

Trockenmauern, Gabionen und Steinschichtungen im alpinen Gelände von Mittelberg im Kleinwalsertal

Mit den Schwerpunkten bautechnische Besonderheiten, Schadensbilder sowie Beurteilungsmöglichkeiten.

Dry stone walls and gabions in the alpine terrain of Mittelberg in the Kleinwalsertal

With a focus on special features of construction, damage patterns and assessment options.

Masterarbeit aus Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur

eingereicht von Peter Aigner, B.Sc.

Betreuerin: Ass. Prof. DI Dr. nat. techn. Anna Maria Drexel



Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau

Department für Bautechnik und Naturgefahren

Universität für Bodenkultur Wien



Wien, 2020

Zusammenfassung

Die Trockenmauern, Gabionen und Erdterrassen am Heuberg in der Gemeinde Mittelberg im Kleinwalsertal, wurden im Rahmen des Mauerinventars Vorarlberg im Jahr 2017 inventarisiert. In dieser vorliegenden Arbeit erfolgte eine genauere Betrachtung der inventarisierten Bauwerke, in Hinblick auf die verwendeten Bautechniken, die vorkommenden Schadensbilder sowie Schadensursachen. Außerdem wurde durch die Erstellung eines Bewertungssystems die Bewertung der Bauwerke übersichtlich und effizient möglich und die Ableitung von Maßnahmenvorschlägen erleichtert. Zusätzlich konnten durch eine Analyse der Daten Zusammenhänge zwischen dem Zustand der Bauwerke und dem Bauwerksalter sowie des Bauwerktyps erkannt werden.

Abstract

The dry-stone walls, gabions and terraces on the Heuberg in the municipality of Mittelberg in the Kleinwalsertal were inventoried as part of the research project 'Mauerinventar Vorarlberg' in 2017. In this master thesis, the inventoried objects were examined in regards to the used construction techniques, the occurring damage patterns and the causes of damage. In addition, the creation of an evaluation system made it possible to evaluate the structures in a clear and efficient way and to facilitate the derivation of proposed measures. An analysis of the data revealed relationships between the condition, age, and type of constructed object.

Danksagung

Zum Gelingen dieser Masterarbeit haben zahlreiche Menschen beigetragen, die mich sowohl in fachlicher als auch in persönlicher Hinsicht unterstützt haben. Mein besonderer Dank gilt meiner Betreuerin Frau Ass. Prof. DI Dr. nat. techn. Anna Maria Drexel für den fachlichen Input und ihre Geduld, sowie meiner Familie und meinen Freunden Andreas Brachner und Laura Kermer für die Motivation das Studium zu beginnen und letztendlich auch zu beenden.

Danke!

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	11
1.1	Ausgangslage und Problemstellung	11
1.2	Mauerinventar Vorarlberg	12
1.3	Ziele und Vorgehensweise	13
2	Bautechnische Grundlagen	15
2.1	Trockenmauerbautechnik	15
2.1.1	Dimensionierung von Trockenmauern.....	16
2.1.2	Steintypen einer Trockenmauer.....	17
2.1.3	Mauerverband.....	17
2.1.4	Bedeutung von Trockenmauern.....	19
2.1.5	Vor- und Nachteile von Trockenmauern	20
2.1.6	Wirtschaftliche Aspekte bei der Errichtung einer Trockenmauer.....	21
2.1.7	Trockenmauern im Lawinenverbau.....	22
2.1.8	Sanierungsmöglichkeiten von Trockenmauern im Lawinenverbau	23
2.2	Gabionenbautechnik	24
2.3	Erdterrassenbautechnik	26
2.4	Zusammenfassung - Bautechnische Grundlagen	27
3	Naturbürtige Gegebenheiten und Entstehung der Lawinenverbauung am Heuberg.....	29
3.1	Naturbürtige Gegebenheiten des Projektgebietes	29
3.1.1	Klimatische Bedingungen	30
3.1.2	Geologie / Geomorphologie / Gesteinsvorkommen	31
3.2	Historische Lawinenereignisse und Entwicklung der Lawinenverbauung in Mittelberg	32
3.2.1	Chronologische Entwicklung der unterschiedlichen Verbauungsmaßnahmen	32
3.3	Zusammenfassung – Kapitel 3.....	36
4	Bauwerkstypen.....	37
4.1	Bauwerkstyp M1 – Trockenmauerterrasse	37
4.1.1	Bautechnische Merkmale.....	38
4.1.2	Vergleich mit Bautechniken aus der Fachliteratur	39
4.2	Bauwerkstyp M2 - Trockenmauerterrasse kombiniert mit Gabione	39
4.2.1	Bautechnische Merkmale.....	40
4.3	Bauwerkstyp G1 – Gabione	41
4.3.1	Bautechnische Merkmale.....	41
4.3.2	Vergleich mit Bautechniken aus der Fachliteratur	42
4.3.3	Vergleich mit Bauplänen der WLW für das Projektgebiet von 1955.....	42

4.4	Bauwerkstyp G2 – Gabione mit aufgesetzten Steinschichtungen	44
4.4.1	Bautechnische Merkmale	45
4.5	Bauwerkstyp E1 – Erdterrasse.....	46
4.5.1	Bautechnische Merkmale	46
4.6	Bauwerkstyp E2 – Erdterrasse mit einzelnen Steinen.....	47
4.6.1	Bautechnische Merkmale	48
4.7	Bauwerkstyp E3 – Erdterrasse mit Steinschichtung	49
4.7.1	Bautechnische Merkmale	49
4.8	Bauwerkstyp E4 – Erdterrasse mit Steinschichtung in Trockenmauerbauweise	50
4.8.1	Bautechnische Merkmale	50
4.9	Häufigkeit der Bauwerkstypen im Projektgebiet	51
5	Schadbilder	52
5.1	Schadbilder / Schadursachen an Trockenmauerwerken.....	52
5.2	Schadbilder / Schadursachen an Gabionen.....	54
5.3	Schadbilder an den Bauwerken am Heuberg.....	56
5.3.1	Verwitterte Steine	56
5.3.2	Aufkommende Gehölze	56
5.3.3	Steinschlag.....	57
5.3.4	Hang- und Wasserdruck	57
5.3.5	Mangelhafte Hinterfüllung.....	57
5.3.6	Mangelhafte Bautechnik an Trockenmauern.....	58
5.3.7	Schäden durch Bauarbeiten	58
5.3.8	Schäden durch Bindemittel im Mauerwerk	59
5.3.9	Schäden durch aufgesetzte Gabionen.....	59
5.3.10	Setzungen im Füllmaterial der Gabionen	60
5.3.11	Korrosion des Drahtgeflechtes	60
5.3.12	Schäden an Erdterrassen.....	61
5.4	Schadensursachen im Projektgebiet	61
5.4.1	Räumliche Verteilung der Schadensursachen im Projektgebiet	64
5.4.2	Korrelation zwischen Zustand und unterschiedlichen Bautypen.....	65
5.4.3	Korrelation zwischen Zustand und Errichtungs- bzw. Sanierungszeit.....	66
6	Bauwerksbewertung	69
6.1	Bewertung von Trockenmauern beim Mauerinventar Vorarlberg	69
6.2	Erhaltungswürdigkeit	69
6.3	Gewichtung von Bewertungskriterien	71

6.4	Relevante Bewertungskriterien für das Projektgebiet	72
6.4.1	Alter und Seltenheitswert / außergewöhnliches Bauwerk	73
6.4.2	Soziokulturelle Bedeutung	73
6.4.3	Prägend für Landschafts- und Ortsbild.....	73
6.4.4	Fachgerechtigkeit / Bautechnik.....	73
6.4.5	Zustandsbeurteilung, Schadensbeurteilung.....	74
6.4.6	Wirksamkeit des Bauwerks	74
6.4.7	Gefahr durch das Bauwerk.....	75
6.4.8	Erreichbarkeit	75
6.4.9	Ökologie.....	75
6.5	Aufbau des Bewertungssystems für das Projektgebiet.....	76
6.5.1	Bewertung der Gabionen	79
6.5.2	Bewertung der Erdterrassen	80
7	Conclusio	82
8	Literaturverzeichnis.....	84
9	Abbildungsverzeichnis.....	86
10	Tabellenverzeichnis	89
11	Anhang	90
11.1	Bewertungstabellen mit Maßnahmenvorschlägen für die 14 bedeutendsten Trockenmauerterrassen im Projektgebiet	
11.2	Übersichtskarten: Besondere Schadensursachen der historischen Lawinenschutzbauwerke	
11.3	Erläuterung der Abkürzungen für die Maßnahmenvorschläge	

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Problemstellung

Mit großem Aufwand wurden zwischen 1906 und den 1990er Jahren am Heuberg in der Gemeinde Mittelberg im Kleinwalsertal zu Lawinenschutz Zwecken hunderte Bauwerke von Hand errichtet. Neben reinen Trockensteinmauern gibt es auch Mauern, die mit Gabionen teilweise saniert wurden und gänzlich in Drahtgitterkörbe umgeschichtete Bauwerke. Außerdem zählen zahlreiche Erdterrassen mit und ohne Steinschichtungen zum Ensemble aus historischen Lawinenschutzbauten am Heuberg. Mittlerweile wurde mit dem Ausbau von Stahlschneebrücken begonnen. Diese sollen zukünftig den Schutz vor Lawinenanbrüchen anstelle der historischen Bauwerke übernehmen.

Im Rahmen des Mauerinventars Vorarlberg wurde im Juni 2017 mit den Aufnahmen der Natursteinbauwerke am Heuberg begonnen. Ziele des Mauerinventars sind die Erhebung, Dokumentation, Sanierung und Erhaltung von historischen Natursteinmauern. Da zum ersten Mal Lawinenschutzbauten in das Mauerinventar aufgenommen wurden, mussten einige Arbeitsschritte angepasst werden. Beispielsweise wurden die Aufnahmeblätter vor den Aufnahmen bereits an die Aufgabenstellung angepasst und bei der Beurteilung müssen andere Kriterien miteinfließen.

Als Student der Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur kann die Lawinenschutzfunktion der Bauwerke nicht beurteilt werden. Dafür gibt es zum Beispiel den Leitfaden des Schweizer Bundesamts für Umwelt „Umgang mit Lawinenverbauungen aus Steinmauern und Mauerterrassen“. Durch den aktuellen Ausbau des Lawinenschutzes am Heuberg mit Stahlschneebrücken rückt die Lawinenschutzfunktion der Bauwerke jedoch in den Hintergrund. Nun stellt sich die Frage, wie in Zukunft mit den historischen Bauwerken umgegangen werden soll, auch in Hinblick auf andere Funktionen der Bauwerke wie Hangsicherung, Steinschlagschutz und Aufforstung.

Weil sich die Natursteinmauern am Heuberg aufgrund ihrer Funktion als Lawinenschutzbauwerke von vorhergehenden Mauerinventaren in Vorarlberg unterscheiden, stellt sich die Frage, wieweit sich die Bautechnik von anderen Natursteinmauern unterscheidet. Auch der Vergleich mit anderen Mauerterrassen im Lawinenverbau beispielsweise aus der Schweiz bietet sich an. Des Weiteren stellt sich die Frage, ob es besondere Schadensbilder und Schadensursachen der Bauwerke im alpinen Gelände gibt. Bisher wurden keine Gabionen oder Erdterrassen mit Steinschichtungen in das Mauerinventar aufgenommen. In der vorliegenden Arbeit werden die Bautechniken dieser Bauwerke näher beleuchtet und auch deren Schadensursachen.

Als Facharbeiter für Garten- und Landschaftsbau hatte ich schon vor meinem Studium theoretisches Basiswissen und praktische Erfahrung über den Bau von Trockenmauern. Im Rahmen der

Lehrveranstaltung Landschaftsbau 1 auf der Universität für Bodenkultur von DI Joachim Kräftner samt einem Vortrag von Rainer Vogler konnte ich mein theoretisches Wissen erweitern. Als Vorbereitung für die Mitarbeit am Mauerinventar Vorarlberg nahm ich am Sanierungsprojekt Vanovagasse 2017 teil. Im Rahmen dieses Sanierungsprojektes des Instituts für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau der Universität für Bodenkultur gemeinsam mit der Hochschule Weihenstephan wurde mit der Sanierung eines circa 3,5 Meter hohen Mauerabschnittes der historischen Wegeverbindung in Bludesch begonnen. Neben der praktischen Arbeit konnte ich besonders durch die Bauleitung von Martin Lutz, der ebenso wie Rainer Vogler ein anerkannter Experte auf dem Gebiet ist, meine Expertise ausbauen.

1.2 Mauerinventar Vorarlberg

Im Jahr 2009 wurde das Mauerinventar Vorarlberg mit dem Ziel der Erhebung und Dokumentation sowie der Erhaltung historischer Natursteinmauern begonnen. Das Mauerinventar wird vom Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau der Universität für Bodenkultur Wien im Auftrag des Landes Vorarlberg erstellt.

Im Jahr 2017 arbeitete ich als studentischer Mitarbeiter am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau an der Inventarisierung der Natursteinmauern in Mittelberg mit. Geleitet wurde das Projekt von DI Dr. Anna Maria Drexel (ehemals DI Dr. Anita Drexel). Diese Inventarisierung unterscheidet sich in einigen Punkten von den seit 2009 durchgeführten Inventarisierungen. Zum einen sind die besondere Lage im steilen alpinen Gelände, die große Anzahl an Bauwerken und die Bauwerksfunktion als Lawinenanbruchverbauung hervorzuheben. Zum anderen handelt es sich bei den Objekten dieser Inventarisierung nicht nur um Natursteinmauern, sondern auch um Gabionen, Erdwälle mit Steinschichtungen und kombinierte Bauwerke. Deshalb wurde sowohl die Aufnahmeform adaptiert als auch die Art der Bewertung.

Neben meinen Tätigkeiten als studentischer Mitarbeiter des Mauerinventars begann ich mit der vorliegenden Masterarbeit. Teile der Masterarbeit sind bereits in den Endbericht des Mauerinventars miteingeflossen. Dazu zählen:

- Hintergrundrecherchen zu Gabionenbauweisen und Erdterrassen
- Erkunden von Lawinenschutzmaßnahmen in der unmittelbaren Projektumgebung
- Darstellung der Referenzobjekte im Schnitt
- Auswertung der Schadbilder und der Schadensursachen
- Übersichtskarten über die Verteilung der Schadensursachen im Projektgebiet
- Erstellen des Bewertungssystems

Im Rahmen des Mauerinventars Vorarlberg wird jedem aufgenommenen Objekt eine eindeutige Identifikationsnummer zugewiesen. Unter dieser Nummer sind die Bauwerke auch online im Vorarlberg-Atlas (<http://vogis.cnv.at>) in der Karte Planung & Kataster unter dem Thema Landschaft und Freiraum verortet. Da in dieser Masterarbeit ebenfalls die Bauwerke mit diesen Nummern gekennzeichnet sind, folgt hier eine kurze Erklärung des Nummerierungssystems. Die erste Natursteinmauer im Mauerinventar Mittelberg erhielt die Nummer 59M001. Dabei steht 59 für Mittelberg, weil Mittelberg in alphabetischer Reihenfolge die 59. Gemeinde Vorarlbergs ist. Der Buchstabe danach steht für den Objekttyp. Ein M steht für Trockenmauerwerke, G steht für Gabionen und ein E steht für Erdterrassen. Die letzten drei Ziffern sind eine fortlaufende Nummerierung der jeweiligen Objekttypen. Bei Bauwerksresten, sogenannten Relikten, beginnt die Nummerierung bei 500. Somit ist allein durch die Objektnummer erkennbar, in welcher Gemeinde das Bauwerk steht, um welchen Bauwerkstyp es sich handelt und, ob das Objekt noch besteht oder nur mehr ein Relikt ist.

1.3 Ziele und Vorgehensweise

Das erste Ziel dieser Arbeit ist es, die unterschiedlichen Bauformen in Mittelberg zu untersuchen und mit Beispielen der Fachliteratur zu vergleichen. Für das Untersuchungsgebiet typische Bauweisen und bautechnische Besonderheiten wurden zeichnerisch dargestellt und beschrieben. Für einen guten Überblick über die Anzahl der jeweiligen Bauweisen werden die Ergebnisse tabellarisch dargestellt.

Die Untersuchung der Schadbilder der Bauwerke ist das zweite Ziel dieser Arbeit. Dafür wurden typische Schadbilder für die jeweiligen Bauweisen in einschlägiger Literatur recherchiert und die Schäden der Bauwerke in Mittelberg ausgewertet und auch in Hinblick auf die bautechnischen Besonderheiten analysiert. Typische Schadbilder der Objekte am Heuberg wurden dargestellt und beschrieben. Die Ergebnisse werden in Übersichtstabellen und Karten dargestellt.

Das dritte Ziel ist die Erstellung eines Beurteilungsschemas für die Natursteinbauwerke am Heuberg. Dieses Schema soll eine einheitliche, möglichst objektive Bewertung von Trockensteinmauern und ähnlichen Objekten ermöglichen. Im Rahmen einer Literaturrecherche wurden dafür Beurteilungsmethoden recherchiert und ein Bewertungssystem für die Bauwerke am Heuberg entwickelt. In diese Beurteilung sind neben den Schäden der Bauwerke weitere Punkte, die im Rahmen des Mauerinventars beurteilt werden, eingeflossen.

Diese Punkte sind auch in den beiden Berichtteilen „Inventar historischer Mauern - Lawinenschutzbauten Walmendinger Horn - Heuberg, Kleinwalsertal 2018“ teilweise verkürzt dargestellt. Eine weiterführende Untersuchung über Zusammenhänge zwischen dem

Bauwerkszustand, dem Bauwerksalter und dem jeweiligen Bautyp sowie eine Bewertung der Erdterrassen sind nur in der vorliegenden Masterarbeit abgehandelt.

Nach einer ersten Literaturrecherche sowie den Erfahrungen bei den Aufnahmen vor Ort wurden folgende Forschungsfragen formuliert die in der vorliegenden Arbeit beantwortet werden:

- Weisen die Natursteinbauwerke am Heuberg im Vergleich zur Fachliteratur Unterschiede auf die nicht auf die Standortbedingungen zurückzuführen sind?
- Welche Rolle spielt der Bauzeitpunkt in Bezug auf die verwendeten Bauweisen?
- Was für Schadbilder kommen im Projektgebiet vor?
- Welche Schadensursachen führten zu diesen Schadbildern? (neben der offensichtlich mangelhaften Pflege und dem teilweise ungeeigneten Steinmaterial)
- Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Zustand der Bauwerke und dem jeweiligen Bauwerkstyp?
- Inwieweit hängt der Zustand der Bauwerke vom jeweiligen Errichtungszeitpunkt ab?
- Können die bedeutendsten Bauwerke durch die Verwendung eines Bewertungssystems objektiv und nachvollziehbar herausgefiltert werden?
- Kann durch ein Bewertungssystem die Ableitung von Maßnahmenvorschlägen erleichtert werden?

2 Bautechnische Grundlagen

In diesem Kapitel werden eingangs die Bautechniken von Trockenmauern, Gabionen und Erdterrassen erläutert. Diese Bautechniken sind die Grundlage der Natursteinbauwerke am Heuberg und grundlegende Kenntnisse dieser sind wichtig für das Verständnis der folgenden Kapitel.

2.1 Trockenmauerbautechnik

Unter einer Trockenmauer versteht man eine Natursteinmauer, bei der Steine ohne Mörtel oder andere Bindemittel händisch geschichtet sind. Eine weitere geläufige Bezeichnung dafür ist der Begriff Trockensteinmauer.

Generell kann bei Trockenmauern zwischen freistehenden Mauern, Stützmauern und Futtermauern unterschieden werden. Falls eine Trockenmauer ein Teil eines Gebäudes ist, spricht man von einer Gebäudewand. Außerdem können Trockenmauern als Fundament für Bauwerke dienen. Für die Terrassierung von Hängen wie am Heuberg werden Stützmauern gebaut. Diese haben im Gegensatz zu Futtermauern eine Stützfunktion und müssen deshalb entsprechend dimensioniert werden. Futtermauern sind lediglich eine Verkleidung von ausreichend standfesten Böschungen und schützen diese nur vor Erosion oder dem Ausbrechen von Steinen (vgl. SUS 2015, S. 180 ff).

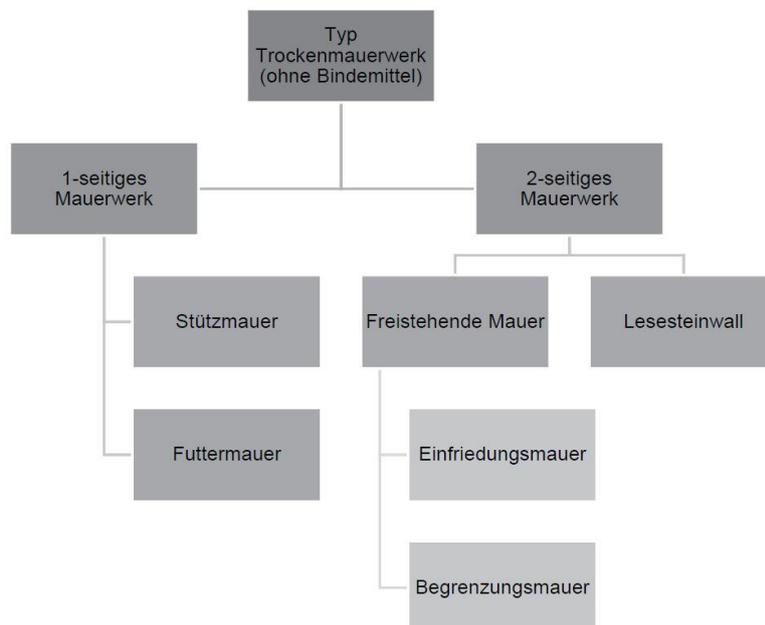


Abbildung 1: Einteilung von Trockenmauern nach Funktion

(Quelle: THUMA 2017, S.18)

Im Mauerbau wird außerdem zwischen sogenannten einhäuptigen und zweihäuptigen Mauern unterschieden. Diese Bezeichnung bezieht sich auf die sichtbaren Hauptflächen (Ansichtsseiten) einer

Mauer. Eine freistehende Mauer hat auf beiden Seiten eine sichtbare Hauptfläche und ist somit eine zweihäuptige Mauer beziehungsweise eine zweiseitige Mauer. Infolgedessen handelt es sich bei Stützmauern und Futtermauern um einhäuptige (einseitige) Mauern (vgl. ebd., S. 185).

2.1.1 Dimensionierung von Trockenmauern

Stützmauern sind sogenannte Schwergewichtsmauern, die durch ihr Eigengewicht in der Lage sind, aufgeschüttetes oder abgegrabenes Gelände abzustützen. Dafür ist ein ausreichend tragfähiger Untergrund notwendig. Wenn die Bodenverhältnisse bekannt und über die gesamte Mauerlänge gleichbleibend sind, kann die Dimensionierung von Stützmauern meist anhand von bewährten Faustregeln erfolgen (vgl. SUS 2015, S. 234).

Erstens sollte das Fundament, wie auf Abbildung 2 ersichtlich, etwa halb so breit sein wie die geplante Mauerhöhe und zweitens sollte der Anzug circa 20% betragen. Dies gilt wohlgermerkt nur für Trockenmauern in der Funktion als Stützmauern. Bei besonders günstigen Verhältnissen mit trockenem, stabilem Gelände mit gering geneigten Terrassen kann die Fundamentbreite auf ein Drittel der Mauerhöhe reduziert werden, um Material und Kosten zu sparen. Andererseits sollten Mauern bei nassem, instabilem Gelände ein Verhältnis von Fundamentbreite zu Mauerhöhe von 1 : 1,5 aufweisen (vgl. ebd., S. 234f).

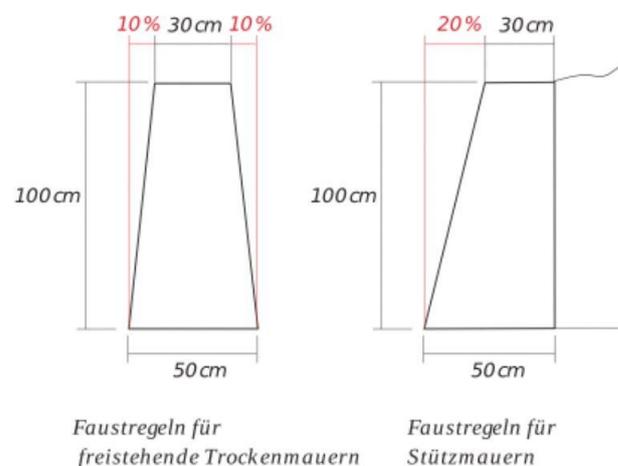


Abbildung 2: Verhältnis von Mauerhöhe zu Fundamentbreite und Anzug der Mauer
(Quelle: SUS 2019)

Die richtige Dimensionierung ist wichtig, um ein Versagen des Bauwerkes durch Gleiten, Kippen oder Grundbruch zu verhindern. Diese Versagensmechanismen werden im Kapitel 5 näher erläutert. Ausschlaggebend für die Dimensionierung von Mauern ist meist die Mauerhöhe. Dabei kann das abzustützende Gelände mit nur einer Mauer terrassiert werden oder es werden mehrere kleinere Mauern gebaut. Für Bauwerke bis eineinhalb Meter Höhe ist die Dimensionierung und Ausführung relativ einfach. Für höhere Mauern ist eine professionelle Bauleitung notwendig. Zusätzlich erhöht sich der Arbeits- und Materialbedarf bei höheren Mauern dementsprechend (vgl. ebd., S. 234f).

Berechnungen für die Dimensionierung von Trockenmauern insbesondere von Mauern über eineinhalb Meter Höhe können der FLL Richtlinie „Empfehlungen für Planung, Bau und Instandhaltung von Trockenmauern aus Naturstein, 2012“ entnommen werden (vgl. FLL 2012b, S. 28 ff).

2.1.2 Steintypen einer Trockenmauer

Je nach Lage im Mauerwerk, Form und Funktion können folgende Steintypen unterschieden werden.

- Fundamentsteine sind die unterste Schicht einer Mauer und übertragen die Lasten auf den Baugrund. Sie sollten möglichst groß, als Binderschicht gebaut und im Falle von Stützmauern zum Hang geneigt sein.
- Läufer sind Mauersteine, die mit ihrer längeren Seite parallel zur Maueransichtsfläche eingebaut sind.
- Binder sind Mauersteine, die mit ihrer kürzeren Seite parallel zur Maueransichtsfläche eingebaut sind und den Querverband der Mauer sicherstellen.
- Durchbinder sind Binder, deren Länge annähernd der Mauerdicke entspricht.
- Hintermauerungssteine werden bei Stützmauern für die Hintermauerung verwendet und können eine unregelmäßige Form haben.
- Decksteine sollten möglichst groß sein und die gesamte Mauerdicke überdecken (vgl. FLL 2012b, S. 37).

2.1.3 Mauerverband

Die Steine von Trockenmauern sind nicht durch Mörtel oder andere Bindemittel miteinander verbunden, sondern liegen lediglich auf- beziehungsweise nebeneinander. Durch die kraftschlüssige Anordnung der Steine zueinander dem sogenannten Mauerverband erreichen Trockenmauern ihre Stabilität.

Es gibt unterschiedliche Arten von Mauerverbänden, die sich je nach Form der Steine, dem Grad der Steinbearbeitung oder anhand des Fugenbildes unterscheiden lassen.

- Polygonalverbände wie beim Findlingsmauerwerk, Bruchsteinzyklopenmauerwerk oder dem Zyklopenmauerwerk weisen ein sehr unregelmäßiges Fugenbild ohne Stoß- und Lagerfugen auf.

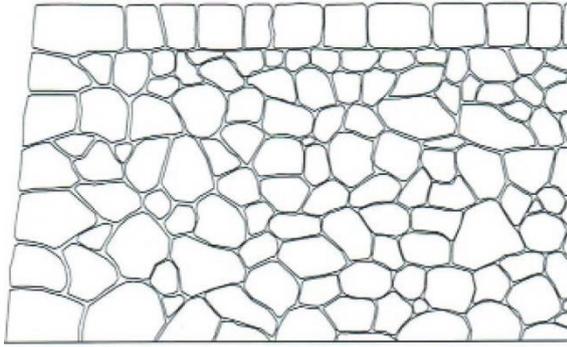


Abbildung 3 Bruchsteinzyklopenmauerwerk

(Quelle: FLL 2012b, S. 41)

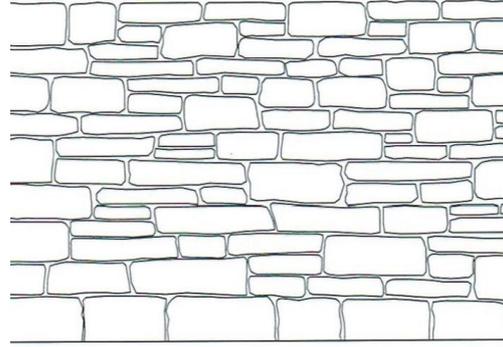


Abbildung 4 Schichtenmauerwerk

(Quelle: FLL 2012b, S. 43)

- Orthogonalverbände sind Mauerwerke mit mehr oder weniger quaderförmigen Steinen und erkennbaren Stoß- und Lagerfugen. Beispiele von Orthogonalverbänden sind das Bruchsteinschichtenmauerwerk oder das hammerrechte Schichtenmauerwerk.
- Diagonalverbände wie das Bruchsteinährenmauerwerk sind im deutschsprachigen Raum eher selten. Solche Mauern weisen diagonale Fugen auf (vgl. FLL 2012b, S. 38 ff).

