





## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am .....

.....

(Unterschrift)

## **Statutory declaration**

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, .....

.....

(signature)



## **Danksagung**

Zuerst gebührt mein Dank Herrn Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Roman Marte für die konstruktive Kritik und die Unterstützung durch sein Fachwissen beim Erstellen dieser Masterarbeit. Danke auch für die stets lehrreichen Vorlesungen und Diskussionen, welche zu meinem großen Interesse an der Geotechnik entscheidend beigetragen haben.

Besonders möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Matthias Rebhan, BSc für die hervorragende Betreuung beim Verfassen dieser Arbeit bedanken.

Bedanken möchte ich mich auch bei der GDP ZT GmbH Graz, im Besonderen Herrn Dr. phil. Gerhard Moyschewitz, für die gute Zusammenarbeit und die spannenden Diskussionen welche mir zu neuen Denkansätzen bei der Ausarbeitung meiner Arbeit verholfen haben.

Ebenfalls möchte ich meiner Kollegin Frau Maria Winkler, BSc danken, mit der ich ein Kapitel dieser Masterarbeit gemeinsam erarbeiten durfte. Es waren vielen unterhaltsame und zum Glück auch produktive Stunden.

Ein besonderer Dank geht an meine Freunde und Studienkollegen, im Speziellen an jene des Stahlbauzeichensaals für die gemeinsame Zeit, die vielen lustigen Stunden der Teamarbeit und produktiven Kaffeepausen.

Danke auch an meine Schwester Susanna und meine Freundin Kathrin, für die zahlreichen Tipps und motivierenden Worte bei der Erstellung dieser Arbeit.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern Dana und Jindrich Vostrel, die mir das Studium sowie das Auslandssemester in Calgary ermöglicht haben. Ohne ihren Glauben an mich und ihre finanzielle Unterstützung wäre es nie zu dieser Arbeit gekommen.



Diese Arbeit wurde im Zuge des durch die FFG geförderten Forschungsprojektes SIBS – „Sicherheitsbewertung bestehender Stützbauwerke“ erstellt. Ein Teil dieses Forschungsprojektes ist die Erarbeitung eines Schadenskataloges. Mit der vorliegenden Arbeit soll ein Teil dieser Sammlung von Schäden abgehandelt werden. Hierbei im Speziellen geotechnische Schäden und deren Nutzung zur Beobachtung und Beurteilung von Massenbewegungen.

Der Dank für die Möglichkeit der Umsetzung und Behandlung dieses Themas ergeht an die Vereinigung österreichischer Bohr-, Brunnenbau- und Spezialtiefbauunternehmen (VÖBU), die Autobahn- und Schnellstraßen- Finanzierungs- Aktiengesellschaft (Asfinag) und die Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) sowie die Wirtschaftspartner und Unterstützer dieses Forschungsprojektes.



Nachfolgende Arbeit wurden durch den Autor und die beiden Betreuer Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Roman Marte und Dipl.- Dipl.- Ing. Matthias J. Rebhan, BSc. erarbeitet.



## **Kurzfassung**

Österreich ist zu zwei Drittel Gebirgsland und bietet dadurch viel Potential für Massenbewegungen wie Rutschungen und Kriechhänge. Kriechbewegungen eines Hanges entstehen dabei oftmals schon bei geringen Hangneigungen. Diese Arbeit widmet sich der Erkennung einer Massenbewegung mithilfe von charakteristischen Schadensbildern an Bauwerken und bildet einen Teil der Reihe „Nutzung von Schadensbildern zur Überwachung von Massenbewegungen“ in Kooperation mit Frau Maria Winkler, deren Arbeit sich den geotechnischen Schadensbildern widmet.

In dieser Masterarbeit steht die Erkennung von konstruktiven Schadensbildern, welche aufgrund von Massenbewegungen entstanden sind, im Vordergrund. Den Hauptbestandteil dieser Masterarbeit bilden über 200 konstruktive Schadensbilder, welche in Zusammenhang mit Geotechnik bzw. Massenbewegungen stehen. Als Grundlage wurde mit der Definition eines Schadens begonnen und der Zusammenhang mit den Normen der Eurocode- Reihe und den Grenzzuständen wurde aufgezeigt. Ziel dieser Arbeit ist es, dem Leser und Anwender die Erkennung von konstruktiven Schäden, welche mit Massenbewegungen im Zusammenhang stehen zu erleichtern. Die Schadensursache, das Schadensausmaß sowie die Schadensentwicklung sind hierzu die wichtigsten Faktoren. Demensprechend wird auf die Schadenserfassung konstruktiver Schäden mithilfe von einfachen messtechnischen Mitteln im weiteren Verlauf dieser Arbeit genauer eingegangen. In Zusammenarbeit mit Frau Winkler führt der Abschluss dieser Arbeit die Überwachung einer Massenbewegung mithilfe von geotechnischen und konstruktiven Schadensbildern zusammen. Die Erkennung einer Massenbewegung sowie deren Einflussbereich und Entwicklung werden anhand von Beispielen und einem realen Fall präsentiert.



## **Abstract**

Two-thirds of Austria is covered by mountains. This creates a high potential for mass movements, such as landslides or creeping slopes. Creeping movements of a slope can often occur in gentle slopes. This thesis deals with the detection of mass movements by means of characteristic damage patterns of buildings and is a part of the series "Nutzung von Schadensbildern zur Überwachung von Massenbewegungen" in cooperation with Maria Winkler, whose work deals with geotechnical damage.

This master thesis focuses on the detection of constructive damage patterns which were caused due to mass movements. The main part of this master thesis is over 200 constructional damage images, which are related to geotechnics and mass movements. As basis, the definition of damage has been defined. Additionally, connection to the Eurocode and the limit states is described. The aim of this work is to facilitate the detection of constructional damage, which is related to mass movements to the reader and user. The cause of the damage, the extent of damage and the development of damage are important factors in that respect. Accordingly, the damage detection of constructive damages by using simple measurement methods will be discussed in more detail further in this work. In cooperation with Ms. Winkler, the conclusion of this thesis will be the monitoring of a mass movement using geotechnical and constructive damage patterns. The detection of a mass movement as well as its influence range and development are presented by means of examples and a case study.



# Inhalt

1	Einleitung .....	1
2	Bauwerksschäden .....	3
2.1	Konzept des Eurocodes .....	3
2.1.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit .....	5
2.1.2	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit .....	5
2.1.3	Umgang mit Grenzzuständen .....	7
2.2	Schäden an Bauwerken .....	7
2.3	Schadensfolgeklassen .....	9
3	Grenzzustände .....	10
3.1	Grenzzustände laut Eurocode 2 .....	10
3.2	Grenzzustände laut Eurocode 6 .....	13
3.3	Grenzzustände laut Eurocode 7 .....	15
3.3.1	Grenzzustände für Flachgründungen .....	17
3.3.2	Grenzzustände von Pfahlgründungen .....	18
3.3.3	Grenzzustände bei Stützbauwerken .....	18
4	Konstruktive Schadensbilder .....	20
4.1	Schäden an Gebäuden .....	22
4.1.1	Gebäudeschäden verursacht durch Massenbewegungen .....	31
4.1.2	Gebäudeschäden verursacht durch Setzungen .....	46
4.1.3	Weitere mögliche Anzeichen für Schäden durch Hangdeformation .....	57
4.2	Schäden an Brücken .....	67
4.2.1	Allgemeine „Problemzonen“ bei Brücken .....	68
4.2.2	Schäden durch Massenbewegungen .....	70
4.3	Schäden an Infrastruktur .....	75
4.3.1	Schäden an Fahrbahnen .....	75
4.3.2	Schäden an Gleisen .....	78
4.3.3	Schäden an Masten .....	79
4.3.4	Schäden an Wasserleitungen .....	81
4.4	Schäden an Stützbauwerken .....	82
4.4.1	Verformungen von Stützbauwerken .....	82
4.4.2	Kippen von Stützbauwerken .....	86
4.4.3	Gleiten von Stützbauwerken .....	87
4.4.4	Brüche von Stützbauwerken .....	88
5	Schadenserfassung .....	92

5.1	Messtechnik .....	93
5.1.1	Rissschäden .....	93
5.1.2	Weitere Messgrößen .....	100
5.2	Beispiele für durch Geotechnik verursachte Schadensfälle und deren Anzeichen .....	109
5.2.1	Schäden an Gebäuden .....	109
5.2.2	Schäden an Stützbauwerken.....	125
5.2.3	Schäden an Brücken .....	128
5.2.4	Fundamentversagen bei Brücken.....	130
6	Schadensbilder zur Überwachung von Massenbewegungen.....	132
6.1	Einleitung .....	132
6.2	Beispiel 1 .....	134
6.2.1	Beschreibung der Situation .....	134
6.2.2	Ausdehnung der Massenbewegung .....	134
6.2.3	Bewegungsrate der Massenbewegung .....	141
6.2.4	Aktive / inaktive Bewegung .....	144
6.3	Beispiel 2 .....	144
6.3.1	Beschreibung der Situation .....	144
6.3.2	Ausdehnung der Massenbewegung .....	144
6.3.3	Bewegungsrate der Massenbewegung .....	152
6.4	Beispiel 3 .....	153
6.4.1	Beschreibung der Situation .....	153
6.4.2	Ausdehnung der Massenbewegung .....	153
6.4.3	Bewegungsrate der Massenbewegung .....	160
6.5	Rutschung Pogerschitzen .....	162
6.5.1	Ursachen und Auslöser .....	163
6.5.2	Geotechnische Schadensbilder.....	164
6.5.3	Konstruktive Schadensbilder.....	179
7	Resümee.....	188
8	Literatur.....	191

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Querschnittsnachweise schematisch dargestellt .....	6
Abb. 2	Bauteilnachweis schematisch dargestellt .....	6
Abb. 3	Darstellung der Schadensursachen für Bauschäden (adaptiert aus Balak, Rosenberger & Steinbrecher, 2005) .....	8
Abb. 4	Bruchebene parallel zu den Lagerfugen (ÖNORM EN 1996-1-1, 2013, Bild 3.1) .....	15
Abb. 5	Bruchebene senkrecht zu den Lagerfugen (ÖNORM EN 1996-1-1, 2013, Bild 3.1) .....	15
Abb. 6	Allgemeine Schadensbilder verursacht durch Massenbewegungen .....	20
Abb. 7	Schematische Darstellung möglicher Gebäudeschäden infolge einer Massenbewegung (adaptiert aus Mollinga, 2012) .....	22
Abb. 8	Linkes Bild: Schematische Darstellung der Verformungen aufgrund reiner Setzungen, Rechtes Bild: Verformungen aufgrund Hangdeformation .....	23
Abb. 9	Schematische Darstellung Setzungsverhalten (adaptiert aus Möller, 2013) ..	24
Abb. 10	Darstellung der vertikalen Verformung (ÖNORM EN 1990, 2013, Kapitel A.1.4.3, Bild A.1.1) .....	26
Abb. 11	Darstellung der horizontalen Verformung (ÖNORM EN 1990, 2013, Kapitel A.1.4.3, Bild A.1.2) .....	27
Abb. 12	Darstellung möglicher Rissarten: Haarriss, Netzwerkriss, Craquelé, Spaltriss, Einzelriss (Dialer, 2016), Kerbriss (Liezen, 2017) .....	28
Abb. 13	Rissformen an Mauerwerkskonstruktionen .....	29
Abb. 14	Typischer Rissverlauf ausgehend vom Laibungseck (Dialer, 2016) .....	29
Abb. 15	Risschäden an Fassadenöffnung mit Klaffungen; Rechts im Detail (Dialer, 2016) .....	30
Abb. 16	Linkes Bild: Setzungsriss (nachgezeichnet) aufgrund einer mittigen Setzungsmulde (Meichsner, 2015); Rechtes Bild: Schematische Darstellung .....	30
Abb. 17	Linkes Bild: Setzungsriss aufgrund einer einseitigen Setzungsmulde (Meichsner, 2015); Rechtes Bild: Schematische Darstellung .....	31
Abb. 18	Linkes Bild: Schematische Darstellung charakteristischer Schäden durch Massenbewegungen wie Abreißen einer Gebäudeecke; Rechtes Bild: Bruch bzw. Abriss einer Wand in Richtung der Hangbewegung .....	31
Abb. 19	Unterteilung einer Massenbewegung in Bereiche .....	32
Abb. 20	Starke Schäden an Gebäude und Leitungen aufgrund einer Massenbewegung .....	32

