGG, 2018).



Abb. 2: Arten von Gewichtskonstruktionen; Links oben: Gewichtskonstruktion aus Massenbeton; Rechts oben: Gewichtskonstruktion mit Vorsatzschale; Links unten: Steinstützkörper; Rechts unten: Betonfertigteile für Gewichtskonstruktionen (Rohrdorfer)

Wie anhand der Bilder in Abb. 2 ersichtlich ist, kann vor allem die Unterscheidung zwischen Steinstützkörpern (Abb. 2 Links unten & Kapitel 0) im Zuge der Begutachtung eine große Herausforderung darstellen. Zudem können derartige Vorsatzschalen auch in Punkto der Verkehrssicherheit (Herausfallen einzelner Teile) und der Dauerhaftigkeit (Sicherstellung der Schutzfunktion) Probleme aufweisen.

Auf Grund ihrer Konstruktionsform werden Gewichtskonstruktionen meist für niedrige Stützbauwerke (bis ca. 3,50 m) verwendet. Dies kann größtenteils auf den großen Materialverbrauch bei der Herstellung zurückgeführt werden. Zu Gute kommt derartigen Konstruktionen, dass sie auf Grund ihrer „gutmütigen“ Versagensmechanismen (vgl. Lumesberger, 2017; Vostrel, 2017; Winkler, 2017) sehr viele Vorteile in Bezug auf die zeitgerechte Erfassung von Schadensbildern sowie deren Beurteilung aufweisen. So findet beispielsweise eine große Neigungszunahme des Bauwerkes statt, ehe ein Versagen durch Kippen eintreten wird. Trotz ihrer oftmals bewehrten (Mindestbewehrung) Ausführung haben auch Korrosionsschäden (Rebhan, 2019a) einen sehr geringen Einfluss auf das Tragverhalten (vgl. Kapitel 2.2) bzw. die Standsicherheit.

## 2.2 Winkelstützmauern

Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Gewichtskonstruktionen erfordern Winkelstützmauern eine hochbewehrte Ausführung. Diese ist erforderlich, um die auftretenden Biegebeanspruchungen des Querschnittes (zufolge der L-förmigen Ausführung) in das Fundament und damit in den Untergrund abzutragen. Zudem ist bei den Versagensmechanismen (vgl. Wöls, 2018; Koppelhuber, 2017) von Winkelstützmauern auch zwischen einem inneren und einem äußeren Versagen zu unterscheiden, welches bei Gewichtskonstruktionen gleichermaßen auftritt, jedoch in der Regel deutlich stärkere Auswirkungen nach sich zieht. Während sich letztere ähnlich bzw. identisch zu Gewichtskonstruktionen (vgl. Kapitel 2.1) verhalten, sind bei der inneren Bemessung auch betonbautechnische Grundsätze zu beachten.

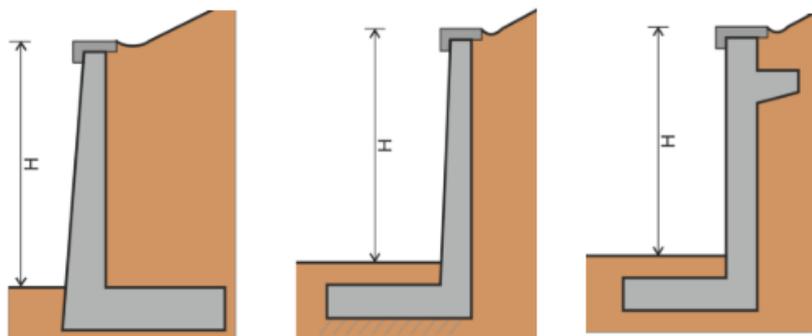


Abb. 3: Beispiele für Winkelstützmauern (ÖGG, 2018)

Die Beispiele in Abb. 3 zeigen unterschiedliche Ausführungsvarianten einer Winkelstützmauer, die sich durch die Anordnung des Fundaments bzw. die Anordnung eines Sporns (rechts) im Querschnitt unterscheiden.

## 2.3 Raumgitterkonstruktionen

Bei Raumgitterkonstruktionen – oder auch Krainerwänden – wird der Gewichtskörper im Gegensatz zu Gewichtskonstruktionen nicht durch einen massiven Beton- oder Steinkörper sondern durch eine aufgelöste Konstruktion gebildet. Durch Läufer (längs) und Binder (quer), welche in einem Winkel von  $90^\circ$  aufeinander angeordnet und mit Boden gefüllt werden, wird ein Gewichtskörper hergestellt, der den horizontal einwirkenden Erddrücken widerstehen kann.

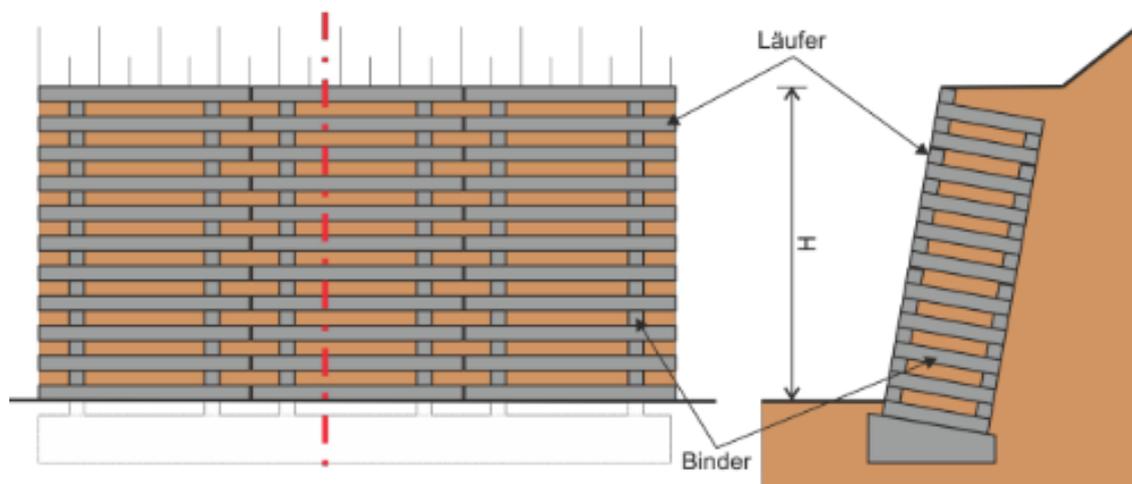


Abb. 4: Raumgitterkonstruktion (ÖGG, 2018)

Auch bei diesem Gewichtskörper gibt es Unterschiede zwischen äußeren und inneren Schadensbildern. Die äußeren Schadensbilder entsprechen jenen der Gewichtskonstruktionen. Die inneren sind maßgeblich von der Materialauswahl für die Läufer und Binder abhängig, die im Regelfall aus Holz (Krainerwand) oder aus Betonfertigteilen bestehen. Weiters spielt auch die Verbindung der Läufer und Binder in den Knotenpunkten hinsichtlich möglicher innerer Schäden eine wesentliche Rolle. Vor allem aus Betonelementen errichtete Läufer und Binder können durch Korrosionsschäden zu Folge, einer geringer Betondeckung, durch Frost- und Tausalzeinwirkungen aber auch durch Kantenbrücke in den (steifen) Knotenpunkten geschädigt werden. Generell kann jedoch bei dieser Konstruktionsform von einem „gutmütigen“ Versagen auf Grund des großen Verformungspotentials des Querschnittes ausgegangen werden. Dies führt dazu, dass große Verformungen des Bauwerkes (z.B. Ausbauchungen) auftreten können, bevor ein Versagen der Konstruktion eintritt.

## 2.4 Gabionenwände

Im Gegensatz zu Raumgitterkonstruktionen wird der Gewichtskörper bei Gabionenwänden durch Steinmaterial gefüllten Gitterdrahtkörben hergestellt. Die Drähte bestehen zumeist aus verzinkten Stahldrähten, die entweder zu einem Korb geflochten oder punktgeschweißt ausgeführt werden. Für die Füllung kommen je nach Anforderung gewaschene und gerundete Steine (optisch) oder gebrochene Steine (Gewicht und Kosten) zum Einsatz.

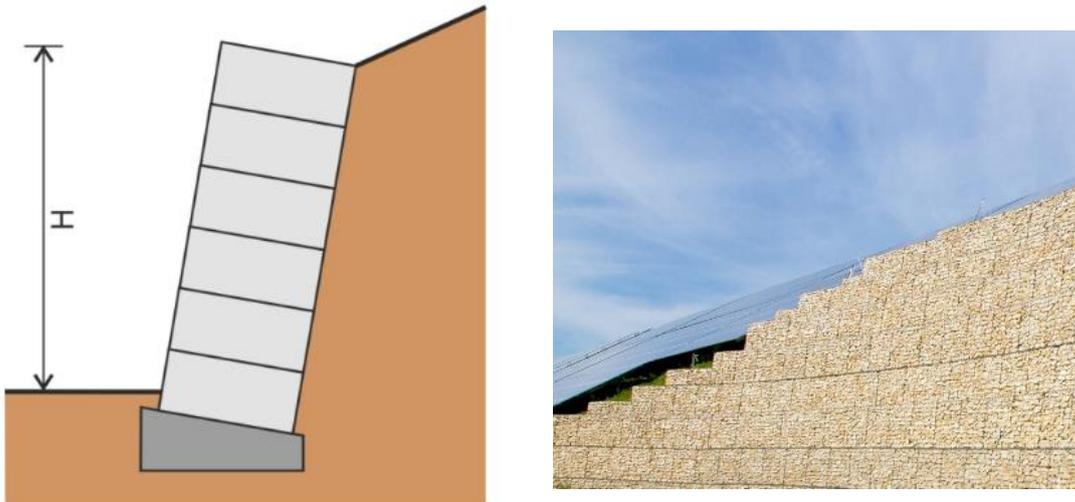


Abb. 5: Links: Querschnitt einer Gabionenwand (ÖGG, 2018); Rechts: Ansicht einer fertiggestellten Gabionenwand (KBE, 2020)

Dieser Konstruktionstyp verhält sich hinsichtlich seinem Tragverhalten aber auch seiner Verformungsverträglichkeit identisch zu Gewichtskonstruktionen. Es können große Verformungen auftreten, ehe es zu einem Versagen der Konstruktion kommen wird. Dies ist jedoch nur möglich, solange die Körbe aus Stahl keine zu großen Korrosionsschäden aufweisen bzw. die Drähte die auftretenden Verformungen aufnehmen können. Ergänzend zu den Anforderungen an den Stahl muss auf die Frostbeständigkeit des Steinmaterials, mit welchem die Körbe gefüllt sind, geachtet werden.

## 2.5 Bewehrte Erde - Konstruktionen

Bewehrte Erde - Konstruktionen stellen eine Sonderform von Gewichtskonstruktionen dar, bei welchen der Gewichtskörper durch einen mit „Zugelementen“ verstärkten Erdkörper gebildet wird. Die Zugelemente bestehen zumeist aus Geokunststoffen und Geogittern, welche die Zugtragfähigkeit des Bodenkörpers erhöhen und damit eine höhere und steilere Aufschichtung des Bodenkörpers ermöglichen.

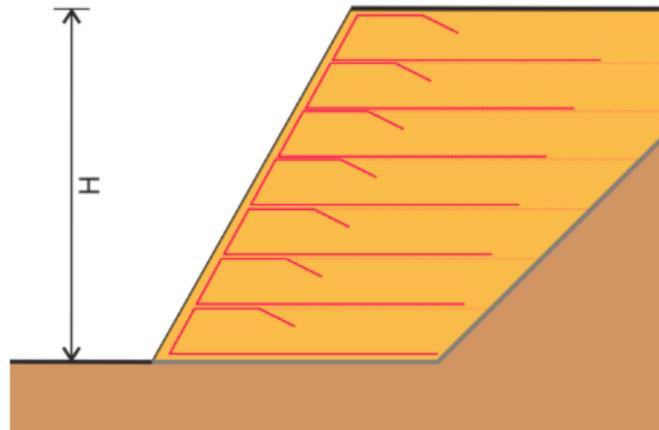


Abb. 6: Querschnitt einer bewehrten Erde - Konstruktion (ÖGG, 2018)

Da es sich bei dieser Konstruktionsform um kein starres System handelt, können Bewehrte Erde - Konstruktionen große Verformungen aufnehmen. Diese Fähigkeit ermöglicht, dass Bewehrte Erde - Konstruktionen für die Beurteilung des Zustandes ein großes Potential aufweisen, ehe ein Versagen des Bauwerkes eintreten wird (hohes Vorankündigungspotential). Auf die Dauerhaftigkeit der Zugelemente (Frost- und Tausalz, Sonneneinstrahlung) ist bei dieser Konstruktion zu achten.

## 2.6 Steinstützkörper

Eine weitere Variante der Gewichtskonstruktionen sind Steinstützkörper (vgl. Abb. 2 Links unten), bei welchen der Gewichtskörper zumeist durch großformatige Steine hergestellt wird. Diese können trocken (ohne Mörtel) oder vermörtelt hergestellt werden und aus unterschiedlichen Steinformen bestehen. Es können sowohl unbearbeitete Wasserbausteine (vgl. Abb. 7 oben) als auch in Form gebrachte Steinmaterialien (vgl. Abb. 7 unten) in solche Konstruktionen verbaut werden.

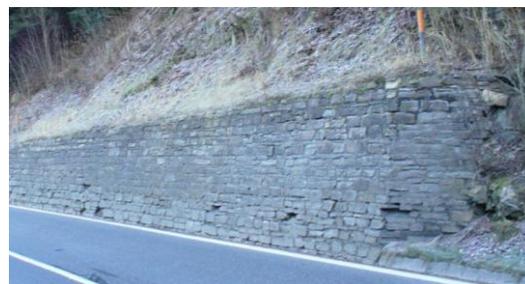
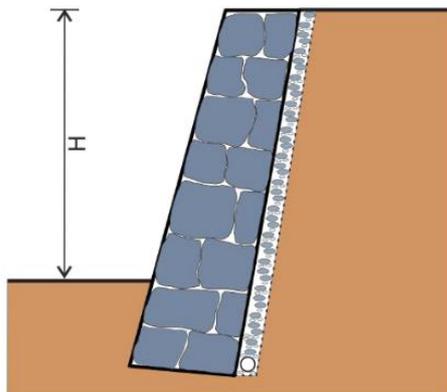


Abb. 7: Links oben: Ansicht einer Steinschichtung; Rechts oben: Ansicht der Ausbauchung eines Steinstützkörpers; Links unten: Schnitt durch einen Steinstützkörper (ÖGG, 2018); Rechts unten: Ansicht eines vermörtelten Steinstützkörpers

Zugute kommt diesen Bauwerken, dass relativ große Verformungen möglich sind, bevor ein Versagen eintritt. Eine häufige Schädigungsform ist die durch Frost- und Tausalzeinwirkungen bedingte Entfestigung einzelner Steine sowie ein Herausfallen einzelner (Zwickel) Steine wie auch übermäßigen Bewuchs.

## 3 Bestandsbauwerke

Diese Arbeit befasst sich mit dem Risiko bestehender Stützbauwerke, der Bewertung dieser und der daraus folgenden Ableitung eines Risikos. Aus diesem Grund wird nachfolgend auf die rechtlichen und technischen Besonderheiten beim Umgang mit Bestandsbauwerken eingegangen. Hierzu sind in Österreich keine speziellen Regelungen für Stützbauwerke vorhanden. Für die Straßeninfrastruktur und die Benutzung dieser sind jedoch Regelwerke und Vorgaben vorhanden, welche auch Stützbauwerke im weiteren Sinne betreffen. Diese Regelungen finden auch in der Praxis Anwendung.

### 3.1 Definition Bestand

Den Schutz des Bestandes – Bestandsschutz – gibt es im Zusammenhang mit Bauwerken und Gebäuden juristisch nicht. Rechtlich findet dieser Begriff Anwendung auf bestehende Arbeitsverhältnisse – insbesondere beim Kündigungs- und Entlassungsschutz. Eine genaue Definition vom Begriff Bestand ist im österreichischen Recht nicht vorgesehen und verankert. Jedoch wird in dieser Arbeit mit diesem Begriff ein Stützbauwerk beschrieben, welches in der Vergangenheit errichtet wurde und seine Funktion wie geplant erfüllt. Da die Funktion bei Stützbauwerken mit einer „Stützung eines dahinterliegenden Erdkörpers“ einhergeht, kann nach der Errichtung eines solchen nur dann von einem Bestandsbauwerk ausgegangen werden, wenn dieses keine unplanmäßigen Verformungen und Deformationen bzw. die Tragfähigkeit gefährdende Schädigungen aufweist. Dies sollte eventuell auch auf Bauwerke Anwendung finden, bei denen die Art und Weise der Lastabtragung nicht eindeutig geregelt (innere Bemessung Steinstützkörper) oder auf Grund von Bautoleranzen (z.B. schlecht geschichtete Raumgitterwand) nicht genau ersichtlich ist. Für andere Ingenieurbauwerke wie Brücken (Sohn *et al.*, 2015) und Hochbauten gibt es normative Regelungen, wie mit dem Bestand umgegangen werden soll. Für Brücken ist beispielsweise die ONR 24008 – Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken (ONR 24008, 2014) anzuwenden. In Kapitel 4.2 dieser Norm wird der Vertrauensgrundsatz einer bestehenden Brücke wie folgt definiert: *„Unter Betrieb befindliche Bestandsbauwerke sind – im Gegensatz zum Entwurf neuer Tragwerke – langjährig unter Erprobung gestanden und lassen somit Rückschlüsse auf das reale Tragverhalten zu. Bei Fehlen von der Tragfähigkeit beeinflussenden Bauschäden und konstruktiven Mängeln kann festgestellt werden, dass sich diese Tragsysteme bewährt haben. [...] Bei der Bewertung der Tragfähigkeit von Brücken kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass das Bauwerk nach den zum Zeitpunkt der Errichtung geltenden technischen Regeln geplant und ausgeführt wurde, sofern keine gegenteiligen Hinweise auf Grund von Bauwerksprüfungen, aus Archivunterlagen oder anderen Quellen bekannt sind (Vertrauensprinzip).“* (ONR 24008, 2014)

Die Ausführungen zum Vertrauensgrundsatz zeigen, dass bei Brücken nach einer „*langjährigen Erprobung*“ davon ausgegangen werden kann, dass das Bauwerk unter den vorherrschenden Bedingungen (Belastungen, Gründungsverhältnisse) funktionstüchtig ist, solange es keine begründeten Hinweise gibt, die gegen diese Annahme sprechen. Dieser Ansatz kann auch für Stützbauwerke gewählt werden, da diese z.B. in Hinsicht auf ihre Eigenschaften (auf bestimmte Lasten ausgelegte (Stütz-)Konstruktion) mit Brückenbauwerken vergleichbar sind und auch im Falle sich entwickelnder Schäden, wie Brücken mit Verformungen, sichtbaren Rissen, Materialveränderungen etc. reagieren.

## 3.2 Bauwerksprüfung

Für die Prüfungen von Bauwerken stehen im deutschsprachigen Raum und auch international eine Vielzahl an Richtlinien zur Verfügung. Beispiele hierfür sind die RI-ERH-ING (BM VeBaStd, 2013) und die RI-EBW-PRÜF (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017), die schweizerische Norm SIA296 (1994) bzw. die Regelwerke für Wasserstraßen (vgl. Bundesanstalt für Wasserbau, 2015 & Bundesanstalt für Wasserbau, 2010). In Österreich gelten für die Inspektion und Beurteilung von Stützbauwerken die Richtlinien für Verkehr und Straßenwesen (RVS). Für diesen spezifischen Anwendungsfall ist die Reihe der „Qualitätssicherung bauliche Erhaltung“ vorgesehen, mit der die Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten geregelt wird. In RVS 13.03.61 (FSV, 2014) werden die besonderen Anforderungen und Fragestellungen bei nicht geankerten Stützbauwerken behandelt. Nachfolgend wird kurz auf die Inhalte dieser Richtlinie eingegangen. Generell wird für den Umgang mit bestehenden, nicht geankerten Stützbauwerken, als auch in allen anderen RVS-Richtlinien zur Inspektion von Bauwerken ein dreistufiges System definiert. Dies zeigt sowohl die zeitliche Abfolge der Inspektionstätigkeiten als auch den Aufwand und den Detailgrad der Inspektion auf. Ziel dieser Inspektionstätigkeiten ist die Bestimmung des „*Erhaltungszustandes*“ (FSV, 2014) einer Konstruktion. Aktuell befindet sich die RVS 13.03.61 in Überarbeitung. Im Zuge dieser Arbeit wurden die Inhalte der Ausgabe von März 2010 bzw. die Überarbeitung vom Jänner 2014 aufgearbeitet und betrachtet.

Als erste Stufe der Inspektion wird in der **laufenden Überwachung** eine „*Feststellung der Funktionstüchtigkeit der Konstruktion und der Sicherheit des Verkehrsweges*“ vorgenommen. Diese Überwachung wird durch den Streckendienst (Landesstraßen Steiermark – wöchentlich) in der Vorbeifahrt, aus dem Auto, durchgeführt. Dabei werden grobe Schäden und Veränderungen erfasst. Im Zuge einer **Kontrolle** wird in einer zweiten Stufe die Veränderung des „*Erhaltungszustandes [...] festgestellt, festgehalten und bewertet*“. Dies wird durch sachkundige Ingenieure oder entsprechend geschultes und erfahrenes Fachpersonal in einem Abstand von höchstens drei Jahren durchgeführt.

