

DIPLOMARBEIT

„Master Thesis“

zum Thema

Sanierung einzelner gebrochener Steinstufen

ausgeführt zum Zweck der Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Unter der Anleitung von

Univ.Prof.DI.Dr.tech. Andreas Kolbitsch

und

DI.Dr.tech. Sinan Korjenic

am

Institut für Hochbau und Technologie

Technische Universität Wien

verfasst von

Armin TAHERI

Breitenfurterstrasse 368/4/20

1230 Wien

E610/9825666

Wien, August 2008

EIDESSTATTLICH VERSICHERUNG

Ich versichere eidesstattlich durch eigenhändige Unterschrift, dass ich diese Diplomarbeit selbstständig ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen verfasst und alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen sind, als solche gekennzeichnet habe.

Armin Taheri

Wien, im August 2008

DANKSAGUNG

Ich bedanke mich bei Herrn Univ.Prof.DI.Dr.tech. Andreas Kolbitsch, Vorstand des Institutes für Hochbau und Technologie an der Technischen Universität Wien und bei meinem betreuenden Assistenten, Herrn DI.Dr.tech. Sinan Korjenic, für die Unterstützung und die fachliche Hilfestellung während der Ausführung dieser Diplomarbeit.

*für
meine Mutter Cornelia,
meine Schwester Isabella
und meine Freundin Nadja*

VORWORT

Das Stiegenhaus stellt schon seit jeher ein wesentliches Gestaltungselement im Hochbau dar. Als Herz jedes Gebäudes steht es für Erschließung, Treffpunkt und Kommunikation. Die Sanierung und Erhaltung von Hochbauten und dabei speziell von Stiegenhäusern hat generell eine sehr hohe Bedeutung, da neue Bauflächen in den Ballungszentren spärlich vorhanden sind.

Daher soll im Rahmen dieser Diplomarbeit die Thematik der Sanierung von Treppenkonstruktionen aus Naturstein behandelt werden.

Das erste Kapitel der Arbeit gibt einen Überblick über die vielfältigen Konstruktionsmöglichkeiten von Treppen in Hinblick auf die unterschiedlichen Materialien.

Die weiteren Kapitel befassen sich mit der detaillierten Darstellung der unterschiedlichen Konstruktionsprinzipien und mit der statischen Bemessung von Natursteinstiegen, welche aus historischer Sicht beleuchtet werden.

Zentrale Elemente der Arbeit stellen die Kapitel über die Untersuchung von Natursteinkonstruktionen nach dem heutigen Stand der Wissenschaft zur Aufdeckung von Schadensfällen an Naturstieptreppen sowie die daraus resultierenden Sanierungsmethoden dar.

Um die Thematik der Sanierung von Natursteinstiegen auch praktisch zu beleuchten, hat der Verfasser der Arbeit aufgrund von Recherchen, Begehungen vor Ort und Interviews mit Bauexperten und unmittelbar betroffenen Personen zwei Fallstudien über Gebäude mit Treppenkonstruktionen aus Naturstein erstellt. Diese geben Aufschluss darüber, welche Folgen eine mangelhaft durchgeführte Sanierung bzw. eine unterlassene Sanierung haben können.

Die erste Fallstudie über ein Ereignis aus jüngerer Zeit, befasst sich mit dem

Stiegenhaus aus Naturstein in dem Gebäude Hörlgasse 11 / Türkenstraße 10 im 9. Wiener Gemeindebezirk. In diesem Fall wurde gerade noch rechtzeitig, bevor sich ein Unglück ereignet, erkannt, dass eine dringende Sanierung des Stiegenhauses notwendig ist. Eine Evakuierung der betroffenen Personen und entsprechende Sanierungsmaßnahmen konnten zeitgerecht eingeleitet werden.

Die zweite Fallstudie, die ein Ereignis beleuchtet, dass schon mehrere Jahre zurückliegt und einen tragischen Verlauf nahm, behandelt Ursachen und Folgen des Treppeneinsturzes einer Natursteinstiege im Haus Elisabethstrasse 9 im 1. Wiener Gemeindebezirk. Diese Fallstudie ist gerade aus diesem Grund so interessant, weil sie zeigt, welche folgensweren Konsequenzen unsachgemäß durchgeführte Sanierungsmaßnahmen an Natursteinstiegen mit sich bringen können.

Mit einem Kapitel über die Nachbemessung von Natursteinstiegen zum Testen von Belastungsgrenzen und einer Zusammenfassung schließt die Arbeit.

ABSTRACT

The staircase at all times represents an essential element of design in structural engineering. As the heart of every building it stands for access, meeting point and communication. The restoration and maintenance of buildings and particularly of staircases is of general importance since new building areas are scarce within conurbations.

Therefore within the scope of this diploma thesis the topic of the rehabilitation of staircase designs made of natural stones is to be dealt with.

The first chapter of the work gives an overview over the manifold alternatives in design of staircases with regard to the various materials. The further chapters occupy themselves with the detailed outline of the different principles of the design of staircases made of natural stones and with the static assessment of staircases made of natural stones, which are both illustrated in a historical view. Central elements of the work represent the chapters on the examination of designs made of natural stones according to nowadays state of science in the detection of damages at staircases made of natural stones as well as the consequential methods of rehabilitation.

In order to illumine the topic of the rehabilitation of staircases made of natural stone, the author of the work has compiled two case studies about buildings with staircases made of natural stone based on investigations, site visits and interviews of experts and directly effected persons. They give information on what consequences deficiently conducted rehabilitations or neglected rehabilitations respectively can bear.

The first case study about an incident of more recent times, is dealing with the staircase made of natural stone in the building at Hörlgasse 11/Türkenstraße 10 in the 9th district of Vienna. In this case it has been recognized just in time before an

accident occurred that an urgent rehabilitation of the staircase is necessary. An evacuation of the people concerned and respective measures of rehabilitation could be commenced in due time.

The second case study that illumines an incident which dates back several years and took a tragic order of events deals with the causes and consequences of the collapse of a staircase made of natural stone in the house at Elisabethstraße 9 in Vienna's 1st district. This case study is of special interest for the reason that it shows which serious consequences improperly performed measures of rehabilitation of staircases made of natural stone can entail.

With a chapter on the re-assessment of staircases made of natural stones for testing the maximum load and a summary the work closes.

1 INHALTSVERZEICHNIS

Eidesstattlich Versicherung	I
Danksagung	II
Vorwort	1
Abstract	3
1 Inhaltsverzeichnis	5
2 Tabellenverzeichnis	8
3 Abbildungsverzeichnis	9
4 Überblick über Stiegenkonstruktionen	12
4.1 Hölzerne Treppenkonstruktionen	12
4.1.1 Allgemein: Einsatzbereich	12
4.1.2 Material	13
4.1.3 Formen	14
4.1.4 Lastableitung	17
4.2 Eiserne Treppenkonstruktionen	18
4.2.1 Allgemein: Einsatzbereich	18
4.2.2 Material	19
4.2.3 Formen	20
4.2.4 Lastableitung	22
4.3 Massive Treppenkonstruktionen	23
4.3.1 Natursteintreppen	23
4.3.2 Treppen aus Mauerwerk	26
4.3.3 Treppen aus Beton und Eisenbeton	28
4.3.4 Steineiserne Treppen	29
5 Konstruktionsprinzipien von Natursteintreppen	32
5.1 Material	32
5.1.1 Technische Eigenschaften	32
5.1.2 Bauphysikalische Eigenschaften	38
5.2 Grundrisse	41
5.2.1 Geradlinige Stiegen	41
5.2.2 Krummlinige Stiegen	45

5.2.3	Gemischtlinige Stiegen	46
5.3	Steigungsverhältnisse	47
5.4	Stufenarten	50
5.4.1	Block- oder Spiegelstufen	50
5.4.2	Keilstufen	50
5.5	Innere Treppen	52
5.5.1	Freitragende Stufen	52
5.5.2	Beide Stufenenden sind unterstützt	53
5.5.3	In der Mitte unterstützte Stufen	55
5.5.4	Wendeltreppen	55
5.5.5	Podeste	56
5.5.6	Geländer und Handlauf	56
5.6	Freitreppen	58
6	Statische Bemessung von Natursteinstiegen	60
6.1	Erste Versuchsreihe des Stiegenstufenausschusses	60
6.1.1	Belastungsproben an Stiegenarmen bestehend aus 10 Stufen werden mittels einseitiger Belastung bis zum Bruch belastet	60
6.1.2	Fallproben	62
6.1.3	Belastungsproben	64
6.1.4	Abgeleitete Berechnung	66
6.2	Zweite Versuchsreihe des Stiegenstufenausschusses	70
6.2.1	Durchführung der Versuche	70
6.2.2	Die Versuchsergebnisse und Schlussfolgerungen	71
6.2.3	Biegeversuche an Einzelstufen aus Karststein und Kaiserstein	72
6.2.4	Versuche über den Einfluss einer belasteten Stufe auf die Deformation des Stiegenarmes	72
6.2.5	Torsionsversuche	73
6.2.6	Bruchversuche an Stiegenarmen aus Rekawinkler Sandstein	74
6.2.7	Die Biegeversuche und Schlagproben an einer einzelnen Stufe aus Rekawinkler Sandstein	74
6.2.8	Biege- und Bruchversuche an einer Einzelstufe aus Rekawinkler Sandstein	75

6.2.9	Statische Verhältnisse der freitragenden Stiegenarme	76
7	Untersuchung von Treppenkonstruktionen	79
7.1	Prüfung mittels Augenschein	79
7.2	Zerstörungsfreie Überprüfung von Natursteinstufen	80
7.2.1	Ultraschallprüfung	80
7.2.2	Winkelprüfverfahren	81
7.3	Zerstörende Untersuchungen von Natursteinstufen	84
8	Sanierung und Verstärkung von Treppenkonstruktionen aus Naturstein	85
8.1	Erscheinungsformen von Schäden und deren Sanierung	85
8.1.1	Abnutzung der Trittflächen	85
8.1.2	Mechanische Beschädigung der Trittstufe	89
8.1.3	Fehlender Fugenmörtel	92
8.1.4	Sanierung der Einspannstelle	107
8.1.5	Sanierung und Verstärkung der Stiege	109
8.1.6	Risse an einzelnen bzw. mehreren Stufen	123
8.1.7	Tausch einer beschädigten Stufe	126
8.1.8	Abtrag und Neubau	139
8.2	Fallstudien	140
8.2.1	Fallstudie 1: Hörlgasse 11/Türkenstraße 10, 9. Wiener Gemeindebezirk	141
8.2.2	Fallstudie 2: Treppeneinsturz im ehemaligen Bundesministerium für Verkehr, 1010 Wien, Elisabethstrasse 9 am 29.12.1982	144
9	Nachbemessung	150
9.1	Kritische Stufenanzahl von geraden Stiegenläufen	152
9.2	Nachbemessung der Stufen	153
10	Zusammenfassung	154
	Summary	156
11	LITERATURLISTE	158

2 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Elastizitäts- und Schubmodul [8]	32
Tabelle 2: Festigkeit natürlicher Steine [8]	33
Tabelle 3: Druckfestigkeit nach Hanisch [8]	34
Tabelle 4: Zugfestigkeit nach Hauenschild [8]	34
Tabelle 5: Biegefestigkeit nach Hanisch [8]	35
Tabelle 6: Beziehungen zwischen den Festigkeiten nach Hanisch [8]	35
Tabelle 7: Dauerhaftigkeit [8]	36
Tabelle 8: Frostbeständigkeit nach Hanisch [8]	37
Tabelle 9: spezifisches Gewicht [8]	38
Tabelle 10: Porosität [8]	39
Tabelle 11: Wasseraufnahmefähigkeit [8]	39
Tabelle 12: Ausdehnung infolge Temperatúrausdehnung [8]	40
Tabelle 13: Stufenbreite in Abhängigkeit der Stufenhöhe [25]	48
Tabelle 14: Zusammenstellung nach Daub [7]	49
Tabelle 15: freie Stufenlänge nach Daub [7]	52
Tabelle 16: Stiegenarm aus Karststein [11]	61
Tabelle 17: Stiegenarm aus Stampfbeton [11]	61
Tabelle 18: Stiegenarm aus Kaiserstein [11]	61
Tabelle 19: Stiegenarm aus Rekawinkler – Stein [11]	62
Tabelle 20: Druckfestigkeiten unterschiedlicher Materialien [12]	65
Tabelle 21: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse [2]	66
Tabelle 22: Zugspannungen σ [2]	68
Tabelle 23: Maximale Freilängen [2]	69
Tabelle 24: Resultate des Biegeversuches [4]	75
Tabelle 25: Resultate des Biege- Bruchversuches [4]	75
Tabelle 26: Resultate des Belastungsversuches an der sechsten Stufe [4]	76
Tabelle 27: Resultate der Biegeelastizitätsversuche von Einzelstufen [5]	77

3 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: eingeschobene Treppen [1].....	14
Abbildung 2: eingestemmte Treppen [1]	15
Abbildung 3: aufgesattelte Treppen [1]	16
Abbildung 4: gusseiserne Treppe als Wendeltreppe [7].....	20
Abbildung 5: Stufe auf Spindel [7]	21
Abbildung 6: gemauerte Treppe auf scheitrechtem Bogen [1]	27
Abbildung 7: Treppen auf Unterwölbung [1]	27
Abbildung 8: Steineiserne Treppe [1]	29
Abbildung 9: Steineiserne Treppe: Schnitt A – A [1]	29
Abbildung 10: Steineiserne Treppe: Schnitt B – B [1]	30
Abbildung 11: einarmige Stiege mit zwei Podesten [7]	41
Abbildung 12: zweiarmige Stiege [7]	42
Abbildung 13: zweiarmige Stiege mit parallelen Läufen [7]	42
Abbildung 14: dreiarmige Stiege [7]	43
Abbildung 15: vierarmige Stiege [7]	43
Abbildung 16: Doppelstiege [7]	44
Abbildung 17: halbkreisförmige Stiege [7].....	45
Abbildung 18: ellipsoidische Stiege [7]	45
Abbildung 19: Wendeltreppe [7]	46
Abbildung 20: gemischlinige Stiege [7]	46
Abbildung 21: Blockstufe [29].....	50
Abbildung 22: Keilstufe [29]	51
Abbildung 23: Versuchsanordnung [11]	64
Abbildung 24: eingemauerte Einzelstufe mit Belastung auf die halbe Länge [2] ...	66
Abbildung 25: Querschnitt der Einzelstufe mit wirkenden Kräften [2]	67
Abbildung 26: Querschnitt der Einzelstufe mit Abmessungen [2]	67
Abbildung 27: Systemskizze des Torsionshebels [4]	74
Abbildung 28: Schwingungsmessung [19]	81
Abbildung 29: Reflexion und Brechung an der Grenzfläche [32].....	82

Abbildung 30: Totalreflexion der Longitudinalwelle [32]	82
Abbildung 31: Winkelprüfverfahren [19]	83
Abbildung 32: Schadensfall abgenutzte Trittpläche	85
Abbildung 33: Schadensfall abgenutzte Trittpläche	86
Abbildung 34: abgenutzte Trittpläche: Schadensfall und Sanierung [19], [20]	88
Abbildung 35: erfolgreiche Sanierung mittels Inkrustierung	88
Abbildung 36: Mechanische Beschädigung ca. 40cm von der Einspannstelle entfernt.....	89
Abbildung 37: mechanisch beschädigte Stiege.....	90
Abbildung 38: Anbringen von Nirostastäben	90
Abbildung 39: Anbringen der Lehre (Schablone), nach oben offen.....	91
Abbildung 40: Verfüllung mit Inkrustiermörtel.....	91
Abbildung 41: fehlender Fugenmörtel, Schadensfall und Sanierung [19], [20].....	92
Abbildung 42: Ansicht Stieglaufunterseite: Verpressparker, Verpressmörtel	93
Abbildung 43: Ansicht Stiege, Verpressparker, Entlüftungsschlauch, Verpressmörtel.....	93
Abbildung 44: Stahlinjektionsparker KOMBI [17].....	94
Abbildung 45: Stahlinjektionsparker OPK – PM [17]	95
Abbildung 46: Stahlinjektionsparker OPK – DV [17].....	95
Abbildung 47: Übersicht Doppelmantel-Stahl-Injektions-Packer (OPD) [17]	96
Abbildung 48: OPD mit Kugelschmiernippel	96
Abbildung 49: OPD mit Schraube und ohne Gegendruckventil [17].....	97
Abbildung 50: OPD – PM [17]	97
Abbildung 51: OPD-KM [17]	98
Abbildung 52: OPD-KUM [17]	98
Abbildung 53: APD [17].....	98
Abbildung 54: Übersicht Kunststoffparker [17]	99
Abbildung 55: Kunststoffparker im Detail [17]	100
Abbildung 56: Klebeparker [17]	101
Abbildung 57: IVS Pumpe mit Antrieb [17]	103
Abbildung 58: Handantrieb für IVS – Pumpe [17].....	103
Abbildung 59: IVC – Pumpe [17]	104

Abbildung 60: Handpumpe [17].....	105
Abbildung 61: Druckvorratsschlauch [17].....	105
Abbildung 62: Druckvorratsschlauch [17].....	106
Abbildung 63: Klebeparker mit Druckvorratsschlauch [17].....	106
Abbildung 64: Stahlinjektionsparker mit Druckvorratsschlauch [17].....	106
Abbildung 65: Anordnung der Bohrlöcher 1	108
Abbildung 66: Anordnung der Bohrlöcher 2	108
Abbildung 67: eingeklebtes Bewehrungselement [22].....	123
Abbildung 68: einzeln gerissene Stufe, Schadensfall und Sanierung [19]	124
Abbildung 69: Beschädigung mehrerer Stufen [19], [20]	125
Abbildung 70: Naturaufnahme Stiegenquerschnitt 1	126
Abbildung 71: Naturaufnahme Stiegenquerschnitt 2	127
Abbildung 72: Naturaufnahme Stiegenquerschnitt 3	127
Abbildung 73: Naturaufnahme Stiegenquerschnitt 4	128
Abbildung 74: Stiegenquerschnitt 5.....	128
Abbildung 75: Ergebnisse der Querschnittsberechnung	129
Abbildung 76: Statisches System inklusive Stieengeländer	130
Abbildung 77: Lastaufstellung	133
Abbildung 78: notwendige Unterstellungs- und Einschaltungsmaßnahmen für den Stiegentausch	137
Abbildung 79: Schadensfall 1090 Wien, Hörlgasse 11 [15].....	141
Abbildung 80: Schadensfall 1090 Wien, Hörlgasse 11, Stiegenhaus [16].....	142
Abbildung 81: Schadensfall 1010 Wien, Elisabethstrasse 9, Stiege 2	147
Abbildung 82: Schadensfall 1010 Wien, Elisabethstrasse 9, Ministerstiege 1	148
Abbildung 83: Schadensfall 1010 Wien, Elisabethstrasse 9, Stiege 3	149
Abbildung 84: Nachbesserung [22]	151

4 ÜBERBLICK ÜBER STIEGENKONSTRUKTIONEN

4.1 Hölzerne Treppenkonstruktionen

4.1.1 Allgemein: Einsatzbereich

Holzstiegen durften bei Industriebauten für Nebestiegen sowie in Lokaltäten - die keine Werkstätten sind, bzw. nur zeitweilig betreten werden oder wo sich nur wenige Personen aufhalten - errichtet werden. Weiteres fanden sie bei Bauten unter erleichterten Bedingungen Anwendung, d.h. wenn die Stufen unterwölbt oder an der unteren Seite verschalt und strukturiert sind. Zum anderen kam sie zum Einsatz bei ebenerdigen Gebäuden auf dem Land, und bei Gebäuden bei denen es keine Unterwölbungen und Stukkaturungen gibt. [1], [14]

Vorteile

- Holzstiegen hatten ein geringes Eigengewicht.
- Sie verursachten geringe Kosten.

Nachteile

- Ohne entsprechende Oberflächenbehandlung waren Holzstiegen nicht feuersicher.
- Sie besaßen nur eine geringe Tragfähigkeit. [7]

4.1.2 Material

Bei der Wahl des Materials war auf folgende Punkte zu achten:

Das Holz musste

- gerade gewachsen sein,
- astfrei sein,
- gut ausgetrocknet und
- gesund sein.

Zum Bau von Treppen wurden folgende Holzarten verwendet:

Wangen und Stufen:	Kiefer, Fichte
Trittstufen, Krümmlinge *:	Eiche
Gedrehte Geländerstäbe:	Birke, Buche, Eiche, Birne, Pflaume, Esche, Ahorn, Nuss, Mahagoni
Mindere Geländer:	Nadelholz

* Krümmlinge: Rundung im Geländer **[7]**

4.1.3 Formen

Holztreppen können 4 typischen Grundformen zugeordnet werden

Eingeschobene Treppen (eingeschnittene Treppen oder Leitertreppen)

Untergeordnete Treppen (Boden-, Stall- und Kleinsiedlungstreppen) hatten keine Setzstufen und konnten daher steiler als andere Treppen aufgelegt werden. Sie bestanden aus 2 Wangen mit Nuten von 20 - 30 mm Tiefe, in welchen die Trittstufen auf Grat oder schwalbenschwanzförmig eingeschoben waren. Beide Wangen wurden durch lange Treppenschrauben oder durch Stufen mit Zapfen, in die ein kleiner Keil eingetrieben war, zusammengehalten. Da eingeschobene Treppen sehr steil ausgeführt werden konnten, wurden sie im Kleinhausbau als Leitertreppe, am Zugang zum Dachboden oder zu Kellerräumen eingebaut. [1]

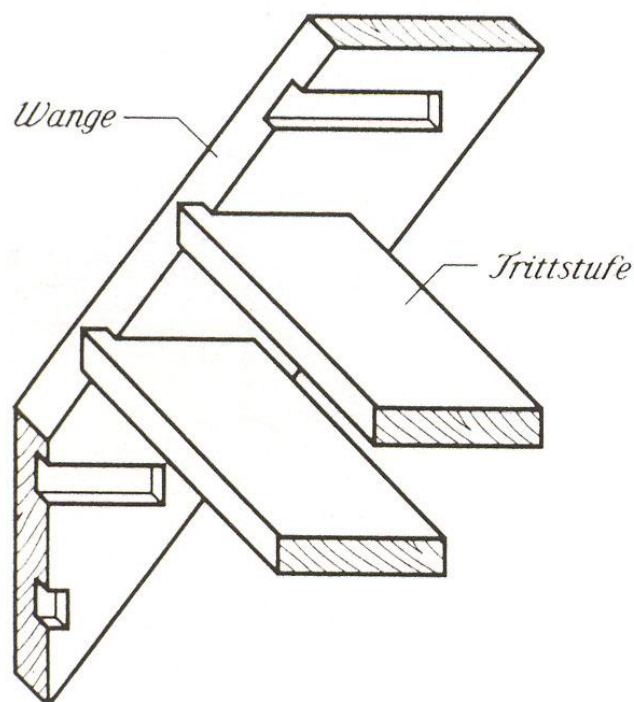


Abbildung 1: eingeschobene Treppen [1]

Eingestemmte Treppen (gestemmte Treppen)

Diese Treppenkonstruktion bestand im Regelfall aus Wandwange und Freiwange, Tritt- und Setzstufen (= Futterstufen, Futterbretter, Stoßbretter, Stoßstufen). Tritt- und Setzstufen lagen in den Wangen in 20 - 30 mm tiefen Nuten. Bei der Anschlussausbildung von Tritt- an Setzstufe kamen unterschiedliche Varianten zur Anwendung. Normalerweise lag der obere Teil der Setzstufe in einer Nut der Trittstufe. An ihrer Unterseite war die Setzstufe an die Trittstufe genagelt. Um eine Verbesserung des Feuerwiderstandes zu erreichen, wurde üblicherweise die Unterseite der Treppe geputzt. Eine weitere Ausführungsmöglichkeit von eingestemmten Treppen bestand darin, sie als Wendeltreppe auszuführen. [1]

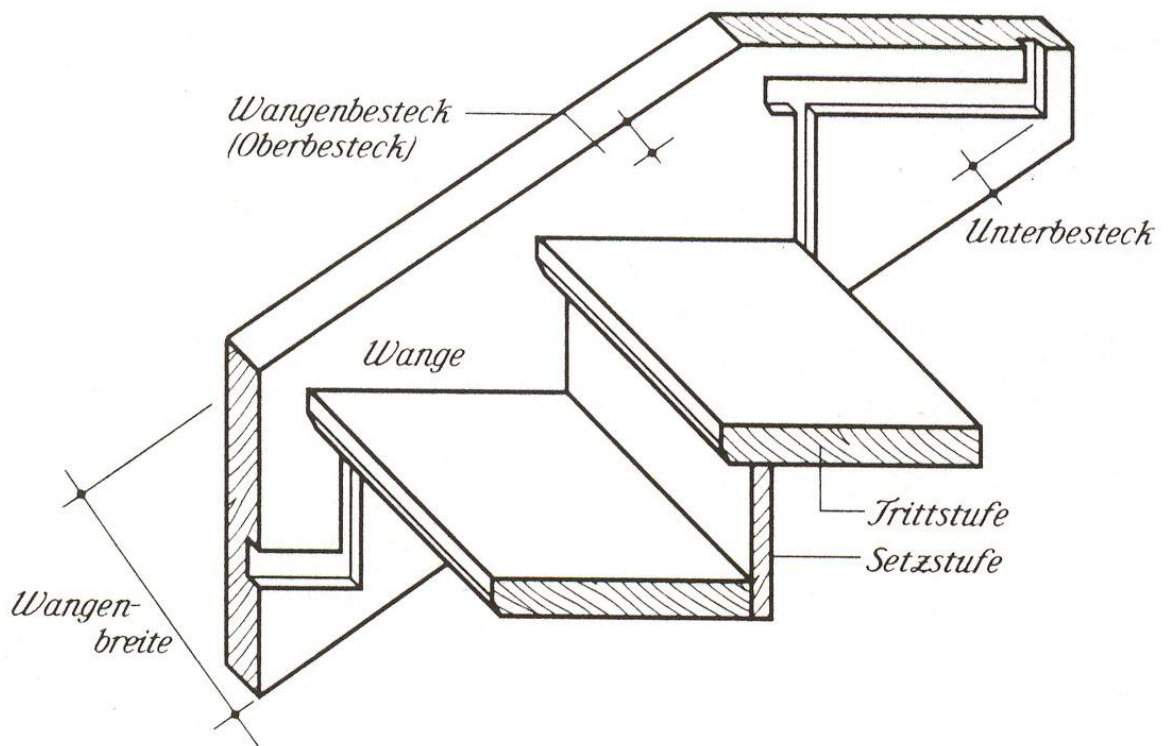


Abbildung 2: eingestemmte Treppen [1]

Aufgesattelte Treppen (= aufgesetzte Treppen)

Sie bestanden aus 2 Wangen, einer Tritt- und einer Setzstufe. Im Gegensatz zu eingestemmten Treppen waren in den Wangen die Stufen ausgeschnitten und die

Trittstufen lagen auf den Wangen. Die Trittstufen wurden mit je zwei Holzschrauben auf dem Wangenaufleger befestigt. Aufgesattelte Treppen wurden auch als Wendeltreppen ausgeführt. Die Anwendung der aufgesattelten Treppe war nach dem 19. Jahrhundert stark zurückgegangen. [1]

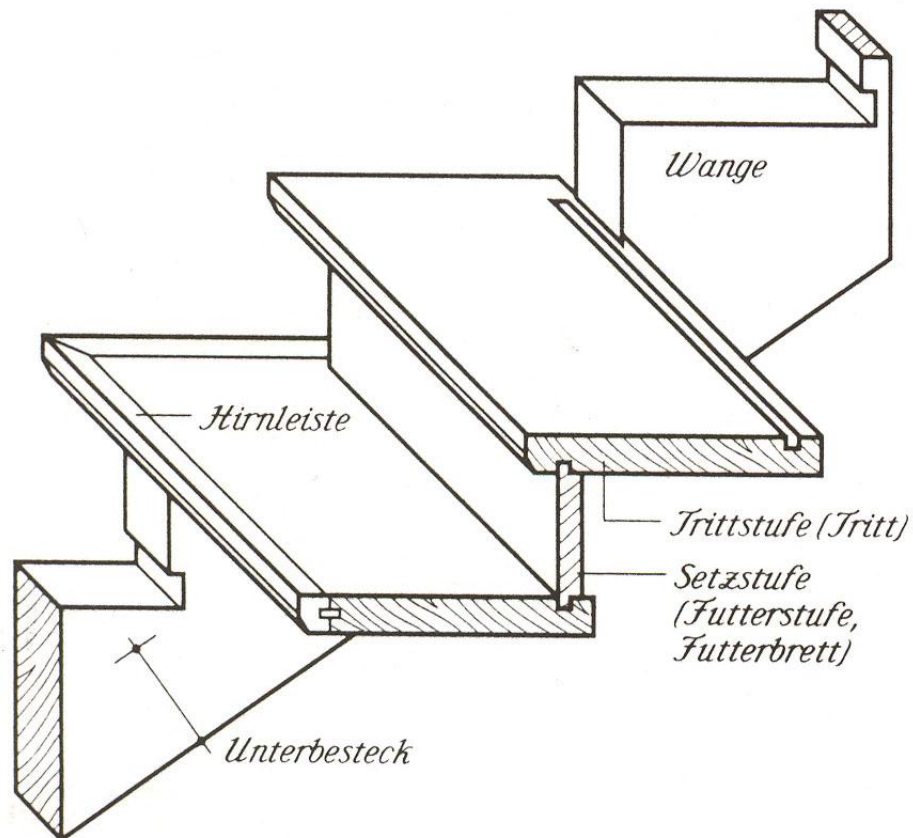


Abbildung 3: aufgesattelte Treppen [1]

Gewendelte Treppen

Sie fanden häufig Verwendung in Kleinhäusern. Die Wendelstufen wurden von einem Spindelpfosten aufgenommen. Die Freiwange stützt sich gegen den Spindelpfosten. Eine genormte Wendelstufe besaß keine ausreichende Auftrittsbreite am Spindelpfosten. Auch bei Kleinhäusern erfolgte eine allmähliche Verbreiterung der Stufen von der Schmalsten bis hin zur Normalstufe. Um dieser Anforderung zu genügen, wurde eine Verziehung der Stufen angeordnet. [1]

4.1.4 Lastableitung

Bei der Benützung der Treppen wurden die Trittstufen direkt belastet. Bei eingeschobenen Treppen erfolgte die Lastübertragung von der Trittstufe auf die Wangen. Im Gegensatz dazu wurden bei eingestemmten und aufgesattelten Treppen sowohl die Wangen als auch die mit ihnen verbundenen Setzstufen durch die Trittstufen belastet. In diesem Fall diente die Setzstufe nicht nur der Verkleidung, sondern auch der Steifigkeit der Treppe. Die Wangen nahm alle Lasten auf und leitete diese, je nach Konstruktion der Treppe, an Podestkolben, Blockstufen, Hängepfosten und Krümmlinge * weiter.