Abb. 21	Fortschreitende Hangbewegungen rissen ein Bauwerk auseinander (Jaritz, 2001)	33
Abb. 22	Linkes Bild: Starke Schäden an einem Gebäude infolge Kriechbewegungen; Rechtes Bild: Erheblicher Risschaden an einem Stallgebäude (Dialer, 2016)	33
Abb. 23	Stark beschädigtes Gebäude zufolge einer Hangdeformation	34
Abb. 24	Verformungen einer Mauer infolge einer Hangverformung	35
Abb. 25	Linkes Bild: Durch eine Massenbewegung geschädigtes Gebäude; Rechtes Bild: Teilweiser Einsturz von Außenwänden infolge einer Hangbewegung	35
Abb. 26	Schwere Gebäudeschäden nach einer Massenbewegung (fotoarchiv.geology.cz, 2017)	36
Abb. 27	Schwere Schäden an einem Einfamilienhaus zufolge einer Hangbewegung (Aargauer Zeitung, 2015)	37
Abb. 28	Zufolge einer Massenbewegung entstandene Risse an Giebelwänden (fotoarchiv.geology.cz, 2017)	37
Abb. 29	Darstellung der Anlage vor dem Schadensereignis (tuerkei-zeitung.de, 2017)	38
Abb. 30	Linkes Bild: Erste Risse in der Straße; Bild in der Mitte: Riss breitete sich aus; Rechtes Bild: Straße brach weg (tuerkei-zeitung.de, 2017)	38
Abb. 31	Linkes Bild: Schwere Risschäden an Gebäuden, Rechtes Bild: Abriss des Bodenbelags (tuerkei-zeitung.de, 2017)	39
Abb. 32	Linkes Bild: Verformungsschäden bei einem Stiegendurchgang; Rechtes Bild: Terrassenschäden (tuerkei-zeitung.de, 2017)	39
Abb. 33	Linkes Bild: Absacken einer 6 m hohen Mauer, Blick von der Stützmauer Richtung Tal; Rechtes Bild: Blick unterhalb der Stützmauer (tuerkei-zeitung.de, 2017)	39
Abb. 34	Bauwerkversagen in einer großen Massenbewegung	40
Abb. 35	Schwere Schäden an Unterkonstruktion einer Alp-Hütte infolge einer Großhangbewegung (Jaritz, 2001)	41
Abb. 36	Deutlich sichtbare Verformungen an Holzhütten im Einflussbereich der Rutschung (Gschlifgraben, 2008)	41
Abb. 37	Linkes Bild: Verwerfungen von Bodenplatten und Verformungen an einer Hütte; Rechtes Bild: sichtbare Schiefstellung einer Stütze (Gschlifgraben, 2008)	42
Abb. 38	Verformung einer Tragkonstruktion zufolge einer Hangbewegung (fotoarchiv.geology.cz, 2017)	42
Abb. 39	Linkes Bild: Fußbereich eines Kriechhanges; Rechtes Bild: Risschäden am Gebäude unterhalb des Kriechhanges (Leopold, 2012)	43

Abb. 40	Geschädigtes Bauwerk nach einer Rutschung im Bereich der Rutschstirn (fotoarchiv.geology.cz, 2017) .....	43
Abb. 41	Linkes Bild: Schwere Schäden an einem Gebäude nach einer Hangrutschung; Rechtes Bild: Geschädigtes Objekt nach den Räumungsarbeiten, die Unterkonstruktion blieb stehen (roter Kreis) .....	44
Abb. 42	Ein mehrere Zentimeter großer Bruch einer Bodenplatte mit Höhenversatz aufgrund einer Hangdeformation (Aargauer Zeitung, 2015).....	44
Abb. 43	Schwere Setzungsrissschäden im Untergeschoss eines Wohnhauses, Bild Mitte: Detail der Verformungen und Abplatzungen in der Duschkabine (Aargauer Zeitung, 2015).....	45
Abb. 44	Setzungsrissschaden im Innenbereich ausgehend vom Laibungseck des Fensters (Aargauer Zeitung, 2015).....	45
Abb. 45	Gleichmäßige und differenzielle Setzung schematisch dargestellt (Meichsner & Rohr-Suchalla, 2011) .....	48
Abb. 46	Linkes Bild: Diagonaler Setzungsriß an Verwaltungsgebäude (Meichsner & Rohr-Suchalla, 2011); Rechtes Bild: Setzungsrisse mit großer Rissbreite und Verformungen an den Fensteröffnungen .....	49
Abb. 47	Linkes Bild: Mauerwerkswand mit vertikalem Rissverlauf, Rechtes Bild: Große Rissbreite bei vertikalem Rissverlauf im Detail (Dialer, 2016).....	49
Abb. 48	Linkes Bild: Riss zufolge einer sich ablösenden Giebelwand; Rechtes Bild: Detailaufnahme des Risses (Dialer, 2016) .....	50
Abb. 49	Linkes Bild: Diagonales Rissbild mit großer Rissbreite an einer Giebelwand; Rechtes Bild: Setzungsriß an Giebelwand mit Abplatzungen (Dialer, 2016).....	50
Abb. 50	Giebelwand mit horizontalem Setzungsrisssverlauf (Dialer, 2016).....	51
Abb. 51	Linkes Bild: Rissverlauf in Giebelwand aufgrund von Setzungsschäden; Rechtes Bild: Detailansicht des Risssschadens (Dialer, 2016).....	51
Abb. 52	Linkes Bild: Schwere Schäden an einem Wohngebäude; Rechtes Bild: Detailaufnahme der Risssschäden.....	52
Abb. 53	Linkes Bild: Vertikale Setzungsrissschäden an Wänden parallel zur Hanglage; Rechtes Bild: Kerbrisse an Fensteröffnungen (Dialer, 2016) .....	52
Abb. 54	Linkes Bild: Setzungsriß aufgrund unterschiedlich tief gegründeter Bauteile; Rechtes Bild: Schematische Skizze der Situation (Dialer, 2016) .....	53
Abb. 55	Biegeriße in einer Bodenplatte aufgrund von Setzungen (Meichsner, 2015) . .....	54
Abb. 56	Biegeriße in einer Bodenplatte im Inneren (Meichsner, 2015) .....	54
Abb. 57	Riße in einer Bodenplatte aufgrund von Setzungen.....	54

Abb. 58	Durch Quell- und Schwindprozesse im Untergrund verursachte Bauwerksrisse (Meichsner & Engels, 2015) .....	55
Abb. 59	Linkes Bild: Schwere Risschäden in einem Treppenhaus; Rechtes Bild: Diagonaler Riss ausgehend von der Bauwerksecke (Dialer, 2016) .....	56
Abb. 60	Linkes Bild: Feiner Rissverlauf mit vertikalem Verlauf (Dialer, 2016); Bild in der Mitte und rechtes Bild: vertikale Setzungsrisse in Wänden welche in die Decke übergehen .....	56
Abb. 61	Linkes Bild: Verformung eines Fließbodens; Rechtes Bild: Anhebung einer Verkaufsfläche .....	57
Abb. 62	Linkes Bild: Von Setzungsschäden betroffenes Objekt, Bild in der Mitte und rechts: Darstellung der Setzungsrisse im Mauerwerk am freigestellten Untergeschoss.. .....	57
Abb. 63	Setzungsrisse an einer Untergeschosswand eines in Hanglage stehenden Hauses mit Folgeschäden durch Wassereintritt.....	59
Abb. 64	Linkes Bild: Eindringen von Feuchtigkeit durch Bodenplatte; Rechtes Bild: Feuchte Wände im Untergeschoss.....	59
Abb. 65	Linkes Bild: Schimmelbefall aufgrund von Wassereintritt im Dachgeschoss; Rechtes Bild: Feuchtigkeitseintritt und Schimmelbefall aufgrund von Setzungsschäden .....	60
Abb. 66	Linkes Bild: Versatz einer Säule; Rechtes Bild: Entkopplung einer Balkonsäule aufgrund von Kriechbewegungen.....	60
Abb. 67	Verformungen angrenzender Pflastersteinen an ein Gebäude, ausgelöst durch Hangbewegungen .....	61
Abb. 68	Linkes Bild: Abreißen einer Sichtschutzwand vom Gebäude (VBHG, 2016); Rechtes Bild: Setzungsrissschaden an einer Trennmauer (gelber Pfeil zeigt die Verformungsrichtung an) (Dialer, 2016).....	61
Abb. 69	Setzungsrisse mit sichtbarem Abfallen einer langen Wandkonstruktion (VBHG, 2016).....	62
Abb. 70	Linkes Bild: Schiefelage eines Gebäudes ohne auffällige Risse; Rechtes Bild: schematische Darstellung einer einseitigen Setzung ohne Verformungen am Objekt (Mollinga, 2012).....	62
Abb. 71	Linkes Bild: Verdrehung des Schiefen Turms von Pisa; Rechtes Bild: Schiefer Kirchturm von Bad Frankenhausen .....	63
Abb. 72	Linkes Bild: Starke Schiefstellung eines Gebäudes mit Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit; Rechtes Bild: Durch die starke Schiefelage schliffen die Türen am Boden bzw. konnten nicht mehr richtig verschlossen werden (VBHG, 2016).....	64

Abb. 73	Schiefstellung im Badezimmer, Wasser lief nicht mehr vollständig ab (VBHG, 2016)	64
Abb. 74	Linkes Bild: Verformung und Biegeriss einer unbelasteten Mauerwerkswand aufgrund von Erddruck; Rechtes Bild: Außensituation des Schadensfalles (Dialer, 2016)	65
Abb. 75	Linkes Bild: Verformungen und Biegerisse an Mauerwerkswand; Rechtes Bild: Risse in Betonwand	65
Abb. 76	Risse in Mauerwerkswänden aufgrund von Durchbiegung	66
Abb. 77	Kippen eines 13. stöckigen Hochhauses aufgrund Versagen einer Pfahlgründung	66
Abb. 78	Linkes Bild: Schwere Schäden an einer Wohnanlage; Rechtes Bild: Versagen einer Micro-Pfahlgründung (Wohnanlage)	67
Abb. 79	Darstellung von „Problemzonen“ bei Brücken	68
Abb. 80	Integrale Brücke	69
Abb. 81	Verformungen einer integralen Brücke aufgrund von Temperaturänderung (adaptiert aus Geier, 2009)	69
Abb. 82	Schematische Darstellung einer mit Lagern ausgeführten Brücke und einer integralen Brücke	70
Abb. 83	Schematische Darstellung konstruktiver Schäden an Brücken aufgrund Verformung der Widerlager	71
Abb. 84	Risse im Fahrbahnübergang aufgrund von Setzungen im Bereich des Widerlagers einer Brückenkonstruktion	71
Abb. 85	Schäden durch Einpressen eines Tragwerkendes gegen das Widerlager; die Schadensursache war eine durch ein Erdbeben ausgelöste Hangbewegung	72
Abb. 86	Verwerfungen von Betonplatten infolge einer Kriechbewegung im Bereich des Widerlagers	72
Abb. 87	Risse im Fahrbahnübergangsbereich verursacht durch Kriechbewegungen im Bereich des Widerlagers (Brünner ZT GmbH, 2017)	73
Abb. 88	Betonabplatzungen an einen Mittelpfeiler einer Brücke aufgrund einer Verformung (Brünner ZT GmbH, 2017)	73
Abb. 89	Verschobenes Brückenaufleger als Indiz für Verschiebungen bzw. Verformungen einer Brücke	74
Abb. 90	Schwerer Risschaden und Verformung einer Brücke aufgrund von Absinken eines einzelnen Brückenpfeilers	74
Abb. 91	Schematische Darstellung von Schäden an Infrastruktur	75
Abb. 92	Hangverschiebung, bis zu 20 cm Breite Risse in der Fahrbahndecke	76

Abb. 93	Linkes Bild: Schwere Schäden an einer Fahrbahn infolge einer Hangrutschung; Rechtes Bild: Höhenversätze machten die Straßen unbenützbare, ...	76
Abb. 94	Linkes Bild: Querrisse infolge von Bewegungen im Untergrund; Rechtes Bild: Wellenartige Verformungen am Bankett der Straße (Leopold, 2012).....	77
Abb. 95	Linkes Bild: Risse im Asphalt entstanden durch Kriechbewegungen; Rechtes Bild: Risschaden in einer Straße infolge eines Böschungsbruches (Dialer, 2016).....	77
Abb. 96	Verschub von Randleisten entlang einer Bahnstrecke .....	78
Abb. 97	Sichtbare Hebungen und Versatz an einem Bahngleis sowie ein verschobener ursprünglich gerade verlaufender Entwässerungsgraben (Leopold, 2012) .....	79
Abb. 98	Linkes Bild: Verdrehter Strommasten; Rechtes Bild: Schrägstellung eines Masten (Leopold, 2012).....	79
Abb. 99	Verdrehte Masten und Verwerfung eines Gehweges (fotoarchiv.geology.cz, 2017) .....	80
Abb. 100	Linkes Bild: Versagen einer Hochspannungsleitung; Rechtes Bild: Schwere Schäden an einer Straße zufolge einer großen Massenbewegung .....	80
Abb. 101	Linkes Bild: Wasserleitungsbruch im Untergrund; Rechtes Bild: Beschädigte Wasserleitung nach einer Massenbewegung .....	81
Abb. 102	Linkes Bild: Starke Verformung einer Fahrbahn; Rechtes Bild: Schäden durch Erosion unter einer Straße.....	81
Abb. 103	Linkes Bild: Durch Kriechbewegungen im Hang beeinflusste Steinschichtmauer mit sichtbarer Ausbauchung; Rechtes Bild: Skizze der Situation (Liezen, 2017) .....	83
Abb. 104	Starke Umlagerung der Steine aufgrund einer Kriechbewegung (Liezen, 2017) .....	83
Abb. 105	Linkes Bild: Bruch in einem Mauerwerksstein aufgrund von Verformungen; Rechtes Bild: Detail des Bruches (Liezen, 2017) .....	84
Abb. 106	Linkes Bild: Verformung bzw. Ausbauchen einer Raumgitterwand; Rechtes Bild: Risschäden im Detail (Hilmer, Knappe & Englert 2004) .....	84
Abb. 107	Verformung eines 12 Jahre alten Stützbauwerkes (Brandl, 2008) .....	85
Abb. 108	Linkes Bild: Komplettversagen eines Stützbauwerkes aufgrund einer Massenbewegung; Rechtes Bild: Verformung einer Holzstützwand zufolge einer Kriechbewegung.....	85
Abb. 109	Linkes Bild: Kippende Stützmauer unter einem Kriechhang; Rechtes Bild: Starke Verwerfungen im Asphalt .....	86
Abb. 110	Linkes Bild: Verformung einer Mauerwerkswand unter einem Kriechhang; Rechtes Bild: Kippen einer niedrigen Stützmauer .....	87