Damit die unterschiedlichen Steintypen im Mauerwerk ihre Funktion erfüllen können und der Mauerverband ein stabiles Gefüge ergibt, müssen die Steine auch richtig eingebaut werden. Im Buch „Trockenmauern“ der Stiftung Umwelt-Einsatz Schweiz sind zehn „Goldene Regeln“ für langlebige und stabile Trockenmauern angeführt. Anhand dieser lassen sich außerdem etwaige Baumängel ableiten:

1. *Die größten Steine werden im Fundament verwendet.*
2. *Immer mit Schnurgerüst und Richtschnur arbeiten!*
3. *Steine mit Überbindung einbauen: Ein Stein liegt auf zwei Steinen, zwei Steine liegen auf einem Stein.*
4. *Alle Steine werden mit einem leichten Gefälle Richtung Mauer Kern gesetzt.*
5. *Die Steine müssen auf ihrem natürlichen Lager liegen.*
6. *Gesetzte Steine schließen satt an uns sollten nicht mehr bewegt werden können.*
7. *Die Hintermauerung wird sorgfältig von Hand gebaut. Alle Hohlräume im Innern der Mauer exakt ausbauen!*
8. *Keine Keile von vorne in die Sichtfläche einbauen.*
9. *Pro Quadratmeter Mauer mindestens einen Durchbinder einbauen.*
10. *Möglichst große und schwere Decksteine verwenden (Stiftung Umwelteinsatz Schweiz 2015, S. 311).*

Unter Punkt fünf versteht man, dass die Steine so eingebaut werden, dass Schichten im Stein horizontal und nicht senkrecht verlaufen.

2.1.4 Bedeutung von Trockenmauern

Laut Gerd Ulrich ist davon auszugehen, dass die Bautechnik Mauern trocken aufzubauen älter ist als die geschriebene Geschichte. Beispielsweise wird der Errichtungszeitpunkt von Trockenmauern in Irland auf 3000 vor Christus geschätzt (vgl. ULRICH 2012, S. 11).

Die Trockenmauerbaukunst wurde anfangs hauptsächlich von Bauern eingesetzt um beispielsweise Grenzmauern zwischen Weideparzellen oder Stützmauern zur Terrassierung zu errichten. Neben einfachen Mauerwerken wurden auch Mauern mit Treppen, Bögen, Entwässerungs- und Bewässerungseinrichtungen und sogar ganze Gebäude errichtet. Für die Errichtung einer stabilen und dauerhaften Trockenmauer waren schon immer Kenntnisse über den Standort, das Gestein und die Bautechnik erforderlich. Die Errichtung erfolgte stets von Hand mit wenigen Hilfsmitteln und das Steinmaterial stammte aus der unmittelbaren Umgebung. Somit ist die Gestalt von Trockenmauern immer von ihrem Standort beeinflusst und es handelt sich um eine sehr nachhaltige Bautechnik (vgl. SUS 2015, S. 45).

Trockenmauern beeinflussten auch das Erscheinungsbild vieler Kulturlandschaften die heute als erhaltenswert betrachtet werden. Unter den historischen Kulturlandschaften mit Welterbetitel der UNESCO befinden sich beispielsweise zahlreiche Terrassenlandschaften von Weinbaugebieten, die in Trockenmauerbauweise errichtet wurden (vgl. ULRICH 2012, S. 11).

Die Region Wachau in Niederösterreich ist ein bekanntes Beispiel in Österreich für ein UNESCO Welterbe. Das Erscheinungsbild der Wachau wird maßgeblich von den unzähligen Trockenmauerterrassen geprägt, die bereits vor mehreren Jahrhunderten den Weinbau an den steilen Hängen ermöglichten (vgl. Verein Welterbegemeinden Wachau, online Zugriff am 04.11.2018, 09:00).

Die Bedeutung von Trockenmauern begründet sich jedoch nicht nur durch ihre lange Bautradition oder die entstandenen Kulturlandschaften, auch für die Fauna und Flora haben Trockenmauern eine Bedeutung. Bei der Errichtung alter Trockenmauern standen zwar keinesfalls Ziele des Naturschutzes im Vordergrund, heute jedoch ist der ökologische Wert dieser Mauern bekannt (vgl. SUS 2015, S. 351 und 361).

Durch den Bau der Trockenmauern wurden die physikalischen Bedingungen wie der Wasserhaushalt und der Schneerückhalt verändert und es sind neuartige ökologische Nischen entstanden. Diese

Nischen würden durch den Verfall der Trockenmauern wieder verschwinden (vgl. FALSER 2010, S. 12).

Beispielsweise erwärmt sich durch die Sonneneinstrahlung auf das Trockenmauerwerk das dahinter anstehende Erdreich mehr als in der Umgebung. Somit wird die Vegetationsperiode für Pflanzen die in diesem Erdreich wurzeln verlängert und bietet ihnen einen Wachstumsvorteil. Eine Folge davon sind vermutlich die zahlreichen stattlichen Fichten auf den Mauerterrassen am Heuberg (siehe Kapitel 5.3.2).

In manchen Landschaften bieten die Mauern einen Ersatzlebensraum für vom Menschen zerstörte Habitate oder vergrößern Areale für manche Tier- und Pflanzenarten. Besonders in Gebieten, in denen es sonst keine trockenwarmen Lebensräume gibt, erweitern Trockenmauern die Artenvielfalt. Auch wenn eine Trockenmauer ähnliche Bedingungen bietet wie ein natürliches Felsbiotop, werden sie auch von zahlreichen anderen Arten bewohnt. Besonders die vielen Hohlräume sind für zahlreiche Tiere ein idealer Lebensraum (vgl. SUS 2015, S. 351 und 361).

2.1.5 Vor- und Nachteile von Trockenmauern

Ein großer Vorteil von Trockenmauern gegenüber von gemörtelten Mauern oder anderen starren Bauwerken ist ihre Elastizität. Die Steine sind zwar durch den Mauerverband verbunden aber können sich trotzdem unabhängig voneinander bewegen. Somit können Trockenmauern Einwirkungen von Frost, Wasser, Erschütterungen oder Setzungen besser standhalten als beispielsweise Betonmauern. Die Widerstandsfähigkeit gegen Wasserdruck begründet sich in der ganzflächigen Wasserdurchlässigkeit von Trockenmauern, dadurch kann über die ganze Maueransichtsfläche entwässert werden. Trotzdem ist Wasserdruck die Hauptursache für Schäden an trocken geschichteten Terrassenmauern. Doch im Gegensatz zu starren Bauwerken stürzt bei einer Trockenmauer bei katastrophalen Niederschlägen nur der Teil ein, wo der Wasserdruck auftritt, somit bleibt die Schadstelle klein und das restliche Mauerwerk bleibt unbeschädigt. Im Kapitel Bedeutung von Trockenmauern wurde bereits der positive Aspekt für die Fauna und Flora erwähnt. Trockenmauern bieten durch ihre vielen Nischen mehr Lebensraum als Betonmauern und beheimaten überdurchschnittlich viele gefährdete Arten. Auch bei der Betrachtung der ökologischen Auswirkungen im größeren Maßstab schneiden Trockenmauer besser ab als Mauern aus Stahlbeton. Der Energieverbrauch von Stahlbeton ist laut dem Handbuch Trockensteinmauern mit 3.750 bis 6.750 MJ/m³ etwa zehnmal höher als für Natursteine aus einem Steinbruch (400 bis 500 MJ/m³). Neben den oben erwähnten Vorteilen ist auch das positive Image von Trockenmauern zu erwähnen. Sowohl bei Bewohnern als auch bei Touristen werden sie positiv wahrgenommen und stehen für ein harmonisches Zusammenspiel zwischen Mensch und Natur (vgl. Wein- und Obstbauschule Krems 2009, S. 3/1).

Besonders durch die Verwendung von Steinmaterial aus der unmittelbaren Umgebung wirken Trockenmauern nicht wie ein Fremdkörper in der Landschaft, sondern fügen sich in die Landschaft ein. Wenn für den Bau einer Trockenmauer kein Steinmaterial in der Umgebung vorhanden ist, sollte die Auswahl der verwendeten Materialien sowohl in Hinblick auf den Energieverbrauch als auch auf die Ästhetik mit Bedacht erfolgen.

Neben den vielen Vorteilen gibt es jedoch auch Nachteile von trocken geschichteten Mauern besonders bei der Errichtung der Mauern. Zum Beispiel gibt es höhere Anforderungen an das Steinmaterial. Es sind auch hohe handwerkliche Kenntnisse und Erfahrung notwendig, denn es gibt kein Bindemittel, das Unregelmäßigkeiten oder Hohlräume zwischen den Steinen ausgleichen kann. Ein unerfahrener Trockenmaurer kann für die Errichtung mehr als doppelt so lange benötigen als bei einer gemörtelten Mauer (vgl. Wein- und Obstbauschule Krems 2009, S. 3/1).

Bezüglich der Errichtungszeit gibt es jedoch unterschiedliche Angaben in der Literatur. Eine Faustregel der Stiftung Umwelteinsatz Schweiz besagt, dass eine Person pro Arbeitstag einen Quadratmeter Mauerfläche errichten kann und dafür etwa eine Tonne Steine benötigt. Jedoch erwähnen die Autoren auch andere Angaben von zwei bis vier Quadratmeter pro Person und Tag. Beeinflusst wird die Errichtungsdauer neben dem handwerklichen Können von der Qualität der Steine. Auch die Ausmaße und Form der zu errichtenden Mauer und die Bedingungen auf der Baustelle sind entscheidend für die Errichtungsdauer. Beispielsweise wird für die Errichtung von niedrigen Mauern weniger Steinmaterial, aber mehr Zeit pro Quadratmeter benötigt, weil das Fundament und die Deckschicht aufwendiger sind als die mittleren Schichten. Andererseits steigt der Zeit- und Materialbedarf ab etwa 1,2 m Höhe stark an. Für bauliche Details wie Bögen, Stufen oder Drainagemaßnahmen ist ebenfalls mehr Zeit notwendig (vgl. SUS 2015, S. 216 ff.).

Nicht vergleichbar ist die Errichtungszeit von traditionellen Trockenmauern, wie bisher beschrieben, mit vielen Trockenmauern, die von Gartenbaufirmen errichtet werden. Aufgrund von Zeitersparnis und somit Kostenersparnis oder geringerer handwerklicher Kenntnisse werden Mauern oft nicht nach traditioneller Bauweise errichtet. Durch die Verwendung von quaderförmigen Blöcken im reinen Läuferverband lässt sich beispielweise Zeit sparen (vgl. ebd., S. 216 ff.).

Auch der Verzicht auf eine fachgerechte Hintermauerung ist bei Gartenbaufirmen zu beobachten. Bei Mauern bis etwa 1,5 m Höhe wird dabei nur die Ansichtsfläche im Verband geschichtet, dahinter wird das Mauerwerk mit Steinbrechgut in Standard-Lieferkörnungen hinterfüllt.

2.1.6 Wirtschaftliche Aspekte bei der Errichtung einer Trockenmauer

Der fallweise höhere Zeitaufwand bedeutet bei kommerzieller Errichtung auch höhere Kosten für die Errichtung einer Trockenmauer. Weitere Kostenfaktoren sind beispielsweise das Steinmaterial, falls

es nicht vor Ort vorhanden ist, vorbereitende Erdarbeiten, Baustelleninstallationen wie Gerüste oder auch Zugänglichkeit und Erreichbarkeit der Baustelle. Kleinere Trockenmauerbauwerke, maschinell errichtete Blocksteinmauern oder Trockenmauern in abgelegenen, steinreichen Gebieten schneiden bei Betrachtung der Errichtungskosten vergleichsweise gut ab. Abgesehen von diesen Fällen ist die Errichtung von Trockenmauern in Ländern wie der Schweiz und Österreich aufgrund der Lohnkosten meist teurer als gemörtelte Natursteinmauern, Gabionen oder Betonwände. Bei Betrachtung der Kosten über die gesamte Lebensdauer eines Mauerwerkes kann das Ergebnis jedoch zu Gunsten von Trockenmauern ausfallen. Eine fachgerechte Trockenmauer kann Jahrhunderte überstehen, während die Gebrauchsdauer von Betonmauern zum Beispiel in der Schweiz auf 50 bis 80 Jahre angelegt ist (vgl. SUS 2015, S. 215 ff.).

Für Gabionen sind in der Literatur ebenfalls Zeiträume für die Gebrauchsdauer von bis zu 50 Jahren zu finden (siehe Kapitel 2.2 Gabionenbautechnik).

2.1.7 Trockenmauern im Lawinverbau

Mauerterrassen und Erdterrassen zählen zu den ältesten Lawinanbruchverbauungen. In der Schweiz wurden zwischen 1876 und 1938 ungefähr 100 km Mauerwerk mit bis zu 9 m Mauerhöhe errichtet. Die erste Anbruchverbauung aus trockengemauerten Terrassenstützmauern in Österreich wurde auf der Rax in den Jahren 1898 und 1899 errichtet (vgl. RUDOLF-MIKLAU und SAUERMOSE 2011, S. 17 f).

Die Autoren Margreth und Blum definieren drei unterschiedliche Werktypen von Trockenmauern im Lawinverbau (siehe Abbildung 5).

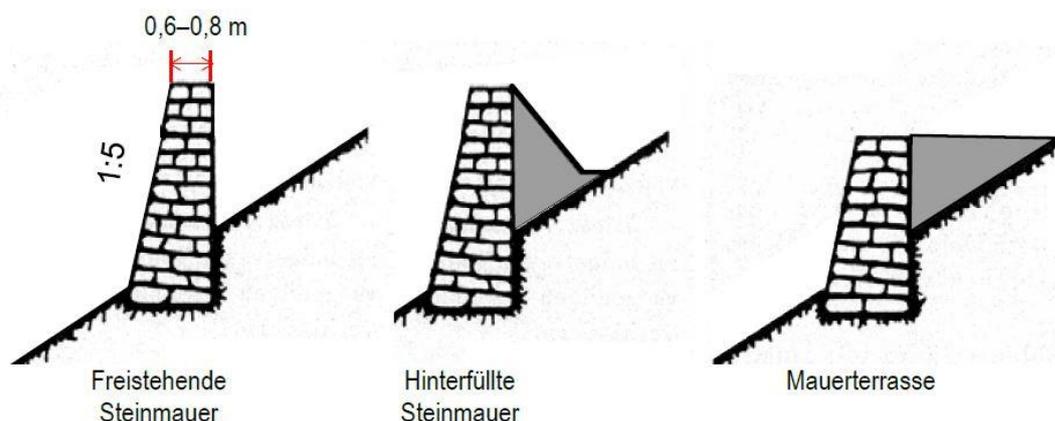


Abbildung 5: Werktypen von Trockenmauern im Lawinverbau

(Quelle: MARGRETH und BLUM 2011, S. 9)

Der erste Werktyp beschreibt freistehende, zweihäufige Mauern. Diese weisen talseitig einen Anzug von 20% auf, bergseitig jedoch sind freistehende Mauern im Lawinverbau senkrecht gebaut. Beim zweiten Werktyp handelt es sich um hinterfüllte Steinmauern, die im Gegensatz zum ersten Werktyp eine schräge Anschüttung auf der Bergseite aufweisen. Die Anschüttung soll das Mauerwerk vor

Erosion und dem Aufprall von Steinen oder Lawinen schützen. Der dritte Werktyp, den die Autoren beschreiben, ist eine Mauerterrasse. Wie auf Abbildung 5 zu sehen, ist die bergseitige Anschüttung horizontal ausgeführt. Diese Bauform wurde seit 1910 in der Schweiz mehrheitlich gebaut, weil sie einerseits billiger in der Herstellung war und andererseits ein besseres Abstützen der Schneedecke erwartet wurde (vgl. MARGRETH und BLUM 2011, S. 9).

Die Wirkung von Mauerterrassen als Lawinenschutz ist aufgrund ihrer relativ geringen Werkshöhe ungenügend. Auch die Werkabstände von Mauern sind oft zu groß (vgl. ebd., S. 10).

Der Großteil der Trockenmauern am Heuberg sind dem Werktyp Mauerterrasse zuzuordnen.

2.1.8 Sanierungsmöglichkeiten von Trockenmauern im Lawinenverbau

Die Autoren Margreth und Blum führen in „Umgang mit Lawinenverbauungen aus Steinmauern und Mauerterrassen“ von 2011 Maßnahmen an, die nach der Beurteilung der Trockenmauern gesetzt werden können. Dabei unterscheiden die Autoren einerseits Maßnahmen zur Instandsetzung von Mauern um ihre Gebrauchstauglichkeit für den Lawinenschutz wiederherzustellen. Andererseits werden Maßnahmen erwähnt wie Mauern rückgebaut werden können oder ihr natürlicher Zerfall sicher gewährleistet werden kann. Außerdem führen die Autoren noch eine Reihe von Maßnahmen an, wie die Trockenmauern ergänzt oder ersetzt werden können. Im Nachfolgenden wird ein Überblick über diese Maßnahmen gegeben.

Die naheliegendste Maßnahme zur Instandsetzung einer Mauer ist der Ab- und Wiederaufbau nach ursprünglicher Methode. Dabei werden die defekten Stellen der Mauer abgetragen und in Trockenmauerbauweise wiederhergestellt. Verwitterte Steine werden dabei ersetzt. Durch den Erhalt der Mauer in ihrer ursprünglichen Bauweise bleibt sowohl das Kulturgut Trockenmauer erhalten, als auch die Kunst des Mauerbaus. Die Schutzwirkung für den Lawinenschutz bleibt dabei unverändert. Falls erforderlich kann die Mauer in Zukunft relativ einfach rückgebaut werden. Als Nachteil muss jedoch die Zeit- und Kostenintensive Bauweise besonders im steilen Gelände erwähnt werden, wofür auch geschultes Fachpersonal erforderlich ist (vgl. MARGRETH und BLUM 2011, S. 31).

Zu den Maßnahmen zur Instandsetzung von Mauern zählen die Autoren auch eine Reihe von baulichen Veränderungen wie Vermörtelung, Betonvorbau, Netzabdeckung oder auch das Umpacken in Drahtsteinkörbe wie es am Heuberg teilweise erfolgt ist (vgl. ebd., S. 32 ff.).

Zu den Ergänzungs- und Ersatzmaßnahmen zählen der Ersatz der Mauern mit gegliederten Stützwerken, die Ergänzung der Mauern mit gegliederten Stützwerken und die Erhöhung der Mauern mit Schneezäunen (vgl. ebd., S. 44 ff.).



Abbildung 6: Mauerterrasse ergänzt mit Stützwärken am Heuberg

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

Im Falle des Heuberges wurde damit begonnen, Stützwärke zwischen den Mauern zu errichten. Bei der Errichtung dieser Stützwärke war jedoch kein Konzept für den zukünftigen Umgang mit den Natursteinbauwerken vorhanden. Das Fehlen eines Konzepts zeigt sich dadurch, dass einerseits im Rahmen des Stahlschneebrückenbaus eine Trockenmauer errichtet (siehe Kapitel 5.4.3), und andererseits auch Mauern durch den Bau beschädigt wurden (siehe Kapitel 5.3.7).

Funktionierende Natursteinbauten zwischen den Stützwärken können sie in Hinblick auf Steinschlag und Schneedruck entlasten. Zerfallende Mauern können jedoch die Stützwärke gefährden oder hinterfüllen und somit höhere Unterhaltskosten verursachen. Es ergeben sich höhere jährliche Unterhaltskosten durch die Erhaltung der Mauern. Diese belaufen sich auf etwa 2 % der Baukosten (vgl. MARGRETH und BLUM 2011, S. 15 und S. 31).

2.2 Gabionenbautechnik

Die Bezeichnung Gabione kommt laut JUNG ursprünglich aus dem Italienischen und bedeutet großer Käfig, oft werden Gabionen auch als Drahtschotterkörbe oder Steinkörbe bezeichnet (vgl. JUNG 2015, S. 8).

Ein Gabionenkorb besteht aus Stahlgitter oder Drahtgeflecht. Diese Körbe setzen sich aus den Seitenwänden, Boden, Deckel sowie Verbindungen und Verstrebungen zusammen. Bei Gabionen aus Drahtgeflecht erfolgt die Verbindung der Kanten mit Drähten, die gemäß Jung einen stärkeren Durchmesser aufweisen sollten als die Drahtgeflechtmatten (vgl. JUNG 2015, S. 28).

Als Verfahren für den Korrosionsschutz des Korbmaterials werden in der FLL-Richtlinie die Feuerverzinkung oder eine Legierung aus Zink-Aluminium erwähnt. Bei besonders hohen

Anforderungen an die Beständigkeit können außerdem nichtrostender Stahl, Kunststoffbeschichtungen oder Pulverbeschichtungen zum Einsatz kommen (vgl. FLL 2012a, S. 43 f.).

Übliche Maschenweiten für sechseck-maschige, mehrfach verdrehte Drahtgeflechtgabionen liegen laut Jung zwischen 60 x 80 bis 80 x 100 mm. Der Autor gibt für die Drahtstärke mindestens 2,7 mm an (vgl. JUNG 2015, S. 49).

Das Füllmaterial in den Körben muss eine ausreichende Druckfestigkeit, Frostbeständigkeit und Witterungsbeständigkeit aufweisen, da der Lastabtrag über die Füllstoffe und nicht über den Gabionenkorb erfolgt. In der FLL-Richtlinie wird die Größe der Füllstoffe mit einem Kleinstkorndurchmesser vom 1,2-fachen der kleinsten Maschenweite und einen Größtkorndurchmesser mit maximal dem 2,5-fachen des Kleinstkorndurchmessers angegeben. Geschüttete Füllungen müssen verdichtet und geschichtete Füllungen lagestabil hergestellt werden. Die Schichtung kann lagenweise oder im wilden Verband erfolgen (vgl. FLL 2012a, S. 46 ff.).

Gabionenbauwerke zur Hangsicherung benötigen kein starres Fundament. Der Baugrund muss jedoch ausreichend tragfähig und wasserdurchlässig sein. Gabionen können geringe Setzungen ausgleichen, stark frost- und setzungsempfindliche Schichten müssen jedoch ausgetauscht werden. Durch die Einbindung der untersten Korbreihe in den Baugrund wird die Stabilität erhöht (vgl. FLL 2012a, S. 33).



Abbildung 7: Seitenansicht einer Gabione am Heuberg

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

Der Einbau der Körbe kann bis zu einer freien Höhe von 2 m senkrecht erfolgen. Ab 2 m Höhe sollte gemäß FLL-Richtlinie ein Anlauf von 10 bis 20 % gebaut werden. Diesen Anlauf erreicht man durch Neigung der Körbe, wie auf Abbildung 7 zu sehen, oder durch Versetzen der Korbreihen zum Hang. Längsneigungen können dem Autor zufolge bis maximal 3 % Steigung errichtet werden. Bei größeren Höhenunterschieden in Längsrichtung werden die Körbe abgetreppert eingebaut. Bei bauseitig gefüllten Gabionen sollten die horizontalen und vertikalen Matten eine Kreuzfuge bilden. Im

Gegensatz dazu werden werkseitig gefüllte im Verband angeordnet, die vertikalen Korbkanten sind also versetzt (vgl. FLL 2012a, S. 33).

Für den Einbau sind neben den Angaben in den Ausführungsplänen und statischen Berechnungen auch die Herstellerangaben zu beachten. Besonders die Anzahl und Anordnung der Matten, Queranker und Verbindungen sind darin geregelt. Die Verteilung der Queranker bzw. Distanzhalter sollte laut Jung den ArbeiterInnen auf der Baustelle in Plänen vorliegen (vgl. JUNG 2015, S. 57 und S. 70).

Die Hinterfüllung der Körbe muss ausreichend filterstabil gegenüber dem Füllmaterial sowie dem anstehenden Erdreich sein, um anfallendes Hangwasser über den gesamten Querschnitt abführen zu können. Falls das anfallende Wasser nicht über den Gabionenquerschnitt abgeführt werden soll, kann eine vertikale Drainage auf der Hangseite eingebaut werden. Oberflächenwasser kann laut der FLL – Richtlinie außerdem durch Mulden hinter der Bauwerkskrone, Drainleitungen oder Drainschichten gesammelt und abgeleitet werden (vgl. FLL 2012a, S. 42).

Stützbauwerke aus Gabionen erfordern eine regelmäßige Kontrolle auf Verformung, Befüllungsgrad und Roststellen. Bäume und zu große Sträucher sind vom Bauwerk zu entfernen (vgl. JUNG 2015, S. 95).

In der Schweiz ist das Umpacken von beschädigten Trockenmauern in Drahtgitterkörbe eine häufige Sanierungsmaßnahme. Ein großer Vorteil dieser Sanierungsmaßnahme ist es, dass auch kleineres Steinmaterial im Vergleich zu Trockenmauern verwendet werden kann. Jedoch wird für die Gabionenkörbe ein größeres Steinvolumen benötigt. Für diese Sanierungsmaßnahme geben die Autoren Margreth und Blum bei fachgerechter Herstellung und unter normalen Bedingungen eine Lebensdauer von 50 Jahren an (vgl. MARGRETH und BLUM 2011, S. 34).

Die Autoren Lay et al. geben in der FLL „Empfehlung für Planung, Bau und Instandhaltung von Gabionen“ bezüglich der Lebensdauer an, dass der Korrosionsschutz und die Drahtstärke auf mindestens 25 Jahre ausgelegt werden sollen (vgl. FLL 2012a, S. 43).

Die Schönheit von Gabionen ist ein umstrittenes Thema aber wie es Gerd Ulrich treffend formuliert, verlieren die ästhetischen Einwände gegen Gabionen mit dem Abstand zum Bauwerk an Argumentationskraft (vgl. ULRICH 2012, S. 37). Aus der Ferne sind gut geschichtete Gabionen von Trockenmauern schwer zu unterscheiden.

2.3 Erdterrassenbautechnik

Bereits im 18. Jahrhundert wurden im Schweizer Wallis erste Lawinenschutzbauten in Form von 0,8 m tiefen Gräben in Abständen von zirka 20 m errichtet. Zu Beginn der systematischen

Lawinerverbauung im 19. Jahrhundert wurden in Anbruchgebieten Mauer- und Erdterrassen errichtet. Erst später wurde erkannt, dass solche Terrassen zu niedrig sind, um Lawinenanbrüche zu verhindern (vgl. RUDOLF-MIKLAU und SAUERMOSE 2011, S. 17).

Erdterrassen, auch Bermen genannt, werden im Lawinerverbau entweder durchgehend oder als Tellerbermen an den Hängen angeordnet, um Gleitschneebewegungen zu reduzieren. Ursprünglich war der Bau der 0,8 m bis 2 m breiten Terrassen Handarbeit. Mit Schreitbaggern oder bei ausreichender Humusauflage mit Bermenpflügen ist die Errichtung heute deutlich effizienter möglich. Dabei ist zu beachten, dass der Hangwasserhaushalt beeinträchtigt und durch die Versteilung Erosion gefördert wird. Für eine hohe Wirksamkeit von Bermen als Gleitschneeschutz muss der Abstand zwischen den einzelnen Terrassen gering sein. Falls es sich um vernässte oder instabile Hangbereiche handelt, sollte eine geotechnische Begutachtung durchgeführt oder auf die Errichtung von Erdterrassen verzichtet werden. Eine Sonderform von Bermen sind sogenannte Druckhügel (siehe Abbildung 8). Dafür werden Rasenziegel ausgestochen und wie bei Erdterrassen wird Material hangseitig abgegraben und talseitig aufgeschüttet. Es werden jedoch keine ebenen Terrassen, sondern Hügel aufgeschüttet. Talseitig stabilisiert man die Hügel mit den ausgestochenen Rasenziegeln. Diese werden dafür mit der Rasenseite nach unten übereinander eingebaut (vgl. RUDOLF-MIKLAU und SAUERMOSE 2011, S. 195).



Abbildung 8: Erdterrasse mit Druckhügel am Heuberg

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

2.4 Zusammenfassung - Bautechnische Grundlagen

Von den drei beschriebenen Bautechniken (Trockenmauerwerk, Gabionen und Erdterrassen) stellen Trockenmauern die anspruchsvollste Bautechnik dar. Diese Technik ist bereits tausende Jahre alt und die Bauwerke können bei korrekter Ausführung Jahrhunderte überdauern. Bei der Dimensionierung von Trockenmauern ist besonders auf das Verhältnis der Fundamentbreite zur Mauerhöhe und den Anzug der Mauer zum Hang zu achten. Neben der Verwendung von geeignetem Gestein ist auch die richtige Positionierung der Steine im Mauerwerk wichtig. Aufgrund

ihrer Form wird zwischen Fundamentsteinen, Läufern, Bindern, Durchbindern, Hintermauerungssteinen und Decksteinen unterschieden. Durch das Beachten der zehn goldenen Regeln der Stiftung Umwelteinsatz Schweiz wird ein guter Mauerverband gewährleistet und Baufehler können vermieden werden.

Von den zahlreichen Vorteilen von Trockenmauern ist besonders ihre Elastizität hervorzuheben. Durch das Einwirken von Wasser, Erschütterungen oder Setzungen können zwar Schadstellen im Mauerwerk entstehen, das restliche Mauerwerk bleibt dabei aber unbeschädigt. Somit begrenzt sich der Sanierungsaufwand auf die unmittelbare Schadstelle. Von den Nachteilen sind die meist höheren Errichtungskosten und die notwendigen hohen handwerklichen Kenntnisse hervorzuheben.

Trockenmauern und Erdterrassen zählen zu den ältesten Lawinenanbruchverbauungen und wurden in Österreich ab 1898 gebaut. Für den Umgang mit beschädigten Trockenmauern im Lawinenverbau stehen zahlreiche Maßnahmen zur Verfügung. Dabei müssen stets die Vor- und Nachteile der einzelnen Maßnahmen abgewogen werden.