Den Abmessungen der Holztreppen lagen nur selten statische Berechnungen zu Grunde. Die Dimensionierung der einzelnen Elemente erfolgte in den meisten Fällen nach Zimmermannsregeln oder nach Erfahrungswerten. [1]

* Krümmlinge: Rundungen im Geländer

4.2 Eiserne Treppenkonstruktionen

4.2.1 Allgemein: Einsatzbereich

Eiserne Treppen wurden als Not- und Nebentreppen in Nutzbauten sowie als Verbindung zu Galerien, Laufstegen und Arbeitsbühnen verwendet. In der Gründerzeit kamen sie bei Industriebauten, Veranstaltungsräumen und Wohnbauten, im Speziellen bei Geschäftslokalen zum Einsatz. [1]

Vorteile

- große Tragfähigkeit
- große Widerstandsfähigkeit
- feuersicher, wenn das Eisen entsprechend durch Beschichtung verkleidet ist
- leichte, zierliche Konstruktion
- keine Konstruktionsschwierigkeiten und einfachere Handhabung des Materials [7]

Mängel

- weniger monumentaler als Stein [7]

4.2.2 Material

Folgende Materialien fanden bei der Ausführung von Tritt- und Setzstufen ihre Anwendung.

Bei Trittstufen

- glattes Eisenblech
- Riffelblech

Glatte Eisenbleche und Riffelbleche waren wegen des Lärms beim Begehen mit Linoleum zu beschichten.

- Holz: 4 - 6 cm starke Pfosten
- Steinplatten: Marmor, Schiefer,...

Bei Setzstufen

- volles Blech: hohes Gewicht
- durchbrochenes Blech: bedeutend leichter als volle Bleche
- Bretter: 2 - 3 cm
- kein Einbau von Setzstufen in Fabriken, Magazinen und bei Laufftreppen **[7]**

4.2.3 Formen

Gusseiserne Stiegen

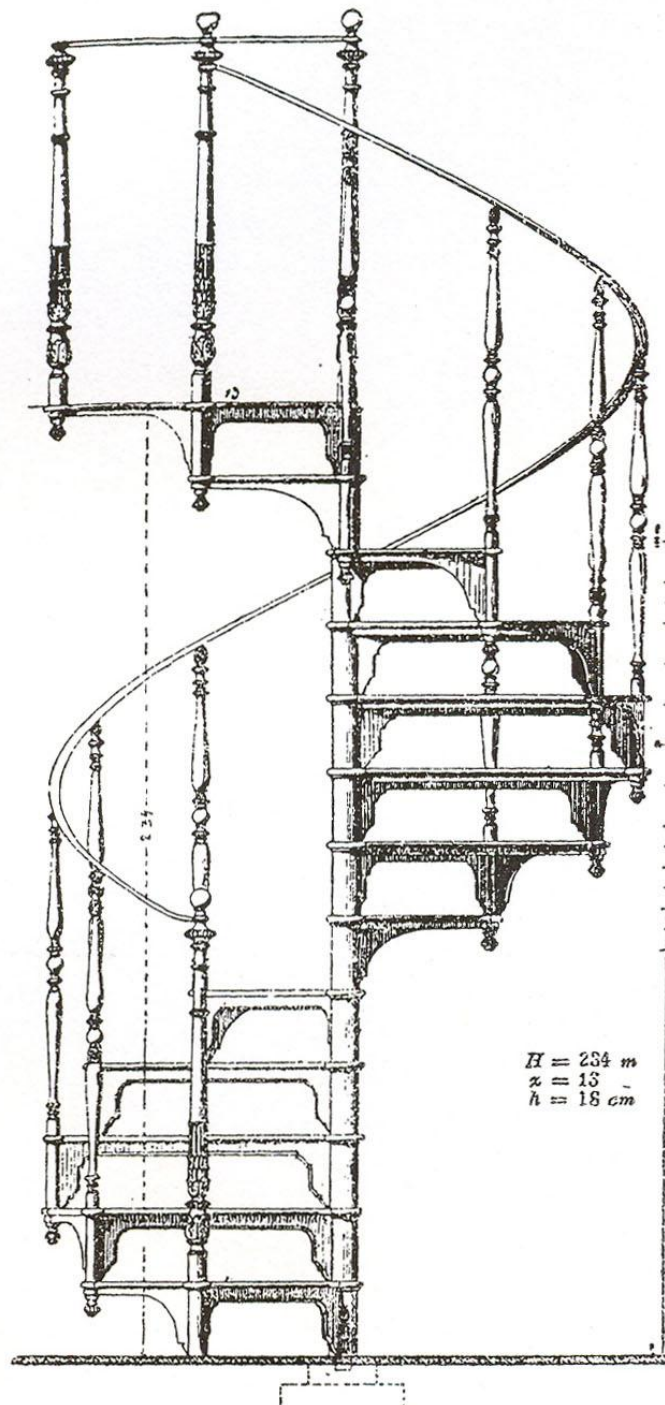


Abbildung 4: gusseiserne Treppe als Wendeltreppe [7]

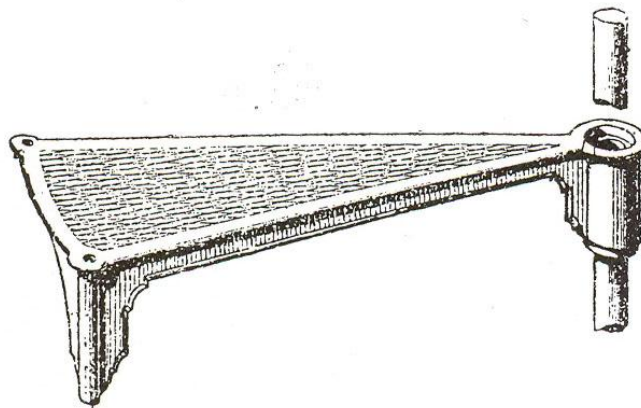


Abbildung 5: Stufe auf Spindel [7]

Gusseisen verwendete man nur für kleine Wendeltreppen.

Schmiedeeiserne Stiegen

Schmiedeeisen war zu benützen bei

- langen und breiten Armen,
- großen Belastungen,
- starken Erschütterungen.

Schmiedeeiserne Stiegen fanden ihre Anwendung in Industrie- und Gewerbeobjekten. [7]

Traversenstiegen

Hierbei handelte es sich um gemischteiserne Treppen mit Naturstein oder Kunststeinstufen.

Die Auflagerung erfolgte auf eisernen Trägern (Wangenträgern). Die Wangenträger lagen auf den Podesträgern auf. Die Podeste wurden als Massivdecken zu den eisernen Trägern ausgeführt. Zu beachten war allerdings, dass alle zum Einsatz kommenden Eisenträger mit einer entsprechenden feuerhemmenden Verkleidung beschichtet werden mussten. [7]

4.2.4 Lastableitung

Die meisten eisernen Treppen bestanden aus schräg liegenden Wangenträgern und darüber liegenden Stufen.

Die Lastableitung war auf verschiedene Weisen möglich:

- Die Stufen lagen auf Innen- und Außenwangen (I- und C-Profile) auf.
- Die Stufen lagen zwischen 2 Wangen auf.
- Die Stufen belasteten auf der einen Seite die Außenwange und auf der Innenseite waren sie 6 - 12 cm eingemauert. Dieser Bereich konnte nicht als Einspannstelle angesehen werden.
- Die Stufen lagen auf einer Betonplatte, die eine Innen- und Außenwange enthält.
- Zwischen den beiden Wangen wurde eine Wellblechtafel gelegt und mit einem Aufbeton versehen (Schalung wird dadurch eingespart). **[1]**

In der Literatur sind unter anderem zwei Bemessungsansätzen bekannt:

- Ansatz nach Albert (1908)
- Ansatz nach Saliger (1944) **[1]**

4.3 Massive Treppenkonstruktionen

4.3.1 Natursteintreppen

Allgemein: Einsatzbereich

Natursteintreppen wurden oft auf Grund ihrer kunstvollen Formen in öffentlichen Gebäuden als repräsentative Haupttreppen eingebaut. In ländlichen Gebieten kamen sie dort zum Einsatz, wo es natürliche Vorkommen von Naturstein gab. Natursteinstufen waren nicht feuerbeständig. Im Falle eines Brandes brachen Natursteinstufen sofort zusammen. Wenn die erhitzten Stufen mit Löschwasser in Berührung kamen, zerspringen diese und die Treppe stürzte zusammen. Aus diesem Grund wurden Natursteinstufen immer weniger angesetzt. [1], [14]

Material

Prinzipiell wurden an das Material folgende Anforderungen gestellt:

- Härte
- Festigkeit
- Dauerhaftigkeit
- Feuerbeständigkeit

Daher verwendete man Kalkstein, Granit und Sandstein. [7]

In Wien kamen folgende Materialien zum Einsatz:

Hauptstiegen:	Karstmarmor (Cara Romana, Nabresina, Sa. Croce, Repentabor S. Stefano), härtesten Kaiserstein
---------------	---

Kellerstiegen:	mittelharter Kaiserstein, Kunststein		
Freitreppen besserer Qualität:	oberösterreichischer,	böhmischer,	mährischer Granit
Freitreppen minderer Qualität:	Gmündner, Schremser Granit [7]		

Formen

Bei Naturstufen unterschied man folgende Auflagersituationen:

- Sie lagen voll auf,
- waren zweiseitig gelagert oder
- sie waren einseitig eingespannt.

Bei breiten Treppenläufen wurde die Biegezugfestigkeit der Natursteine bei einer zweiseitigen Lagerung überschritten. In diesem Fall wurde die Stufe über die gesamte Länge auf ein aufsteigendes Gewölbe aufgelegt.

Wesentlich häufiger kam die zweiseitige Stützung der Naturstufen zur Anwendung. Auf der einen Seite lagen die Stufen auf der Treppenhauswand und auf der anderen Seite auf

- einer vollen Zungen- oder Spillenmauer,
- einer aufgelösten Zungenmauer oder auf
- I-Profilen aus Walzstahl auf. [1], [14]

Lastableitung:

Eingespannte und zweiseitig aufliegende Stufen nahmen die Belastung auf und leiten diese zu den Auflagern.

Bemessung beidseitig unterstützter Treppen:

Diese Art der Konstruktion wurde meist nach Erfahrungswerten bemessen. Beim statischen System wurden die Stufen als Steinbalken auf 2 Stützen gesehen. Als

größte Stützweiten wurden für Kalk-, Sandstein und Granit 2 - 3 m angesetzt. Die Auflagertiefe betrug mindestens einen halben Stein. **[1]**

Bemessung freitragender Werkstiebtreppten:

Die Bemessung wird im Kapitel 5 Statische Bemessung von Natursteinstiegen näher erläutert, da es sich an dieser Stelle um einen Überblick über die unterschiedlichen Stiegenkonstruktionen handelt.**[1]**

4.3.2 Treppen aus Mauerwerk

Allgemein: Einsatzbereich, Material, Formen

Die tragenden Teile von Treppen konnten aus Ziegeln im Reichsformat oder aus anderen Formaten bestehen. Nur solche Treppen, bei denen sowohl die Stufen, als auch die tragenden Unterwölbungen aus Ziegel bestanden und bei denen nur die tragenden Unterwölbungen gemauert waren, wurden als gemauerte Treppen bezeichnet.

Vollständig gemauerte Treppen wurden im Keller und im Erdgeschoss eingebaut, da sie gegen Feuchtigkeit nahezu unempfindlich waren. Bei untergeordneten Gebäuden wurden sie auch als Geschosstreppen verwendet.

Ein besonderer Vorteil dieser Treppen lag in ihrer Feuerbeständigkeit. Aus diesem Grund wendete man sie bevorzugt bei Häusern mit erhöhten Sicherheitsauflagen (Schulen, Krankenhäuser, Verwaltungsgebäude, etc.) an. [1]

Lastableitung

Treppen auf scheitrechten Bogen:

Bei einfachen, geradläufigen, nicht zu stark belasteten Treppen konnten die Stufen als scheitrechte Bogen zwischen dem Wangenmauerwerk gespannt werden. Bei dieser Konstruktion hielt sich jede Stufe unabhängig von den anderen. Weiters musste das Widerlagermauerwerk mindestens einen Stein dick ausgebildet sein. Beim Ausweichen des Widerlagers ging die gesamte Treppe zu Bruch. [1]

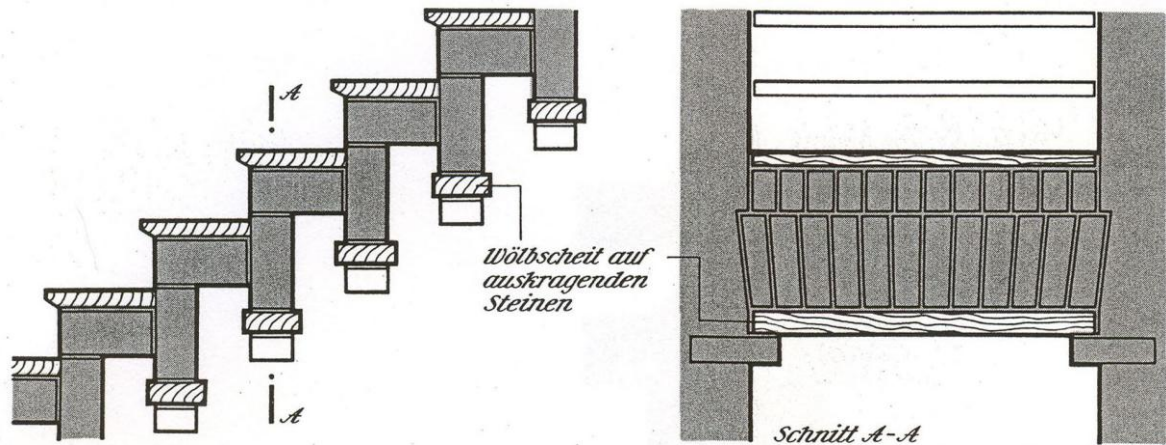


Abbildung 6: gemauerte Treppe auf scheitrechtem Bogen [1]

Treppen auf Unterwölbungen:

Sie belasteten die Wangenmauer nicht, sondern stützten sich vollständig auf die Podestträger bzw. Gurtbögen.

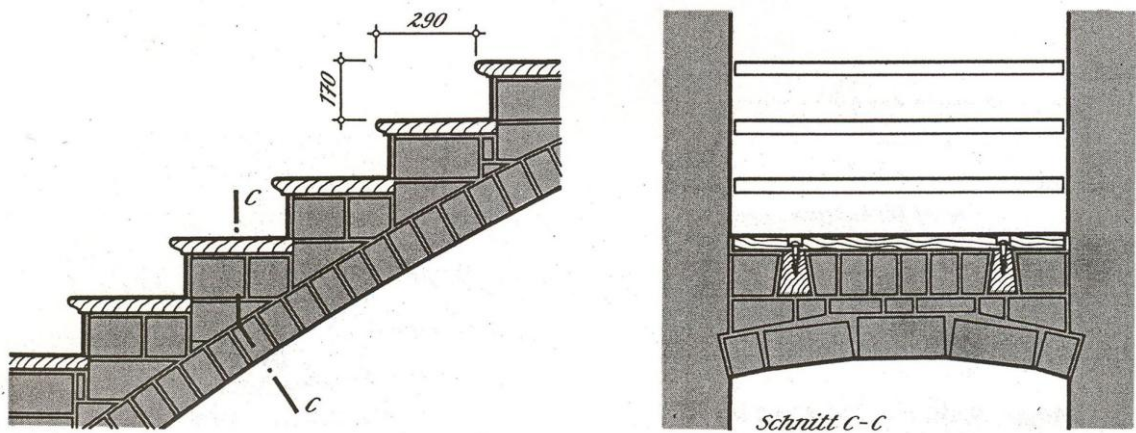


Abbildung 7: Treppen auf Unterwölbung [1]

4.3.3 Treppen aus Beton und Eisenbeton

Allgemein: Einsatzbereich, Material, Formen

Treppen aus Eisenbeton (heute Stahlbeton) hatten einen höheren Feuerwiderstand als Treppen aus Eisen oder Naturstein. Ein weiterer Vorteil bestand in der leichten Verarbeitbarkeit von Frischbeton, speziell bei Treppenhäusern mit ovalem, rundem oder vieleckigem Grundriss. **[1]**

Ab 1890 wurden Eisenbetonkonstruktionen verstärkt eingebaut.

Im Folgenden wird eine Auswahl typischer Treppen für Treppenhäuser mit rechtwinkeligem Grundriss angeführt:

- Treppen mit bewehrten Podest- und Laufplatten zwischen bewehrten Betonwangen
- Treppen mit bewehrten Laufplatten zwischen sichtbaren Podestbalken aus Eisenbeton
- Treppen mit nicht sichtbaren Podestbalken
- Treppen mit Stahlbeton-Fertigteil-Wangen
- Lamellentreppen
- Treppenfertigteile für die Kranmontage **[1]**

4.3.4 Steineiserne Treppen

Allgemein: Einsatzbereich, Material, Formen

Diese Konstruktion wurde 1892 von Kleine zuerst für "Steineisen - Decken" angewandt und dann auf den Bau von Treppen umgelegt. Die Kleine'schen Decken bestanden aus Hohlziegel oder Vollziegel, Mörtelfugen und einer Bewehrung aus Flacheisen. Steineisen-Decken waren nicht brennbar und feuerbeständig. [1]

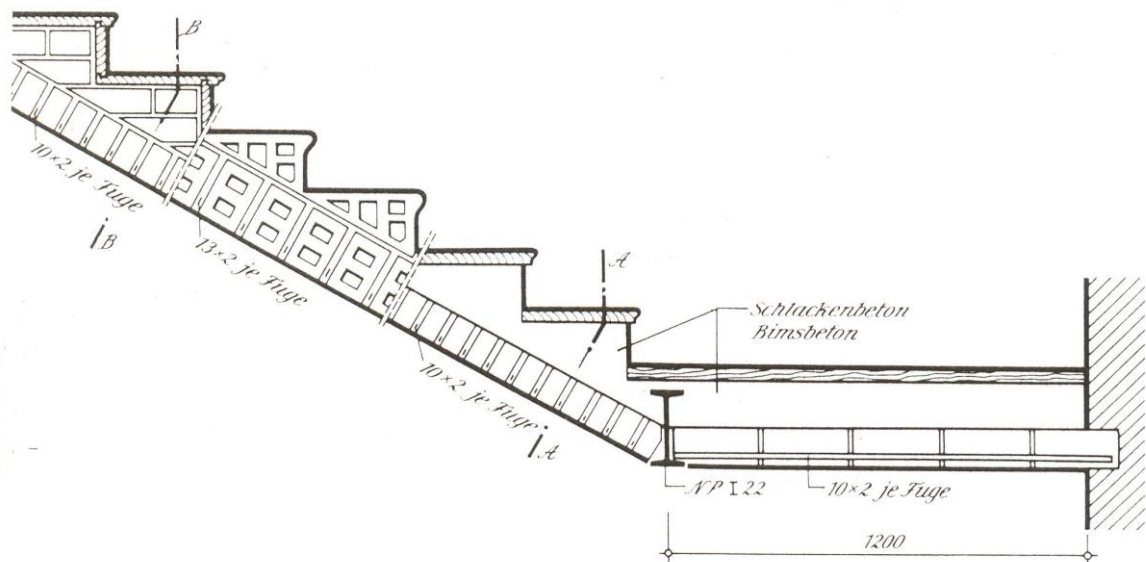


Abbildung 8: Steineiserne Treppe [1]

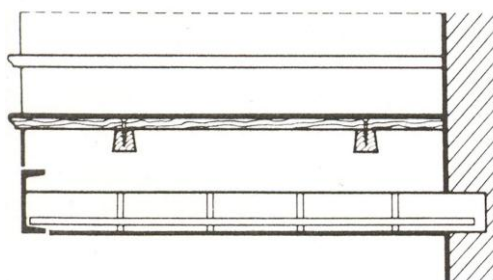


Abbildung 9: Steineiserne Treppe: Schnitt A – A [1]

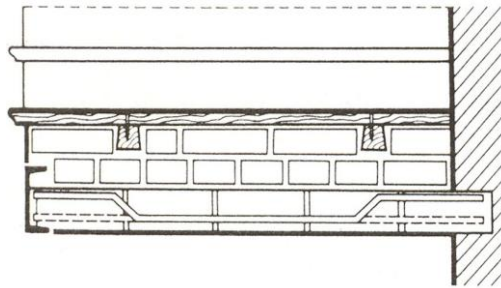


Abbildung 10: Steineiserne Treppe: Schnitt B – B [1]

Lastableitung

Die Steineisen-Decke lag auf dem Wandmauerwerk oder auf I-, bzw. C-Profilen aus Schmiedeeisen auf. Um den entsprechenden Feuerwiderstand der Profile gewährleisten zu können, waren sie mit Putz verkleidet. Die Profile waren dann nicht sichtbar.

Die Lastableitung der Laufplatte erfolgt auf 2 Möglichkeiten:

- Quer zur Laufrichtung von einer Innen- zu einer Wandwange (I- oder C-Profil) oder von einer Innenwange zum Wandmauerwerk
- parallel zur Laufrichtung von Podestträger zu Podestträger

Der Tragfähigkeitsnachweis erfolgte nach dem n-Verfahren. Die Druckspannungen wurden von der Aufmauerung nicht aufgenommen. [1]

Massive Treppenkonstruktionen konnten nicht nur auf Grund der unterschiedlichen Materialien unterteilt werden, sondern es war auch möglich eine Unterteilung nach der Tragwirkung vorzunehmen.

Bei der Unterteilung nach der Tragwirkung gab es folgende Möglichkeiten:

- wandunterstützte Treppen
- Kragstufen-Treppen

- gewölbeunterstützte Treppen
- traversenunterstützte Treppen
- Treppen mit gewölbten Wangen **[19]**

5 KONSTRUKTIONSPRINZIPIEN VON NATURSTEINTREPPEN

5.1 Material

Als Materialien für Natursteinstiegen dienten Sandstein, Basalt, Granit, Gneis, Syenit und Kalkstein. Marmor wurde oftmals als Stufenbelag verwendet. [6]

5.1.1 Technische Eigenschaften

Elastizität

Eine scharfe Elastizitätsgrenze ist nicht vorhanden.

Gestein	Elastizitätsmodul E [kg/cm ³]	Schubmodul G [kg/cm ³]
Granit	300000	-
Kalkstein	350000	-
weisser Marmor	170000	-
Karststein	119700	41160
Kaiserstein	205800	47760
Sandstein	82000-378000	-

Tabelle 1: Elastizitäts- und Schubmodul [8]

Festigkeit:

Während die Druckfestigkeit der natürlichen Steine sehr groß war, konnten im Gegensatz dazu nur geringe Beanspruchungen auf Zug, Biegung oder Abscherung aufgenommen werden. Daher mussten Steinbauten so angelegt werden, dass vorzugsweise Druckbeanspruchung vorherrscht. Biegebean-

spruchungen (Podest, Balkonplatten, Stiegenstufen, etc.) sollten eine Ausnahme darstellen. Eine Beanspruchung auf Zug oder auf Abscheren kam nur äußerst selten vor. [8]

Festigkeit natürlicher Steine

	K _d [kg/cm ²]		K _z [kg/cm ²]		K _b [kg/cm ²]		K _s [kg/cm ²]	
	Grenzen	Mittel	Grenzen	Mittel	Grenzen	Mittel	Grenzen	Mittel
Syenit	800-2000 773-2880	1300	-	50	-	-	-	94
Gneis	870-2840	1700	-	-	-	256	-	-
Basalt	1000-3700	2350	-	-	130 - 294	200	-	-
Sandstein	291-1839	990	-	-	-	-	-	-

Tabelle 2: Festigkeit natürlicher Steine [8]

K_dDruckfestigkeit an der Bruchgrenze (kg/cm²)

K_zZugfestigkeit an der Bruchgrenze (kg/cm²)

K_bBiegunsfestigkeit an der Bruchgrenze (kg/cm²)

K_sScherfestigkeit an der Bruchgrenze (kg/cm²)

γspezifisches Gewicht (kg/m³)

Druckfestigkeit

Druckfestigkeit			
Gestein	Fundort	Gamma	K _d [kg/cm ²]
Granit	Mauthausen	-	650 - 1750
Granit	Schwarzwald	-	1400
Granit	Schweden	-	1500 - 2000
Syenit	Sachsen	2660	1200
Syenit	Bayern	2800 - 3060	1500
Basalt	Neustadt a.S.	-	3700
Gneis	Bemsheim	2840	2027
Marmor	Untersberg	-	800 - 1200
Kalkstein	Wöllersdorf	2420	790
Kalkstein	Mannersdorf	2380	926
Sandstein	Neulengbach	2280	492
Wr. Sandstein	-	2390	900
Kaiserstein	-	2450	800

Tabelle 3: Druckfestigkeit nach Hanisch [8]*Zugfestigkeit*

Zugfestigkeit	
Gestein	K _z [kg/cm ²]
Granit	40
Kalkstein	40
Sandstein	20

Tabelle 4: Zugfestigkeit nach Hauenschild [8]

Biegefestigkeit und Abnützung

Biegefestigkeit und Abnützung				
Gestein	Fundort	K_b [kg/cm ²]	Gamma	A
Granit	Roggendorf	242	2600	12
Granit	Haugschlag	101	2600	13
Kalkstein	Istrien	210	2460	56
Kalkstein	Laas	190	2710	64
Kalkstein	Wöllersdorf	163	2510	36
Sandstein	Altlenzbach	75	2400	36
Sandstein	Tullnerbach	70	2370	48
Sandstein	Gablitz	64	2390	48

Tabelle 5: Biegefestigkeit nach Hanisch [8]

A ist die Abnützung in Gramm.

Beziehung zwischen den verschiedenen Festigkeiten

Beziehungen zwischen den verschiedenen Festigkeiten				
	k_b/k_z		k_d/k_s	
Gestein	Grenzen	Mittel	Grenzen	Mittel
Granit	2,6 - 4,7	3,40	10,0 - 15,0	12,00
Kalkstein	1,7 - 3,9	2,90	8,0 - 16,0	12,00
Sandstein	2,1 - 5,0	3,00	9,0 - 21,0	15,00
	Mittel	3,10	Mittel	13,00

Tabelle 6: Beziehungen zwischen den Festigkeiten nach Hanisch [8]

Dauerhaftigkeit:

Am Dauerhaftesten waren kieselsäurereiche Steine. Sandsteine mit quarzigem, kalkigem und mit eisenhaltigem Bindemittel waren bei nicht allzu großer Porosität dauerhaft. Beim Vorhandensein von mergeligem, tonigem und kaolinischem Bindemittel traf dies jedoch nicht zu. [8]

Die Dauerhaftigkeit war im Wesentlichen beeinflusst von:

- von der Ausdehnbarkeit auf Grund von Temperaturänderungen,
- Klimaänderungen,
- Widerstandsfähigkeit gegen Feuer und vom
- Verhalten gegenüber Wasser.
- Dauerhafte Steine waren sehr schwer, sehr fest, sehr homogen und kaum porös. [8]

Dauerhaftigkeit		
Dauer	Beschaffenheit des Gesteins	Name des Gestein
sehr gross	kieselsäurereich, sehr hart, sehr tragfähig, schwer, dicht	quarzreicher Granit, Syenit, glimmerarmer Gneis, Basalt, Sandstein mit kieseligem Bindemittel
Gross		dichter Kalkstein, feldspatreicher Granit und Gneis, Sandstein mit kalkigem oder eisenschüssigem Bindemittel
Gering	feldspatreiche Silikate, erdige, weiche Gesteine der jüngeren Generation	körniger Kalkstein, eisenoxidreicher Basalt, Sandstein mit mergeligem oder kaolinischem Bindemittel

Tabelle 7: Dauerhaftigkeit [8]

Frostbeständigkeit

Jene Steine mit zerstreuten Poren waren frostanfälliger als solche mit großen, untereinander verbundenen Poren.

Je größer die Zugfestigkeit, desto größer war auch der Frostwiderstand. Eine geringe Frostbeständigkeit besaßen spröde, weiche, wenig tragfähige und wasserhaltige Steine. [8]

Frostbeständigkeit			
	Verlust nach 25 - maligem Ausfrieren in % der ursprünglichen Werte an		Verlust an Druckfestigkeit durch Wassersättigung in % der Trockenfestigkeit
Gestein	Gewicht	Druckfestigkeit	
Granit	0 - 0,44	0 - 13	0 - 46
Basalt	0,503	0	18
Kalksandstein	0,007 - 36,074	0 - 100	1,0 - 56
Sandstein	0,009 - 6,529	0 - 100	0 - 49

Tabelle 8: Frostbeständigkeit nach Hanisch [8]

Brandbeständigkeit

Bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts galten Steinkonstruktionen als feuersicher. Zahlreiche Vorfälle bei Bränden und auch Brandursachen hatten gezeigt, dass nicht alle natürlichen Steine dem Feuer widerstehen konnten. Seit dieser Erkenntnis wurden in den Städten nicht nur bei Theatern und anderen, von vielen Menschen besuchten öffentlichen Gebäuden, Fabriken, und Magazinen, sondern auch bei größeren Wohnhäusern feuersichere Treppen eingebaut.

Von den Steintreppen waren die freitragenden, d.h. jene deren Stufen nur an einer Seite im Stiegenhausmauerwerk eingespannt waren, am wenigsten feuersicher, weil die durch einen Brandfall erhitzten Stufen beim Kontakt mit Löschwasser springen und herabstürzen. [8]

Kohlensäurereiche Steine zerfielen durch das Feuer oder büßten ihre Festigkeit ein. Grobkörnige Granite und Syenite waren, auf Grund der Tatsache, dass sich ihre Bestandteile bei Feuer unterschiedlich ausdehnten, ebenfalls der oben genannten Gefahr ausgesetzt.