Abb. 111	Linkes Bild: Gleitversagen einer Stützmauer; Rechtes Bild: schematische Darstellung der Untergrundsituation (Hilmer, 2006).....	87
Abb. 112	Gleiten einer Stützmauer mit starken Verwerfungen im Asphalt (tuerkei-zeitung.de, 2017) .....	88
Abb. 113	Linkes Bild: Bruch einer Stützmauer zufolge einer Hangdeformation; Rechtes Bild: Versagen einer Stützmauer mit starken Verformungen der Fahrbahn ...	88
Abb. 114	Wandbruch einer Winkelstützmauer nach einer Schmelzphase mit starken Niederschlägen .....	89
Abb. 115	Erste Risse und Verformungen einer Geschiebesperre infolge einer Rutschung, Aufnahmedatum: 29.11.2007 (Gschlifgraben, 2008).....	90
Abb. 116	Fortschreiten der Rutschung, Starke Verformungen und Trennrisse einer bei Geschiebesperre, Datum der Aufnahme: 28.01.2008 (Gschlifgraben, 2008) .....	90
Abb. 117	Komplettversagen einer Geschiebesperre zufolge einer Massenbewegung, Aufnahmedatum: 22.02.2008 (Gschlifgraben, 2008).....	91
Abb. 118	Linkes Bild: Rissaufnahme mittels geodätischem Meterstab (Dialer, 2016); Rechtes Bild: Nachbearbeitung einer Aufnahme durch Kontrasterhöhung (Meichsner & Rohr-Suchalla, 2011).....	94
Abb. 119	Linkes Bild: Aufnahme der Rissbreite mittels Risslineal; Rechtes Bild: Geringe Rissbreite.....	95
Abb. 120	Linkes Bild: Präzisions-Skalenlupe; Rechtes Bild: Rissbreitenaufnahme mittels optischer Risslupe (Dialer, 2016) .....	95
Abb. 121	Rissaufnahme mittels digitaler Risslupe (Dialer, 2016).....	96
Abb. 122	Anwendung eines Rissmonitors bei einem Riss in der Nähe einer Wandecke .....	96
Abb. 123	Linkes Bild: Gipsmarker bei kleiner Rissbewegung; Rechtes Bild: Abplatzen eines Gipsmarkers aufgrund einer großen Rissbewegung (Dialer, 2016) ...	97
Abb. 124	Gipsmarker mit Datum (Meichsner & Rohr-Suchalla, 2011) .....	97
Abb. 125	Aufnahme einer Rissbewegung mittels digitalem Setzdehnungsmessers in Kombination mit einem Rissmonitor (Dialer, 2016).....	98
Abb. 126	Fissurometer mit dreiachsiger Aufnahmemöglichkeit .....	98
Abb. 127	Rissbreitenmessung mithilfe eines Fissurometers <sup>74</sup> .....	99
Abb. 128	Rissdokumentation einer aufgrund von Setzungen geschädigten Brücke mittels digitaler Rissbreitenmessung .....	99
Abb. 129	Linkes Bild: Bohrkernentnahme; Rechtes Bild: Einblick in das Bohrloch mit Risschaden im Inneren einer Wand (Dialer, 2016).....	100
Abb. 130	Linkes Bild: Schematische Darstellung einer Schlauchwaagenmessung; Rechtes Bild: Schlauchwaage mit Skala.....	102

Abb. 131	Linkes Bild: Einsatz einer Wasserwaage an einer Gartenmauer; Rechtes Bild: Digitales Maßband .....	102
Abb. 132	Linkes Bild: Anlegen eines Neigungssensors an ein Bauwerk; Rechtes Bild: Digitaler Neigungssensor.....	103
Abb. 133	Linkes Bild: Messung mittels Totalstation; Rechtes Bild: Dauerhaft angebrachte Prisma zur periodischen Überwachung von Setzungen am Messobjekt (Aargauer Zeitung, 2015) .....	104
Abb. 134	Linkes Bild: Höhenbolzen zur Bestimmung von Niveauänderungen (Mollinga,2012); Rechtes Bild: Höhenbestimmung mittels Nivelliergerät und Messlatte.. .....	104
Abb. 135	Linkes Bild: Laser Scanner Leica; Rechtes Bild: Darstellung einer Lasermessung.....	105
Abb. 136	Linkes Bild: Auswertung einer Photogrammetrie aufgenommen mittels Drohne; Rechtes Bild: Photogrammetrisches Kamerasystem in Kombination mit einer Drohne .....	105
Abb. 137	Linkes Bild: Positionsbestimmung mittels GNSS; Rechtes Bild: GNSS Sensor .....	106
Abb. 138	Faseroptischer Sensor mit Bewehrungsstahl eingebaut (Lienhart & Ehrhart, 2016) .....	107
Abb. 139	Linkes Bild: Leckagenortung mittels einer Wärmebildkamera; Rechtes Bild: Wärmebildkameraaufsatz für Smartphones.....	107
Abb. 140	Linkes Bild: Modernes Videoendoskop zur Untersuchung von Bauwerksschäden; Rechtes Bild: Untersuchung einer Abwasserleitung mittels Videoendoskop .....	108
Abb. 141	Linkes Bild: Betondeckungsmessung an einer Wand mittels Ultraschall; Rechtes Bild: Untersuchung einer Betonstütze.....	109
Abb. 142:	Linkes Bild: Balkonanlage mit freigestellten Kellerwänden; Rechtes Bild: Risse im Balkonanschluss an die Fassade (Rizkallah, Achmus & Kaiser 2003) .....	110
Abb. 143	Darstellung der Aushubsituation (Rizkallah, Achmus & Kaiser 2003) ..	111
Abb. 144	Im Bild links das Schadensobjekt mit darunterliegender Baugrube (Aargauer Zeitung, 2015) .....	111
Abb. 145	Bild oben: Risschäden und Verformungen infolge einer Rutschung am Hauptgebäude; Bilder unten: Schäden an Außenbauteilen (Aargauer Zeitung, 2015).... .....	112
Abb. 146	Risschäden an Fensteröffnungen des Untergeschosses mit Rissmarkern versehen (Aargauer Zeitung, 2015).....	113

Abb. 147	Linkes Bild: Risse unter der Dachkonstruktion; Rechtes Bild: Starke Verformung und Biegerisse am Untergeschoss (Aargauer Zeitung, 2015) .....	113
Abb. 148	Linkes Bild: Sichtbare Verformungen der Bodenplatte des Wohnhauses; Rechtes Bild: Risschäden im Obergeschoss (Aargauer Zeitung, 2015) .....	113
Abb. 149	Aushubarbeiten für die Überbauung Apfelhain in Gränichen verursachten eine Hangbewegung (Aargauer Zeitung, 2015) .....	114
Abb. 150	Linkes Bild: Prisma an einer Hauswand zur Messung von Bewegungen; Rechtes Bild: Gipsmarker zur Überwachung von Rissbewegungen (Aargauer Zeitung, 2015) .....	115
Abb. 151	Millennium Tower in San Francisco.....	115
Abb. 152	Satellitenmessung des Millennium Towers zwischen 22.02.2015 und 20.09.2016, die Skala von Rot bis Grün beschreibt die Veränderungen zum Vorjahr	116
Abb. 153	Millennium Tower mit angrenzender Baustelle (Apple Inc. Maps Applikation, 2017) .....	117
Abb. 154	Linkes Bild: Setzungsrisse in Gehsteigplatten vor dem Millennium Tower; Rechtes Bild: Betonabplatzungen an den Kellerwänden des Millennium Towers .....	118
Abb. 155	Linkes Bild: Sichtbare Veränderung der Fassadenplattenabstände am Millennium Tower; Rechtes Bild: Rissmonitore an einer Wand der Tiefgarage .....	118
Abb. 156	Linkes Bild: Schnitt der Gebäudeanlage vor dem Versagen; Rechtes Bild: Darstellung der geplanten Verbindung zwischen Gebäude und bestehender Schlitzwand (Ruckenbrod & Schlüter 2005) .....	119
Abb. 157	Linkes Bild: Bauzustand während des Hochwassers; Rechtes Bild: Schematische Darstellung der Situation (Ruckenbrod & Schlüter, 2005).....	120
Abb. 158	Gehobener Zustand nach dem Absinken des aufgeschwommenen Objektes (Ruckenbrod & Schlüter, 2005) .....	120
Abb. 159	Bild oben: Schematische Darstellung der Verformungen; Bilder 1-5: Darstellung der Schäden nach dem Versagen (Ruckenbrod & Schlüter, 2005) .....	121
Abb. 160	Untersuchung der Bodenplatte via Videoendoskopie (Ruckenbrod & Schlüter, 2005).....	122
Abb. 161	Verformung der Bodenplatte durch Aufschwimmen in einer Tiefgarage (Meichsner, 2015) .....	123
Abb. 162	Linkes Bild: Spundwandarbeiten am benachbarten Grundstück; Rechtes Bild: Risschäden in der Gebäudefassade (Dialer, 2016).....	123
Abb. 163	Linkes Bild: Großer Risschaden an einem Türsturz; Rechtes Bild: Risse mit geringer Rissbreite an Innenwand (Dialer, 2016) .....	124
Abb. 164	Risschäden in einer Mauerwerkswand aufgrund von Erschütterung (Dialer, 2016) .....	124

Abb. 165	Nach dem Einsturz, Stützmauerversagen in Baltimore.....	125
Abb. 166	Blick von der Zugtrasse aus, Stützmauerversagen in Baltimore .....	125
Abb. 167	Bild oben: August 2009, Straße und Gehweg weisen keine Auffälligen Risse auf; Bild unten: September 2011, Straße und Gehweg weisen auffällige Risse und Verformungen auf.....	126
Abb. 168	Rutschversagen einer Winkelstützmauer (Hilmer, 2006) .....	127
Abb. 169	Linkes Bild: Darstellung der Untergrundsituation im Rutschbereich; Rechtes Bild: temporäre Stützung durch eine verankerte Elementenwand nach dem Schadensereignis (Hilmer, 2006) .....	128
Abb. 170	Von Bodenerosion betroffene Brückenkehre, rote Pfeile zeigen die Position der Pfeiler an (Ramsauer Straße, Schladming, 2017) .....	129
Abb. 171	Ein unterspültes Brückenpfeilerfundament (Ramsauer Straße, Schladming, 2017) .....	129
Abb. 172	Schiefstellung eines unterspülten Widerlagers aufgrund von Hochwässern .....	129
Abb. 173	Versagen einer Brückenkonstruktion durch Ausfall eines Pfeilers .....	130
Abb. 174	Schwerer Schaden an einem Brückentragwerk.....	131
Abb. 175	Übersicht Hangsituation .....	134
Abb. 176	Übersicht der Hangsituation mit den Schadensbildern zum Zeitpunkt der Erstaufnahme.....	135
Abb. 177	Risschäden mit großer Rissbreite an einem Gebäude.....	136
Abb. 178	Risschäden im Mauerwerk infolge von Verformungen .....	136
Abb. 179	Verdrehung von Strommasten.....	137
Abb. 180	Unruhige Hangmorphologie (Villach, 2017) .....	138
Abb. 181	Säbelwuchs.....	138
Abb. 182	Übersicht der Hangsituation mit entstandenen Schadensbildern im Zuge der Folgeuntersuchung. Die rote Strichlinie stellt die Bewegungszone zum Zeitpunkt der Erstaufnahme dar. Die aktuelle Bewegungszone ist durch den gelb strichlierten Bereich dargestellt. ....	140
Abb. 183	Neigungsänderung einzelner Stützmauerblöcke .....	141
Abb. 184	Überblick des Kriechhanges mit verschiedenen Messgrößen zur Ermittlung der Bewegungsrate .....	142
Abb. 185	Gipsmarker .....	143
Abb. 186	Prisma .....	143
Abb. 187	Totalstation .....	143
Abb. 188	Wasserwaage .....	143
Abb. 189	Inklinometer .....	143