Als dritte Stufe der Inspektionstätigkeiten ist die **Prüfung** vorgesehen, die durch Prüfer in einem zeitlichen Abstand von maximal 12 Jahren durchzuführen ist. Das Personal dafür wird als sachkundiger Ingenieur bzw. entsprechend geschultes und erfahrenes Personal definiert, welches die „*grundlegenden statischen Verhältnisse des zu prüfenden Objektes kennen und beurteilen sowie den Einfluss von Schäden auf die Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit des nicht geankerten Stützbauwerkes abschätzen*“ (FSV, 2014) kann.

Zu den unterschiedlichen Stufen der Inspektion werden in RVS 13.03.61 zusätzliche Informationen gegeben. In diesen Informationen werden die Vorbereitungen zur Inspektion bzw. die neuralgischen Punkte, die bei einer Inspektion betrachtet werden sollen, angeführt. Ergänzend wird ein Benotungssystem auf Basis von Schulnoten (vgl. Abb. 8) definiert, welches den Erhaltungszustand eines Bauwerkes darstellen soll.

<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. 8: Benotungssystem nach RVS 13.03.61 (FSV, 2014)

Dieses System kann sowohl auf einzelne Bauteile (z.B. Randbalken) oder ein gesamtes Objekt angewendet werden. Zudem gibt die Benotung auch Aufschluss darüber, wie das weitere Vorgehen bezugnehmend auf die Erhaltung des Bauwerkes sein soll. So sind beispielsweise bei einem guten Zustand (2) lediglich Wartung- und Instandsetzungsarbeiten erforderlich, während bei einem mangelhaften Zustand (4) kurzfristige Instandsetzungen erforderlich sind, um die Gebrauchstauglichkeit und/oder Dauerhaftigkeit auf das gewünschte und geplante Maß anzuheben.

Auf die Anforderungen der Anwendung dieser Richtlinie, auf die jeweils unterschiedlichen Straßentypen und Bauwerkserhalter wird in Kapitel 5 näher eingegangen.

### 3.3 Umgang mit Bestandsbauwerken

Das Ergebnis einer Bauwerksprüfung bzw. einer Inspektionstätigkeit sind Beurteilungen bzw. Bewertungen, welche die Verkehrssicherheit und die Zuverlässigkeit des Bauwerkes beschreiben und erforderliche Maßnahmen definieren. Diese Maßnahmen bzw. Tätigkeiten reichen im geringsten Fall von klassischen Aufgaben der Instandhaltung, beispielsweise die Entfernung von Bewuchs oder die Reinigung von Drainagen und Entwässerungen, bis hin zu baulichen Ausbesserungsmaßnahmen. Sollten jedoch größere Schädigungen des Bauwerkes (als Abnahme des Erhaltungszustandes) vorliegen, so können auch umfangreichere Instandsetzungen erforderlich werden.

Sind derartige Maßnahmen nicht mehr ökonomisch, mit einem zu hohen Aufwand verbunden oder sind dafür zu große Einschränkungen der Streckenverfügbarkeit nötig, so kann natürlich auch ein Ersatzbau des Bauwerkes eine mögliche Maßnahme sein. Hierzu ist jedoch im Regelfall eine drastische Abnahme des Bauwerkzustandes und oftmals auch eine signifikante Vernachlässigung der Erhaltungspflicht der Grund. Derartige Maßnahmen können jedoch auch mit einer Änderung der Trassierung bzw. einer Generalsanierung eines Streckenabschnittes (z.B. Erweiterung der Fahrbahn) verbunden sein.

### 3.4 Bauwerkserhaltung

Bei der Erhaltung von Bauwerken kann von unterschiedlichen Strategien ausgegangen werden. Nachfolgend werden jene Teile der Methoden im Hochbau (vgl. Bergmeister *et al.*, 2014) behandelt, die mit Stützbauwerken bzw. Infrastrukturbauwerken im Konnex stehen. Dabei muss, im Gegensatz zu den meisten Hochbauten, die deutlich länger geplante Nutzungsdauer (*ÖNORM EN 1990*) von Infrastrukturbauwerken, welche bis zu 100 Jahre beträgt, betrachtet werden. Dies hat zur Folge, dass besondere Anforderungen auf die Erhalter zukommen, die vor allem durch eine präventive Instandhaltung (*ÖNORM EN 13306*, 2010) erreicht werden können. Dies wird mit der nachfolgenden Abbildung dargestellt und verdeutlicht. Wie die Grafik zeigt, besitzt jedes Bauwerk nach Errichtung einen gewissen Erhaltungszustand, welcher auf der Ausführungsqualität sowie norm- und fachgerechten Planung und Herstellung des Bauwerkes beruht. Jedes Bauwerk besitzt einen kritischen Zustand - somit gibt es einen Zeitpunkt, ab dem mit einem Versagen des Bauwerkes zu rechnen ist. Dieser Punkt kann durch einen drastischen Anstieg an Schadensauswirkungen früher eintreten. Weiters lässt sich erkennen, dass jedes Bauwerk auf Grund der Sicherheiten auf Einwirkungs- und Widerstandsseite einen gewissen Abnutzungsvorrat besitzt, bis der Erhaltungszustand ein kritisches Niveau erreicht. Wenn keine Erhaltungsmaßnahmen gesetzt werden (Kurve b) ist mit einem sehr schnellen und rapiden Abbau des Abnutzungsvorrates zu rechnen.

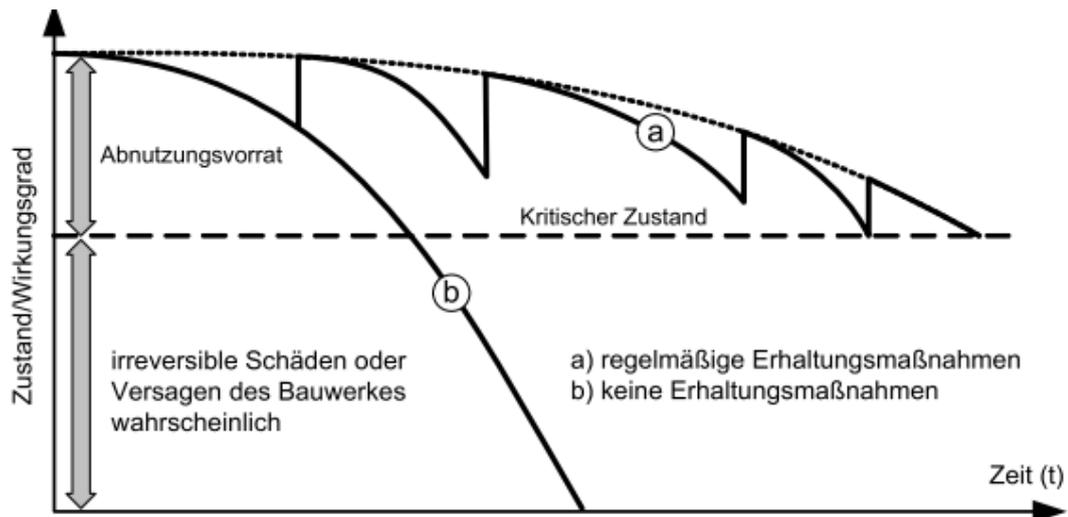


Abb. 9: Änderung des Erhaltungszustandes bei regelmäßiger und vernachlässigten Unterhaltungsmaßnahmen (ONR 24803, 2008)

Das führt in weiterer Folge dazu, dass irreversible Schäden vorliegen, die nicht mehr mit Instandhaltungs- oder Instandsetzungsmaßnahmen beseitigt bzw. ausgeglichen werden können. Diese Schäden führen über die Zeit zu einer Abnahme der Bauwerkssicherheit und in weiterer Folge zu einem Bauwerksversagen.

Wird jedoch eine laufende, präventive Instandsetzung vorgenommen, wie in Linie a - Abb. 9 dargestellt, kann so einer rapiden Abnahme des Erhaltungszustandes vorgebeugt werden. Dabei werden wiederkehrende Instandsetzungsmaßnahmen vorgenommen, um den Erhaltungszustand regelmäßig anzuheben. Damit ist es zwar im Allgemeinen nicht möglich, dass der Ausgangszustand des Bauwerkes – vollständig intakt und mit vollem Erhaltungszustand – erreicht wird, jedoch kann dieser Zustand zu einem großen Anteil erreicht werden. Wenn diese Maßnahmen durchgeführt werden, tritt die in der Darstellung in Abb. 9 ersichtliche obere Kurve ein. Diese Maßnahmen sorgen dafür, dass der Abnutzungsvorrat erhöht und die Erreichung eines kritischen Zustandes verzögert wird. Dadurch kann zum einen eine Erhöhung der Bauwerkssicherheit und zum anderen eine Verlängerung der Lebensdauer des Bauwerkes erwirkt werden. Diese Methoden können dabei sowohl zustandsorientiert als auch vorausbestimmt (vgl. ÖNORM EN 13306, 2010) stattfinden – genannt langfristiges bewirtschaften und managen. Wohingegen letztere Methoden zum momentanen Zeitpunkt üblicherweise bei Maschinen und anderen Anlagen zur Anwendung kommt, eignen sich die zustandsorientierten präventiven Instandhaltungsmaßnahmen sehr gut für Stützbauwerke. Aufbauend auf den Ergebnissen einer Bauwerksprüfung können zeitnahe und dadurch effektive Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen eingeleitet werden. Neben der hier vorgestellten Erhaltungsstrategie mit präventiven Maßnahmen können auch andere Methoden herangezogen werden, um die Erhaltung von Bauwerken sicherzustellen. Als Beispiel dazu sei als bauliche Maßnahme eine sofortige, korrektive Instandhaltung genannt.

## 4 Risikobewertung

Nachdem in den vorherigen Kapiteln auf Stützbauwerke und auf den Umgang mit Bestandsbauwerken eingegangen wurde, soll nun der Blick genauer auf das von Stützbauwerken ausgehende Risiko gelegt werden. Dabei soll einleitend der Begriff des Risikos erläutert werden, ehe anschließend die Besonderheit bei Stützbauwerken sowie der Umgang mit diesen in Bezug auf die Erfassung des Bauwerksrisikos eingegangen wird.

Je nach gesellschaftlicher Betrachtung kann und wird Risiko unterschiedlich definiert. Es kann im Zusammenhang mit Stützbauwerken von einem personenbezogenen Risiko gesprochen werden, da durch ein Versagen eines Bauwerkes direkt ein Personenschaden folgen kann. In weiterer Folge kann daraus ein wirtschaftliches Risiko entstehen, falls durch das Versagen die Streckenverfügbarkeit eingeschränkt wird. Die Allgemein im Bauwesen erforderliche Definition des Risikos wird nach Schneider (2007) als die „*Möglichkeit bezeichnet, einen Schaden zu erleiden*“, die quantifiziert werden muss. Das Risiko beschreibt hierbei ebenso das „*Maß für die Größe einer Gefahr*“ und ist dabei als Produkt (vgl. Formel (1)) aus Eintretenswahrscheinlichkeit (P) und dem Erwartungswert des Schadens (E) zu verstehen.

$$R = P * E \quad (1)$$

Die Eintretenswahrscheinlichkeit kann hier Werte zwischen 0 (kein Eintreten) bis 1 (wird Eintreten) annehmen. Der Erwartungswert des Schadens wird dabei durch zwei Faktoren definiert. Faktor eins bezieht sich hier auf Personenschaden (z.B. Tote pro Jahr) und der zweite Faktor auf einen finanziellen Schaden (z.B. €/Jahr) der zufolge eines Schadens auftreten kann. Daraus folgt, dass das Risiko als Dimension jene des Erwartungswertes annehmen wird, und daher auch durch diesen definiert wird.

Abschließend sei im Zusammenhang mit dem Risiko noch angeführt, dass immer ein Restrisiko bestehen bleibt, welches sich nur / lediglich bedingt oder mittels unverhältnismäßig großer Aufwände reduzieren lässt und daher nicht ausgeschlossen werden kann. Zudem ist Risiko auch immer eine Frage des subjektiven (personenbezogenen) Empfindens. Daher ergibt sich vor allem im öffentlichen Bereich immer die Fragestellung, ob es sich um ein freiwillig akzeptiertes Risiko oder um ein durch politische Entscheidungen aufgezwungenes bzw. auferlegtes Risiko handelt, was daher auch durch die gesamte Gesellschaft zu tragen ist.

## 4.1 Risiko bei Stützbauwerken

Bei der vorangegangenen Beschreibung zum Risiko in obigem Kapitel wurde bereits angeführt, dass es sich beim Risiko generell – und insbesondere bei Stützbauwerken – um ein personenbezogenes, wirtschaftliches und gesellschaftliches Risiko handeln kann. Dies soll anhand der beiden untenstehenden Bilder näher erläutert werden.



Abb. 10: Risiken bei Stützbauwerken; Links: Personenschaden (Marte *et al.*, 2015); Rechts: Einschränkung der Streckenverfügbarkeit (Irnberger, 2014)

Der Schadensfall in Abb. 10 Links zeigt, dass das Versagen von Stützbauwerken tragischerweise zu direkten Personenschäden führen kann. Dieses Beispiel (Marte *et al.*, 2015) einer versagten Spornmauer an der A13 Brenner Autobahn zeigt, dass auf Grund der unmittelbaren Nähe zwischen dem Stützbauwerk und der dadurch geschützten Infrastruktur Personenschäden – wie in diesem Fall der Tod eines LKW-Lenkers – eintreten können. Hingegen zeigt das rechte Bild in Abb. 10, dass nicht immer mit derartig dramatischen Folgen für Personen zu rechnen ist, wenn Stützbauwerke oder Teile davon versagen. In diesem Beispiel (Irnberger, 2014) zeigte sich, dass die Dauerhaftigkeit der Betonfertigteile einer Raumgitterwand nicht ausreichend war, um diese vor einem Schaden (Korrosion der Bewehrung) zu schützen. In diesem Fall führte dies zu einem Versagen von Bestandteilen der Konstruktion und zu einem Nachrutschen des Hinterfüllungsmaterials. Daraus folgend musste die Nutzung der Straße im betroffenen Bereich temporär eingeschränkt werden, allerdings wurden keine Personenschäden zufolge des Versagens der Stützkonstruktion verzeichnet.

Beiden Schadensfällen ist gemein, dass es im Anschluss an den Schadensfall zu einer Beeinflussung der Verkehrsteilnehmer kam. Diese äußerte sich durch Straßensperren und einseitige Streckenführungen, bedingt durch die erforderlichen Baumaßnahmen. Diese Art des Schadens wird vor allem bei Stützbauwerken beobachtet. Personenschäden werden auf Grund des allgemein guten Erhaltungszustandes der Infrastruktur in Österreich selten beobachtet. Die Benutzung der Infrastruktur hingegen wird durch das kleinräumige Versagen von Stützbauwerken häufiger kleinräumig eingeschränkt.

Um das von Stützbauwerken ausgehende Risiko erfassen, einschätzen und bewerten zu können, sind also eine Vielzahl an Parametern, Randbedingungen sowie interner und externer Einflüsse zu erfassen. Nachfolgend sollen daher die Versagensbilder von Stützbauwerken (Kapitel 4.2) und die relevanten Bauwerksparameter, die zur Erfassung des Risikos (Kapitel 4.3) erforderlich sind, angeführt werden.

## 4.2 Versagen von Stützbauwerken

Das Versagen eines Stützbauwerks kündigt sich meistent durch das Vorliegen von Schadensbildern oder identifizierbaren Versagensmechanismen an. Diese können eine Vielzahl von Ursachen und Ausprägungen haben. Auf eine genaue Auflistung der Schadensbilder bei Stützbauwerken, deren Einteilung bzw. auch die sich in weiterer Folge daraus ableitenden Schadensbilder im Nahebereich eines Bauwerkes wird im Zuge dieser Arbeit verzichtet. Jedoch wird versucht, die Ergebnisse einiger Quellen und Vorarbeiten zusammenzufassen und darzustellen.

Es kann zwischen der Art und Ursache des Schadens unterschieden werden. Die Schäden können dabei in die Bereich Geologie, Geotechnik und Konstruktion unterteilt werden.

- **Geologisch bedingte Schäden**

Geologische Schäden liegen vor, wenn Schadensbilder im Gelände ersichtlich sind und durch die Eigenschaften des Untergrundes verursacht werden. Beispiele hierfür sind Anrisskanten, Feuchtstellen oder Mulden im Bereich vor, hinter oder neben einem Stützbauwerk. Diese können dabei durch den Untergrund selbst (z.B. Hangwasser, Kriechhang) oder durch ein angrenzendes Bauwerk (z.B. Aktivierung eines Kriechhanges) ausgelöst werden.

- **Geotechnische Schäden**

Als geotechnische Schäden lassen sich Schadensbilder bezeichnen, welche ohne die Errichtung eines Stützbauwerkes nicht vorgefunden werden könnten. So sind beispielsweise Verformungen des Bauwerkes – und die damit verbundenen Folge für den Untergrund – als geotechnische Schadensbilder zu betrachten. Diese Schäden stellen auch das „Bindeglied“ zwischen den geologischen und konstruktiven Schäden dar.

- **Konstruktive Schäden**

Diese Kategorie von Schäden tritt bei Bauteilen oder gesamten Bauwerken auf und bezieht sich im Allgemeinen auf die Materialien Stahl, Holz oder (sehr häufig) Beton. Meist sind dies Schäden, welche die Dauerhaftigkeit eines Bauwerkes nachhaltig beeinträchtigen. Beispielsweise begünstigt eine zu geringe Betondeckung die Bildung von Korrosionsschäden oder eine

Karbonatisierung des Betons. Jedoch können bei einem massiven Voranschreiten einer Schädigung gebrauchstauglichkeits- und tragfähigkeitsrelevante Schadensbilder (vgl. Rebhan, 2019a) vorliegen. Zur Beurteilung dieser Schäden ist neben einer genauen Kenntnis des Materials und dessen Verhaltens eine ausreichende Kenntnis über das Lastabtragungs- und Lastableitungsverhalten des jeweiligen Objektes erforderlich. Derartige Schadensbilder (z.B. Kiesnester, unzureichende Betondeckung) können auch bereits von der Herstellung stammen und zeigen daher keine Veränderung an, jedoch kein „Vorliegen“ eines Schadens im klassischen Sinne.

Wie die obige Beschreibung der Schäden zeigt, sind diese drei „Arten von Schadensbildern“ im Regelfall miteinander verbunden und interagieren. Vor allem die visuell ersichtlichen Schadensbilder sind dabei oftmals voneinander beeinflusst. Beispiele hierfür (z.B. Vostrel, 2017; Winkler, 2017; Rebhan, 2015 & Jäger, 2015) zeigen, dass hierzu eine Vielzahl an Ansätzen und Methoden vorhanden sind, mit denen versucht wird, eine Verbindung zwischen Schadensbildern bzw. eine Kategorisierung dieser vorzunehmen.



Abb. 11: Schadensbilder; Links: Risse an einem Bauwerk (Meichsner, 2015); Rechts: Risse in einem Fahrbahnbelag (Steinbacher, 2014)

Die beiden Beispiele in Abb. 11 zeigen die Verbindung zwischen den unterschiedlichen Arten von Schadensbildern. Links zeigen die Risse in der Fassade eines Bauwerkes an, welche durch Auswirkungen einer Setzungsmulde in der Mitte des Bauwerkes verursacht wurden. Dabei sind die Risse als Schadensbild am Bauwerk zu erkennen, die Ursache ist jedoch im Untergrund des Bauwerkes bzw. dem Nahebereich des Bauwerkes zu finden. Ähnliches lässt sich auch bei den Rissen am Fahrbahnbelag des rechten Bildes erkennen, welche auf eine Bewegung des Kriechhanges (rechts der Straße) zurückzuführen ist.

Zusätzlich zu den Arten eines Schadens ist auch die Ausprägung eines Schadens von Interesse. Dies kann einen Hinweis für einen sich entwickelnden bzw. ankündigenden Schaden geben. Ebenso kann ein bereits langjährig existierendes Schadensbild interessant für Rückschlüsse sein. Ein Beispiel hierfür sind Risse bei Stützbauwerken. Diese können sowohl auf eine Überbeanspruchung als auf eine Änderung des Lastniveaus hinweisen. Gleichmaßen kann es sich auch um ein

Schwindverhalten bzw. ein sich bereits früh eingestelltes Verformungsverhalten des Bauwerkes handeln. Somit kann ein Riss als Ankündigung eines Schadens dienen und/oder Rückschlüsse auf das Tragverhalten eines Bauwerkes ermöglichen.

Die obigen Ausführungen zeigen, dass die Einteilung bzw. Kategorisierung von Schäden äußerst anspruchsvoll sein kann. Im Zuge dieser Arbeit soll versucht werden, Schäden in einer Risikobewertung verwerten zu können, ohne eine genaue Einteilung dieser vorlegen zu können. Daher ist im Zuge des hier entwickelten und vorgestellten Konzeptes zu einem Risikomanagement (vgl. Kapitel 5) eine fachkundige und sachgerechte Erfassung des Bauwerkes unumgänglich, um eine zutreffende Beurteilung zu ermöglichen.

### **4.3 Relevante Bauwerksparameter**

Um das Risiko eines Bauwerkes bestimmen zu können sind im Allgemeinen eine Vielzahl an Parametern bzw. ein hoher Kenntnisstand über den Zustand und den Aufbau des Bauwerkes erforderlich. Nachfolgend sollen diese in Anlehnung an die Inhalte der ÖGG Empfehlung (ÖGG, 2018) aufgebaut werden. Diese Parameter dienen in weiterer Folge als Grundlage für das in Kapitel 5 entwickelte Konzept zum Risikomanagement.