Eine Möglichkeit ist das Umpacken der Steine in Gabionenkörbe. Dafür kann auch kleineres Steinmaterial im Vergleich zu Trockenmauern verwendet werden, jedoch wird für die Gabionenkörbe ein größeres Steinvolumen benötigt. Das Füllmaterial in den Körben muss druckfest, frostbeständig und witterungsbeständig sein und die Hinterfüllung muss filterstabil sein. Das Korbmateriale ist mit einem Korrosionsschutz zu versehen und die Maschenweiten sind auf das Füllmaterial abzustimmen. Üblicherweise werden Gabionen im Lawinenverbau direkt am Einbauort befüllt. Bei dieser Bauweise sollten die Körbe im Raster und nicht versetzt zueinander angeordnet werden.

Erdterrassen können heutzutage effizient mit Schreitbaggern oder Bermenpflügen errichtet werden. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem Hangwasserhaushalt und der erhöhten Erosionsgefahr. Ein geringer Abstand zwischen den einzelnen Terrassen ist die Voraussetzung für eine hohe Wirksamkeit als Gleitschneeschutz.

Sowohl Trockenmauern als auch Gabionen und Erdterrassen können aufgrund ihrer geringen Höhe Lawinenanbrüche nicht verhindern. Sie können allerdings Stützbauwerke in Hinblick auf Steinschlag und Schneedruck entlasten. Zerfallende Natursteinbauwerke können jedoch die Stützwerte gefährden oder hinterfüllen und somit höhere Unterhaltskosten verursachen.

3 Naturbürtige Gegebenheiten und Entstehung der Lawinenverbauung am Heuberg

In diesem Kapitel wird zuerst auf die geografischen, geologischen und klimatischen Besonderheiten des Projektgebietes eingegangen. Danach werden historische Lawinenereignisse und die damit einhergehende Entwicklung der Lawinenverbauung am Heuberg erläutert.

3.1 Naturbürtige Gegebenheiten des Projektgebietes

Das Kleinwalsertal liegt im Nordosten von Vorarlberg und öffnet sich Richtung Norden. Deshalb ist es per PKW nur über Deutschland erreichbar und hat keine Verkehrsanbindung an Österreich.



Abbildung 9: Lage des Kleinwalsertals

(Quelle: Google Maps, online Zugriff am 20.12.2019, 10:30).

Das 15 km lange Hochgebirgstal liegt auf 1.100 bis 1.250 m Seehöhe und umfasst die vier Dörfer Riezlern, Hirschegg, Mittelberg und Baad. Gemeinsam umfassen die vier Dörfer ungefähr 5.000 EinwohnerInnen, jedoch handelt es sich um ein sehr stark touristisch genutztes Gebiet. Das Projektgebiet liegt oberhalb der Ortschaft Mittelberg zu dem auch die Ortsteile Tobel, Höfle, Schwendle, Stütze und Bödmen gehören. Direkt über dem Projektgebiet führt die Walmendingerhornbahn auf das namensgebende Walmendingerhorn. Der Heuberg, auf dessen Südosthängen sich die Natursteinbauwerke befinden, zieht sich von Mittelberg aus talauswärts bis Hirschegg (vgl. Gemeinde Mittelberg, online Zugriff am 04.12.2019, 16:05).

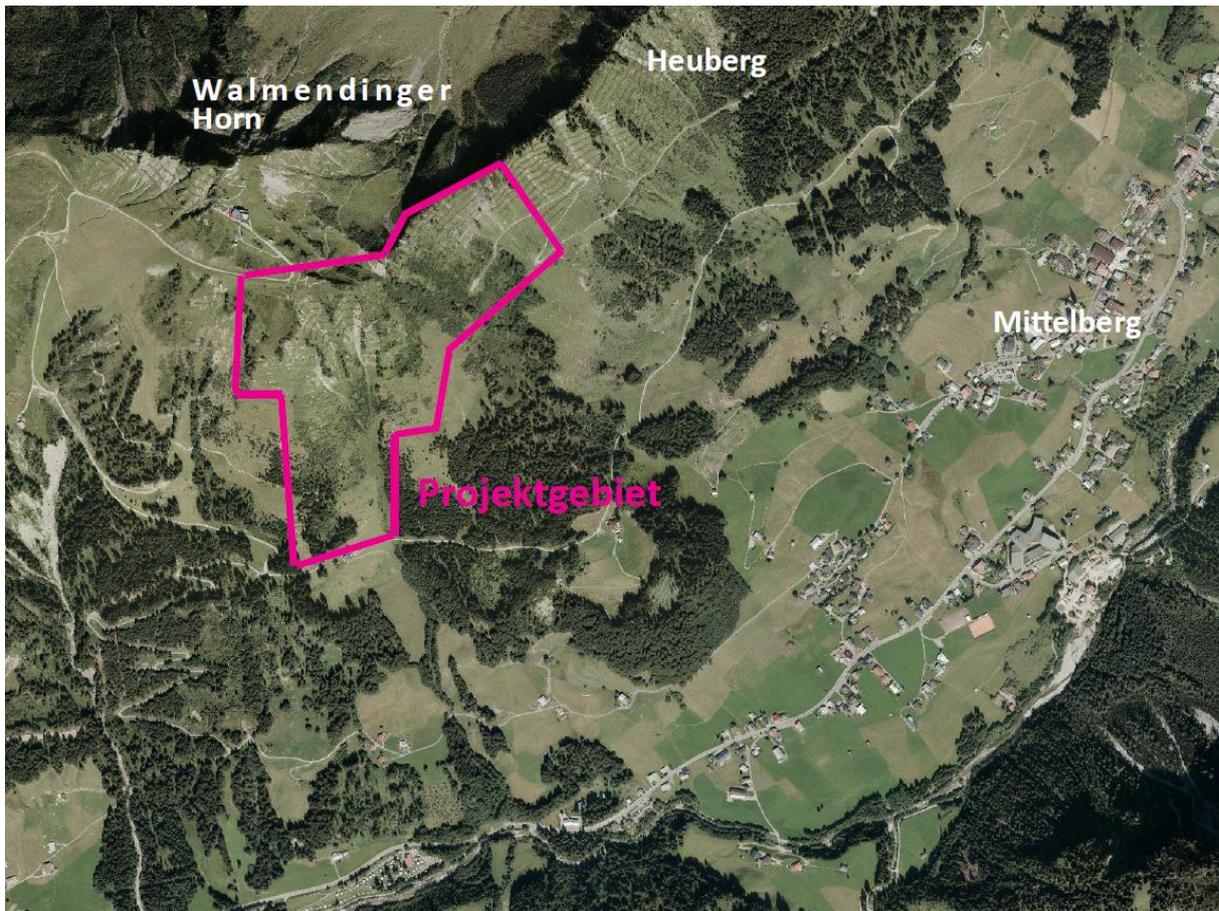


Abbildung 10: Lage des Projektgebietes

(Quelle: Land Vorarlberg, online Zugriff am 05.10.2017, eigene Bearbeitung)

3.1.1 Klimatische Bedingungen

Mittelberg zählte mit durchschnittlich 1.700 mm Niederschlag pro Jahr zwischen 2009 und 2016 zu den niederschlagsreicheren Gebieten Österreichs. Die niederschlagsstärksten Monate waren zwar Mai bis August, dennoch kommen häufig enorme Schneemengen vor (vgl. ZAMG 2009 bis 2016).

Die Autoren Heim und Holzer erwähnen in der Chronik der Gemeinde Mittelberg beispielsweise Gesamtschneemengen in den Wintern 1969/1970 bis 1999/2000 zwischen 1,73 m und 16,51 m. Diese wurden bei den Gendarmerieposten in Hirscheegg und Mittelberg – Tobel gemessen. Dabei wird in der Chronik auch eine unregelmäßige Verteilung des Schneefalls erwähnt. Im März 1988 etwa fiel innerhalb von nur drei Tagen eine Gesamtschneemenge von 250 cm. Auch enorme Schneehöhen zum Beispiel am 26.02.1999 von 300 cm werden von den Autoren erwähnt (vgl. HEIM und HOLZER o. J., S. 28 ff.).

Wohlgemerkt handelt es sich bei diesen Messungen um Schneehöhen bzw. Gesamtschneemengen im Tal.

3.1.2 Geologie / Geomorphologie / Gesteinsvorkommen

Die unter Vorarlberger Flysch bekannte Gesteinszusammensetzung zeichnet sich in den sanften, weichkonturierten und begrünten Bergformen ab. Die Landschaft wirkt weniger schroff und felsig wie in den Kalkalpen. Bei starker Durchnässung ist Flysch oft fließfähig, weshalb die Gebirge leichter erodieren und meist unter 2000 m hoch sind. Auch Hangrutschungen sind im Kleinwalsertal weitverbreitet. Aufgrund der geringen Durchlässigkeit für Sickerwasser findet man häufig Böden mit vernässtem Hanggley oder Hangpseudogley vor (vgl. VÖLK 2001 S. 23 f.).

Typisch sind die unterschiedlichen übereinanderliegenden Schichten die durch die Bewegung der Afrikanischen Kontinentalplatte verschoben und übereinander gefaltet wurden. Laut Völk kommen am Heuberg die Hällritzer-, die Piesenkopf- und die Reiselsbergformation vor (vgl. ebd., S. 17 f.).



Abbildung 11: Übereinanderliegende Gesteinsschichten am Heuberg

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

Bei der **Hällritzerformation** handelt es sich um die jüngste der drei Formationen. Sie beinhaltet eine Abfolge von Sandsteinen, schwarzen Tonschiefern, hellen Mergeln, kieseligen Kalken, Sandkalken und Kalkbrekzien (vgl. FRIEBE 2013, S. 46).

Die **Piesenkopfformation** zeichnet sich durch monotone Wechselablagerungen von hellgrauen, dünnbankigen, splittrigen Kalkbänken mit 5 bis 15 cm Dicke und dünnen, olivgrauen bis dunkelgrauen Mergellagen aus (vgl. ebd., S. 45).

Mit einer Entstehungszeit von über 90 Millionen Jahren ist die **Reiselsbergformation** die älteste der drei Schichten. Sie zeichnet sich durch die bis zu 3,5 m mächtigen Sandsteinlagen mit dunkelgrau-schwarzen Tonschiefer-Zwischenlagen aus (vgl. ebd., S. 43 ff.).

Für den Bau der Trockenmauern, Gabionen und Steinschichtungen am Heuberg wurde das vor Ort vorkommende Steinmaterial der oben angeführten Gesteinsschichten verwendet.

Die Dauerhaftigkeit der verwendeten Gesteine ist ausschlaggebend für die Haltbarkeit der Bauwerke. Steinmaterial, welches schnell verwittert und sich in kleine Plättchen aufspaltet, wird brüchig und führt zu Lücken im Mauerwerk (vgl. Wein- und Obstbauschule Krems 2009, S. 3/3).



Abbildung 12: Dünnpaltiger Kalk (links im Bild) und Kalksandstein (rechts im Bild) am Heuberg
(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

3.2 Historische Lawineneignisse und Entwicklung der Lawinenverbauung in Mittelberg

Im 1891 erschienenen Buch ‚Der Mittelberg‘ sind Lawineneignisse mit Angabe der Todeszahlen und beschädigten Gebäude vermerkt. Die Auflistung der Lawinenkatastrophen beginnt bereits mit dem Jahr 1556. Bis zum Jahr 1888 sind insgesamt 20 verheerende Lawinenkatastrophen vermerkt, wobei in einigen Jahren mehrere bedeutsame Lawinenabgänge stattgefunden haben (vgl. FINK und KLENZE 1891, S.10 f.).

In der jüngeren Vergangenheit sind zwei besonders schwere Lawinenkatastrophen vorgekommen. Die erste Katastrophe im Jahr 1907 forderte zehn Menschenleben und zerstörte mehrere Gebäude. Die zweite Katastrophe fand 1952 statt, dabei verloren 20 Menschen ihr Leben (vgl. HEIM und HOLZER o. J., S. 9).

3.2.1 Chronologische Entwicklung der unterschiedlichen Verbauungsmaßnahmen

Die ersten Aufzeichnungen über Lawinenschutzmaßnahmen gehen auf das 16. Jahrhundert zurück. In der Holzordnung für Mittelberg von 1561 wurde bereits bestimmt, dass das Schlagen und Roden an solchen Orten verboten sei, wo Lawinen, Bergstürze und Wasser Schaden anrichten könnten. Zusätzlich wird ein Kahlschlagverbot erwähnt (vgl. FINK und KLENZE 1891, S. 226).

In weiterer Folge wurden ab 1599 Bannbriefe erlassen und somit nach und nach Wälder zu Bannwäldern erklärt. Es gab jedoch auch immer wieder gegenläufige Entwicklungen wie beispielsweise 1659, als nur mehr das Schonen der Wettertannen erwähnt wird. Außerdem wird mehrmals auf negative Auswirkungen auf den Waldbestand durch den Bau von Sägewerken hingewiesen (vgl. ebd., S. 227 f.).

Als direkte Folge des schweren Lawinenunglückes 1907 wurde mit der systematischen Lawinenanbruchverbauung am Heuberg begonnen. Insgesamt errichtete man im Zuge der Verbauung 108 Trockenmauerterrassen und 37 Erdterrassen. Bereits in den 1950er Jahren mussten 58 dieser Trockenmauerterrassen saniert werden. Die meisten davon wurden in ihrer ursprünglichen Bauweise saniert, 19 Trockenmauern sanierte man mit der Kombination von Gabionen und Trockenmauerwerk. Außerdem wurden vier reine Gabionenbauwerke errichtet. Im Jahr 1973 fand eine weitere jedoch nicht so umfangreiche Sanierung statt (vgl. WLV 1959 und WLV 1975).



Abbildung 13: Sanierung einer Trockenmauer in Kombination mit Gabionen am Heuberg
(Quelle: WLV 1954)

Während der Errichtungszeitpunkt der ersten Mauerterrassen zwischen 1907 und 1920 in den Zeitraum fällt, in dem laut MARGRETH und BLUM Mauerterrassen „state-of-the-art“ waren, sind die späteren Bauwerke ein schon damals veraltetes System. Zumindest in der Schweiz wurden laut den Autoren ab 1940 Mauerterrassen von Stahlschneebrücken und Schneenetzen abgelöst (vgl. MARGRETH und BLUM 2011, S. 8).

Der Großteil der Erdterrassen am Heuberg entstand zwischen den 1970er und 1980er Jahren. Insgesamt wurden in diesem Zeitraum 77 Erdterrassen errichtet. Im Zuge der letzten großen Errichtungsetappe von Natursteinbauwerken am Heuberg entstanden zwischen den 1980er und

1990er Jahren 63 Bauwerke darunter zahlreiche Erdterrassen und acht Gabionen (vgl. DREXEL et al. 2018, S. 69).

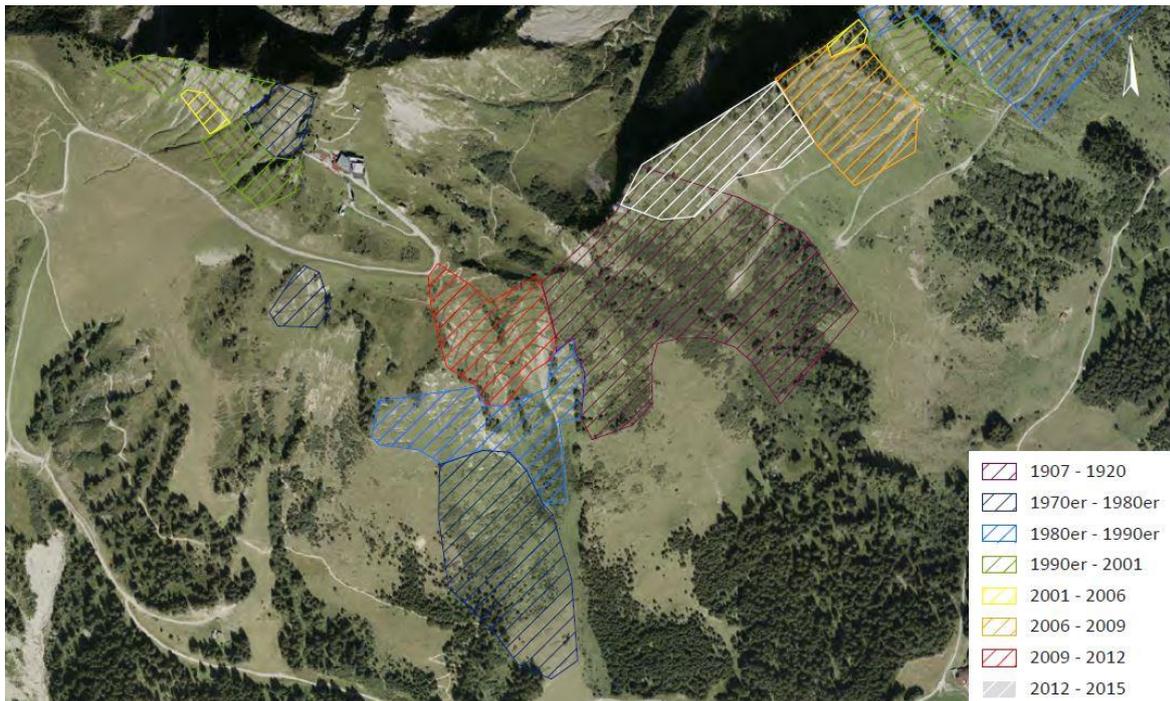


Abbildung 14: Bauabschnitte Lawinerverbauung am Heuberg

(Quelle: DREXEL et. al 2018, S. 55)

Neben den bereits erwähnten Mauern, Gabionen und Erdterrassen gibt es zahlreiche Stahlschneebrücken aus jüngerer Zeit im Projektgebiet. Zum Schutz der Aufforstung vor Gleitschneebewegungen sind auch Gleitschneeböcke aus Holz am Heuberg verbaut. Weiter talwärts unter der Walmendingerhornbahn komplettieren Bremskegel als Lawinenbremsverbauung die baulichen Schutzmaßnahmen am Heuberg.



Abbildung 15: Übersicht Lawinenschutzverbauung unterhalb der Walmendingerhornbahn

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)



Abbildung 16: Gleitschneeböcke am Heuberg
(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)



Abbildung 17: Bremskegel am Heuberg
(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

Während der Aufnahmen für das Mauerinventar im Jahr 2017 wurden weitere Stahlschneebrücken im Projektgebiet errichtet. Zu diesem Zeitpunkt war auch der Ausbau mit kombinierten Bauwerken aus Stahlstützen und Robinienholz geplant.

Generell sollen die neuen Stützbauwerke die Schutzfunktion im Lawinenanbruchgebiet des Heuberges nur mittelfristig übernehmen. Langfristig ist die Entwicklung eines funktionierenden Schutzwaldes das Ziel. Zu diesem Zweck wird auch zwischen den Stützbauwerken laufend aufgeforstet, ausgemäht und für das Wild gilt ein Totalabschuss, um Wildverbiss an jungen Forstbäumen zu verhindern. Obwohl im Buch „Der Mittelberg“ von den Autoren Fink und Klenze Tannen erwähnt werden, funktioniert die Aufforstung mit Weißtannen und Lärchen trotz einiger Versuche am Heuberg nicht. Deshalb sind am Heuberg hauptsächlich junge Fichten vorzufinden (vgl. MOOSBRUGGER 2017).

Einen Ausblick auf die geplante Entwicklung am Heuberg erhält man einige hundert Meter nordöstlich im Gebiet Zaferna. In diesem Gebiet befinden sich ebenfalls zahlreiche Mauerterrassen wie das Objekt 59M075, Gabionen, Erdwälle sowie Stahlschneebrücken neueren Ursprungs. Die Aufforstung im Gebiet Zaferna hat sich bereits gut entwickelt, der Baumbestand ist dichter und einheitlicher als am Heuberg.



Abbildung 18: Eingewachsene Lawinenschutzbauten
(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

3.3 Zusammenfassung – Kapitel 3

Durch die unterschiedlichen teils dünnen Gesteinsschichten, die verschoben und übereinander gefaltet vorzufinden sind, ist das vor Ort verfügbare Steinmaterial am Heuberg sehr heterogen und nur teilweise für den Mauerbau geeignet.

In Mittelberg gibt es eine lange Geschichte von Lawinenabgängen mit teils tragischen Folgen. Während für die Forstwirtschaft schon seit 1561 Regulierungen zum Schutz vor Lawinen in Mittelberg erwähnt werden, begann der bauliche Schutz im Lawinenanbruchgebiet erst 1907 mit dem Bau von Trockenmauern. Obwohl in der Schweiz bereits ab 1940 Stahlschneebrücken Stand der Technik waren, sind am Heuberg auch in den Nachkriegsjahren noch arbeitsintensive Natursteinbauwerke neu errichtet worden. Die Erdterrassen stellen abgesehen von den Stahlschneebrücken die jüngsten Baumaßnahmen zur Lawinenanbruchverbauung dar. Langfristig ist die Entwicklung eines Schutzwaldes das Ziel im Projektgebiet.

4 Bauwerkstypen

In diesem Kapitel werden die im Projektgebiet vorkommenden Bauwerkstypen erläutert. Die Beschreibung der unterschiedlichen Bauwerkstypen erfolgt anhand von Referenzobjekten. Diese Referenzobjekte weisen die unterschiedlichen Merkmale besonders eindeutig auf und stehen somit exemplarisch für den jeweiligen Bauwerkstyp. Durch zeichnerische Darstellungen der Bauwerke im Schnitt, Fotos der Objekte und textlicher Erläuterungen werden die Besonderheiten der Bauwerke ersichtlich. Durch einen Vergleich mit der im Kapitel 2 beschriebenen Bautechnik aus der aktuellen Fachliteratur werden Unterschiede zu dieser herausgearbeitet. Abschließend erfolgt eine Betrachtung der Häufigkeit der einzelnen Bauwerkstypen im Projektgebiet.

Ziel dieses Kapitels ist die Herausarbeitung der Bautechnik aller im Projektgebiet vorkommenden Bauwerkstypen.

Aufgrund der Form, Funktion und Bauweise können im Projektgebiet folgende Hauptbauwerkstypen unterschieden werden:

- Mauern,
- Gabionen,
- Erdterrassen.

Diese lassen sich in folgende acht Bauwerkstypen unterscheiden:

- M1 – Trockenmauerterrasse,
- M2 - Trockenmauerterrasse kombiniert mit Gabionenkörben,
- G1 – Gabione,
- G2 - Gabione mit Steinschichtung,
- E1 – Erdterrasse ohne Steine,
- E2 - Erdterrasse mit einzelnen Steinen,
- E3 - Erdterrasse mit Steinschichtung,
- E4 - Erdterrasse mit Steinschichtung in Trockenmauerbauweise (vgl. DREXEL et al. 2018a, S. 12).

4.1 Bauwerkstyp M1 – Trockenmauerterrasse

Die Abkürzung M1 steht für den Bauwerkstyp Trockenmauerterrasse. Bauwerke dieses Typs weisen eine reine Trockenmauer zur Abstützung der Terrasse auf. Es wurde kein Bindemittel verwendet und keine Gabionenkörbe verbaut. Dieser Typ wurde im Projektgebiet 82-mal gefunden. Als

Referenzobjekt dient das auf der Abbildung 19 ersichtliche Bauwerk mit der Aufnahme­nummer 59M052.



Abbildung 19: Trockenmauerterrasse Bauwerkstyp M1

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

4.1.1 Bautechnische Merkmale

Der Hang oberhalb der Terrasse von Objekt 59M052 wurde abgegraben und somit versteilt, das Gefälle oberhalb beträgt 45 – 50°. Die etwa 3,5 m breite Terrasse ist mit circa 5° zum Hang geneigt. Der Anlauf der Mauer beträgt circa 10° und die Mauerhöhe ist 1,2 m. Das Gelände vor der Mauer ist für etwa einen Meter nur leicht geneigt, bevor es in ein Gefälle von bis zu 45° übergeht. Die Mauerenden verlaufen in einem leichten Bogen zum Hang und binden in das Gelände ein. Bei dem Mauerwerk handelt es sich um ein Bruchsteinmauerwerk mit mehr oder weniger regellosem Verband.

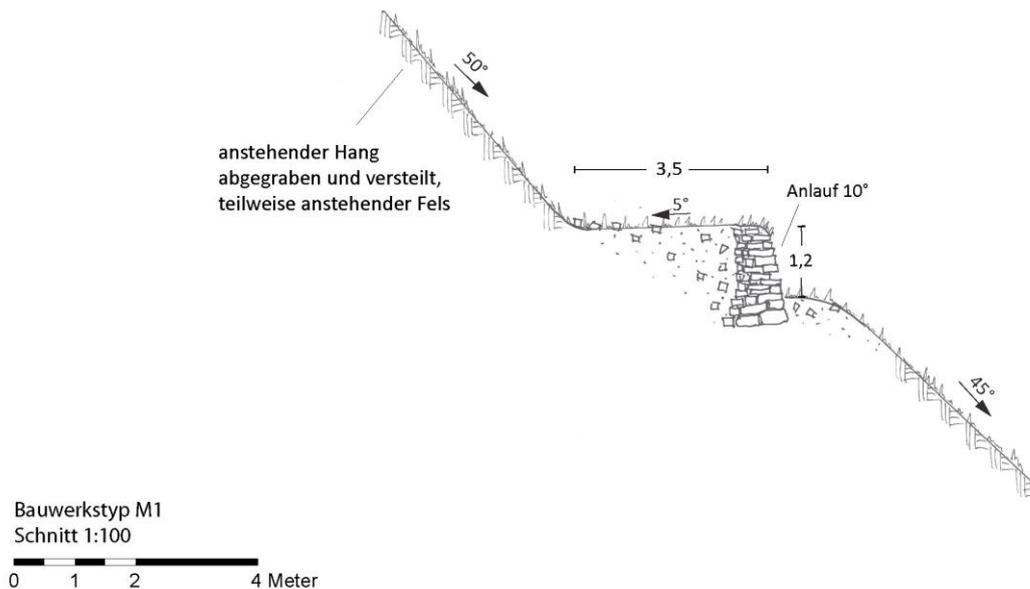


Abbildung 20: Schnitt durch den Bauwerkstyp M1

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

4.1.2 Vergleich mit Bautechniken aus der Fachliteratur

Laut den Autoren Margreth und Blum weisen Mauerterrassen im Anbruchgebiet von Lawinen in der Schweiz keine Neigung auf. Die Terrasse ist im Gegensatz zum Referenzobjekt M1 bei solchen Werktypen horizontal ausgebildet, somit ist es eine Mischform zwischen den Werktypen hinterfüllte Steinmauer und Mauerterrasse (siehe Kapitel 2, Abbildung 5) laut Margreth und Blum (vgl. MARGRETH und BLUM 2011, S. 9).

Die Neigung der Terrasse zum Hang ist auch ein Unterschied zu Mauerterrassen in Weinbaugebieten, bei denen die Terrassen zum Tal geneigt gebaut werden, damit das Oberflächenwasser über die Mauer abfließen kann. Somit kann sich das Wasser nicht auf der Terrasse ansammeln und den Erdkörper hinter der Mauer durchnässen (vgl. Wein- und Obstbauschule Krems 2009, S. 4/1).

Der Anzug der Mauer 59M052 von 10° entspricht 17,6 % und liegt somit im Bereich der meisten Trockenmauern von 10 bis 20 % (vgl. SUS 2015, S. 229).

4.2 Bauwerkstyp M2 - Trockenmauerterrasse kombiniert mit Gabione

Objekte vom Bauwerkstyp M2 waren ursprünglich ebenfalls Bauwerke vom Typ M1. Im Zuge einer Sanierung oder Erweiterung wurden Gabionenkörbe mit dem Trockenmauerwerk kombiniert. Als Referenzobjekt dient das Bauwerk 59M014 (siehe Abbildung 21). Dieses Bauwerk wurde durch eine Reihe Drahtgitterkörbe erhöht, also ist der untere Teil ein reines Trockenmauerwerk und der obere Teil eine Gabione. Unter den 13 Bauwerken vom Typ M2 im Projektgebiet befinden sich auch einige

Objekte, bei denen Körbe innerhalb des Trockenmauerwerks verbaut wurden oder komplette Teilabschnitte der Bauwerke sind als Gabione ausgeführt.



Abbildung 21: Trockenmauerterrasse Bauwerkstyp M2

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

4.2.1 Bautechnische Merkmale

Die Bautechnik des bis zu 1,3 m hohen Trockenmauerwerks im unteren Bereich vom Referenzobjekt 59M014 entspricht großteils dem Bauwerkstyp M1. Der Anzug der Trockenmauer ist beim Referenzobjekt mit 20° also etwa 36,4 % deutlich höher. Im Zuge der Sanierung wurde das Bauwerk mit einer Reihe Gabionenkörben um etwa 0,9 m erhöht. Die Körbe sind etwa 0,4 m von der Vorderkante der Mauerkrone zum Hang hin versetzt (Siehe Abbildung 22). Die großteils freistehenden Körbe sind seitlich miteinander verbunden, es besteht jedoch keine vertikale Einbindung in das Gelände. Bei den etwa 1 x 1 x 2 m großen Körben handelt es sich um feuerverzinkte Drahtgeflechtgabionen. Das Bruchsteinmaterial der Füllung wurde auf der Ansichtsseite ähnlich einem Bruchsteinmauerwerk geschichtet, dahinter ist die Füllung unregelmäßiger und besteht aus kleinerem Material. Außerdem weisen die Körbe keine Queranker oder Distanzhalter auf. Bei Bauwerken, bei denen Trockenmauerwerk und Gabione horizontal aneinanderstoßen, gibt es keine Verzahnung der Drahtgitterkörbe mit dem Trockenmauerwerk.