Abb. 190	Übersicht Hangsituation .....	144
Abb. 191	Übersicht der Hangsituation mit den ersichtlichen Schadensbildern zum Zeitpunkt der Erstaufnahme .....	145
Abb. 192	Verdrehungen des Strommasten, sowie Bodenunebenheiten und erste Anrisskanten erkennbar .....	146
Abb. 193	Verdrehungen der Zaunstempel (Gasperl, Tartarotti, 2014) .....	146
Abb. 194	Zuggleis angrenzend an einen Kriechhang mit erkennbaren Schäden (Leopold, 2012) .....	147
Abb. 195	Linkes Bild: Verschiebung eines Brückenpfeilers; Rechtes Bild: Risschäden im Stützbereich .....	148
Abb. 196	Biegerisse am Tragwerk aufgrund des Ausfalls der Stützwirkung .....	148
Abb. 197	Auflagerverschiebungen an den Stützen der Brücke zufolge möglicher Kriechbewegungen.....	149
Abb. 198	Unebene Hangmorphologie verursacht durch mögliche Kriechbewegungen im Untergrund (Leopold, 2012) .....	149
Abb. 199	Übersicht der Hangsituation mit entstandenen Schadensbildern im Zuge der Folgeuntersuchung. Der rot strichlierte Bereich stellt die Bewegungszone zum Zeitpunkt der Erstaufnahme dar. Die aktuelle Bewegungszone ist durch den gelb strichlierten Bereich dargestellt.....	150
Abb. 200	Asphaltbrüche bzw. -risse an einer Fahrbahnübergangskonstruktion...	151
Abb. 201	Überblick des Kriechhanges mit verschiedenen Messgrößen zur Ermittlung der Bewegungsrate .....	152
Abb. 202	Übersicht Hangsituation .....	153
Abb. 203	Übersicht der Hangsituation mit ersichtlichen Schadenbildern zum Zeitpunkt der Erstaufnahme .....	154
Abb. 204	Anrisskante mit erkennbaren Geländeversatz .....	155
Abb. 205	Anrisskante als Hinweis möglicher Hangbewegungen .....	155
Abb. 206	Linkes Bild: Verdrehter Lichtmast; Rechtes Bild: Neigungsänderung einer einzelnen Liftstütze.....	156
Abb. 207	Übersicht der Hangsituation mit entstandenen Schadensbildern im Zuge der Folgeuntersuchung. Der rot strichlierte Bereich stellt die Bewegungszone zum Zeitpunkt der Erstaufnahme dar. Die aktuelle Bewegungszone ist durch den gelb strichlierten Bereich dargestellt.....	157
Abb. 208	Risse am Parkhaus ausgelöst durch den erhöhten Kriechdruck, der auf das Gebäude einwirkt .....	158
Abb. 209	Risse und Verwerfungen am Parkplatz angrenzend an die Skipiste.....	159

Abb. 210	Verformungen an der Holzkonstruktion und Schäden am erdberührten Mauerwerk verursacht durch kriechende Bewegungen des Hanges (Jaritz, 2001)...	159
Abb. 211	Wasserleitung (in blau eingezeichnet) zur Versorgung der Beschneiungsanlage. Durch die Kriechbewegung kommt es zur Entstehung undichter Stellen im Rohr .....	160
Abb. 212	Überblick des Kriechhanges mit verschiedenen Messgrößen zur Ermittlung der Bewegungsrate .....	161
Abb. 213	Geographische Lage der Rutschung Pogerschitzen.....	162
Abb. 214	Satellitenaufnahme des Rutschungsgebietes; Blaue Markierung: oberes Rutschungsgebiet; Rote Markierung: unteres Rutschungsgebiet.....	164
Abb. 215	Blickrichtung Nordosten auf die obere Steilstufe der Rutschung. Die rote Markierung stellt den Verlauf der Anrisskante dar. Die Bereiche A, B und C werden anschließend im Detail ausgearbeitet.....	165
Abb. 216	Gut erkennbare Anrisskante. Durch die Rutschung ergab sich ein Höhenversatz des Geländes von mehreren Metern.....	166
Abb. 217	Durch die Rutschung ist das Gelände um 2-3 m tiefer versetzt. ....	166
Abb. 218	Die Auflast des Baumstamms kann zum Nachbrechen der Anrisskante führen. ....	167
Abb. 219	Blick von oben auf den östlichen Bereich der Anrisskante.....	168
Abb. 220	Obere Steilstufe mit Blick auf die Anrisskante unmittelbar nach dem Rutschereignis (WLV Kärnten, 2014) .....	169
Abb. 221	Obere Steilstufe mit Blick auf die Anrisskante zum Zeitpunkt der Begehung, drei Jahre nach dem Rutschereignis .....	169
Abb. 222	Neogenschicht (rote Markierung) unterhalb des grobkörnigen Bodens bewässert den Hang permanent.....	170
Abb. 223	Geringe Wasseraustritte aus der Neogenschicht erkennbar.....	170
Abb. 224	Feuchtstellen im Boden deuten auf eine starke Durchnässung des Hanges hin .....	171
Abb. 225	Deutlich sichtbare Anrisskante der Rutschung .....	172
Abb. 226	Schrägstellung der Bäume durch die Verschiebungen der Bodenmasse... ..	172
Abb. 227	Blickrichtung Süden von der oberen Steilstufe auf den anschließenden flachen Bereich .....	173
Abb. 228	Blickrichtung Nordosten vom unteren Bereich der dazwischenliegenden Wiese auf die obere Steilstufe. An der Wiese sind außer leichten Unebenheiten keine Schäden mehr ersichtlich. ....	174

Abb. 229	Risse in der Wiese unmittelbar nach der Rutschung (WLV Kärnten, 2014)	174
Abb. 230	Durch die starke Durchfeuchtung des Hangs sind die Risse teilweise mit Wasser gefüllt; Aufnahme direkt nach dem Rutschungsereignis (WLV Kärnten, 2014) ..	175
Abb. 231	Blickrichtung Süden auf den unteren Rutschungsbereich. An den schiefen Bäumen ist erkennbar, welcher Bereich von der Bewegung betroffen ist. ....	176
Abb. 232	Im Bereich der unteren Rutschzone sind Bäume durch die Rutschung teilweise umgebrochen, hängend an anderen Bäumen oder schiefgestellt.....	176
Abb. 233	Unteres Ende der Rutschung im östlichen Bereich. Die aufgeschobene Rutschzunge bildet den Übergang zur unbewegten Zone. ....	177
Abb. 234	Inklinometerrohr .....	177
Abb. 235	Ungerader Verlauf des Weges deutet auf die Grenze der Bewegungszone und die Verschiebungen hin. ....	178
Abb. 236	Verlauf und Form des Weges liefern Hinweise über die Bewegungsrate und die Grenze zwischen bewegtem und unbewegtem Bereich. ....	178
Abb. 237	Satellitenaufnahme des Rutschungsgebietes.....	179
Abb. 238	Blick Richtung Norden, Aufnahme des südlichen Bauernhofes unter dem Rutschungsgebiet; eingezeichnet in grün das alte Rutschungsgebiet .....	180
Abb. 239	Blick Richtung Süden, Aufnahme des südlichen Bauernhofes nach dem Rutschungsereignis 2014 (WLV Kärnten, 2014).....	180
Abb. 240	Traktorgarage mit auffälligen Rissen, Blick Richtung Osten .....	181
Abb. 241	Linkes Bild: Nachgezeichnete Rissmuster; Rechtes Bild: schematische Darstellung .....	181
Abb. 242	Traktorgarage mit Risschäden Blick Richtung Nordwesten .....	182
Abb. 243	Linkes Bild: Nachgezeichnete Rissmuster; Rechtes Bild: Schematische Darstellung .....	182
Abb. 244	Aufnahme des nördlichen Bauernhofes in der Nähe des Hanges nach der Rutschung im Jahr 2014 (WLV Kärnten, 2014) .....	183
Abb. 245	Aufnahme der Traktorgarage in der Nähe des Rutschhanges.....	183
Abb. 246	Stallgebäude südlich unter dem Rutschungsende, Blick Richtung Westen, Darstellung der Neigungsunterschiede von Betonwand und Bauwerk im Detail .....	184
Abb. 247	Zweigeschossige Garage südlich vom Rutschhang, Blick Richtung Nordosten .....	185
Abb. 248	Frontalansicht der Garage Blick Richtung Norden.....	185
Abb. 249	Schematische Darstellung der Verdrehung der zweigeschossigen Garage, Blick Richtung Norden.....	186

Abb. 250 Linkes Bild: Risse in der Bodenplatte aufgrund von Kippen der inneren  
Wand; Rechtes Bild: Risschaden im Detail..... 186

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Grenzzustände nach ULS und SLS.....	4
Tab. 2	Schadensfolgeklassen (ÖNORM B 1990-1,2013) .....	9
Tab. 3	Empfohlene Werte für die Begrenzung der Rissbreite $w_{\max}$ (mm).....	12
Tab. 4	Schadensarten und deren Erscheinungsformen (adaptiert aus Gänßmantel & Horn, 2012) .....	21
Tab. 5	Zulässige vertikale Verformungen von Bauteilen entsprechend der Nutzung (ÖNORM B 1990-1, 2013).....	25
Tab. 6	Ursachen von Setzungen (adaptiert aus Hilmer, Knappe & Englert 2004).....	46
Tab. 7	Messinstrumente deren Messgrößen .....	101
Tab. 8	Beispiele für Messgrößen und jeweilige Messinstrumente .....	143



# 1 Einleitung

Das Bauingenieurwesen teilt sich auf in die einzelnen Fachgebiete wie Wasserbau, Geotechnik, Verkehr und konstruktiven Ingenieurbau, welche meist ineinander verschmelzen. Diese Arbeit geht auf die Interaktion zwischen Geotechnik und konstruktivem Ingenieurbau ein. Bauwerke wirken mit ihrer Gewichtslast auf den Untergrund, was zu Setzungen führen kann. Diese Setzungen können wiederum Verformungen und als Folge Risse im Bauwerk verursachen. Da bestimmte Bauwerke nur sehr geringe Verformungen aufnehmen können, machen sich diese bereits frühzeitig durch Risse und andere Schäden bemerkbar. Aufgrund dessen, können Schadensbilder an Konstruktionen teilweise zur direkten oder indirekten Überwachung von Massenbewegungen eingesetzt werden. Hierbei sind jedoch einige Randbedingungen und Einflussparameter zu beachten und vor allem bei der Interpretation zu berücksichtigen.

Ziel dieser Arbeit ist die Darstellung und Erläuterung von Schadens- bzw. Versagensbildern bei Bauwerken, welche durch geotechnische Versagensmechanismen und speziell Massenbewegungen auftreten. Dem Leser dieser Arbeit soll es ermöglicht werden, die Auswirkung von Massenbewegungen auf Konstruktionen durch die Kombination entsprechender Schadensbilder zu erkennen, um z.B. die Schadensursache und den Schadenshergang besser deuten zu können. Dadurch kann eine Zunahme der Schäden möglicherweise vermieden oder eingedämmt werden, und in weiterer Folge könnte ein mögliches Bauwerksversagen rechtzeitig durch Sicherungsmaßnahmen vermieden werden.

Grundlage hierfür bilden Kapitel 2 und 3 dieser Arbeit mit der Definition eines Schadens und einer Auflistung möglicher Versagensarten und Grenzzustände der verschiedenen Konstruktionstypen und Materialien nach den entsprechenden Eurocodes.

Kapitel 4 „Konstruktive Schadensbilder“ soll den Schwerpunkt dieser Arbeit bilden und präsentiert Schadensbilder und deren Ursache sowie deren Entstehung nach der Art der Konstruktion eingeteilt. Da Bauwerksschäden wie Risse und Verdrehungen meist unterschiedliche Ursachen haben können, sollen in diesem Kapitel ebenfalls nicht durch Massenbewegungen verursachte Schadensbilder kurz angeführt werden, welche Schäden zufolge einer Hangdeformationen ähneln. Dies soll dem Anwender die Zuordnung des Problems erleichtern und einen Überblick über weitere Schadensursachen geben.

Da Schäden erst untersucht und bewertet werden müssen, werden ebenfalls verschiedene Messinstrumente und Techniken zur Ermittlung des Schadensausmaßes behandelt.

Das letzte Kapitel behandelt das Thema „Schadensbilder zur Überwachung von Massenbewegungen“ und soll genauer auf die Interaktion zwischen geotechnischen und konstruktiven Schadensbildern eingehen. Dabei wird anhand von Beispielen und der Rutschung Pogerschitzen gezeigt, wie Schadensbilder als einfache Methode zur Ermittlung und Überwachung von Massenbewegungen genutzt werden können. Dieses Kapitel wurde vollständig mit Frau Winkler erarbeitet.

Auf den Begriff Massenbewegung, sowie deren Entstehung wird genauer in der Arbeit „Nutzung von Schadensbildern zur Überwachung von Massenbewegungen – geotechnische Schadensbilder bei Massenbewegungen“ von Frau Winkler eingegangen. Des Weiteren werden Erdbeben, welche mit dem Auslösen von Massenbewegungen in Verbindung stehen, nicht genauer behandelt.