- **Bauwerks- und Querschnittsabmessungen**

Eine Grundlage für viele Nachweise und/oder auch Einschätzung ist mit den geometrischen Abmessungen des Bauwerkes verbunden. Dies sind die Abmessungen des Querschnittes, welche mit der inneren und äußeren Tragfähigkeit zusammenhängen und für diese maßgeblich sind. Des Weiteren kann damit auch die Auswirkung eines Bauwerksversagens, beispielsweise durch das Verhältnis zwischen Bauwerkshöhe und Abstand zur Straße, definiert werden.

- **Art der Gründung / Gründungstiefe**

Diese Parameter definieren vor allem die Lastableitung des Bauwerkes sowie die sich damit ergebenden Auswirkungen auf die Standsicherheit. Da bei Bestandsbauwerken jedoch oftmals von einem sich bereits vollständig eingestellten Lastabtragungsmechanismus (vgl. Kapitel 3.3) ausgegangen werden kann, sind diese im Zuge der Beurteilung eher zu vernachlässigen. Dies gilt jedoch nur, sofern keine Schäden an der Gründung bzw. durch die Gründung verursachte Schadensbilder (z.B. Setzungsrisse) vorliegen oder Änderungen im Einflussbereich der Gründung durchgeführt worden sind.

- **Kennwerte der Baustoffe und des Untergrundes**

Neben den Abmessungen der Querschnitte sind auch die Kennwerte der verwendeten Baustoffe und Materialien erforderlich. Diese stehen oftmals in direkter Verbindung mit eventuellen Schadensbildern (z.B. Korrosion, Forstschäden, Materialermüdung, ...) und weiters können hieraus auch Schäden bzw. Mängel abgeleitet werden. Für eine gesamtheitliche Betrachtung müssen neben den Kennwerten der Baustoffe auch die Kennwerte des Bodens betrachtet werden. Exemplarisch sind hier die Durchlässigkeit des Untergrundes oder die Schichtung des Hinterfüllungskörpers von Interesse.

- **Entwässerungseinrichtungen**

Neben den Abmessungen des Bauwerkes, der Gründungssituation und den Kennwerten hat die Art und der Zustand der Entwässerungseinrichtungen einen maßgeblichen Einfluss auf das Stützbauwerk. Zum einen gehen damit Schadensbilder, welche wasserbedingt sind (z.B. Korrosionsschäden oder Austrag von Feinteilen) einher und zum anderen kann dadurch auch eine Wasserlast und dadurch zusätzliche Belastung auf das Bauwerk entstehen. Der Entwässerungen eines Stützbauwerkes bzw. des gestützten Körpers kommt somit eine sehr hohe Bedeutung zu.

- **Gelände und umliegende Bereiche**

Um Einwirkungen auf das Bauwerk betrachten zu können, muss auch das angrenzende Gelände betrachtet werden. Hieraus können Schadensbilder, wie Anrisskanten aber auch andere Einwirkungen (z.B. Hangwässer) abgeleitet und bei der Bewertung des Bauwerkes berücksichtigt werden. Hierbei ist auch eine jahreszeitliche und wetterbedingte Veränderung des Geländes (z.B. Feuchtstellen nach Regenperioden) mit in Betracht zu ziehen.

- **Tragfähigkeitsrelevante Bauteile und Bauwerksbereiche**

Um neben den Baustoffen und dem Gelände auch das Tragverhalten eines Stützbauwerkes erfassen zu können, müssen die für das Tragverhalten relevanten Bauteile ermittelt werden. Das können Anschlussbereiche bei Winkelstützmauern, hochbeanspruchte Bauteilregionen bei Steinstützkörpern oder die Verdübelung im Bereich von Bauwerksfugen sein. Vor allem die Veränderung des Zustandes dieser Bauteile und Bauwerksregionen muss dabei bei der Beurteilung eines Stützbauwerkes berücksichtigt werden.

Wie diese Auflistung zeigt, sind eine Vielzahl an Parametern und Kennwerten erforderlich, um eine zutreffende bzw. aussagekräftige Beurteilung eines Stützbauwerkes vornehmen zu können. Aufgrund der Einschränkungen, welche vor allem durch die Geometrie und den Verwendungszweck von Stützbauwerken gegeben sind, ist eine eindeutige und klare Aussage oftmals nur unzureichend möglich, bzw. nur mit einem sehr hohen Aufwand umsetzbar.

## 4.4 Vereinfachte Risikobewertung - ÖGG

In der RVS-Richtlinie 13.03.61 (FSV, 2014) wird im Anwendungsbereich (mit der Abänderung vom 01.01.2014) auf den Umgang mit Stützbauwerken eingegangen, wonach *„mit Ausnahme der Bundesstraßen A und S [...] der Erhaltungsverpflichtete eine Risikobewertung der nicht geankerten Stützbauwerke durchführen [kann] und basierend auf dem Ergebnis den Anwendungsbereich dieser RVS entsprechend anpassen“* kann. Aufbauend auf dieser Grundlage wurde in einer ÖGG Empfehlung zum Umgang mit Stützbauwerken eine Methode zur *„vereinfachten Risikobewertung“* (ÖGG, 2018) vorgestellt. Nach dieser Methode soll eine Reihung der Bauwerke in einem Streckennetz auf Grund unterschiedlicher Kriterien bestimmt werden. Hier fließen beispielsweise der Rang der Straße, der Bauwerkstyp, die Verkehrsstärke, der augenscheinliche Erhaltungszustand und auch das Alter des Bauwerkes ein. Zusätzlich werden hier auch noch Risikofaktoren wie die unmittelbare Gefahr auf Leib und Leben, oder die ökonomischen Folgen bei einem Versagen mit einbezogen. Eine genaue Methode wie sich daraus ein Risiko ermitteln lässt, wurde nicht angeführt und es wird darauf hingewiesen, dass *„die Auswahl, Wertung und Reihung der Kriterien [...] in Abstimmung mit dem Erhalter vorzunehmen“* (ÖGG, 2018; Kapitel 7.2) ist.

Neben dem hier vorgestellten Ansatz einer vereinfachten Risikobewertung nach ÖGG Empfehlung bietet diese auch Ansätze, um eine vertiefte Risikobewertung durchzuführen. Dies ist vor allem dann von Interesse, wenn mit obiger Methode, oder auch anderen Ansätzen der Inspektion, kein Auslangen mehr gefunden werden kann. Dabei sollte jedoch beachtet werden, dass dies lediglich an einem Einzelobjekt möglich ist, keine *„pauschalierten Aussagen zu ähnlichen oder benachbarten Stützbauwerken“* (ÖGG, 2018) möglich sind und, dass dazu eine große Datenmenge an Information erforderlich ist, welche trotzdem zu einer großen Streuung der Ergebnisse führen kann.

## 4.5 Erstaufnahme von Stützbauwerken im Land Salzburg

Aufbauend auf den Inhalten der ÖGG Empfehlungen (vgl. Kapitel 4.4) wurde durch die Salzburger Landesregierung, Referat 6/08 - Landesstraßenverwaltung, ein Konzept erstellt, mit welchem die digitale Erstaufnahme von Stützbauwerken (Land Salzburg, 2018) durchgeführt werden kann. Der Fokus liegt hierbei neben der Erfassung der Informationen zu einem Bauwerk auch in der Erstellung einer Prioritätenreihung. Bei der Erfassung werden dazu die Parameter der maximalen Bauwerkshöhe, der Abstand zum Fahrbahnrand, das jährlich durchschnittliche Verkehrsaufkommen (JDTV) und der Bauwerkstyp bewertet. Aus diesen Parametern, welche jeweils binär belegt sein können, wird im Anschluss eine Priorität zwischen 0 und 4 ermittelt.

Diese Priorität spiegelt das Risiko des Bauwerkes wider und definiert dabei auch das Maß des erforderlichen Erhaltungsaufwandes und ermöglicht einen Rückschluss auf die erforderlichen Inspektionstätigkeiten. Dieses Konzept wurden durch die Salzburger Landesregierung in Anlehnung an die ÖGG Empfehlungen (ÖGG, 2018) umgesetzt und befindet sich in der hier vorgestellten Form auch bereits in Anwendung.

## **4.6 Zusammenfassung Risikobewertung**

Die Ausführung der obigen Kapitel zeigt, dass es bereits einige Ansätze gibt, mit welchen das von Stützbauwerken ausgehende Risiko erfasst werden kann. Diese basieren größtenteils auf dem durch die RVS-Richtlinien vorgegebenen Gerüst und sollen lediglich über das Risiko Aufschluss bieten, jedoch nicht genauer auf die Priorität eines Bauwerkes in Bezug auf Inspektionstätigkeiten eingehen. In nachfolgenden Kapiteln soll daher eine neue Methode hierzu entwickelt und vorgestellt werden, welche neben der reinen Betrachtung des Erhaltungszustandes auch auf die Priorität des Bauwerkes, mit welcher Inspektionen durchgeführt werden müssen, eingegangen werden soll.

# 5 Risikomanagement für Bestandsbauwerke des Landes Steiermark

Neben den allgemeinen Ausführungen zu Stützbauwerken, deren Verhalten und den Umgang mit bestehenden Bauwerken, besteht eine Teilaufgabe der gegenständlichen Arbeit darin, die Risikobewertung und Beurteilung bestehender Stützbauwerke näher zu untersuchen. Der Fokus liegt auf der Erarbeitung eines Konzeptes, auf Basis dessen es der Steiermärkischen Landesregierung – A16 Verkehr und Landeshochbau – Referat Bauwerkserhaltung und Geotechnik – möglich ist, eine einfache sowie effiziente Risikobewertung der bestehenden Infrastruktur durchzuführen.

In den nachfolgenden Kapiteln wird daher auf die Notwendigkeit der gesamtheitlichen Risikobewertung, sowie auf die bestehenden Bauwerke im Verwaltungsbereich des Landes Steiermark eingegangen. Weiters werden die gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse zu einem möglichen Konzept zur Risikobewertung ausgearbeitet und zusammengefasst. Um die erarbeiteten Resultate anwenden zu können, befindet sich am Ende eine beispielhafte Verwendung des Konzeptes anhand mehrerer Beispiele zur Veranschaulichung.

## 5.1 Einleitung

Um die Benutzbarkeit infrastruktureller Einrichtungen sicherzustellen, ist es erforderlich, diese in laufenden Intervallen zu kontrollieren und zu prüfen. Im Bereich der Landesstraßen gibt es hierzu die Möglichkeit eine „*Risikobewertung*“ nach RVS 13.03.61 (FSV, 2014) durchzuführen (siehe Kapitel 4.4). Aufbauend auf den Ergebnissen dieser, kann eine Anpassung der Richtlinien zur Prüfung und Beurteilung dieser Bauwerke vorgenommen werden. Ziel der nachfolgenden Ausführungen und Abhandlungen ist es, eine Methode zur Erarbeitung einer Risikobewertung bestehender Stützbauwerke aufzuzeigen, mit der es möglich ist, den vorhandenen Bauwerksbestand (siehe Kapitel 5.2) zu kategorisieren und eine Risikobewertung davon abzuleiten. Abweichend zu anderen Methoden der Risikobewertung (vgl. Kapitel 4), in welchen meist das Produkt aus Eintretenswahrscheinlichkeit und Erwartungswert zur Quantifizierung des Risikos verwendet wird, soll mit den in dieser Arbeit beschriebenen Methoden eine einfachere Art der Risikobewertung aufgezeigt werden. Der Bedarf hierfür ergibt sich aus dem Umstand, dass oftmals weder ausreichende Daten für eine Bewertung nach existierenden Ansätzen noch die für eine Umsetzung einer derartigen Methode erforderlichen Personalressourcen vorhanden sind.

## 5.2 Bestandsbauwerke

Das Land Steiermark verfügt (Stand Mai 2018) über rund 4.800 Stützbauwerke, welche für den Betrieb und die Sicherung des Straßennetzes erforderlich sind. Die Datenerhebung hierzu fand aufbauend auf Unterlagen, welche vom Land Steiermark zur Verfügung gestellt wurden, statt. Nachfolgend soll ein Überblick zu den vorhandenen Bauwerken, Bauwerkstypen und deren Anzahl gegeben werden.

Eine erste, grundlegende Unterscheidung kann zwischen geankerten und nicht geankerten Stützbauwerken erfolgen. Im Verwaltungsbereich des Landes Steiermark sind lediglich ca. 1 % (61 Bauwerke) in Form einer geankerten Konstruktion ausgeführt. Nachfolgend wird auf diese nicht weiter eingegangen. Die nicht geankerten Bauwerke (ca. 4.760 Bauwerke) unterteilen sich in eine Vielzahl unterschiedlicher Typen. Eine erste Unterteilung (siehe Abb. 12) wird durch ein Auftrennen in die drei Kategorien Schwergewichtsmauern, Stein-schichtungen und sonstige Bauwerke getroffen.

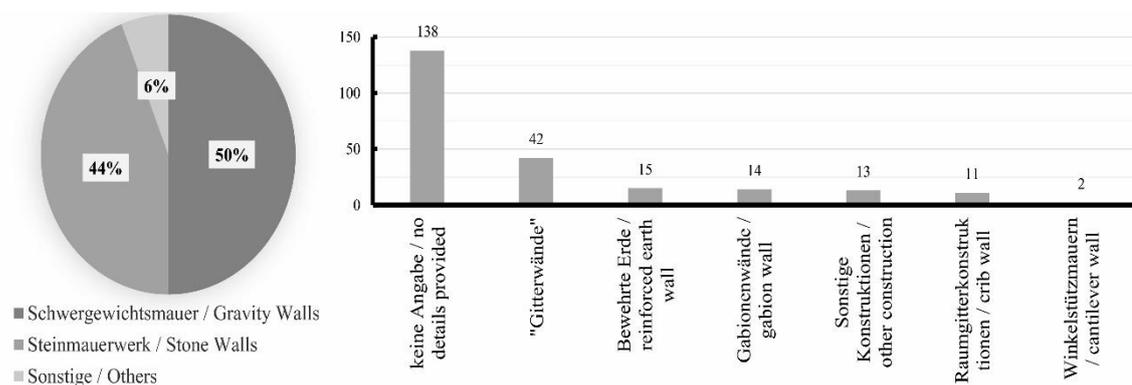


Abb. 12: Bestandsdaten Stützbauwerke Land Steiermark; Links: Aufteilung in drei Kategorien; Rechts: Aufschlüsselung zu Sonstige (Nöhner *et al.*, 2019)

Aus Abb. 12 ist zu erkennen, dass sich der Großteil der Bestandsstützbauwerke neben Schwergewichtsmauern und Steinschichtungen aus sich im Allgemeinen gutmütig verhaltenden Konstruktionen (vgl. Kapitel 2) wie Gitterwänden, Steinmauerwerke, Gabionen und Bewehrte Erde - Konstruktionen zusammensetzt. Ebenfalls lässt sich aus dieser Darstellung erkennen, dass zu einigen Bauwerken bisher keine Informationen über den Bauwerkstyp bzw. die Kategorie (siehe Kategorie „keine Angabe“) vorhanden sind.

Bei einer solchen Anzahl an Stützbauwerken lässt sich auch errechnen, dass nach den Anforderungen der RVS (vgl. Kapitel 3.2) jährlich ca. 1.120 Kontrollen und 370 Prüfungen durch das Land Steiermark durchzuführen wären. Dies ist mit den momentan vorhandenen Ressourcen (Personal und Geld), wenn überhaupt, nur bedingt umsetzbar. (Nöhner *et al.*, 2019)

## **5.3 Entwicklung einer Methode zum Risikomanagement von Straßenzügen und Einzelbauwerken**

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf einem Teil der in den ÖGG „Empfehlungen zur vertieften Prüfung und Beurteilung bestehender, unverankerter Stützbauwerke“ (ÖGG, 2018) angeführten Vorgehensweisen zur vereinfachten Risikobewertung (vgl. Kapitel 4.4), und wurden unter Berücksichtigung der Anforderungen und Randbedingungen des Landes Steiermark erweitert.

Das Ziel dieser Arbeit ist es eine Methode zu entwickeln, die es ermöglicht das von einem bestehenden Stützbauwerk ausgehende Risiko zu ermitteln, um darauf aufbauend ein weiteres Vorgehen festzulegen. Da dies bei der vorhandenen Menge an Stützbauwerken (siehe Kapitel 5.2) – sowohl in der Steiermark als auch in anderen Bundesländern – zu einem sehr großen Ressourcenbedarf führen würde, kann es sinnvoll sein, vorab eine Risikobewertung nach Straßenzügen durchzuführen. Aufbauend auf einer hieraus resultierenden Risikomaßzahl kann anschließend das weitere Vorgehen geplant werden, wodurch Ressourcen effizienter genutzt und eingesetzt werden können. Die Möglichkeit der Erarbeitung einer Risikomaßzahl für Einzelbauwerke ist parallel möglich, da eine genaue Einzelbegutachtung oftmals unerlässlich ist. Die nachfolgend behandelten Inhalte sollen dazu dienen, die erforderlichen Randbedingungen zu schaffen und die umzusetzenden Prozesse und Arbeitsschritte bei der Durchführung eines derartigen Risikomanagements darzustellen.

- **Straßenzug**

Unter einem Straßenzug wird in dieser Arbeit im Allgemeinen eine Strecke oder eine gesamte Straße, welche grundsätzlich von Knotenpunkt zu Knotenpunkt reicht, verstanden. Diese Straßenzüge sind einmalig zu definieren bzw. werden aus dem Straßennetz des Erhalters übernommen. In einigen Fällen können jedoch auch nur Teilbereiche bzw. ein Abschnitt einer Strecke gemeint sein. In Ausnahmefällen kann auch ein Einzelbauwerk als Straßenzug betrachtet werden, und zwar dann, wenn keine vertiefte Beurteilung gewünscht ist.

- **Einzelbauwerk**

Bei einem Einzelbauwerk handelt es sich im Zusammenhang mit dieser Arbeit um ein einzelnes, freistehendes Stützbauwerk, welches nicht mit anderen Ingenieurbauwerken in Kontakt steht. Generell ist anzumerken, dass ein Straßenzug mehr als nur ein Einzelbauwerk beinhaltet, um als solcher zu gelten. Auch ist zu beachten, dass stark ändernde Randbedingungen eine Abgrenzung des Straßenzuges in Einzelabschnitte erfordern.

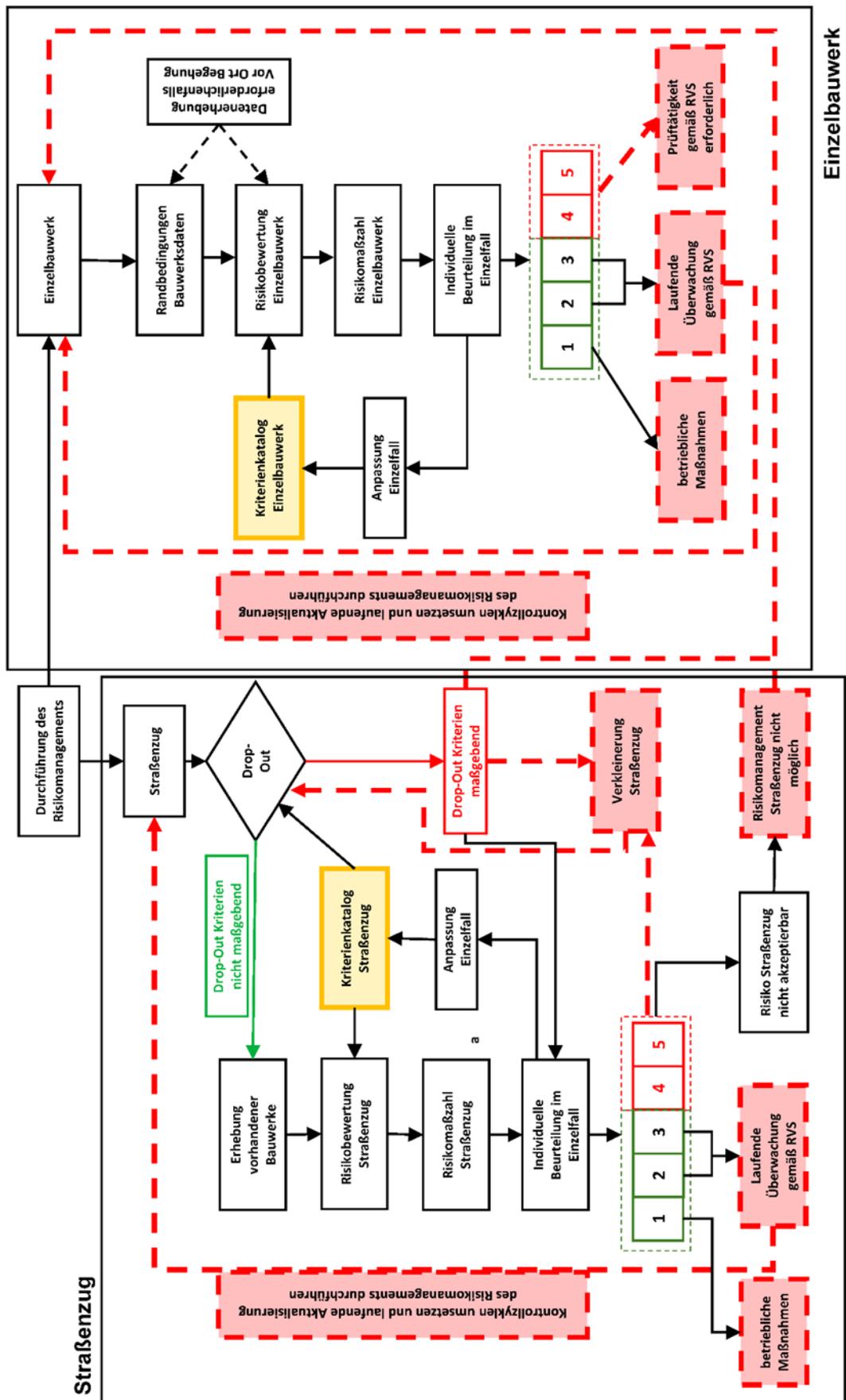


Abb. 13: Flussdiagramm zur Umsetzung einer neuen Methode zur Risikobewertung

In Abb. 13 ist ein Flussdiagramm zur Umsetzung eines Risikomanagements bei bestehenden Stützbauwerken dargestellt. In diesem wird in erster Linie der Ablauf sowie das Vorgehen bei der Risikobewertung dargestellt. Mit nachfolgenden Beschreibungen wird die Vorgehensweise des Flussdiagramms näher ausgeführt. Hierzu werden die in Abb. 14 dargestellten Einteilungen und Bereiche näher beschrieben und veranschaulicht.