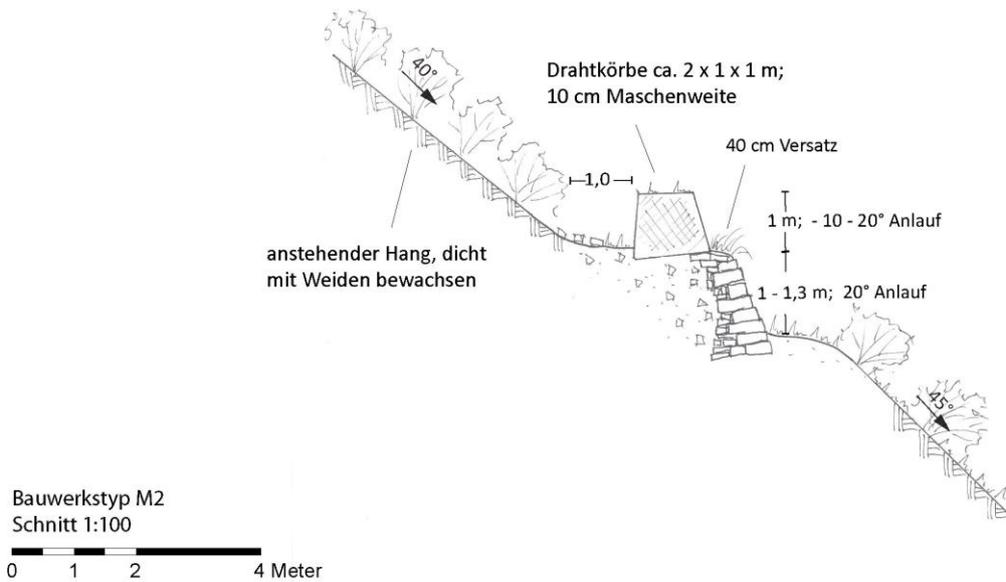


Abbildung 22: Schnitt durch den Bauwerkstyp M2

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

4.3 Bauwerkstyp G1 – Gabione

Bauwerke vom Typ G1 sind reine Gabionenbauwerke, dieser Typ kommt im Projektgebiet 14-mal vor. Das Referenzobjekt für diesen Bauwerkstyp ist die Gabione 59G017 (siehe Abbildung 23).



Abbildung 23: Gabione Bauwerkstyp M2

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)



Abbildung 24: Trocken gemauerter Wasserauslass

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

4.3.1 Bautechnische Merkmale

Die Geländeneigung von 45° bis 50° und die Terrassenbreite mit 3,5 m sind bei diesem Bauwerkstyp ähnlich dem Typ M1. Die Terrassen sind jedoch mit 15 bis 20° stärker zum Hang geneigt. Das 3,3 m hohe Referenzobjekt 59G017 weist einen Anlauf von 13° auf. Dieser ergibt sich aus der Neigung und dem Versatz der Körbe. Material und Bauweise der Körbe gleicht denen beim Bauwerkstyp M2. Im Gegensatz zur Empfehlung aus aktueller Literatur sind die Körbe versetzt angeordnet und nicht mit Kreuzfugen. Eine bautechnische Besonderheit sind die Wasserauslässe, die sich aus einem Abstand

von etwa 0,3 m zwischen zwei Körben ergeben. Diese Auslässe sind über 3 m weit mit einer leichten Steigung in Trockenmauerbauweise in die Terrasse gebaut. Die unterste Korbreihe ist als Einbindung in den Hang größtenteils verschüttet. Seitlich binden die Körbe teilweise in den Hang ein und teilweise wurde der Anschluss an den Hang in Trockenmauerbauweise errichtet.

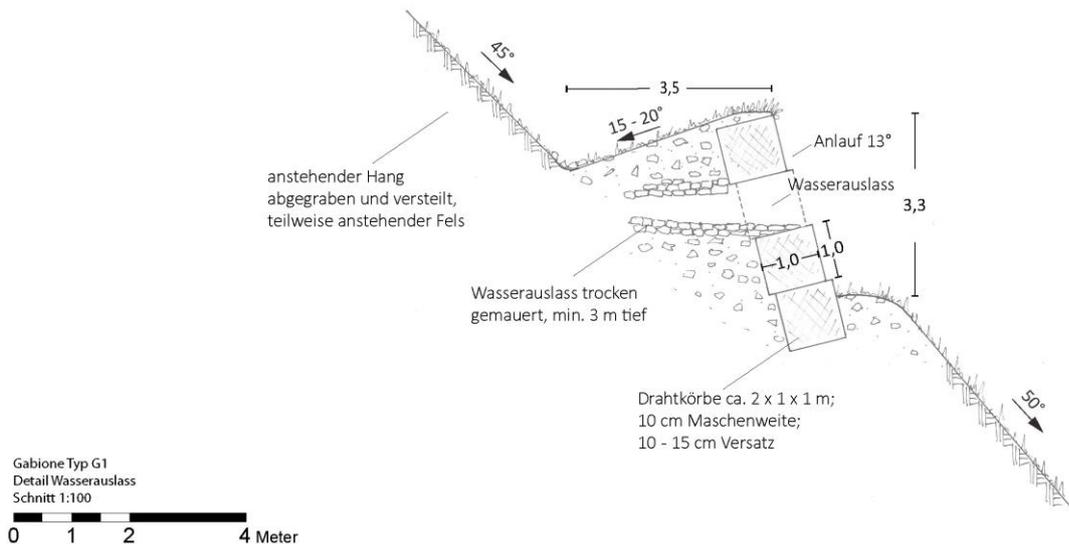


Abbildung 25: Schnitt durch den Bauwerkstyp M2 inkl. trocken gemauerten Wasserauslass

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

4.3.2 Vergleich mit Bautechniken aus der Fachliteratur

Im Gegensatz zur Empfehlung aus der Fachliteratur, wie im Kapitel 2.2 Gabionenbautechnik beschrieben, sind die Körbe im Verband angeordnet, die vertikalen Korbkanten sind versetzt. Bei vor Ort befüllten Körben sollten jedoch die horizontalen und vertikalen Matten ein Kreuz bilden. Eine weitere Auffälligkeit ist das Fehlen von Aussteifungen wie Zuganker oder Zugdrähte innerhalb jedes Korbes. Der Anlauf von Gabionen über 2 m Höhe wird in der Fachliteratur mit 10 bis 20 % angegeben. Somit sind die Gabionen im Projektgebiet mit 15° bis 20° (entspricht 26,8 bis 36,4 %) deutlich stärker geneigt.

4.3.3 Vergleich mit Bauplänen der WLV für das Projektgebiet von 1955

Das Referenzobjekt 59G017 wird in den Plänen der Wildbach- und Lawinverbauung unter Terrasse Nr. 38 geführt. Für diese Terrasse gibt es im Kollaudierungsoperat Nr. 2 in der Beilage Nr. 5 Pläne für die Sanierung aus dem Jahr 1955. Auf den nachfolgenden Abbildungen sind ein Schnitt (Abbildung 26) sowie eine Draufsicht (Abbildung 27) aus diesen Unterlagen abgebildet.

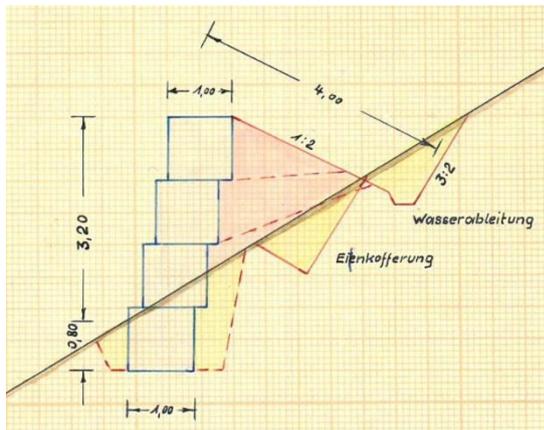


Abbildung 26: Schnitt vom Referenzobjekt 59M017 aus dem Jahr 1955

(Quelle: Wildbach- und Lawinverbauung (WLV), Kollaudierungsoperat Nr. 2, 1955)

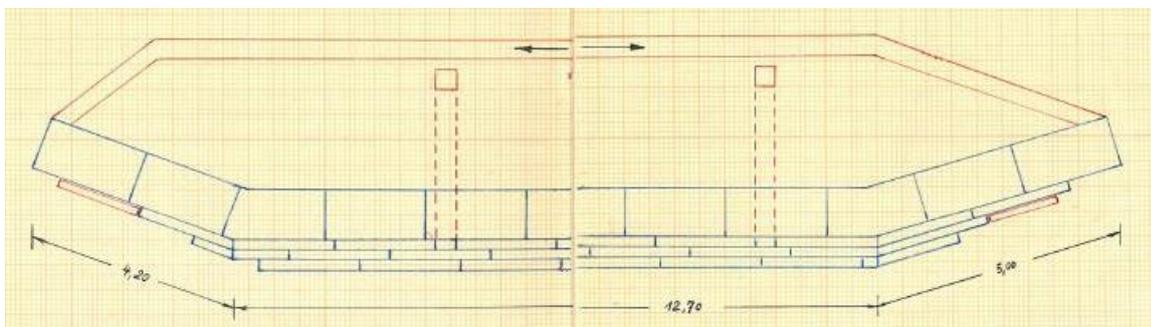


Abbildung 27: Draufsicht vom Referenzobjekt 59M017 aus dem Jahr 1955

(Quelle: Wildbach- und Lawinverbauung (WLV): Kollaudierungsoperat Nr. 2, 1955)

Im Schnitt ist erkennbar, dass das Gelände für den Bau der Gabione in drei Abstufungen abgegraben werden sollte. Die oberste Abstufung die Versteilung des Geländes oberhalb der Terrasse ist mit einer Neigung von 3:2 angegeben, dieses Neigungsverhältnis entspricht $56,3^\circ$. Bei den Aufnahmen für das Mauerinventar wurde eine Neigung von 45° gemessen. Die Neigung der Terrasse ist im historischen Schnitt mit 2:1 dargestellt, was einem Gefälle von $26,6^\circ$ entspricht. Somit ist auch diese Neigung steiler als die vorgefundene Neigung mit 15° bis 20° . Die Gesamthöhe der Gabione und die Einbindetiefe der untersten Baureihe sind im Schnitt ähnlich wie die 2017 gemessenen Höhen. Der Versatz der Korbreihen ist ebenfalls ähnlich vorgefunden worden, wie in den Kollaudierungsunterlagen abgebildet. Jedoch sind die Körbe senkrecht, ohne eine Neigung der Körbe zum Hang dargestellt. Somit ist der Anlauf der Gabione im historischen Schnitt geringer abgebildet als tatsächlich vorgefunden wurde. Der Wasserauslass, im Schnitt strichliert dargestellt, ist bis an die Oberfläche und deutlich steiler gezeichnet, als bei den Aufnahmen gemessen wurde.



Abbildung 28: Durchlüftungsdohle am Heuberg

(Quelle: WLV Bregenz)

In der Draufsicht (Abbildung 27) sind die Wasserauslässe bis zur Oberfläche der Terrasse nochmals zu erkennen. Die Pfeile auf der Terrasse geben die Richtung der Entwässerung an. Es war ursprünglich eine Entwässerung der Terrasse zu den Seiten der Gabione geplant. Der Beginn der Wasserauslässe liegt im Schnitt höher als die Entwässerungsmulde somit waren die Wasserauslässe nicht für die Entwässerung der Terrasse selbst gedacht. Durch die Materialablagerungen auf der Terrasse sind die Anfänge der Wasserauslässe zum Zeitpunkt der Aufnahmen nicht mehr erkennbar gewesen.

Im Kollaudierungsoperat Nr. 2 werden die Wasserauslässe als Dohlen bezeichnet. Des Weiteren ist auf der Abbildung 28 eine Trockenmauer von der nordöstlich an das Projektgebiet angrenzenden ‚Heim Lawine‘ abgebildet. Auf dem Foto wird die Öffnung im Mauerwerk als Durchlüftungsdohle bezeichnet. Somit wurden von der WLV in den 50er Jahren sowohl Gabionen als auch Trockenmauern mit solchen Aussparungen gebaut. Der Zweck dieser Öffnungen könnte also die Durchlüftung, somit Entwässerung und Trocknung des Bauwerkes samt des dahinter anliegenden Erdkörpers sein.

4.4 Bauwerkstyp G2 – Gabione mit aufgesetzten Steinschichtungen

Elf Gabionen im Projektgebiet zählen zum Bauwerkstyp G2. Das Referenzobjekt ist das Bauwerk 59G001.



Abbildung 29: Bauwerkstyp G2
(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

4.4.1 Bautechnische Merkmale

Wie am Referenzobjekt 59G001 zu erkennen ist, ist dieser Bauwerkstyp sehr ähnlich dem Typ G1, jedoch zusätzlich durch eine Steinschichtung erhöht. Die etwa 40 cm hohe Steinschichtung mit einem Anlauf von 25° besteht aus plattigen Steinen, die ohne Verband geschichtet sind. Auffällig ist außerdem die starke Neigung der Steine zum Hang. Die Steine der Steinschichtung haben keine Verbindung zu den Drahtgitterkörben darunter.

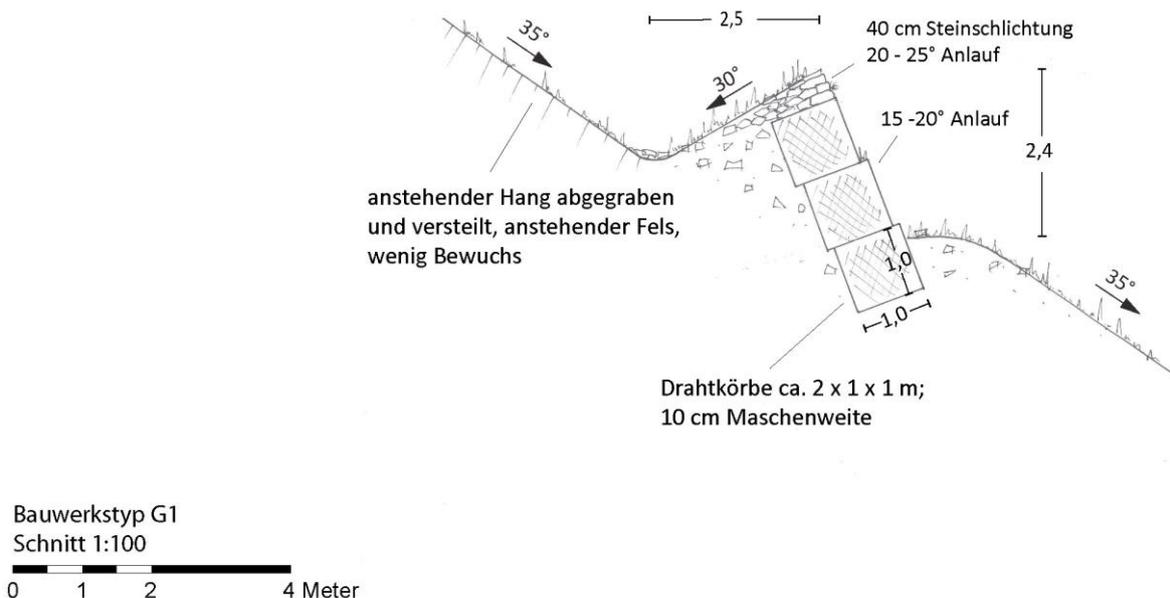


Abbildung 30: Schnitt durch den Bauwerkstyp G2
(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

4.5 Bauwerkstyp E1 – Erdterrasse

Der Bauwerkstyp E1 kommt im Projektgebiet 80-mal vor und weist keine Steinschichtungen auf. Zur Vervollständigung der Bautypenübersicht und zum Verständnis der weiteren Erdterrassentypen wird der Bauwerkstyp E1 anhand vom Referenzobjekt 59E022 hier näher beschrieben.



Abbildung 31: Bauwerkstyp E1

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

4.5.1 Bautechnische Merkmale

Die Erdterrassen vom Typ E1 haben die Form von Bermen mit Druckhügel. (Siehe Kapitel 2.3 Erdterrassenbautechnik). Wie bei den Mauerterrassen ist auch bei den Erdterrassen der Hang oberhalb durch das Abgraben des Materials versteilt. Die Hügel haben ein hangseitiges Gefälle von 40 bis 45° und 45° Neigung talwärts. Der Hügel ist im Fall des Referenzobjektes 59E022 0,85 m hoch. Auf einer Seite bindet der Hügel in den Hang ein und auf der anderen Seite sorgt eine offene Stelle in Verbindung mit einer leichten Längsneigung für die Entwässerung. Die Erdterrassen sind hauptsächlich mit Gräsern, Kräutern und Himbeeren bewachsen.

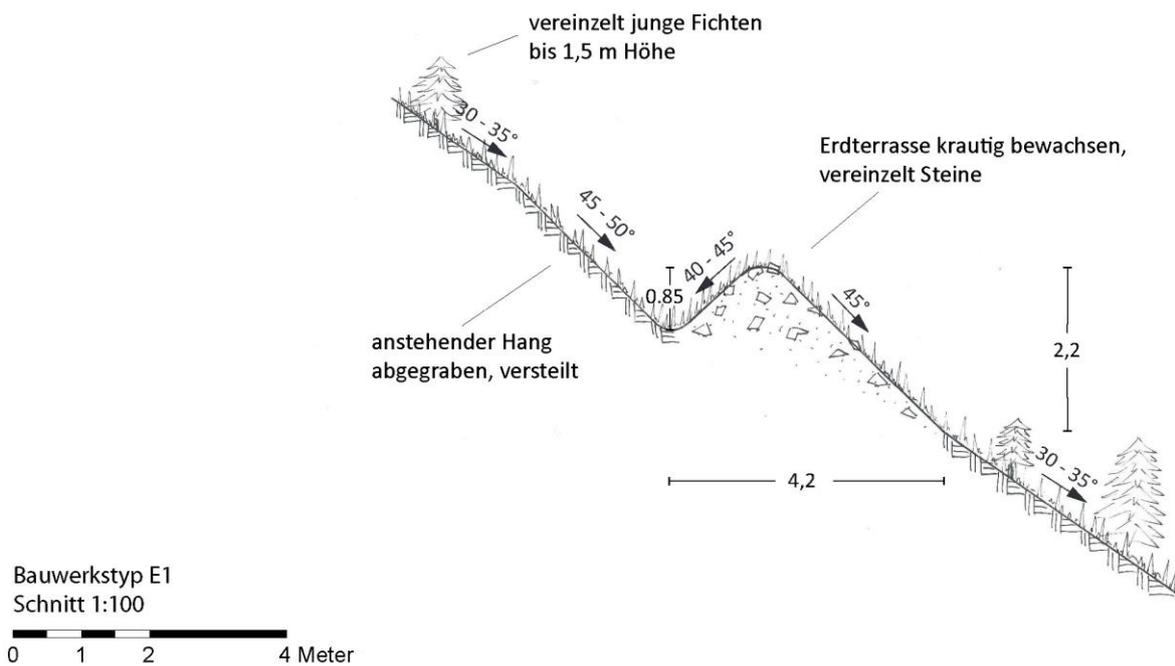


Abbildung 32: Schnitt durch den Bauwerkstyp E1

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

4.6 Bauwerkstyp E2 – Erdterrasse mit einzelnen Steinen

66 Erdterrassen im Projektgebiet gehören zum Bauwerkstyp E2. Als Referenzobjekt dient das auf der Abbildung 33 dargestellte Bauwerk 59E021.



Abbildung 33: Bauwerkstyp E2

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

4.6.1 Bautechnische Merkmale

Bei diesem Bauwerkstyp sind die Erdhügel auf der Oberkante teilweise mit plattigen Steinen abgedeckt. Im Gegensatz zum Bauwerkstyp E1 ist die hangseitige Neigung mit 25° bis 35° etwas geringer. Ansonsten gleichen die Geländeneigungen und die Entwässerung dem Typ E1. Die plattigen Steine auf der Oberkante sind teilweise ins Erdreich eingebunden oder liegen lose auf der Erde. Auch wenn manche Steine übereinander liegen, gibt es bei diesem Bauwerkstyp keine durchgehende Steinschichtung.

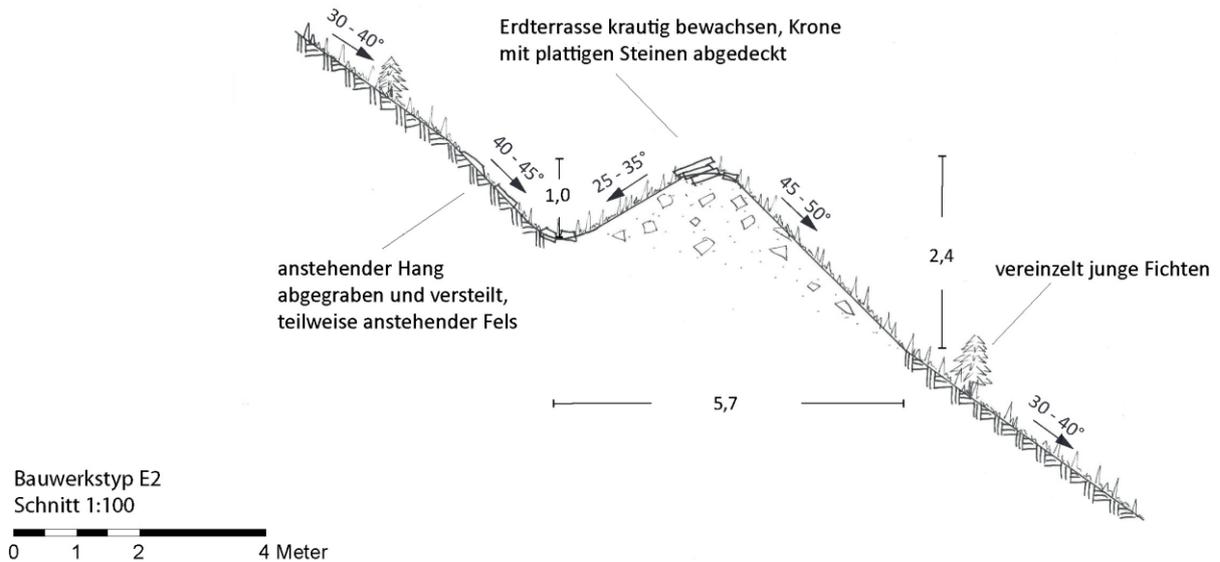


Abbildung 34: Schnitt durch den Bauwerkstyp E2

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

4.7 Bauwerkstyp E3 – Erdterrasse mit Steinschichtung

22 Erdterrassen am Heuberg weisen die Bautechnik vom Bauwerkstyp E3 auf. Besonders charakteristisch für diesen Bauwerkstyp ist das Referenzobjekt 59E007.



Abbildung 35: Bauwerkstyp E3

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

4.7.1 Bautechnische Merkmale

Diesen Erdwalltyp kennzeichnet eine bis zu 1,0 m hohe Steinschichtung auf dem Erdhügel. Die Steinschichtungen aus überwiegend plattigen Steinen wurden ohne Verband mit einer starken Neigung zum Hang errichtet. Aufgrund der fehlenden Verbandswirkung, der starken Neigung sowie der nicht vorhandenen Einbindung in das Gelände sind viele Steine verschoben oder abgerutscht.

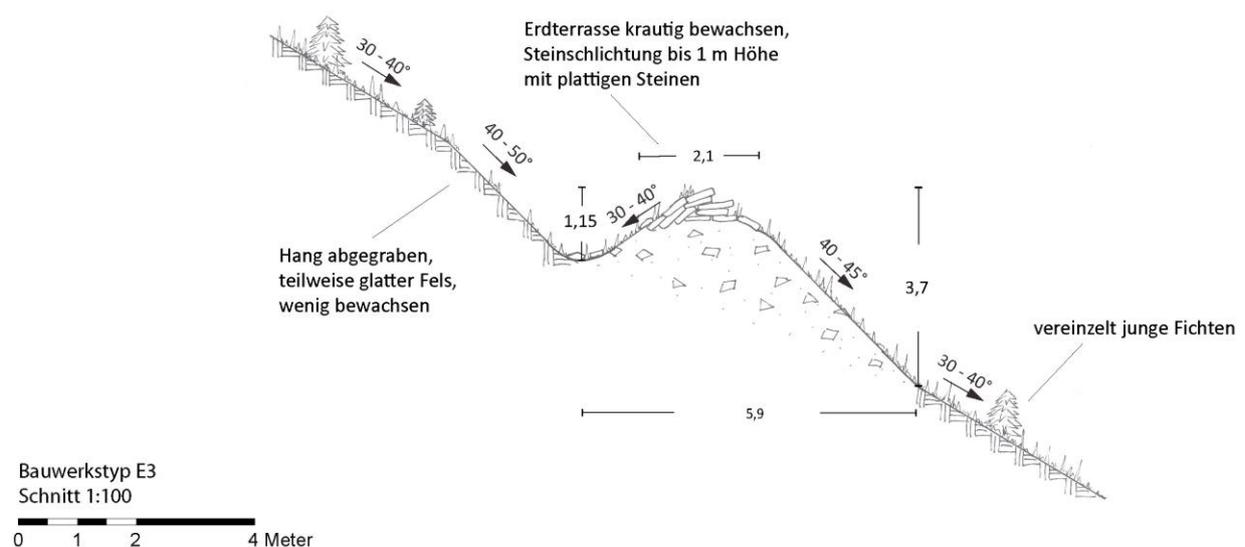


Abbildung 36: Schnitt durch den Bauwerkstyp E3

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

4.8 Bauwerkstyp E4 – Erdterrasse mit Steinschichtung in Trockenmauerbauweise

Bei zwei Erdterrassen im Projektgebiet ist die Steinschichtung ähnlich einer Trockenmauer. Diese Bauwerke zählen zum Bauwerkstyp E4, als Referenzobjekt wurde 59E026 gewählt.



Abbildung 37: Bauwerkstyp E4

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

4.8.1 Bautechnische Merkmale

Die plattigen bis quaderförmigen Steine wurden bei der Erdterrasse 59E026 bis zu einem Meter Höhe geschichtet. Es ist ein guter Steinverband mit wenigen Kreuzfugen oder durchlaufenden Stoßfugen erkennbar. Im Gegensatz zu einer Trockenmauer ist jedoch keine richtige Hintermauerung ersichtlich. Der Anlauf beträgt mit 25° deutlich mehr als bei einer Trockenmauer. Das Gefälle des Hügels zum Hang hin ist mit $10 - 20^\circ$ geringer als bei den anderen Erdterrassentypen.

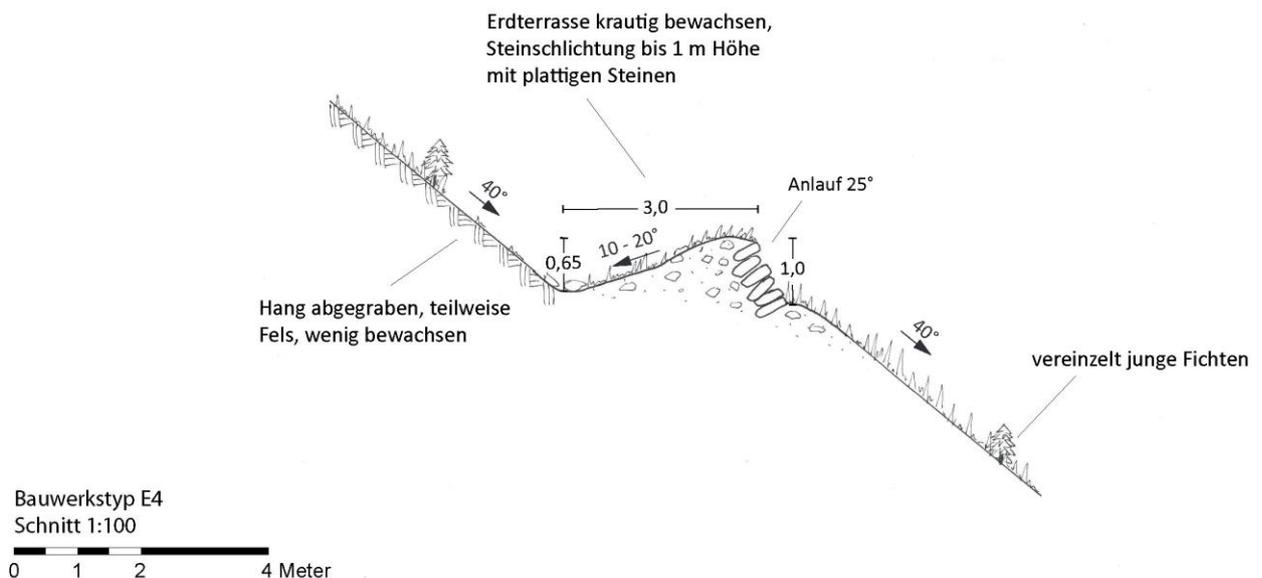


Abbildung 38: Schnitt durch den Bauwerkstyp E4

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

4.9 Häufigkeit der Bauwerkstypen im Projektgebiet

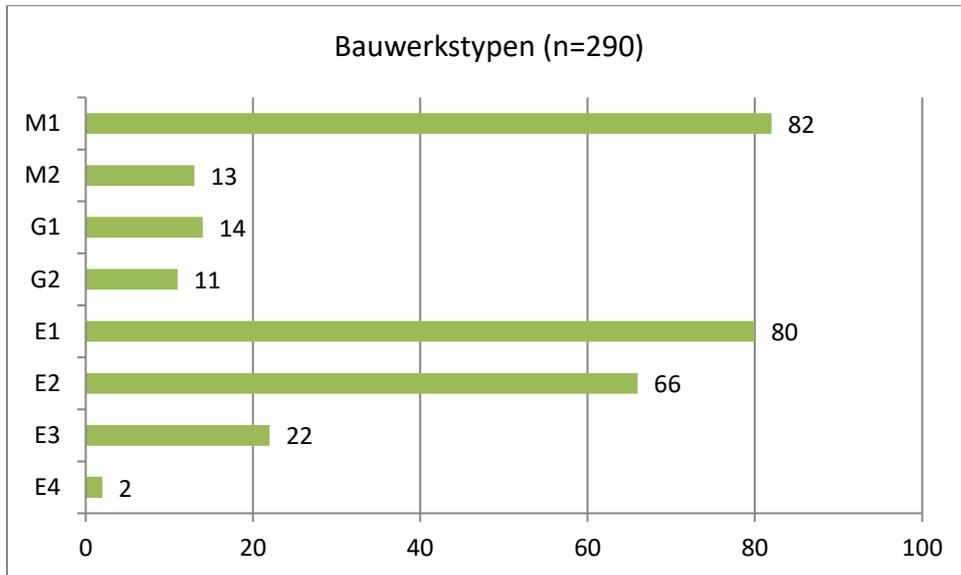


Abbildung 39: Häufigkeit der Bauwerkstypen im Projektgebiet

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

Bei Betrachtung der Häufigkeit der Bauwerkstypen zeigt sich, dass die reinen Trockenmauerterrassen Typ M1 den größten Anteil der Schwergewichtsbauwerke (Trockenmauern und Gabionen) im Projektgebiet darstellen. Die mit Gabionen kombinierten Trockenmauern sowie die beiden Gabionenbauwerkstypen sind in einer ähnlichen Häufigkeit vorhanden. Von den Erdterrassen mit Steinschichtungen der Bauwerkstypen E3 und E4 sind deutlich weniger Objekte vorhanden als von den Erdterrassen ohne beziehungsweise mit nur einzelnen Steinen. Generell betrachtet sind die Erdterrassen mit 170 Bauwerken am häufigsten vorhanden. Zu den Trockenmauerterrassen zählen 95 Objekte und zu den Gabionen 25.