## 2 Bauwerksschäden

Diese Arbeit behandelt Schadensbilder aus konstruktiver Sicht und verwendet dementsprechend den Begriff Schaden und im Weiteren den Ausdruck Versagen bei entsprechend „großen Schäden“. ONR 24803 – (Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Betrieb, Überwachung und Instandhaltung), Kapitel 3.7.1, definiert den Begriff Schaden im Bauwesen wie folgt: *„Veränderungen im Bauwerk, in dessen Einbindungen oder Umgebung, durch externe oder interne Ursachen, die zu einer Verminderung der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit oder Dauerhaftigkeit des Tragwerkes führen. Ein für den baulichen Unterhalt relevanter Schaden tritt ein, wenn ein bestimmter Grenzwert des Abnutzungsvorrates unterschritten wird und ein kritischer Zustand in der Gebrauchstauglichkeit oder Tragfähigkeit erreicht wird.“* (ONR 24803, 2008, Kapitel 3.7.1) Der Eurocode bezeichnet diese sogenannten Grenzwerte als Grenzzustände. Werden Grenzzustände überschritten, besteht die Gefahr, dass es zu einem Schaden kommt.

Laut ONR 24800 – (Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Begriffe und ihre Definitionen sowie Klassifizierung) Kapitel 4.4.9, ist ein Schadensereignis ein *„Naturereignis, das zu Personenschäden (Menschen verletzt oder getötet) oder Schäden an Sachgütern und/oder der Umwelt führt.“* (ONR 24800, 2009, Kapitel 4.4.9) Schaden muss hierbei noch kein Versagen bedeuten. Dementsprechend werden die Schäden aufgrund der Überschreitung eines Grenzzustandes im Eurocode in Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit und Grenzzustände der Tragfähigkeit eingeteilt.

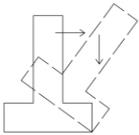
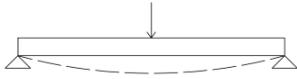
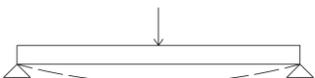
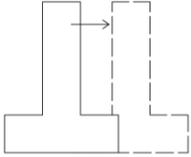
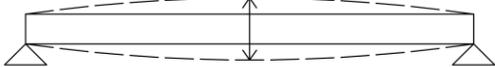
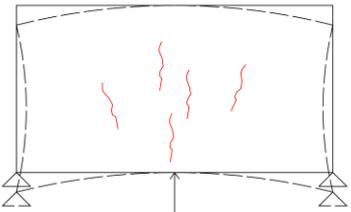
### 2.1 Konzept des Eurocodes

Der Eurocode ist eine Europäische Norm für Entwurf, Bemessung sowie Berechnungen im Bereich des Bauwesens und wurde 2004 vom europäischen Komitee für Normung CEN (*Comité Européen de Normalisation*) und somit deren Mitgliedsstaaten übernommen. Der Eurocode hilft in erster Linie, dass europäische Bauingenieure die gleiche technische Grundlage verwenden, nach den gleichen Richtlinien rechnen und bewerten. Außerdem bildet der Eurocode eine essentielle Brücke zwischen konstruktivem und geotechnischem Ingenieurbau. Nationale Normen sind weiterhin zulässig, dürfen aber der Europäischen Norm weder widersprechen noch mit ihr konkurrieren. (Frank, 2008)

Im Eurocode werden Grenzzustände definiert, bei deren Überschreitung das ingenieurmäßige Bauwerk in einen unsicheren bzw. unbrauchbaren Zustand übergeht.

(Unterweger, 2011) Diese werden untergliedert in Grenzzustände der Tragfähigkeit (Ultimate Limit State) und Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (Serviceability Limit State). Folgende Tabelle wurde aus dem Skript Baustatik 2, Bauwerkssicherheit, Kapitel 3: Bemessung nach Grenzzuständen (Unterweger, 2011) entnommen und adaptiert und stellt die jeweiligen Grenzzustände nach ULS und SLS gegenüber:

Tab. 1 Grenzzustände nach ULS und SLS

Tragfähigkeit (ULS)	Gebrauchstauglichkeit (SLS)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Verlust der Lagesicherheit: EQU</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Durchbiegung</li> </ul>
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Verlust der Tragsicherheit durch übermäßige Verformung, Bruchzustand: STR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Horizontalverformung</li> </ul>
	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verschiebung</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Materialermüdung: FAT</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schwingungsfrequenzen</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schäden allgemeiner Art am Tragwerk, vor allem ungewollte Rissbildung</li> </ul>
	

### 2.1.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Grenzzustände der Tragfähigkeit sind Zustände, bei deren Überschreitung die Sicherheit von Mensch und die Sicherheit der Tragfähigkeit gefährdet sind. Versagen tritt dann ein, wenn die Widerstandskomponente kleiner als die nachteilig wirkende Kraft ist. Dies bedeutet, Versagen tritt laut Eurocode dann ein, wenn der Grenzzustand der Tragfähigkeit überschritten wird. (Boley, 2012)

Wie in Tab. 1 erläutert, besteht die Möglichkeit eines Versagens durch Verlust der Lagesicherheit eines starren Körpers, oder eines einzelnen Bauteiles. Übermäßige Verformungen, bei denen das Bauteil in einen kinematischen Zustand einschließlich mitwirkender Lager und Gründung übergeht, kann zu einem Bruchzustand führen, bei welchem die Tragsicherheit der Konstruktion nicht mehr gegeben ist. Zu einem längerfristigen Tragwerksversagen führen Materialermüdung sowie weitere zeitabhängige Auswirkungen wie die Veränderung chemischer Eigenschaften im Beton oder Korrosion im Betonstahl.

### 2.1.2 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit sind Veränderungen, welche Einfluss auf die Gebrauchsbedingung, Wohlbefinden der Benutzer oder das Erscheinungsbild haben. Werden diese überschritten kommt es zu einem Schaden. Darunter sind zum Beispiel nicht hinnehmbare Risse, Setzungen, Verdrehungen oder Verformungen an der Konstruktion gemeint, welche die Gebrauchstauglichkeit während normaler Nutzungsbedingungen nicht gewährleisten, ohne dabei jedoch ein Versagen des Bauwerkes herbeizuführen. (Boley, 2012) Meist sind derartige Schadensbilder jedoch Anzeichen bzw. Folgen eines möglichen Versagens oder sich ausbildender Versagensmechanismen. So können z. B. Risse in der Fassade eines Bauwerkes ein Indiz für Setzungserscheinungen sein, während die Neigungsänderung eines Stützbauwerkes auf ein sich möglicherweise ankündigendes Kippversagen hindeutet.

Der nationale Anhang des Eurocode 0 (ÖNORM B 1990-1, 2013) beschreibt für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit die Begrenzung der vertikalen Verformung eines Bauteils, um die vorgesehene Nutzung zu ermöglichen, und Schäden an angrenzenden Konstruktionselementen zu vermeiden. Außerdem werden horizontale Verschiebungen begrenzt sowie das erlaubte Schwingungsverhalten deklariert. Zusätzlich neben den definierten und rechnerisch nachzuweisenden Grenzzuständen sind für die Erfüllung der Gebrauchstauglichkeit in den meisten materialspezifischen Normen ebenfalls Konstruktionsregeln definiert, welche für die Einhaltung der

Dauerhaftigkeit und die sachgemäße Ausbildung des Bauteiles oder der Konstruktion einzuhalten sind.

Anhand eines Beispiels wird erläutert, wie die jeweiligen Grenzzustände bewertet und behandelt werden.

### Querschnittsnachweis

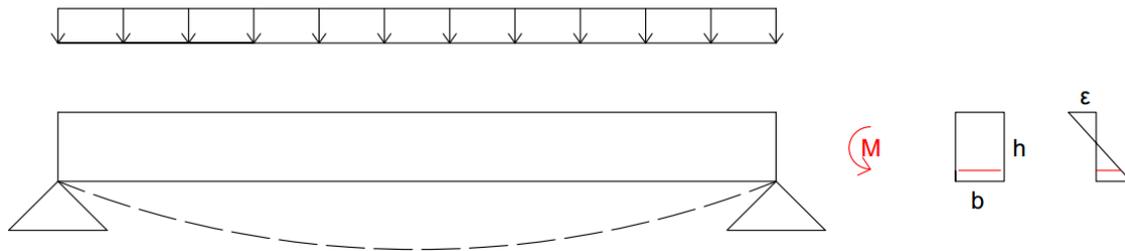
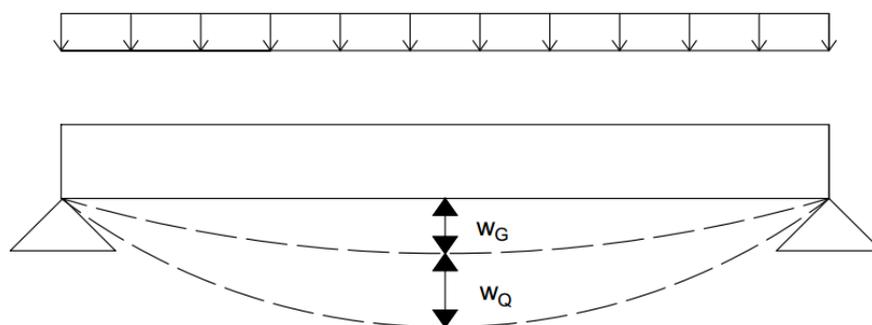


Abb. 1 Querschnittsnachweise schematisch dargestellt

Bei einem Querschnittsnachweis ist der Querschnitt eines unter Belastung stehenden Bauteils auf die maximale Beanspruchung zu untersuchen. Kann ein Material, z.B. Beton und die darin liegende Bewehrung die resultierenden Kräfte aus der maximalen Beanspruchung unter Berücksichtigung der vorgeschriebenen Teilsicherheitsbeiwerte aufnehmen, gilt der Nachweis als erfüllt und der untersuchte Querschnitt als tragfähig. Wird der Grenzwert überschritten, so gilt das Bauteil und somit die Konstruktion als nicht tragsicher, ein Versagen wird (in Form einer Überbeanspruchung) eintreten.

### Bauteilnachweis



$w_G$  Durchbiegung zufolge Eigengewicht

$w_Q$  Durchbiegung zufolge Nutzlast

Abb. 2 Bauteilnachweis schematisch dargestellt

Bei einem Bauteilnachweis wird das entsprechende unter Belastung stehende Bauteil auf seine Gebrauchstauglichkeit hin untersucht. Im in Abb. 2 dargestellten Beispiel sind dies die Durchbiegungen eines Einfeldträgers. In Abhängigkeit der Art des Bauwerkes können dies jedoch auch Verformungen, Neigungsänderungen oder Kipperscheinungen sein. Je nach Material und Abmessung werden Grenzwerte empfohlen, bei deren Überschreitung es zu verschiedenen Arten von Schäden kommen kann. So kann es bei übermäßigen Verformungen des Bauteils zu Rissen im Bauteil selbst, oder in der betroffenen Konstruktion kommen, woraus eine Überschreitung der Grenzwerte der Gebrauchstauglichkeit resultiert. Weiters können aufgrund der Durchbiegung Leitungen beschädigt, oder Anschlussbauteile verformt oder überbeansprucht werden und dadurch die Gebrauchstauglichkeit des Objektes nicht mehr gegeben sein ohne dass die Konstruktion in seiner Tragfähigkeit gefährdet wird.

### 2.1.3 Umgang mit Grenzzuständen

Treten entsprechende Schäden wie Verformungen, Verdrehungen oder Risse am Bauwerk aufgrund einer Überschreitung der Grenzwerte auf, so muss fachspezifisch bewertet werden ob die Tragfähigkeit der Konstruktion gefährdet ist bzw. Folgeschäden drohen, oder ob die Schäden lediglich die Gebrauchstauglichkeit betreffen.

## 2.2 Schäden an Bauwerken

Der Schadensursache kommt eine große Bedeutung zu. So können zum Beispiel Gründungsschäden infolge eines geotechnischen Versagensmechanismus ein Grund für die Überschreitung der Gebrauchstauglichkeit am Bauwerk sein. In derartigen Fällen wird die Behebung der Mängel am Bauwerk selbst auf Dauer voraussichtlich keine Lösung darstellen, und weitere Schäden werden folgen. Dies bedeutet ohne die Kenntnis der Schadensursache, ist eine dauerhafte Behebung eines Schadens nicht möglich.

Gründe für einen konstruktiven Schaden können unterschiedlich sein und werden wie folgt unterteilt:

- Planungsfehler  
Ein Grund für ein späteres Versagen oder einen Schaden an einem Bauwerk kann die Auswahl eines falschen Baumaterials oder der Herstellungsmethode des Bauteils bzw. Bauwerks sein. Zu niedrig angenommene Einwirkungen wie Gewichtslasten, Erddruck oder Grundwasser können zu einer fehlerhaften

Bemessung der Konstruktion und zu einer unzureichenden Gründungsmethode führen.

- **Ausführungsfehler**  
Werden Planvorgaben nicht eingehalten und falsche Materialien eingesetzt oder die Baumethode nicht situationsgerecht ausgeführt, so kann dies zu Bauwerksschäden führen.
- **Materialfehler**  
Mangelhafte Qualität des Materials, falsche Produktions- bzw. Herstellungsvarianten können zu Problemen und späteren Schäden am Bauwerk führen.
- **Nutzungsfehler**  
Bauwerke können Schäden erleiden, wenn sie nicht planmäßig genutzt oder überbeansprucht werden.
- **Höhere Gewalt**  
Besonders im Hinblick auf die Boden-Bauwerk-Interaktion können Naturereignisse wie extremer Niederschlag, Erdbeben oder z.B. Massenbewegungen unerwartet schwere Schäden an Konstruktionen verursachen.