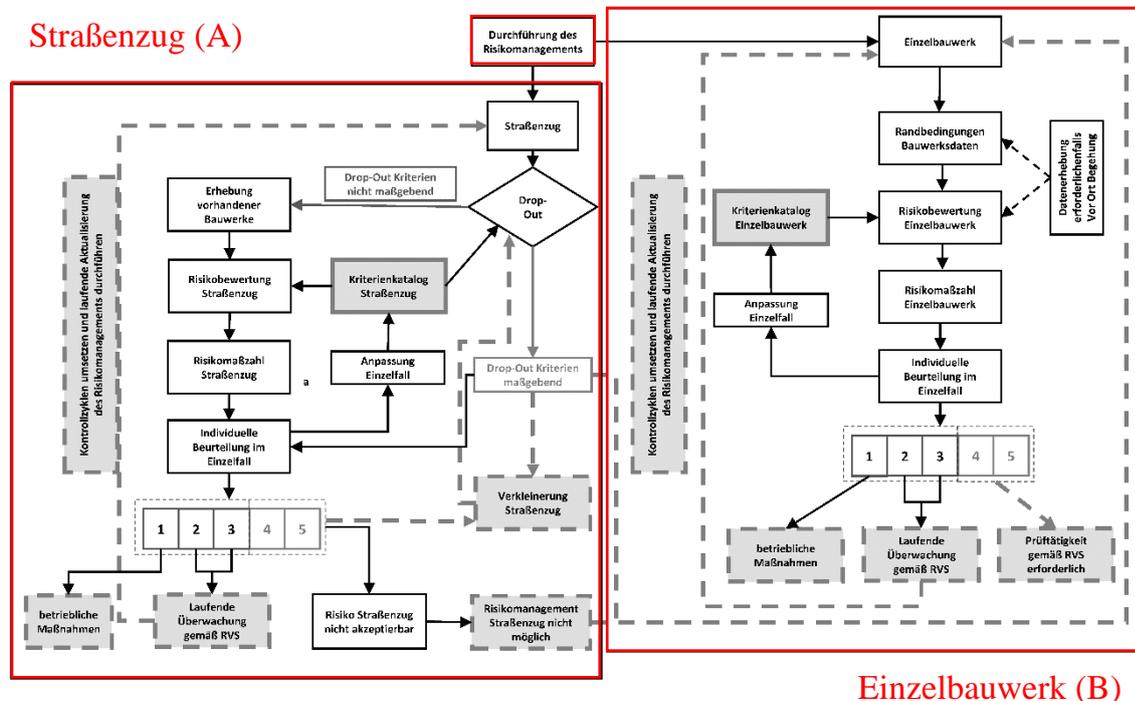


Abb. 14: Einteilung des Flussdiagramms

Nach dem Einstieg durch die Entscheidung zur „Durchführung eines Risikomanagements“ ist das Flussdiagramm in zwei Teilbereiche gegliedert:

- (A) Straßenzug: Hier finden sämtliche Entscheidungen, Arbeitsabläufe und Bewertungen im Zusammenhang mit einem gesamtheitlich betrachteten Straßenzug statt. Möglich ist dieses vereinfachte Vorgehen bei Vorliegen der definierten Kriterien vom Kriterienkatalog Straßenzug (vgl. ÖGG, 2018). Dies soll Rückschlüsse vom Straßenzug auf die einzelnen Objekte ermöglichen und eine schnelle und übersichtliche Erarbeitung einer großflächigen Risikoeinschätzung ergeben.
- (B) Einzelbauwerk: Neben der Durchführung eines Risikomanagements für den gesamten Straßenzug ist es auch von Beginn – und damit ohne Untersuchung des gesamten Straßenzuges – möglich, das Risikomanagement für Einzelbauwerke durchzuführen.

Die Bereiche Straßenzug und Einzelbauwerk stehen miteinander in Verbindung (siehe Abb. 14). Ein einzelnes Stützbauwerk kann aufgrund von Ausschlusskriterien (5.4.4 Drop-Out Kriterien) für die Beurteilung aus einem Straßenzug ausgeschlossen werden. Dabei wird der Straßenzug an diesem Bauwerk beendet, das Bauwerk wird zur separaten Bewertung ein eigener Straßenzug.

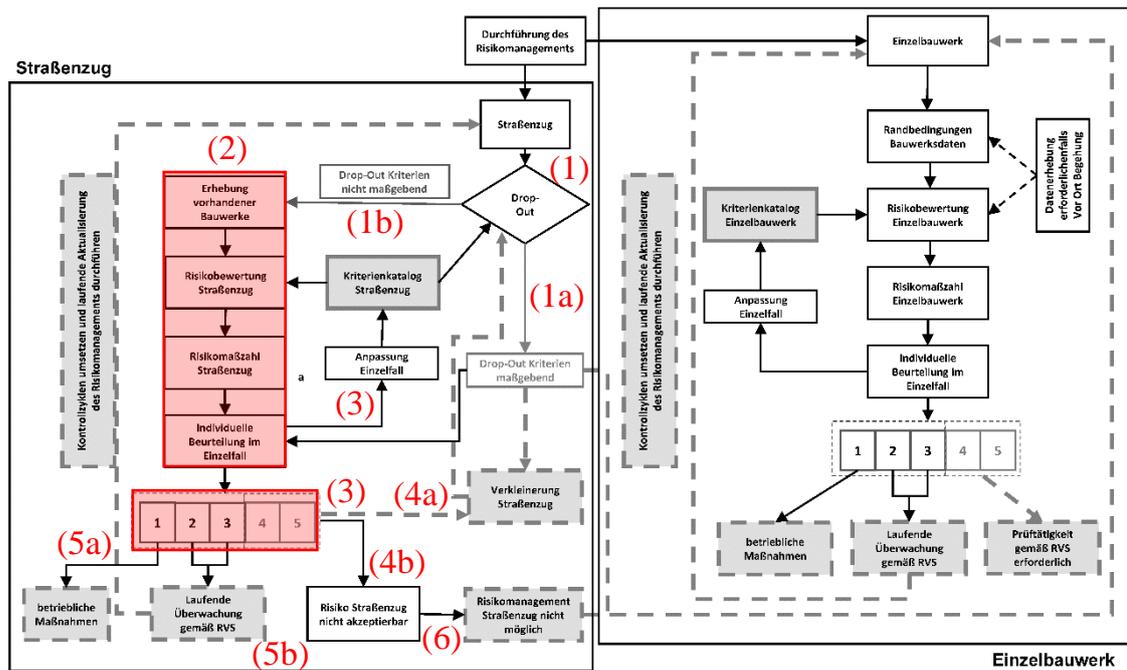


Abb. 15: Bereich Straßenzug des Flussdiagramms

Der Arbeitsfluss für den Straßenzug in Abb. 15 stellt sich wie folgt dar:

- (1) Durch eine Drop-Out-Untersuchung soll aufbauend auf den Inhalten und Randbedingungen vom definierten Kriterienkatalog „Straßenzug“ (Kapitel 5.4.2) untersucht werden, ob (und unter welchen Einschränkungen) ein Risikomanagement des gesamten Straßenzuges möglich ist.
- (2) Ist die Erarbeitung eines Risikomanagements für einen Straßenzug lt. Drop-Out Untersuchung möglich (1b), so wird hierzu mit der Erhebung der vorhandenen Bauwerke begonnen. Weiters wird die Risikobewertung des Straßenzuges aufbauend auf dem Kriterienkatalog „Straßenzug“ erstellt.
- (3) Dieser Ablauf (2) resultiert in einer Risikomaßzahl (RMZ) für den betrachteten Straßenzug. Diese kann einen Wert von 1 (geringes Risiko mit Konsequenz (5a)) bis 5 (hohes Risiko mit Konsequenz (4a) oder (6)) annehmen. Aufbauend auf diesem Ergebnis sind nun die an diese Bewertung gekoppelten Vorgehensweisen zu wählen bzw. die daraus erforderlichen Tätigkeiten umzusetzen. In Ausnahmefällen kann die Risikobewertung ein nicht entsprechendes oder umsetzbares Ergebnis liefern. Hier kann eine „Anpassung im Einzelfall“ (3) durchgeführt werden. Über diese „Anpassung im Einzelfall“ bietet sich die Möglichkeit zur laufenden Anpassung der Parameter, wodurch das Flussdiagramm einen selbst-anpassenden Aspekt bekommt und über eine eigene „Wartung“ verfügt.
- (4) Liegt ein nicht akzeptierbares Risiko des Straßenzuges (Bewertung 4 und 5) vor, so ist nach dem vorliegenden Konzept lediglich ein Risikomanagement der Einzelbauwerke (4b) erlaubt. In Ausnahmefällen ist auch eine individuelle Entscheidung für das Stützbauwerk möglich. Dies führt jedoch unweigerlich dazu, dass alle Einzelbauwerke in diesem Straßenabzug

betrachtet werden müssten. Um Einzelbauwerke mit hohem Risiko adäquat betrachten zu können, kann eine Verkleinerung des Straßenzugs in Teilbereiche erfolgen (4a), wodurch aus einem Straßenzug mehrere, getrennt voneinander bewertbare, Straßenzüge werden.

- (5) Bei einem geringen und somit akzeptablen Risiko, welches von einem Straßenzug ausgeht (Bewertung 1 bis 3) besteht die Möglichkeit rein die betrieblichen Maßnahmen (5a) für die Stützbauwerke des Straßenzuges vorzunehmen (vgl. Rebhan, 2015; Bezeichnung als „gezielter Verfall“). Dies kann eine erhebliche Personal- und Kosteneinsparung bei möglichen (kurzfristigen) Einschränkungen der Nutzungsqualität und der Streckenverfügbarkeit mit sich ziehen. Ist dies nicht möglich oder sinnvoll, kann der Zustand – und damit das von einem Straßenzug ausgehende Risiko – durch die Umsetzung einer laufenden Überwachung nach RVS Richtlinien (5b) erfasst und sichergestellt werden.

Wie bereits aus Abb. 13 hervor geht, ist bei der Umsetzung einer laufenden Überwachung gemäß RVS Richtlinien eine stetige Aktualisierung und Anpassung des Risikomanagements für den Straßenzug geplant. Dies soll sicherstellen, dass eine dauerhafte Überwachung in diesem Bereich noch sinnvoll ist. Ebenso sind die Ergebnisse der laufenden Überwachung mit in das Risikomanagement aufzunehmen. Wenn diese Anpassung periodisch durchgeführt wird und funktioniert, ist es möglich, dass sich das System stets selbst integrativ „wartet“. Dadurch können neu erhaltene Erkenntnisse in die Kriterienkataloge eingearbeitet werden. Weitere Beschreibungen zu einem derartigen kontinuierlichen Verbesserungsprozess sind in Kapitel 6.2 angeführt.

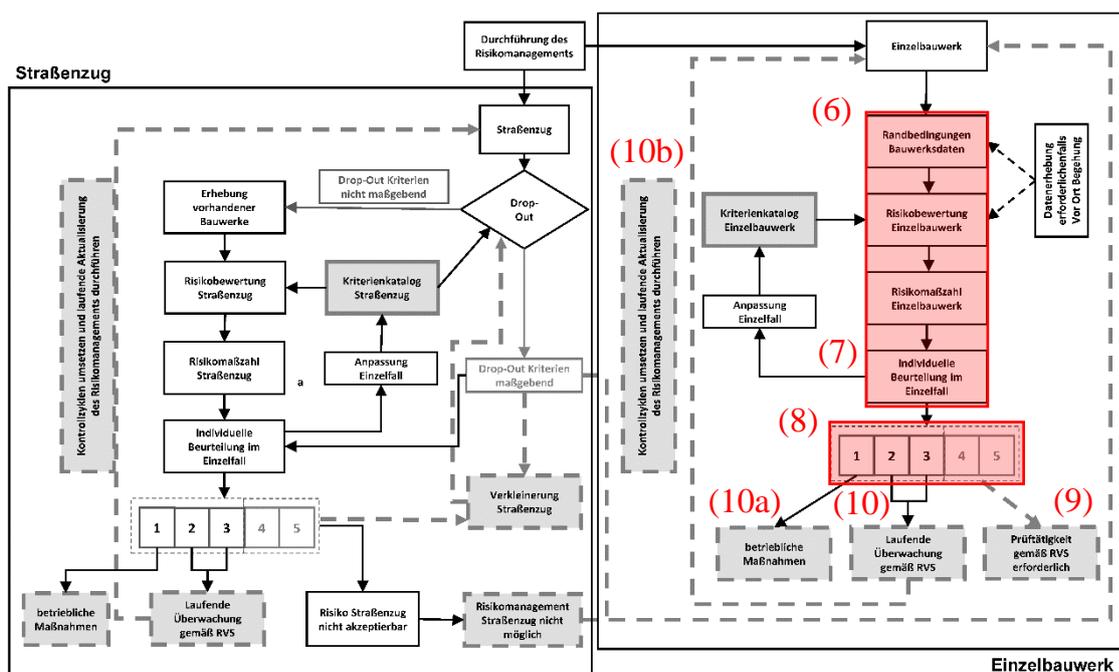


Abb. 16: Bereich Einzelbauwerk des Flussdiagramms

Der Arbeitsfluss für ein Einzelbauwerk in Abb. 16 stellt sich wie folgt dar:

- (6) Im Gegensatz zur Betrachtung eines gesamten Straßenzugs wird bei Einzelbauwerken auf die Drop-Out Untersuchung verzichtet, da hier bereits das Interesse einer vertieften Untersuchung vorliegt. Aus diesem Grund beginnt das Flussdiagramm unmittelbar mit der Ermittlung der Randbedingungen für das Einzelbauwerk. Ist diese vertiefte Untersuchung nicht gewünscht ist das Einzelbauwerk über das Flussdiagramm Straßenzug abzuarbeiten.
- (7) Die Risikobewertung für ein Einzelbauwerk wird durch zwei Bereiche definiert. Erstens wird eine vertiefte Untersuchung und Erhebung der Bauwerksdaten erforderlich und zweitens findet der Kriterienkatalog Einzelbauwerk (vgl. Kapitel 5.4.3) Anwendung. Das Ergebnis der Risikobewertung bildet die Risikomaßzahl (8) für das Einzelbauwerk.
- (8) Die Risikomaßzahl des Einzelbauwerks kann wiederum, ident mit jener des Straßenzuges, einen Wert von 1 bis 5 annehmen. Wurde die Risikobewertung durchgeführt und die entsprechende Risikomaßzahl ermittelt, gilt es das Stützbauwerk dem entsprechenden weiter vorgesehenen Verfahren zuzuführen.
- (9) Geht ein hohes Risiko (4 und 5) von einem Einzelbauwerk aus, so ist kein wie hier dargestelltes Risikomanagement für das Einzelbauwerk möglich. Hierdurch wird die Durchführung einer Prüftätigkeit gemäß RVS Richtlinien (9) mit der Umsetzung der darin definierten und geforderten Prüfzyklen sowie -anforderungen erforderlich.
- (10) Ist von einem geringen Risiko (1 bis 3) durch das Einzelbauwerk auszugehen, so sind mehrere Lösungsansätze möglich. Es kann, identisch dem Umgang mit gering risikobehafteten Straßenzügen, eine Reduktion der Erhaltungsmaßnahmen durch die Durchführung „betriebliche Maßnahmen“ am Einzelbauwerk (10a) in Kauf genommen werden. Oder es kann auch eine periodische Erhebung des Zustandes in Form einer laufenden Überwachung (10) nach RVS für das untersuchte Einzelbauwerk angestrebt und festgelegt werden.

Zwischen den Abläufen zur Erarbeitung eines Risikomanagements für einen Straßenzug und einem Einzelbauwerk besteht auch die Möglichkeit einer Überführung (vgl. Abb. 17) eines Objektes. Ergibt das Risikomanagement eines Straßenzuges, dass das vom Straßenzug ausgehende Risiko nicht akzeptabel ist, ist eine vertiefte Risikobewertung des Einzelbauwerks (4) möglich und anzustreben.

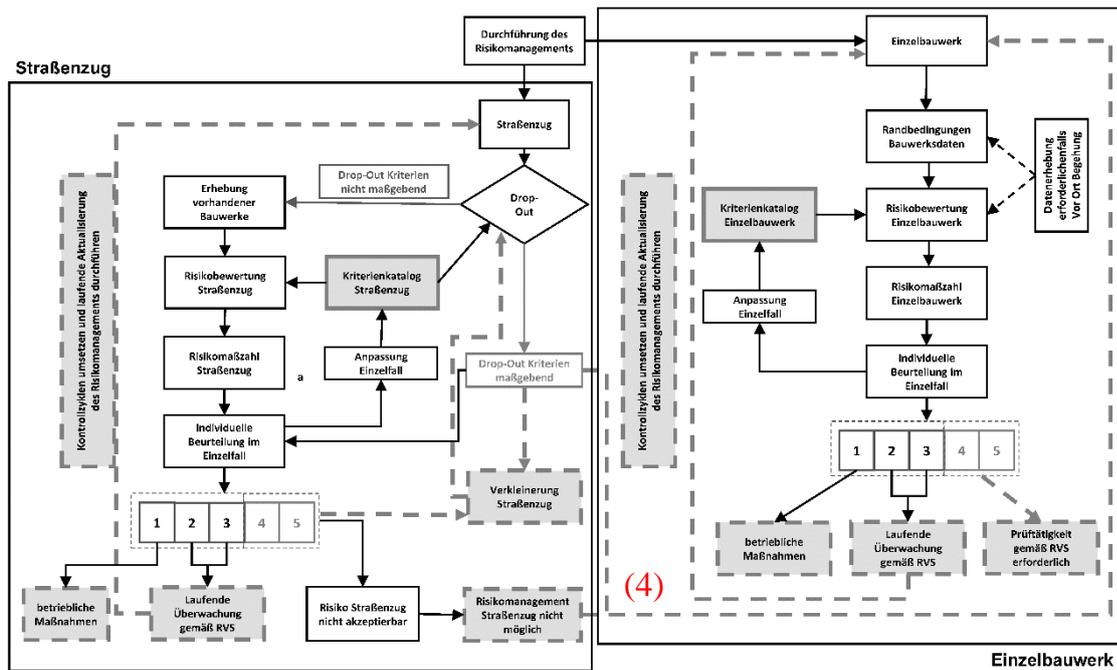


Abb. 17: Verbindung zwischen Straßenzug und Einzelbauwerk

## 5.4 Risikomaßzahl & Kriterienkataloge

Wie aus den Ausführungen zur Umsetzung einer neuen Methode zur Risikobewertung zu erkennen ist, sind sowohl für die Erarbeitung einer Risikomaßzahl für Straßenzüge wie auch für ein Einzelbauwerk unterschiedliche Kriterienkataloge erforderlich. Ziel dieser Kriterienkataloge ist es, die Randbedingungen und die hierfür erforderlichen Kriterien in einer Risikobewertung zusammenzufassen und aufzulisten. Wie aus Abb. 13 hervorgeht, sind mehrere Kriterienkataloge zur Erreichung dieser Ziele erforderlich. Einerseits bilden die Kriterienkataloge die Grundlage für die Drop-Out Untersuchung (Bewertung Straßenzüge). Andererseits werden die Kriterienkataloge sowie deren Bewertung und Gewichtung für die Risikobewertung und die Ermittlung der Risikomaßzahl der einzelnen Bauwerke herangezogen. Hier nachfolgend wird auf einige Bezeichnungen und Nomenklaturen im Zusammenhang mit den Kriterienkatalogen eingegangen.

- **Drop- Out Kriterien**

Durch den Drop-Out-Teil der Kriterienkataloge wird definiert, unter welchen Randbedingungen die Durchführung einer Risikobewertung nicht möglich ist. Das Drop-Out-Kriterium (5.4.4 Drop-Out Kriterien) tritt beispielsweise in Kraft, wenn eine zutreffende Einschätzung des Risikos nicht mehr möglich ist. Bei der Untersuchung eines Straßenzuges führen die Drop-Out Kriterien daher entweder zu einer Verkleinerung des Straßenzuges oder zu einem Abbruch der Risikobewertung für den Straßenzug. Beispielhaft für Drop-Out Kriterien kann die Hochrangigkeit eines Straßenzuges oder eine als kritisch geltende

Konstruktionsart sein. Dadurch wird mit der Anwendung von Drop- Out Kriterien einerseits sichergestellt, dass eine Risikobewertung unter den vorliegenden Randbedingungen und für den Untersuchungsbereich möglich ist. Andererseits wird ebenfalls ergänzend eine Erleichterung des Arbeitsablaufes erreicht, da eine nicht mögliche oder erforderliche Risikobewertung bereits im Vorfeld durch die Anwendung der Drop- Out Kriterien vorzeitig beendet wird.