Feuerbeständig sind: Tonschiefer, Serpentin, quarzige Sandsteine, Trass

Nicht feuerbeständig sind: Basalt, Dolerit, alle Kalksteine, Mergel, Sandstein mit kalkigem oder mergeligem Bindemittel. **[8]**

5.1.2 Bauphysikalische Eigenschaften

Spezifisches Gewicht

Gestein	Spezifisches Gewicht [kg/m ³]
Basalt	2880 - 3300
Gneis	2400 - 2900
Granit	2550 - 3020 (2800)
Kalkstein	1500 - 3000
Marmor	2520 - 2800
Sandstein	1900 - 2700
Syenit	2500 - 3060

Tabelle 9: spezifisches Gewicht [8]

Porosität

Porosität	
Gestein	Porenvolumen [%]
Granit	0,05 - 0,61
Syenit	1,38
Basalt	1,28
Marmor	0,22
Sandstein	4,03 - 25,5

Tabelle 10: Porosität [8]

Wasseraufnahmefähigkeit

Wasseraufnahmefähigkeit			
Gestein	A	B	C
Granit	0,5 - 8,6	3	0,00018
Syenit	4,7 - 13,8	4,7	
Gneis	-	18,9	
Basalt	6,3 - 9,5	1,8	0,00069 - 0,00144
Weisser Marmor	1,1 - 5,9	-	
Sandstein	54 – 169	6,09	0,00018 - 0,00618

Tabelle 11: Wasseraufnahmefähigkeit [8]

Erklärung der Tabelle:

A: Wassermenge, die der Stein dauernd festhalten kann - l/1 m³ Stein,

B: Die Wassermenge, welche gleichmäßig getrocknete Steine unter Wasser in 24 Stunden aufnehmen - l/1 m³ oder g/l,

C: Die Volumsvermehrung durch 2 Wochen langes Liegen unter Wasser

Ausdehnung infolge von Temperaturänderung

Kubischer Ausdehnungskoeffizient ist die Vermehrung des Volumens infolge einer Temperaturerhöhung um 1° C.

Ausdehnung infolge Temperaturausdehnung	
Gestein	Ausdehnungskoeffizient
Basalt	0,00003
Granit	0,000026
Sandstein	0,000038
Marmor	0,000019
Granit	0,0000079
Kalkstein	0,000809

Tabelle 12: Ausdehnung infolge Temperaturausdehnung [8]

5.2 Grundrisse

5.2.1 Geradlinige Stiegen

Einarmige Stiegen

Bei dieser Treppenform handelt es sich um eine sehr einfache, bequeme, raumsparende und in weiterer Folge billige Anlage. Sie kommt bei kleinen Wohnhäusern mit geringer Geschosshöhe zum Einsatz. [23]

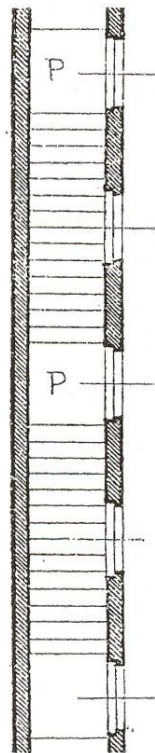


Abbildung 11: einarmige Stiege mit zwei Podesten [7]

Zweiarmige Stiegen

Diese Anlagen sind in den meisten städtischen Wohn- und Miethäusern vorzufinden, da sie trotz großer Geschosshöhe und besserer Ausstattung billig und bequem sind. Das Podest befindet sich auf halber Geschosshöhe, wodurch beide Arme gleich lang sind. [23]

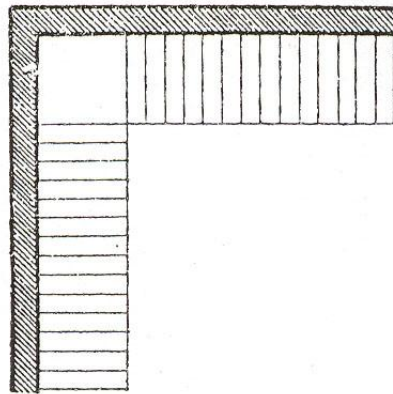


Abbildung 12: zweiarmige Stiege [7]

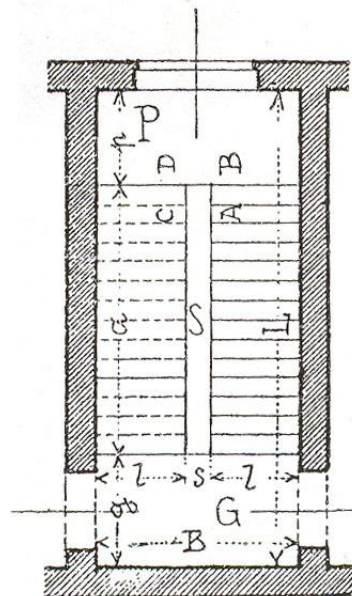


Abbildung 13: zweiarmige Stiege mit parallelen Läufen [7]

Dreiarmige Stiegen

Der Vorteil dieser Konstruktion liegt in der optimalen Ausnützbarkeit der Platzverhältnisse und den architektonischen Möglichkeiten bei der Gestaltung. [23]

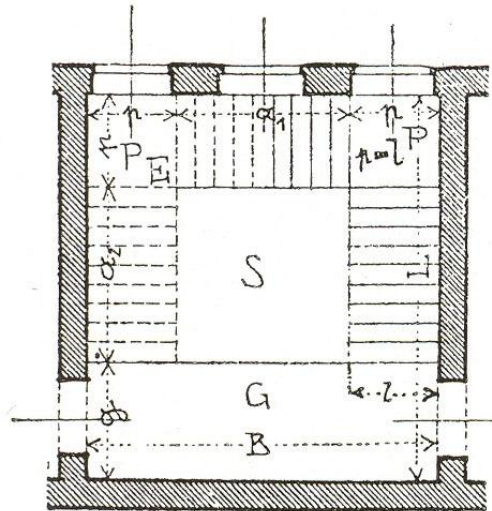


Abbildung 14: dreiarmige Stiege [7]

Vierarmige Stiegen

Diese Treppenform hat den Vorteil, dass selbst bei großen Geschosshöhen die Treppenarme nicht zu lang werden. Der in der Mitte verbleibende Raum kann für einen Personenaufzug genutzt werden. [23]

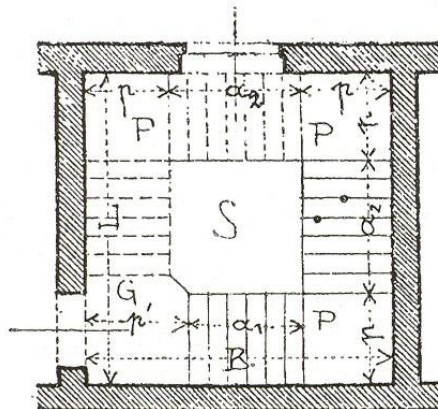


Abbildung 15: vierarmige Stiege [7]

Doppelstiegen

Diese Treppenform ist zu den Luxusanlagen zu zählen, weil nicht praktische und kostengünstige Aspekte im Vordergrund stehen, sondern das Bestreben nach Großartigkeit und Prunk. Daraus lässt sich das Einsatzgebiet der Monumentalbauten ableiten. Sie erfordern viel Raum, d.h. der Mittellauf sollte eine Mindestbreite von 2,00 m haben und die beiden Seitenläufe sollten eine Mindestbreite von je 1,60 m aufweisen. [23]

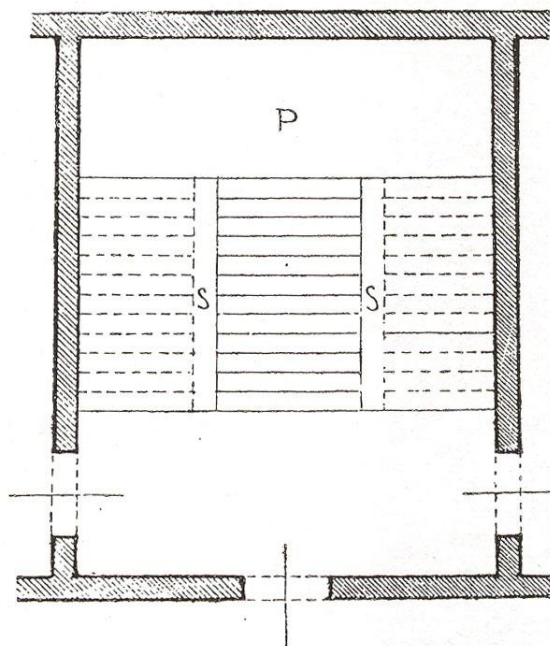


Abbildung 16: Doppelstiege [7]

5.2.2 Krummlinige Stiegen

halbkreisförmig Stiegen

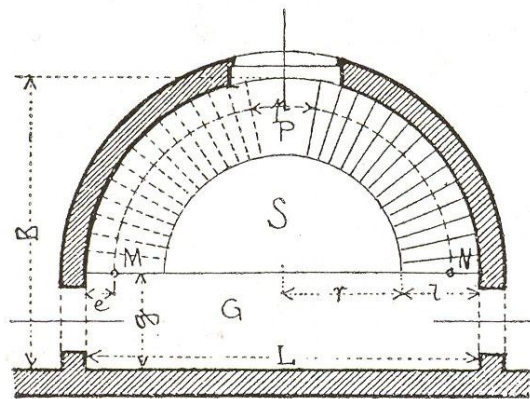


Abbildung 17: halbkreisförmige Stiege [7]

ellipsoide Stiegen

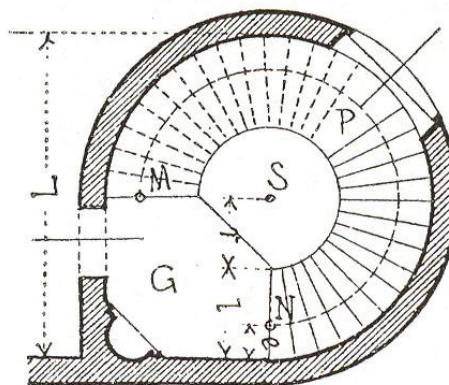


Abbildung 18: ellipsoidische Stiege [7]

Wendeltreppe

Bei krummlinigen Stiegen sollte der Abwärtssteigende auf der breiten, rechten Seite gehen und der Hinaufsteigende auf der schmälere, linken Seite.

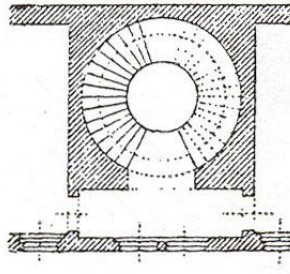


Abbildung 19: Wendeltreppe [7]

5.2.3 Gemischtlinige Stiegen

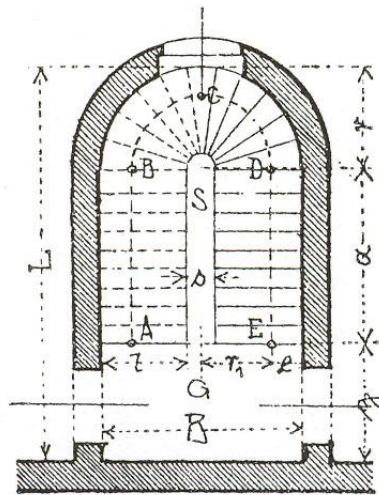


Abbildung 20: gemischtlinige Stiege [7]

5.3 Steigungsverhältnisse

Neben der Sicherheit muss eine gute Treppe so angelegt sein, dass beim Begehen die Anstrengung so wenig wie möglich spürbar ist. Aus diesem Grund sind lange Treppen durch Ruheplätze (= Podeste) unterbrochen, und zwar so, dass die Läufe die gleiche Stufenanzahl haben.

Die Stufenbreite b und die Stufenhöhe h müssen zueinander und zur normalen Schrittlänge in einem entsprechenden Verhältnis stehen. Rücksichtnehmend auf Frauen und Kinder wird eine normale Schrittlänge mit 63 cm angenommen. Beim Besteigen der Treppe verkürzt sich die Schrittlänge um das doppelte Maß der Stufenhöhe h . Daraus ergibt sich die Stufenbreite b . [33], [24]

$$b = 63 - 2 \cdot h \text{ bzw. } 2 \cdot h + b = 63$$

Für große Werte von h kann diese Formel nicht mehr angewendet werden, da b , auf Grund des Herabsteigens, nicht kleiner als 27 cm sein darf (entspricht einem Mindestmaß).

Eine weitere praktische Formel, die für alle Steigungen vernünftige Werte liefert, ist:

$$\frac{4}{3} \cdot h + b = 52$$

Weiters findet die Formel

$$\frac{1}{2} \cdot h + b = 54,5$$

Anwendung. [24], [33], [30]

Stufenbreite in Abhängigkeit der Stufenhöhe			
	$2xh+b=63$	$4/3xh+b=52$	$1/2xh+b=54,5$
h[cm]	b [cm]	b [cm]	b [cm]
12,50	38,00	35,33	48,25
13,00	37,00	34,67	48,00
13,50	36,00	34,00	47,75
14,00	35,00	33,33	47,50
14,50	34,00	32,67	47,25
15,00	33,00	32,00	47,00
15,50	32,00	31,33	46,75
16,00	31,00	30,67	46,50
16,50	30,00	30,00	46,25
17,00	29,00	29,33	46,00
17,50	28,00	28,67	45,75
18,00	27,00	28,00	45,50
18,50	26,00	27,33	45,25
19,00	25,00	26,67	45,00
19,50	24,00	26,00	44,75
20,00	23,00	25,33	44,50

Tabelle 13: Stufenbreite in Abhängigkeit der Stufenhöhe [25]

Allgemein ist zu sagen, dass die Stufenhöhen in allen Geschossen (außer Keller- und Dachbodenstiegen) gleich sein sollten. Daher sollte die Geschosshöhe ein Vielfaches der Stufenhöhe sein.

In Anlehnung an die Tabelle Nr.13 "Stufenbreite in Abhängigkeit der Stufenhöhe" verfasste Prof. Daub folgende Zusammenstellung über minimale und maximale Abmessungen:

- Stufenhöhe: max h= 20 cm in Wohnhäusern
 max h= 16 cm für Stiegen in Wohnhäusern
 max h= 13 cm in Spitälern
 max h= 23 cm bei Leiterstiegen
 min h= 12 cm
- h= 12 - 14 cm in öffentlichen Gebäuden, Schulen, Krankenhäuser
 h= 14 - 16 cm in Wohnhäusern
 h= 16 - 20 cm Neben-, Keller-, Bodenstiegen
- Stufenbreite: min b= 29 cm
 min b= 13 cm bei Spitzende krummlinigen Stiegen
- Stufenlänge: min l= 0,60 m nur für zwei Personen benutzbar
 min l= 0,80 - 1,00 m Neben-, Keller-, Bodenstiegen
 min l= 1,10 m bei ein und zweistöckigen Gebäuden
 1,10 m in den beiden oberen Geschossen mehrstöckiger
 min l= Gebäude
 min l= 1,25 m in den unteren Geschossen mehrstöckiger Gebäude
 min l= 1,50 m Schulen, Theater
 min l= 1,60 m Spitälern
 min l= 1,00 m bei Bauten unter erleichterten Bedingungen

Tabelle 14: Zusammenstellung nach Daub [7]

5.4 Stufenarten

Die Kante zwischen der Setz- und Trittfläche

- wird bei einfachen Stufen gefasst und
- enthält bei besseren Stufen einen Rundstab.

Die Verbindung zwischen zwei aufeinander liegenden Stufen erfolgt durch Falze.

5.4.1 Block- oder Spiegelstufen

Die Blockstufe ist eine Stufe mit rechteckigem Querschnitt. Verwendung finden Blockstufen als Kellerstiegen, Vorlegstufen bei Hauseingängen und dergleichen. Um den Wasserabfluss zu garantieren werden Freitreppen mit einem 1 - 2 % Gefälle ausgebildet. [23]

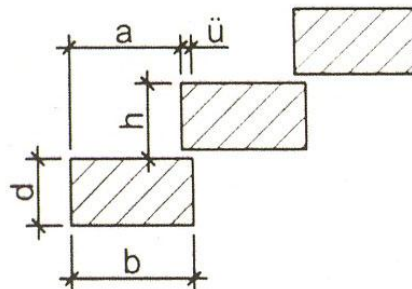
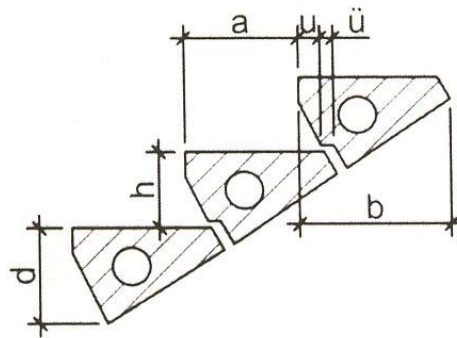


Abbildung 21: Blockstufe [29]

5.4.2 Keilstufen

Die Keilstufe ist eine massive Stufe mit keilförmigem Querschnitt. Keilstufen liegen gegenseitig auf einfachen oder gebrochenen Fälzen auf. Der waagrechte Teil des Falzes wird als Tragfalz, der zur Steigungslinie normal ausgebildete Teil wird als Stoßfalz bezeichnet. Wenn die Unterseite des Stiegenarmes sichtbar sein soll, kommen Keilstufen zum Einsatz. Auf die Ausbildung des Rundstabes wird bei



5.5 Innere Treppen

Die weitere Unterteilung wird nach der Art der Unterstützung vorgenommen.

5.5.1 Freitragende Stufen

Mit diesem Namen bezeichnet man Treppenanlagen, die auf der einen Seite fest in die Stiegenhausmauer eingespannt sind und am anderen Ende ohne Unterstützung frei liegen. Die Stufen erhalten ihre feste Lage einerseits durch die Belastung des Mauerwerks und andererseits dadurch, dass die Stufen miteinander verfalzt sind und so gegen Verschieben gesichert werden. Jede einzelne Stufe erfährt ein Torsionsmoment - da sich die darüberliegende Stufe auf ihr abstützt - und ein Biegemoment. Auf Grund dieser Tatsache entstehen große Belastungen, die den Einsatz von gutem Gesteinsmaterial notwendig machen.

Da die Stufen der Länge nach aufeinander aufliegen, verteilt sich die Belastung auf mehrere Stufen. Daher können freitragende Treppen bei der Verwendung von tragfähigem Material und sorgfältiger Ausführung großen Beanspruchungen widerstehen. [23]

Der Zusammenhang zwischen freier Stufenlänge und dem Eingriff der Stufe in die Wand lautet nach Daub:

freie Stufenlänge	
freie Länge der Stufe	Eingriff der Stufe
1,00 - 1,25 m	20 cm
1,25 - 1,50 m	25 cm
1,50 - 2,00	30 - 35 cm

Tabelle 15: freie Stufenlänge nach Daub [7]

Sind Fenster über oder unter den eingespannten Stufenenden angeordnet, müssen gemauerte Bogen vorgesehen werden, um die Einspannung der Stufen zu gewährleisten.

Besonderes Augenmerk wird auf die unterste Stufe gelegt. Sie bildet das Auflager für die gesamten Stiegen und wird daher als Blockstufe ausgebildet.

Freitragende Stiegen werden in gutbürgerlichen Wohnhäusern sowie in Nobelbauten eingesetzt. In Arbeiterwohnhäusern kommen sie selten zum Einsatz, da die Konstruktion sehr aufwändig ist und ein erhöhter Platzbedarf notwendig ist. [23]

5.5.2 Beide Stufenenden sind unterstützt

Unterstützung durch Einmauerung in eine Spindelmauer

Der Eingriff der Stufen beträgt bei Ziegelmauern mindestens 8 cm und bei Quadermauern mindestens 5 cm. Eine Einmauerung von nur 3 cm ist dann erlaubt, wenn das Stufenende auf einem Maueraufsatz aufliegt.

Volle Spindelmauern kommen nur bei Kellerstiegen zur Ausführung. Aus ästhetischen, lichttechnischen und materialtechnischen Gründen ist eine volle Spindelmauer nicht erstrebenswert. Um dem entgegen zu steuern, werden bei statischer Unbedenklichkeit Öffnungen durchgebrochen. [23]

Unterstützung durch Eisentraversen

Normalerweise legt man die Stufen auf den Oberflansch, in den seltensten Fällen auf den Unterflansch. In weiterer Folge werden unterschiedliche Konstruktionsmöglichkeiten angeführt.

- Die eisernen Stufenträger (Wangenträger) liegen auf den Podest- und Gangträgern. Podest- und Stufenträger sind durch Winkellaschen miteinander verbunden.
- Die eisernen Stufenträger liegen auf gemauerten oder steinernen Pfeilern (Säulen): Pfeilerstiegen.

- Die Stiegen werden durch parallel laufende Traversen gestützt.
- Die Traversen sind geknickt. Es gibt keinen eigenen Podestträger.
- Die Traversen werden durch eiserne Konsolen unterstützt, die in der Wand befestigt sind. **[23]**

Allgemein ist bei den Eisenträgern die Möglichkeit der unterschiedlichen Beschichtung festzuhalten.

- Eine Möglichkeit besteht darin, dass der Eisenträger sichtbar bleibt und lediglich nur mit Ölfarbe gestrichen wird. Dazu ist zu sagen, dass der Feuerwiderstand in keinem Fall gegeben ist.
- Die zweite Möglichkeit besteht darin, die Träger zu verputzen. Das Aufbringen des Putzes erfolgt mittels einer Stukkaturung. In diesem Fall ist die Feuersicherheit gegeben. **[7]**

Traversenstiegen werden bei sehr langen Stufen oder sehr großen Belastungen eingebaut.

Architravstiegen

Früher benützte man Stufenträger aus natürlichem Stein, so genannte Architrave.

Unterstützung durch einen Bogen (gewölbte Wange)

Die Bogen liegen auf Säulen oder Pfeilern auf. Normalerweise handelt es sich um einhüftige Bögen (Schwalbenhalsbögen). Pfeilerstiegen mit gewölbten Wangen sind optisch sehr ansprechend, aber um einiges teurer als Traversenstiegen. Aus diesem Grund werden sie nur für Monumentalbauten verwendet. **[7]**

5.5.3 In der Mitte unterstützte Stufen

Eine Unterstützung in der Mitte ist dann notwendig, wenn die Stufen eine zu geringe Tragfähigkeit aufweisen, wenn sie sehr lang sind oder wenn sie großen Belastungen ausgesetzt sind. Der Vorteil der Pfeiler bzw. Säulen liegt darin, dass sich sehr breite Arme herstellen lassen, weil die Stufen auch gestoßen werden können. [7]

Mittlere Stufenträger

Es werden zwischen den Wangenträgern und parallel zu diesen ein oder mehrere Träger unter die Stufen eingelegt. [7]

Unterwölbte Stufen

Die Unterwölbung der Stufen erfolgt durch

- flache (preußische) Platzel oder
- flache Tonnen (preußische Kappen).

Beide Systeme liegen einerseits auf der Stiegenhausmauer, andererseits auf den Stiegenträgern, auf den gewölbten Wangen oder auf den mittleren Stufenträgern auf. Dadurch kann die Tragfähigkeit gesteigert werden. [7]

5.5.4 Wendeltreppen

Der Einsatz von Naturstein für Wendeltreppen ist in der Gründerzeit nur mehr von historischer Bedeutung. Andere Materialien sind weitaus beliebter. In Villen werden Wendeltreppen aus Holz gebaut. Im Industriebau werden sie aus Eisen hergestellt. Die freie Länge der Stufe muss > 60 cm sei, der Durchmesser der

Spindel (D) >18 cm. Falls $D < 30$ cm wird die Spindel (der Mönch) mit der Stufe aus einem Stück hergestellt. Falls $D > 30$ cm ist stellt man die Spindel als selbstständigen Mauerpfeiler oder als hohlen Pfeiler, dessen Wandteile mit der anstoßenden Stufe ein Stück bilden, her.

Wendeltreppen kommen ausschließlich zum Einsatz, wenn es an Raum für eine andere Konstruktion mangelt. [23]

5.5.5 Podeste

Steinplatten

Diese Podestart wird hergestellt, wenn genügend große und feste Steine vorhanden sind. Reicht eine Platte nicht aus, setzt man das Podest aus mehreren zusammen. Der Stoß erfolgt mittels eines Falzes. Da man diesen Falz an der Vorderseite nicht sehen soll, wird am Ende des Falzes ein stumpfer Stoß angeordnet. Der Eingriff der Podestplatten sollte so wie bei den Stufen sein. Liegt die Platte auch mit ihrem zweiten Rand auf, kann der Eingriff kleiner sein (bis 5cm). [23]

Ziegelgewölbe

Diese Ausführung trägt einen Fußboden (Terrazzo, Klinkerplatten, Steinplatten) und stützt sich auf Gurtbögen oder eiserne Träger. Am häufigsten werden flache Tonnen (preußische Kappen) ausgeführt. [23]

5.5.6 Geländer und Handlauf

Die vorgeschriebene Geländerhöhe laut Bauordnung vom Jahr 1883 ist mindestens ein Meter. Freitragende Stiegen müssen mit Vorrichtungen versehen werden, die ein Herunterrutschen verhindern sollen.

Die Geländer steinerner Treppen werden als massive Wangen- mit und ohne

Füllung- aus Zierstein, Eisen oder Holz, hergestellt. Bei untergeordneten Gebäuden wird der Handlauf aus Eisen hergestellt. Im Gegensatz dazu wird der Handlauf bei besseren Stiegen aus Stein (Marmor), meist aber aus sehr hartem Holz, hergestellt und anschließend poliert. Die massiven Wangen werden gemauert oder in Stampfbeton ausgeführt. Bei Geländern können die eisernen Treppenstäbe auf unterschiedliche Arten auf die Wangen montiert werden:

- Sie werden einfach auf die Stufen gesetzt und dann mit Zement in 5 bis 6 cm tiefen Dübellöchern befestigt.
- Bei beschränktem Platzbedarf werden sie an die Stirnenden der Stufen eingedübelt und mit Zement vergossen.

Der hölzerne Handgriff wird von unten aus auf eine Flacheisenschiene festgeschraubt und die Schiene im Handlauf eingelassen.

Bei öffentlichen Gebäuden und besseren Wohnbauten können auch steinerne Treppengeländer ausgeführt werden. **[23]**

5.6 Freitreppen

Freitreppen sind stets vor dem Gebäude angeordnet. Je nach dem, ob die Freitreppe von einer oder mehreren Seiten begangen werden kann, nennt man sie ein- oder mehrseitige bzw. ein- oder mehrarmige Treppen. Die Stiegen liegen entweder auf einer Untermauerung oder auf zwei seitlichen Wangen auf. Als Material für Freitreppen kommen auf Grund des ständig vorherrschenden Witterungswechsels Granit und Sandstein in Frage.

Die Form der Freitreppe unterliegt dem ästhetischen Gefühl des Architekten. Sie können gerade, geschwungen, halbrund oder terrassenförmig ausgebildet sein. Bei der Herstellung der Fundamente ist darauf zu achten, dass diese frostfrei sind und mit dem Fundament des Hauptgebäudes zusammen angelegt sind, damit es bei möglichen Setzungen oder Hebungen nicht zur Bildung von Rissen kommt.

Um rasches Abfließen des Regenwassers sicher zu stellen, erhalten die Stufen ein Gefälle von 1-2%. Gegen aufsteigende Feuchtigkeit werden Isolierschichten aus Asphalt oder Dachpappe angeordnet.

Bei großen Freitreppenanlagen müssen die Stufen gestoßen werden. Dabei ist zu beachten, dass der Stoß nicht in der Hauptgangbahn erfolgen darf. Die einzelnen Teile werden durch Eisenklammern miteinander verbunden. Statt eiserne Klammern kann man auch Bindersteine mit Schwalbenschwanz anordnen. Das Zusammenstoßen der Stufen kann lotrecht oder schräg erfolgen. Besser ist der lotrechte Stoß. [23]

Sind Podeste bei Freitreppen angeordnet, werden sie aus demselben Material wie die Stufen hergestellt. Die Dicke des Podestes entspricht jener Dicke einer Stufe, um die Steigung auszugleichen.

Das Geländer stellt man ebenfalls aus dem Material der Stufe her, und zwar als Brüstung oder als Füllungs- oder als Dockengeländer. Die Verwendung von Metall (Guss- oder Schmiedeeisen, Bronze, ...) ist ebenfalls möglich.

In Österreich wird anhand von zwei Versuchsreihen, die vom Stiegenstufen-ausschuss dokumentiert werden, eine Fülle an Messergebnissen geliefert. Mit diesen Erkenntnissen soll das Tragverhalten von freitragenden Stiegen geklärt

werden. Mit Hilfe der gefundenen Messergebnisse werden empirische Formeln ermittelt, die eine Berechnung in weiterer Folge möglich machen sollen. **[23]**

6 STATISCHE BEMESSUNG VON NATURSTEINSTIEGEN

6.1 Erste Versuchsreihe des Stiegenstufenausschusses

Die erste Versuchsreihe stammt aus dem Jahr 1896 und wurde vom Österreichischen Ingenieur- und Architektenverein durchgeführt.

Zu Beginn werden drei Steingattungen ausgewählt, an denen die Versuchsreihe durchgeführt wird:

- Karststein: aus dem Steinbruch Guiseppa Juch bei Nebresina - St. Coce
- Kaiserstein: aus dem Steinbruch Franz Krunkenfelner bei Sommerein am Leithagebirge
- Rekawinkler Stein: aus dem Steinbruch von G. Hutterer in der Nähe von Pressbaum

Parallel zu den oben genannten Materialien werden die Versuche auch an Betonstufen durchgeführt. [11], [12], [18]

Folgende Versuche werden durchgeführt:

6.1.1 Belastungsproben an Stiegenarmen bestehend aus 10 Stufen werden mittels einseitiger Belastung bis zum Bruch belastet

Bei den Versuchen besteht der Versuchskörper aus zehn 1,6 m langen, 25 cm eingemauerten, freitragenden Stufen.