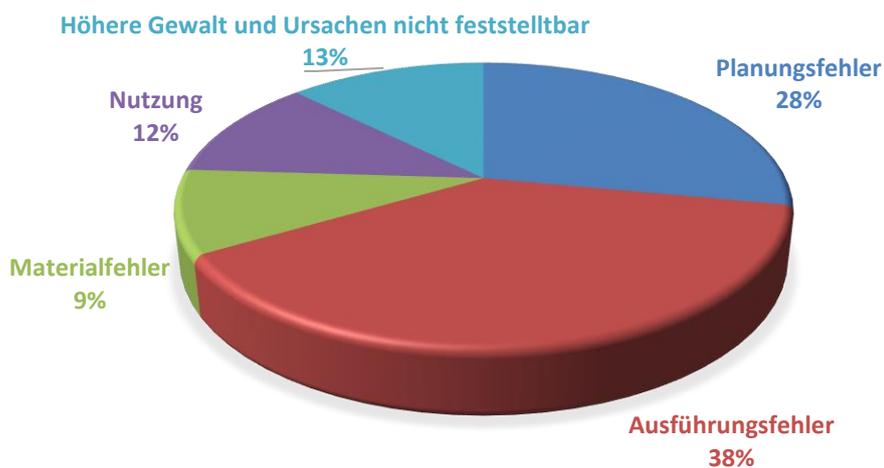


Abb. 3 Darstellung der Schadensursachen für Bauschäden (adaptiert aus Balak, Rosenberger & Steinbrecher, 2005)

## 2.3 Schadensfolgeklassen

Eurocode 0 (ÖNORM B 1990-1,2013) differenziert das mögliche eintretende Schadensausmaß in Schadensfolgeklassen, die sogenannten Consequence Classes (CC). Dabei werden die Auswirkungen des Versagens bzw. der Funktionsbeeinträchtigung eines Tragwerks betrachtet und in drei Schadensfolgeklassen eingeteilt, wonach sich in den weiteren Nachweisen und Berechnungen die Teilsicherheitsbeiwerte orientieren.

Tab. 2 Schadensfolgeklassen (ÖNORM B 1990-1,2013)

Schadensfolgeklassen	Merkmale	Beispiele
CC 3	Hohe Folgen für Menschenleben oder sehr große wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen	Bauwerke (oder eigenständige Bauwerksteile) mit einem widmungsgemäßen Fassungsvermögen für mehr als 1000 Personen (wie z. B. Krankenanstalten, Einkaufszentren, Stadien, Bildungseinrichtungen)
CC 2	Mittlere Folgen für Menschenleben, beträchtliche wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen	Bauwerke, die nicht der Schadensfolgeklasse CC1 oder CC3 zuzuordnen sind
CC 1	Niedrige Folgen für Menschenleben und kleine oder vernachlässigbare wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen	Gebäude mit nicht mehr als drei oberirdischen Geschoßen und mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 7 m, bestehend aus höchstens fünf Wohnungen bzw. Betriebseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m <sup>2</sup> Brutto-Grundfläche der oberirdischen Geschoße

### 3 Grenzzustände

In diesem Kapitel werden die Grenzzustände der Tragfähigkeit sowie die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit, mit Konzentration auf geotechnische Bauwerke und Schadensbilder für unterschiedliche Arten der Konstruktion und Materialien nach Eurocode eingeteilt.

Da der Fokus dieser Arbeit auf konstruktiven Schadensbildern im Zusammenhang mit geotechnischen Schäden und Massenbewegungen liegt, werden in den nachfolgenden Ausführungen lediglich folgende Eurocodes näher betrachtet:

- EN 1992, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken
- EN 1996, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten
- EN 1997, Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik

Die genannten Eurocodes kommen bei der Errichtung neuer Bauwerke zur Anwendung. Bestandsbauwerke wurden nach dem zum Zeitpunkt der Errichtung Stand der Technik hergestellt. Es kann durchaus vorkommen, dass Bestandsbauwerke die Nachweise nach aktueller Norm nicht mehr erfüllen können. Dementsprechend sei auf ONR 24008 – (Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken) Kapitel 4.2 Vertrauensgrundsatz verwiesen: *„Unter Betrieb befindliche Bestandsbauwerke sind im Gegensatz zum Entwurf neuer Tragwerke langjährig unter Erprobung gestanden und lassen somit Rückschlüsse auf das reale Tragverhalten zu. Bei Fehlen von die Tragfähigkeit beeinflussenden Bauschäden und konstruktiven Mängeln kann festgestellt werden, dass sich diese Tragsysteme bewährt haben.“* (ONR 24008, 2014, Kapitel 4.2)

#### 3.1 Grenzzustände laut Eurocode 2

Im Eurocode 2 ist die Bemessung und Konstruktion von Beton-, Stahlbeton- und Spannbetontragwerken geregelt. Für den Grenzzustand der Tragfähigkeit sind in Eurocode 2 (ÖNORM EN 1992-1-1,2015) folgende Versagensmechanismen und Grenzzustände definiert:

- Biegung mit oder ohne Normalkraft
- Reine Normalkraft
- Örtliches Versagen
- Querkraft
- Torsion

- Ermüdung
- Theorie II. Ordnung: Einzeldruckglieder und Wände

Gemäß Eurocode 2 sollten Auswirkungen von Setzungsunterschieden in der Regel immer für Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit berücksichtigt werden. Für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind Setzungen nur dann zu berücksichtigen, wenn diese wesentlich sind, z.B. bei Nachweisen, welche nach Theorie II. Ordnung geführt werden müssen. In anderen Fällen müssen Setzungsunterschiede nicht berücksichtigt werden, wenn Verformungsvermögen und Rotationsfähigkeit im ausreichenden Maß nachgewiesen werden können.

Die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit laut Eurocode 2 (ÖNORM EN 1992-1-1, 2015) werden gegliedert in:

- Spannungen
- Begrenzungen der Rissbreiten
- Begrenzungen der Verformungen

Die Haupteigenschaft von Stahlbeton ist sein duktiler Verhalten. Dies bedeutet, dass sich das Material plastisch verformen kann ohne sofort zu brechen. Bei auf Zug oder Biegung beanspruchten Bauteilen, muss der Beton Zustand II erreichen, bevor die Zugbewehrung aktiviert wird. Risse bedeuten daher per se noch kein Versagen oder eine Versagensankündigung, sondern stellen vorerst einmal die planmäßige und wirtschaftliche Funktion des Bauteiles sicher. Übermäßige Rissbildung, sowie unzulässige Rissbreiten und Risstiefen stellen jedoch sehr wohl eine Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit sowie eine mögliche Ankündigung eines Versagens dar.

Unbewehrte Bauteile weisen ein sprödes Verhalten auf, woraus ein schlagartiges Versagen resultiert, ohne dass sich der Körper zuvor wie bei duktilen Materialien plastisch verformt. Unbewehrte Bauteile kommen heute eher selten und wenn, dann nur in untergeordneter Funktion vor. Bei Bestandsbauwerken, vor allem im Bereich der Stützbauwerke kamen und kommen jedoch sehr häufig unbewehrte Massen- oder Stampfbetonquerschnitte zur Anwendung.

#### **Rissbreiten**

Laut ÖNORM EN 1992-1-1, ist zu beachten, dass die ordnungsgemäße Nutzung der Konstruktion, das Erscheinungsbild sowie die Dauerhaftigkeit durch Risse nicht beeinträchtigt wird und diese entsprechend in ihrer Breite begrenzt sind. ÖNORM EN

1992-1-1 beschreibt in Kapitel 7.3 – Begrenzung der Rissbreiten „(2)P Rissbildung ist normal bei Stahlbetontragwerken, die Biegung, Querkraft, Torsion oder Zugkräften ausgesetzt sind, welche aufgrund direkter Lastbeanspruchung oder durch behinderte bzw. aufgebrachte Verformungen auftreten.“ (ÖNORM EN 1992-1-1, 2015, 7.3.1) Wird der ordnungsgemäße Gebrauch eines Tragwerks nicht beeinträchtigt, muss die Rissbreite nicht begrenzt werden. Tab. 3 wurde aus dem Eurocode 2, 7.3 Begrenzung der Rissbreiten, Tabelle 7.1M – Empfohlene Werte für  $w_{\max}$  (mm), entnommen und zeigt die angesetzten Grenzwerte für die Rissbreite  $w_{\max}$ . In Dieser wird die Begrenzung für Rissbreiten nach Expositionsklassen eingeteilt und Bauteile aus Spann- bzw. Stahlbeton nach quasi-ständiger und häufiger Einwirkungskombination unterschieden.

Tab. 3 Empfohlene Werte für die Begrenzung der Rissbreite  $w_{\max}$  (mm)

Expositionsklassen	Bauteile aus Stahlbeton und Bauteile aus Spannbeton mit Spanngliedern ohne Verbund	Bauteile aus Spannbeton mit Spanngliedern im Verbund
	Quasi-ständige Einwirkungskombination	Häufige Einwirkungskombination
X0, XC1	0,4 <sup>a</sup>	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 <sup>b</sup>
XD1, XD2, XD3, XS1, XS2, XS3		Dekompression

<sup>a</sup> Bei den Expositionsklassen X0 und XC1 hat die Rissbreite keinen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit und dieser Grenzwerte wird zur Wahrung eines akzeptablen Erscheinungsbildes gesetzt. Fehlen entsprechende Anforderungen an das Erscheinungsbild, darf dieser Grenzwert erhöht werden.

<sup>b</sup> Bei diesen Expositionsklassen ist in der Regel zusätzlich die Dekompression unter quasi-ständigen Einwirkungskombination zu prüfen.

## Verformungen

Generell sind Verformungen durch den Einbau von Auflagern und Fugen zu minimieren. Die ordnungsgemäße Funktion eines Tragwerks sowie das Erscheinungsbild darf nicht beeinträchtigt werden. Grenzwerte für zulässige Durchbiegungen werden auf die Art des

Tragwerks sowie die angrenzenden Bauteile (Verglasung, Außenwandverkleidung und haustechnische Anlagen) abgestimmt. Es ist sicherzustellen, dass die Nutzungseigenschaften des Objektes sowie die ordnungsgemäße Funktion von Maschinen und Geräten nicht beeinträchtigt und z.B. stehendes Wasser auf Flachdächern vermieden wird. (ÖNORM EN 1992-1-1, 2015, 7.4.1)

Für Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit, Vertikale und Horizontale Verformungen wird auf Kapitel 4.2, Setzungsschäden, Abschnitt: Zulässige Setzungsgrößen, verwiesen.

### **Boden-Bauwerk-Interaktion**

Eurocode 2 beschreibt im Anhang G1 die Boden-Bauwerk-Wechselwirkung zum Thema Flachgründungen.

*Laut Punkt (2) „Generell sollte sichergestellt werden, dass die Verschiebungen und die zugehörigen Reaktionen des Bodens und des Bauwerks verträglich sind.“*

*Laut Punkt (4) „Gilt das Tragwerk als nachgiebig, hängen die übertragenen Lasten nicht von den relativen Setzungen ab, da das Tragwerk keine Steifigkeit besitzt. In diesem Fall sind die Lasten nicht mehr unbekannt und das Problem begrenzt sich auf die Untersuchung einer Gründung auf einem sich verformenden Boden.“*

*Laut Punkt (5) „Gilt das Tragwerk als steif, dürfen die unbekanntes Lasten auf der Gründung unter der Bedingung ermittelt werden, dass die Setzungen in der Regel auf einer Ebene liegen. Es ist in der Regel nachzuweisen, dass diese Steifigkeit bis zum Erreichen der Grenzzustände der Tragfähigkeit gegeben ist.“ (ÖNORM EN 1992-1-1, 2015, Anhang G1)*

Diese unterschiedlichen Situationen der Boden-Bauwerk-Interaktion haben Auswirkung auf die Schnittkraftermittlung. Ein steifes Bauwerk gegründet auf steifem Untergrund verhält sich anders als ein steifes Bauwerk gegründet auf nachgiebigem Untergrund. Dementsprechend ergeben sich bei den genannten Fällen unterschiedliche Schnittkräfte und daraus resultieren unterschiedliche Verformungsbelastungen, welche je nach Bauwerk zu Schäden in der Konstruktion führen können.

## **3.2 Grenzzustände laut Eurocode 6**

Der Eurocode 6 beinhaltet die Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Diese werden als unbewehrt, bewehrt, vorgespannt oder eingefasst hergestellt und

bilden ein Gefüge aus Mauersteinen die in einem bestimmten Verband verlegt und mit Mörtel verbunden sind.