5 Schadbilder

Im folgenden Kapitel wird zunächst auf typische Schadbilder und mögliche Schadensursachen an Trockenmauerwerken und Gabionen eingegangen. Anschließend werden vorgefundene Schadbilder an den Bauwerken am Heuberg und deren Schadensursachen erläutert. Anhand von Diagrammen wird ein Überblick über die Häufigkeit der einzelnen Schadensursachen gegeben und durch Übersichtskarten wird die Verteilung im Projektgebiet verdeutlicht. Im Anschluss werden Zusammenhänge zwischen dem Zustand der Bauwerke und den unterschiedlichen Bautypen sowie dem Bauwerksalter aufgezeigt.

5.1 Schadbilder / Schadensursachen an Trockenmauerwerken

Grundsätzlich können Schadensursachen in Ursachen der äußeren und Ursachen der inneren Standsicherheit unterteilt werden. Die Schadensursachen der äußeren Standsicherheit gelten analog für alle Schwergewichtsbauwerke also sowohl für Trockenmauern als auch für Gabionen und werden im Kapitel Schadbilder / Schadensursachen an Gabionen näher behandelt.

Wasser ist eine der häufigsten Schadensursachen der inneren Standsicherheit bei Trockenmauern. Indirekt wirkt Wasser durch Verwitterung der Steine oder führt zum Einschwemmen von Feinmaterial in das Mauerinnere. Dadurch nimmt der Reibungswiderstand zwischen den Steinen ab und das Mauerwerk ist dadurch frostgefährdeter. Gehölze sind eine weitere häufige Schadensursache bei Trockenmauern. Durch ihr Dickenwachstum drücken sie Steine auseinander und durch ihr Gewicht belasten sie das Bauwerk zusätzlich (vgl. SUS 2015, S. 311 f.).

Baufehler sind eine weitere Ursache für Schäden. Bei Nichtbeachtung der im Kapitel Trockenmauerbautechnik angeführten Regeln von der Stiftung Umwelteinsatz Schweiz kommt es zu unvermeidbaren Folgeschäden.

Doch selbst bei korrekt gebauten Trockenmauern ist der Unterhalt der Mauern unerlässlich. Durch eine regelmäßige Kontrolle und Pflege der Mauern können größere Schäden verhindert werden. Die Abbildung 40 zeigt den zeitlichen Verlauf des Verfalls einer Trockenmauer. Wenn etwa Decksteine aus der Mauer fallen, gelangen in weiterer Folge Erde, Wasser und Pflanzen in das Innere der Mauer und der Verfall setzt sich beschleunigt fort.

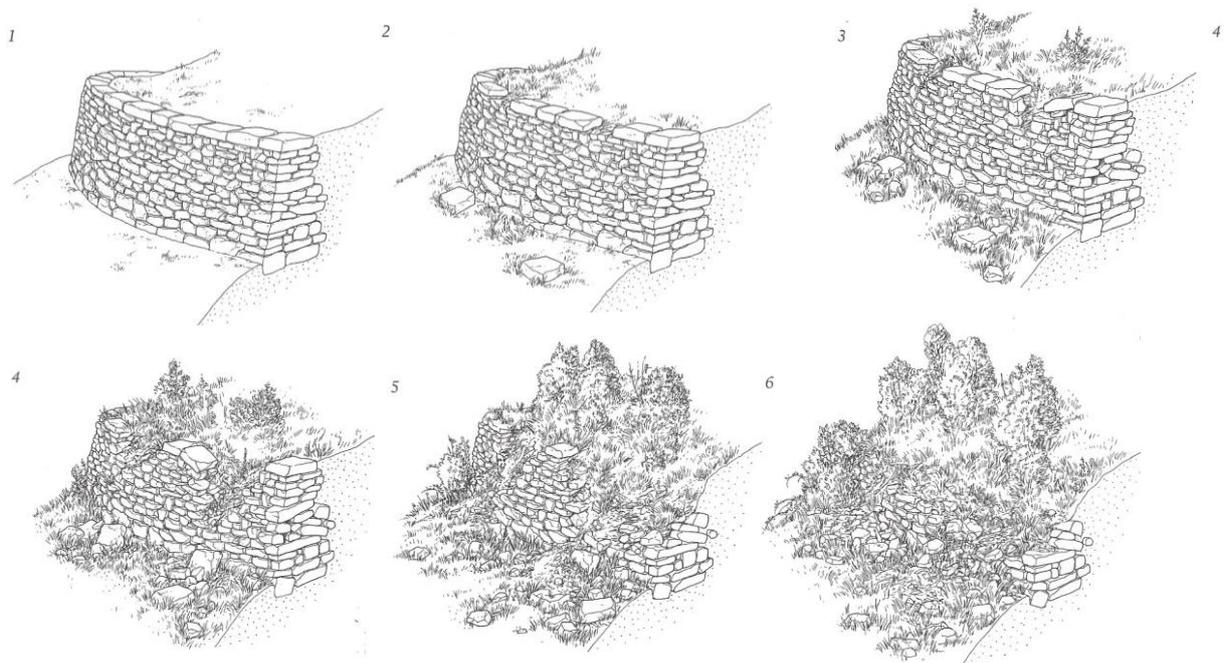


Abbildung 40: Verlauf des Mauerverfalls

(Quelle: Stiftung Umwelteinsatz Schweiz 2014, S. 319)

Bei manchen Schäden ist es einfach, die Ursache zu finden. Gehölze auf Mauern sind beispielsweise genauso offensichtlich wie Steinschlag oder oberflächliche Erosion. Aber nicht immer ist es möglich, die Ursache für vorgefundene Schäden zu bestimmen. Oft ist es auch das Zusammenspiel von mehreren Ursachen, die zu einem Schaden führen.

Verformungen wie Ausbauchungen im Mauerwerk können aufgrund von Geländebewegungen, als Folge einer ungenügenden Entwässerung, wegen Baumängeln wie beispielsweise einen schlechten Mauerverband oder zu kleinen Steinmaterial auftreten. Risse in den Steinen können aufgrund von Verwitterung des Gesteins auftreten oder aber ein Indiz dafür sein, dass das Fundament zu klein ausgebildet wurde oder bereits verwittert ist. Auch Erosion oder Unterspülungen des Fundaments sind mögliche Ursachen. Bei Trockenmauern im Lawinenanbruchgebiet können eine verschobene, überhängende oder gar fehlende Mauerkrone sowie eine fehlende seitliche Einbindung in den Hang die Folge einer Überbeanspruchung durch Schneedruck, Steinschlag oder Lawinen sein. Diese Überbeanspruchung kann auch zum vollständigen Mauereinsturz führen. Im alpinen Gelände kann auch der Rückgang von Permafrost oder enormer Wasserdruk zum Mauereinsturz führen (vgl. MARGRETH und BLUM 2011, S.17).

5.2 Schadbilder / Schadursachen an Gabionen

Frost, Geländebewegungen, mechanische Beanspruchung und Wasserdruck können zum Versagen des gesamten Bauwerks führen. Ursachen dafür sind laut der FLL-Richtlinie „Empfehlungen für Planung, Bau und Instandhaltung von Gabionen“ folgende Versagensmechanismen der äußeren Standsicherheit:

- Gleiten in der Sohlfuge: Wenn die Horizontallasten, die auf das Bauwerk einwirken, zu groß sind, kann das Bauwerk, wie auf Abbildung 41 dargestellt, horizontal verschoben werden. Dies ist der Fall, wenn die Eigenlast des Bauwerks oder die Reibkraft in der Gründungssohle zu gering ist.
- Kippen des Bauwerks: Damit es nicht zum Kippen des Bauwerks kommt, muss es über eine ausreichende Aufstandsfläche verfügen, um Druckspannungen in die Sohle übertragen zu können.
- Grundbruch: Wenn die Vertikallast, die auf den Baugrund einwirkt, zu hoch ist, können beim Versagen des Baugrundes Gleitflächen entstehen. Diesen Versagensmechanismus erkennt man durch das Einsinken der gesamten Konstruktion, außerdem wölbt sich dadurch der Baugrund vor dem Bauwerk hoch.
- Geländebruch: Durch das Versagen des Geländesprunges kommt es zum Geländebruch. Dabei können die Scherkräfte innerhalb des Geländesprunges nicht aufgenommen werden und es bildet sich eine Gleitfläche auf der die Konstruktion abrutscht (vgl. FLL 2012a, S. 36).

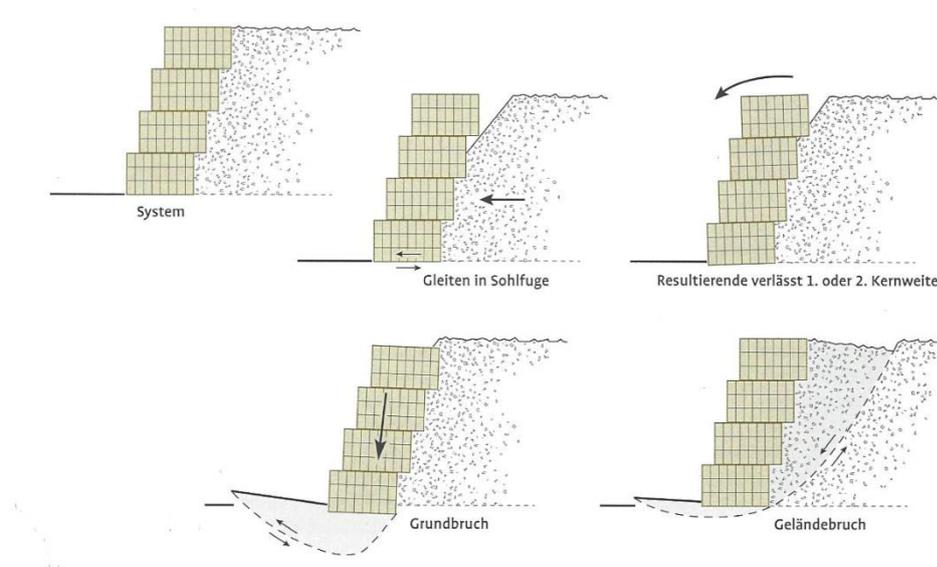


Abbildung 41: Versagensmechanismen der äußeren Standsicherheit

(Quelle: JUNG 2015, S. 60)

Häufig entstehen Schäden an Gabionen durch nicht fachgerechten Einbau. Ausbauchungen entstehen dadurch, dass das Füllmaterial einen Innendruck auf die Korbmatten ausübt. Diesem Druck wirken die Queranker oder Distanzhalter entgegen, wenn sie in der erforderlichen Anzahl und den notwendigen Abständen eingebaut werden.

Ein weiterer Grund für Verformungen und letztendlich für das Versagen des Bauwerks sind Setzungen im Füllmaterial. Diese geschehen durch die Verwendung von ungeeignetem Füllmaterial oder unzureichender Lagerungsdichte. Nicht frostbeständiges Material beispielsweise zerlegt sich im Laufe der Zeit in kleinere Partikel und rieselt aus den Körben. Auch die Hinterfüllung muss frostbeständig sein, damit die Filterstabilität zwischen Füllung, Hinterfüllung und dem anstehenden Boden langfristig gewährleistet ist. Falls beim Bau kein geeignetes Material für die Hinterfüllung zur Verfügung steht, sollte ein geotextiler Filter eingebaut werden (vgl. JUNG 2015, S. 66 und S. 98).

5.3 Schadbilder an den Bauwerken am Heuberg

Im Folgenden sind mehrfach vorkommende Schadbilder im Projektgebiet beschrieben und anhand von Referenzbildern dargestellt.

5.3.1 Verwitterte Steine

Das häufigste Schadbild an Trockenmauern, Gabionen und Erdterrassen mit Steinschichtungen im Projektgebiet sind stark verwitterte Steine. Besonders auffällig ist das Aufsplintern der Kalksteine und Mergel in dünne Plättchen (siehe Abbildung 42). In weiterer Folge kommt es zum Herausfallen von einzelnen Steinen bis zum Einsturz ganzer Abschnitte (siehe Abbildung 43).



Abbildung 42: Verwitterte Mauersteine
(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)



Abbildung 43: Eingestürzter Mauerabschnitt
(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

5.3.2 Aufkommende Gehölze

Ein weiteres Schadbild an Trockenmauern und Gabionen am Heuberg sind Gehölze im Bauwerk oder auf der Bauwerkskrone. Diese schädigen, wie im Kapitel 5.1 beschrieben, durch ihr Dickenwachstum und ihr Gewicht das Bauwerk. Besonders auffällig sind zahlreiche große Fichten auf den Mauerkronen (siehe Abbildung 44).



Abbildung 44: Fichten auf Mauerkrone
(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

5.3.3 Steinschlag

Besonders im steileren Gelände sind einige Schäden durch Steinschlag zu erkennen. Bei Trockenmauern kommt es dadurch zu Verschiebungen im Verband oder Ausbruchstellen und bei Gabionen führt Steinschlag zu Verformungen.



Abbildung 45: Verformung einer Gabione durch Steinschlag
(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

5.3.4 Hang- und Wasserdruck

Hang- und Wasserdruck führen zu flächigen Ausbauchungen im Mauerwerk oder der Gabionenkonstruktion. Geländebewegungen können auch zum Abgleiten des gesamten Bauwerks beitragen.



Abbildung 46: Abgerutschtes Trockenmauerwerk
(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

5.3.5 Mangelhafte Hinterfüllung

Ein häufiges Schadbild bei Gabionen aber auch bei einigen Trockenmauern im Projektgebiet ist eine abgesackte Hinterfüllung. Das geschieht, wenn die Hinterfüllung nicht ausreichend filterstabil ist oder beim Einbau nicht ausreichend verdichtet wurde. Bei einigen Bauwerken wurde deshalb Feinmaterial in das Mauerwerk beziehungsweise in die Körbe eingewaschen. Einige Gabionen kippen auch nach innen, da die Hinterfüllung zu weit abgesackt ist.



Abbildung 47: Abgesackte Hinterfüllung einer Gabione
(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

5.3.6 Mangelhafte Bautechnik an Trockenmauern

Einige Schäden wurden durch mangelhafte Bautechnik wie zu wenige Binder und Läufer sowie durch zu kleines Steinmaterial verursacht. Eine unzureichende Verbandswirkung lässt sich auch am Fugenbild erkennen. Auf Abbildung 48 zeigen sich beispielsweise durchlaufende Stoßfugen und Kreuzfugen.



Abbildung 48: Fehlerhafter Mauerverband
(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

5.3.7 Schäden durch Bauarbeiten

Im Zuge der Bauarbeiten für die Errichtung der Stahlschneebrücken wurden zahlreiche Trockenmauern beschädigt. Erkennbare Schäden sind verschobene Steine, zu einfachen Stufen umgeschichtete Steine und Ausbruchstellen durch die Verankerung der Stahlschneebrücken im Mauerwerk oder im Fundament der Mauer.



Abbildung 49: Beschädigtes Mauerfundament
(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

5.3.8 Schäden durch Bindemittel im Mauerwerk

Durch den Einsatz von Bindemitteln in einem Bereich einer Trockenmauer kommt es zu einem starren Abschnitt in einem sonst flexiblen Bauwerk. Dadurch ergibt sich bei leichten Bewegungen eine Schwachstelle im Mauerwerk, außerdem verhindert das Bindemittel den Wasserabfluss über die Mauerfläche und das Bauwerk ist somit anfälliger für Wasserdruck.



Abbildung 50: Bindemittel im Mauerwerk
(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

5.3.9 Schäden durch aufgesetzte Gabionen

Bei Trockenmauern des Typs M2, die durch eine Reihe Gabionen erhöht wurden, erkennt man Schäden durch das Gewicht der Körbe. Die obersten Steinreihen kippen durch die aufgesetzten Körbe nach innen. Schäden im Mauerwerk führen durch das zusätzliche Gewicht zu einem beschleunigten Verfall des gesamten Bauwerks.



Abbildung 51: Beschleunigter Verfall durch Gewicht der Gabione
(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

5.3.10 Setzungen im Füllmaterial der Gabionen

Bei vielen Gabionenkörben sind Setzungen im Füllmaterial zu erkennen. Dadurch verformen sich die Körbe und es kommt zu Ausbauchungen. Auffällig ist bei vielen Körben, dass die Steine auf der Ansichtsseite nicht verwittert und gut geschichtet sind, das Füllmaterial dahinter jedoch nachgibt. Durch das Fehlen von Querankern kommt es deshalb zu auffallenden Ausbauchungen.



Abbildung 52: Ausgebauchte Gabionenkörbe
(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

5.3.11 Korrosion des Drahtgeflechtes

Langfristig wird die Lebensdauer von Gabionen durch Korrosion des Drahtgeflechtes begrenzt. Bei einigen Bauwerken zeigt sich keine gleichmäßige Alterung des Drahtes, es sind nur einzelne Körbe stark korrodiert (siehe Abbildung 53). Ursache für dieses Schadbild könnte eine mindere Qualität einzelner Körbe sein.



Abbildung 53: Korrodiertes Drahtgeflecht
(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

5.3.12 Schäden an Erdterrassen

Die Erdterrassen sind grundsätzlich in einem guten Zustand. Die Steinschichtungen auf den Erdwällen weisen jedoch alle Abrutschungen auf (siehe Abbildung 54). Außerdem zeigt sich bei einigen Erdwällen, die zwischen den 1980er und 1990er Jahren errichtet wurden, Erosion auf den abgegrabenen Hängen hinter den Erdwällen, vor allem wenn kein anstehender Fels vorhanden ist (siehe Abbildung 55).



Abbildung 54: Abgerutschte Steinschichtung
(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)



Abbildung 55: Erosion an abgegrabenen Hängen
(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

5.4 Schadensursachen im Projektgebiet

In Hinblick auf mögliche Sanierungen am Heuberg müssen die Ursachen für die Schäden an den Bauwerken bekannt sein, um zukünftige Schäden zu vermeiden. Die Ursachen für die vorgefundenen Schadbilder wurden im Zuge der Aufnahmen für das Mauerinventar für die 74 Mauern und 20 Gabionen ermittelt. Folgende Schadensursachen wurden dabei festgestellt:

- Verwitterung der Mauersteine,
- mangelnde Pflege beispielsweise durch Gehölze im Mauerwerk erkennbar,
- aufgesetzte Gabionen sind zu schwer für das Mauerwerk,
- mangelhafte Hinterfüllung des Bauwerks,

- nicht fachgerechte Sanierung etwa durch Bindemittel,
- mangelhafte Bautechnik des Mauerwerks beziehungsweise der Gabionenkörbe,
- Beschädigung durch Bauarbeiten an Stahlschneebrücken oder Wegebau,
- Geländebewegung, Wasserdruck, Hangdruck,
- Steinschlag, Geröllrutschung.

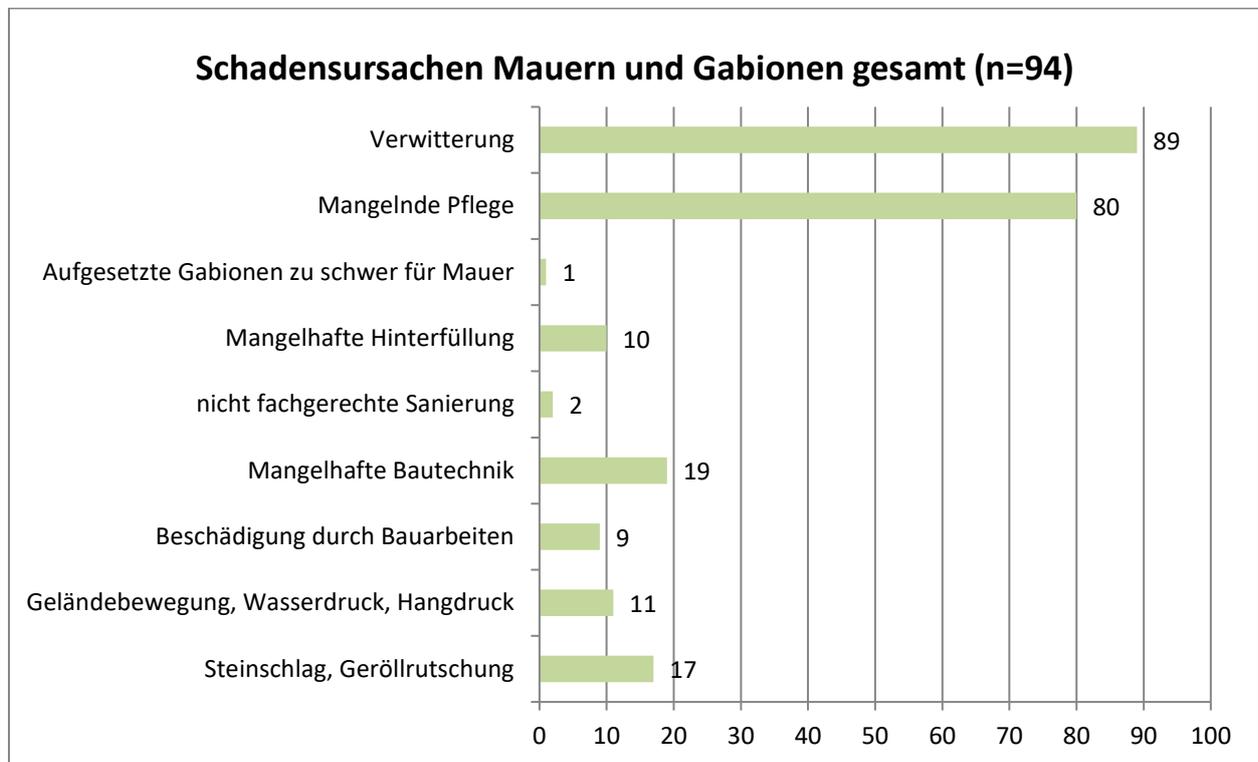


Abbildung 56: Häufigkeit der Schadensursachen an Mauern und Gabionen

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

Wie auf der Abbildung 56 ersichtlich, wurde bei 89 von 94 aufgenommenen Bauwerken Verwitterung als Schadensursache festgestellt und bei 80 mangelnde Pflege. Bei 19 Bauwerken wurde eine mangelhafte Bautechnik des Mauerwerks erkannt. Lokale Ereignisse wie Geländebewegungen, Wasserdruck und Hangdruck sowie Steinschlag und Geröllrutschungen sind 11-mal beziehungsweise 17-mal festgestellt worden.

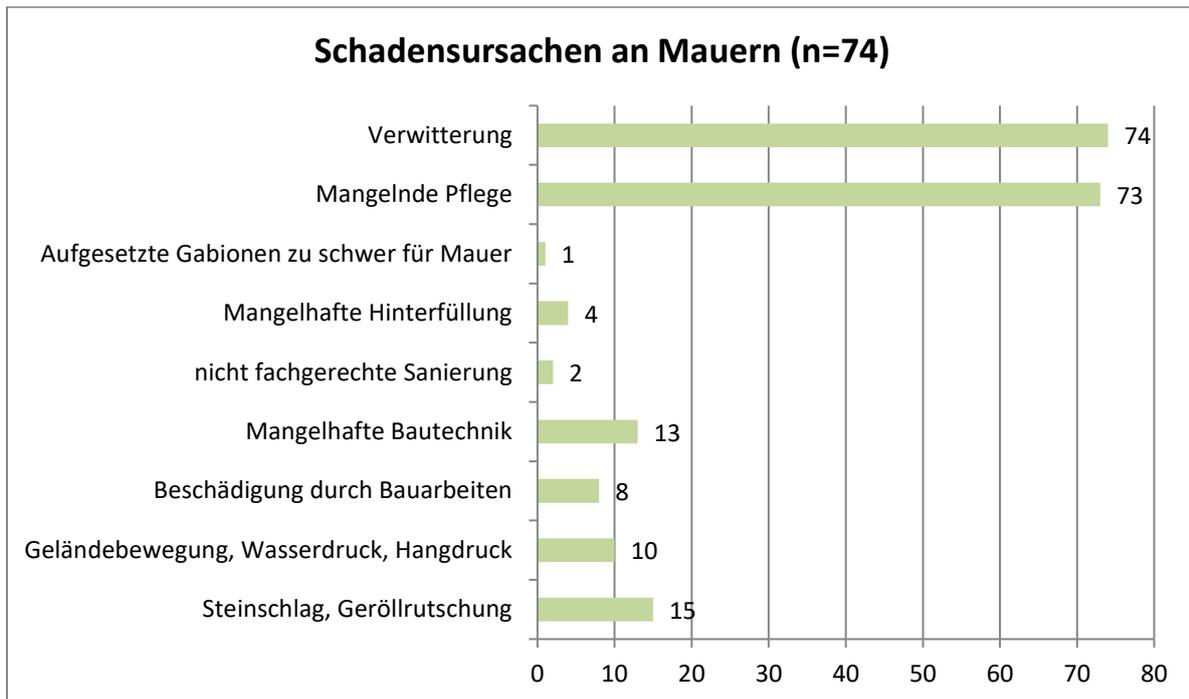


Abbildung 57: Häufigkeit der Schadensursachen an Mauern

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

Bei Betrachtung der Schadensursachen nur für die Trockenmauerbauwerke (siehe Abbildung 57) zeigt sich, dass bei allen 74 Bauwerken Verwitterung des Gesteins als Schadensursache festgestellt wurde. Mangelnde Pflege war bei den Aufnahmen für das Mauerinventar ebenso bei fast allen Bauwerken erkennbar.

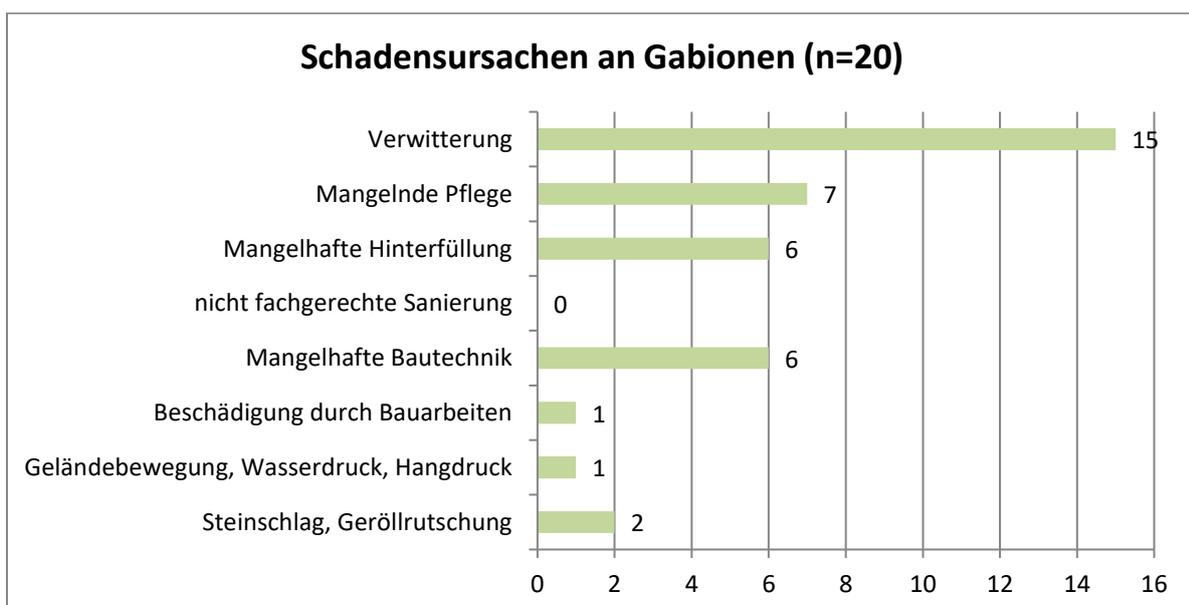


Abbildung 58: Häufigkeit der Schadensursachen an Gabionen

(Quelle: Eigene Abbildung des Autors)

Bei 15 der 20 Gabionenbauwerken wurde Verwitterung als Schadensursache festgestellt. Somit ist diese Schadensursache ebenso wie bei den Trockenmauerbauwerken die häufigste. Im Vergleich zu den Trockenmauern ist bei den Gabionen mangelnde Pflege deutlich seltener erkannt worden. Im Gegensatz dazu wurden eine mangelhafte Hinterfüllung sowie eine mangelhafte Bautechnik verhältnismäßig oft festgestellt.