- **Bewertungskriterien**

Nachdem Streckenzüge oder Einzelbauwerke, die ein potenziell hohes Risiko haben, ausgeschlossen sind, ist es nötig, das Risiko eines Objektes zu bestimmen. Hierzu dienen Bewertungskriterien, welche es ermöglichen, das vorliegende Risiko am Objekt zu bestimmen. Dazu werden bereits bekannte Schadensbilder oder definierte Randbedingungen validiert. Beispielhaft hierfür ist der Bauwerkstyp oder Ergebnisse der augenscheinlichen Erfassung des Erhaltungszustandes eines Bauwerkes. Weiters wird das etwaig vorhandene Wissen über die Konstruktion sowie vorhandene Planunterlagen etc. berücksichtigt und fließt in die Beurteilung ein. Die Bewertungskriterien werden in einem Kriterienkatalog gesammelt und spiegeln im Allgemeinen das bisherige Wissen und die Erfahrungen aus dem Umgang mit Bestandsbauwerken wieder. Zusätzlich können diese laufend adaptiert, ergänzt und angepasst werden, wodurch auf Änderungen und neue Erkenntnisse laufend und im Bedarfsfall eingegangen werden kann.

Durch die Anwendung dieser Bestandteile für die Bewertung eines Bauwerks soll sichergestellt werden, dass eine unter den vorliegenden Randbedingungen möglichst zutreffende Risikobewertung resultiert. Die Erfahrungen aus bereits eingetreten Schadensfällen und bekannten Risikobauwerkstypen können durch die Anwendung der Drop-Out Kriterien in die Risikobewertung einfließen. Parallel dazu wird von dem System die Bewertung eines Straßenzuges oder eines Einzelbauwerkes mit der Erfahrung und dem Wissen des Anwenders möglich, und die strategische Planung des Bauwerkserhalters kann einbezogen werden.

### 5.4.1 Ermittlung der Risikomaßzahl

Die Ermittlung der Risikomaßzahl setzt sich aus unterschiedlichen Faktoren zusammen. Einerseits kommen hierbei Drop-Out-Kriterien zur Anwendung, andererseits werden diese durch die Inhalte der Kriterienkataloge ergänzt bzw. erweitert. Zusätzlich können noch Angaben zu den vorhandenen Unterlagen (Pläne etc.) sowie die Priorität der Straße einfließen. Die Risikomaßzahl errechnet sich anhand der nachfolgenden Formel:

$$RMZ = \left[ (A * B) + \frac{\sum C}{\#C} \right] * D * E \quad (2)$$

Um die bereits in Punkt 5.4 beschriebenen Drop-Out-Kriterien in die Risikomaßzahl einfließen lassen zu können, werden hier die Variablen A und B eingeführt und verwendet, welche jeweils ein Drop-Out-Kriterium bilden. Ohne Unterschied der Anzahl an ausgewählten Drop-Out Kriterien fließen jeweils die zwei Drop-Out-Kriterien mit den größten Faktoren in die Berechnung ein.

- A Erstes Drop-Out Kriterium
- B Zweites Drop Out Kriterium

$$\lambda_1 = A * B \leq 1,00$$

Das Bauwerkskriterium dient als Einflussfaktor, der bauseits mittels einer visuellen Beurteilung durchgeführt wird. Hier wird einzig und allein das Risiko bewertet, das vom Bauwerk ausgeht. Der Kriterienkatalog wird in Kapitel 5.4.2 näher beschrieben sowie erläutert.

- C Bauwerkskriterium

$$0,20 \leq \lambda_2 \leq 1,00 = C$$

Durch das Beurteilungskriterium „Vorhandene Bauwerksunterlagen“ fließt zusätzlich das Vorhandensein von Unterlagen über ein Bauwerk mit in die Berechnung der Risikomaßzahl ein. Dies ermöglicht es, die Art der Konstruktion, die verbauten Materialien und die technischen Ausführungsdetails zu berücksichtigen. Kurz bezeichnet als „Wissenstand“ ermöglicht es eine genauere Beurteilung/Einschätzung des Bauwerkes.

- D 1,00 wenn keine Unterlagen vorhanden sind
- D 0,75 wenn Unterlagen bedingt vorhanden sind
- D 0,50 wenn Unterlagen vorhanden sind

$$0,50 \leq D \leq 1,00$$

Mit der Priorität der Straße wird die „Wichtigkeit“ bzw. der Rang der Straße bewertet. Diese fließt in die Risikomaßzahl als Entscheidungsgrundlage mit ein. Die Priorität der Straße wird über fünf Kategorien, welche durch das Land Steiermark mit der Kategorisierung des Landesstraßennetzes (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2010) definiert wurden, angesetzt. In Abhängigkeit der angeführten Kategorie werden für diesen Parameter Werte zwischen 1,00 (großräumige Verbindungsfunktion) und 0,20 (kleinräumige und lokale Verbindungsfunktion) vergeben.

$$0,20 \leq E \leq 1,00$$

Mit den vorangegangenen Werten (A bis E) wird nun die Risikomaßzahl unter Zuhilfenahme von Formel (1) ermittelt. Hieraus ergeben sich folgende Möglichkeiten für die ermittelte Risikomaßzahl:

- **Maximalwert**

$$R = [(1,00 * 1,00)] + \frac{1,00}{1,00} * 1,00 * 1,00 = 2,00 = \text{"Beurteilung 5"}$$

- **Minimalwert**

$$R = [(0,50 * 0,50)] + 0 * 0,50 * 0,20 = 0,025 = \text{"Beurteilung 1"}$$

### Ausnahmefall für den Maximalwert

Der Maximalwert kann unter einer Bedingung anders ermittelt werden als vorangegangen beschrieben. Diese Bedingung ist, dass die Betrachtungen der Bewertungskriterien von A, B und C hoch sind. Unter Betrachtung von Formel (2) ist dann nur noch der eckige Klammerausdruck (vgl. Kapitel 5.5 2)), ohne D und E, für die Ermittlung relevant.

## 5.4.2 Kriterienkatalog Straßenzug

Tab. 1: Kriterienkatalog Straßenzug

#	Kriterium	Faktor C <sub>i</sub>
S1	Rang der Straßen nach Kategorisierung Landesstraßennetz	1,00
	Kategorie A / B	1,00
	Kategorie C1	0,80
	Kategorie C2	0,60
	Kategorie D	0,40
	Kategorie E	0,20
S2	Winkelstütz- und Spornmauern	1,00
S3	Stützbauwerke mit einer Höhe größer als 8,00 m über Geländeoberkante	1,00
S4	Einzelbauwerke in einem Streckenabschnitt, an welchen in den letzten drei Jahren mehr als zweimal der Einsatz des Streckendienstes oder ähnliches erforderlich war	0,75
S5	Bauwerke, deren Art und Typ nicht eindeutig bekannt sind	0,75
S6	Strecken, welche direkt entlang Stützbauwerken errichtet sind, oder welche durch Bauwerke direkt am Straßenrand gesichert werden	0,75
S7	Abstand der Stützkonstruktionen zur Straße im Verhältnis zur Höhe des Bauwerkes kleiner als 0,50	0,75
S8	Abstand der Stützkonstruktionen zur Straße im Verhältnis zur Höhe des Bauwerkes kleiner als 0,75	0,50

### 5.4.3 Kriterienkatalog Einzelbauwerk

Tab. 2: Kriterienkatalog Einzelbauwerk

#	Kriterium	Faktor $C_i$
T1	Geankerte Konstruktionen	1,00
T2	Winkelstützmauern mit einer Höhe über 2,50 m	1,00
T3	Spornmauern	1,00
T4	Steinschichtungen mit Steinen aus XXX mit einem Errichtungszeitpunkt zwischen 19XX und 20XX	1,00
T5	Bauwerke, welche an eine Straße mit einem Abstand von weniger als 1,00 m angrenzen	1,00
T6	Fehlende Absturzsicherung	1,00
T7	Abstand der Stützkonstruktion zur Straße im Verhältnis zur Höhe des Bauwerkes kleiner als 0,50	0,75
T8	Abstand der Stützkonstruktion zur Straße im Verhältnis zur Höhe des Bauwerkes kleiner als 0,75	0,50
T9	Talseitig, direkt an die Straße angrenzendes Bauwerk	1,00
T10	Talseitig, in einem Verhältnis Abstand zur Straße zu Höhe größer als 1,00	0,75
T11	Talseitig, in einem Verhältnis Abstand zur Straße zu Höhe größer als 1,50	0,50
T12	Bauwerk, bei dessen Kollaps andere Bauwerke direkt gefährdet werden	1,00
T13	Bauwerk, dessen Kollaps zu einer erheblichen Einschränkung der Nutzung im Nahebereich führt	0,75
T14	Bauwerke, bei welchen in den letzten zwei Jahren vermehrt (mehr als dreimal) Einsätze des Streckendienstes erforderlich waren	0,50
A1	Nachverdichtungseffekte im Straßenbereich (z.B. Absackungen) sind ersichtlich	0,50
A2	Entwässerungseinrichtungen sind nicht vorhanden oder funktionsunfähig	1,00
A3	Entwässerungseinrichtungen des Bauwerkes sind nicht ersichtlich oder sind teilweise funktionsunfähig	0,75
A4	Oberflächenwasser hinter dem Bauwerk werden nicht sachgerecht und gesammelt abgeführt	0,75
A5	Anhäufungen von Schäden sind in einem (eingegrenzten) Bereich des Bauwerkes anzutreffen und lassen daher auf eine Veränderung der Lastableitung oder Lastumlagerung schließen	0,75
A6	Im Umfeld eines Bauwerkes sind geotechnische Versagensbilder, wie etwa Sackungen, Hanganrisskanten oder Feuchtstellen ersichtlich	0,75

Tab. 3: Kriterienkatalog Einzelbauwerk - Fortsetzung

#	Kriterium	Faktor $C_i$
A7	Dichter und großflächiger Bewuchs macht eine eindeutige visuelle Kontrolle des Bauwerkes unmöglich	0,50
A8	Dichter Bewuchs führte zu erheblichen Schäden an der Konstruktion (Wurzeldruck, etc.)	0,75
B1	Großflächige Korrosionsschäden an der Oberfläche des Bauwerkes sind zu erkennen – durch freiliegende Bewehrung oder Rostfahnen aus Rissen und Abplatzungen	0,75
B2	Bauwerke mit großen Längsabmessungen weisen eine vermehrte Anzahl an Schäden (Betonabplatzungen oder Verkantungen) im Bereich von Bauwerks- und Ausdehnungsfugen auf	0,50
B3	Große Risse lassen auf eine Überbeanspruchung des Bauwerkes schließen	0,75
D1	Zu geringe Betondeckungen bei Läufern und Bindern, welche sich durch Risse, oder Rostfahnen an der Oberfläche zeigen	0,75
D2	Trennrisse bei Bindern, welche zu einem Verlust der Lasteinleitung führen	0,75
D3	Ungleichmäßige Verformungen an der Krone, welche auf eine unregelmäßige Beanspruchung oder eine ungenügende Fundierung hinweisen	0,50
D4	Ausrieselungen großer Mengen an Füllmaterial aus den Silozellen der Raumbinderkonstruktionen	0,50
H1	Konstruktionen, welche für die Sicherung von Kriechhängen oder Massenbewegungen verwendet werden	1,00
H2	Tiefe der Einbindung, sowie die genaue Art der Lastabtragung sind nicht bekannt	1,00
H3	Ausfachungen oder Gewölbe zwischen aufgelösten Konstruktionen sind nicht durch Steinmaterialien- oder Spritzbeton gesichert	0,75
H4	Horizontale Riegel (Kopfbalken der ähnlichen) sind nicht vorhanden	0,75

### 5.4.4 Drop-Out Kriterien

Ident zu den unter Kapitel 5.4.2 und 5.4.3 angeführten Kriterienkatalogen definiert die nächste Tabelle ebenso diverse Kriterien. Bei der nachfolgend aufgeführten Liste handelt es sich um Drop-Out Kriterien, die eine starke Auswirkung auf die RMZ haben bzw. zu einem unmittelbaren Ausscheiden eines gesamten Straßenzuges führen können.

Tab. 4: Drop-Out-Kriterien

#	Kriterium	Drop-Out
S1a	Rang der Straßen nach Kategorisierung Landesstraßennetz	1,00
S1b	Kategorie A / B	1,00
S2	Winkelstütz- und Spornmauern	1,00
S3	Stützbauwerke mit einer Höhe größer als 8,00 m über Geländeoberkante	1,00
T1	Geankerte Konstruktionen	1,00
T2	Winkelstützmauern mit einer Höhe über 2,50 m	1,00
T3	Spornmauern	1,00
T4	Steinschlichtungen mit Steinen aus XXX mit einem Errichtungszeitpunkt zwischen 19XX und 20XX	1,00
T5	Bauwerke, welche an eine Straße mit einem Abstand von weniger als 1,00 m angrenzen	1,00
T6	Fehlende Absturzsicherung	1,00

### 5.4.5 Ergebnisse der Risikobewertung

Wie die Randbedingungen bei der Ermittlung der Risikomaßzahl zeigen, kann die Risikomaßzahl (rein theoretisch) eine Bandbreite von 0,025 (Minimalwert für Beurteilung 1) bis 2,00 (Maximalwert für Beurteilung 5) annehmen. Neben der Kenntnis des vom Bauwerk ausgehenden Risikos ist in weiterer Folge auch das Wissen um die damit verbundenen Tätigkeiten und Anforderungen wichtig.

Beurteilung	1	2	3	4	5
RMZ	< 0,50	0,50 – 0,75	0,75 – 1,25	1,25 – 1,50	1,50 - 2,00
Risiko	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
Handlungsanweisungen	betriebliche Maßnahmen	Laufende Überwachung		RVS - Prüftätigkeit (ergänzend zu „Laufende Überwachung“)	
	-	verstärkte Überwachung	1 x Jahr	verkürzestes Prüfintervall	normales Prüfintervall

Abb. 18: Übersicht des Beurteilungsergebnisses, des Risikos und der erforderlichen Maßnahmen (adaptiert nach Nöhner *et al.*, 2019)

Die oben angeführte Tabelle zeigt einen hierzu möglichen Ansatz und bietet eine übersichtliche und rasch nachvollziehbare Darstellung über das Zusammenspiel von RMZ, der daraus resultierenden Beurteilung und den wiederum daraus abzuleitenden Handlungsanweisungen in Abhängigkeit der Risikomaßzahl RMZ (zweite Zeile). In gewissem Maße entspricht diese sicherlich auch einer Beurteilung nach RVS (FSV, 2014) und soll als Stütze für den Bauwerkserhalter zur Verfügung stehen.

Bei Bauwerken mit einem sehr geringen Risiko kann davon ausgegangen werden, dass lediglich betriebliche Maßnahmen, welche im Zuge des Streckendienstes umgesetzt werden können, erforderlich sind, um den Erhaltungszustand des Bauwerkes zu „konservieren“ und damit ein Ansteigen des Risikos zu unterbinden. Bei einem geringen bis mittleren Risiko ist die planmäßige Durchführung der laufenden Überwachung nach RVS als sinnvoll zu betrachten. Damit besteht – in Abhängigkeit der Durchführungsintervalle - die Möglichkeit, eine Zustandsveränderung des Bauwerkes und eine damit einhergehende Zunahme des Risikos sehr rasch zu erkennen. Daraus folgend können gegebenenfalls erforderliche Gegenmaßnahmen (Neubeurteilung des Risikos, kleinere Instandsetzungsmaßnahmen) frühzeitig veranlasst werden, um einer Verschlechterung des Erhaltungszustandes entgegenzuwirken.

Bei Bauwerken, von welchen auf Grund des in dieser Arbeit vorgestellten Risikomanagements von einem hohen bis sehr hohen Risiko ausgegangen werden kann, ist auf Grund der Relevanz des Bauwerkes und der möglichen Folgen die Beibehaltung der bisherigen RVS Kontroll- und Prüftätigkeiten anzuraten.

### 5.4.6 Schematische Beispiele zur Ermittlung der Risikomaßzahl

Um den unter Punkt 5.3 und 5.4 erläuterten Ablauf zu veranschaulichen, werden nachfolgend einige schematische Beispiele zur Erfassung der Risikomaßzahl bei Stützbauwerken angeführt. In diesem Abschnitt wird gezeigt, welchen Einfluss die Bewertungskriterien bzw. die weiteren zur Ermittlung der Risikomaßzahl eingesetzten Faktoren auf die Beurteilung und die daraus abgeleiteten Maßnahmen haben können.

- **Beispiel 1:**

Erste Einschätzung des Bauwerks und Lage:

- niedriger Rang der Straße
- Entfernung zur Straße >
- „gutmütiges“ Versagen der Konstruktion wird vorliegen



Abb. 19: Links: Steinschlichtung, geringe Höhe; Rechts: Detail Steinschlichtung

Tab. 5: Risikomaßzahl zu Beispiel 1

Beschreibung	Faktor	#
Abstand >>	A/B	0,00
Keine / kleinere Schäden	C	0,25
Keine Unterlagen vorhanden	D	1,00
Ranghohe Straße	E	1,00
<b>Risikomaßzahl</b>	<b>RMZ</b>	<b>0,25</b>

Wie bereits die erste Einschätzung zeigt, ist bei diesem Objekt von einem sehr geringen Risiko auszugehen. Folglich wären an einem derartigen Bauwerk lediglich betriebliche Maßnahmen erforderlich, um das Risiko, das vom Bauwerk ausgeht, gering zu halten und die Sicherheit der Straße zu gewährleisten.

- **Beispiel 2**

Erste Einschätzung des Bauwerks und Lage:

- mittlerer Rang der Straße
- Entfernung zur Straße <<
- „gutmütiges“ Versagen der Konstruktion
- leichte Verformungen



Abb. 20: Links: Steinschichtung mittlere Höhe, unmittelbar neben der Straße; Rechts: Detailaufnahme Bewuchs der Steinschichtung

Tab. 6: Risikomaßzahl zu Beispiel 2

Beschreibung	Faktor	#
Abstand <<	A/B	1,00
Keine / kleinere Schäden	C	0,50
Ausbauchungen	C	1,00
Drainage / Hangwässer	C	0,75
Keine Unterlagen vorhanden	D	1,00
Mittlerer Rang der Straße	E	0,60
<b>Risikomaßzahl</b>	<b>RMZ</b>	<b>1,05</b>

Da es sich hier um eine Steinschichtung handelt, welche zwar unmittelbar neben der Straße situiert ist, allerdings einen sehr „gutmütigen“ Versagensmechanismus aufweisen wird, erreicht das Bauwerk eine RMZ von 1,05. Das Fehlen von Unterlagen wirkt sich zwar negativ auf die Beurteilung der Konstruktion aus, jedoch wird „nur“ ein mittleres Risikoniveau erreicht. Die Durchführung einer laufenden Kontrolle in einem zeitlichen Abstand von einer Woche durch den dort ansässigen Streckendienst kann als ausreichend erachtet werden. Eine geringfügige Verschlechterung des Erhaltungszustandes bzw. eine Änderung anderer Kriterien kann zu einer signifikanten Erhöhung des Risikos führen.

- **Beispiel 3**

Erste Einschätzung des Bauwerks und Lage:

- mittlerer Rang der Straße
- Entfernung zur Straße <<
- „gutmütiges“ Versagen der Konstruktion
- leichte Verformungen
- einzige Zufahrtsmöglichkeit



Abb. 21: Links: Steinschichtung mittlere Höhe, unmittelbar neben der Straße; Rechts: Detailaufnahme Bewuchs der Steinschichtung

Tab. 7: Risikomaßzahl zu Beispiel 3

Beschreibung	Faktor	#
Abstand <<	A/B	1,00
Keine / kleinere Schäden	C	0,50
Ausbauchungen (gering)	C	1,00
Drainage / Hangwässer	C	0,75
Keine Unterlagen vorhanden	D	1,00
Mittlerer Rang der Straße/ jedoch einzige Zufahrt	E	1,00
<b>Risikomaßzahl</b>	<b>RMZ</b>	<b>1,75</b>

Beispiel 3 wurde ident zu Beispiel 2 ausgewertet, jedoch wurde in der Ermittlung der Risikomaßzahl berücksichtigt, dass es sich bei der Straße, an der sich das Bauwerk befindet, um die einzige Zufahrtsmöglichkeit für eine gewisse Region handelt. Aus diesem Grund wurde der Faktor E mit dem Wert 1,00 (anstelle 0,60) beziffert. Hieraus resultiert ein deutlich höheres Risiko und daraus folgend die Forderung nach einer Kontroll- und Prüftätigkeit nach RVS für dieses Bauwerk.

- **Beispiel 4**

Erste Einschätzung des Bauwerks und Lage:

- ranghohe Straße
- Bewuchs
- Schäden und Mängel an der Entwässerung



Abb. 22: Links Gewichtskonstruktion mit Vorsatzschale; Rechts: Detailbild der Entwässerung im Fußpunkt

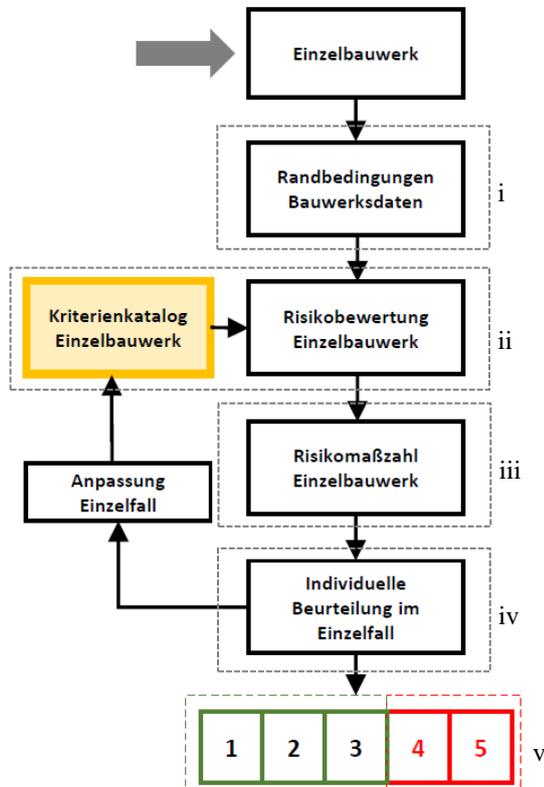
Tab. 8: Risikomaßzahl zu Beispiel 4

Beschreibung	Faktor	#
Abstand <<	A	1,00
Höhe	B	1,00
Kleinere Schäden	C	0,50
Schäden Vorsatzschale	C	0,75
Entwässerung defekt	C	1,00
Bewuchs und Gelände	C	0,75
Keine Unterlagen vorhanden	D	1,00
Ranghohe Straße	E	1,00
<b>Risikomaßzahl</b>	<b>RMZ</b>	<b>1,75</b>

Das vierte Beispiel zeigt, dass das Risikomanagement auch für sehr hochrangige Strecken und Bauwerke mit einem großen Risiko anwendbar ist. Dieses Beispiel beschreibt eine sehr hohe und nahe an der Straße platzierte Gewichtskonstruktion, welche bereits erhebliche Mängel im Bereich des Bewuchses, der Entwässerung und des allgemeinen Erhaltungszustandes aufweist.