In allen vier Fällen (bezogen auf die vier unterschiedlichen Materialien) werden nur die mittleren sechs Stufen bis zum Bruch belastet. Die Belastung besteht aus 80 cm langen, 5 cm breiten und im Mittel 6 kg schweren Holzpfeilen, die auf das äußere Ende der Stufen gelegt werden. Auf die Holzpfeile wird dann das Belastungsmaterial in Form von Eisenflossen gelegt. [11]

Die Ergebnisse der durchgeführten Belastungen werden in den Nachstehenden Tabellen zusammengestellt:

	Stufen - Nummer											
Belastung [kg]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ [kg]	Anmerkung
I. Phase	-	-	306	298	300	287	299	266	-	-	1756	geringes Öffnen der Fuge zw. 8. & 9. Stufe
II. Phase	-	-	875	850	857	829	794	828	-	-	5033	Senkung des gesamten Stiegenarmes zw. 8. & 9. Stufe um 5 mm
III. Phase	-	-	1055	1035	997	998	968	991	-	-	6033	Öffnen dieser Fuge bis auf 7 mm
IV. Phase	-	-	1212	1215	1147	1160	1140	1136	-	-	7010	Öffnen dieser Fuge bis auf 10 mm
V. Phase	-	-	1313	1343	1245	1273	1236	1223	-	-	7633	Öffnen dieser Fuge bis auf 12 mm
VI. Phase	-	-	1423	1459	1367	1381	1341	1331	-	-	8302	Öffnen dieser Fuge bis auf 15 mm

Tabelle 16: Stiegenarm aus Karststein [11]

	Stufen - Nummer											
Belastung [kg]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ [kg]	Anmerkung
I. Phase	-	-	225	236	230	235	240	235	-	-	1401	Öffnen der Fuge zw. 8. & 9. Stufe
II. Phase	-	-	349	375	348	344	351	345	-	-	2112	Senkung um 1 mm
III. Phase	-	-	652	643	624	616	625	598	-	-	3758	Senkung um 11 mm
IV. Phase	-	-	651	695	671	662	625	598	-	-	3902	Eintritt des Bruches aller belasteten Stufen

Tabelle 17: Stiegenarm aus Stampfbeton [11]

	Stufen - Nummer											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ [kg]	Anmerkung
Belastung [kg]	-	-	123 5	120 6	122 5	118 7	121 4	121 5	-	-	7282	-

Tabelle 18: Stiegenarm aus Kaiserstein [11]

	Stufen - Nummer											
Belastung [kg]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ [kg]	Anmerkung
I. Phase	-	-	232	218	212	219	230	219	-	-	1330	Trennung zw. 9. & 10. Stufe
II. Phase	-	-	340	340	323	343	324	334	-	-	2004	Fuge erweitert sich bis zu 10 mm, danach erfolgt der Bruch

Tabelle 19: Stiegenarm aus Rekawinkler – Stein [11]

6.1.2 Fallproben

Weiters werden die einzelnen Stufen dem Versuch der Fallprobe unterzogen. In diesem Fall wird je ein Gewicht von 10, 20, 40, 50 und 60 kg aus einem Meter Höhe auf die Stufe fallen gelassen. [11]

Die Ergebnisse des Versuches stellen sich wie folgt dar:

Karststeinstufe

- Beim 1. Aufschlagen mit 20 kg und beim
- beim 2. Aufschlagen mit 40 kg zeigt sich keine Veränderung des Materials.
- Beim 3. Aufschlagen mit 50 kg senkt sich die Stufe am freien Auflager um 2 cm.
- Beim 4. Aufschlagen mit 60 kg erfolgt der Bruch, ca. 10 cm von der Wand entfernt.

Kaisersteinstufe

- Beim 1. Aufschlagen mit 10 kg und
- beim 2. Aufschlagen mit 20 kg zeigt sich keine Veränderung des Materials.
- Beim 3. Aufschlagen mit 40 kg ist eine Lockerung in der Einmauerung zu

bemerken. **[11]**

- Beim 4. Aufschlagen mit 50 kg erfolgt der Bruch, zirka 6 cm von der Mauer entfernt.

Rekawinkler-Steinstufe

Beim 1. Aufschlagen mit 10 kg bricht die Stufe, gleichmäßig 1,5 cm von der Wand entfernt, parallel zur Wand.

Cement-Betonstufe

Beim 1. Aufschlagen mit 10 kg erfolgt der Bruch, 20 cm von der Wand entfernt, parallel zur Wand. **[11]**

6.1.3 Belastungsproben

Bei dieser Art des Versuches werden die einzelnen Stufen mit einer Länge von 1,60 m und einer Einmauerung von 25 cm belastet. Die Belastung erfolgt ebenfalls über die auf den Holzpfosten aufgelegten Eisenflossen.

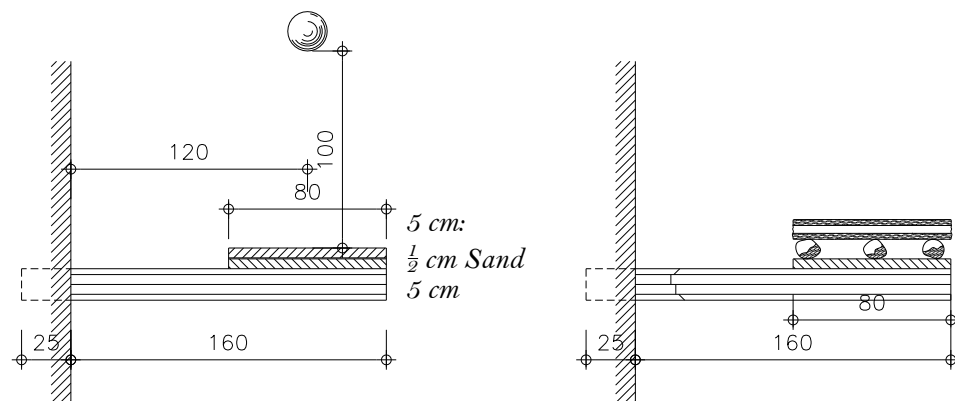


Abbildung 23: Versuchsanordnung [11]

Die Ergebnisse des Versuches stellen sich wie folgt dar:

Karststeinstufe

Der Bruch erfolgt bei einer Belastung von 1.006 kg ca. 8 cm von der Wand entfernt.

Kaisersteinstufe

Bei einer Belastung von 784 kg bricht die Stufe ca. 4 cm innerhalb der Mauerflucht.

Rekawinkler-Steinstufe

Bei einer Belastung von 169 kg bricht die Stufe ca. 3 cm von der Wand entfernt parallel zur Wand.

Cement-Betonstufe

Bei einer Belastung von 259,5 kg bricht die Stufe ca. 30 cm von der Einmauerungsstelle parallel zur selben, glatt und senkrecht. **[11]**

Materialgattung	mittlere Druckfestigkeit [kg/cm ²]	Dichte [g/V]
Rekawinkler Stein	770,00	
Stampfbeton Deckmasse	272,80	
Stampfbeton Kernmasse	314,60	
Kaiserstein	808,00	
Karststein	1144,00	

Tabelle 20: Druckfestigkeiten unterschiedlicher Materialien [12]

Es werden auch Brandversuche in Betracht gezogen, doch auf Grund der davon ausgehenden Gefahr wird von diesem Versuch Abstand genommen.

6.1.4 Abgeleitete Berechnung

Prof. J. E. Brik leitet aus den gewonnenen Ergebnissen der Versuche eine Berechnung für eingemauerte, freitragende Stufen ab.

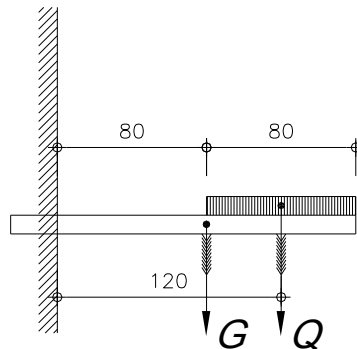


Abbildung 24: eingemauerte Einzelstufe mit Belastung auf die halbe Länge [2]

Material der Stufen	Bruchlasten [kg]		Verhältnis der Bruchlast der Einzelstufe zur Bruchlast der Armstufe
	der Einzelstufe	der Stufe im Stiegenarm	
Rekawinklerstein	169	334	01:02
Beton	259,5	650	01:02,5
Kaiserstein	784	1213	01:01,5
Karststein	1006	bei 1383 kg noch nicht gebrochen	-

Tabelle 21: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse [2]

Aus den gefundenen Verhältniszahlen der Bruchlast der Einzelstufen zu jenen der Stufenarme ergibt sich, dass die Bruchlast des Stufenarmes im Mittel doppelt so groß ist wie jene der Einzelstufen. In weiterer Folge kann angenommen werden, dass die tatsächliche Belastung auf Grund der gegenseitigen Stützung der einzelnen Stufen im ganzen Stiegenarm zur einen Hälfte auf den Biegungswiderstand und zur anderen Hälfte auf den Widerstand der Verspannung

aufgeteilt werden kann. [2]

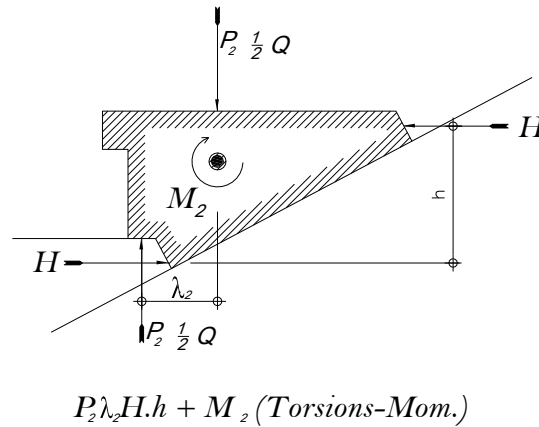


Abbildung 25: Querschnitt der Einzelstufe mit wirkenden Kräften [2]

Als nächster Schritt werden die Bruchspannungen der Einzelstufen berechnet:

$$M = 120 \cdot Q + 80 \cdot G$$

$$G = 160 \cdot g$$

$$M = 120 \cdot Q + 12800 \cdot g$$

$$M = 40 \cdot Q + 320 \cdot g$$

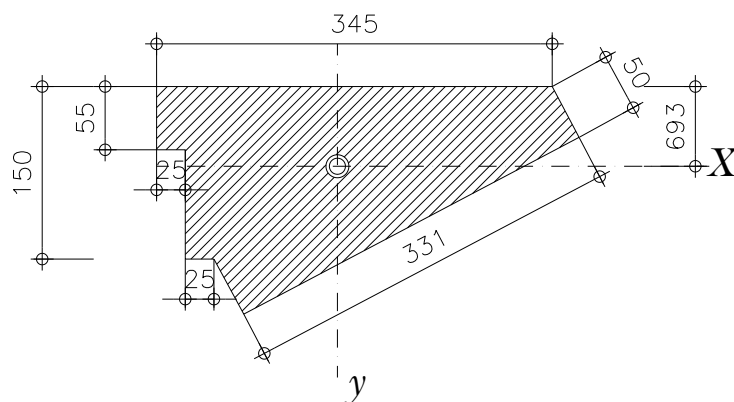


Abbildung 26: Querschnitt der Einzelstufe mit Abmessungen [2]

$$F = 438 \text{ cm}^2$$

$$J = 9251 \text{ cm}^2$$

$$W_1 = \frac{J_x}{6 \cdot 93} = \frac{9251}{6 \cdot 93} = 1335 \text{ cm}^3$$

$$W_2 = \frac{J_x}{12 \cdot 5} = 740 \text{ cm}^3$$

Die größte Zugspannung der Biegung berechnet sich aus:

$$\sigma = \frac{M}{W_1} = \frac{40 \cdot \frac{1}{2} \cdot Q + 320 \cdot g}{1335}$$

Die nachstehende Tabelle zeigt die ermittelten Zugspannungen in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Materialien. [2]

Material der Stufen	g [kg]	Q [kg]	σ [kg/cm ²]
Rekawinklerstein	1,05	169	25,2
Beton	1,05	259,5	33,4
Kaiserstein	1,09	784	80,9
Karststein	1,13	1006	101,2

Tabelle 22: Zugspannungen σ [2]

Maximales Biegemoment bei voller Belastung Q:

$$M = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot Q + G \right) \cdot l \quad \begin{aligned} G &= q \cdot l \\ Q &= q \cdot b \cdot l \end{aligned}$$

Auf Grund der Verspannung im Stiegenarm und der Ergebnisse der Versuche kann der Faktor 1/2 bei der Berechnung des Biegemomentes hinzugefügt werden.

$$M = \frac{l^2}{4} \cdot g + q \cdot l = \sigma \cdot W_1$$

$$l = 2 \cdot \sqrt{\frac{W_1 \cdot s}{g + q \cdot b}}$$

Mit der Berücksichtigung der Tatsache, dass Stiegenstufen des öfteren plötzlichen Einwirkungen ausgesetzt sind und dadurch doppelt so große Belastungen zustande kommen, werden die zufällige Belastung q mit 640 kg/m^2 und die Breite der Stufe mit 30 cm angenommen. [2]

Für diese Annahmen beträgt $W_1 = 1.335 \text{ cm}^3$

$$l = 73 \cdot \sqrt{\frac{s}{g + 1,92}}$$

In der nachfolgenden Tabelle werden die maximalen Freilängen bei Annahme einer achtfachen Bruchsicherheit berechnet.

Material der Stufen	g [kg]	$\sigma \text{ [kg/cm}^2\text{]}$	q=640kg/m ²	q=400kg/m ²
			$l_{1\text{max}} \text{ [cm]}$	$l_{2\text{max}} \text{ [cm]}$
Rekawinklerstein	1,05	3	73	84
Beton	1,05	4	80	97
Kaiserstein	1,09	10	133	152
Karstein	1,13	12	145	166

Tabelle 23: Maximale Freilängen [2]

6.2 Zweite Versuchsreihe des Stiegenstufenausschusses

Die zweite Versuchsreihe, die ebenfalls vom Österreichischen Ingenieur und Architektenverein durchgeführt wird, stammt aus dem Jahr 1898.

Die Versuche sollen Aufschluss über Biegungs- und Torsionselastizität und Festigkeit des Materials der untersuchten Stiegenstufen geben. Die Ergebnisse der 2. Versuchsreihe haben eine vermehrt theoretische Bedeutung als jene aus der 1. Versuchsreihe. [3]

6.2.1 Durchführung der Versuche

Für diese Versuche werden zwei Stiegenarme aus Karststein bzw. Kaiserstein herangezogen.

Die freitragenden Stiegenarme bestehen aus je neun Stufen, wobei die unterste, erste Stufe als Blockstufe ausgebildet wird. Die darüber liegenden restlichen Stufen erhalten wandseitig eine Einmauerungstiefe von 0,25 m, haben das gleiche Profil und dieselbe Freilänge von 1,60 m wie die Stufen der ersten Versuchsreihe. Die Belastung der einzelnen Stufen erfolgt mittels Roheisenflossen, die gleichmäßig längs der Stufen verteilt werden. Die auftretenden Deformationen der belasteten und unbelasteten Stufen werden mittels genauer Messungen festgehalten.

Zuerst wird nur eine Stufe nach und nach gesteigerten Belastungen ausgesetzt und der Einfluss dieser Belastung auf die Deformation der anderen Stufen ermittelt. Weiters werden eine zweite, dritte und vierte Stufe belastet, wobei jedes Mal der Einfluss der Belastung auf die Formveränderungen festgestellt wird. [3]

6.2.2 Die Versuchsergebnisse und Schlussfolgerungen

- Die sich bei Aufbringen der Belastung einstellenden Formveränderungen sind auf die Wirkung der Biegung und auf die Torsionswirkungen zurückzuführen.
- Die vertikalen Senkungen der obersten belasteten Stufe und der darunter befindlichen sind proportional der Gesamtbelastung des Stiegenarmes, und zwar gleichgültig, welche oder wie viele Stufen unterhalb der befindlichen Stufen belastet sind.
- Die horizontalen Biegungen folgen einem der vertikalen Biegungen ähnlichen Gesetz.
- Die Verdrehung der Stufe unterhalb einer einzelnen belasteten Stufe ist am größten. Die Verdrehung der weiter darunter liegenden Stufen nimmt proportional ab.
- Bei einer Gesamtbelastung des Stiegenarmes wird die oberste Stufe am meisten auf Biegung beansprucht. Bei größeren Stufenanzahlen ist es möglich, dass bei voller Belastung die oberste Stufe so weit auf Biegung beansprucht wird, dass die erreichten Werte jener einer einzelnen, freien und im gleichen Maße belasteten Stufe gleichkommen. Solche Stufen des Stiegenarmes können hinsichtlich der Biegung als Freiträger behandelt und berechnet werden.
- Bei Volllast wird die unterste Stufe am meisten auf Torsion belastet. Aus diesem Grund wird sie als Blockstufe ausgebildet. [3]
- Die gefährlichste Belastung eines Stiegenarmes stellt die volle Belastung durch die größte Verkehrslast dar. Die unterste Stufe wird überwiegend

durch Torsion belastet, während die obere überwiegend durch Biegung belastet wird. Im Allgemeinen müssen jedoch die einzelnen Stufen des Stiegenarmes auf die kombinierte Belastung aus Biegung und Torsion bemessen werden.

- Bei den Versuchen mit zwei einzelnen Stufen aus Karststein und Kaiserstein ist zu beobachten, dass sich beide Materialien hinsichtlich Torsionselastizität ähnlich verhalten.

Neben den Versuchen an Stiegenarmen bestehend aus neun Stufen, werden in weiterer Folge auch Versuche an einzelnen Stufen durchgeführt. [3]

6.2.3 Biegeversuche an Einzelstufen aus Karststein und Kaiserstein

Je eine Stufe aus Karststein und Kaiserstein mit gleichem Querschnitt und Freilager wie die Stufen der Stiegenarme werden, wie bei der Versuchsreihe zuvor, 25 cm eingemauert. Im Anschluss wird eine gleichmäßige Belastung über die gesamte Länge aufgebracht.

Die bei den Versuchen aufgezeichneten Verdrehungen sind auf die Tatsache zurückzuführen, dass die Lastresultierenden außerhalb der Stufenachsen angreifen. [4]

6.2.4 Versuche über den Einfluss einer belasteten Stufe auf die Deformation des Stiegenarmes

Diese Versuchsanordnung wird zur Vollständigkeit an dieser Stelle nochmals erwähnt, da sie bei Stiegenarmen bestehend aus neun Stufen durchgeführt wurde. [4]

6.2.5 Torsionsversuche

Mit den allgemeinen Torsionsversuchen verfolgt man das Ziel, das Material der Stufen bezüglich ihrer Torsionselastizität und Festigkeit zu untersuchen. Auf Grund der ungewöhnlichen Querschnittsform, sind die Torsionsversuche erweitert worden. Hierbei bedient man sich des "Torsionshebels". Ein Nachteil besteht darin, dass neben der reinen beabsichtigten Torsionswirkung auch Biegemomente auf die Stufe ausgeübt werden. Diese Lastkombinationen entsprechen jedoch annähernd der Realität. [4]

Das auf die Stufe wirkende Torsionsmoment ist

$$M_t = G \cdot (x + b - \lambda) \cdot P \cdot (x + b - \lambda)$$

Das Biegemoment ist

$$M_b = C + G \cdot l$$

l = Entfernung des Torsionshebels von der Einspannstelle

C = Entfernung des Torsionshebels von der Einmauerungsstelle

G = 73,5 kg (Gewicht des Hebels)

$$M_t = 5354,48 + P \cdot (x + 17,76)$$

Die beiden Belastungen betragen 48 bzw. 47,5 kg.

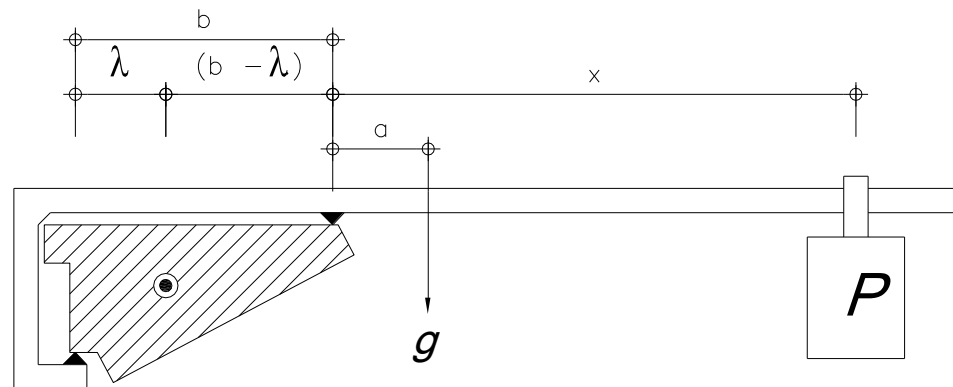


Abbildung 27: Systemskizze des Torsionshebels [4]

6.2.6 Bruchversuche an Stiegenarmen aus Rekawinkler Sandstein

Die Versuchsreihe stellt eine Ergänzung der ersten Versuchsreihe dar. Die Belastung wird in gleicher Weise wie bei der ersten Versuchsreihe aufgebracht, und zwar nur bei den mittleren sechs Stufen. Die Last wird auf die halbe Freilänge gleichmäßig verteilt und bis zum Bruch gesteigert. Bei der Gesamtbelastung des Stiegenarmes von 4213,5kg, bricht die oberste belastete achte Stufe durch. Bei einer Steigerung der Belastung auf 4966,5kg bricht die siebente Stufe bei der Einmauerung. [4]

6.2.7 Die Biegeversuche und Schlagproben an einer einzelnen Stufe aus Rekawinkler Sandstein

Die Stufe wird gesondert eingemauert und einem Biegeversuch unterzogen. Die Belastung wird auf die halbe Freilänge gleichmäßig verteilt. Im Anschluss wird eine Schlagprobe, wie bei der ersten Versuchsreihe, durchgeführt.

Belastung [kg]	vertikale Verschiebung [mm]
221	6,4
413,5	15,3
nach Entlastung	7,5 bleibend

Tabelle 24: Resultate des Biegeversuches [4]

Der Bruch der Stufe erfolgt erst bei einem Gewicht von 50 kg, welches aus einer Höhe von 0,8 m fallen gelassen wird.

6.2.8 Biege- und Bruchversuche an einer Einzelstufe aus Rekawinkler Sandstein

Hier wird die neunte Stufe aus der ersten Versuchsreihe wird bei gleichmäßiger Belastung über die halbe Freilänge bis zum Bruch belastet.

bei Belastung [kg]	vertikale Senkung [mm]
176,5	3,8
354,5	8,2

Tabelle 25: Resultate des Biege- Bruchversuches [4]

Ergänzend zu Tabelle 24 ist noch festzuhalten, dass der Bruch der neunten Stufe bei einer Belastung von 415,5kg einsetzt.

An der 4. Stufe wird eine Schlagprobe durchgeführt. Bei einem Gewicht von 50 kg und einer Fallhöhe von 1,0 m erfolgt der Bruch der Stiege. **[4]**

In weiterer Folge wird die sechste Stufe einem Belastungsversuch unterzogen.

Belastung [kg]	vertikale Senkung [mm]
177,0	0,5
350,5	0,9
504,5	2,1
681,5	3,1
855,0	4,1
1023,5	4,3
1198,5	5,4
1357,5	6,2

Tabelle 26: Resultate des Belastungsversuches an der sechsten Stufe [4]

6.2.9 Statische Verhältnisse der freitragenden Stiegenarme

Prof. Brik versucht nun, anhand der Fülle an Daten geeignete Formeln zu entwickeln.

Proportionalitäts-Gesetz

Die Versuche haben ergeben, dass die lotrechte Biegung der obersten belasteten Stufe proportional zur Gesamtbelastung des Stiegenarmes ist. **[5]**

Das entsprechende Gesetz wird nun wie folgt formuliert:

$$\Delta = \chi \cdot Q$$

Q = Gesamtbelastung d. Stiegenarmes [kg].

Δ = lotrechte Senkung des freien Stiegenendes

X = Konstante, vom Stiegenmaterial abhängig

X wird nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt.

$$\chi = \frac{\sum Q \cdot u}{\sum Q^2}$$

u = Lotrechte Senkung durch Belastung Q hervorgerufen

Rekawinkler Sandstein $\Delta = 0,00355 \times Q$

Karststein $\Delta = 0,00061 \times Q$

Kaiserstein $\Delta = 0,00025 \times Q$

Biegeelastizität der Einzelstufen

Die Biegung des freien Trägerendes beträgt:

$$\delta = \frac{1}{8} \cdot \frac{Y \cdot l^3}{E \cdot J}$$

Y = biegende Totallast

l = freie Tragweite

J = Trägheitsmoment

E = Elastizitätsmodul

Daraus ergibt sich der E-Modul zu

$$E = \frac{1}{8} \cdot \frac{Y}{\rho} \cdot \frac{l^3}{\delta}$$

Material der Stufe	Y [kg]	δ [cm]	E [kg/cm ³]	allgemein δ [cm]
Karststein	584,5	0,27	119,7	$\delta = 0,00046 \times Y$
Kaiserstein	335	0,09	205,8	$\delta = 0,00027 \times Y$
Rekawinkler Sandstein	221	0,64	32,6	$\delta = 0,0029 \times Y$

Tabelle 27: Resultate der Biegeelastizitätsversuche von Einzelstufen [5]

Beziehung zwischen der lotrechten Biegung der Einzelstufe zu der obersten belasteten Stufe im Stiegenarm

Biegung der Einzelstufe:

$$\delta = c \cdot Y$$

$$c = \frac{1}{8} \cdot \frac{l^3}{E \cdot I}$$

Senkung der obersten belasteten Stufe im Stiegenarm:

$$\Delta = \chi \cdot Q$$

Senkt sich nun die belastete Stufe im Stiegenarm im selben Maß, wie die freitragende Einzelstufe, so folgt:

$$\delta = \Delta$$

und in weiterer Folge

$$c \cdot Y = \chi \cdot Q$$

Jeder Stiegenarm besteht aus n-Stufen. Aus diesem Grund erfährt jede einzelne Stufe eine $\frac{Q}{n}$ - Belastung. Für die n-te Stufe und jede darüberliegende gilt dann, dass sie die ganze, auf ihr befindliche Last allein durch ihren Biegewiderstand aufnehmen muss: **[5]**

$$Y = \frac{\chi}{c} \cdot Q$$

$$Y_n = \omega \cdot Q$$

$$\max_n Y_n = \frac{Q}{n} = \omega \cdot Q^{-n}$$

$$n = \frac{1}{\omega}$$

Für n ergibt sich:

Rekawinkler Sandstein: n = 9

Kaiserstein: n = 9

Karststein: n = 11 **[5]**

Auf die Ergebnisse der Torsions- und Biegetorsionsversuche sowie das statische Verhalten der Einzelstufe im Stiegenarm wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen, da die Messergebnisse ungenau sind und des weiteren Rechnungsfehler aufgetreten sind. **[23]**

Für das nachstehende Kapitel gilt, dass es sich um eine komprimierte Zusammenfassung der Untersuchungsmöglichkeiten von Natursteintreppenkonstruktionen handelt. Für detaillierte Informationen empfiehlt es sich, sich mit den im Literaturverzeichnis zusätzlich angeführten Werken auseinanderzusetzen, da an dieser Stelle nicht auf alle Werke zu diesem Thema zurückgegriffen wird.

7 UNTERSUCHUNG VON TREPPENKONSTRUKTIONEN

Bei der Untersuchung von Treppenkonstruktionen unterscheidet man zwischen der Prüfung durch den Augenschein, der zerstörungsfreien und der nicht zerstörungsfreien Methode. Für die beiden zuletzt genannten Verfahren gilt, dass eine Güteüberprüfung von Natursteinstufen angestrebt wird.

7.1 Prüfung mittels Augenschein

Im Rahmen von visuellen Untersuchungen können folgende Schäden an Natursteintreppen erkannt werden:

- Verformungen (Absenken einzelner Stufen)
- Fugenöffnungen
- Rissfeststellung mittels Eindringverfahren
- Rissweitenbestimmungen mittels einer Lupe **[19]**

7.2 Zerstörungsfreie Überprüfung von Natursteinstufen

Zur Auffindung von Fehlstellen, Rissen etc. in Natursteinen eignen sich folgende beiden Prüfmethoden:

7.2.1 Ultraschallprüfung

Eine Reihe von Untersuchungen hat ergeben, dass Ultraschallwellen auf Grund von Fehlstellen im Steingefüge proportional zur Festigkeitsminderung geschwächt werden. Da zwischen der Ultraschallschwächung und der Biegezug- und Zugfestigkeit ein Zusammenhang besteht, wird dieses Verfahren eingesetzt. In weiterer Folge werden vier Verfahren der Ultraschall-Werkstoffprüfung angeführt. **[10], [32]**

Intensitätsverfahren

Hierbei handelt es sich um die älteste Anwendung von Ultraschall in der Werkstoffprüfung. Nach Durchströmen des Prüfkörpers wird die Intensität des Ultraschalls gemessen. An fehlerhaften Stellen wird die Ausbreitung des Ultraschalls behindert. **[10], [32]**

Impuls-Echo-Verfahren

Dieses Verfahren wird bei der Prüfung von metallischen Werkstoffen verwendet. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass der zu prüfende Körper nur von einer Seite frei zugänglich sein muss.