5.4.1 Räumliche Verteilung der Schadensursachen im Projektgebiet

In Hinblick auf den Unterhalt der Bauwerke oder einer möglichen Sanierung ist auch die räumliche Verteilung der Schadensursachen im Projektgebiet interessant. Dadurch kann erkannt werden, ob es Teilbereiche gibt, die beispielsweise besonders von Geländebewegungen oder Steinschlag betroffen sind. Dazu dienen die Karten „Besondere Schadensursachen der historischen Lawenschutzbauwerke“. Die vollständigen Karten befinden sich im Anhang, auf der Abbildung 59 ist ein Ausschnitt dargestellt.

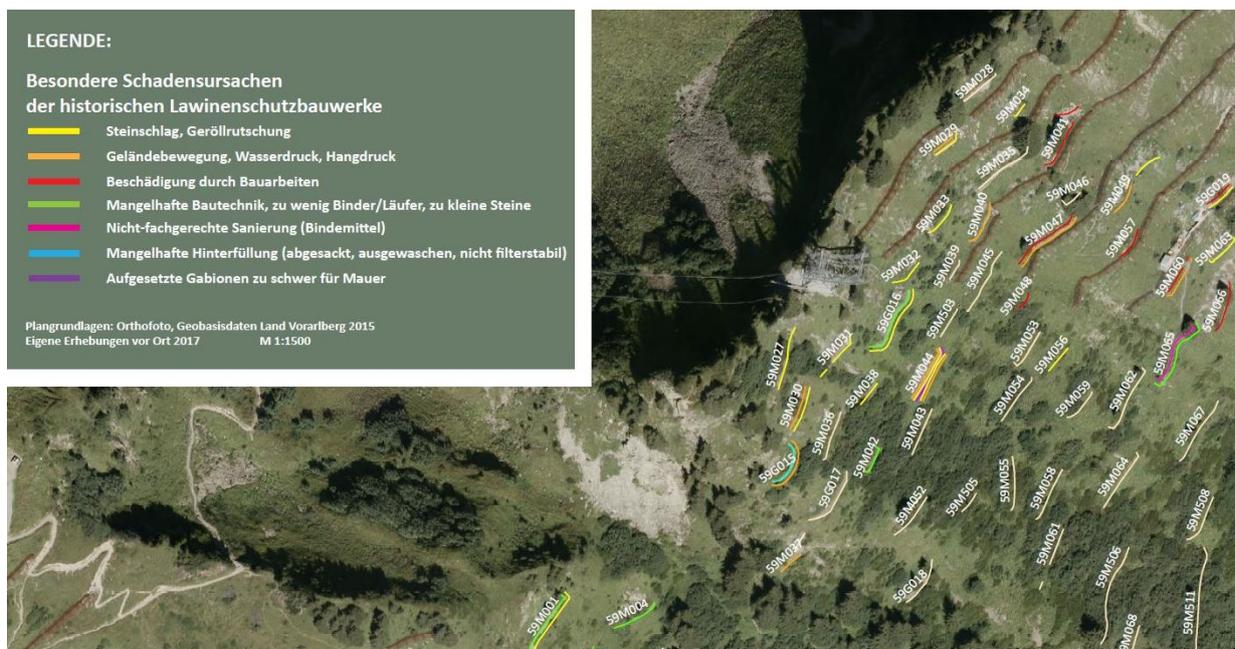


Abbildung 59: Kartenausschnitt „Bes. Schadensursachen der historischen Lawenschutzbauwerke“

(Quelle: DREXEL et. al 2018, S. 86)

Weil die beiden Schadensursachen Verwitterung und mangelnde Pflege auf fast alle Bauwerke zutreffen, wurden sie zur besseren Übersicht nicht in den Karten dargestellt. Die restlichen Schadensursachen sind als färbige Linien für jedes Bauwerk abgebildet. Im Falle von mehreren Schadensursachen pro Objekt sind dementsprechend viele Linien dargestellt.

Die Schadensursachen Steinschlag / Geröllrutschung sowie Geländebewegung / Wasserdruck / Hangdruck treten gehäuft im oberen Bereich des Projektgebietes auf, vor allem im Gebiet um die Seilbahnstütze. In diesem Bereich ist das Gelände am steilsten. Beschädigungen durch

Bauarbeiten gibt es nur in Bereichen mit Stahlschneebrücken. Des Weiteren ist ein gehäuftes Auftreten von mangelhafter Hinterfüllung als Schadensursache im Bereich der Objekte 59M006, 59G009 und 59G012 erkennbar.

5.4.2 Korrelation zwischen Zustand und unterschiedlichen Bautypen

Im Projektgebiet wurden im Laufe der Zeit viele Mauer- bzw. Gabionenterrassen mit unterschiedlichen Bautypen für den gleichen Verwendungszweck errichtet. Deshalb stellt sich die Frage, ob auch der Bautyp einen Einfluss auf den Zustand der Bauwerke hat und somit ein Bautyp sich besser bewährt hat als ein anderer. Die Einteilung der Zustandsstufen ist im Kapitel 6.4.5 angeführt.

	Zustand 1	Zustand 2	Zustand 3	Zustand 4	Zustand 5	Gesamt
Bauwerkstyp M1	0	4	20	35	22	81
Bauwerkstyp M2	0	0	9	5	0	14
Bauwerkstyp G1	0	1	6	5	2	14
Bauwerkstyp G2	3	2	2	2	2	11
Gesamt	3	7	37	47	26	120

Tabelle 1: Anzahl der Objekte je Zustandsstufe je Bauwerkstyp.

(Quelle: Eigene Darstellung des Autors)

In der obenstehenden Tabelle ist die Anzahl der jeweiligen Bautypen jeder Zustandsstufe ersichtlich. Auffällig ist, dass von den 120 Objekten nur zehn den ersten beiden Zustandsstufen zugeordnet wurden. Zur besseren Übersicht über die Verteilung der jeweiligen Zustände für die unterschiedlichen Bautypen dient die nachfolgende Abbildung 60. In dem Diagramm ist die prozentuale Verteilung über die Zustandsstufen für jeden Bautyp ersichtlich.

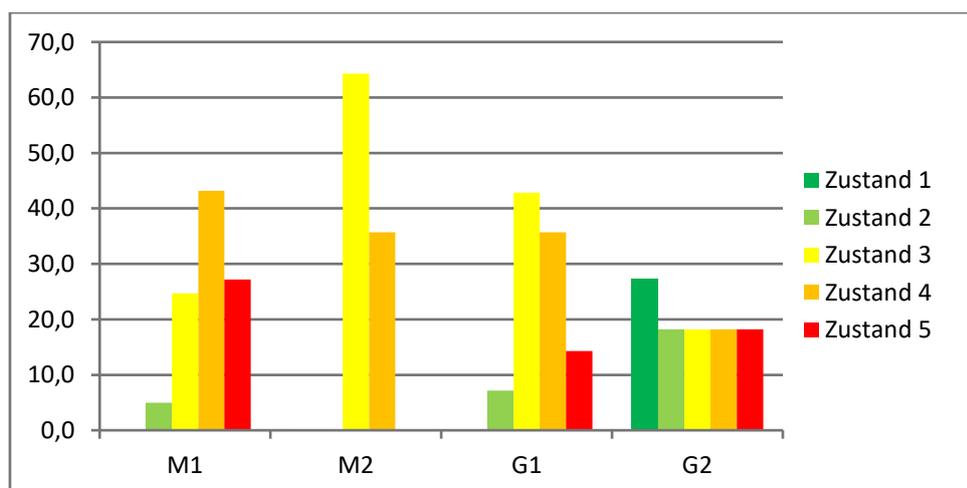


Abbildung 60: Prozentuale Verteilung der Zustandsstufen je Bautyp.

(Quelle: Eigene Darstellung des Autors)

Der Bautyp G2 weist als einziger Objekte in der ersten Zustandsstufe auf. Zusätzlich ist auch der Anteil an Objekten in der zweiten Stufe beim Bautyp G2 am höchsten. Die anderen Bautypen weisen eine erhöhte Anzahl an Objekten in den mittleren Zustandsstufen auf. Auffällig ist auch, dass der Bautyp M2 lediglich Objekte in den Zustandsstufen drei und vier aufweist.

	durchschnittlicher Zustand
Bauwerkstyp M1	3,93
Bauwerkstyp M2	3,36
Bauwerkstyp G1	3,57
Bauwerkstyp G2	2,82

Tabelle 2: Durchschnittliche Zustandsstufe je Bauwerkstyp.

(Quelle: Eigene Darstellung des Autors)

Der durchschnittliche Zustand der jeweiligen Bautypen zeigt, dass die kombinierten Bauwerke in einem besseren Zustand sind als die reinen Trockenmauern oder Gabionenbauwerke. Jedoch sind die mit Steinschichtungen erhöhten Gabionen genauso wie die mit Gabionen kombinierten Trockenmauern eher neueren Baualters. Deshalb stellt sich die Frage, ob der Zustand der Bauwerke vom jeweiligen Errichtungszeitpunkt abhängig ist.

5.4.3 Korrelation zwischen Zustand und Errichtungs- bzw. Sanierungszeit

Durch die Kollaudierungsoperatere der Wildbach- und Lawinenverbauung sowie anhand von Luftbildern konnten die Natursteinbauwerke datiert werden oder zumindest einer Errichtungsphase zugeordnet werden. Bei manchen Objekten fand bei späteren Bautätigkeiten im Projektgebiet eine Sanierung statt. Somit müssen diese Bauwerke separat betrachtet werden. Ebenso sind Mauerterrassen, die vor 1920 erbaut und 1957 komplett als Gabionen erneuert wurden, differenziert zu betrachten. Bei diesen Bauwerken blieb vom ursprünglichen Trockenmauerwerk nichts erhalten und es handelt sich somit um neuere Bauwerke. Grundsätzlich können im Projektgebiet folgende Errichtungs- und Sanierungsetappen (ES) unterschieden werden:

- ES 1: Bauwerke, die zwischen 1907 und 1920 errichtet und nicht saniert wurden.
- ES 2: 1907 - 1920 errichtete und zwischen 1954 und 1973 sanierte Bauwerke.
- ES 3: Bauwerke, die zwischen 1954 und 1957 neu errichtet wurden. In diese Kategorie fallen auch die Bauwerke, die man zwischen 1907 und 1920 errichtet hat und bei denen 1957 ein kompletter Neubau in Gabionenbauweise erfolgte.
- ES 3 - 4: Beim Bauwerk 59G017 erfolgte 1955 ein Neubau als Gabione, zusätzlich fand 1973 eine Erweiterung statt. Deshalb kann das Objekt nicht der Kategorie ES 3 zugewiesen werden.
- ES 4: Errichtungszeitpunkt liegt in den 70er und 80er Jahren. In diese Kategorie fallen ausschließlich Erdterrassen, die in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt werden.

- ES 5: Bauwerke, die in den 1980er oder 1990er Jahren neu errichten wurden.
- ES 6: Errichtung erfolgte im Rahmen des Stahlschneebrückenausbaus 2014 bis 2015.

Bei den Objekten 59M002 und 59M031 liegt der Errichtungszeitpunkt zwischen 1907 und 1920. Allerdings erfolgte bei beiden Bauwerken eine Sanierung durch einzelne Gabionenkörbe. Der Sanierungszeitpunkt ist in den Kollaudierungsoperaten der Wildbach und Lawinenverbauung nicht ersichtlich. Aufgrund des Zustandes der Gabionenkörbe und der belegbaren Sanierungszeitpunkte anderer Objekte in unmittelbarer Umgebung zu den beiden Bauwerken liegt der Sanierungszeitpunkt wahrscheinlich ebenfalls zwischen 1954 und 1973. Deshalb werden beide Objekte in dieser Betrachtung der Kategorie ES 2 zugeordnet. In der folgenden Tabelle ist die Anzahl an Objekten für die jeweiligen Errichtungs- und Sanierungsetappen den Zustandsstufen zugeordnet.

	ES1	ES2	ES3	ES3/4	ES5	ES6	
Zustand 1	0	0	0	0	3	0	3
Zustand 2	2	2	0	1	2	0	7
Zustand 3	9	20	7	0	1	0	37
Zustand 4	20	20	6	0	1	0	47
Zustand 5	17	4	3	0	1	1	26
Gesamt	48	46	16	1	8	1	120

Tabelle 3: Einteilung der Bauwerke je Bau- bzw. Sanierungszeit und Zustand

(Quelle: Eigene Darstellung des Autors)

In der Tabelle 3 ist ersichtlich, dass insgesamt 94 der 120 Bauwerke in die Kategorien ES 1 und ES 2 fallen. Weil in die Kategorien ES 3-4 und ES 6 jeweils nur ein Objekt fällt, sind sie nicht besonders aussagekräftig und wurden in den nachfolgenden Betrachtungen nicht berücksichtigt.

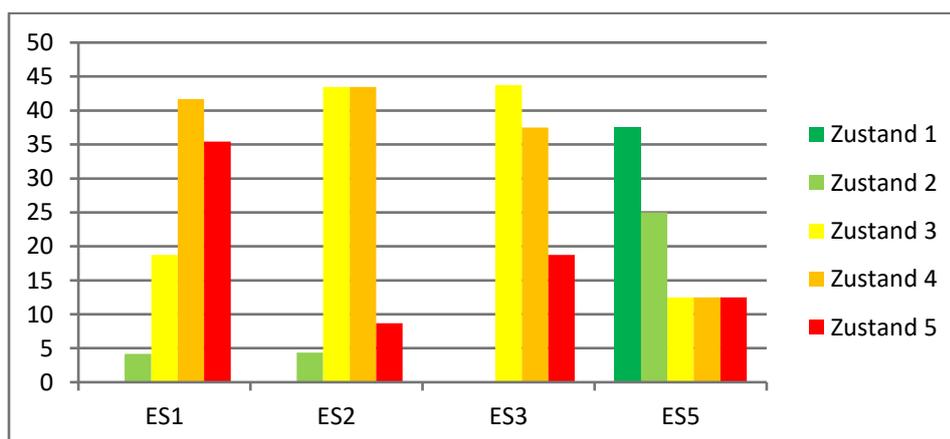


Abbildung 61: Prozentuale Verteilung der Zustandsstufen je Bau- bzw. Sanierungsetappe.

(Quelle: Eigene Darstellung des Autors)

Auf der Abbildung 61 ist der prozentuale Anteil jeder Zustandsstufe für die jeweiligen Errichtungs- und Sanierungsetappen ersichtlich. Im Kapitel 5.4.2 „Korrelation zwischen Zustand und

unterschiedlichen Bautypen“ wurde klar, dass die einzigen Objekte der ersten Zustandsstufe vom Bautyp G2 sind. Wie im Diagramm auf der Abbildung 61 klar zu sehen ist, fallen die Objekte der ersten Zustandsstufe in die Kategorie ES 5 und gehören damit zu den neuesten Bauwerken. Ein weiterer Hinweis darauf, dass der Zustand der Bauwerke vom Errichtungszeitpunkt abhängt, ist der im Vergleich zu den folgenden Jahren hohe Anteil an Bauwerken mit Zustand fünf in der Kategorie ES 1. Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt den durchschnittlichen Zustand je Errichtungs- und Sanierungsetappe.

	durchschnittlicher Zustand
ES1	4,1
ES2	3,6
ES3	3,8
ES5	2,4

Tabelle 4: durchschnittlicher Zustand der Objekte nach Bau- bzw. Sanierungsetappen

(Quelle: Eigene Darstellung des Autors)

Die zwischen 1907 und 1920 errichteten Bauwerke weisen aufgrund der vielen verfallenen Bauwerke den schlechtesten Durchschnitt auf. Im Gegensatz dazu sind die Bauwerke mit dem Errichtungszeitpunkt in den 80er und 90er Jahren durchschnittlich in einem besseren Zustand. Interessant ist außerdem der etwas bessere durchschnittliche Zustand der 1907 bis 1920 errichteten und 1954 bis 1973 sanierten Bauwerke (ES 2) im Vergleich mit den in den 1950er Jahren neu errichteten Bauten.

6 Bauwerksbewertung

Dieses Kapitel beginnt mit einem kurzen Überblick über die bisherige Bewertung des Mauerinventars Vorarlberg. Nach einer Abhandlung der Erhaltungswürdigkeit der Bauwerke am Heuberg folgt eine Erläuterung der möglichen Gewichtung von Bewertungskriterien. Anschließend werden die relevanten Bewertungskriterien für das Projektgebiet beschrieben. Danach folgt der Aufbau des Bewertungssystems für die Trockenmauern, Gabionen und Erdterrassen.

6.1 Bewertung von Trockenmauern beim Mauerinventar Vorarlberg

Das erklärte Ziel des Mauerinventars Vorarlberg ist neben der Erhebung und Dokumentation auch die Sanierung und Erhaltung von historischen Natursteinmauern (vgl. Land Vorarlberg, online Zugriff am 12.12.2019, 12:30).

Infolgedessen ist auch eine Bewertung der Mauern notwendig, um neben dem Vorkommen und dem Zustand der Bauwerke auch die Erhaltungswürdigkeit in Hinblick auf eine mögliche Sanierung und Erhaltung abschätzen zu können.

Bei Mauerinventaren, die dem Projekt am Heuberg vorhergingen, wie beispielsweise dem Mauerinventar Bludesch erfolgte die Bewertung mit Symbolen wie „+“ und „-“ für folgende Kriterien:

- prägend für Landschafts- und Ortsbild,
- außergewöhnliches Bauwerk,
- regional- bzw. zeittypische Bauweise,
- soziokulturelle Bedeutung,
- Fachgerechtigkeit,
- Schadensbeurteilung (vgl. DREXEL und LOCHER 2013, S. 4).

6.2 Erhaltungswürdigkeit

In der Richtlinie für die Erhaltungswürdigkeit von Kunstbauten des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation finden sich ähnliche Beurteilungskriterien. Es wird jedoch betont, dass die Liste mit Kriterien keine Rangfolge der Kriterien beinhaltet. **Die Erhaltungswürdigkeit ergibt sich auch nicht aus einer Reihe von aufaddierten Kriterien, denn ein einziges Kriterium von großer Bedeutung kann für die Begründung der Erhaltungswürdigkeit ausreichen (vgl. ASTRA 1998, S. 9).**

Anmerkung: Die genannte ASTRA-Richtlinie gilt für Kunstbauten in der Schweiz. Zu den Kunstbauten zählen beispielsweise Brücken, Bachdurchlässe und auch Stützmauern (Tiefbauamt Zürich, online Zugriff am 12.12.2019, 13:30).

Wenn ein Bauwerk als erhaltenswürdig eingestuft wurde und das Bauwerk auch zukünftig einem Zweck dient, ist es jedoch nur dann schützenswert, wenn auch die erforderlichen Maßnahmen realisierbar und in einem angemessenen Verhältnis zur Zielsetzung stehen (vgl. ASTRA 1998, S. 8).

Laut den Autoren Margreth und Blum ist die Verhältnismäßigkeit der erforderlichen Unterhaltsmaßnahmen in Bezug auf ihre zu erwartende Funktion für Lawinenverbauungen aus Steinmauern in der Regel nicht gegeben. Die Erhaltung einzelner Mauern als Zeuge der Ingenieursgeschichte kann jedoch überlegenswert sein (vgl. MARGRETH und BLUM 2011, S. 54).

Ob es sich bei den Bauwerken am Heuberg um ein Kulturgut handelt, das unter Denkmalschutz gestellt werden soll, müsste das Bundesdenkmalamt bewerten. Jedoch wäre dafür noch zusätzliche Forschung notwendig, um Vielzahl, Vielfalt und Verteilung solcher Bauwerke in Österreich zu erheben und ein etwaiges öffentliches Interesse an der Erhaltung zu beurteilen, denn es gilt:

„Die Erhaltung liegt dann im öffentlichen Interesse, wenn es sich (...) um Kulturgut handelt, dessen Verlust eine Beeinträchtigung des österreichischen [sic!] Kulturgutbestandes in seiner Gesamtsicht hinsichtlich Qualität sowie ausreichender Vielzahl, Vielfalt und Verteilung bedeuten würde“ (§1 Absatz 2, DMSG).

Dabei muss die Situation für Österreich gesondert betrachtet werden, auch wenn in der Schweiz circa 1000 Kilometer Mauern im Lawinenverbau errichtet wurden (vgl. MARGRETH und BLUM 2011, S. 1).

Außerdem gilt: *„Ob ein öffentliches Interesse an der Erhaltung (...) besteht (...) ist vom Bundesdenkmalamt unter Bedachtnahme auf diesbezügliche wissenschaftliche Forschungsergebnisse zu entscheiden“* (§1 Absatz 5, DMSG).

Ungeachtet des Denkmalschutzes sind die Bauwerke am Heuberg eng mit der Geschichte von der Gemeinde Mittelberg verbunden, wie im Kapitel „3.2 Historische Lawinenereignisse und Entwicklung der Lawinenverbauung in Mittelberg“ dargelegt ist.

Zu erwähnen ist noch die einzigartige Lage einiger Bauwerke unterhalb der Seilbahn. Während der Aufnahmen für das Mauerinventar 2017 und damit verbundenen zahlreichen Berg- und Talfahrten konnte ein reges Interesse der Touristen an den Natursteinbauwerken festgestellt werden. Ob sich aus dieser beiläufigen Beobachtung ein öffentliches Interesse an der Erhaltung ableiten lässt, müsste durch weitere Forschung geklärt werden.

Die Erhaltung des gesamten Ensembles an Natursteinbauwerken am Heuberg wird aufgrund der umfangreichen erforderlichen Unterhaltsmaßnahmen, dem Ersatz durch Stahlschneebrücken sowie dem erklärten Ziel, einen Schutzwald zu etablieren und somit geringen Bedeutung für das Landschaftsbild kaum möglich sein. Die Erhaltung einzelner Bauwerke als Zeugen der Baukunst und der Geschichte des Ortes sowie, um das erklärte Ziel des Mauerinventars die Sanierung und Erhaltung von historischen Natursteinmauern zu erreichen, scheint sinnvoll zu sein.

Deshalb stellt sich die Frage, wie aus der großen Anzahl an Bauwerken die erhaltungswürdigsten herausgefiltert werden können. Wie in diesem Kapitel bereits dargelegt, reicht die Außergewöhnlichkeit in einem einzigen Kriterium, um eine Mauer als erhaltungswürdig einzustufen. Die Mauern 59M027 und 59M075 stellen aufgrund ihrer Größe in Verbindung mit ihrem Alter außergewöhnliche Bauwerke dar. Diese beiden Mauern sind auch die einzigen, die in der Kategorie „Alter und Seltenheitswert / außergewöhnliches Bauwerk“ die beste Bewertung erhielten. Die restlichen Bauwerke scheinen auf den ersten Blick einheitlicher und in jeder Kategorie gibt es mehrere Bauwerke mit derselben Bewertung. Infolgedessen soll anhand einer einfachen mathematischen Analyse eine Reihung der Bauwerke erfolgen. Wohlgermerkt handelt es sich dabei keineswegs um ein Reihungssystem für solche Bauwerke im Allgemeinen, sondern lediglich um einen Reihungsversuch für das Projektgebiet am Heuberg.

6.3 Gewichtung von Bewertungskriterien

Wenn es darum geht, eine Vielzahl von Kriterien aus unterschiedlichen Bereichen zu berücksichtigen, stehen Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung kurz MCDA-Methoden zur Verfügung. Dabei steht MCDA für Multi-Criteria Decision Analysis. Solche Methoden können in der Praxis sowohl für kleinere Entscheidungen wie etwa die Wahl eines Gebrauchtwagens als auch für sehr komplexe Probleme angewandt werden. Dadurch können beispielsweise sehr unterschiedliche Kriterien wie Spritverbrauch, Leistung, Aussehen, Anschaffungspreis und Unterhaltskosten für die Entscheidung eines Gebrauchtwagens berücksichtigt werden (vgl. GELDERMANN und LERCHE 2014, S. 2).

Im Rahmen solcher MCDA-Methoden gibt es die Möglichkeit der Gewichtung der Kriterien. Der Gewichtungsfaktor repräsentiert dabei die Bedeutsamkeit des Kriteriums für das Gesamtproblem. Eine große Herausforderung ist die Ermittlung der Gewichtungsfaktoren, weil diese auf subjektiven Werten der EntscheiderInnen beruhen. Für eine strukturierte Vorgehensweise bei der Ermittlung von Gewichtungsfaktoren existieren verschiedene Ansätze wie beispielsweise die SMART-Methode. Dabei steht SMART für Simple Multi-Attribute Rating Technique (vgl. ebd., S. 8).

Bei der SMART-Methode wird zuerst dem voraussichtlich wichtigsten Kriterium die Anzahl von 100 Punkten zugeordnet. Die Wichtigkeit dieses Kriteriums gilt danach als Referenz für die weiteren Kriterien. Den weiteren Kriterien wird deshalb in relativer Wichtigkeit im Verhältnis zum wichtigsten Kriterium eine dementsprechend geringere Punkteanzahl zugeordnet. Das Gewicht für jedes Kriterium ergibt sich aus dem Anteil der Punkte an der Summe aller Kriterien (vgl. ebd., S. 34).

- Beispiel:
 - Kriterium 1: 100 Punkte
 - Kriterium 2: 80 Punkte
 - Kriterium 3: 75 Punkte
 - Summe: $100 + 80 + 75 = 255$ Punkte

Somit ergibt sich für die Gewichtung des ersten Kriteriums $\frac{100}{255} = 0,39 = 39\%$ Gewichtung.

Weil sich der subjektive Einfluss jedoch nicht vermeiden lässt und die Gewichtung einen großen Einfluss auf das Ergebnis hat, empfiehlt sich eine Sensitivitätsanalyse. Dabei wird geprüft, wie stabil das Ergebnis bei einer Veränderung der einzelnen Gewichte ist und somit wird der Einfluss für sämtliche Gewichte deutlich (vgl. ebd., S. 9).

6.4 Relevante Bewertungskriterien für das Projektgebiet

Folgende Bewertungskriterien wurden für das Mauerinventar am Heuberg festgelegt:

- Alter und Seltenheitswert / außergewöhnliches Bauwerk,
- soziokulturelle Bedeutung,
- prägend für Landschafts- und Ortsbild,
- Fachgerechtigkeit/ Bautechnik,
- Zustandsbeurteilung, Schadensbeurteilung,
- Wirksamkeit des Bauwerks,
- Gefahr durch das Bauwerk,
- Erreichbarkeit,
- Ökologie.

Die Erweiterung der bisher verwendeten Bewertungskriterien durch „Wirksamkeit des Bauwerks“, „Gefahr durch das Bauwerk“, „Erreichbarkeit“ und „Ökologie“ wurde aufgrund der besonderen Funktion der Bauwerke und des extremen Standorts festgelegt. Diese zusätzlichen Kriterien sollen der Ableitung von Maßnahmenvorschlägen im Rahmen des Mauerinventars dienen und der Wildbach- und Lawinenverbauung Voralberg helfen, zukünftige Maßnahmen zu planen.

Im Anschluss folgen die genaueren Definitionen für die einzelnen Bewertungskriterien und die jeweilige Art der Bewertung.

6.4.1 Alter und Seltenheitswert / außergewöhnliches Bauwerk

Definition: „Das Bauwerk ist aus bauhistorischer Sicht bedeutend, da es ein Zeuge einer besonderen technischen Leistung in seiner Entstehungszeit ist oder aufgrund von Höhe, Länge oder besonderen Konstruktionsdetails außergewöhnlich ist“ (DREXEL et al. 2018a, S. 36).

Die Bewertung erfolgt in den drei Stufen:

- 1: außergewöhnliches Bauwerk
- 2: Bauwerk mit einzelnen besonderen Aspekten
- 3: herkömmliches Bauwerk

6.4.2 Soziokulturelle Bedeutung

Definition: „Das Objekt steht in Verbindung mit wichtigen sozial- und kulturhistorischen Entwicklungen in der Region. Die Bevölkerung hat einen Bezug zum Bauwerk“ (DREXEL et al. 2018a, S. 36).

Bewertungsstufen:

- 1: soziokulturell sehr von Bedeutung
- 2: soziokulturell von Bedeutung
- 3: soziokulturell nicht von Bedeutung

6.4.3 Prägend für Landschafts- und Ortsbild

Definition: „Das Bauwerk bzw. die Bauwerksgruppe ist ein prägender Bestandteil der Landschaft oder von Landschaftsteilgebieten“ (DREXEL et al. 2018a, S. 36).

Bewertungsstufen:

- 1: stark prägend für Landschafts- und Ortsbild
- 2: prägend für Landschafts- und Ortsbild
- 3: nicht prägend für Landschafts- und Ortsbild

6.4.4 Fachgerechtigkeit / Bautechnik

Definition: „Das Objekt ist fachgerecht oder in mangelhafter Bautechnik errichtet“ (DREXEL et al. 2018a, S. 36).

Bewertungsstufen:

- 1: keine Mängel in der Bautechnik
- 2: wenige Mängel in der Bautechnik
- 3: viele Mängel in der Bautechnik

6.4.5 Zustandsbeurteilung, Schadensbeurteilung

Bei früheren Mauerinventaren erfolgte die Bewertung des Zustands für jedes Bauwerk zuerst qualitativ im Inventarblatt unter dem Punkt „aktueller Zustand“. Beispielsweise lautet die Beschreibung für die Mauer 40M012 in Innerbraz:

Mauer weist mehrere Ausbauchungen auf; westl. Ende verfallend, am östl. auslaufend, im mittleren Teil oberste Steine teilw. fehlend. Ausbesserungsstelle (weniger verwittert als der Rest) vorhanden, diese jedoch auch ausgebaucht (aufgrund oberhalb wachsender Eschen). Bewuchs mit Moos und Gehölzen tw. auf der Mauerkrone stockend (Ahorn, Brombeere, Esche, Felsenbirne, Hasel, Hartriegel, Holunder) (vgl. Drexel et al. 2010, S. 74).

Zusätzlich wurde unter dem Punkt „Bedeutung“ in der Kategorie „Schadensbeurteilung“ ein Symbol, im Fall der Mauer 40M012 ein Minus, vergeben (vgl. ebd., S. 74).