## 5.5 Zusammenfassung sowie Ablaufdarstellung einer Risikobewertung für ein Einzelbauwerk

### 1) Ablaufplan



- i) Erhebung der Bauwerksdaten
- ii) Erstellung der Risikobewertung unter Anwendung des Kriterienkataloges
- iii) Ermittlung der Risikomaßzahl
- iv) Erforderliche Anpassung Einzelfall
- v) Beurteilung des Bauwerksrisikos

### 2) Ermittlung Risikomaßzahl

Als erstes wird eine Kontrolle der Anwendbarkeit durchgeführt:

$$\left[ (A * B) + \frac{\sum C_i}{\#C} \right] \leq ! 1,75$$

Ist obige Bedingung nicht erfüllt, liegt automatisch eine Beurteilung mit der Note 5 vor, und eine Prüftätigkeit nach RVS ist erforderlich. Ist obige Bedingung erfüllt, so kann die Risikomaßzahl auf Grundlage folgender Formel ermittelt werden:

$$RMZ = \left[ (A * B) + \frac{\sum C_i}{\#C} \right] * D * E$$

Dabei fließen folgende Faktoren in die Berechnung ein:

A / B	Drop-Out Kriterien
C	Bauwerkskriterien
D	Unterlagen zum Bauwerk
E	Rang der Straße

Das Ergebnis der Risikomaßzahl kann in folgendes verbales und nach dem Schulnotensystem gegliedertes Beurteilungsschema unterteilt werden:

RMZ	< 0,50	0,50 – 0,75	0,75 – 1,25	1,25 – 1,50	1,50 – 2,00
Risiko	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
Beurteilung	1	2	3	4	5

### 3) Erforderliche Tätigkeiten

Mit der RMZ und der daraus folgenden Beurteilung ergeben sich folgende, erforderliche Tätigkeiten für den Bauwerkserhalter:

Beurteilung	erforderliche Tätigkeit
1	Betriebliche Maßnahmen zur Sicherstellung des Erhaltungszustandes
2	Laufende Überwachung – verstärkter Zyklus
3	Laufende Überwachung – einmal jährlich
4	Kontroll- bzw. Prüftätigkeit gemäß RVS mit einem verkürzten Prüfintervall
5	Kontroll- bzw. Prüftätigkeit gemäß RVS mit einem normalen Prüfintervall

Die erforderlichen Tätigkeiten bzw. die damit verbundenen Aufgaben und Handlungsanweisungen sind erforderlichenfalls an die Gegebenheiten bzw. die Entwicklungsplanung des Bauwerkserhalters anzupassen.

### 4) Kriterienkatalog

Der Kriterienkatalog gibt Faktoren für die zur Ermittlung der Risikomaßzahl erforderliche Bauwerkskriterien an. Drop-Out Kriterien sind durch ein Symbol (\*) gekennzeichnet.



#	Kriterium	Faktor C <sub>i</sub>
T1	Geankerte Konstruktionen	1,00 *
T2	Winkelstützmauern mit einer Höhe über 2,50 m	1,00 *
T3	Spornmauern	1,00 *
T4	Steinschichtungen mit einem Errichtungszeitpunkt zwischen 19XX und 20XX	1,00 *
T5	Bauwerke, welche an eine Straße mit einem Abstand von weniger als 1,00 m angrenzen	1,00 *
T6	Fehlende Absturzsicherung	1,00 *
T6	Abstand Stützkonstruktion zur Straße im Verhältnis zur Höhe des Bauwerkes kleiner als 0,50	0,75
T7	Abstand Stützkonstruktion zur Straße im Verhältnis zur Höhe des Bauwerkes kleiner als 0,75	0,50
T8	Talseitig, direkt an die Straße angrenzendes Bauwerk	1,00
T9	Talseitig, in einem Verhältnis Abstand zur Straße zu Höhe größer als 1,00	0,75
T10	Talseitig, in einem Verhältnis Abstand zur Straße zu Höhe größer als 1,50	0,50
T11	Bauwerk, bei dessen Kollaps andere Bauwerke direkt gefährdet werden	1,00
T12	Bauwerk, dessen Kollaps zu einer erheblichen Einschränkung der Nutzung im Nahebereich führt	0,75
T13	Bauwerke, bei welchen in den letzten zwei Jahren vermehrt (mehr als dreimal) Einsätze des Streckendienstes erforderlich waren	0,50
A1	Nachverdichtungseffekte im Straßenbereich (z.B. Absackungen) sind ersichtlich	0,50
A2	Entwässerungseinrichtungen sind nicht vorhanden oder funktionsunfähig	1,00
A3	Entwässerungseinrichtungen des Bauwerkes sind nicht ersichtlich oder sind teilweise funktionsunfähig	0,75
A4	Oberflächenwasser hinter dem Bauwerk werden nicht sachgerecht und gesammelt abgeführt	0,75
A5	Anhäufungen von Schäden sind in einem (eingegrenzten) Bereich des Bauwerkes anzutreffen und lassen daher auf eine Veränderung der Lastableitung oder Lastumlagerung schließen	0,75
A6	Im Umfeld eines Bauwerkes sind geotechnische Versagensbilder, wie etwa Sackungen, Hanganrisskanten oder Feuchtstellen ersichtlich	0,75
A7	Dichter und großflächiger Bewuchs macht eine eindeutige visuelle Kontrolle des Bauwerkes unmöglich	0,50
A8	Dichter Bewuchs führte zu erheblichen Schäden an der Konstruktion (Wurzeldruck, etc.)	0,75
B1	Großflächige Korrosionsschäden an der Oberfläche des Bauwerkes sind zu erkennen – durch freiliegende Bewehrung oder Rostfahnen aus Rissen und Abplatzungen	0,75
B2	Bauwerke mit großen Längsabmessungen weisen eine vermehrte Anzahl an Schäden (Betonabplatzungen oder Verkantungen) im Bereich von Bauwerks- und Ausdehnungsfugen auf	0,50
B3	Große Risse lassen auf eine Überbeanspruchung des Bauwerkes schließen	0,75
D1	Zu geringe Betondeckungen bei Läufern und Bindern, welche sich durch Risse, oder Rostfahnen an der Oberfläche zeigen	0,75
D2	Trennrisse bei Bindern, welche zu einem Verlust der Lasteinleitung führen	0,75
D3	Ungleichmäßige Verformungen an der Krone, welche auf eine unregelmäßige Beanspruchung oder eine ungenügende Fundierung hinweisen	0,50
D4	Ausrieselungen großer Mengen an Füllmaterial aus den Silozellen der Raumbinderkonstruktionen	0,50
H1	Konstruktionen, welche für die Sicherung von Kriechhängen oder Massenbewegungen verwendet werden	1,00
H2	Tiefe der Einbindung, sowie die genaue Art der Lastabtragung sind nicht bekannt	1,00
H3	Ausfachungen oder Gewölbe zwischen aufgelösten Konstruktionen sind nicht durch Steinmaterialien- oder Spritzbeton gesichert	0,75
H4	Horizontale Riegel (Kopfbalken der ähnliches) sind nicht vorhanden	0,75

### 5) Weitere Rahmenbedingungen

Ermittlung der Risikomaßzahl ist nur möglich, wenn:

- Aussagekräftige Informationen zum Bauwerk vorliegen
- Kein vermehrter Einsatz des Streckendienstes in den letzten zwei Jahren erforderlich war
- Keine Instandhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen in den nächsten zwei Jahren geplant sind

### 6) Abschluss Risikomanagement

Folgende Punkte sind mit den Ergebnissen der Risikomaßzahl zu beachten:

- Umsetzung der Tätigkeiten (3) und resultierenden Kontrollzyklen
- Anpassungen und Adaptierungen des Kriterienkataloges
- Validierung der Ergebnisse
- Aufarbeitung aktueller Schadensfälle und Bauwerksmängel

## 6 Wirtschaftliche Aspekte Bauwerksprüfung

Neben einer gewünschten Erhöhung der Qualität bietet ein durchdachtes Risikomanagement auch die Möglichkeit der Priorisierung von Tätigkeiten, die wiederum eine langfristige Ressourcen- und Personalplanung ermöglicht. Durch langfristige Planung, die intuitiverweise die Anzahl an kostspieligen ad-hoc Maßnahmen reduziert, wird ein kosteneffizientes Arbeiten gefördert. Aufgrund der Personalsituation im öffentlichen Bereich und dem Ausmaß der zu verwaltenden Bauwerke des Landes Steiermark ist dies unumgänglich. Durch den in dieser Arbeit definierten Prozess soll dieser Arbeitsaufwand nachhaltig reduziert werden. Veranschaulicht soll dabei die Situation, wie auch der Umfang an Tätigkeiten, die durch das Land Steiermark zu erbringen sind.

Wie in Abb. 12 dargestellt, ist das Land Steiermark Verwalter von 4.760 Stützbauwerken, welche lt. RVS 13.03.61 (FSV, 2014) in regelmäßigen Intervallen zu kontrollieren und prüfen sind. Aufgrund der vorgeschriebenen wiederkehrenden Zyklen von 3 Jahren für Kontrollen und 6 Jahren für Prüfungen (vgl. Kapitel 3.2) ergibt sich für den Erhalter (Land Steiermark) die Durchführung von mindestens 1.120 Kontrollen und 370 Prüfungen je Kalenderjahr. Aufgrund dieses umfangreichen Aufkommens an Kontrollen und Prüfungen ist eine Bewältigung dieser Aufgabe mit dem momentan verfügbaren Personal nicht möglich (vgl. Nöhner *et al.*, 2019).

Mit einem situationsangepassten Risikomanagement, der in Kapitel 5.4 definierten Risikomaßzahl sowie der damit verbundenen Kriterienkataloge kann eine erhebliche Einsparung durch die Reduktion von Prüfungen und Kontrollen erzielt werden. Durch den zielgerichteten Einsatz von diesem Prozess ist es möglich, dass Bauwerke in gutem Zustand seltener bzw. weniger umfangreich überprüft werden, Bauwerke mit einem mangel- oder schadhaften Zustand (und damit einem erhöhten Risiko) hingegen sogar intensiver und umfangreicher betrachtet werden.

Da im Zuge dieser Arbeit lediglich das Grundgerüst für ein Risikomanagement bei Stützbauwerken erstellt wurde und eine Testung des Systems unter realen Feldbedingungen noch nicht stattgefunden hat, können zur Einschätzung des Einsparungspotentials lediglich Annahmen und begründete Schätzungen vorgenommen werden. In nachfolgenden Kapiteln werden diese durch monetäre und wirtschaftliche Faktoren bewertet. Eine detaillierte Aussage kann frühestens nach der ersten Kontroll- und Prüfsaison (mit Einbeziehung der hier vorgestellten Methoden) vorgenommen werden. Ebenso kann der Einfluss der unter Kapitel 7 angeführten Digitalisierung und automatisierten Verarbeitung der Daten lediglich abgeschätzt werden.

## 6.1 Quantitative Betrachtungen

Durch eine standardisierte Betrachtung der Bestandsbauwerke, wie in Kapitel 5 anhand einer Risikomaßzahl beschrieben, kann eine zeitliche Einsparung erzielt werden, die eine Reduktion des Personalaufwandes unter gleichzeitiger Reduktion des Streckenrisikos ermöglicht. Nachfolgend soll diese anhand der oben angeführten Zahlen an Kontrollen und Prüfungen quantifiziert und gegenübergestellt werden.

### 6.1.1 Betrachtung Bauwerkskontrollen

Aufgrund der rechtlichen Rahmenbedingungen (FSV, 2014) der Kontrollintervalle von drei Jahren, wären jährlich im Bundesland Steiermark rund 1.495 Kontrollen erforderlich. Nachfolgend wird auf Grund von Schätzungen und bisherigen Erfahrungen eine Aufstellung des Zeitbedarfes für diese Leistungen durchgeführt. Dabei werden die erforderlichen Zeitaufwände zur Durchführung der Abarbeitung eines Bauwerkes im Zuge einer Kontrolle aufgestellt und diese zusätzlich monetär bewertet. Letzteres wird dabei sowohl für die Durchführung durch internes Personal (Anhand der Gehaltstabelle 2020 des Landes Steiermark) sowie durch externes Personal (nach dem Basiswert 2020 der ZT Kammer) betrachtet.

Tab. 9: Zeit- und Kostenbedarf für Kontrollen bei Stützbauwerken

<b>Tätigkeit</b>	<b>Std.</b>	<b>€ intern<sup>1</sup></b>	<b>€ extern<sup>2</sup></b>
Vor- und Aufbereiten	1,00	22,26	99,87
An- und Abfahrt zum Objekt	0,50 <sup>3</sup>	11,13	49,93
Kontrolle vor Ort	2,00	44,52	199,73
Nachbereitung	2,00	44,52	199,73
<b>Summe/ Einzelbauwerk</b>	<b>5,50</b>	<b>122,43</b>	<b>549,26</b>
<b>Aufwand Stützbauwerke (1.120 Obj)</b>	<b>6.160</b>	<b>137.122</b>	<b>615.171</b>

Geht man hier von einem Zeitbedarf von 5,50 Std./Kontrolle (siehe Tab. 9) aus, so würde dies bedeuten, dass jährlich 6.160,00 Personalstunden für Bauwerkskontrollen erforderlich sind. Bei einer durchschnittlichen jährlichen Präsenzzeit von 1720 h wären somit ca. fünf ( $6.160,00/1.720,00 = 3,58$ ) Mitarbeiter für die Abwicklung und Durchführung der erforderlichen Arbeiten abzustellen.

<sup>1</sup> Gehaltstabelle 2020 Land Stmk. Verwendung d8; 2120,60 €/Monat \*14 / 1720h/Jahr + 5€ (Ann)

<sup>2</sup> Basiswert 2020 ZT Kammer; 86,84 €/Std. x 1,15 Klasse V = 99,87€/Std.

<sup>3</sup> Mehrere Objekte im Nahbereich an einem Tag

Anhand der Ausführungen in Tab. 9 ist klar erkennbar, dass flächendeckende Kontrollen von Stützbauwerken ohne eine Einschränkung nicht praktikabel zu bewerkstelligen sind.

## 6.1.2 Betrachtung Bauwerksprüfungen

Im Gegensatz zu den Kontrollen sind Prüfungen in einem Zyklus von 12 Jahren durchzuführen und können dabei sowohl von internem, geschultem Fachpersonal als auch externen Auftragnehmer abgewickelt werden. Bei den in Erhaltung befindlichen Bauwerken des Landes Steiermark wären zur Umsetzung dieser Forderung jährlich aktuell 370 Prüfungen durchzuführen. Identisch zu den Kontrollen (vgl. Kapitel 6.1.1) werden diese in der nachfolgenden Tabelle ebenfalls auf ihren Aufwand hin betrachtet.

Tab. 10: Zeit- und Kostenbedarf für Prüfungen bei Stützbauwerken

Tätigkeit	Std	€ intern <sup>4</sup>	€ extern <sup>5</sup>
Vor- und Aufbereiten	2,00	44,52	199,73
An- und Abfahrt zum Objekt	1,50	33,39	149,80
Kontrolle vor Ort	3,00	66,78	299,60
Nachbereitung	4,00	89,04	399,46
<b>Summe/ Einzelbauwerk</b>	<b>10,50</b>	<b>233,74</b>	<b>1.048,59</b>
<b>Aufwand Stützbauwerke (370 Obj)</b>	<b>3.885,00</b>	<b>86.482,81</b>	<b>387.979,41</b>

In obiger Tabelle lässt sich erkennen, dass für die Durchführung einer Prüfung (Vergleich Kontrollen), ein erhöhter Zeitaufwand angenommen wurde, welcher durch die detailliertere Aufnahme wie auch die genauere Beurteilung des Bauwerkes begründet werden kann. Zudem zeigt sich, dass obwohl die Anzahl der Prüfungen lediglich 1/3 der Kontrollen beträgt, dennoch ein Aufwand von ca. 60% (3.885,00 Std. zu 6.160 Std.) der Gesamtzeit erreicht wird.

In Ergänzung zum Personal für Kontrollen wären also zusätzlich ca. 2,50 Personen (3.885,00 Std. / 1720 = 2,26) erforderlich, um die Prüfungen wie vorgeschrieben durchführen und abwickeln zu können.

<sup>4</sup> Gehaltstabelle 2020 Land Stmk. Verwendung d8; 2120,60 €/Monat \*14 / 1720h/Jahr + 5€ (Ann)

<sup>5</sup> Basiswert 2020 ZT Kammer; 86,84 €/Std. x 1,15 Klasse V = 99,87€/Std.

### 6.1.3 Vergleichsbetrachtungen

Aufbauend auf den in den Kapiteln 6.1.1 und 6.1.2 durchgeführten, schematischen und auf Annahmen basierenden Aussagen zum Aufwand für Bauwerkskontrollen und Prüfungen, soll nachfolgend der mögliche Einfluss des im Zuge dieser Arbeit erstellten Risikomanagements untersucht werden. Dabei werden die Ergebnisse aus Tab. 9 und Tab. 10 mit einer Schwankungsbreite bzw. einer Anpassung zufolge der Durchführung eines Risikomanagements und einer Prioritätenreihung hinterlegt, um deren Einfluss aufzuzeigen.

- **Einfluss der Inspektionstätigkeiten**

Bei der obigen Betrachtung fanden Annahmen zur Dauer von Kontrollen und Prüfungen statt. Hierbei wurde nicht nur die Zeit vor Ort (augenscheinliche Untersuchung), sondern auch jene für die Vorbereitung, die An- und Abfahrt sowie die Nachbearbeitung betrachtet. Da es sich hierbei um Schätzungen und Annahmen handelt, sollen diese Ergebnisse nachfolgend auf ihre Bandbreite hin untersucht und dargestellt werden.

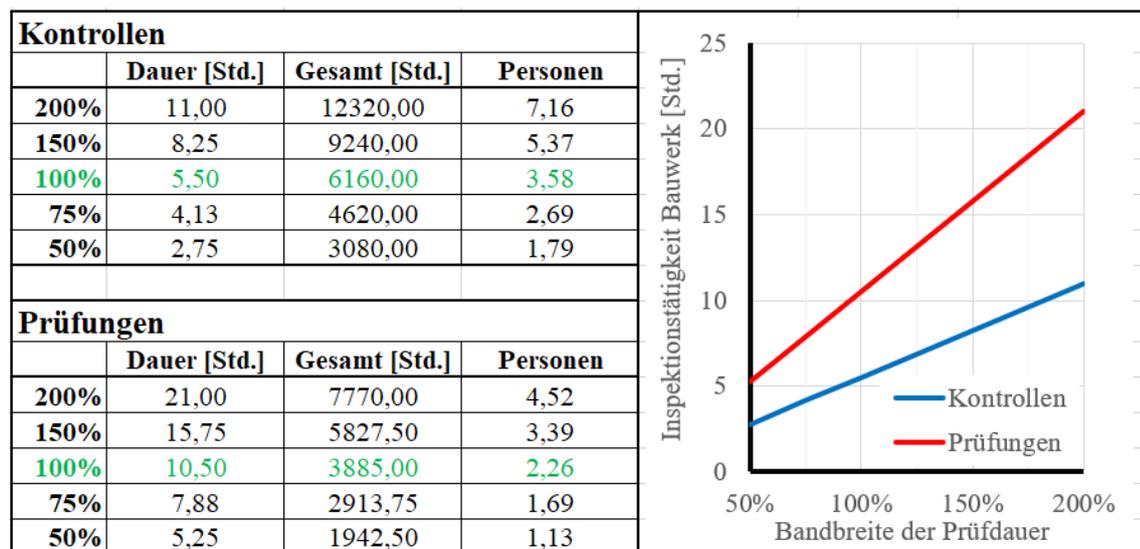


Abb. 23: Einfluss der Inspektionstätigkeit auf die zu erfassende Bauwerksanzahl

Das Ergebnis in Abb. 23 zeigt den unmittelbaren linearen Einfluss der angenommenen Bandbreite auf die Prüfdauer. Die Werte wurden zwischen einer Verdopplung der Prüfdauer (200%) sowie einer Reduktion um die Hälfte (50%) angenommen um diesen Einfluss zu verdeutlichen. Dies verhält sich sowohl für die Kontrollen als auch für die Prüfungen ident, wobei erkennbar ist, dass eine Abweichung der Begutachtungsdauer bei Prüfungen einen erheblichen Einfluss aufweist, wobei der Effekt bei Kontrollen durch die geringere Fallzahl deutlich geringer ausgeprägt ist.