Dieses Verfahren wird im Bauwesen sehr selten eingesetzt, weil die Prüfköpfe kugelförmige Ausstrahlungen aufweisen. Zur Ermittlung der Poisson'schen Zahl, des Elastizitätsmoduls und des Gleitmoduls wird das Impuls-Echo-Verfahren angewendet. **[30], [32]**

Impulslaufzeitverfahren

Relative Änderungen verschiedener Werkstoffparameter lassen sich mit Hilfe der Impulslaufzeitmessung gut beobachten. Ein Anwendungsgebiet der Laufzeitmessung liegt im Auffinden von Rissen. Dieses Verfahren findet sowohl auf Baustellen als auch bei fertig gestellten Bauwerken seine Anwendung, um

einerseits mögliche Schäden festzustellen und andererseits eine Qualitätskontrolle bei der Herstellung von Fertigteilen zu ermöglichen. [10], [32]

Schwingungsanalyse

SCHWINGUNGSMESSUNG

STOSSBELASTUNG EINZELNER STUFEN

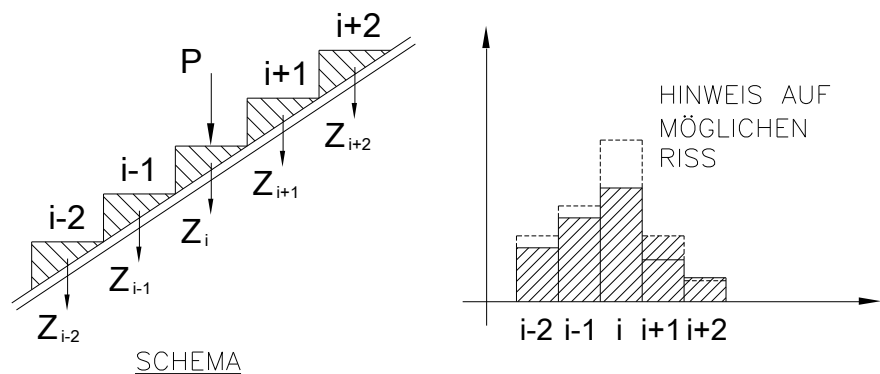


Abbildung 28: Schwingungsmessung [19]

7.2.2 Winkelprüfverfahren

Die Grundlage für das Winkelprüfverfahren ist das Snellius'sche Gesetz, welches den schrägen Wellendurchgang an einer Grenzfläche beschreibt. Durch das

allgemeine Brechungsgesetz $Y_n = \frac{\sin \alpha_e}{\sin \alpha_d} = \frac{v_1}{v_2}$ besteht die Möglichkeit der

Umwandlung von Wellenart. [32]

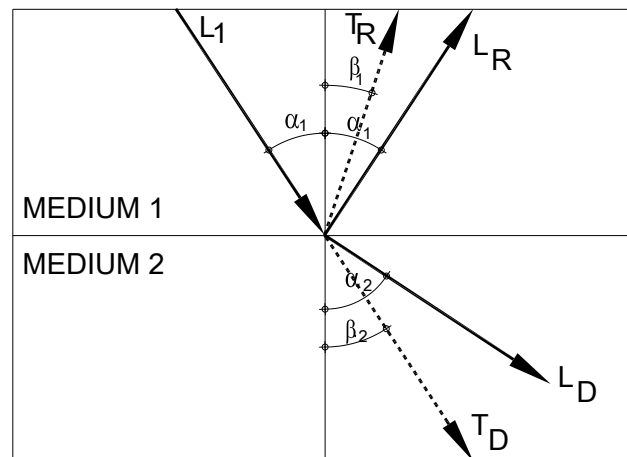


Abbildung 29: Reflexion und Brechung an der Grenzfläche [32]

Die Longitudinalwelle L_1 spaltet sich durch Reflexion und Brechung an der Mediumsgrenze jeweils in eine Longitudinalwelle L_d , L_r und in eine Transversalwelle T_r , T_d . Für beide Wellenarten treten bei der Brechung unterschiedliche Winkel auf, da die beiden Wellen unterschiedliche Geschwindigkeiten in den Medien 1 und 2 aufweisen.

Bei der Werkstoffprüfung wird angenommen, dass die Brechung der Wellen zwischen einem Stoff und einer Flüssigkeit erfolgt. [32]

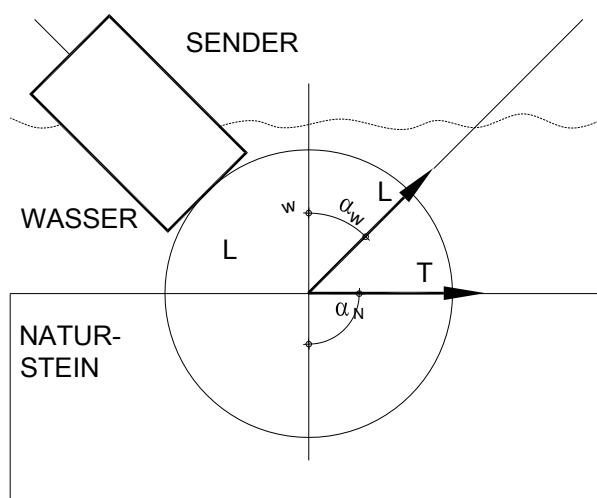


Abbildung 30: Totalreflexion der Longitudinalwelle [32]

Daraus folgt nun, dass das Medium 1 schubspannungsfrei ist und in weiterer Folge bei der Reflexion keine Aufspaltung eintritt. Treffen Longitudinalwellen in Abhängigkeit vom Einfallswinkel aus einer Flüssigkeit auf eine Grenzfläche auf, entstehen Grenzwinkel für Longitudinal- und Transversalwellen. Um bei der Materialprüfung die Lage und Entfernung feststellen zu können, muss ein einziger Schallstrahl vorhanden sein. Beim ersten Grenzwinkel durchdringt die gebrochene Longitudinalwelle die Oberfläche des Prüfkörpers. Bei einer Vergrößerung des Einschallwinkels treten im Prüfkörper mehr Transversalwellen auf und zwar bis zum Erreichen des 2. Grenzwinkels, bei dem die gebrochene Transversalwelle einen Brechungswinkel von 90 Grad hat. [32]

Verwendete Messgeräte:

- Impuls-Schall-Gerät
- Digital-Speicher-Oszilloskop

ULTRASCHALLMESSUNG (WINKELPRÜFUNG)

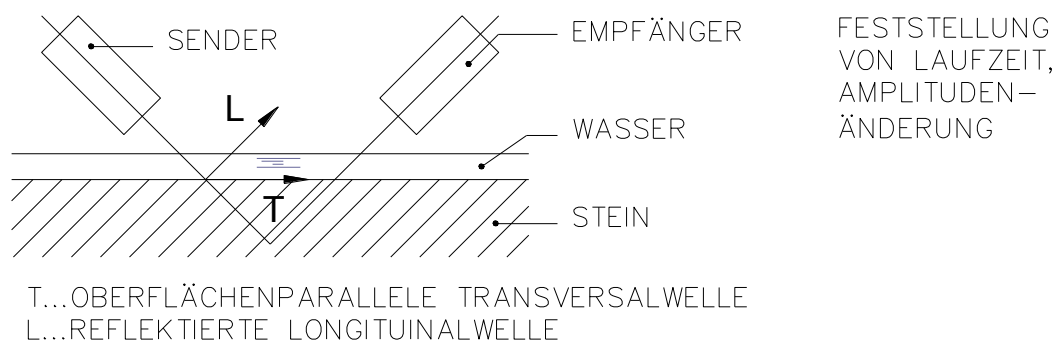


Abbildung 31: Winkelprüfverfahren [19]

7.3 Zerstörende Untersuchungen von Natursteinstufen

Es werden Bohrkern an statisch unbedenklichen Stellen entnommen, um mechanische Materialeigenschaften festzustellen. Diese Eigenschaften werden im Anschluss in einem Labor festgestellt. [19]

8 SANIERUNG UND VERSTÄRKUNG VON TREPPENKONSTRUKTIONEN AUS NATURSTEIN

8.1 Erscheinungsformen von Schäden und deren Sanierung

8.1.1 Abnutzung der Trittflächen

Die größten Abnutzungen der Trittfläche sind im Bereich der Gehlinie zu erwarten. Es kann sogar soweit führen, dass es zu einem Abblättern der Sandsteinoberfläche kommt. Die Abnutzungserscheinungen werden weiters durch den Einsatz von scharfem Reinigungsmittel begünstigt.

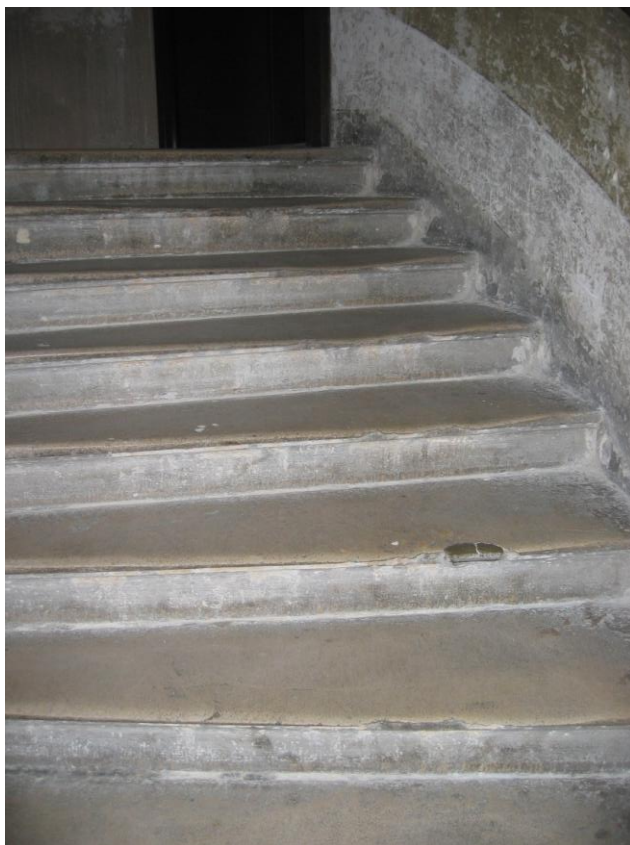


Abbildung 32: Schadensfall abgenutzte Trittfläche



Abbildung 33: Schadensfall abgenutzte Trittfläche

Um eine technisch einwandfreie Sanierung dieses Schadensfalles durchzuführen stehen zwei Möglichkeiten zur Auswahl:

Inkrustierung

Der Bereich der abgenutzten Trittfläche wird im ersten Schritt die Oberfläche mit einem Winkelschneider bestehend aus Diamantschleifscheiben in Rücksprache mit einem Statiker ausgeschnitten. In weiterer Folge wird die Schnittfläche mit einem Zahneisen aufgeraut, um im Anschluss eine bessere Haftbrücke herstellen zu können. Die Schnittfläche wird zusätzlich mit einer Haftbrücke (PCI Haftemulsion) bestrichen. Im Anschluss wird der ausgeschnittene Bereich mit einem Inkrustiermörtel, welcher Löschkalk und PCI Haftemulsion beinhaltet, verfüllt. Die Vorteile des Löschkalkes liegen darin, dass einerseits der Inkrustiermörtel nicht zu hart ist und andererseits keine Schwindrisse nach dem Aushärten auftreten. Werden größere Flächen mit Inkrustiermörtel verfüllt, muss dieser in Etappen eingebracht werden. Nach erfolgreicher Verfüllung ist es unbedingt notwendig eine Aushärtezeit von 1 bis 2 Tagen einzuhalten. **[13]**

Nach der der Aushärtung wird die sanierte Stufe wie folgt nachbehandelt

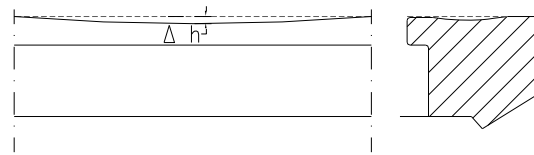
- 1-mal Grobschleifen
- bis 2-mal Nachspachteln um den Porenverschluss zu ermöglichen
- bis 2-mal Feinschleifen **[13]**

Einsetzen eines Natursteines

Wie bei der Sanierung mittels Inkrustierung wird der fehlerhafte Bereich ausgeschnitten. Anstelle des Inkrustiermörtels wird nun eine Vierung (=Steinergänzung) eingesetzt. Die Vierung hat auf einer Seite die Form eines Schwalbenschwanzes um einen besseren Verbund zu ermöglichen. Vor dem Einsetzen wird nur an Unterseite der Vierung Steinkleber aufgebracht. Beim Einsetzen der Vierung liegt diese nun satt auf und drückt den überflüssigen Steinkleber seitlich hinauf. Die Nachbehandlung erfolge im selben Masse wie zuvor bei der Inkrustierung beschrieben jedoch ohne Nachspachteln. **[13]**

Bei dieser Art der Sanierung ist jedoch darauf zu achten, dass jegliche Verringerung des Querschnittes eine Abminderung der Tragfähigkeit bedeutet. Um dieser Gefahr entgegenzuwirken besteht auch die Möglichkeit, abgetretene Bereiche ohne vorheriges Ausstemmen mit Zementmörtel auszufüllen. **[25]**

ABNUTZUNG DER TRITTFLÄCHEN



BESCHICHTUNG MIT KUNSTSTOFF-
MODIFIZIERTEN MÖRTELN:

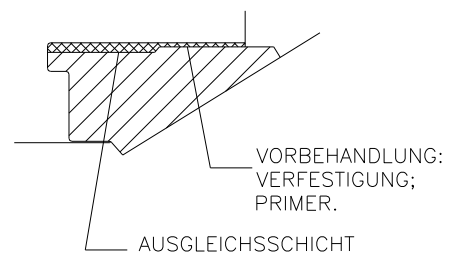
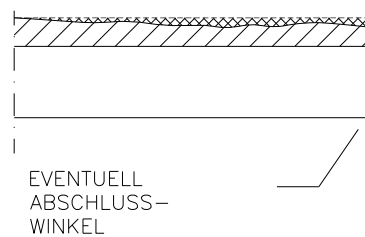


Abbildung 34: abgenutzte Trittfläche: Schadensfall und Sanierung [19], [20]



Abbildung 35: erfolgreiche Sanierung mittels Inkrustierung

8.1.2 Mechanische Beschädigung der Trittstufe

Mechanische Beschädigungen der Trittstufe treten in Folge von Möbeltransporten etc. auf.



Abbildung 36: Mechanische Beschädigung ca. 40cm von der Einspannstelle entfernt

Als erster Schritt wird die Ausbruchstelle gereinigt. Im Anschluss wird in Abhängigkeit von der Größe der Fehlstelle ein Nirostastift pro Fehlstelle auf die Fehlstellenlänge verteilt eingesetzt. Auf Grund seiner hohen Langzeitbeständigkeit kommt das Material Nirosta zum Einsatz. Nun wird eine Lehre (Schablone), welche nach oben hin offen ist, an der Fehlstelle montiert. Bevor die Lehre mit Inkrustiermörtel verfüllt wird, werden die Nirostastifte mit PCI Haftemulsion eingestrichen. Die Verdichtung des Inkrustiermörtels erfolgt manuell. Auch bei dieser Sanierungsmethode ist eine Aushärtung von 1 bis 2 Tagen einzuhalten.
[13]

Nach der der Aushärtung wird die sanierte Stufe wie folgt nachbehandelt:

- 1-mal Grobschleifen
- bis 2-mal Nachspachteln um den Porenverschluss zu ermöglichen
- bis 2-mal Feinschleifen **[13]**

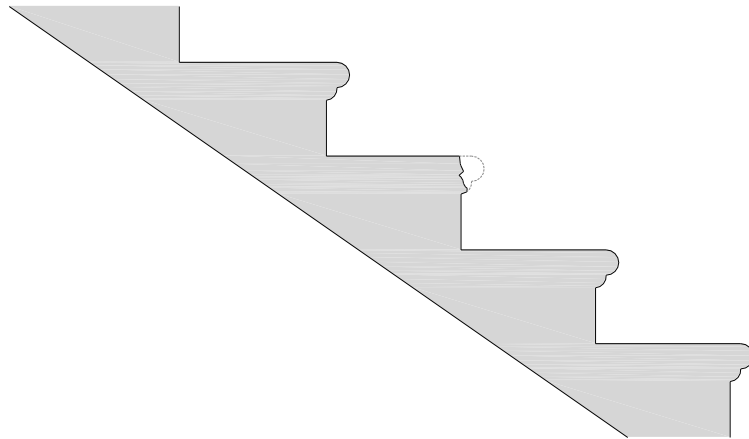


Abbildung 37: mechanisch beschädigte Stiege

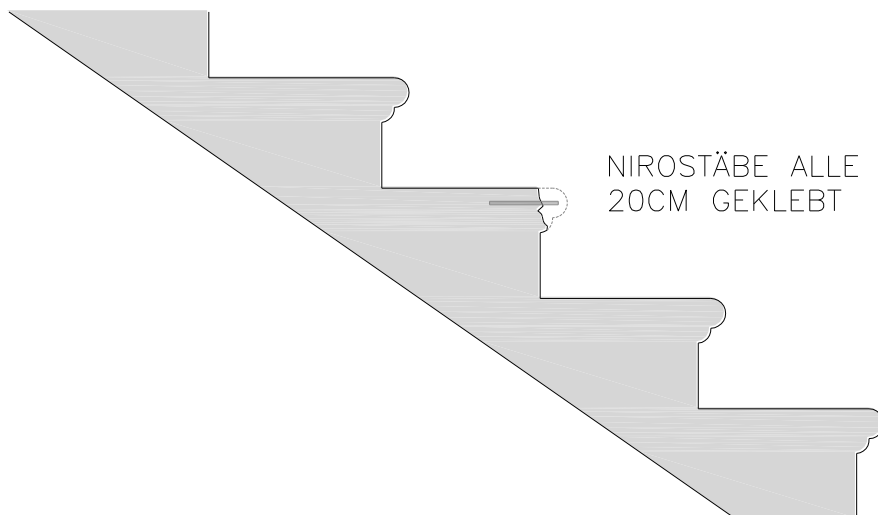


Abbildung 38: Anbringen von Nirostastäben

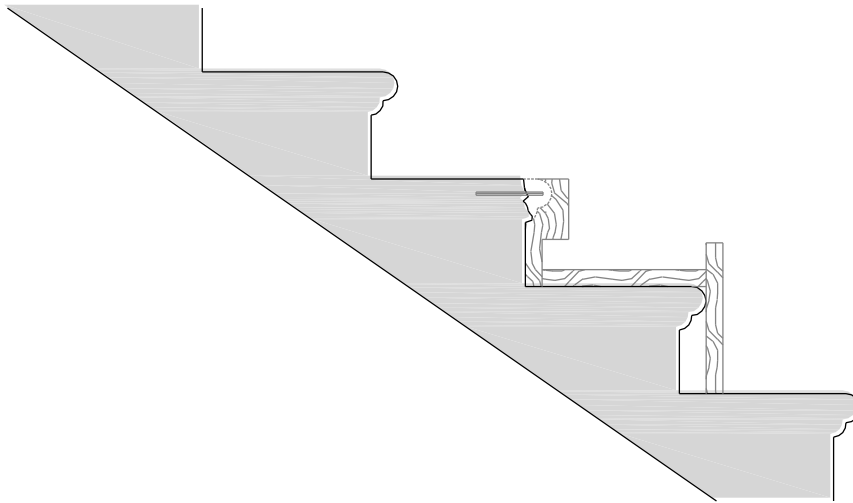


Abbildung 39: Anbringen der Lehre (Schablone), nach oben offen

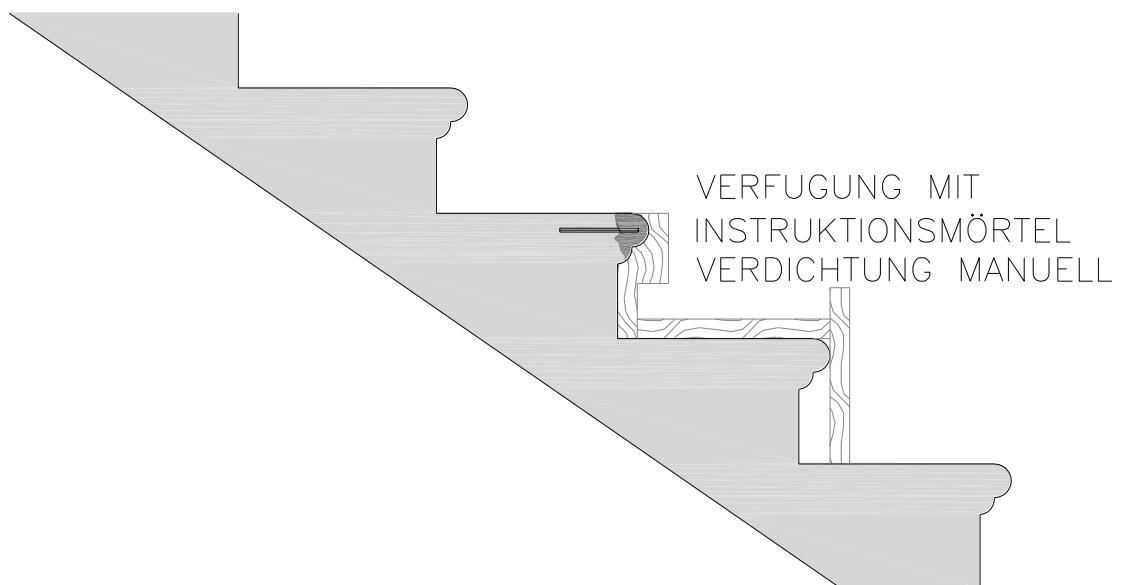


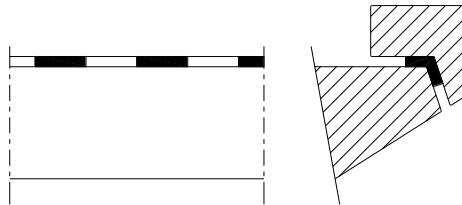
Abbildung 40: Verfüllung mit Inkrustiermörtel

8.1.3 Fehlender Fugenmörtel

Treten klaffende Fugen zwischen zwei Stufen auf, so muss geklärt werden, ob es zu Absenkungen einzelner Stufen auf Grund der Schäden gekommen ist. Bevor die Fugen verkeilt und im Anschluss mit schwindfreiem Mörtel verfüllt werden, muss der Schadensbereich saniert werden.

In der Praxis wird als erster Schritt der restliche Fugenmörtel sorgfältig und behutsam ausgekratzt. In weiterer Folge werden an der Stiegenlaufunterseite Verpressparker angebracht und zwar pro Meter Stiegenlaufbreite zwei Parker. Im Anschluss wird die offene Fuge mit Rissmörtel verschlossen und an der Stiegenlaufoberseite ein Entlüftungsschlauch (Kontrollschlauch) angebracht. Nun wird mit dem Verpressvorgang begonnen. [34]

FEHLENDER FUGEN- MÖRTEL



AUSPRESSEN DER FUGEN MIT SPEZIALMÖRTEL

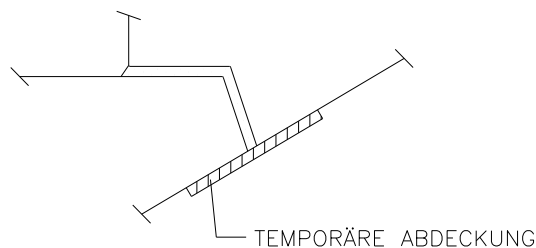


Abbildung 41: fehlender Fugenmörtel, Schadensfall und Sanierung [19], [20]

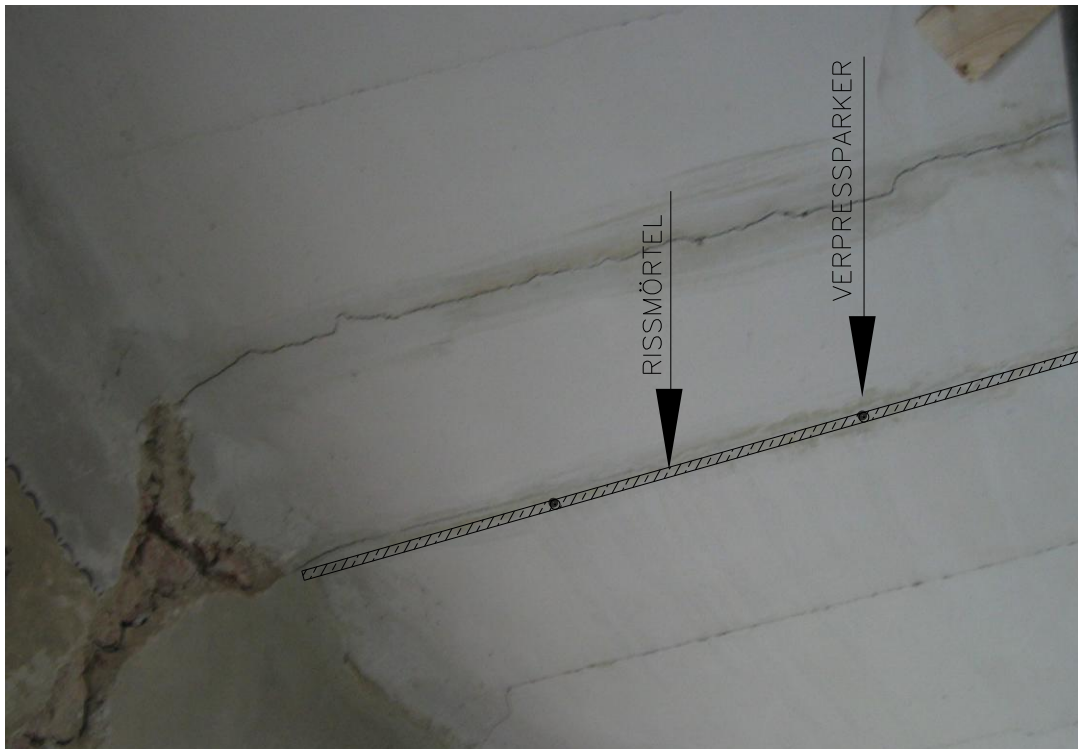


Abbildung 42: Ansicht Stieglaufunterseite: Verpressparker, Verpressmörtel

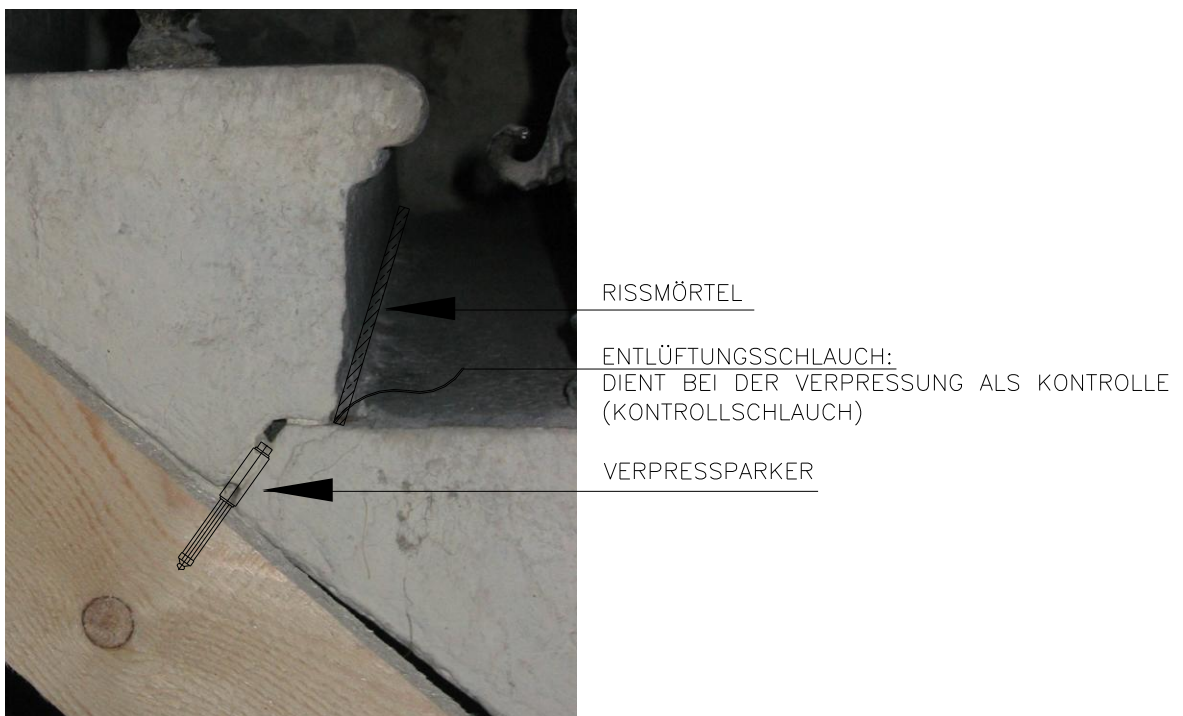


Abbildung 43: Ansicht Stiege, Verpressparker, Entlüftungsschlauch, Verpressmörtel

In weitere Folge werden nun die Einzelbestandteile der Fugenverpressung beschrieben.

Packer

Stahl-Injektions-Packer KOMBI

Stahl-Injektions-Packer KOMBI werden in drei Grundversionen erzeugt, und zwar M5, M6 und M8. Die M5- und M6-OPK-Versionen können zu Mikroinjektionen bis zu einem Arbeitsdruck von 200 Bar (20 MPa) verwendet werden. Für höhere Drücke sind die M8-OPK-Versionen bestimmt.



Abbildung 44: Stahlinjektionsparker KOMBI [17]

Diese OPK haben speziell erzeugte Dichtungsgummis, um eine perfekte Abdichtung des Dichtungsmittels im Bohrloch sicherzustellen. Die Durchmesser der Dichtungsgummis sind von 10 mm bis 17 mm erhältlich. Auf Bestellung können auch größere Durchmesser hergestellt werden.

Die OPK sind mit einem Kugelschmiernippel als Anschlussstück vorgesehen, der die Funktion eines Gegendrucksventils sichert. Der Anschluss zum Schlauch der Injektionspumpe wird mittels eines Futterverbindungsstücks durchgeführt. [17]

Stahlinjektionspacker OPK mit Flachkopfnippel(OPK-PM)

Anstatt des klassischen Nippels mit Kugelkopf sind diese mit Flachkopfnippel mit Durchmesser von 16 mm versehen.



Abbildung 45: Stahlinjektionspacker OPK – PM [17]

Stahlinjektions-Packer OPK mit Doppelventil (OPK-DV)

Sie haben noch ein zweites Gegendruckventil im Fuß des Packers dazu. Dadurch wird ermöglicht, den Kopf des Packers gleich nach der Injektion an der Mutter herauszuschrauben. Somit kann das Bohrloch verschlossen werden.



Abbildung 46: Stahlinjektionspacker OPK – DV [17]

Doppelmantel-Stahl-Injektions-Packer (OPD)

Es gibt 4 Grundversionen: M5, M6, M8 und M10. Die M5- und M6-OPD-Versionen können für Mikroinjektionen bis zu einem Arbeitsdruck von 200 Bar (20 MPa) verwendet werden. Für höhere Drücke sind die M8- und M10-OPD Versionen zu verwenden. [17]



Abbildung 47: Übersicht Doppelmantel-Stahl-Injektions-Packer (OPD) [17]

Die Packer sind abgeschlossen:

- mit einem Kugelschmiernippel, der die Funktion des Gegendruckventils sichert.



Abbildung 48: OPD mit Kugelschmiernippel

- mit einer M5-, M6-, M8- oder M10-Schraube ohne einen Gegendruckventil



Abbildung 49: OPD mit Schraube und ohne Gegendruckventil [17]

Die OPD haben speziell erzeugte Dichtungsgummis, um eine perfekte Abdichtung des Dichtungsmittels im Bohrloch sicherzustellen. Die Durchmesser der Dichtungsgummis sind von 10 mm bis 19 mm. Die OPD-Längen werden optimal nach dem Massiv gewählt, in den sie besetzt werden, und sind von 70 mm bis 300 mm erhältlich.