Diese Art der Bauwerksbewertung wurde auch für das Projekt am Heuberg beibehalten, um einen Vergleich mit früheren Mauerinventaren zu gewährleisten. Für eine digitale Auswertung sowie für einen einfacheren Vergleich einer großen Anzahl von Bauwerken ist eine Zustandsstufe in Zahlenform vorteilhaft.

Deshalb wurde analog zum Schulnotensystem jedem Bauwerk eine Note von eins bis fünf zugeteilt. Das ausschlaggebende Bewertungskriterium für den Zustand ist der Schadensumfang des Bauwerks. Dieser reicht von „1 keine Schäden“ bis zu „5 Bauwerk verloren“.

- 1: keine Schäden
- 2: wenige Schäden
- 3: Schäden nicht bestandsgefährdend
- 4: Schäden bestandsgefährdend
- 5: Bauwerk verloren

6.4.6 Wirksamkeit des Bauwerks

Wie im Kapitel 2.1.7 Trockenmauern im Lawinenverbau bereits erwähnt, ist die Wirkung der Bauwerke als Lawinenanbruchverbauung ungenügend. Jedoch können funktionierende Natursteinbauten zwischen den Stützwerten, diese in Hinblick auf Steinschlag und Schneedruck

entlasten. Durch die Reduzierung von Gleitschneedruck können die Bauwerke auch für die Waldentwicklung förderlich sein. Deshalb wurde folgende Definition für dieses Kriterium festgelegt:

„Im Hinblick auf die Waldentwicklung ist das Bauwerk aufgrund seiner Hangstützfunktion, Bremswirkung und dem Auffangraum der Terrassen für Gesteine wirksam bis nicht wirksam“ (DREXEL et al. 2018a, S. 36).

- 1: vollständig wirksam
- 2: in Teilen bzw. für einzelne Parameter wirksam
- 3: nicht wirksam

6.4.7 Gefahr durch das Bauwerk

Eine genaue Analyse der von den Bauwerken ausgehenden Steinschlaggefährdung ist nur durch ein geologisches Gutachten möglich. Eine grobe Abschätzung der Gefahr aufgrund der Beobachtungen vor Ort ist jedoch durchaus möglich. Als Definition für dieses Kriterium gilt:

„Das Bauwerk kann aufgrund von ausbrechenden Steinen eine Gefahr für Mensch, Tier, Wege, Wirtschaftsflächen und andere Lawinenschutzbauwerke im Transit- und Auslaufgebiet darstellen“ (DREXEL et al. 2018a, S. 36).

Die Beurteilung erfolgt anhand einer qualitativen Beschreibung für einzelne Teilbereiche des Projektgebietes.

6.4.8 Erreichbarkeit

Für die Ableitung von Handlungsempfehlungen ist auch die Erreichbarkeit des Bauwerks entscheidend. Für schwer zugängliche Bauwerke abseits von bestehenden Wegen erhöht sich der Aufwand für Pflege und Sanierungsmaßnahmen besonders in extrem steilem Gelände. Die Definition lautet:

„Die Erreichbarkeit eines Bauwerkes ist abhängig von seiner Nähe zu einem Fahrweg, einem Steig, der Beschaffenheit des Weges (Geröllfeld, anstehender Fels) sowie der Verbuschung und der Hangneigung“ (DREXEL et al. 2018a, S. 36).

Die Bewertung erfolgt durch eine qualitative Beschreibung von Teilbereichen des Projektgebietes.

6.4.9 Ökologie

Wie bereits im Kapitel 2.1.4 Bedeutung von Trockenmauern erwähnt, stellen Trockenmauern einzigartige Biotope dar und werden von zahlreichen seltenen Arten bewohnt. Einzelne seltene Arten, die während der Aufnahmen für das Mauerinventar vorgefunden wurden, sind im Inventarblatt des jeweiligen Bauwerks unter dem Punkt ‚Aktueller Zustand‘ vermerkt. Für eine

differenzierte Beurteilung des ökologischen Werts von jedem Bauwerk, wäre jedoch eine eigene ökologische Untersuchung der vorkommenden Arten notwendig.

Das Potential der Bauwerke für die Fauna und Flora ist im ganzen Projektgebiet ähnlich. Deshalb erfolgte die Bewertung der Ökologie in Form einer qualitativen Beschreibung für das gesamte Projektgebiet und floss somit einheitlich in die Maßnahmenvorschläge mit ein.

6.5 Aufbau des Bewertungssystems für das Projektgebiet

Der Ablauf des Bewertungssystems für die Mauerterrassen Typ M1 und M2 ist auf der Abbildung 62 ersichtlich.

Die Kriterien „Alter und Seltenheitswert/außergewöhnliches Bauwerk“, „soziokulturelle Bedeutung“, „prägend für Landschafts- und Ortsbild“ und „Fachgerechtigkeit / Bautechnik“ wurden zusammengefasst zur „Bedeutung des Bauwerks“. Somit ist die Erhaltungswürdigkeit einer Mauer aufgrund der Entstehungsgeschichte und ihrem Einfluss auf den Ort an nur einer Zahl ablesbar. Wohlgermerkt ist dies nur eine Reihung der vielen sehr ähnlichen Bauwerke im Projektgebiet und nicht mit Bauwerken anderer Gebiete vergleichbar.

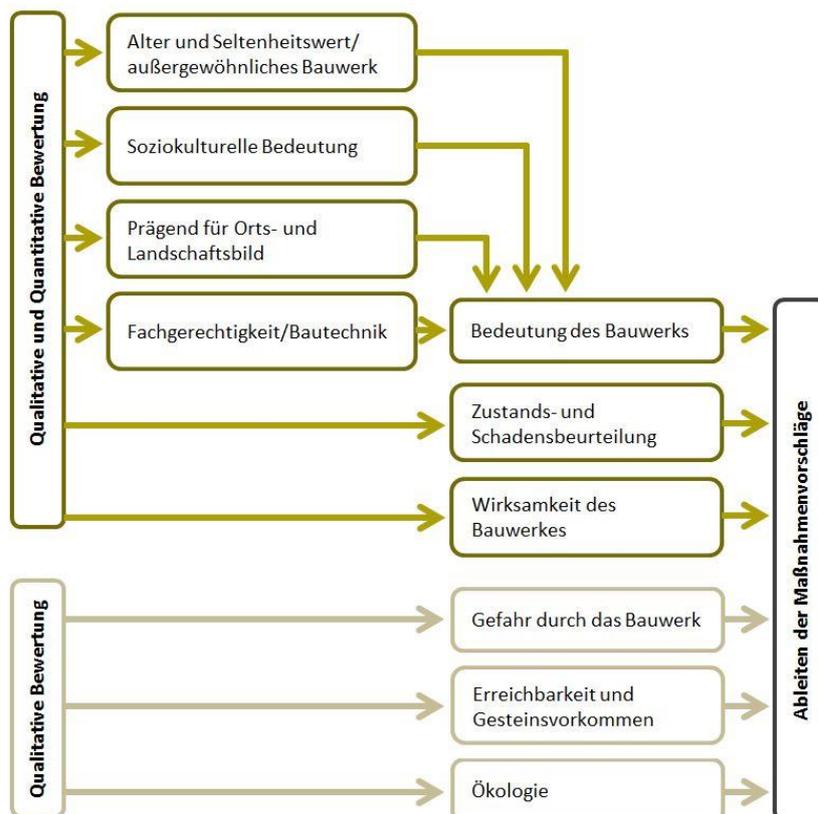


Abbildung 62: Bewertungsschema

(Quelle: Eigene Darstellung des Autors)

Weil sich jedoch die meisten Bauwerke in den drei Kriterien „Soziokulturelle Bedeutung“, „Prägend für Landschafts- und Ortsbild“ und „Fachgerechtigkeit/Bautechnik“ sehr ähnlich sind, kristallisiert

sich das Kriterium „Alter und Seltenheitswert/außergewöhnliches Bauwerk“ als entscheidend für die Bauwerke am Heuberg heraus. Um dennoch alle vier Kriterien in die Betrachtung mit einfließen zu lassen, ist eine unterschiedliche Gewichtung möglich. Durch die Anwendung der SMART-Methode ergab sich folgende Gewichtung der Kriterien:

Kriterium	Punkte	Gewichtung
Alter / Seltenheitswert...	100	27,00%
soziokulturelle Bedeutung	90	24,33%
prägend für Landschaft...	90	24,33%
Fachgerechtigkeit...	90	24,33%
Summe	370	100%

Tabelle 5: Gewichtung der Kriterien nach SMART-Methode

(Quelle: Eigene Darstellung des Autors)

Dabei wurde versucht den subjektiven Einfluss zu minimieren, indem zuerst alle drei MitarbeiterInnen des Projektteams eine eigene Bewertung der Kriterien durchführten. Anschließend erfolgte durch Synthese der drei Bewertungen die Gewichtung der Kriterien.

Durch die erfolgte Bewertung der vier Kriterien in Zahlenform konnte für alle Bauwerke der Typen M1 und M2 die Bedeutung des Bauwerks mit der erarbeiteten Gewichtung im Programm Microsoft Excel abgeleitet werden. Es zeigte sich, dass sich die zwei bereits als bedeutend erkannten Bauwerke 59M027 und 59M075 auch bei dieser Gewichtung unter den bedeutendsten Bauwerken befanden. In weiterer Folge wurde im Sinne einer Sensitivitätsanalyse die Gewichtung überprüft, indem die einzelnen Gewichte verändert wurden. Dabei wurde deutlich, dass bereits eine geringfügig höhere Gewichtung des Kriteriums „Alter und Seltenheitswert / außergewöhnliches Bauwerk“ ausreicht, um die Reihung der Bauwerke zu beeinflussen. Das Ergebnis zeigte sich auch bei einer Veränderung im niedrigen einstelligen Prozentbereich äußerst stabil. Deshalb wurde die Gewichtung durch die SMART-Methode angenommen und lediglich auf ganze Zahlen gerundet. Somit wurde folgende Gewichtung für die Ableitung der Bedeutung der Bauwerke angewendet:

Kriterium	Gewichtung
Alter Seltenheitswert...	28,0%
Soziokulturelle Bedeutung	24,0%
Prägend für Landschaft...	24,0%
Fachgerechtigkeit...	24,0%
Summe	100%

Tabelle 6: Gewichtung der Kriterien

(Quelle: Eigene Darstellung des Autors)

Mit dieser Gewichtung fließen die vier Subkriterien in das Kriterium „Bedeutung des Bauwerks“ ein. Die Kriterien „Zustand“ und „Wirksamkeit des Bauwerks“ fließen, wie im Bewertungsschema auf Abbildung 62 ersichtlich, ebenfalls auf eine Zahl reduziert, in die Bewertung ein. Somit sind für die Ableitung der Maßnahmenvorschläge drei Kriterien in Zahlenform zu berücksichtigen (rote Markierung in Tabelle 7). Wie bereits zu Beginn des Kapitels 6 „Bauwerksbewertung“ erwähnt, kann jedoch ein einziges Kriterium von großer Bedeutung für die Begründung der Erhaltungswürdigkeit sein. Deshalb bleiben auch die vier in die Bedeutung des Bauwerks eingeflossenen Subkriterien zur Übersicht und Nachvollziehbarkeit in der Bewertungstabelle erhalten.

Gewichtung [%]	Aufnahmenummer	59M027	59M031	59M075
28	Alter & Seltenheitswert / aussergewöhnliches Bauwerk	1	2	1
24	Soziokulturelle Bedeutung	1	1	1
24	Prägend für Landschafts- und Ortsbild	1	1	3
24	Fachgerechtigkeit / Bautechnik	2	3	2
100	Bauwerksbedeutung	1,24	1,76	1,72
	Zustand	3	4	3
	Wirksamkeit des Bauwerks	2	2	2

Tabelle 7: Ausschnitt Bewertungstabelle Teil 1

(Quelle: DREXEL et.al, 2018a, S. 109, eigene Bearbeitung)

Wie im Bewertungsschema auf Abbildung 62 dargestellt, müssen neben den drei quantitativ bewerteten Kriterien auch die drei rein qualitativ beschriebenen Kriterien „Gefahr durch das Bauwerk“, „Erreichbarkeit des Bauwerks“ und „Ökologie“ für die Ableitung der Maßnahmenvorschläge berücksichtigt werden. Da die Ökologie ganzheitlich für das Projektgebiet bewertet wurde, ist dieses Kriterium für alle Bauwerke gleich und nicht in der Bewertungstabelle ausgewiesen. Die beiden anderen qualitativ bewerteten Kriterien sind stichwortartig in der Bewertungstabelle eingetragen. Somit bleiben drei Kriterien in zahlenform und zwei textlich beschriebene, die für jedes Bauwerk in die Ableitung der jeweiligen Maßnahmenvorschläge einfließen. (rote Markierung in Tabelle 8). Diese Maßnahmenvorschläge (blaue Markierung in Tabelle 8) wurden im Rahmen des Mauerinventars ebenfalls in die Bewertungstabelle eingetragen. Sie beinhalten die Art der vorgeschlagenen Maßnahmen, deren Dringlichkeit und deren Umfang. (Die Erläuterung der Abkürzungen für die Maßnahmenvorschläge sind im Anhang unter 11.3 zu finden.)

Gewichtung [%]	Aufnahmenummer	59M027	59M031	59M075
28	Alter & Seltenheitswert / aussergewöhnliches Bauwerk	1	2	1
24	Soziokulturelle Bedeutung	1	1	1
24	Prägend für Landschafts- und Ortsbild	1	1	3
24	Fachgerechtigkeit / Bautechnik	2	3	2
100	Bauwerksbedeutung	1,24	1,76	1,72
	Zustand	3	4	3
	Wirksamkeit des Bauwerks	2	2	2
	Gefahr durch das Bauwerk	Gefahr für Bauwerke unterhalb und Waldaufkommen	Gefahr für Bauwerke unterhalb und Waldaufkommen	Gefahr für Steig auf Mauerterrasse und Stahlschneebrücken sowie Forstweg unterhalb
	Erreichbarkeit	Lage im Teilgebiet Schreckenmäher/Sigunt; unmittelbar unterhalb des Bergkammes, eines der steilsten Stücke des gesamten Hanges (45 - 55°); nahe der Liftstütze; erreichbar über Wanderweg und Steig von der Bergstation Walmendinger Horn; aufgrund Gefälle schwer zugänglich; Zustieg 605 m über Weg und 55 m im Gelände.	Lage im Teilgebiet Schreckenmäher/Sigunt; unter dem Bergkamm, eines der steilsten Stücke des gesamten Hanges (45 - 60°); nahe der Liftstütze; erreichbar über Wanderweg und Steig von der Bergstation Walmendinger Horn; aufgrund Gefälle schwer zugänglich ; Zustieg 605 m über Weg und 40 m im Gelände.	Lage im Gebiet Zaferna; Gefälle 45 - 70°; erreichbar über Forstweg und Steig ab der Baracke der WLW; gut zugänglich; Zustieg 90 m über Weg.
	Maßnahmen	W + Zusatz / S (G) / V	W + Zusatz / S (G) / V	W / S (G) / V
	Dringlichkeit <small>kurzfristig: sofort 3 Jahre mitbeihilflich: 2 - 5 Jahre langfristig</small>	kurzfristig	kurzfristig	kurzfristig
	Umfang	umfangreich	umfangreich	umfangreich
	Umfang in m ²	mind. 26 m ² + punktuell	etwa 32 m ² + punktuell	etwa 20 m ² + Gehölze + punktuell

Tabelle 8: Ausschnitt Bewertungstabelle Teil 2

(Quelle: DREXEL et.al, 2018a, S. 109, eigene Bearbeitung)

6.5.1 Bewertung der Gabionen

Im Unterschied zu der Bewertung der Bautypen M1 und M2 ist bei den Gabionenbauwerken der Typen G1 und G2 keine separate Bewertung der Kriterien „Alter und Seltenheitswert / außergewöhnliches Bauwerk“ und „Fachgerechtigkeit / Bautechnik“ zielführend. Die Definition des erstgenannten Kriteriums (siehe Kapitel 6.4.1) zielt auf die bauhistorische Bedeutung sowie auf eine besondere Bauform und Konstruktionsdetails ab. Diese Punkte sind bei allen vorkommenden Gabionenbauwerken nicht gegeben. Zusätzlich ist die Lebensdauer der relativ neuen Gabionen durch die Korrosion des Drahtes begrenzt. Auch die Errichtung solcher Bauwerke erfordert keine besondere Handwerkskunst und, wie im Kapitel 4 bereits erwähnt, entspricht die Bautechnik nicht dem aktuellen Stand der Technik.

Das Kriterium „soziokulturelle Bedeutung“ kann bei allen Gabionen ebenso wie bei den Trockenmauerbauwerken aufgrund der Lawinenschutzgeschichte des Ortes mit „1“ bewertet werden. Somit bleibt als einziges unterscheidendes Kriterium für die Bedeutung des Bauwerks die Prägung für das Landschafts- und Ortsbild. Gemeinsam mit der Bewertung des Zustands und der Wirksamkeit des Bauwerks bleiben drei relevante Kriterien, die in Zahlenform in die Ableitung von Maßnahmenvorschlägen einfließen (siehe rote Markierung in Tabelle 9). Weiterführend können die Bewertung der Gabionen und die Ableitung von Maßnahmenvorschlägen analog zu den Trockenmauern erfolgen.

Aufnahmenummer	59G001	59G002	59G006	59G017	59G003	59G004	59G005	59G008	59G009	59G010	59G012	59G015	59G016	59G018	59G007	59G011	59G013	59G014	59G019	59G020	59G003	59G001	59G002	59G004	59G005	
Alter & Seltenheitswert / aussergewöhnliches Bauwerk	n.b.	n.b.																								
Soziokulturelle Bedeutung	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Prägend für Landschafts- und Ortsbild	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3	n.b.	2	2	2	n.b.
Fachgerechtigkeit / Bautechnik	n.b.	n.b.																								
Bedeutung des Bauwerks	n.b.	n.b.																								
Zustand	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5
Wirksamkeit des Bauwerks	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	3	3	3	3

Tabelle 9: Bewertungstabelle Gabionen

(Quelle: DREXEL et.al, 2018a, S. 92, eigene Bearbeitung)

6.5.2 Bewertung der Erdterrassen

Im Rahmen des Mauerinventars wurden die Erdterrassen nicht bewertet. Grundsätzlich sind sich jedoch die Erdterrassen im Projektgebiet in allen Bewertungskriterien sehr ähnlich. Deshalb folgt hier eine gemeinsame Bewertung aller Erdterrassen im Projektgebiet.

- Alter und Seltenheitswert / außergewöhnliches Bauwerk: Wie die Gabionen sind auch die Erdterrassen weder besonders alt noch sind es außergewöhnliche Bauwerke, es handelt sich also um herkömmliche Bauwerke.
- soziokulturelle Bedeutung: Genauso wie auch die Trockenmauerbauwerke und Gabionen sind auch die Erdterrassen soziokulturell bedeutend, da sie eng mit der Lawinenschutzgeschichte des Ortes verbunden sind.
- prägend für Landschafts- und Ortsbild: Aufgrund ihrer geringen Höhe und durch den Bewuchs sind die Erdterrassen als nicht prägend für Landschafts- und Ortsbild einzustufen.
- Fachgerechtigkeit / Bautechnik: Die Errichtung der Erdterrassen selbst kann als fachgerecht eingestuft werden, jedoch weisen alle Steinschichtungen eine sehr mangelhafte Bautechnik auf.
- Zustandsbeurteilung, Schadensbeurteilung: Abgesehen von den Steinschichtungen, die sich alle in einem sehr schlechten Zustand befinden, weisen die Erdterrassen wenige Schäden auf. Im abgegrabenen Bereich des Hanges oberhalb der Erdterrassen tritt stellenweise Erosion auf, jedoch war die Erosion zum Zeitpunkt der Aufnahmen bei keinem Bauwerk bestandsgefährdend.
- Wirksamkeit des Bauwerks: Die Wirksamkeit der Erdterrassen ist vollständig gegeben.
- Gefahr durch das Bauwerk: Erdterrassen ohne Steinschichtungen weisen keine Gefahr auf, Bauwerke mit Steinschichtungen weisen eine geringe lokale Gefahr durch abrutschende Steine auf.
- Erreichbarkeit: Alle Erdterrassen sind nur fußläufig über Steige und über das steile Gelände erreichbar.

- Ökologie: Die Steinschichtungen sind ebenso wie Trockenmauern wertvolle Lebensräume und auch die Erdterrassen ohne Steinschichtungen haben eine Bedeutung für die Fauna und Flora vor Ort. Denn durch die Modellierung der Erdterrassen samt Druckhügel entstanden heterogene Wachstumsbedingungen für die Vegetation im Vergleich zur Umgebung. Der Boden ist im aufgeschütteten Bereich tiefgründiger und im abgegrabenen Bereich magerer und felsiger. Außerdem entsteht ein feuchterer Standort zwischen dem Druckhügel und dem anstehenden Hang. Diese heterogenen Bedingungen stellen das Potential für eine höhere Artenvielfalt dar.

Folgende Maßnahmenvorschläge können aus dieser Bewertung abgeleitet werden:

- Sicherung der Steinschichtungen und gegebenenfalls Neuerrichtung dieser (ohne Fundament, geeignetes Steinmaterial und Mauerverband werden jedoch auch zukünftig Abrutschungen auftreten).
- Erosion der abgegrabenen Hänge beobachten und bei stärker werdender Erosion Maßnahmen setzen wie beispielsweise Abdeckung mit Kokosgewebe und Ansaat.
- Regelmäßige Kontrolle, ob der Bereich hinter den Druckhügeln mit Geröll aufgefüllt ist und gegebenenfalls Freiräumen, damit die Entwässerung funktioniert.

7 Conclusio

Der größte Unterschied an den Trockenmauerterrassen am Heuberg im Vergleich zu Terrassen, beispielsweise im Weinbau, ist die Neigung der Terrassen zum Hang und die damit verbundene seitliche Entwässerung der Terrassen. Somit handelt es sich um eine Mischform der von den Autoren Margreth und Blum beschriebenen Werktypen hinterfüllte Steinmauer und Mauerterrasse. Vorteil dieser Neigung zum Hang ist einerseits die etwas bessere Verzahnung zwischen Hang und Schneedecke und der damit verbesserte Gleitschneeschutz. Andererseits kann eine höhere Auffangwirkung bei Steinschlag angenommen werden. Als Nachteil dieser Bauweise muss die stärkere Durchnässung des Erdkörpers erwähnt werden. Dies ist besonders in Hinblick auf die erhöhte Erosionsgefahr bei Vorarlberger Flysch zu bedenken. Das teilweise zu kleine und schnell verwitternde Steinmaterial kann auf den Standort der Bauwerke zurückgeführt werden. Denn es wurde stets das vor Ort vorkommende Material verwendet.

Bei den Gabionenbauwerken sind ebenfalls Unterschiede im Vergleich zur Fachliteratur feststellbar. Neben der Anordnung der Körbe im Verband, sind auch das Fehlen von Zugankern und der deutlich stärkere Anlauf der Gabionen im Projektgebiet zu erwähnen. Allerdings sind die Gabionen vor dem Erscheinen diverser Richtlinien, wie die FLL-Richtlinie im Jahr 2012, gebaut worden.

Die Bauweise der Erdterrassen scheint hauptsächlich vom Standort abhängig zu sein. Bei felsigem, steinigem Standort wurden die abgegrabenen Steine zu einer Steinschichtung aufgebaut. Bei fehlenden Steinen wurde auf die Steinschichtung verzichtet. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass bei der Errichtung keine Kenntnisse über den fachgerechten Bau von Trockenmauern vorhanden waren.

Verwitterung des Steinmaterials und mangelhafte Pflege sowie ein damit resultierender beschleunigter Verfall und Gehölzbewuchs sind die Hauptursachen für die meisten Schäden. Dies ist besonders an den Trockenmauern deutlich zu sehen. Jedoch sind auch die Schadensursachen „Mangelhafte Hinterfüllung des Bauwerks“, „Mangelhafte Bautechnik“, „Steinschlag / Geröllrutschung“ sowie „Geländebewegung / Wasserdruck / Hangdruck“ jeweils bei mehr als zehn Prozent der Bauwerke aufgetreten. Zusätzlich konnte ein Zusammenhang zwischen dem Zustand und den Bautypen erkannt werden. Allerdings sind die kombinierten Bauwerke, die sich im durchschnittlich besseren Zustand befinden, auch später errichtet worden. Somit ist der Zustand mehr vom Bauwerksalter als vom Bauwerkstyp abhängig.

Die Bedeutung der Bauwerke konnte, durch die gewichtete Zusammenführung, auf eine Zahl reduziert werden. Diese Bewertung scheint für das Projektgebiet sinnvoll, jedoch ist diese Form der Bewertung nicht auf andere Projekte übertragbar und meistens nicht zielführend. Weil die Bedeutung eines Bauwerkes auch nur von einem einzelnen Kriterium abhängig sein kann. Es müssen

stets alle Kriterien berücksichtigt werden. Außerdem können nicht alle Bewertungskriterien sinnvoll quantifiziert werden. Jedoch ist durch das entwickelte Bewertungssystem die Bewertung einer großen Anzahl von Bauwerken effizient möglich und die Ableitung von Maßnahmenvorschlägen wurde erleichtert. Dabei ist jedoch stets der subjektive Einfluss zu berücksichtigen.

8 Literaturverzeichnis

Literaturquellen

- ASTRA (1998): Richtlinie Erhaltungswürdigkeit von Kunstbauten, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation; Bundesamt für Straßen Bern.
- DREXEL, A. et al. (2010): Inventar historischer Mauern der Gemeinde Innerbraz, Amt der Vorarlberger Landesregierung, Wien.
- DREXEL, A. und LOCHER, S. (2013): Inventar historischer Mauern der Gemeinden Bludesch, Thüringen und Ludesch – Inventarblätter, Wien.
- DREXEL, A. et al. (2018a): Inventar historischer Mauern - Lawinenschutzbauten Walmendinger Horn, Wien.
- DREXEL, A. et al. (2018b): Inventar historischer Mauern - Lawinenschutzbauten Walmendinger Horn – Inventarblätter, Wien.
- DMSG - Denkmalschutzgesetz (2019): Bundesgesetz betreffend den Schutz von Denkmalen wegen ihrer geschichtlichen, künstlerischen oder sonstigen kulturellen Bedeutung.
- FALSER, M. S. (2010): Historische Lawinenschutzlandschaften: eine Aufgabe für die Kulturlandschafts- und Denkmalpflege, Kunsttexte e.V., Berlin.
- FINK, J. und KLENZE, H. (1891): Der Mittelberg, Verlag des Ortsvereins Mittelberg, Mittelberg.
- FRIEBE, G. (2013): Steine und Landschaft – zur Geologie der Jagdberggemeinden, Dornbirn.
- FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (2012a): Empfehlung für Planung, Bau und Instandhaltung von Gabionen, 1. Ausgabe, Bonn.
- FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (2012b): Empfehlungen für Planung, Bau und Instandsetzungen von Trockenmauern aus Naturstein, 1. Ausgabe, Bonn.
- GELDERMANN, J. und LERCHE, N. (2014): Leitfaden zur Anwendung von Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung, Göttingen.
- HEIM, S. und HOLZER, S. (ohne Jahreszahl): Chronik der Gemeinde Mittelberg. Mittelberg.
- JUNG, G. F. W. (2015): Gabionen, Ulmer Verlag, Stuttgart.
- MOOSBRUGGER, Anton (2017): Interview am 06.07.2017, 16:30 – 18:00 Uhr.
- MARGRETH, S. und BLUM, M. (2011): Umgang mit Lawinenverbauungen aus Steinmauern und Mauerterrassen. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.

RUDOLF-MIKLAU, F. und SAUERMOSE, S. (2011): Handbuch Technischer Lawinenschutz; Verlag Ernst und Sohn; Berlin.

SUS - Stiftung Umwelteinsatz Schweiz (2015): Trockenmauern – Grundlagen, Bauanleitung, Bedeutung. 2. Auflage, Steffisburg: Haupt Verlag.

ULRICH, G. (2012): Weinbergsmauern. Handwerk und Tradition. Ulmer Eugen Verlag, Stuttgart.

VÖLK, H. R. (2001): Geomorphologie des Kleinwalsertales. Vorarlberger Naturschau, Dornbirn.

Wein- und Obstbauschule Krems (2009): Handbuch Trockensteinmauern. 2., erweiterte Auflage, Krems.

WLW - Wildbach- und Lawinenverbauung (1959): Kollaudierungsoperat Nr. 2, für die Baujahre 1951/52 und 1954– 1958, Schreckenmähder-Lawine/Gemeinde Mittelberg; Bregenz.

WLW - Wildbach- und Lawinenverbauung (1975): Kollaudierungsoperat Nr. 3, umfasst das Baujahr 1973, Schreckenmähder-Lawine; Bregenz.

ZAMG - Zentral Anstalt für Meteorologie und Geodynamik (2009 – 2016): Klima Jahrbuch Mittelberg; Wien.

Internetquellen

Verein Weltebengemeinden Wachau: online Zugriff am 04.12.2019, 09:00

<https://www.weltkulturerbe-wachau.at/weltkulturerbe-wachau/die-wachau/>.

Gemeinde Mittelberg: Tourismuseite, online Zugriff am 04.12.2019, 16:05

<https://www.kleinwalsertal.com/de/Region/Orte>.

Land Vorarlberg: Natursteinmauern in Vorarlberg, online Zugriff am 12.12.2019, 12:30

<http://docplayer.org/20058514-Natursteinmauern-in-vorarlberg.html>.

Tiefbauamt Zürich – Kunstbauten, online Zugriff am 12.12.2019, 13:30

https://tba.zh.ch/internet/audirektion/tba/de/planung_bau/kunstbauten.html.