Die Grenzzustände der Tragfähigkeit sind laut Eurocode 6 (ÖNORM EN 1996-1-1, 2013) folgendermaßen zu unterscheiden:

- Druckbeanspruchung
- Auflagerpressung
- Schubbelastung
- Zug- und Biegezugbeanspruchung
- Durch horizontalen Erddruck belastete Kellerwände
- Schlankheit, Theorie II. Ordnung

Mauerwerk und vor allem unbewehrte Mauerwerksbauten sind hauptsächlich darauf ausgelegt, Druckspannungen aufzunehmen. Aufgrund der angreifenden Kräfte, Lagerungsänderungen zufolge Setzungen und der Kombination mit anderen Baumaterialien die sich entsprechend anders Verhalten (Schwinden des Betons) kommt es zu Schub- oder Zugbelastungen im Gefüge und bei schlanken Bauteilen zu Stabilitätsproblemen nach Theorie II. Ordnung. Grundsätzlich sind Bauteile auf derartige Einwirkungen zu bemessen, es kann aber zu einem unerwarteten Verhalten der Konstruktion kommen, welche zum Überschreiten der Grenzzustände der Tragfähigkeit und somit einem Versagen führen können. Dieses unerwartete Versagen kündigt sich durch die folglich definierten Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit im Vorhinein an.

Eurocode 6 (ÖNORM EN 1996-1-1, 2013) definiert folgende Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit:

- Risse
- Durchbiegung

Verformungen sind zu vermeiden, welche das Tragverhalten der Konstruktion beeinflussen oder sich nachteilig auf andere Bauteile, Oberflächen oder die technische Ausstattung auswirken. Bei der Durchbiegung wird die charakteristische Biegefestigkeit von Mauerwerk laut Eurocode 6, 3.6.4 Charakteristische Biegefestigkeit von Mauerwerk, auf zwei Arten definiert:

- Plattenbiegung mit einer Bruchebene parallel zu der Lagerfuge (Abb. 4).
- Plattenbiegung mit einer Bruchebene senkrecht zu den Lagerfugen (Abb. 5).

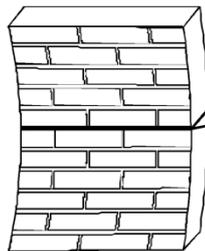


Abb. 4 Bruchebene parallel zu den Lagerfugen (ÖNORM EN 1996-1-1, 2013, Bild 3.1)

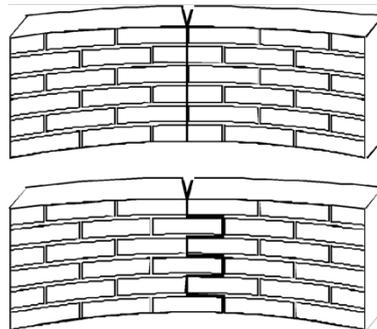


Abb. 5 Bruchebene senkrecht zu den Lagerfugen (ÖNORM EN 1996-1-1, 2013, Bild 3.1)

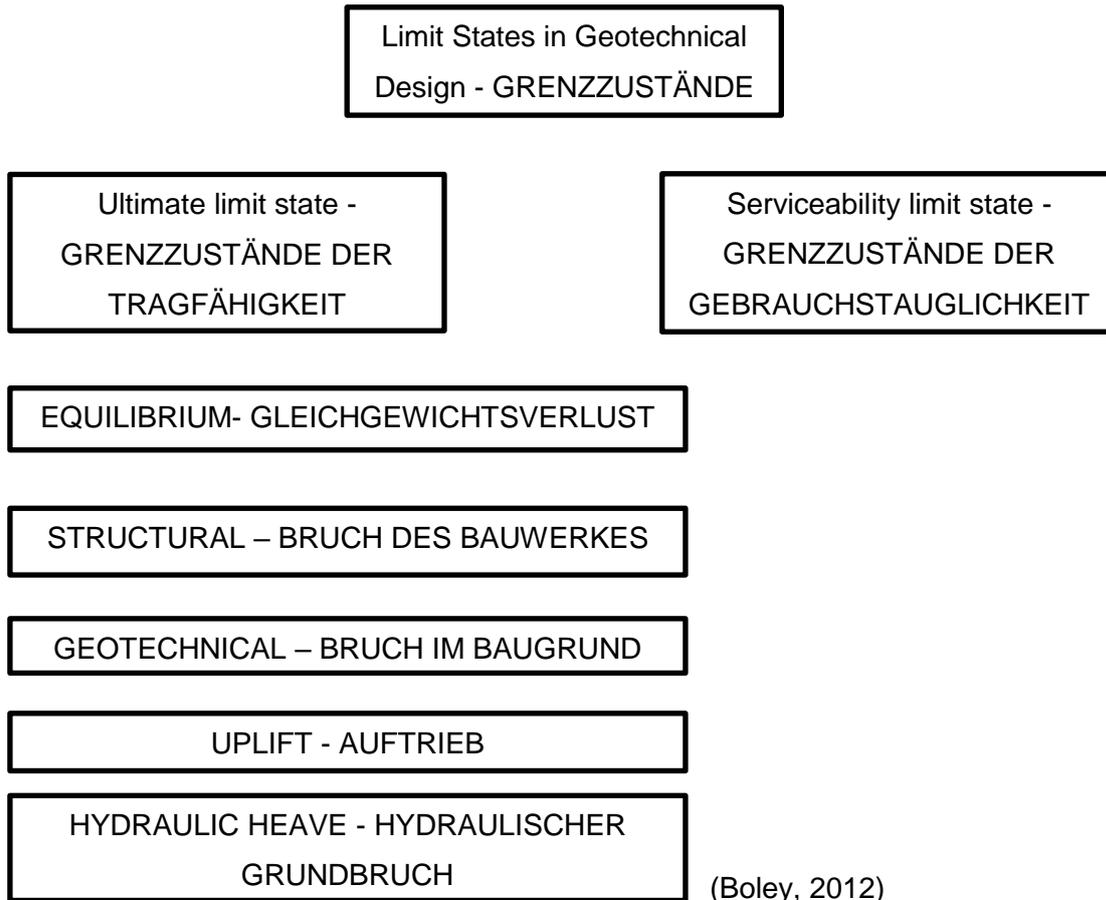
Bei unbewehrtem Mauerwerk ist der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für Risse und Verformungen nicht zusätzlich nachzuweisen, sobald der Grenzzustand der Tragfähigkeit erfüllt ist. Bewehrte Mauerwerksbauteile dürfen hingegen unter Gebrauchslasten keine unzulässigen Risse aufweisen oder sich übermäßig stark verformen. Dementsprechend dürfen auch vorgespannte und eingefasste Mauerwerksbauteile keine Biegerisse aufweisen oder sich unter Gebrauchslast übermäßig verformen.

### 3.3 Grenzzustände laut Eurocode 7

Der Eurocode 7 behandelt den Entwurf, die Berechnung und Bemessung in der Geotechnik sowie die geotechnischen Einwirkungen bei Gebäuden und

Ingenieurbauwerken und legt Grundsätze und Anforderungen für Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit fest. Als geotechnische Einwirkungen sind dabei Einwirkungen durch den Baugrund, eine Auffüllung, Gewässer oder Grundwasser zu verstehen. Grenzzustände können dabei im Baugrund selbst, im Bauwerk oder als gemeinsames Versagen eintreten.

Die Grenzzustände werden laut Eurocode 7 folgendermaßen gegliedert und definiert:



Die oben erwähnten Grenzzustände werden laut Eurocode 7 (ÖNORM EN 1997-1, 2014) in Kapitel 2.4.7 Grenzzustände der Tragfähigkeit beschrieben:

*„Equilibrium (EQU) stat. Gleichgewichtsverlust - Verlust der Lagesicherheit des als starrer Körper angesehenen Bauwerks oder des Baugrunds, wobei die Festigkeiten der Baustoffe und des Baugrunds für den Widerstand nicht entscheidend sind;“*

*„Structural (STR) Bruch des Bauwerkes - inneres Versagen oder sehr große Verformung des Bauwerks oder seiner Bauteile, einschließlich der Fundamente, Pfähle, Kellerwände usw., wobei die Festigkeit der Baustoffe für den Widerstand entscheidend ist;“*

*„Geotechnical (GEO) Bruch im Baugrund - Versagen oder sehr große Verformung des Baugrunds, wobei die Festigkeit der Locker- und Festgesteine für den Widerstand entscheidend ist;“*

*„Uplift (UPL) Auftrieb - Verlust der Lagesicherheit des Bauwerks oder Baugrunds infolge Aufschwimmens (Auftrieb) oder anderer vertikaler Einwirkungen;“*

*„Hydraulic heave (HYD) hydraulischer Grundbruch - hydraulischer Grundbruch, innere Erosion und Piping im Boden, verursacht durch Strömungsgradienten.“*

Bei den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit ist allgemein sicherzustellen, dass ein hinreichend geringer Anteil der Bodenfestigkeit mobilisiert wird, so dass die Verformungen innerhalb der für die Gebrauchstauglichkeit geforderten Grenzen bleiben. Die Grenzzustände der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit werden in Eurocode 7 nach der Gründungs- bzw. Wirkungsarten eingeteilt:

### **3.3.1 Grenzzustände für Flachgründungen**

Als Flachgründungen sind Einzelfundamente, Streifenfundamente sowie Fundamentplatten zu verstehen. Über das Fundament werden Kräfte vom Bauwerk durch die Tragkonstruktion in den Boden übertragen und umgekehrt. Dadurch entsteht eine unmittelbare Interaktion zwischen Boden und Bauwerk. Durch Bewegungen, Verformungen, Verdrehungen der Konstruktion oder des Bodens kann es zu Lastumlagerung kommen. Diese können zu Versagen führen, wenn das entsprechende Objekt nicht auf die veränderte Lastsituation ausgelegt wurde. Beispielhaft hierfür sei der Bruch einer Fundamentplatte bei differenzielle Setzungen angeführt.

Als Oberbegriff ist im Eurocode 7 der Verlust der Gesamtstandsicherheit angeführt: Ein Gesamtstandsicherheitsnachweis ist vor allem dann notwendig, wenn es sich bei der Gründung um eine natürliche oder künstliche Böschung handelt, in der Nähe sich Gewässer bzw. eine freie Wasseroberfläche befindet, sich im Umkreis Stützbauwerke oder Baugruben befinden, oder unterirdische Bauwerke bzw. Bergbauten in umliegender Umgebung errichtet wurden. Weiters sind im Eurocode 7 (ÖNORM EN 1997-1, 2014) folgende Versagensarten bezüglich des Grenzzustands für Flachgründungen angeführt:

- Grundbruch
- Versagen durch Durchstanzen
- Stauchen
- Gleiten

- gemeinsames Versagen von Baugrund und Bauwerk
- Tragwerksversagen infolge Fundamentbewegung
- übermäßige Setzungen
- übermäßige Hebung durch Schwellen
- Frost oder andere Ursachen
- unzulässige Schwingungen

Der Eurocode 7 besagt außerdem laut Kapitel 6.6.2, (11) P: *„Um einen Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sicher zu vermeiden, müssen bei der Ermittlung von Setzungsdifferenzen und relativen Verdrehungen sowohl die Lastverteilung als auch die mögliche Veränderlichkeit des Untergrundes berücksichtigt werden“.* (ÖNORM EN 1997-1, 2014, 6.6.2)

### 3.3.2 Grenzzustände von Pfahlgründungen

Bei Pfahlgründungen wird generell zwischen Reibungspfählen, Spitzendruckpfählen, Zugpfählen und querbelasteten Pfählen unterschieden.

Laut Eurocode 7 - Pfahlgründungen Kapitel 7.2 (ÖNORM EN 1997-1, 2014) sind folgende Versagen bei Pfahlgründungen definiert:

- Verlust der Gesamtstandsicherheit
- Grundbruch der Pfahlgründung
- Aufschwimmen oder unzureichender Zugwiderstand der Pfahlgründung
- Bodenversagen bei Querbelastung der Pfahlgründung
- Inneres Versagen des Pfahles bei Druck, Zug, Biegung, Knicken oder Schub
- Gemeinsames Versagen von Baugrund und Pfahlgründung
- Gemeinsames Versagen von Baugrund und Tragwerk
- Übermäßige Setzungen
- Übermäßige Hebungen
- Übermäßig seitliche Bewegung
- unzulässige Schwingungen

Ein Versagen der Pfähle kann unter anderem durch Schwellen, Konsolidierung, benachbarte Lasten, Bodenkriechen, Rutschungen oder Erdbeben verursacht werden.

### 3.3.3 Grenzzustände bei Stützbauwerken

Stützbauwerke sind im Untergrund abgestützte Tragwerke, die Boden, Fels oder

Hinterfüllung und Wasser enthalten. „*Ein Material ist gestützt, wenn es in steilerer Neigung gehalten wird als die, unter der es sich ohne ein stützendes Tragwerk einstellen würde. Stützbauwerke umfassen alle Arten von Wänden oder Stützsystemen, bei denen Bauteile durch Kräfte aus dem gestützten Material beansprucht werden.*“ (ÖNORM EN 1997-1, 2014) In der Bemessung werden die Stützbauwerke allgemein in Gewichtsstützwände, im Boden einbindende Wände und zusammengesetzte Stützkonstruktionen eingeteilt.