Doppelmantelstahlinjektionspacker OPD mit Flachkopfnippel (OPD-PM)

Anstatt des klassischen Nippels mit Kugelkopf sind diese mit Flachkopfnippel mit Durchmesser von 16 mm versehen. [17]



Abbildung 50: OPD – PM [17]

OPD-Doppelmantel-Stahlinjektions-Packer mit Flügelmutter

Anstatt der klassischen M5/M6/M8/M10-Mutter sind diese mit M5/M6/M8/M10-Flügelmutter zur manuellen Nachspannung des Packers versehen.



Abbildung 51: OPD-KM [17]



Abbildung 52: OPD-KUM [17]

Doppelmantel-Aluminium-Injektions-Packer (APD)

Diese werden in M8-Grundversionen hergestellt. Die Durchmesser der Dichtungsgummis sind 13 mm. Die APD-Längen sind 110 mm.



Abbildung 53: APD [17]

Die M8-APD-Versionen können zu Mikroinjektionen bis zu einem Arbeitsdruck von 250 Bar (25 MPa) verwendet werden. Die Packer sind entweder mit dem Kugelschmiernippel, der die Funktion eines Gegendruckventils sichert, oder mit

einer M8-Schraube nach der Version ohne einen Gegendruckventil abgeschlossen. Die APD können mit Flachkopfnippel mit Durchmesser von 16 mm versehen werden. [17]

Kunststoffinjektoren

Sie werden für eine drucklose und Niederdruckinjektage bis 100 Bar (10 MPa) verwendet. Sie werden meistens bei Injektagen im Ziegelmauerwerk verwendet.



Abbildung 54: Übersicht Kunststoffparker [17]

Sie sind in der Bezeichnung Injektor 12 mm lieferbar. Die Länge dieser Injektoren beträgt 72 mm. Der Aussendurchmesser über den Grat ist 14 mm, der Körper des Injektors hat den Durchmesser von 10 mm.

Die Bohrungen für Besetzung der Kunststoffinjektoren 12 mm werden mit Bohrer mit Durchmesser von 12 mm durchgeführt. [17]

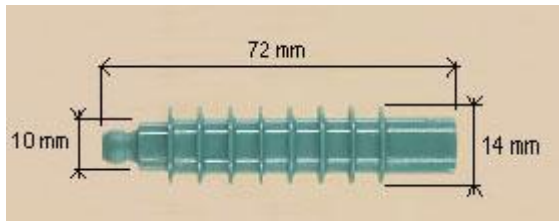


Abbildung 55: Kunststoffparker im Detail [17]

Schlaginjektoren haben ein Gegendruckventil. Sie sind auch ohne Gegendruckventil lieferbar. Beide Varianten werden farbig unterschieden

- Kunststoffinjektor mit Kugel - grün
- Kunststoffinjektor ohne Kugel - grau

Klebepacker

Die Klebepacker werden aus einer Zähkunst oder aus einem Metallstoff erzeugt. Sie sind zur Injektion dort bestimmt, wo es nicht möglich ist, die Bohrungen durchzuführen.

Die Werte verwendeter Injektionsdrücke sind durch das verwendete Verbindungsmaterial beschränkt. **[17]**



Abbildung 56: Klebeparker [17]

Die Packer sind mit einem Kugelschmiernippel abgeschlossen, der die Funktion eines Gegendrucksventils sichert. Der Anschluss zum Schlauch der Injektionspumpe wird mittels eines Futterverbindungsstücks durchgeführt.

Injektionsmittel

Aquilex EP- IN-01 bis EP- IN-04

Aquilex EP sind lösemittelfreie, unpigmentierte 2 K-Systeme auf Epoxid-Flüssigharzbasis mit formuliertem Arminhärter zur Verpressung von Rissen in Stahl- und Spannbetonbauteilen und zur Mauerwerksverfestigung, sowie zur Reparatur von rissgeschädigten Bauteilen aus Beton, Magnesit- und Zementestrich. [34]

Eigenschaften

- Gutes Kriechverhalten, so dass auch feinste Kapillaren gefüllt werden.
- Beständig gegen verdünnte Säuren und Laugen sowie gegen Salzlösungen, Mineralöle und aliphatische Kohlenwasserstoffe. Beständig gegen Durchfeuchtung von rückwärts, ausgenommen EP-IN-04 **[34]**

Verarbeitung

Einbau der Packer

Verdämmung der Risse

Rissinjektion: Nach Herstellervorschrift gemischtes AQUILEX EP-IN innerhalb der angegebenen Verarbeitungszeiten mit einem entsprechenden Injektionsgerät verpressen. Die Injektion sollte am niedrigsten Punkt beginnen und am höchsten enden. Zur Vermeidung von Lufteinschlüssen nur von einer Seite aus verpressen. Entfernen der Packer und der Verdämmung. **[34]**

Verpresspumpen

IVS-Injektions-Kolben-Pumpe

Es handelt sich um eine Kolbenpumpe, die für die klassische Mikroinjektion auf die Einkomponentenharze angepasst ist.

Der Antrieb von dieser Pumpe erfolgt durch eine Bohrmaschine. **[17]**



Abbildung 57: IVS Pumpe mit Antrieb [17]

Die IVS-Pumpe ist stufenlos regelbar von 0 bis 250 Bar (0 - 25 MPa). Die Menge des Transportgutes unterscheidet sich nach der Harzviskosität von 0.7 bis 1 Liter pro Minute. Das Gewicht der Pumpe ohne Antrieb beträgt 6 kg, was einen einfachen Transport zur Arbeitsstelle und Handhabung mit dieser Pumpe ermöglicht. Als Fülltrichter können die PET-Flaschen verwendet werden.

Der Handbetrieb zur IVS (Klinke) ermöglicht Abschöpfung des Injektionsmaterials aus der IVS-Injektions-Pumpe im Fall des Bohrmaschinedefekts oder beim Abbruch der Elektroenergielieferung. Hiermit werden die Reaktion des Injektions-Materials in der Pumpe und die daraus folgenden komplizierten und kostbaren Reparatur verhindert. [17]



Abbildung 58: Handantrieb für IVS – Pumpe [17]

IVC-Injektions-Zement-Pumpe

Es handelt sich um eine Spindelpumpe, die für die klassische Mikroinjektion auf die Zementmischungen mit Niederabrasion und ohne Sedimentationszusätze angepasst ist.



Abbildung 59: IVC – Pumpe [17]

Die Pumpe hat eigenen Antrieb für 230 V, sie erreicht den Druck bis 10 Bar (1 MPa). Die Menge des Transportgutes unterscheidet sich nach der Viskosität zirka 30 l/min. Das empfohlene Verhältnis von Zement und Wasser ist stofflich 1,75 - 2,8 : 1 (inhaltlich 1,25 - 2 : 1).

Manuelle Injektionspumpe

Es handelt sich um eine manuelle Injektionspumpe mit dem Inhalt von 1 Liter. Sie ist für kleine Injektionsumfänge dort bestimmt, wo sich kein Stromanschluss befindet. [17]



Abbildung 60: Handpumpe [17]

Bestandteil dieser Pumpe sind ein 500 mm Injektionsschlauch und ein Futterverbindungsstück.

Zubehör

Druckvorratsschläuche

Sie werden aus Silikon erzeugt. Sie sind für Injektionsdrücke bis 3 Bar (0,3 MPa) bestimmt. Die Druckvorratsschläuche sind für die Injektionsarten bestimmt, wo es notwendig ist, nach der Abtrennung des Druckschlauches von der Injektionspumpe einen zusätzlichen Druck zur Nachinjektion der Arbeitsstelle oder zur Überprüfung durch Investor zu entwickeln, was für eine Stoffsorte in die Arbeitsstelle injiziert wurde. Die Druckvorratsschläuche sind mit einem Signlraster versehen. [17]



Abbildung 61: Druckvorratsschlauch [17]



Abbildung 62: Druckvorratschlauch [17]

Die Druckvorratsschläuche werden auf:

- Klebepacker angeschlossen.



Abbildung 63: Klebeparker mit Druckvorratsschlauch [17]

- Stahlinjektionsparker angeschlossen.



Abbildung 64: Stahlinjektionsparker mit Druckvorratsschlauch [17]

8.1.4 Sanierung der Einspannstelle

In den meisten Fällen wird neben der Sanierung des Stiegenlaufes die Einspannstelle auf Grund von fehlendem Mörtel im Mauerwerk mitsaniert. Der fehlende Mörtel im Mauerwerk hat einen Festigkeitsverlust zur Folge.

Sanierung in der Praxis

Im zu verfestigenden Mauerwerk werden Bohrungen mit einem Durchmesser von 13 bis 14mm hergestellt, und zwar pro Stufe jeweils drei Bohrlöcher an der Einspannstelle bei Laufunterseite, Trittstufe und Setzstufe. Die Anordnung erfolgt unter einem Winkel von 60°-75° zur Oberfläche geneigt. Die Bohrlöcher werden in einem Raster von ca. 20 x 20cm bzw. angepasst an die örtlichen Gegebenheiten angeordnet. Die Bohrlänge wird auf die Anzahl der Ansichtsflächen abgestimmt. Der Verbrauch liegt ungefähr bei 44,5Stk/m² je Ansichtsseite. Die Reinigung der Injektionskanäle und Risse erfolgt durch Ausblasen mit ölfreier Druckluft.

Schraubpackern mit einem Durchmesser von ca. 13mm, inklusive Rückschlagventil im Kugelkopfnippel, werden durch Verspannung der Injektionskanäle montiert. Im Anschluss wird der Untergrund gereinigt eine flächige Verdämmung für Stoss- und Lagerfugen, sowie Risse aufgebracht. [9]

Mauerwerksverfestigung auf Zementbasis

- Herstellen des Bohrrasters 20 x 20 cm, Bohrdurchmesser 13 bis 14mm,Bohrtiefe ca. 2/3 der Mauerwerkstärke im Ziegelmauerwerk.
- Aussaugen des Bohrkanals
- Einbringen der Injektionsvorrichtungen
- Herstellen des Dämmputzes
- Injizieren mit einen speziellen kunststoffvergütetem, nicht schrumpfenden Microfeinst- zementemulsion.
- eingerechneter Microzementverbrauch 100 l/m³.
- entfernen der Packer, verschließen der Bohrlöcher [9]

Mauerwerksverfestigung mittels Injektion auf Kunstharzbasis

Vorgang wie zuvor beschrieben. Materialangaben siehe Kapitel 8.1.3 Fehlender Fugenmörtel.

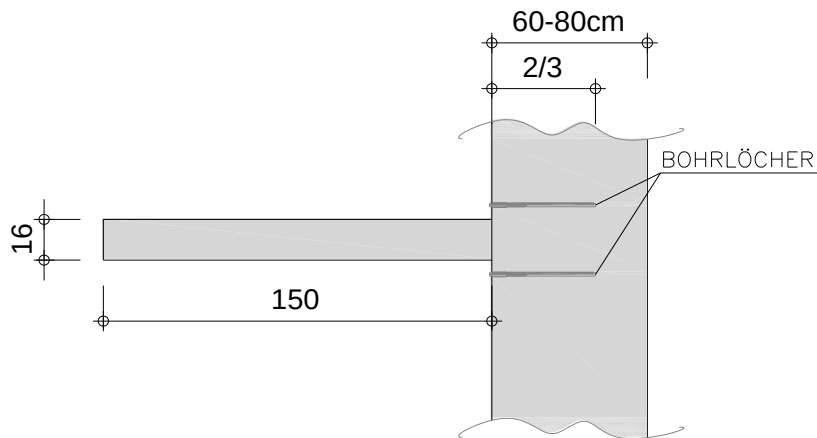


Abbildung 65: Anordnung der Bohrlöcher 1

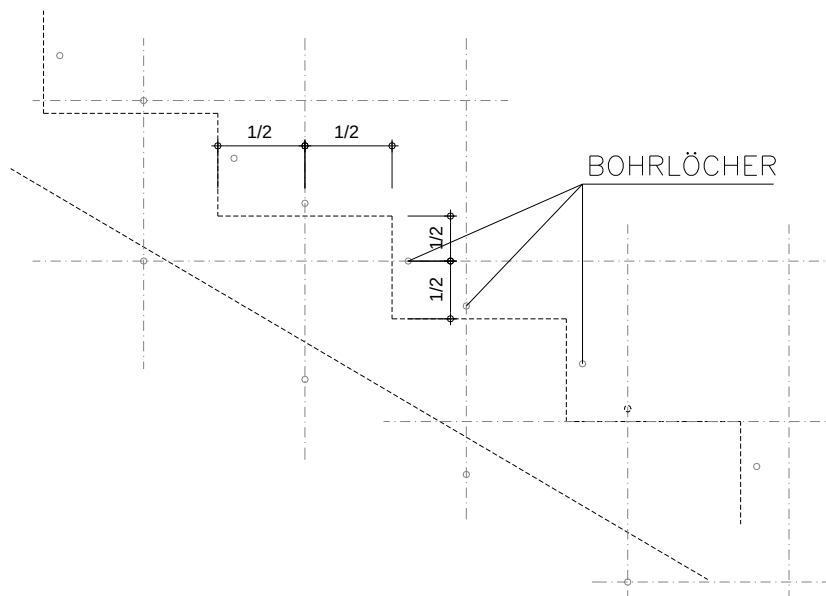


Abbildung 66: Anordnung der Bohrlöcher 2

8.1.5 Sanierung und Verstärkung der Stiege

Bevor auf die Sanierung mittels CFK - Lamellen bzw. CFK - Gewebe eingegangen wird, muss festgehalten werden, dass diese Sanierungsmethode ausschließlich bei einem zweiseitig aufliegenden statischen System angewendet werden kann.

Bei der Sanierung mittels CFK – Lamellen werden 2 Systeme unterschieden:

- Systemaufbau Sika Carbo Dur + Sikadur 30 oder Sikadur 30 LP
- Systemaufbau SikaWrap®-230C + Sikadur®-330

Systemaufbau Sika Carbo Dur + Sikadur 30 oder Sikadur 30 LP

Die einzelnen Systemkomponenten sind aufeinander abgestimmt und dürfen nicht ausgetauscht werden.

Verbrauch

Der Klebstoffverbrauch hängt von der Ebenheit der Oberfläche, deren Rauigkeit und dem Materialverlust ab. Der tatsächliche Verbrauch kann in Abhängigkeit von der Oberfläche höher sein.

Untergrundvorbereitung

Beton und Mauerwerk

Der Untergrund muss tragfähig, trocken, sauber und frei von Zementschlämme, Eis und stehendem Wasser sein; Fett, Öl, alte Nachbehandlungsmittel oder Anstriche müssen entfernt werden.

Der Beton muss so vorbereitet werden, dass das Korngerüst sichtbar wird. Dies kann durch Sandstrahlen, Hochdruckwasserstrahlen, Stocken oder Schleifen mit einem Diamantschleifer durchgeführt werden.

Reparatur- und Egalisierungsarbeiten müssen mit dafür zugelassenen Materialien

– z.B. Sikadur-41 oder Sikadur-30 (max. 1:1 mit Sikadur 501 Quarzsand gefüllt) – vorgenommen werden; liegt zwischen der Reprofilierung bzw. Egalisierung eine Wartezeit von mehr als 2 Tagen, ist die so hergestellte Oberfläche wieder leicht anzustrahlen, um eine einwandfreie Haftung von Sikadur-30 auf dem Untergrund zu gewährleisten. **[31]**

Holz

Bauteile aus Holz müssen vor der Verstärkung gehobelt oder geschliffen werden; der dabei anfallende Staub muss abgesaugt werden.

Stahl

Muss im Vorbereitungsgrad Sa 21/2 vorbereitet werden sowie frei von allen haftungsmindernden Kontaminierungen sein. Dieser Vorbereitungsgrad gilt bei Verwendung eines Primers (Icosit 277 Stahllaschenprimer); wird ohne Primer gearbeitet, ist im Vorbereitungsgrad Sa 3 vorzubereiten.

Verarbeitungsmethode /-geräte

Die Sika CarboDur Lamelle wird auf eine Arbeitsunterlage aufgelegt und auf der nicht bedruckten Seite mit einem weißen/hellen Tuch, das vorher mit Sika Colma Reiniger getränkt wurde, gereinigt. Der bereits gemischte Kleber Sikadur-30 wird entweder mit einer Spachtel oder mit dem "Sika Kleberschlitten" dachförmig auf die gereinigte Lamelle aufgetragen (Kleberstärke 2-3 mm). Der vorbereitete Untergrund wird ebenfalls mit einer dünnen Spachtellage (Kratzspachtelung) versehen.

Innerhalb der Offenzeit des Klebers ist die so behandelte Lamelle an die vorbehandelte Betonoberfläche "anzuheften"; mit einer geeigneten Rolle wird die Lamelle sorgfältig angedrückt und zwar so, dass der Kleber an beiden Rändern der Lamelle austritt und eine Schichtstärke von ca. 2 mm gegeben ist. Der überschüssige Kleber ist zu entfernen und zu entsorgen. **[31]**

Kreuzungspunkte / mehrlagige Verstärkung

Wenn Kreuzungspunkte auszuführen sind, ist die 1. Lage mit Sika Colma Reiniger zu entfetten, bevor sie mit Kleber beaufschlagt wird und die 2. Lamelle geklebt wird. Dies gilt ebenfalls sinngemäß für die mehrlagige (max. 2 Lagen) Verarbeitung.

Qualitätssicherung

Vor Ort können Probestücke hergestellt und angebracht werden, um die Aushärtung des Klebers und die Haftung zu kontrollieren.

Durchschnittswerte Kleber nach 7 Tage Aushärtung bei 23°C

- Druckfestigkeit > 75 N/mm²
- Biegezugfestigkeit > 35 N/mm²

Diese Werte können bis zu 20% variieren. Die nachfolgenden Punkte sind die wichtigsten Faktoren, die die mechanischen Eigenschaften (negativ) beeinflussen:

- zu hoher Luftgehalt im Probestück (Lufteinschluss im Kleber)
- Aushärtetemperatur
- Aushärtezeit
- Klebefläche verschmutzt

Es ist dafür Sorge zu tragen, dass diese negativen Einflüsse vermieden werden. Zur Kontrolle der fachgerechten Ausführung der Verstärkungsmaßnahmen ist es für spätere Haftzugversuche zweckmäßig, Lamellenabschnitte mit einer Länge von 15 - 25 cm neben die tragende Lamelle zu kleben. Die Anzahl dieser Probestücke hängt von der Projektgröße ab und ist vom Auftraggeber zu fixieren.

[31]

Brandschutz

Wenn gefordert, können Sika CarboDur-Lamellen mit einem Brandschutzsystem verkleidet werden (siehe auch 'Brandschutztechnische Beurteilung mit Promatect Platten', TU-Baraunschweig).

Hinweise zur Bemessung

Die Sika CarboDur-Lamelle weist keine plastische Verformungsreserve auf. Daher wird der größte Biegezugwiderstand eines verstärkten Querschnittes dann erreicht, wenn ein Lamellenbruch während des Stahlfließens und vor dem Betonbruch eintritt. Die Bruchart wird durch den Lamellenquerschnitt beeinflusst. Um Rissbreiten und Verformungen zu beschränken, sollen im Gebrauchszustand die Fließdehnungen in den Bewehrungsstäben nicht erreicht werden. Verhindert werden muss, dass auftretende Schubrisse zu einem Versatz an der verstärkten Oberfläche und damit zu einem Abscheren der Lamelle führen. Spannungs- und Verformungsberechnungen lassen sich mit den üblichen Methoden durchführen. Für die Vorbemessung kann von der Sika Österreich GmbH. Ein Bemessungsprogramm zur Verfügung gestellt werden. [31]

Sika® CarboDur® Lamellen

Beschreibung

Sika Carbo Dur Lamellen sind pultrudierte Kohlefaserlamellen, die für die Verstärkung von Stahl- und Spannbeton, sowie für Holzbauteile und Mauerwerk konzipiert sind.

Die Sika Carbo Dur Lamellen werden auch als externe Verstärkungsglieder mit Sikadur-30 auf das Bauteil aufgeklebt.

Anwendung

Sika CarboDur eignet sich für das Verstärken von Bauwerken aus Stahl- und Spannbeton sowie Stahl und Holz bei:

Erhöhungen der Lasteinwirkungen

- Vergrößerung der Nutzlasten bei Decken und Balken
- Größere Verkehrsaufkommen bei Brückenbauwerken
- Einbau von größeren Maschinen in Industriegebäuden
- Schwingende Bauteile
- Umnutzungen

Schäden an Tragwerksteilen

- Alterung von Baustoffen
- Korrosion der Stahlbewehrung
- Aufprall von Fahrzeugen
- Brandfall
- Erdbeben

Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit

- Verringerung der Verformungen
- Reduktion der Spannungen in der Stahlbewehrung
- Verkleinerung der Rissbreiten
- bei Ermüdungserscheinungen

Änderung des statischen Systems

- Eliminierung von Wänden oder Stützen
- Entfernen von Deckenabschnitten für Aussparungen

- Auswechselbewehrung bei Deckenausschnitten
- Fehler bei der Projektierung oder Ausführung
- Bewehrungsquerschnitte zu gering
- Bauteilhöhen nicht ausreichend **[31]**

Externe Vorspannung

Soll unter Zuhilfenahme von Kohlefaserlamellen extern vorgespannt werden, stehen mit dem Sika LEOBA Carbo Dur (SLC II, III) - System und dem Sika Carbo Stress-System zwei Verfahren zur Verfügung.

Vorteile

- Geringes Eigengewicht
- Beliebige Lieferlängen, keine Stöße notwendig
- Minimale Bauhöhe
- Leicht transportierbar (Rollen-Ø 0,90 m)
- Geringe Vorbehandlung der Sika Carbo Dur-Lamellen (nur reinigen)
- Einfache Lamellenkreuzungen möglich (keine Futterlamellen)
- Wirtschaftliche Applikation ohne Hebezeuge oder Anpressvorrichtungen
- Korrosionsbeständig
- Alkalibeständig
- Sehr hohe Festigkeit
- Dank Pultrusion keine freien Fasern am Rand
- Verschiedene Elastizitätsmodule
- Ausgezeichnetes Verhalten bei Ermüdung
- Egalisierung der Betonoberfläche möglich
- Abdecken mit Farbanstrichen ohne Vorbehandlung
- Keine Unterstützung erforderlich **[31]**

Sikadur®-30 Armierungskleber

Beschreibung

Sikadur 30 ist ein lösemittelfreier, thixotroper 2-Komponenten-Epoxidharzmörtel zum kraftschlüssigen Verkleben von Beton, Stahl und Kohlefaserlamellen (CFKLamellen) bei Temperaturen zwischen +8°C und +35°C.

Anwendung für das kraftschlüssige Verbinden

von Stahllamellen auf Beton und Stahl

- Kohlefaserlamellen (CFK) auf Beton und Stahl
- Betonelementen
- Brückenteilen
- Randsteinen auf Beton

Für das Einkleben von

- Anschlussstählen
- Halterungen

Zum Ausspachteln vertikal und über Kopf von

- Löchern
- Maßtoleranzen

Vorteile

- Auf mattsfeuchte Betonflächen applizierbar
- Standfest an der Vertikalen und über Kopf
- Gute Temperaturbeständigkeit

- Hohe Kriechbeständigkeit unter Dauerlast
- Hohe mechanische Festigkeiten **[31]**
- Keine flüchtigen Bestandteile
- Ausgezeichnete Haftung am Untergrund
- Hohe Abrasions- und Stoßfestigkeit
- Schwindfreies Aushärten

Systemaufbau Sika CarboDur System

Für die Verarbeitung der Sika CarboDur CFK-Lamellen mit dem Systemklebstoff Sikadur-30 ist das Technische Merkblatt von Sika CarboDur zu beachten.

Schutzmassnahmen

Sikadur-30 kann Hautreizungen (Dermatose) hervorrufen. Schutzkleidung tragen (Handschuhe, Brille). Die Hände müssen vor Arbeitsbeginn mit Schutzcreme einrieben werden. Bei Kontakt mit Augen oder Schleimhäuten müssen diese gründlich mit warmem, sauberem Wasser gespült und dann sofort ein Arzt aufgesucht werden.

Ökologie

In unausgehärtetem Zustand ist Sikadur-30, Komp. A + B, wassergefährdend und darf deshalb nicht in die Kanalisation, in Gewässer oder ins Erdreich gelangen. Reste von Colma-Reiniger und Sikadur-30 müssen in jedem Fall ordnungsgemäß entsorgt werden. **[31]**

Systemaufbau SikaWrap®-230C + Sikadur®-330

SikaWrap®-230C

Kohlenstofffasergewebe für statische Verstärkungen

Beschreibung

SikaWrap-230C ist ein unidirektionales Kohlenstofffasergewebe für die Trockenapplikation.

Anwendung

Verstärken von Tragwerken aus Stahlbeton, Mauerwerk und Holz für Biege- und Schubbeanspruchung.

Einsatzgründe

- Erhöhung der Nutzlasten
- Nutzungsänderungen / Umnutzungen
- Reparatur von Schäden
- Erfüllen von geänderten Normen und Vorschriften
- Erhöhung der Druckfestigkeit von Stahlbetonstützen

Vorteile

- Vielfältige Einsatzmöglichkeiten als Schub- und Biegeverstärkung
- Verwendung eines thixotropen Imprägnierharzes für eine einfache Handhabung
- auf der Baustelle
- Zwei Gewebebreiten für optimalen Materialeinsatz

- Flexibel in der Anwendung auch auf gekrümmten Flächen wie Säulen und Kaminen
- Ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit
- Dünner Auftrag auch bei Anwendung von zwei Lagen
- Maßgeschneidertes Orientieren der Faserachsen **[31]**

Die Untergrundvorbereitung bzw. Vorbehandlung des Betonuntergrundes erfolgt durch Sandstrahlen oder Schleifen. Anschließend sind lose Teile und Staub mit einem Industriestaubsauger zu entfernen. Der Untergrund muss sauber, fett- und ölfrei und trocken (maximale Untergrundfeuchte 4%) sein.

Die zu verklebenden Oberflächen müssen eben sein, lokale Absätze dürfen maximal 0,5 mm betragen. Größere Unebenheiten sind mit einer Mischung aus Armierungskleber Sikadur-30 und Quarzsand Sikadur-501 (Mischungsverhältnis 1 : 1 Gew.-Teile) oder mit Sikadur 41 zu reprofilieren.

Die Haftzugfestigkeit des zu verstärkenden Untergrundes muss an jeder Stelle mindestens 1,0 N/mm² betragen.

Bauteilecken müssen mit einem Radius von mindestens 20 mm versehen werden. Dies kann beispielsweise durch Schleifen mit einem Diamantschleifer erfolgen.

Verarbeitungsmethode- bzw., geräte

- Zuschneiden des Gewebes mittels Schere oder Messer und Lineal.
- Auftragen des gemischten Harzes Sikadur-330 auf den vorbereiteten Untergrund mittels Kelle oder Bürste. Materialauftrag ca. 0,7 bis 1,2 kg/m², je nach Rauigkeit.
- Auflegen des Gewebes SikaWrap-230C in der gewünschten Richtung in die vorbereitete Harzschicht. Mit dem Sika Imprägnierroller aus Kunststoff das Gewebe in das Harz einlaminieren, bis dieses zwischen den Faserbündelnaustritt. Material mit dem Roller verteilen, bis eine homogene

Struktur vorliegt (Laminierichtung = Faserrichtung!).

- Applikation von mehreren Lagen Gewebe: erneutes Auftragen von Harz, Verbrauch ca. 0,5 kg/m². Dies hat innerhalb von 60 Min. (bei +20°C) nach der Applikation der vorherigen Lage zu erfolgen. Falls dies nicht möglich ist, muss vor einer weiteren Beschichtung mindestens 12 Stunden gewartet werden. [31]
- Als Decklage kann eine weitere Schicht Harz von ca. 0,5 kg/m² aufgetragen und als Haftbrücke für zementöse Beschichtungen mit Quarzsand eingesandet werden. Falls als spätere Beschichtung ein Farbanstrich vorgesehen ist, kann die noch frische Harzoberfläche mit einer Traufel abgezogen werden.

Weitere Hinweise

- In Faserrichtung muss die Überlappungslänge des Gewebes mindestens 100 mm betragen.
- Beim seitlichem Aneinanderreihen von mehreren Gewebekbahnen ist keine Überlappung notwendig.
- Bei tiefen Applikationstemperaturen und/oder hoher Luftfeuchtigkeit kann sich eine leicht klebrige Oberfläche ausbilden. Vor einer Beschichtung oder Applikation von weiteren Gewebelagen auf das ausgehärtete Material (älter als 12 Std.) muss diese wie folgt entfernt werden: Abwaschen mit einem wassergetränkten Schwamm oder Abspritzen mit reichlich Wasser. - Gemischte Harzreste von Sikadur-330 dürfen nur in Metallgefäßen in einer Maximalmenge von 1 kg ausgehärtet werden.
- Direkte Sonnenbestrahlung auf die Verstärkung muss vermieden werden. In diesem Fall ist eine helle Beschichtung anzubringen (z.B. Sikagard-550 W Elastic oder Sikagard- ElastoColor W). Vorgängig ist die mindestens 12 Stunden lang ausgehärtete Harzschicht mit Wasser abzuwaschen und trocknen zu lassen.
- Die maximal zulässige Gebrauchstemperatur beträgt +50°C.
- Die Umgebungs- und Untergrundtemperatur müssen während der

Applikation mindestens 3°C über dem Taupunkt liegen.

- Zumindest 12 Stunden nach der Applikation ist das Imprägnierharz vor Beregnung zu schützen.
- Die Applikation des Kohlefasergewebes darf nur von erfahrenen und vom Materialhersteller geschulten Verarbeitern durchgeführt werden. **[31]**
- Die Verarbeitung muss innerhalb der Topfzeit von Sikadur-330 erfolgen.

Sikadur®-330

2-komponentiges Epoxy Imprägnierharz

Beschreibung

Sikadur-330 ist ein 2-komponentiges, lösemittelfreies, thixotropes Imprägnierharz auf Epoxy-Basis

Anwendung

Imprägnierharz für Verstärkungen mit dem Kohlefasergewebe SikaWrap-230C bei Trockenapplikationen

- Grundierharz für Nassapplikationen
- Klebstoff für die Verklebung von Sika CarboDur Kohlefaserlamellen bei ebenen Untergründen

Vorteile

- Leicht zu mischen und mit einer Zahntraufel oder einem Imprägnierroller aufzutragen
- Für die händische Benetzung von Geweben entwickelt
- Hervorragende Verarbeitungseigenschaften auf vertikalen Flächen und über Kopf

- Gute Haftung auf vielen Untergründen
- Hohe mechanische Festigkeiten
- Keine eigene Grundierung erforderlich
- Lösemittelfrei

Verarbeitungsbedingungen

- Verarbeitungstemperatur Untergrundtemperatur: +10°C bis +35°C
- Umgebungstemperatur: +10°C bis +35°C **[31]**
- Untergrundfeuchtigkeit ≤ 4% Feuchtigkeitsgehalt
- Taupunkt Auf Kondenswasserbildung achten!
- Während der Verarbeitung von Sikadur-330 muss die Lufttemperatur mindestens 3°C über der Taupunkttemperatur liegen.