9 Abbildungsverzeichnis

Bei der Abbildung auf dem Deckblatt sowie den Abbildungen ohne Quellenangaben handelt es sich um eigene Abbildungen des Autors.

Abbildung 1: Einteilung von Trockenmauern nach Funktion, Quelle: THUMA N., Vergleich der historischen Trockenmauern hinsichtlich ihrer Bautechniken, Funktionen und Nutzungen; Masterarbeit, Wien 2017, S.18.

Abbildung 2: Verhältnis von Mauerhöhe zu Fundamentbreite und Anzug der Mauer, Quelle: SUS – Stiftung Umwelt-Einsatz Schweiz, online Zugriff am 19.12.2019, 15:00
<http://data.umwelteinsatz.ch/T/Dimensionierung-Statik-Teil1.html>.

Abbildung 3: Bruchsteinzyklopenmauerwerk, Quelle: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL), Empfehlungen für Planung, Bau und Instandsetzungen von Trockenmauern aus Naturstein, 1. Ausgabe, Bonn 2012, S. 41.

Abbildung 4: Schichtenmauerwerk, Quelle: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL), Empfehlungen für Planung, Bau und Instandsetzungen von Trockenmauern aus Naturstein, 1. Ausgabe, Bonn 2012 S. 43.

Abbildung 5: Werktypen von Trockenmauern im Lawinenverbau, Quelle: MARGRETH, S; BLUM, M., Umgang mit Lawinenverbauungen aus Steinmauern und Mauerterrassen. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern 2011, S. 9.

Abbildung 6: Mauerterrasse ergänzt mit Stützwerten am Heuberg.

Abbildung 7: Seitenansicht einer Gabione am Heuberg.

Abbildung 8: Erdterrasse mit Druckhügel am Heuberg.

Abbildung 9: Lage des Kleinwalsertals, Quelle: Google Maps, online Zugriff am 20.12.2019, 10:30.
<https://www.google.com/maps/place/Mittelberg,+Kleinwalsertal,+6993,+Österreich/@47.2699338,9.8433534,8.57z/data=!4m5!3m4!1s0x479ca02e6bf1fd73:0xa75a181a99dc93a8!8m2!3d47.3049426!4d10.1368009?hl=de-DE>

Abbildung 10: Lage des Projektgebiets, Quelle: Land Vorarlberg, online Zugriff am 05.10.2017, eigene Bearbeitung.
http://vogis.cnv.at/atlas/init.aspx?karte=adressen_u_ortsplan

Abbildung 11: Übereinanderliegende Gesteinsschichten am Heuberg.

Abbildung 12: Dünnplattiger Kalk und Kalksandstein am Heuberg.

Abbildung 13: Sanierung einer Trockenmauer in Kombination mit Gabionen am Heuberg, Quelle: Wildbach- und Lawinenverbauung WLV 1954.

Abbildung 14: Bauabschnitte Lawinenverbauung am Heuberg, Quelle: DREXEL et al. Inventar historischer Mauern - Lawinenschutzbauten Walmendinger Horn, Wien, 2018, S. 55.

Abbildung 15: Übersicht Lawinenschutzverbauung unterhalb der Walmendingerhornbahn.

Abbildung 16: Gleitschneeböcke am Heuberg.

Abbildung 17: Bremskegel am Heuberg.

Abbildung 18: Eingewachsene Lawinenschutzbauten.

Abbildung 19: Trockenmauerterrasse Bauwerkstyp M1.

Abbildung 20: Schnitt durch den Bauwerkstyp M1.

- Abbildung 21: Trockenmauerterrasse Bauwerkstyp M2.
- Abbildung 22: Schnitt durch den Bauwerkstyp M2.
- Abbildung 23: Gabione Bauwerkstyp M2.
- Abbildung 24: Trocken gemauerter Wasserauslass.
- Abbildung 25: Schnitt durch den Bauwerkstyp M2 inkl. trocken gemauerten Wasserauslass.
- Abbildung 26: Schnitt vom Referenzobjekt 59M017 aus dem Jahr 1955, Quelle: Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV), Kollaudierungsoperat Nr. 2, 1955.
- Abbildung 27: Draufsicht vom Referenzobjekt 59M017 aus dem Jahr 1955, Quelle: Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV), Kollaudierungsoperat Nr. 2, 1955.
- Abbildung 28: Durchlüftungsdohle am Heuberg, Quelle: Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) Bregenz 1953.
- Abbildung 29: Bauwerkstyp G2.
- Abbildung 30: Schnitt durch den Bauwerkstyp G2.
- Abbildung 31: Bauwerkstyp E1.
- Abbildung 32: Schnitt durch den Bauwerkstyp E1.
- Abbildung 33: Bauwerkstyp E2.
- Abbildung 34: Schnitt durch den Bauwerkstyp E2.
- Abbildung 35: Bauwerkstyp E3.
- Abbildung 36: Schnitt durch den Bauwerkstyp E3.
- Abbildung 37: Bauwerkstyp E4.
- Abbildung 38: Schnitt durch den Bauwerkstyp E4.
- Abbildung 39: Häufigkeit der Bauwerkstypen im Projektgebiet.
- Abbildung 40: Verlauf des Mauerverfalls, Quelle: Stiftung Umwelteinsatz Schweiz, Trockenmauern – Grundlagen, Bauanleitung, Bedeutung. 2. Auflage, Haupt Verlag, Steffisburg 2015, S. 319.
- Abbildung 41: Versagensmechanismen der äußeren Standsicherheit, Quelle: JUNG, G. F. W., Gabionen, Ulmer Verlag, Stuttgart 2015, S. 60.
- Abbildung 42: Verwitterte Mauersteine.
- Abbildung 43: Eingestürzter Mauerabschnitt.
- Abbildung 44: Fichten auf Mauerkrone.
- Abbildung 45: Verformung einer Gabione durch Steinschlag.
- Abbildung 46: Abgerutschtes Trockenmauerwerk.
- Abbildung 47: Abgesackte Hinterfüllung einer Gabione.
- Abbildung 48: Fehlerhafter Mauerverband.
- Abbildung 49: Beschädigtes Mauerfundament.
- Abbildung 50: Bindemittel im Mauerwerk.
- Abbildung 51: Beschleunigter Verfall durch Gewicht der Gabione.
- Abbildung 52: Ausgebauchte Gabionenkörbe.

Abbildung 53: Korrodiertes Drahtgeflecht.

Abbildung 54: Abgerutschte Steinschichtung.

Abbildung 55: Erosion an abgegrabenen Hängen.

Abbildung 56: Häufigkeit der Schadensursachen an Mauern und Gabionen.

Abbildung 57: Häufigkeit der Schadensursachen an Mauern.

Abbildung 58: Häufigkeit der Schadensursachen an Gabionen.

Abbildung 59: Kartenausschnitt „Bes. Schadensursachen der historischen Lawinenschutzbauwerke“,
Quelle: DREXEL et al., Inventar historischer Mauern - Lawinenschutzbauten Walmendinger Horn,
Wien 2018, S. 86.

Abbildung 60: Prozentuale Verteilung der Zustandsstufen je Bautyp.

Abbildung 61: Prozentuale Verteilung der Zustandsstufen je Bau- bzw. Sanierungsetappe.

Abbildung 62: Bewertungsschema.

10 Tabellenverzeichnis

Bei den Tabellen ohne Quellenangaben handelt es sich um eigene Darstellungen des Autors.

Tabelle 1: Anzahl der Objekte je Zustandsstufe je Bautyp.

Tabelle 2: Durchschnittliche Zustandsstufe je Bautyp.

Tabelle 3: Einteilung der Bauwerke je Bau- bzw. Sanierungszeit und Zustand.

Tabelle 4: Durchschnittlicher Zustand der Objekte nach Bau- bzw. Sanierungsetappen.

Tabelle 5: Gewichtung der Kriterien nach SMART-Methode.

Tabelle 6: Gewichtung der Kriterien.

Tabelle 7: Ausschnitt Bewertungstabelle Teil 1, Quelle: DREXEL et al., Inventar historischer Mauern - Lawinenschutzbauten Walmendinger Horn, Wien 2018, S. 109, eigene Bearbeitung.

Tabelle 8: Ausschnitt Bewertungstabelle Teil 2, Quelle: DREXEL et al., Inventar historischer Mauern - Lawinenschutzbauten Walmendinger Horn, Wien 2018, S. 109, eigene Bearbeitung.

Tabelle 9: Bewertungstabelle Gabionen, Quelle: DREXEL et al., Inventar historischer Mauern - Lawinenschutzbauten Walmendinger Horn, Wien 2018, S. 92, eigene Bearbeitung.

11 Anhang

Folgende Inhalte sind im Anhang zu finden:

- Bewertungstabellen mit Maßnahmenvorschlägen für die 14 bedeutendsten Trockenmauerterrassen im Projektgebiet (Quelle: Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau der Universität für Bodenkultur 2018).
- Übersichtskarten: Besondere Schadensursachen der historischen Lawinenschutzbauwerke (Quelle: DREXEL, A. et al. Inventar historischer Mauern - Lawinenschutzbauten Walmendinger Horn, Wien 2018, S. 85 f.).
 - Karte 1: Teilgebiet Stutzalpe
 - Karte 2: Teilgebiet Schreckenmähder / Sigunt
- Erläuterung der Abkürzungen für die Maßnahmenvorschläge (Quelle: DREXEL, A. et al. Inventar historischer Mauern - Lawinenschutzbauten Walmendinger Horn, Wien 2018, S. 110 f.).

11.1 Bewertungstabellen mit Maßnahmenvorschlägen für die 14 bedeutendsten Trockenmauerterrassen im Projektgebiet

Gewichtung [%]	Aufnahmenummer	59M027	59M031	59M075	59M035	59M036	59M050	59M065
28	Alter & Seltenheitswert / aussergewöhnliches Bauwerk	1	2	1	2	3	3	2
24	Soziokulturelle Bedeutung	1	1	1	1	1	1	1
24	Prägend für Landschafts- und Ortsbild	1	1	3	1	1	1	1
24	Fachgerechtigkeit / Bautechnik	2	3	2	2	2	2	2
100	Bauwerksbedeutung	1,24	1,76	1,72	1,52	1,8	1,8	1,52
	Zustand	3	4	3	3	3	4	2
	Wirksamkeit des Bauwerks	2	2	2	2	2	2	1
	Gefahr durch das Bauwerk	Gefahr für Bauwerke unterhalb und Waldaufkommen	Gefahr für Bauwerke unterhalb und Waldaufkommen	Gefahr für Steig auf Mauerterrasse und Stahlschneebrücken sowie Forstweg unterhalb	Gefahr für Stahlschneebrücken und Bauwerke unterhalb sowie Waldaufkommen	Gefahr für Bauwerke unterhalb und Waldaufkommen	Gefahr für Stahlschneebrücken unterhalb und Waldaufkommen	Gefahr für Bauwerke unterhalb und Waldaufkommen
	Erreichbarkeit	Lage im Teilgebiet Schreckenmähder/Sigunt; unmittelbar unterhalb des Bergkammes, eines der steilsten Stücke des gesamten Hanges (45 - 55°); nahe der Liftstütze; erreichbar über Wanderweg und Steig von der Bergstation Walmendinger Horn; aufgrund Gefälle schwer zugänglich; Zustieg 605 m über Weg und 55 m im Gelände.	Lage im Teilgebiet Schreckenmähder/Sigunt; unter dem Bergkamm, eines der steilsten Stücke des gesamten Hanges (45 - 60°); nahe der Liftstütze; erreichbar über Wanderweg und Steig von der Bergstation Walmendinger Horn; aufgrund Gefälle schwer zugänglich; Zustieg 605 m über Weg und 40 m im Gelände.	Lage im Gebiet Zaferna; Gefälle 45 - 70°; erreichbar über Forstweg und Steig ab der Baracke der WLV; gut zugänglich; Zustieg 90 m über Weg.	Lage im Teilgebiet Schreckenmähder/Sigunt; im oberen, östlichen Teil des Hanges, zwischen Stahlschneebrücken; Gefälle 45 - 50°; erreichbar über Forstweg und Steig; gut zugänglich, jedoch weiter Anstieg; Zustieg 395 m über Weg.	Lage im Teilgebiet Schreckenmähder/Sigunt; im oberen, westlichen Teil des Hanges; Gefälle 45 - 60°; erreichbar über Wanderweg und Steig von der Bergstation Walmendinger Horn; gut zugänglich; Zustieg 605 m über Weg und 40 m im Gelände.	Lage im Teilgebiet Schreckenmähder/Sigunt; im oberen, östlichen Teil des Hanges, zwischen Stahlschneebrücken; Gefälle 40 - >50°; erreichbar über Forstweg und Steig; gut zugänglich, jedoch weiter Anstieg; Zustieg 320 m über Weg und 35 m im Gelände.	Lage im Teilgebiet Schreckenmähder/Sigunt; im mittleren Teil des Hanges, zwischen Stahlschneebrücken; Gefälle 45 - 50°; erreichbar über Forstweg und Steig; gut zugänglich; Zustieg 200 m über Weg.
	Maßnahmen	W + Zusatz / S (G) / V	W + Zusatz / S (G) / V	W / S (G) / V	S / V / P	S (G) / V / P	W / S (G) / V / P	S (G) / V / P
	Dringlichkeit kurzfristig: sofort 1 Jahr mittelfristig: 2 - 5 Jahre langfristig	kurzfristig	kurzfristig	kurzfristig	kurzfristig	kurzfristig	kurzfristig	kurzfristig
	Umfang	umfangreich	umfangreich	umfangreich	gering	gering	umfangreich	sehr gering
	Umfang in m ²	mind. 26 m ² + punktuell	etwa 32 m ² + punktuell	etwa 20 m ² + Gehölze + punktuell	etwa 5 m ² + punktuell	etwa 4 m ² + Gehölze + punktuell	mind. 20 m ² + punktuell	Gehölze + punktuell

Gewichtung [%]	Aufnahmenummer	59M047	59M026	59M062	59M001	59M040	59M022	59M019
28	Alter & Seltenheitswert / aussergewöhnliches Bauwerk	2	2	2	2	3	2	2
24	Soziokulturelle Bedeutung	1	1	1	1	1	1	1
24	Prägend für Landschafts- und Ortsbild	1	2	2	2	1	2	2
24	Fachgerechtigkeit / Bautechnik	2	3	2	3	2	3	3
100	Bauwerksbedeutung	1,52	2	1,76	2	1,8	2	2
	Zustand	3	4	2	4	2	3	3
	Wirksamkeit des Bauwerks	2	2	1	2	1	2	2
	Gefahr durch das Bauwerk	Gefahr für Stahlschneebrücken unterhalb und Waldaufkommen	Gefahr für Weide unterhalb	Gefahr für Bauwerke unterhalb und Waldaufkommen	Gefahr für Bauwerke unterhalb und Waldaufkommen	Gefahr für Stahlschneebrücken und Bauwerke unterhalb sowie Waldaufkommen	Gefahr für Bauwerke unterhalb und Waldaufkommen	Gefahr für Bauwerke unterhalb und Waldaufkommen
	Erreichbarkeit	Lage im Teilgebiet Schreckenmähder/Sigunt; im oberen, östlichen Teil des Hanges, zwischen Stahlschneebrücken; Gefälle 40 - 45°; erreichbar über Forstweg und Steig; gut zugänglich, jedoch weiter Anstieg; Zustieg 330 m über Weg.	Lage im Teilgebiet Schreckenmähder, im untersten Bereich des Hanges, unmittelbar an Grenze zu Viehweide; Gefälle 5 - 45°; erreichbar über Viehweide von unten; gut zugänglich, jedoch weiter Aufstieg; Zustieg 475 m über Weide.	Lage im Teilgebiet Schreckenmähder/Sigunt; im mittleren Teil des Hanges; Gefälle 45 - 50°; erreichbar über Forstweg und Steig; gut zugänglich; Zustieg 200 m über Weg und 20 m im Gelände.	Lage im Teilgebiet Schreckenmähder, im obersten Bereich des Hanges; Gefälle 45°; erreichbar über Wanderweg und Steig vom Walmendinger Horn; gut zugänglich, nur letztes Stück steil; Zustieg 570 m über Weg und 10 m im Gelände.	Lage im Teilgebiet Schreckenmähder/Sigunt; im oberen, östlichen Teil des Hanges, zwischen Stahlschneebrücken; Gefälle 40 - 45°; erreichbar über Forstweg und Steig; gut zugänglich, jedoch weiter Anstieg; Zustieg 395 m über Weg und 30 m im Gelände.	Lage im Teilgebiet Schreckenmähder, im unteren, östlichen Bereich des Hanges; Gefälle 35 - 45°; erreichbar über Viehweide von unten; relativ gut zugänglich, jedoch teilweise stark eingewachsen und weiter Aufstieg; Zustieg 630 m über Weide und 30 m im Gelände.	Lage im Teilgebiet Schreckenmähder; im unteren, östlichen Teil des Hanges; Gefälle 40°; erreichbar über Weide von unten oder Wanderweg und Steig vom Walmendinger Horn; schwer zugänglich; Zustieg 475 m über Weide und 135 m im Gelände (von unten) oder 570 m über Weg und 180 m im Gelände (von oben).
	Maßnahmen	S (G) / V / P	W + Zusatz / S (G) / V - Teilstücke	S (G) / V	W + Zusatz / S (G) / V	V / P	W + Zusatz / S (G) / V / P	W + Zusatz / S (G) / V / P
	Dringlichkeit kurzfristig: sofort 1 Jahr mittelfristig: 2 - 5 Jahre langfristig	mittelfristig	kurzfristig	mittelfristig	mittelfristig	mittelfristig	mittelfristig	mittelfristig
	Umfang	gering	umfangreich	gering	sehr umfangreich	sehr gering	sehr umfangreich	sehr umfangreich
	Umfang in m ²	etwa 4 m ² + Gehölze + punktuell	mind. 10 m ² + Gehölze + punktuell	Gehölze + punktuell	etwa 40 m ² + Gehölze + punktuell	punktuell	mind. 36 m ² + Gehölze + punktuell	mind. 36 m ² + Gehölze + punktuell

11.2 Übersichtskarten: Besondere Schadensursachen der historischen Lawenschutzbauwerke

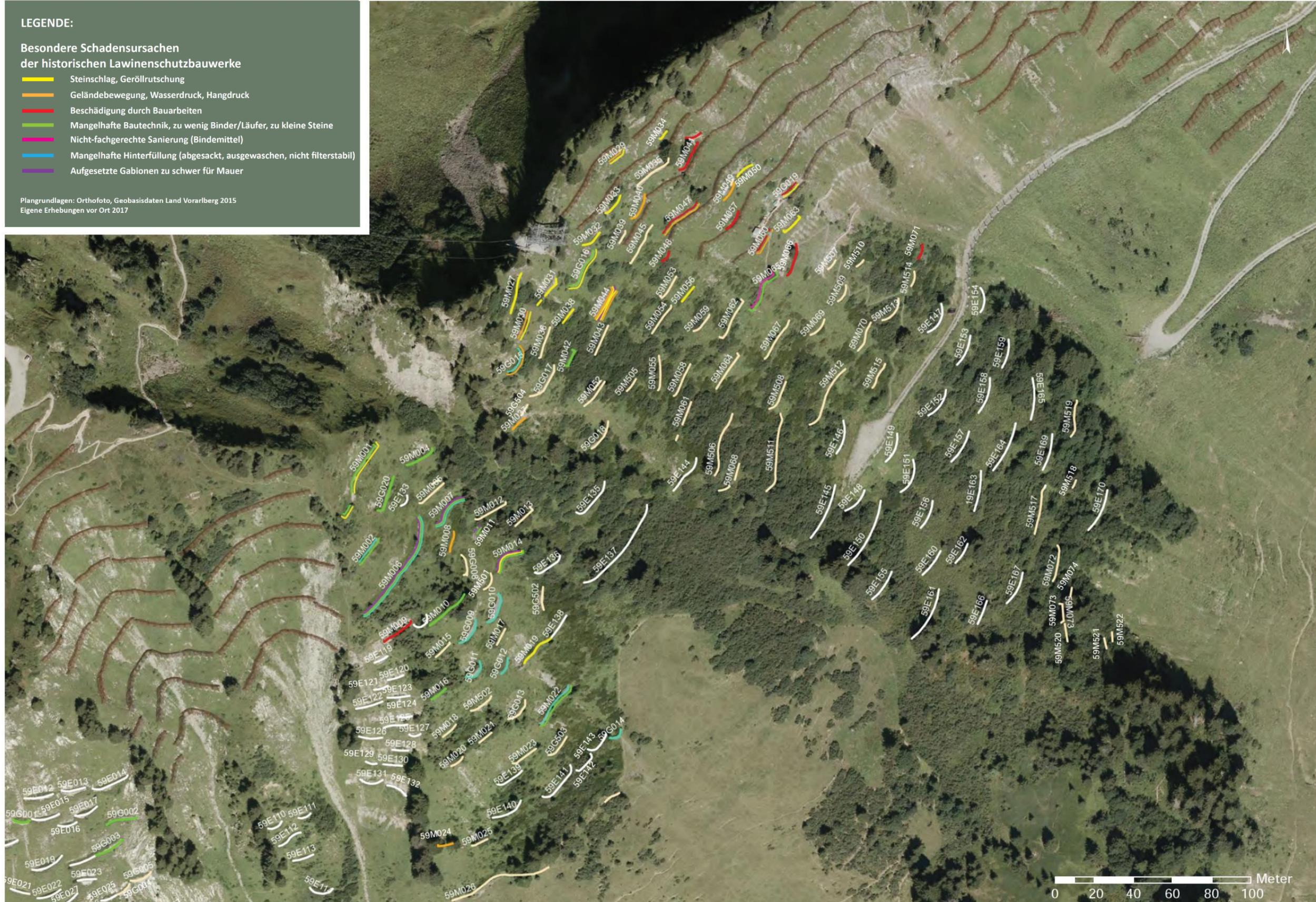


LEGENDE:

Besondere Schadensursachen
der historischen Lawinenschutzbauwerke

- Steinschlag, Geröllrutschung
- Geländebewegung, Wasserdruck, Hangdruck
- Beschädigung durch Bauarbeiten
- Mangelhafte Bautechnik, zu wenig Binder/Läufer, zu kleine Steine
- Nicht-fachgerechte Sanierung (Bindemittel)
- Mangelhafte Hinterfüllung (abgesackt, ausgewaschen, nicht filterstabil)
- Aufgesetzte Gabionen zu schwer für Mauer

Plangrundlagen: Orthofoto, Geobasisdaten Land Vorarlberg 2015
Eigene Erhebungen vor Ort 2017



11.3 Erläuterung der Abkürzungen für die Maßnahmenvorschläge

Maßnahmenübersicht		Erläuterung und Vorgehen	
Abk.	Maßnahme	W	Wiederaufbau
W	Wiederaufbau Fehlende Mauerteile fachgerecht und mit Orientierung am Bestand wiederaufbauen. (ggf. Zusatzinformation: Vorhandene Gabionen abbauen und durch Trockenmauern ersetzen.)		Fehlende Mauerteile fachgerecht und mit Orientierung am Bestand wiederaufbauen. (ggf. Zusatzinformation: Vorhandene Gabionen abbauen und durch Trockenmauern ersetzen.)
S	Sanierung Schadhafte Stellen wie Ausbauchungen, Ausbrüche, Mauerkronenausbrüche oder nicht fachgerecht sanierte Mauerteile etc. abtragen; ggf. Schadensursachen feststellen und beheben; Mauerteile mit Orientierung am Bestand fachgerecht wieder aufbauen.		Fehlende Teile in Mauerverläufen sollen nach den Bauregeln des Natursteinmauerbaus wieder errichtet und gut mit dem bestehenden Mauerwerk verzahnt werden. In Größe, Dimensionierung, Materialverwendung und Bauweise soll man sich nach Möglichkeit am historischen Bestand orientieren. Im Sinne fachgerechter und zweckerfüllender Errichtung, kann die Bauweise vom Altbestand abweichen. Gabionenkörbe, welche an Mauerterrassen ergänzt wurden, sollen im Sinne der Orientierung an historischen Bauweisen abgebaut und mittels Trockenmauern ersetzt werden.
S(G)	Sanierung mit Entfernung von Gehölzen Abtragen eines Mauerteils zur schadlosen Entfernung von Gehölzen und deren Wurzeln; fachgerechter Wiederaufbau mit Orientierung am Bestand.	S	Sanierung Schadhafte Stellen wie Ausbauchungen, Ausbrüche, Mauerkronenausbrüche oder nicht fachgerecht sanierte Mauerteile etc. abtragen; ggf. Schadensursachen feststellen und beheben; Mauerteile mit Orientierung am Bestand fachgerecht wieder aufbauen..
V	Verband sichern Verbandswirkung wieder herstellen und sichern durch Nachschlagen und Verkeilen lockerer Steine und Ersetzen fehlender Steine in der Ansichtsfläche, im Mauerfuß und der Mauerkrone; ggf. fachgerechte Sanierung des Verputzes.		Ausbauchungen und besonders Mauerausbrüche sind so rasch wie möglich zu sanieren. Sie stellen Schwachstellen dar die den umliegenden Mauerverband und die Stabilität der Mauer gefährden. Bei leichten Ausbauchungen genügt oft ein Nachschlagen lockerer Steine und Ersetzen fehlender Keilsteine. Im Fall von größeren Ausbauchungen und Mauerausbrüchen ist es notwendig den betroffenen Mauerteil abzutragen und neu zu errichten. Es ist wichtig nicht nur die unmittelbar betroffenen, schadhafte Stellen abzubauen sondern auch den Mauerverband im direkten Umkreis der Schadhafte Stellen, um später eine optimale Verzahnung des sanierten Mauerteils mit dem bestehenden Mauerverband zu ermöglichen. Ohne kraftschlüssige Anbindung des neuen Mauerstückes an die alte Mauer, wird eine Schwachstelle erzeugt an der das Bauwerk am Leichtesten nachgibt. Die Mauersteine werden nach dem Abbau nach
G	Gehölze entfernen Entfernen von bestehenden und aufkommenden Gehölzen und deren Wurzeln; Mähen des Mauersaumes.		Brauchbarkeit sortiert und zum Wiederaufbau gegebenenfalls mit neuem Material ergänzt. Bevor der Mauerteil wieder errichtet wird, sollten möglichst alle Schadensursachen wie etwa schlechte Wasserableitung oder Wurzeldruck hinter der Mauer behoben werden. Bei der Wiedererrichtung sind einerseits die Bauweise und das Baumaterial des anschließenden Mauerverbandes und andererseits die Bauregeln zur Errichtung eines fachgerechten, funktionsfähigen und langlebigen Natursteinmauerwerks zu beachten.
P	Pflege Mauerzustand sichern; Pflege und Erhaltung weiterer Elemente des Ensembles (historische Wege, Obstgehölze, magere Wiesen, Feldgehölzstreifen, Steinriegel, Klaubsteinhaufen, Zäune, historische Gebäude wie Heubargen etc.).	S(G)	Sanierung mit Entfernung von Gehölzen Abtragen eines Mauerteils zur schadlosen Entfernung von Gehölzen und deren Wurzeln; fachgerechter Wiederaufbau mit Orientierung am Bestand.
			Gehölze direkt am Mauerfuß, in der Maueransicht, auf oder direkt hinter der Mauerkrone stellen durch ihr Wurzelwachstum einen Schadfaktor für die Mauer dar und sollten daher schon im Jungstadium entfernt werden. Bei lange unterlassener Pflege von Mauern kommt es häufig vor, dass das Mauerwerk bereits von großwüchsigen oder ausgewachsenen Bäumen bestockt wurde. Die schädigenden Holzpflanzen müssen mitsamt ihren Wurzeln entfernt werden, da diese bei bloßem Abschneiden der Gehölze weiter wachsen würden. Dazu kann es nötig sein Teile der Mauer abzutragen um sie bei der Entfernung des Wurzelstockes nicht zu beschädigen. Anschließend ist der betroffene Mauerteil nach den Regeln des Natursteinmauerbaus wieder zu errichten und gut mit dem anschließenden alten Mauerverband zu verzahnen.
		G	Gehölze entfernen Entfernen von bestehenden und aufkommenden Gehölzen und deren Wurzeln; Mähen des Mauersaumes.
		P	Pflege Mauerzustand sichern; Pflege und Erhaltung weiterer Elemente des Ensembles (historische Wege, Obstgehölze, magere Wiesen, Feldgehölzstreifen, Steinriegel, Klaubsteinhaufen, Zäune, historische Gebäude wie Heubargen etc.).
		V	Verband sichern Verbandswirkung wieder herstellen und sichern durch Nachschlagen und Verkeilen lockerer Steine und Ersetzen fehlender Steine in der Ansichtsfläche, im Mauerfuß und der Mauerkrone; ggf. fachgerechte Sanierung des Verputzes.
			Lockere, noch vorhandene Keilsteine sollen mit einem Fäustel nachgeschlagen beziehungsweise durch neue Steine ersetzt werden um den Mauerverband zu sichern. Fehlende Steine in der Ansichtsfläche sind zu ersetzen, mit dem alten
			Mauerwerk zu verzahnen und mit Keilsteinen auszuzwickeln. Ebenso sollten lose, verrutschte oder fehlende Steine in der Mauerkrone ausgebessert oder ersetzt werden um Verfall von oben oder einer Destabilisierung der Mauer z.B. durch Verschlämmen vorzubeugen. Offene Mauerenden sind ebenso zu schließen beziehungsweise mit den direkt anschließenden Mauerwerken zu verzahnen. Die Stabilität des Mauerfußes ist wesentlich für die Stabilität des gesamten Mauerwerks. Es sollen nicht nur fehlende Steine ersetzt, sondern auch ein angemessener Geländeanschluss wiederhergestellt werden um den Mauerfuß zu sichern.