- **Einfluss der Anzahl an Bauwerken**

Die durch eine Kontrolle bzw. Prüfung zu untersuchenden Bauwerke wurden in den Kapiteln 6.1.1 und 6.1.2 aus dem Bauwerksbestand des Landes Steiermark (vgl. Nöhner *et al.*, 2019) entnommen. Nachfolgend wird aufgezeigt, welchen Einfluss das vorgestellte Konzept eines Risikomanagements bzw. einer Prioritätenreihung (vgl. Kapitel 5.5) auf die erforderlichen Kontroll- und Prüftätigkeiten hat. Hierzu wird eine Reduktion der Bauwerksanzahl – beispielsweise zufolge einer Zuordnung unter „betriebliche Maßnahmen“ und die daraus folgende nicht mehr unmittelbar erforderliche Prüftätigkeit – angenommen und in Bezug zu der nach dieser Reduktion noch zu prüfenden Bauwerke gebracht.

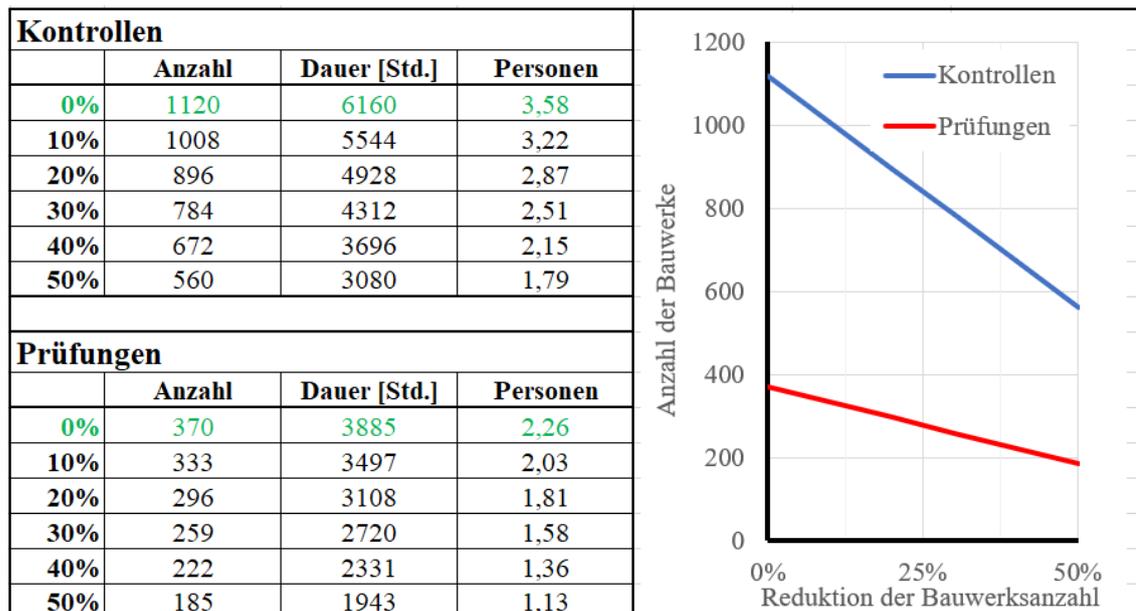


Abb. 24: Einfluss der Bauwerksanzahl auf Kontrollen und Prüfungen

Wie sich aus dieser Aufbereitung erkennen lässt, werden die Kontrollen durch eine Reduktion der Bauwerksanzahl deutlicher in der absolut benötigten Zeit beeinflusst als dies bei den Prüfungen der Fall ist. Dies ist auf die größere Anzahl an Bauwerken, die seltener untersucht werden müssen, zurückzuführen.

- **Gesamtbeurteilung der Einflüsse**

Wie die beiden obigen Aufbereitungen und die dazugehörigen Darstellungen zeigen, ist mit dem in dieser Arbeit vorgestellten Konzept eines Risikomanagements ein großes Optimierungs- und Einsparungspotential gegeben, mit dem der Aufwand des Landes Steiermark in Bezug auf die Bauwerksprüfung bei Stützbauwerken reduziert werden kann. Hierdurch entsteht jedoch aller Erwartung nach keine Abnahme der Streckensicherheit oder eine Zunahme eines zukünftigen Erhaltungsaufwandes.

## 6.2 Prozessanpassung – Iterative Optimierung

Die beiden vorherigen Kapitel zeigen, dass Kontrollen und Prüfungen die Bauwerkserhalter von Stützbauwerken vor große wirtschaftliche Herausforderungen stellen. Aus diesem Grund wurde das im Zuge des in dieser Arbeit entwickelte Konzept für das Risikomanagement (vgl. Kapitel 5) und die zugehörigen Optimierungsprozesse implementiert. Dabei wurde auf einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess gesetzt, welcher es ermöglicht, sowohl neue Anforderungen laufend einfließen zu lassen als auch parallel die Ergebnisse und Erkenntnisse bisheriger Untersuchungen berücksichtigen zu können. Auf der nachfolgenden Abbildung wird dieser Prozess grafisch erläutert und die Anwendungsmöglichkeiten im Zuge des Konzeptes zum Risikomanagement bei Stützbauwerken werden angeführt.

Bei dem vorgestellten Kontinuierlichen-Verbesserungs-Prozess (KVP) findet eine laufende und kontinuierliche Verbesserung des Prozesses durch die Prozessschritte des PDCA-Zyklus (Plan, Do, Check, Act) statt. Gewünscht ist, dass im Laufe der Zeit der Standard kontinuierlich gehoben wird.

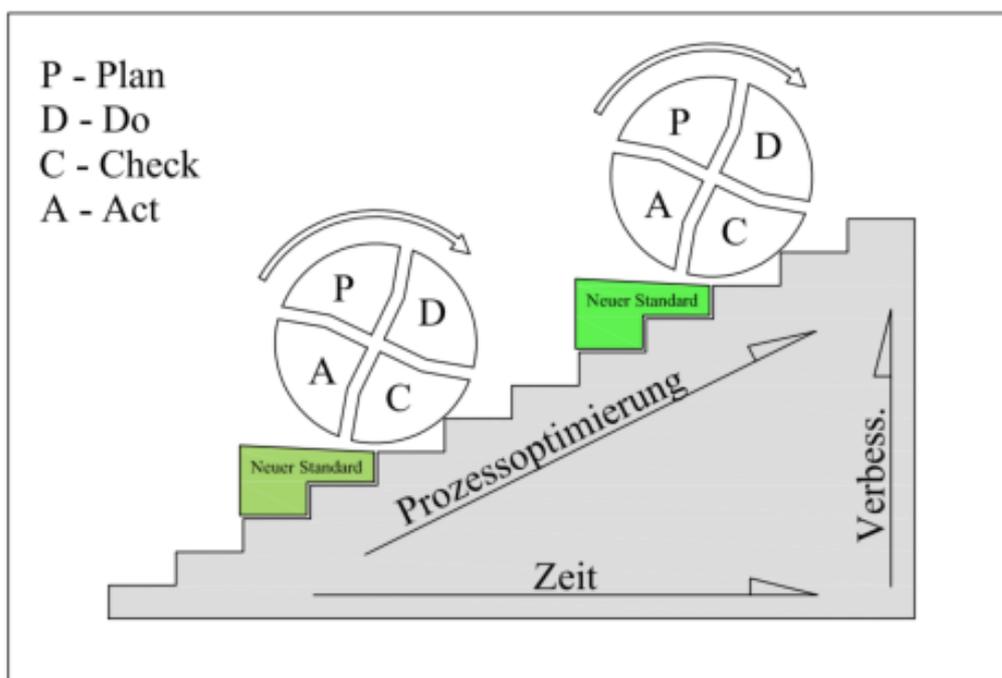


Abb. 25: Kontinuierlicher Verbesserungsprozesse mit und durch den PDCA – Zyklus (Anlehnung Dr. W. Edwards Deming)

So sind in diesen Prozessen, welche der kontinuierlichen Verbesserung dienen sollen, laufend kleine Überprüfungen (C-Check in Abb. 25) enthalten. Dies bietet den großen Vorteil, dass eine laufende Kontrolle der Entwicklung nach dem Durchlaufen der PDCA-Schritte erfolgt und somit Regulierungen und Anpassungen stattfinden. In Bezug auf Stützbauwerke kann dies bei der

Durchführung von Kontrollen und Prüfungen nach dem Ablauf in Abb. 13 herangezogen werden, indem Ergebnisse und Erkenntnisse aus vorangegangenen Inspektionstätigkeiten mitberücksichtigt werden. Im Zusammenhang mit dem hier entwickelten Konzept kann dies durch eine Anpassung und Erweiterung der Kriterienkataloge (vgl. Kapitel 5.4) stattfinden und somit zu einer zusätzlichen Reduktion oder Vergrößerung der Bauwerksanzahl – beispielsweise durch Einfügen weiterer Drop-Out-Kriterien – führen.

### 6.3 Zusammenfassung

In diesem Kapitel der vorliegenden Arbeit wurden die Aufwände für Kontrollen und Prüfungen bei Stützbauwerken untersucht und der Einfluss der durchgeführten Menge auf die benötigten Ressourcen hin betrachtet. Wie gezeigt wurde, kann bereits mit einer geringen Reduzierung der Anzahl an zu prüfenden Bauwerken eine erhebliche Reduktion des Kontroll- und Prüfaufwandes einhergehen. Diese Untersuchungen konnten jedoch aktuell nur auf Grundlage von Annahmen und Schätzungen durchgeführt werden.

In einem nächsten Schritt wäre es sinnvoll, eine vertiefte Untersuchung der in diesem Kapitel gewählten Annahmen durchzuführen. Als erstes Ziel sollte die Ermittlung von Aufwandswerten und der Kosten für die Durchführung von Kontrollen und Prüfungen stehen, die anhand unterschiedlicher Messgrößen und Vergleichswerten aufbereitet werden. Ein Beispiel hierzu könnte neben der Anzahl an Stützbauwerken auch die geprüfte Wandfläche oder der Bauwerkstyp sein. Zudem sollte dies im Zusammenhang mit Feldversuchen und „Vor-Ort-Untersuchungen“ stattfinden, um auch die Anwendbarkeit des entwickelten Konzeptes zu erfassen. Die „Vor-Ort-Untersuchungen“ sollten dabei zumindest folgende Punkte beinhalten:

- Unterscheidung unterschiedlicher Konstruktionstypen und Bauwerksformen;
- Erheben ob Unterschiede bei der Beurteilung sowie der benötigten Zeit vorliegen, wenn unterschiedliche Personengruppen die Kontrolle bzw. Prüfung der Bauwerke durchführen;
- Definieren einer Aufnahmeabfolge und Vorgehensweise bei der Kontrolle oder Prüfung von Stützbauwerken;
- Vergleich von analogen und digitalen Aufnahmen im Hinblick auf Zeitbedarf und Qualität;
- Detaillierte Auswertung und Datenaufbereitung zu den erfassten Bauwerken und den Untersuchungsergebnissen.

Aufbauend auf den „Vor-Ort-Untersuchungen“ sollte zudem das im Zuge dieser Arbeit entwickelte Konzept zum Risikomanagement evaluiert und gegebenenfalls angepasst bzw. weiterentwickelt werden.

## 7 Digitale Aufnahme und Verarbeitung von Bauwerksdaten

Digitalisierung bietet bei zielgerichteter Anwendung im Bereich der Erfassung, der Beurteilung wie auch bei der langfristigen Bewirtschaftung und statistischen Auswertung maßgebliche Vorteile gegenüber dem konventionellen, momentan gebräuchlichen Vorgehen. Eine Standardisierung, die durch Digitalisierung maßgeblich unterstützt wird, bietet eine bessere Grundlage für vorausschauende Ressourcenplanung und -verteilung. Zusätzlich ermöglicht dieses Vorgehen, sehr einfach und schnell aussagekräftige Informationen über den Bauwerksbestand zu erhalten und nicht zuletzt über automatisiert erstellte Statistiken eine Datengrundlage für Prognosen zu schaffen. Abgesehen von der positiven Auswirkung auf die langfristige Planung bietet es auch für das Tagesgeschäft wichtige und praktische Möglichkeiten. Exemplarisch seien hier die unterschiedlichen Darstellungsmöglichkeiten der Objekte erwähnt (siehe nachfolgende Abbildungen), mit denen für einen raschen Überblick gesorgt werden kann, und die einen eventuell gegebenen Handlungsbedarf anzeigen können.

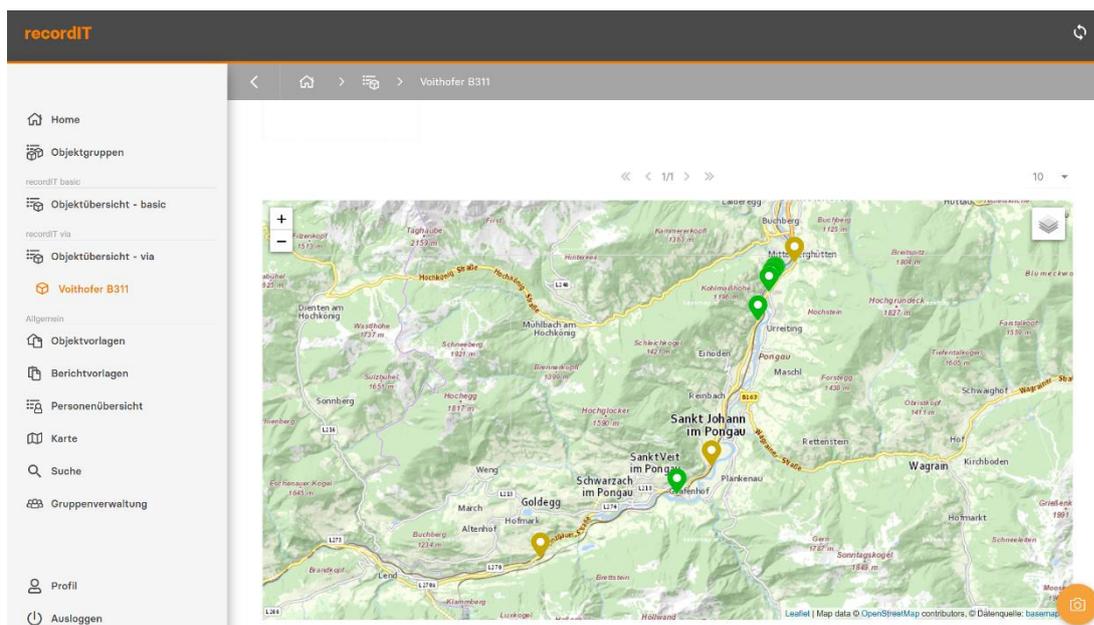


Abb. 26: Beispiele für eine digitale Erfassung und Ergebnisdarstellung bei Stützbauwerken – im Streckennetz des Landes Salzburg unter Anwendung der Softwarelösung recordIT

Die bereits angeführte Prioritätenreihung durch die Salzburger Landesregierung (vgl. Kapitel 4.5) verwendet hierzu beispielsweise die Softwarelösung recordIT (recordIT). Mit dieser ist neben einer schnellen und einfachen Erstellung von Berichten und einer digitalen Erfassung der Bauwerke (Bilder und Abfragen) auch ein aufbereitete Darstellung der Ergebnisse (Abb. 26) möglich, welche einen Überblick bzw. eine Verdichtung von Prüfergebnissen zeigt.

## 7.1 Digitale Bestandserhebung

Die Bestandserhebung stellt als Schnittstelle zwischen dem Personal im Feld und den BüromitarbeiterInnen den maßgeblichen Faktor für die wahrheitsgetreue Erfassung der Bestandsbauwerke dar. Aus diesem Grund sollte dieser Tätigkeit höchste Priorität und Sorgfalt zukommen. Aufgrund der möglichen widrigen Umstände und Rahmenbedingungen bei der Aufnahme vor Ort muss dieser Prozess so einfach und robust wie möglich gehalten werden. Die beschränkte Verfügbarkeit von GPS, Strom und Internet, das Wetter, die oftmals entlegene oder schwierig zu erreichender Lage der Bauwerke sowie nicht zuletzt der Zeitmangel bei der Aufnahme erschweren die Dokumentationsarbeiten. Trotz dieser limitierenden Faktoren gilt es eine vollständige, einfache, schnelle und für Ingenieure praktikable Lösung zu finden, um eine entsprechend genaue Aufnahme mit geringstem Informationsverlust zu finden. Hier zeigt sich anhand aktueller Beispiele in der Praxis mehr und mehr, dass cloudbasierte Systeme einen großen Mehrwert bieten können, da diese ein vernetztes Arbeiten von Feld und Büro ermöglichen.

Aktuelle Umsetzungs- und Entwicklungsbeispiele mit dem Ziel die digitale Erfassung voranzutreiben zeigen auf, dass ein hoher Komfort für das Prüfpersonal garantiert sein muss, da ansonsten die Software - zumeist native Apps - keine Verwendung finden. Die Hauptursache sind Benutzeroberflächen, die nicht genau für die Verwendung im Feld bzw. für diesen Einsatzzweck konzipiert wurden, und die bei der Benutzung Verärgerung und Frust verursachen. Mit praktischen Features, die dem Prüfpersonal Klicks bzw. Arbeit ersparen, mit durchdachten, Workflow-orientierten Oberflächen, die auf die zu verrichtenden Tätigkeiten fokussiert sind, kann die Digitalisierungsmüdigkeit effektiv bekämpft werden.

Neben einer höheren Qualität der Aufnahme wird gleichzeitig eine gesteigerte Effizienz erreicht. Diese Vorteile und Möglichkeiten ergeben sich allerdings nur, wenn der Aufnahme im Vorfeld bereits ein exakt ausgearbeitetes Konzept zu Grunde liegt. Für die Aufnahme von Bauwerken bzw. Elementen, die vergleichbare Bewertungskriterien haben, bietet eine standardisierte Aufnahme diverse Vorteile, die in den nachfolgenden Kapiteln erläutert werden sollen.

## 7.2 Datenaufbereitung und Verarbeitung

Neben der Datenerhebung und dem Generieren der Metadaten für ein Bauwerk (siehe Kapitel 7.1) stellt auch die richtige Verarbeitung und Aufbereitung der Daten für aktuelle Informationen, Berichte, Auswertungen, Zustandsbewertungen, Prognosen und den daraus abzuleitenden Tätigkeiten einen wichtigen Baustein für eine gesamtheitliche Betrachtung der zu verwaltenden Bauwerke dar. Diese Daten können die Grundlage für die beispielsweise im Zuge dieser Arbeit erstellte

Risikobewertung (siehe Kapitel 4 und 5) darstellen. Eine standardisierte Dokumentation und Verarbeitung durch aktuelle Bauwerksdatenbanken ist oftmals noch nicht im Einsatz, da der große Mehrwert eines solchen Systems vielerorts noch nicht gesehen wird und daher nicht ausreichend hoch priorisiert wird.

Die Situation der Dokumentation von Bauwerken sieht aktuell wie folgt aus:

- Eine Bewertung vom Zustand des Bauwerkes und das davon ausgehende Risiko wird technisch richtig und einwandfrei dokumentiert;
- Die Informationen werden schlussendlich aber nur als „Papierbericht“ bei den Bauwerkserhaltern vorgelegt. Ob diese Berichte digital oder in Papierform abgegeben werden, macht oftmals außer bezüglich der Auffindbarkeit keinen Unterschied, denn diese Berichte folgen zwar oft schon einer von vielen standardisierten Formen, sind aber dennoch nicht automatisationsgestützt verarbeitbar;
- Dadurch dass diesen Berichten keine strukturierte, verarbeitbare Datensammlung mitgegeben wird, sind langfristige Bewertungen, Vergleiche, Rückschlüsse auf Entwicklungen bzw. die Erstellung von Trends und Zustandsänderungen nur sehr schwer möglich;
- Die wertvollen, durch hohen Zeitaufwand gesammelten Informationen, die diese Berichte enthalten, sind nur zugänglich, wenn aktiv nach diesen Informationen gesucht wird, also z.B. das Dokument geöffnet, das Papierdokument in Aktenstapeln gesucht und gelesen oder eine Auskunft telefonisch erfragt wird. So sind diese Berichte in keiner Weise falsch, aber einem Informationsverlust wird, wenn überhaupt, nur bedingt vorgebeugt.

Durch das Ausgeben und/oder Abgeben der Kontroll- und Prüfberichte geht ein wesentlicher Teil an Informationen für den Erhalter unwiederbringlich verloren. Die Möglichkeit einer lückenlosen Auswertung der Kontroll- und Prüfergebnisse wird vorweggenommen. Diese wäre, wenn eine genau vom Bauwerkserhalter (als Durchführer bzw. Auftraggeber für eine Bauwerksprüfung) festgelegtes Schema verwendet wird, einfach, und würde die Möglichkeit geben die von den Prüfsingenieuren erhobenen Daten standardisiert und einfach auswertbar als Grundlage zur Verfügung zu haben. Strukturierte Datenablage ist ein Begriff, der vielleicht kompliziert klingt, aber bereits mit sehr einfachen Mitteln erreicht wird. Eine sorgfältig geführte Liste in einem Tabellenverarbeitungsprogramm bietet bereits weitreichende Möglichkeiten um die Daten zu durchsuchen, zu verarbeiten und statistisch auszuwerten.

Mit nachhaltiger Dokumentationssoftware ist ohne erhöhten Aufwand beides gleichzeitig möglich. Die Ausgabe vom fertigen Bericht als Dokument mit textuellen Beschreibungen, Skizzen, Fotos und Verweisen, wie die meisten momentan erhältlichen Lösungen erlauben, ist wichtig, um die Abnahme der Arbeit zu ermöglichen, das einzelne Bauwerk in einer Momentaufnahme

betrachten zu können und einen exakten Statusbericht zur Verfügung zu haben. Zukunftsgerichtet und für automatisationsgestützte Auswertungen ist die Ausgabe der gesammelten Daten in strukturierter Form (z.B. CSV, JSON, XML) wichtig. Dieser Schritt sollte idealerweise keinen zusätzlichen - und in keinem Fall manuellen - Aufwand erfordern.