Vorbereitungsarbeiten

Vor der Verarbeitung sind Untergrundfeuchtigkeit, relative Luftfeuchtigkeit und Temperatur zu messen und der Taupunkt zu bestimmen. Außerdem muss die Abreissfestigkeit des Betons geprüft sein ($> 1,0 \text{ N/mm}^2$). Mit einer Schere oder einem Stanley-Messer wird das Gewebe in die erforderlichen Abmessungen zugeschnitten. Dabei ist darauf zu achten, dass das Gewebe niemals gefaltet wird. Es darf nur in Faserrichtung aufgerollt werden. Auftragen des Imprägnierharzes Sikadur-330 wird entweder mit einer Zahntraufel, einem Roller oder einer Bürste auf den Untergrund aufgetragen.

Aufbringen des Gewebes und Laminieren

Anschließend wird das Gewebe in der erforderlichen Richtung auf den Klebstoff gelegt und dann mit dem oben dargestellten Imprägnierroller aus Kunststoff in das Laminierharz eingearbeitet, bis das Harz an der Oberfläche des Gewebes wieder austritt. Dabei wird das Harz ohne große Krafteinwirkung mit dem Roller gleichmäßig auf der Oberfläche verteilt.

Zusätzliche Gewebelagen

Wenn mehrere Lagen von SikaWrap-230C übereinander verlegt werden sollen, ist es erforderlich, Sikadur-330 nass in nass innerhalb von 60 Minuten nach dem Aufbringen der ersten Lage erneut aufzurollen. Falls dies innerhalb der 60 Minuten nicht möglich sein sollte, ist eine Wartezeit von wenigstens 12 Stunden einzuhalten, bevor eine weitere Lage aufgebracht werden kann. **[31]**

Durch Stahlbänder

Eine weitere Möglichkeit, eine kraftschlüssige Verbindung der Einzelstufen herzustellen, besteht darin, Stahlbänder an der Außenkante bzw. an der Stufenunterseite anzubringen. **[21]**

8.1.6 Risse an einzelnen bzw. mehreren Stufen

Wurden im Zuge der Konstruktionsuntersuchung Risse an der einzelnen Stufe festgestellt, wobei keine oder minimale Verschiebungen der Rissflanken erkennbar sind, erweist sich das Verkleben der Risse (durch Kunstharzinjektion) und die Sicherung des Zugrandes durch Einkleben von Bewehrungsstäben in eingefräste Nuten als günstig. Durch geeignete Nachbearbeitung der Oberfläche ist diese Sanierung im nachhinein kaum erkennbar. [22]

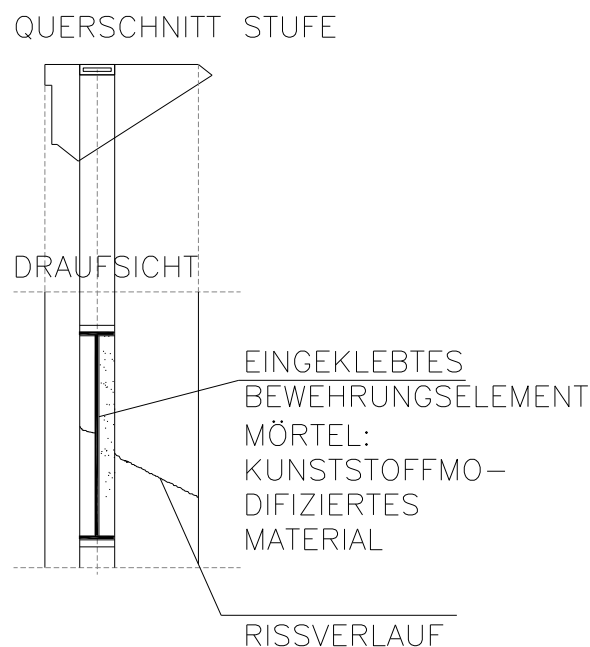


Abbildung 67: eingeklebtes Bewehrungselement [22]

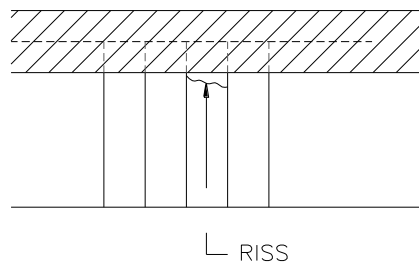
Werden Risse, welche zu Folge haben dass die Tragsicherheit nicht mehr gegeben ist, bei der Einspannstelle einer Stufe festgestellt so muss diese Stufe ausgetauscht werden. Da das Auslösen einer Stufe und das Einbauen einer Natursteinstufe wegen der gegenseitigen Verspannung vor allem bei gewundenen Stiegenläufen Probleme verursachen, wird anstelle einer Natursteinstufe eine Stahlbetonstufe eingesetzt. Hierbei ist jedoch zu erwähnen, dass auf Grund der

Materialänderungen Probleme in Bezug auf das Erscheinungsbildes auftreten können. Jedoch ist es möglich, durch farbliches Ausgleichen der Stahlbetonkonstruktion und durch steinmetzmäßige Nachbehandlung, den Eindruck einer Natursteinstufe zu erzielen. [28]

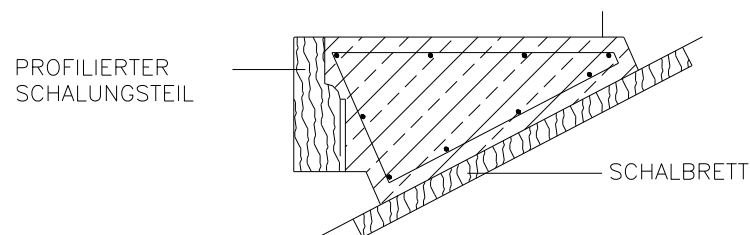
Eine Alternative zum Stiegenaustausch besteht darin, eine Unterfangung des gesamten Stiegenlaufes mit Hilfe einer Spritzbetonplatte, welche auf der Stiegenhausmauer und auf den Sekundärträgern aufgelagert wird, vorzunehmen.

In weitere Folge wird nun die Vorgangsweise beim Austausch angeführt.

EINZELNE STUFE GERISSEN



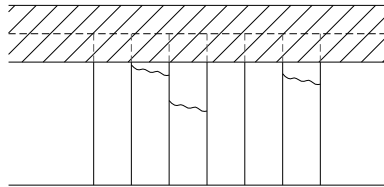
1. SICHERUNG DES STIEGENAUFLAGERS
2. AUSBRUCH DER STUFE
3. ERSATZSTUFE AUS STAHLBETON



4. ENTFERNUNG DER SICHERUNG UND
STEINMETZTMÄSSIGE NACHBEHANDLUNG

Abbildung 68: einzeln gerissene Stufe, Schadensfall und Sanierung [19]

BESCHÄDIGUNGEN
(ANRISSE) MEHRERER
STUFEN:



ABSENKUNG EINZELNER
STUFENENDEN

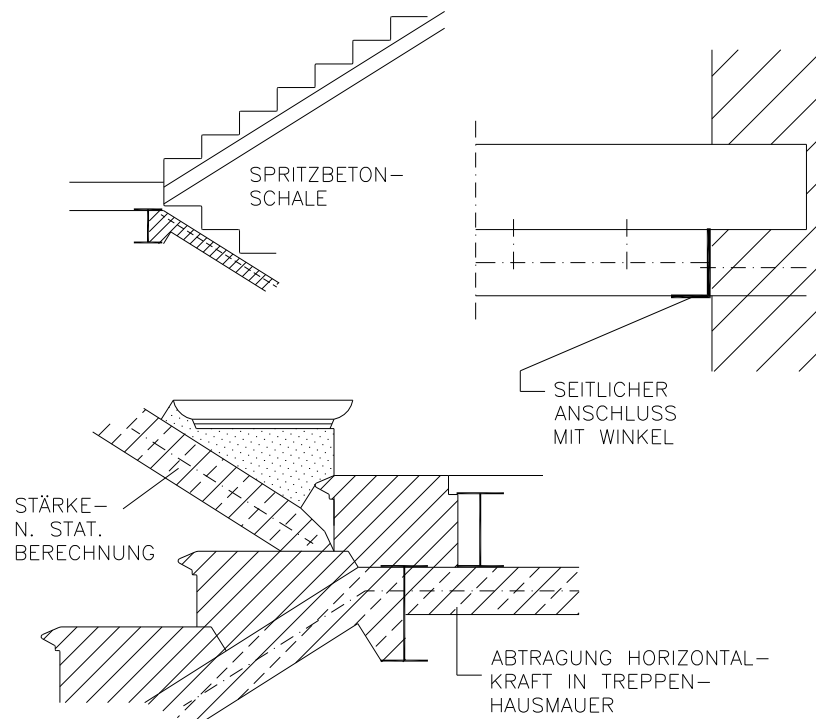
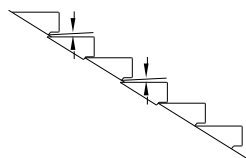


Abbildung 69: Beschädigung mehrer Stufen [19], [20]

8.1.7 Tausch einer beschädigten Stufe

Nachweis der Zug und Druckspannungen einer Steinstufe

Querschnittswerte



Abbildung 70: Naturaufnahme Stiegenquerschnitt 1



Abbildung 71: Naturaufnahme Stiegenquerschnitt 2



Abbildung 72: Naturaufnahme Stiegenquerschnitt 3



Abbildung 73: Naturaufnahme Stiegenquerschnitt 4

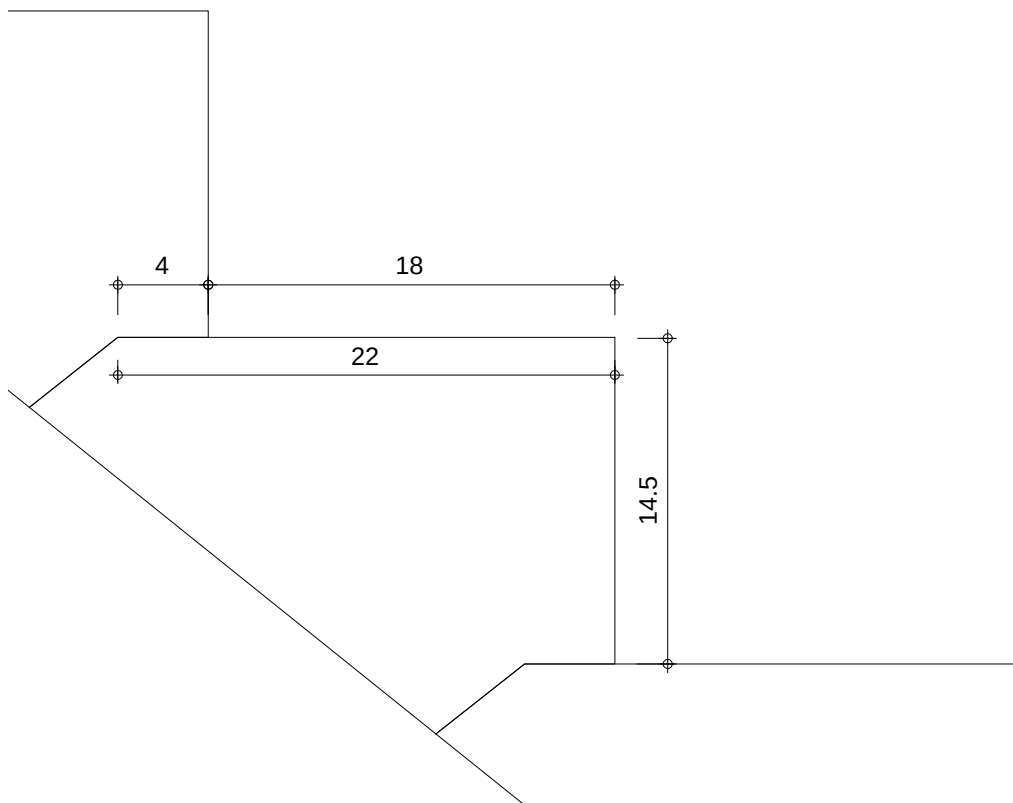


Abbildung 74: Stiegenquerschnitt 5

Die Rechenergebnisse werden mittels EDV Unterstützung ermittelt:

$$\gamma = 22,00 \text{ kN} / \text{m}^3$$

$$A = 0,029 \text{ m}^2$$

$$I_x = 5334 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 11942 \text{ cm}^4$$

$$i_{xo} = 7,75 \text{ cm}$$

$$i_{xu} = 10,55 \text{ cm}$$

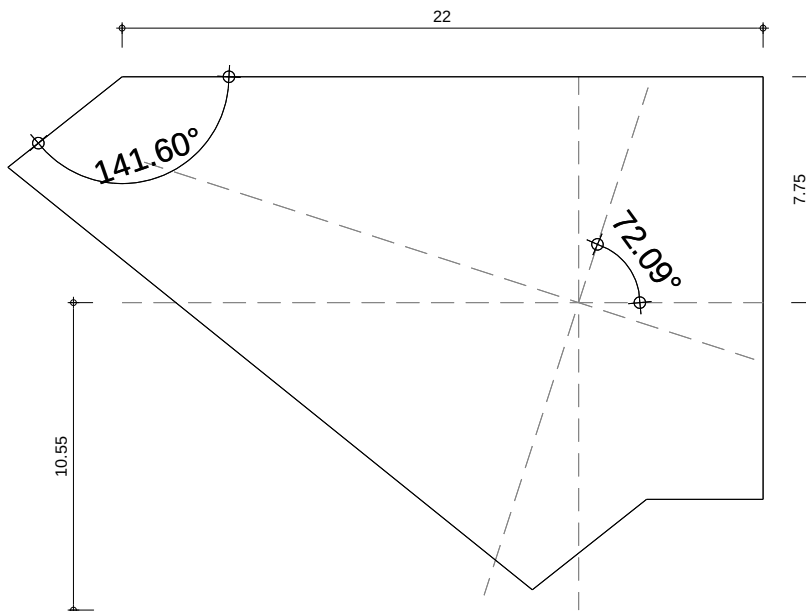


Abbildung 75: Ergebnisse der Querschnittsberechnung

Belastung

Eigengewicht

$$g = \gamma \cdot A$$

$$g = 22 \text{ kN} / \text{m}^3 \cdot 0,029 \text{ m}^2 = 0,65 \text{ kN} / \text{m}$$

Nutzlast

$$p = 3,00 \text{ kN/m}^2$$

Horizontale Kräfte bei Stieggeländer

$$H = 1,00 \text{ kN/m}$$

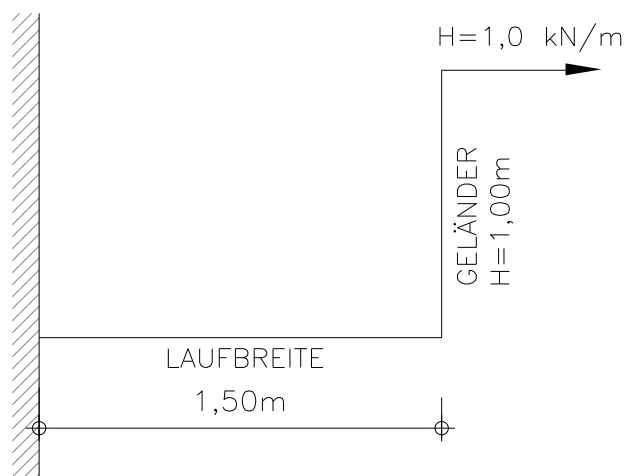
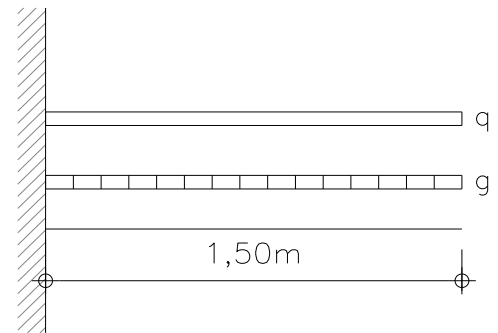


Abbildung 76: Statisches System inklusive Stieggeländer

Statisches System

$$W_{xo} = \frac{5334}{7,75} = 688,26 \text{ cm}^3$$

$$W_{xu} = \frac{5334}{10,55} = 505,59 \text{ cm}^3$$

Schnittkräfte

Da jede Verformung behindert ist, ist nur die Biegung um die x-Achse maßgebend. Es werde daher die Spannungen um diese Achse nachgewiesen.

$$m_{xp} = 3kN / m^2 \cdot 0,22m \cdot 1,5^2 \cdot \frac{1}{2} = 0,74kNm$$

$$m_{xg} = 0,653kN / m \cdot 1,5^2 \cdot \frac{1}{2} = 0,74kNm$$

$$m_{xH} = 1,00kN / m$$

$$\sum m_x = 0,74 + 0,74 + 1,00 = 2,48kNm \cong 248kNcm$$

Spannungsnachweis

$$\sigma_{xo} = \frac{m_x}{W_{xo}} = \frac{247kNcm}{688,26cm^3} = 0,36kN / cm^2 = 3,6N / mm^2 = 36kg / cm^2 \Rightarrow Zug$$

$$\sigma_{xu} = \frac{m_x}{W_{xu}} = \frac{247kNcm}{505,59cm^3} = 0,49kN / cm^2 = 4,9N / mm^2 = 4,9kg / cm^2 \Rightarrow Druck$$

Bei dem gewählten statischen System reißt der Stein. Daher muss es eine andere Lastabtragung geben, nämlich ein zweites statisches System in Form eines Gewölbes in Längsrichtung.

Nachweis Stiegenaustausch

Ein Stiegentausch kann unter folgenden Gründen erforderlich sein

- Viel Risse in der Stufe → statisch Bedenklich
- Ästhetische Gründe

Arbeitsvorgang beim Austausch der Stufe

Der Stiegenlauf wird an der Oberseite, Unterseite und an der Stirnseite komplett eingeschalt. Es bleibt nur die Stirnfläche der auszutauschenden Stiegen frei. Im Anschluss wird der gesamte Stiegenlauf mit Haupträger und Querträger unterstellt. Danach wird die Fuge der auszutauschenden Stiege herausgelöst und die beschädigte Stufe herausgezogen. Die neue Stufe wird eingesetzt und die die Fugen geschlossen.

Im Anschluss wird der Stiegenaustausch mit den dazugehörigen Berechnungen der Unterstellung erläutert.

Belastung

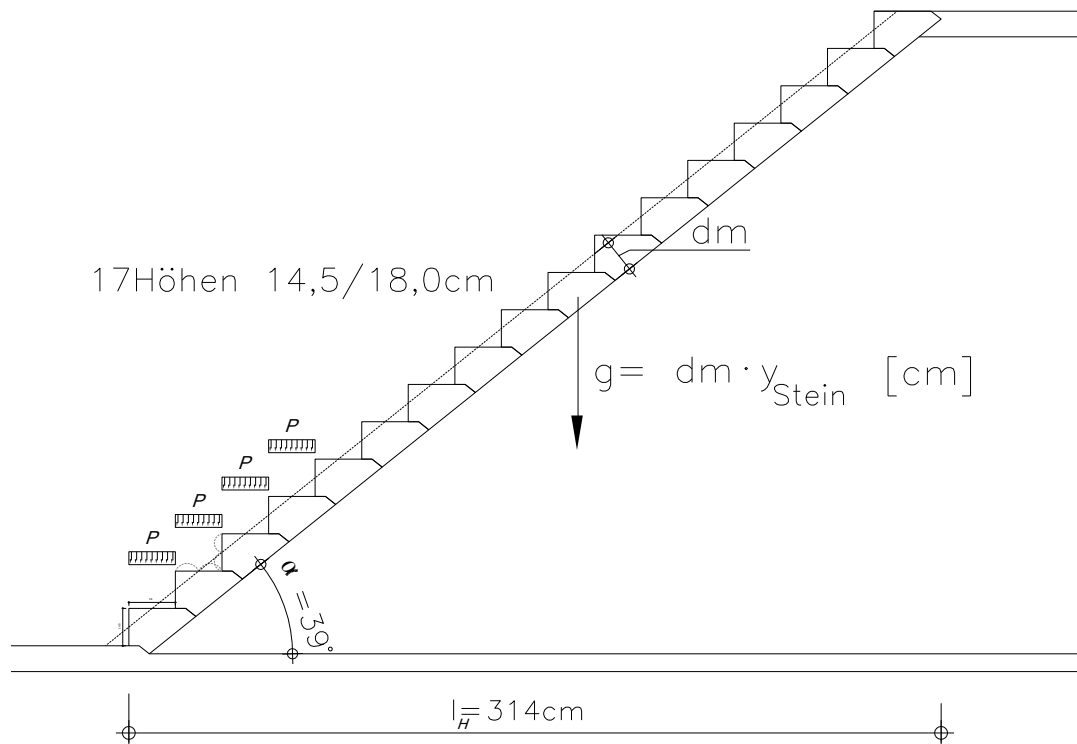


Abbildung 77: Lastaufstellung

$$\gamma = 22,00 \text{ kN} / \text{m}^3$$

$$A = 0,029 \text{ m}^2$$

$$d_m = 18 \text{ cm}$$

Eigengewicht

$$g = \delta_{\text{Stein}} \cdot d_m$$

$$g = 22 \text{ kN} / \text{m}^3 \cdot 0,18 \text{ m} = 3,96 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Nutzlast

$$p = 3,00 \text{ kN} / \text{m}^2$$

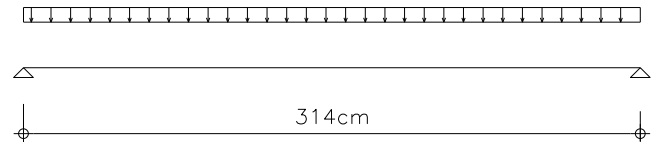
Statisches System

$$q = p + \frac{g}{\cos \alpha}$$

$$q = p + \frac{g}{\cos \alpha}$$

$$q = 3 \text{ kN} / \text{m}^2 + \frac{3,96 \text{ kN} / \text{m}^2}{\cos 39^\circ} = 8,10 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\bar{q} = 8,10 \text{ kN} / \text{m}^2 \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 0,5 = 6,07 \text{ kN} / \text{m}$$



Schnittkräfte

$$m = \frac{\bar{q} \cdot l_H^2}{8}$$

$$m = \frac{6,07 \text{ kN} / \text{m} \cdot 3,14 \text{ m} \cdot 3,14 \text{ m}}{8} = 7,48 \text{ kNm}$$

$$Q = \frac{\bar{q} \cdot l_H}{2}$$

$$Q = \frac{6,07 \text{ kN} / \text{m}^2 \cdot 3,14 \text{ m}}{2} = 9,53 \text{ kN} / \text{m}$$

Längsträger

Spannungsnachweis

Annahme:

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$h = 24 \text{ cm}$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$W = \frac{20 \cdot 24^2}{6} = 1920,00 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\text{Holz}} = \frac{M}{W}$$

$$\sigma_{\text{Holz}} = \frac{7,48 \text{ kNm} \cdot 100}{1920,00} = 0,39 \text{ kN / cm}^2$$

$$\text{zul.} \sigma_{\text{Holz}} = 1,15 \text{ kN / cm}^2$$

$$\sigma_{\text{Holz}} < \text{zul.} \sigma_{\text{Holz}}$$

Verformungsnachweis

$$f = \frac{5 \cdot \bar{q} \cdot l_H^4}{386 \cdot 10^7 \cdot EJ \cdot 10^{-8}}$$

$$f = \frac{5 \cdot 6,07 \cdot 3,14^4}{386 \cdot 10^7 \cdot EJ \cdot 10^{-8}} = 0,0034 \text{ m} = 0,34 \text{ cm}$$

$$f_{\text{zul.}} = \frac{l_H}{300}$$

$$f_{\text{zul.}} = \frac{314}{300} = 1,05 \text{ cm}$$

$$f < f_{\text{zul.}}$$

Stützen

Annahme:

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

$$s_k = 3,00 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{s_k}{i}$$

$$i = 0,289 \cdot a = 0,289 \cdot 0,20 = 0,0578$$

$$\lambda = \frac{s_k}{i} = \frac{3}{0,0578} = 51,9 \approx 52 \Rightarrow \omega = 1,46$$

$$\sigma_{Holz} = \frac{\omega \cdot F}{A} = \frac{\omega \cdot Q}{b \cdot h}$$

$$\sigma_{Holz} = \frac{1,46 \cdot 9,53}{20 \cdot 20} = 0,034 kN / cm^2$$

$$zul.\sigma_{Holz} = 1,15 kN / cm^2$$

$$\sigma_{Holz} < zul.\sigma_{Holz}$$

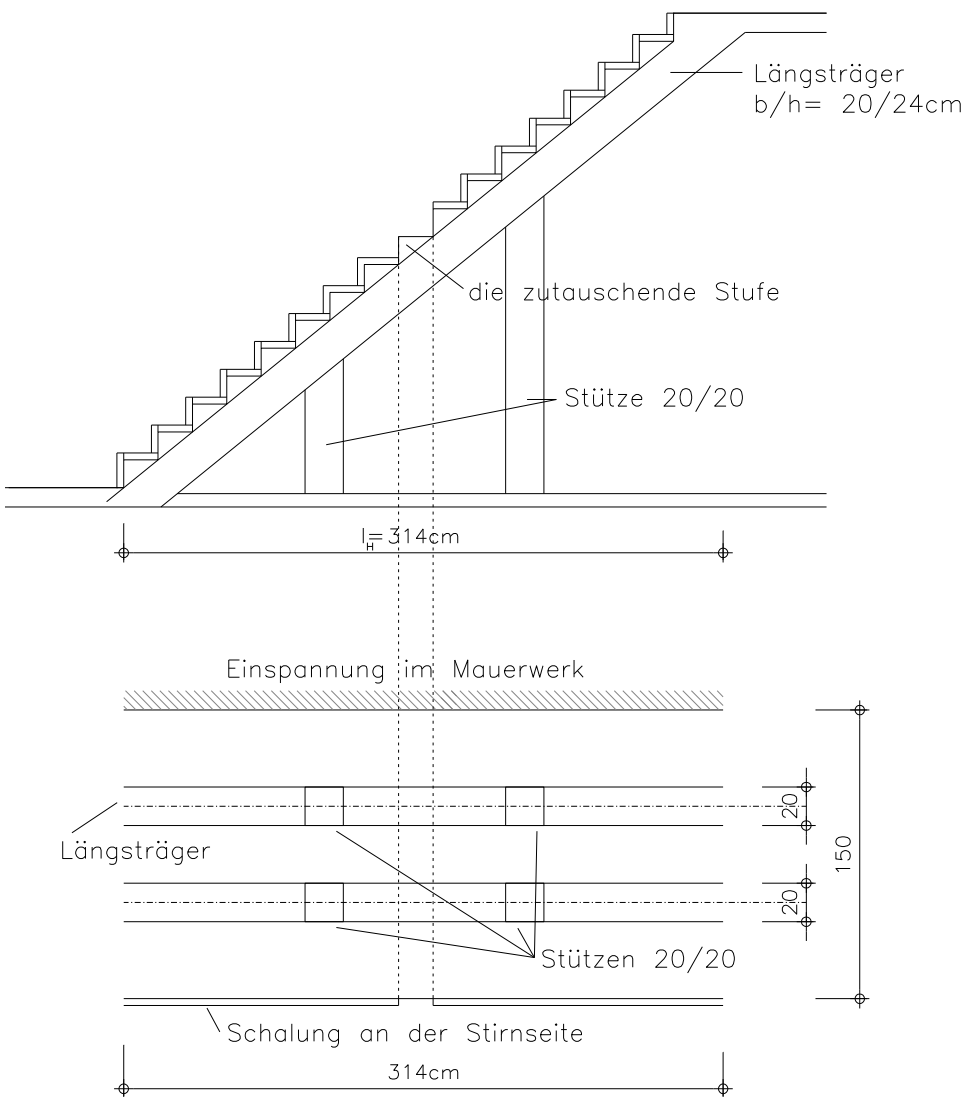


Abbildung 78: notwendige Unterstellungs- und Einschaltungsmaßnahmen für den Stiegentausch

Tragfähigkeitsnachweis lt. Vorlage vom Institut für Hochbau an der Technischen Universität in Wien

Der Tragfähigkeitsnachweis wird auf der Ebene der Schnittkräfte (Biegemomente) geführt, dabei ist zu beachten, dass nur die halbe Einwirkung für den Nachweis der Biegetragfähigkeit maßgebend ist.

Querschnittswerte

$$I_x = 5334 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 11942 \text{ cm}^4$$

$$i_{xo} = 7,75 \text{ cm}$$

$$i_{xu} = 10,55 \text{ cm}$$

$$M_{sd} = (0,65 \cdot 1,35 + 3,00 \cdot 0,22 \cdot 1,50) \cdot 1,5^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = 1,051 \text{ kNm} = 105,1 \text{ kNcm}$$

$$f_{R,k} = f_{bz,MW} - f_{bz,MW} \cdot V \cdot 1,645 = 5,8 - 5,8 \cdot 0,35 \cdot 1,645 = 2,46 \text{ N/mm}^2$$

$$W_0 = \frac{J}{x_o} = \frac{5334}{7,75} = 688 \text{ cm}^3$$

$$M_{R,d} = W \cdot \frac{f_{R,K}}{\gamma_R} = 688 \cdot \frac{0,246}{2,5} = 60,55 \text{ kNcm}$$

$$M_{s,d} \leq M_{R,d}$$

$$A_{s,d} = \frac{M_{s,d}}{f_{y,d} \cdot z}$$

$$z = 0,7 \cdot d_{setz}$$

8.1.8 Abtrag und Neubau

Sind zu viele Stufen beschädigt oder kann bei einer Aufstockung der vorgeschrieben Lift nicht neben dem Stiegenhaus situiert werden, muss ein neues Stiegenhaus nach dem Abbruch des Alten errichtet werden. Der Neubau muss den derzeit geltenden Normen entsprechen. **[28]**

Besonders wichtig ist die sachgemäße Unterstützung der während der Sanierungsarbeiten nicht gesicherten restlichen Laufbreite.

8.2 Fallstudien

Nachfolgend soll anhand von zwei Fallstudien die Problematik der Sanierung von Altbauten mit baufälligen Stiegenhäusern in Wien erläutert werden. Dazu wurde ein Gebäude im 9. Wiener Gemeindebezirk, Hörlgasse 11 / Türkenstraße 10 ausgewählt. Dieser Fall zeichnet sich dadurch aus, dass es gelang, entsprechende Evakuierungs- und Sanierungsmaßnahmen zu treffen, bevor es zu Personenschaden kam. Im zweiten, weit tragischeren Fall der Elisabethstraße 9 im 1. Wiener Gemeindebezirk, dem damaligen Verkehrsministerium und Sitz der Generaldirektion der ÖBB, gelang dies nicht rechtzeitig.

Da Fälle der Einsturzgefahr und Sanierung von Gebäuden unweigerlich im Zusammenhang mit der Verschuldensfrage gesehen werden, war es Wunsch der Gesprächspartner, einem Mitarbeiter der Wiener Baupolizei und einem leitenden Mitarbeiter der ÖBB, die im Rahmen von Fachgesprächen zu Auskünften bereit waren, dass die Sachverhalte betreffend die Fallstudien in anonymisierter Form wiedergegeben werden.

8.2.1 Fallstudie 1: Hörlgasse 11/Türkenstraße 10, 9. Wiener Gemeindebezirk



Abbildung 79: Schadensfall 1090 Wien, Hörlgasse 11 [15]

Schadensbild im Jahr 2005

Das Wohnhaus in der Hörlgasse 11 / Türkenstraße 10 im 9. Wiener Gemeindebezirk ist zum damaligen Zeitpunkt ca. 100 bis 120 Jahre alt. Wie für die Erschaffungszeit typisch erfolgte die Gründung des Gebäudes mit Holzpfehlen. Im Laufe der Zeit kam es zu Vermorschungen der Holzpfehle und in weiterer Folge zu einer Auflösung derselben. Neben dem Versagen der Gründung kam noch hinzu, dass das im Keller befindliche Gewölbe beschädigt worden war.

Der Zustand des Stiegehauses im Jahr 2005 ist auf die unterschiedlichen Setzungen von Hofmauer und Stiegenhausmauer, welche aus der versagenden Gründung resultieren, zurückzuführen. Es entstanden Risse bei der Einspannstelle der Natursteinstufen.

Außerdem war die Fuge zwischen den einzelnen Steinstufen nicht mehr vorhanden. Bei den Anschlüssen an die Podeste waren an Ober- und Unterseite ebenfalls Risse aufgetreten. Des Weiteren war die Fassade sowohl durch äußere Einflüsse als auch durch Setzungen in Mitleidenschaft gezogen, so dass sich Teile der Fassade vom Gesimse lösten.

In diesem Zusammenhang muss folgendes über die Bedeutung von Rissen bei der Einspannstelle festgehalten werden: Das Trageverhalten einer eingespannten Steinstufe teilt sich zu 50% auf die Einspannung und zu 50% auf die darunterliegende Stufe auf. Ein Riss bei der Einspannstelle führt dazu, dass das Tragverhalten nahezu halbiert wird.



Abbildung 80: Schadensfall 1090 Wien, Hörlgasse 11, Stiegenhaus [16]

Getroffene Sofortmaßnahmen

Als erste Maßnahme wurde das Wohnhaus in der Hörlgasse 11 / Türkenstraße 10 am Montag, dem 13. Juni 2005 evakuiert. Nach Angaben des Büros für Sofortmaßnahmen des Wiener Magistrats waren davon elf Wohnungen mit insgesamt 17 Personen sowie eine Arztpraxis betroffen. Noch am selben Tag musste das Haus durch die Baupolizei MA 37 gesperrt werden. Die Ordination und der Ersatzzugang zum Hof wurden in die Türkenschantzstrasse 10 verlegt. Über die Ordination ist es möglich, in den Hof zu gelangen, in welchem sich das Ersatzstiegenhaus befindet. [15], [16]

Mögliche Varianten zur Schadensbeseitigung

Um das Gebäude wieder bewohnbar zu machen, kann entweder ein kompletter Abbruch und danach ein Neubaubau oder eine komplette Sanierung in Betracht gezogen werden.

Da das Haus nicht unter Denkmalschutz steht, sondern sich lediglich in einer Schutzzone befindet, ist ein Abbruch bei Vorliegen eines der folgenden Punkte möglich:

- Wenn das Gebäude durch die MA 19 als nicht erhaltenwürdig eingestuft wird,
- wenn eine technischen Abbruchreife - d.h., wenn mehr als 50% der raumbildenden Strukturen erneuert werden müssen - festgestellt wird oder
- wenn eine wirtschaftliche Abbruchreife - d.h. wenn sich eine Sanierung nicht mehr rechnet - festgestellt wird.

Falls eine Sanierung des Wohnhauses und somit eine Sanierung des Stiegenhauses in Betracht gezogen wird, muss zuerst der Boden mittels Hochdruckbodenvermörtelung verbessert werden. Bei diesem Verfahren ist jedoch mit Hebungen zu rechnen, welche ebenfalls zu Problemen führen können. Durch die Hochdruckbodenvermörtelung kann die Gründung wieder hergestellt und die weitere Sanierung des Wohnhauses durchgeführt werden. In Bezug auf die Sanierung des Stiegenhauses kommt derzeit nur ein Abbruch in Frage. Das Stiegenfundament muss erneuert werden bevor eine neue Stahlbetonstiege errichtet wird. Die Podeste müssen ebenfalls erneuert werden. Als letzter Schritt muss das gesamte Mauerwerk mittels Verpressung saniert werden.

8.2.2 Fallstudie 2: Treppeneinsturz im ehemaligen Bundesministerium für Verkehr, 1010 Wien, Elisabethstrasse 9 am 29.12.1982

Beschreibung des Gebäudes und des Stiegenhauses

Das Gebäude in der Elisabethstrasse 9 im 1. Wiener Gemeindebezirk war zum damaligen Zeitpunkt des Ereignisses 120 Jahre alt und hatte insgesamt vier Stiegenhäuser mit je vier Stockwerken (Geschossen). Je Geschoss bestand die Treppe aus drei einzelnen Läufen, die sich auf zwei Zwischenpodesten abstützten. Das Stiegenhaus bestand aus einseitig im Mauerwerk eingespannten Naturstufen. Die einzelnen Stufen kragten 130 cm aus und wiesen ein Steigungsverhältnis von 14/32 cm auf. Auf Grund des Steigungsverhältnisses waren die einzelnen Stufen sehr schlank. Dies bedeutete, dass die statisch wirksame Breite jeder einzelnen Stufe 6–20cm betrug.

Im Laufe der Jahre nutzten sich die Trittflächen der Stufen stark ab. Als Folge daraus wurden die Trittflächen von einem Steinmetzbetrieb erneuert. Im Zuge dieser Sanierungsmaßnahmen wurde die Trittfläche bis zu einer Tiefe von 4,5 cm eingeschnitten und als Sanierungsmaterial Kunststein verwendet. [26], [27]

Beschreibung des Treppeneinsturzes

Am 29.Dezember 1982 wurde die Treppe von drei Personen zwischen 2. und 3. Stock benützt. In Folge dieser Belastung stürzte der mittlere Treppenlauf zwischen den beiden Podesten ein. Durch das Versagen der Tragfähigkeit einer Stufe wurde die sich aufeinander abstützende Gitterkette der frei auskragenden Trittstufen unterbrochen und es brachen alle Stufen zwischen den beiden Zwischenpodesten, mit Ausnahme der Obersten. Die herabstürzenden Stufen schlugen auf den darunter liegenden Treppenlauf. Auf Grund der Überlast brach auch dieser Treppenlauf zusammen.

Bei dem Treppeneinsturz war ein Todesopfer zu beklagen, drei weitere Personen wurden zum Teil schwer verletzt. [27]

Beweissicherung

Der Bruch der einzelnen Stufen erfolgte in der Regel im Abstand von 10 cm von der Einspannstelle entfernt. In den oberen Bereichen der Bruchstellen sind die Schnittstellen, die während der Sanierungsarbeiten mit einer Trennscheibe durchgeführt wurden, erkennbar. Die Tiefe der Einschnitte bewegt sich in einer Bandbreite von 26mm bis 38mm. Die Schwächung des festen, verbleibenden Stufenteiles beträgt in manchen Bereichen um bis zu 60%. Die Länge des ausgeschnittenen Bereiches beträgt 25cm, die maximale Eintiefung ist ca. 16cm vom Rand entfernt. [27]

Feststellung der Schadensursache

Während der Beweissicherung wurde festgestellt, dass die Bruchstelle nicht neben der Einspannstelle (dem Bereich der größten Momentenbelastung) sondern in einer Entfernung von 10cm von dieser nach außen verschoben war. Der Bruch verläuft im oberen Bereich immer dort, wo während der Sanierungsmaßnahmen der Einschnitt mit der Trennscheibe vorgenommen worden war.

Es konnte eindeutig festgestellt werden, dass an dieser Stelle durch die enorme Reduzierung des Natursteinkörpers eine große Schwächung der Tragfähigkeit eingetreten war. Dadurch war es nicht mehr möglich, an der Trennfläche zwischen Naturstein und Kunststein Zugspannungen zu übertragen. In diesem Zusammenhang ist noch festzuhalten, dass im Gegensatz zu einer zweiseitig aufgelagerten Treppe die Zugspannungen an der Treppenoberseite bei einer einseitig eingespannten Konstruktion die maßgebliche Belastung darstellen. Die Schwächung des statisch wirksamen Treppenquerschnittes zum Zeitpunkt der Sanierungsmaßnahmen war nicht so groß, um bei einer normalen Benützung ein Versagen hervorzurufen. Jedoch wurde ein Grenzzustand erreicht, der eine starke Durchbiegung des Treppensystems zur Folge hatte. Die starke Durchbiegung bei jeder Beanspruchung der Treppe führte zu einer fortschreitenden Schwächung der Randzone im Zugbereich der Treppe. [27]

Der weitere Vorgang der Untersuchung

Um die oben genannten Vorgänge auch statisch nachweisen zu können, wurde eine intakte Stufe ausgebaut und an ihr die maßgeblichen Kennwerte ermittelt. Es wurden der Elastizitätsmodul, der Verformungsmodul und die maximalen möglichen Zugspannungen ermittelt. Weiters wurde an der ausgebauten Stufe auch die Auswirkung eines andauernden Lastwechsels untersucht. Die vorgenannten Untersuchungen wurden von der MA 39, der Materialprüfstelle der Gemeinde Wien, durchgeführt. [27]

Empfehlung zur Sanierung

Bezüglich der Sanierungsmaßnahmen musste unterschieden werden, ob es sich um die eingestürzte Treppe oder um die weiteren drei, gleichartigen Treppen handelte.

Sanierung der eingestürzten Stiege 2

Jene Sanierungsarbeiten, welche in weiterer Folge für den Einsturz verantwortlich waren, waren in allen vier Stockwerken der Stiege durchgeführt worden. Daher war es unbedingt erforderlich, die Treppe in ihrer Gesamtheit abzutragen und zu erneuern. Bei der Erneuerung erschien es den Experten jedoch am einfachsten, als Treppensystem durchlaufende Stahlbetonplatten zu wählen, die über Zwischenpodeste hinweg von Wand zu Wand liefen und zudem in den Seitenwänden eingestemmt waren. Nach Ansicht der Gutachter sollte auf diese Stahlbetonkonstruktion eine Verkleidung mit Tritt- und Setzketten aus Naturstein aufgelegt werden, um einerseits einen ähnlichen Gesamteindruck der Treppe zu erzielen und andererseits Sanierungsmaßnahmen der Treppenoberfläche durch Auswechslung des Treppenbelages durchführen zu können. [27]

Der Lokalaugenschein, bildlich festgehalten, zeigt, dass die Stiege 2 entsprechend den damaligen Empfehlungen der Gutachter komplett erneuert wurde.



Abbildung 81: Schadensfall 1010 Wien, Elisabethstrasse 9, Stiege 2

Sanierung der weiteren Stiegen 1, 3 und 4

Auch bei der Stiege 1 (Ministerstiege) waren Sanierungsmaßnahmen durch den Steinmetz durchgeführt worden. Die Sanierung war nur bei einigen Stufen erfolgt, die Tiefe der Einschnitte und damit die Schwächung der Tragfähigkeit waren damals nicht bekannt.

Aus Sicherheitsgründen empfahlen die Experten, diese Stiege sofort einer Sanierung zu unterziehen, um jegliche Gefährdung auszuschließen. Für die Sanierung wurde empfohlen, in den Außenecken bei den Zwischenpodesten sowohl Stahlstützen hochzuziehen, die jeweils unter jedem Podest mit Stahlquerträgern in beiden Seitenwänden verankert werden sollten. Zwischen den Stahlträgern sollte ein schräg laufender Zwischenträger eingezogen werden, auf den sich außenseitig alle Stufen des zwischenliegenden Treppenlaufes abstützen könnten. Nach Ansicht der Gutachter wäre ein solcher Träger auch jeweils zu den Hauptpodesten jedes Stockwerkes zu spannen und an den dort verlaufenden Stahlträgern des Podestes anzuschließen. Man war sich aber bewusst, dass erst

statisch nachzuweisen war, dass dieser Außenträger des Hauptpodestes diese Last auch aufnehmen und abtragen könnte. [27]

Durch all diese Maßnahmen würde sich das Tragsystem der Stufen in ein zweiseitig aufliegendes System verwandeln. Die an der Oberseite auftretenden Zugspannungen würden um ein Vielfaches reduziert und in weiterer Folge die Gefährdung der Standsicherheit ausgeschaltet werden.

Der Lokalaugenschein zeigte, dass die Maßnahmen entsprechend der Empfehlung der Gutachter umgesetzt wurden.



Abbildung 82: Schadensfall 1010 Wien, Elisabethstrasse 9, Ministerstiege 1

Bei den anderen Stiegen 3 und 4 waren keine Erneuerungsarbeiten durch den Steinmetz durchgeführt worden. Die Standsicherheit wurde aber dennoch im Zuge der weiteren Untersuchungen einer genaueren Überprüfung unterzogen. [27]

Der mit den Bildern dokumentierte Lokalaugenschein zeigt, dass die Stiegen 3 und 4 aus Sicherheitsgründen in der gleichen Weise saniert wurden wie die

Ministerstiege 1.



Abbildung 83: Schadensfall 1010 Wien, Elisabethstrasse 9, Stiege 3

Abschließend ist zu dieser zweiten Fallstudie noch folgendes festzuhalten: Erst die mangelhafte Durchführungen von Sanierungsarbeiten führte dazu, dass eines der vier Stiegenhäuser einstürzte und in weiterer Folge ein Todesopfer zu beklagen war. Anhand dieses Beispiels werden die Wichtigkeit und die Komplexität der Sanierung von Natursteinstiegen verdeutlicht. Eine echte Natursteinstiegenanierung geht über die Erfüllung von kosmetischen Anforderungen hinaus und erfordert statische Begutachtungen im Vorfeld. [27]

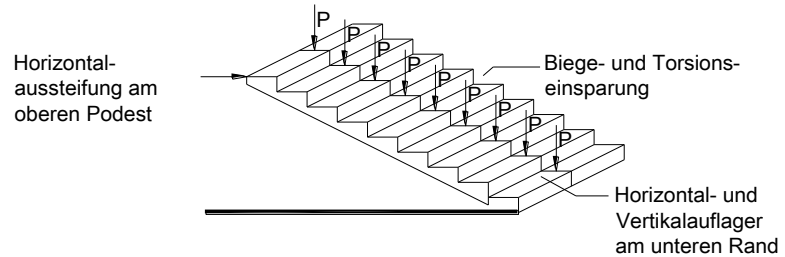
9 NACHBEMESSUNG

Ausgangspunkt der Nachbemessung ist der Grenzzustand der Tragfähigkeit. Es wird von den dokumentierten Schadensfällen und den Ergebnisse des Stiegenstufenausschusses ausgegangen. Bei allen Versagensbeschreibungen kann das Versagen der obersten belasteten Stufe bzw. einer einzelnen besonders belasteten Stufe festgestellt werden. In den meisten Fällen ist davon auszugehen, dass die Mörtelfuge zwischen aufeinander abgestützten Stufen durch Korrosionserscheinungen, welche durch die bei der Reinigung verwendeten aggressiven Reinigungsmittel beschleunigt werden, die Haftzugfestigkeit verloren hat. Der daraus resultierende Verlust des Verbundes mit der darüber liegenden Stufe hat den Bruch der Stufe zur Folge.

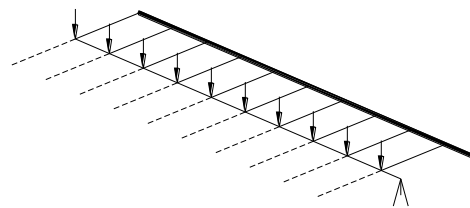
Als besonders kritisch einzuschätzen sind gerade Stiegenläufe, da die Durchbiegung am freien Ende der obersten Stufe mit der Gesamtbelastung zunimmt. [22]

Gerader Lauf mit freitragenden Stufen

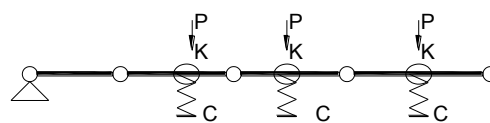
Belastung auf Einzellasten in Mittellinie reduziert



Vereinfachtes Modell mit biege- und torsionsbeanspruchten, querkraftgekoppelten Kragbalken



Ebenes Ersatzsystem, die Federsteifigkeiten (Auflagerbedingungen) werden aus Versuchen bestimmt



Randbedingungen (z.B. Auflager am unteren Podest)

Alternativmodell: Ebenes Flächentragwerk aus einzelnen Kragplatten. Dabei können auch Teilflächenbelastungen, Einzellasten etc. berücksichtigt werden.

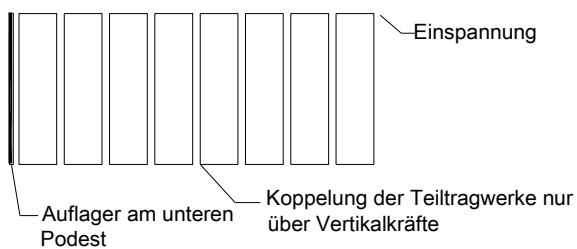


Abbildung 84: Nachbesserung [22]

9.1 Kritische Stufenanzahl von geraden Stiegenläufen

Im Rahmen des Stiegenstufenausschusses wurde ein Proportionalitätsfaktor zwischen Durchbiegung der obersten belasteten Stufe und der Gesamtbelastung des Laufes bestimmt. Die vertikale Verschiebung am freien Ende der Stufe in Abhängigkeit von ΣP wird von der Ausgangslage unter Eigengewicht gemessen.

$$z = \varpi \cdot \sum P$$

Die Durchbiegung der obersten Stufe kann nicht größer als die Durchbiegung einer einzelnen nicht im Verband befindlichen Stufe sein. Bei gleichmäßiger Stufenbelastung können diese beiden Werte gleichgesetzt werden und in weiterer Folge kann diejenige Stufenanzahl n ermittelt werden, ab der die oberste Stufe die Belastung als Kragbalken über Biegung abtragen muss. **[22]**

9.2 Nachbemessung der Stufen

Durch Probelastungen am Objekt wird das Verformungsverhalten festgestellt, welches durch eine zusätzliche Baustoffuntersuchung eingegrenzt werden kann. Die Nachbemessung kann durch eine geeignete Formulierung eines Rechenmodells erfolgen, jedoch unter der Berücksichtigung, dass die Horizontalverschiebungen der freien Stufenenden vernachlässigt werden. **[22]**

10 ZUSAMMENFASSUNG

Zusammenfassend sollen die wichtigsten Inhalte der Arbeit festhalten werden:

Einführend wurde beschrieben, welche Arten von Stiegenkonstruktionen es gibt, in Abhängigkeit von den verwendeten Materialien und der Gestaltung der Stiege. Ebenfalls wurde darauf eingegangen, in welcher Weise die verschiedenen Stiegenarten bei Benutzung belastet werden. Die Berücksichtigung der Stiegenart spielt bei der Sanierung naturgemäß eine große Rolle. Von besonderer Bedeutung für den weiteren Verlauf der Arbeit sind die Beschreibungen zu den Stiegen aus Naturstein, deren Sanierung den Kernpunkt darstellt.

Nach den Beschreibungen zu den verschiedenen Arten von Stiegenkonstruktionen wurde auf die Natursteintreppen im Detail und im Besonderen auf die verschiedenen Möglichkeiten der Konstruktion von Natursteintreppen eingegangen. Dieser Teil der Arbeit wurde in der Weise gestaltet, dass er einen umfassenden Überblick über die verschiedenen Materialien, Grundrisse und Stufenarten gibt, die bei Natursteinstiegen vorgefunden werden und soll auf den für die Sanierung so elementaren Teil der statischen Bemessung von Natursteinstiegen vorbereiten.

Die Thematik der statischen Bemessung von Natursteinstiegen wurde in der Arbeit anhand der historischen Erkenntnisse der beiden Stiegenstufenausschüsse aus den Jahren 1896 und 1898 dargestellt. Eines der Haupterkenntnisse der Stiegenstufenausschüsse war die Ermittlung der am höchsten biege- bzw. torsionsbeanspruchten Stufe. Auch wenn diese Versuche lange zurück liegen und verglichen mit heutigen Arbeitsmethoden nicht exakt sind, tragen die Ergebnisse auch gegenwärtig zum Verständnis über das Tragverhalten von Natursteinstiegen bei.

Nach dem erfolgten historischen Exkurs wurde ein Einblick gegeben in die heute angewendeten Untersuchungsmethoden von Treppenkonstruktionen, welche bei

der Analyse von den verschiedenen Arten von Treppenkonstruktionen zum Einsatz kommen können. Die Untersuchung der Konstruktion stellt die Voraussetzung für eine erfolgreiche Sanierung dar, mit der sich das nachfolgende Kapitel befasst.

Im Kapitel über die Sanierung von Natursteinstiegen wurden die unterschiedlichen Sanierungsprinzipien anhand von bildlichen Darstellungen erläutert. Worauf an dieser Stelle auch eingegangen wurde, ist die komplexe Frage, ab welchem Punkt eine Abtragung des Stiegenhauses und ein darauf folgender Neubau einer Sanierung vorzuziehen ist.

Einen wichtigen Bestandteil dieses Kapitels stellen die beiden Fallstudien dar, die der Verfasser aufgrund von Recherchen, Begehungen vor Ort und Interviews erstellt hat. Sie sollen dem Leser die Thematik der Sanierung von Natursteinstiegen in der Praxis näher bringen und illustrieren, welche schwerwiegenden Folgen mangelhaft durchgeführte Sanierungsmaßnahmen bzw. unterlassene Sanierungen haben können. Aus beiden Fällen kann man erkennen, dass die Sanierung von Natursteinstiegen eine hoch komplexe Angelegenheit ist, die unterschiedliche Varianten bietet und auf das betreffende Stiegenhaus und Gebäude zugeschnitten sein muss.

Abschließend soll in diesem Zusammenhang nochmals darauf hingewiesen werden, welche große Relevanz das Thema der Sanierung von Natursteinstiegen für eine Großstadt wie Wien mit einer Fülle von Altbauten hat.

SUMMARY

Recapitulating the most important contents of the work shall be laid down subsequently:

At the beginning has been described, which types of staircase designs are subject to the materials used and the configuration of the staircase. Ditto, it has been elaborated on how different types of staircases are stressed during utilisation. The consideration of the type of staircase naturally plays a major role at rehabilitation. Of particular importance for the further course of the work are the descriptions related to the staircases made of natural stone, the rehabilitation of which represents the core issue.

After the descriptions related to the various sorts of design of staircases, the staircases made of natural stone have been dealt with in detail and in particular with the design of staircases made of natural stone. This part of the work has been configured in such a way that it gives a comprehensive overview over the different materials, ground plans and types of stairs which can be found in staircases made of natural stone. Furthermore it should prepare for the part of the static assessment of staircases made of natural stone which is so essential in their rehabilitation.

The topic of the static assessment of staircases made of natural stone has been outlined on the basis of the historic insights of the committees on staircase-steps of the years 1896 and 1898. One of the major results of the committees on staircase-steps was the identification of the most stressed step in terms of flexural and torsional stress. Even though these experiments date long back and are not exact compared to nowadays working methods, the results still contribute to today's understanding of the bearing behaviour of staircases made of natural stone.

After the historic excursion taking place, an insight has been given into the methods of examinations of staircases applied today, which can be deployed in the analysis of different types of staircase designs. The examination of the design represents the precondition for a successful rehabilitation, with which the following chapter is concerned.

In the Chapter on the rehabilitation of staircases made of natural stones, the different principals of rehabilitation have been explained by means of illustrations. What has been elaborated on at this point as well is the complex question of identifying the trade-off point between the demolition and consequential rebuilding of a staircase against its rehabilitation.

A major part of this chapter is represented by the two case studies, which the author has compiled based on investigations, site visits and interviews. They shall give the reader an understanding of the subject of the rehabilitation of staircases made of natural stone in practice and illustrate which fatal consequences deficiently conducted rehabilitations or neglected rehabilitations respectively can bear. From both cases it can be recognised that the rehabilitation of staircases made of natural stone is a highly complex matter which offers various variants and which has to be tailor-made for the staircase and the building concerned.

Concluding in that context it shall be pointed at the big relevance of this issue for a metropolis like Vienna with an abundance of old buildings. This is exemplified by a research undertaken by the author on the consequences of omitted rehabilitation.

11 LITERATURLISTE

- [1] **Ahnert, R. und Krause, K.:** Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960. Zur Beurteilung der vorhandenen Bausubstanz. Gründungen, Wände, Decken, Dachtragwerke. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1985
- [2] **Brik, J.E.:** Zur Verwerthung der Ergebnisse aus dem Bericht des Stiegenstufen – Ausschusses. In: ÖIAZ, Nr. 22, 1896
- [3] **Brik, J.E.:** II. Bericht des Stiegenstufen – Ausschusses. In: ÖIAZ, Nr. 31, 1898
- [4] **Brik, J.E.:** II. Bericht des Stiegenstufen – Ausschusses. In: ÖIAZ, Nr. 32, 1898
- [5] **Brik, J.E.:** Die statischen Verhältnisse der freitragenden Stiegenarme bei den Versuchen des Stiegenstufen – Ausschusses. In: ÖIAZ, Nr. 33, 1898
- [6] **Bruckner, Heinrich, Schneider, Ulrich:** Naturbaustoffe, Werner Verlag, 1. Auflage 1998
- [7] **Daub, Hermann:** Dächer, Stiegen, Türen, Fenster, Vorbauten, Abfuhr der Abfallstoffe, Innerer Ausbau, Fundamente. Mit 788 Abb. im Text. Leipzig 1909
- [8] **Daub, Hermann:** Baustoffe. Mit 283 Figuren im Text. Leipzig u. Wien 1905 XIV, 240 S.
- [9] **Erfurth Spezialbau GmbH:** Interview mit Herrn Pechmann am 20.11.2007
- [10] **Errath, Wolfgang:** Zerstörungsfreie Untersuchung von Natursteinstiegen. [Illustr.] - Innsbruck 1986. 85
- [11] **Greil, A.:** Bericht des Stiegenstufen – Ausschusses. In: ÖIAZ, Nr. 12, 1896

- [12] **Hanisch, A.:** Zu den Versuchen mit Stiegenstufen. In: ÖIAZ, Nr. 34, 1896
- [13] **Hasenkopf Johann:** Interview mit Frau Hasenkopf am 08.11.2007
- [14] **Hirsch, Wienkopp:** Leitfaden der Bauverbandlehre, Teil IV: Treppen in Stein und Holz, Leipzig 1909
- [15] <http://oesterreich.orf.at/wien/stories/51423/>
- [16] <http://oesterreich.orf.at/wien/stories/70508/>
- [17] http://web.vorek.cz/de_index.htm
- [18] **Koch, J.:** Zu den Versuchen mit Stiegenstufen. In: ÖIAZ, Nr. 34, 1896
- [19] **Kolbitsch Andreas:** Altbaukonstruktionen: Charakteristika, Rechenwerte, Sanierungsansätze; Springer Verlag Wien, 1989
- [20] **Kolbitsch Andreas:** Altbausanierung: Aktuelle Fragen der Bautechnik; Wien: Institut. für. Hochbau und Industriebau, TU, 1991
- [21] **Kolbitsch Andreas:** Erhaltung und Erneuerung; Wien: Institut. für. Hochbau und Industriebau, TU - Wien 1992
- [22] **Kolbitsch Andreas:** Festschrift N.V. Waubke, Untersuchung und konstruktive Bewertung von Stiegenkonstruktionen aus Naturstein, BMI 9/96
- [23] **Lenz Peter:** Konstruktionsprinzip alter Steinstufen, Diplomarbeit, ausgeführt am Institut für Hochbau und Industriebau der TU Wien, 1987
- [24] **Mohr, Silvio:** Der Hochbau, Verlag von Julius Springer, 1936

- [25] **Müller W.:** Bau steinerner Treppen, Leipzig 1901
- [26] **o.a.A.:** ÖBB Information für den Bundesminister, Gegenstand: Einsturz der Stiege 2 im Haus Elisabethstrasse 9
- [27] **o.a.A.:** ÖBB Vorbegutachtung, Betreff: Treppeneinsturz im Bundesministerium für Verkehr 1010 Wien, Elisabethstrasse 9
- [28] **Pauser Alfred:** Probleme der Tragkonstruktionen, Bauphysik, Technologie und Verfahrenstechnik bei der Erneuerung von Altbauten; Im Selbstverlag Wien 1986
- [29] **Pech Anton, Kolbitsch Andreas:** Treppen – Stiegen, Springer Wien New York 2005 Bestand
- [30] **Schrader Fritz:** Der Treppenbau, Hannover 1908
- [31] **Sika Österreich GmbH:** Interview mit Herrn Grass am 05.12.2007
- [32] **Stehno Gerhard und Heregger, G.:** Zerstörungsfreie Prüfung von Natursteinstiegen, Forschungsarbeit, Innsbruck 1987
- [33] **Titscher F.:** Die Baukunde; Selbstverlag F. Titscher, Klosterneuburg, Wien 1919
- [34] **Toro Bausanierungs- und HandelsgesmbH:** Interview mit Herrn Gary am 23.10.2007