### **7.3 Ansätze zur Umsetzung**

Wie bereits im Absatz zuvor angesprochen werden in der Praxis und im aktuellen Betrieb laufende und in regelmäßigen Abständen (wiederkehrende) Prüfungen durchgeführt. Es findet auch zumeist eine Beurteilung nach Schulnotensystem statt, aber die Ergebnisse werden, wenn überhaupt, nur bedingt zentral organisiert, aufbereitet, und verwaltet. Im seltensten Fall werden gesamtheitliche Systeme und Planungen für eine Bewirtschaftung von Bereichen und Regionen erstellt.

Eine Digitalisierung könnte für die Praxis sehr viele Vorteile bieten. So könnten Arbeitsabläufe vereinfacht und Entscheidungen durch einfache Grenzwertdefinitionen automatisiert auswertbar gemacht werden. Eine vorausschauende, mit Zahlen argumentierbare Budgetplanung wird dadurch erst sinnvoll möglich. Die Standardisierung würde ebenfalls eine große Zeiteinsparung bei der Auswertung und Weiterbearbeitung der Daten bringen.

Ein Beispiel hierfür findet sich in der Salzburger Landesstraßenverwaltung (vgl. Kapitel 4.5 und Abb. 26). Hier wurde im Jahr 2018 damit begonnen sämtliche Stützbauwerke, welche sich im Verwaltungsgebiet der Bundesstraßen befinden, nach einer durch das Land Salzburg erstellten Vorlage, gemäß den geltenden Normen und Richtlinien, zu erheben.

Die grundlegende Vorgangsweise wurde so gewählt, dass allen Prüfsachverständigen die Dokumentationsvorlage und somit die Struktur für die Kontroll- und Prüfprotokolle vorgegeben wurde. Als Softwaregrundlage wurde hier bewusst auf das Format Microsoft Word © gesetzt, da dadurch keine Einschränkung gemäß der Wettbewerbsverzerrung stattfindet. Parallel dazu wurde die Softwarelösung recordIT (recordIT) den Ingenieurbüros (dem beauftragten Prüfpersonal) zur Verfügung gestellt, wodurch eine Eingabe vor Ort effizient stattfand. Der Hauptvorteil der standardisierten und digitalen Erfassung von Stützbauwerken durch eine angepasste Softwarelösung für die Prüfsachverständigen war die Zeitersparnis vor Ort. Berichte konnten direkt nach der Erstellung vor Ort mit wenig oder gar keinen Anpassungsarbeiten an den Bauwerkserhalter übermittelt werden. Für das Land Salzburg war der größte Vorteil jener, dass eindeutig vergleichbare, qualitativ hochwertige und nach den individuellen Anforderungen angepasste und aussagekräftige Prüfprotokolle übermittelt wurden. Neben der Qualitätssteigerung konnte eine Kostenersparnis aufgrund des geringeren Aufwandes der Prüfsachverständigen erzielt werden.

## 7.4 Möglichkeiten der Darstellung

Bei der Darstellung der generierten Daten kann Digitalisierung ebenfalls einen sehr hohen Mehrwert für die Nutzung bieten. Eine interaktive und dynamisch filterbare Kartendarstellung bietet einen großen Vorteil, da hierdurch für den Betrachter unmittelbare räumliche Zusammenhänge leicht ersichtlich sind. Ebenso ermöglicht es, selbst in einer sehr reduzierten, punktbasierten Ansicht, ein sehr rasches Bewerten größerer Bereiche und Abschnitte. Durch die vorhandene Datenbasis können viele weitere Anzeigen gebaut werden. Beispielsweise könnte die Kartenansicht durch Skizzen, Pläne und Modelle, Einfärbungen von Punkten und Flächen, Heatmaps und Clusterungen ergänzt werden.

Die zentrale verwaltete Dateneingabe erlaubt mit eingebauten Möglichkeiten unterschiedliche Darstellungsformen. So können sämtliche Eingabeparameter in unterschiedlicher Form angezeigt und ausgegeben werden. Veranschaulicht soll das mit den nachfolgenden Abbildungen werden. Als Grundlage hierfür dienen die Ergebnisse in Abb. 26, welche eine Übersicht über den gesamten Bestand auf einer Karte mit verorteten Bauwerken zeigt. Zu den einzelnen Bauwerken wird die Bewertung, welche bei der letzten Begehung durch das Prüfpersonal vergeben wurde, angezeigt.

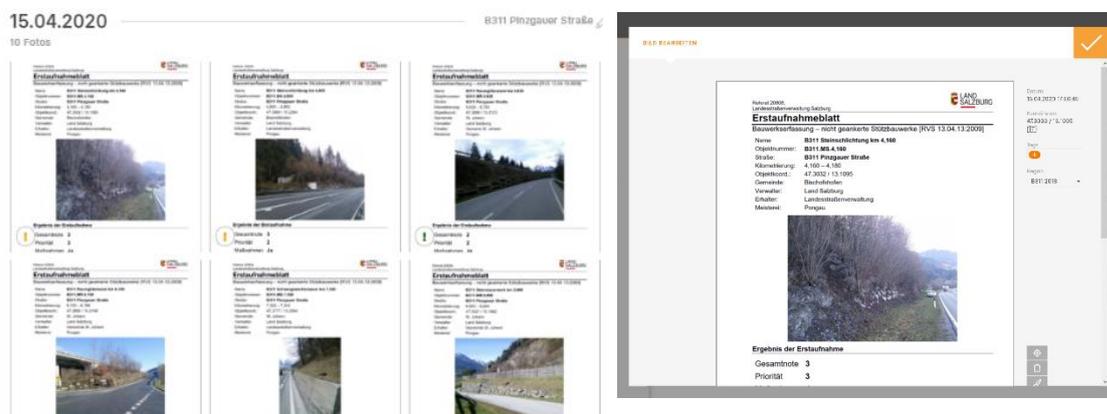


Abb. 27: Digitale Bauwerksprüfung; Links: Darstellung mehrerer Prüfergebnisse und Protokolle auf einer Web-Plattform; Rechts: Detaildarstellung eines einzelnen Prüfberichtes

So ist bei der Wahl einer geeigneten Software eine Ausgabe sowie Anzeige der geprüften Bauwerke ohne kostenintensive interne Verarbeitung möglich, wodurch zweifelnden Beteiligten schnell der Vorteil der digitalen Erfassung gezeigt werden kann. Zudem können hier durch die angeführten Export- und Filterfunktionen eine Vielzahl an weiterer innerbetrieblicher Vorteile generiert werden, welche neben einer direkten Kostenreduktion bei der Prüfung auch die Möglichkeit eines effizienten und sinnvollen Miteinsatzes für die Bewirtschaftung und Instandhaltung des Bauwerksbestandes ermöglichen.

## 7.5 Datenbank

Die Wahl einer passenden Datenbank für die Speicherung spielt eine zentrale Rolle bei der Digitalisierung von Bauwerksprüfungen. Ebenso kann die Modellierung der Relationen (Abhängigkeiten) der Entitäten sehr viele Dinge vereinfachen oder verkomplizieren. So ist es wichtig vorab zu wissen was später, im Zuge einer Weiterverarbeitung, benötigt wird und welche Anforderungen hieran gestellt werden.

Datenbanken gibt es in verschiedensten Ausführungen. Das gängige Verständnis ist, dass es sich dabei um eine Ansammlung von Daten in Reihen handelt, die pro Tabelle (durch das Spaltenformat) ein einheitliches Format haben. Diese Form der Datenspeicherung wird „relationale Datenbank“ genannt, und die Daten können in verschiedenen Normalformen modelliert werden. Diese Normalformen bestimmen, welche Tabellen welche Daten beinhalten sollten. So ist es beispielsweise sehr wohl möglich, alle Daten aller Begehungen aller Bauwerke in einer einzigen Tabelle zu speichern, und die Bezeichnung des Bauwerks zu jedem einzelnen Beobachtungspunkt zu speichern. Diese Form nennt sich erste Normalform und ist durch die hohe Anzahl an mehrfach vorhandenen Daten sehr Speicherplatzintensiv. Zusätzlich bedingt sie, dass ein Update der Bezeichnung des Bauwerks in allen Datensätzen erfolgen muss, und die Anzahl der Spalten sehr hoch ist.

Gebräuchlicher ist eine Verwendung der zweiten oder dritter Normalform. Diese Form erlaubt, dass Daten einen Verweis auf andere Daten haben. Es gibt für jede Entität eine Tabelle, was Querverweise erlaubt. Eine Tabelle ist beispielsweise für die Stützbauwerke, eine für die Begehungen vorgesehen – so kann beispielsweise eine Reihe die allgemeinen Daten eines Stützbauwerkes beinhalten (interne ID - meist eine Nummer, Bezeichnung, Straßenummer) und eine weitere Reihe in einer anderen Tabelle die allgemeinen Daten einer Begehung (interne ID, die interne ID des Bauwerks, Datum). So ist es möglich, die Daten der Stützbauwerke (Bezeichnung, Zeitpunkt der letzten Begehung, ...) aktuell zu halten, ohne diese Daten in den verbundenen Tabellen aktualisieren zu müssen. Dadurch steigt die Integrität der Daten.

Kennt man die Anforderung zu diesem Zeitpunkt noch nicht genau bzw. kann diese nur bedingt nennen, empfiehlt es sich umso mehr, eine Person mit Fachkenntnissen in der Datenbankmodellierung zu konsultieren, da durch die Verwendung einer gut modellierten Datenbank nicht nur die spätere Auswertung einfacher wird, sondern auch die Eingabe einfacher werden kann. Um diese – theoretisch möglichen - Vorteile einer guten Datenmodellierung zu untermauern, sollen folgende Beispiele gebracht werden:

- Es wäre möglich die Fotos von Stützbauwerken mit schlechter Bewertung abzufragen, da die Fotos mit den Begehungen und die Begehungen mit den Bauwerken verknüpft sind. Eine Tagging-Funktion von Fotos kann helfen, in diesen Fotos gleich fortführend zu filtern (z.B. nur Fotos, welche Betonabplatzungen zeigen);
- Es wäre möglich, statistische Auswertungen über den Verlauf von Bauwerkszuständen abhängig von ihrer Bausubstanz zu tätigen, da die Bewertungen mit den Bauwerken verknüpft sind, und diese ihre Bausubstanz hinterlegt haben;
- Der Einfluss von Instandhaltungsmaßnahmen auf die Bewertung von Bauwerken könnte (überschlagsmäßig) errechnet werden, da die Instandhaltungsmaßnahmen und die Bewertungen auf ein Bauwerk verweisen. Weiterführend könnte dabei ein Unterschied zwischen den Kosten der Maßnahmen und der Effektivität pro Bausubstanz untersucht werden;
- Es wäre mit einer sehr einfachen Abfrage möglich, die Bauwerke abzufragen, die am längsten nicht überprüft worden sind, da diese Information z.B. beim Hinzufügen einer neuen Begehung aktualisiert wird;
- Die zu einem Bauwerk vorhandenen Bewertungen und Begehungen könnten mit einer einfachen Abfrage aufgelistet werden, da alle Begehungen über eine Relation mit der ID vom Bauwerk verknüpft sind;
- Alle Bauwerke könnten GPS-Koordinaten hinterlegt haben. So kann einem Prüferingenieur eine Liste an Begehungen, sortiert nach der Entfernung zu gewissen GPS-Koordinaten, ausgegeben werden;
- Alle Begehungen von einem Prüferingenieur sind über eine Relation mit diesem verknüpft. So könnten beispielsweise alle Begehungen, die in einem gewissen Zeitraum von zwei Prüferingenieuren für gleiche Bauwerke gemacht wurden, ausgelesen und verglichen werden. Dadurch könnte versucht werden herauszufinden, wie stark die Rolle von Subjektivität bei der Bewertung ist.

## 7.6 Zusammenfassung digitale Bauwerksprüfung

Die obigen Ausführungen dieses Kapitels sollen das Potential und die Möglichkeiten einer Verwendung von digitalen Prozessen bei der Bauwerksprüfung aufzeigen. Dabei wurde in dieser Arbeit lediglich auf das Produkt recordIT (recordIT) verwiesen, dass bereits bei einigen Bauwerkserhaltern zur Anwendung kommt und die Bedürfnisse von Prüferingenieuren sehr gut abdeckt. Für die generelle Ausführung können natürlich auch andere Produkte angewendet werden.

## 8 Ausblick und Resümee

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Ansatz zum Risikomanagement bzw. der Prioritätenreihung bei Stützbauwerken erarbeitet. Dieser basiert dabei auf bereits vorhandenen Ansätzen und Methoden, welche durch rechtliche und normative Vorgaben definiert werden. Das Konzept setzt dabei auf einfach anzuwendende mathematische Methoden, die auch im Feld umsetzbar sind und einen möglich zeiteffizienten Einsatz des Prüfpersonals ermöglichen. Aus aktueller Sicht ist zu sagen, dass dieses Konzept zur Risikobewertung „am Papier“ fertig entwickelt wurde. Ergänzend zur theoretischen Ausarbeitung des Konzeptes wurden auch exemplarisch ausgewählte Stützbauwerke der Untersuchung und der weiterführenden Ermittlung einer Risikomaßzahl unterzogen. Diese wurden jedoch nur dazu verwendet, um die Rahmenbedingungen und Anforderungen an das Konzept bzw. die gesamte Bandbreite darzustellen.

Zur Zeit der Entstehung dieser Arbeit beginnt die Implementierung und flächendeckende Einführung des Systems im Bereich der Stützbauwerke in die Arbeitsprozesse des Landes Land Steiermark – Abteilung 16 - Referat Bauwerkserhaltung und Geotechnik. Nach der Einarbeitungsphase und einer im Bedarfsfall erforderlichen Anpassung der Parameter wird das System komplett in den laufenden Betrieb übernommen werden. Das System wird somit zu dem in Zukunft benutzten Werkzeug, um das Risiko, das von bestehenden Stützbauwerken ausgeht, zu ermitteln. Hierzu wäre es sinnvoll, nach Abschluss eines ersten Prüfzyklus unter Anwendung dieses Konzeptes die Nutzbarkeit und Effizienz zu untersuchen. Vor allem die Bandbreite der Ergebnisse und die daraus resultierenden Erkenntnisse für die Bauwerkserhaltung sind hier aus wissenschaftlicher und technischer Sicht von großem Interesse. Zusätzlich sollte das Potential in Bezug auf Zeitersparnis und aber auch die Auswirkung auf die Instandhaltung in weiteren Arbeiten untersucht und genauer betrachtet werden.

In weiterer Folge ist auch anzumerken, dass die vorliegende Methode zur Prioritätenreihung und damit eine Optimierung des Prüfaufwandes auch auf andere Bauwerke umgelegt werden könnte. Hierzu sind jedoch Änderungen bzw. Anpassungen in den Regelwerken (RVS Richtlinien) erforderlich um eine Anpassung des Anwendungsgebietes wie bei Stützbauwerken auch bei anderen Ingenieurbauwerken und Infrastruktureinrichtungen zu ermöglichen. Damit könnte vor allem im Bereich der Landesstraßen ein effizienterer Mitteleinsatz im Bereich der Bauwerksprüfung und der Instandhaltung und Instandsetzung erzielt werden.

## 9 Literaturverzeichnis

- Amt der Steiermärkischen Landesregierung (2010), *Leitbild des Steirischen Gesamtverkehrskonzeptes: Regionales Verkehrskonzept der Bezirke Knittelfeld, Judenburg und Murau*.
- Bergmeister, K., Fingerloos, F. und Wörner, J.-D. (2014), *Beton-Kalender 2013: Lebensdauer und Instandsetzung-Behälter, Beton-Kalender (VCH) \**, 2nd ed., Wiley, Hoboken.
- BM VeBaStd (2013), “*Bauwerksprüfung DIN1076*”.
- Boley, C. und Adam, D. (2012), *Handbuch Geotechnik: Grundlagen - Anwendungen - Praxiserfahrungen ; mit 185 Tabellen, Praxis*, 1. Aufl., Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden.
- Bundesanstalt für Wasserbau (2010), *Bauwerksinspektion (MBI)*.
- Bundesanstalt für Wasserbau (2015), *BAWMerklblatt: Schadensklassifizierung an Verkehrswasserbauwerken (MSV)*.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2017), “*Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076. RI-EBW-Prüf*”.
- FSV (2014), *RVS 13.03.61: Qualitätssicherung bauliche Erhaltung - NICHT GEANKERTE STÜTZBAUWERKE* No. 13.03.61.
- Irnberger, B. (2014), *Raumgitterwände im Land Salzburg: Erstaufnahme 2014 - Unterlagen zur ÖGG Arbeitsgruppe Stützbauwerke*, internes Dokument.
- Jäger, W. (2015), *Mauerwerk-Kalender 2015; Bemessung, Bauen im Bestand: Kapitel VII - Trockenmauer - Renaissance einer traditionellen Bautechnik, Mauerwerk-Kalender (VCH) \**, 40. Jahrgang, Ernst & Sohn, Berlin.
- KBE (2020), “*Systembeschreibung Köning-Bewehrte-Erde, Systeme Gabione I + II*”, <https://www.koenig-bewehrte-erde.de/kbe-systeme/kbe-gabione/>.
- Koppelhuber, C. (2017), “*Vergleich der Erddruckansätze auf Stützbauwerke*”, Masterarbeit, Institut für Bodenmechanik und Grundbau, Technische Universität Graz., Graz, 2017.
- Land Salzburg (2018), *Unterlagen zur Erstaufnahme von Stützbauwerken: Softwarelösung recordIT*.

- Lumesberger, A. (2017), “*Untersuchungen zum Systemverhalten von bestehenden, schadhafte Gewichtsmauern*”, Masterarbeit, Institut für Bodenmechanik und Grundbau, Technische Universität Graz., Graz, 2017.
- Marte, R., Kienreich, R., Scharinger, F. und Stadler, C. (2015), “*Überprüfung und Bewertung des Ist-Zustandes älterer Stützbauwerke im Straßennetz der ASFINAG*”. Beiträge zum 32. Christian Veder Kolloquium”.
- Meichsner, H. (2015), *Bauwerksrisse kurz und bündig. Rissentstehung, -ursachen und -vermeidung, Instandsetzung gerissener Bauteile, 2*; überarb. u. erw. Aufl., Fraunhofer IBR, Stuttgart.
- Nöhner, F., Rebhan, M.J., Saurug, B., Marte, R., Grubinger, S.S. und Mauerhofer, G. (2019), “*Risikomanagement bei Stützbauwerken im Streckennetz des Landes Steiermark*”, *Geomechanics and Tunnelling*, Vol. 12 No. 5, pp. 515–522.
- ÖGG (2018), *Empfehlungen zur vertieften Prüfung und Beurteilung bestehender, unverankerter Stützbauwerke*.
- ÖNORM EN 13306 (2010) No. 13306.
- ÖNORM EN 1990 No. 1990.
- ÖNORM EN 1997-1 (2014) No. 1997-1.
- ONR 24008: *Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken* (2014) No. 24008.
- ONR 24803: *Schutzbauwerke der Wildbachverbauung — Betrieb, Überwachung und Instandhaltung* (2008) No. 24803.
- Rebhan, M. J. (2015), “*Ist- Zustandserfassung und Bewertung bestehender, unverankerter Stützbauwerke*”, Masterarbeit, Institut für Bodenmechanik und Grundbau, Technische Universität Graz, Graz, 2015.
- Rebhan, M. J. (2019a), “*Korrosionsschäden bei Winkelstützmauern*”, Dissertation, Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik, Technische Universität Graz., Graz, 2019.
- Rebhan, M.J. (2019b), *Forschungsprojekt SIBS: Erkenntnisse zum Umgang mit bestehenden Stützbauwerken, OÖ Geotechniktag, Bauakademie Oberösterreich*.
- recordIT, Dokumentation schnell und einfach,  
<https://www.recordIT.at>

- Rohrdorfer, “*Maba Quickbloc*”,  
<https://www.concrete-solutions.eu/pog3/quickbloc/>.
- Schneider, J. (2007), *Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen: Grundwissen für Ingenieure*, 3rd ed., Eigenverlag, Zollikon.
- SIA296: *Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken* (1994) No. 505 269.
- Sohn, E., Fingerloos, F. und Wörner, J.-D. (2015), *Beton-Kalender 2015*  
*Schwerpunkte: Bauen im Bestand Brücken, Beton-Kalender (VCH) \**, 5th ed.,  
Wiley, Hoboken.
- Steinbacher, N. (2014), *Rutschungsrelevante Hinweise auf geogenes  
Baugrundrisiko in oÖ.*
- Vostrel, M. (2017), “*Nutzung von Schadensbildern zur Überwachung von  
Massenbewegungen - konstruktive Schadensbilder an Bauwerken*”,  
Masterarbeit, Institut für Bodenmechanik und Grundbau, Technische  
Universität Graz., Graz, 2017.
- Winkler, M. (2017), “*Nutzung von Schadensbildern zur Überwachung von  
Massenbewegungen - geotechnische Schadensbilder bei  
Massenbewegungen*”, Masterarbeit, Institut für Bodenmechanik und  
Grundbau, Technische Universität Graz., Graz, 2017.
- Wöls, D. (2018), “*Versuchstechnische Untersuchung von  
korrosionsgeschädigten Winkelstützmauern*”, Masterarbeit, Institut für  
Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik, Technische  
Universität Graz., Graz, 2018.