Laut Eurocode 7 - Stützbauwerke (ÖNORM EN 1997-1, 2014), Kapitel 9.2 Grenzzustände, sind folgende Versagen bei Stützbauwerken definiert:

- Gesamtstandsicherheit
- Versagen eines Bauteils, z. B. einer Wand, eines Ankers, eines Gurtes oder einer Steife, oder Bruch der Anschlüsse zwischen derartigen Bauteilen
- gemeinsames Versagen des Baugrunds und des Bauteils
- hydraulischer Grundbruch und Piping
- Nachgeben des Stützbauwerks, so dass es zum Einsturz kommt oder dass das Erscheinungsbild die uneingeschränkte Nutzung des Bauwerks, angrenzende Bauwerke oder Leitungen, die davon abhängen, beeinträchtigt werden
- unzulässige Leckagen durch die Wand oder unter dieser
- unzulässige Bodenausspülungen durch die Wand oder unter dieser
- unzulässige Veränderungen der Grundwasserverhältnisse

Zusätzlich müssen folgende Grenzzustände bei Gewichtsstützwänden und zusammengesetzten Stützkonstruktionen nachgewiesen werden:

- Grundbruch des Bodens unter dem Fundament
- Gleitversagen in der Sohlfläche
- Kippen;

und bei in Boden einbindenden Wänden:

- Versagen der Wand oder von Teilen durch Drehung oder Verschiebung
- Versagen durch fehlendes vertikales Gleichgewicht.

Bei den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit bei Stützbauwerken ist darauf zu achten, dass zulässige Grenzwerte für Verschiebungen von Wänden und angrenzenden Böden festgelegt werden. Verschiebungstoleranzen für gestützte Tragwerke und Leitungen müssen eingehalten werden. Zusätzliche Belastungen wie Verkehrserschütterungen und weitere veränderliche Einwirkungen hinter dem Stützbauwerk sollten beachtet werden, da diese zu Verschiebungen in der Wand führen können.

## 4 Konstruktive Schadensbilder

Massenbewegungen beeinflussen sämtliche Bauwerke und Objekte, welche sich im Einflussgebiet dieser befinden. Je nach Art und Mächtigkeit des Kriech- oder Rutschkörpers, können kleinere Hochbauten und Mastfundamente mit der Massenbewegung mitschwimmen und dadurch versetzt bzw. verdreht werden, während größere Konstruktionen wie Straßen und Brücken unter Einfluss einer Hangdeformation Schäden erleiden können. (Hoch, Egloff & Wackernagel, 1986)

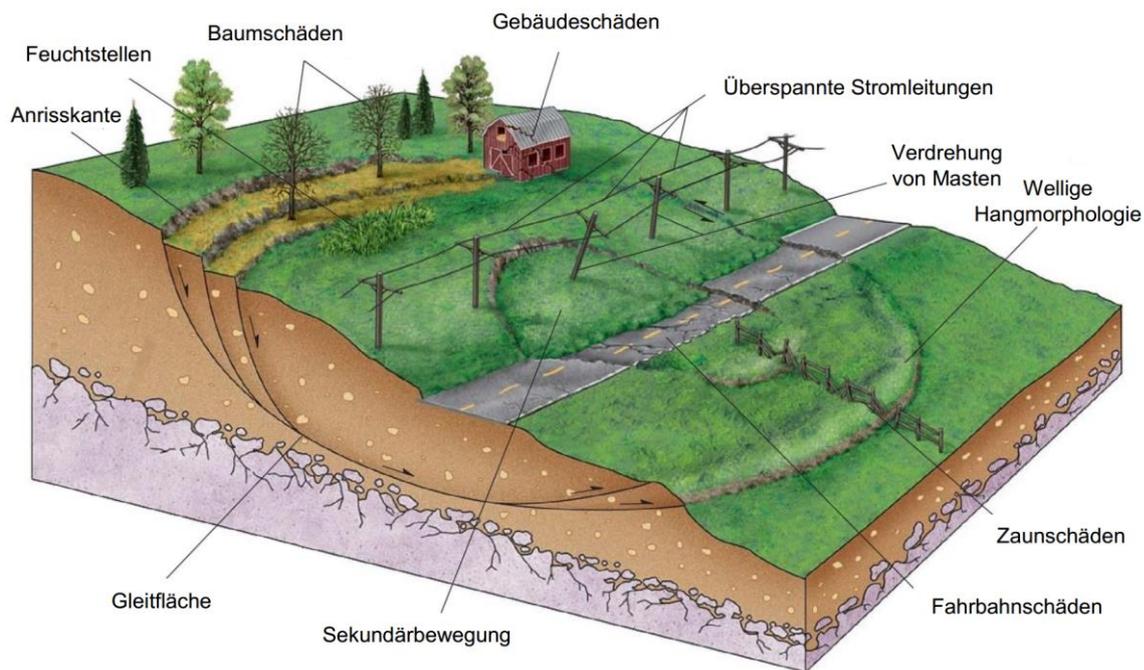


Abb. 6 Allgemeine Schadensbilder verursacht durch Massenbewegungen<sup>1</sup>

Schadensbilder aus Hangdeformationen sind in den meisten Fällen schwer von Schäden zufolge anderer Schadensursachen zu unterscheiden. Aus diesem Grund werden nachfolgend ebenfalls Schadensbilder präsentiert, welche nicht durch Massenbewegungen verursacht worden sind, um die Unterscheidung dieser zu erleichtern und einer Fehlinterpretation vorzubeugen. Tab. 4 zeigt verschiedene Erscheinungsformen von Bauschäden auf, und weist auf die im Weiteren behandelten Schadensbilder hin.

<sup>1</sup> <http://geologylearn.blogspot.co.at/2015/12/how-can-we-protect-against-mass.html>, abgerufen und adaptiert am 17.08.2017

Tab. 4 Schadensarten und deren Erscheinungsformen (adaptiert aus Gänßmantel &amp; Horn, 2012)

Bauschaden	Erscheinungsform	In dieser Arbeit
Oberflächenveränderung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchfeuchtung</li> <li>• Fleckenbildung</li> <li>• Ausblühung von Salzen</li> <li>• Wasserflecken (z.B. durch Rohrbruch)</li> <li>• Verfärbung</li> <li>• Mikrobieller Befall (Algen, Schimmelpilz)</li> </ul>	X
Risse	<p>Einteilung nach</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ursache: konstruktions-, untergrund- und materialbedingte Risse</li> <li>• Spannungszustand: Zug-, Biegezug-, Schub- und Scherrisse</li> <li>• Verformung: Schwind-, Dehnungs-, Schrumpf- oder Setzungsrisse</li> </ul>	X
Verformung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchbiegungen wie Risse an der Unterdecke</li> <li>• Verdrehungen bei ungleichmäßiger Langzeitbelastung</li> <li>• Ausknickung von Stützen u. a. durch unzulässigen Lasteneintrag</li> <li>• Verschiebung/ Schiefstellung aufgrund z.B. differentiellen Setzungen</li> <li>• Volumenänderung von Baustoffen durch Feuchtigkeit</li> <li>• Dehnung eines Bauteils durch Temperaturerhöhung</li> </ul>	X
Bauteil-schwächung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Querschnittschwächung, die von Rissen, Verformungen, Abnutzung usw. ausgeht</li> <li>• Querschnittsminderung durch nachträgliche (meist nutzungsbedingte) Veränderungen oder durch Umwelteinflüsse</li> </ul>	–
Bauteilver-sagen (Bruch)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zerschneiden oder Abscheren von Holzbauteilen</li> <li>• Einsturz von Tragteilen, hervorgerufen z. B. durch statische Probleme, extreme Witterungsbeanspruchungen, unzulässige Belastungen, fehlerhafte Bemessung</li> </ul>	X
Erosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abplatzungen bei Frost-Tau- Wechsel-Beanspruchung</li> <li>• Setzungen bei Gebäuden, wenn das Fundament unterspült wird und sich Hohlräume im Baugrund durch den Austrag von Bodenmaterial bilden</li> </ul>	X
Korrosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• punktuell oder flächig korrodierte Bauteile aufgrund von Feuchtigkeitseinwirkung, fehlendem Korrosionsschutz</li> </ul>	–

In den folgenden Abschnitten werden Schadensbilder nach Art der Konstruktion eingeteilt. Diese gliedern sich in Gebäude, Brücken, Infrastruktur sowie Stützbauwerke. Im Abschnitt Infrastruktur werden Schäden an Straßen, Zugtrassen und Versorgungsleitungen behandelt.

#### 4.1 Schäden an Gebäuden

Massenbewegungen stellen für Gebäude eine außergewöhnliche Belastungssituation dar. Hangdeformationen verursachen Verformungen in den Konstruktionen, welche aufgrund von Zugspannungen, zu Schäden in den Bauteilen führen können. Die folgende Grafik (Abb. 7) liefert einen Gesamtüberblick über mögliche Schäden infolge einer Massenbewegung an einem Gebäude.

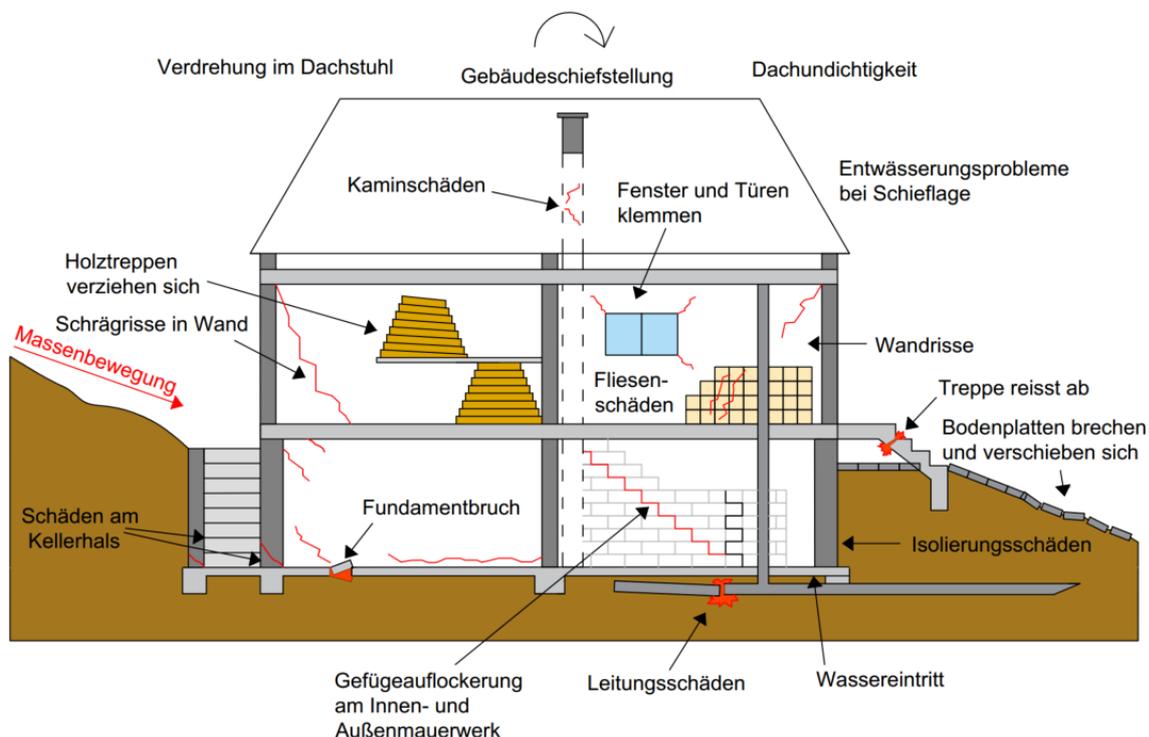


Abb. 7 Schematische Darstellung möglicher Gebäudeschäden infolge einer Massenbewegung (adaptiert aus Mollinga, 2012)

Zu Beginn zeichnen sich Verformungen durch die in Abb. 7 dargestellten typischen Anzeichen wie klemmende Fenster bzw. Türen, feine Risse etc. an. Diese leichten Mängel lassen sich noch beheben. Wird die Schadensursache, welche die Verformungen verursacht hat nicht erkannt und behoben, kann es im Laufe der Zeit zu Schäden an Mauerwerk-, Decken- bzw. Fundament- und Stahlbetonkonstruktionen kommen. Zu diesem Zeitpunkt kann das Bauwerk nicht mehr in den Primärzustand zurückversetzt werden, es lässt sich nur mehr Schadensbegrenzung betreiben.

### Unterschied zwischen reinen Setzungen und Hangdeformationen

Im Unterschied zu reinen Setzungen, bei denen Verformungen nur in vertikaler Richtung auftreten, weisen Massenbewegungen Deformationen in vertikaler und horizontaler Richtung auf. Bei kleinen Verformungen treten in beiden Fällen meist nur feine Haarrisse in den Bauwerken auf. Diese sind daher schwer von anderen Schadensursachen (z.B. Risse aus Schwindverkürzungen) zu unterscheiden. Charakteristisch für Risse aus Setzungen und Hangdeformationen sind große Rissbreiten. Aufgrund der zusätzlichen horizontalen Verformung, können die Rissbreiten noch größer ausfallen, was zu einem Abreißen einzelner Gebäudeteile führen kann. (Abb. 8)

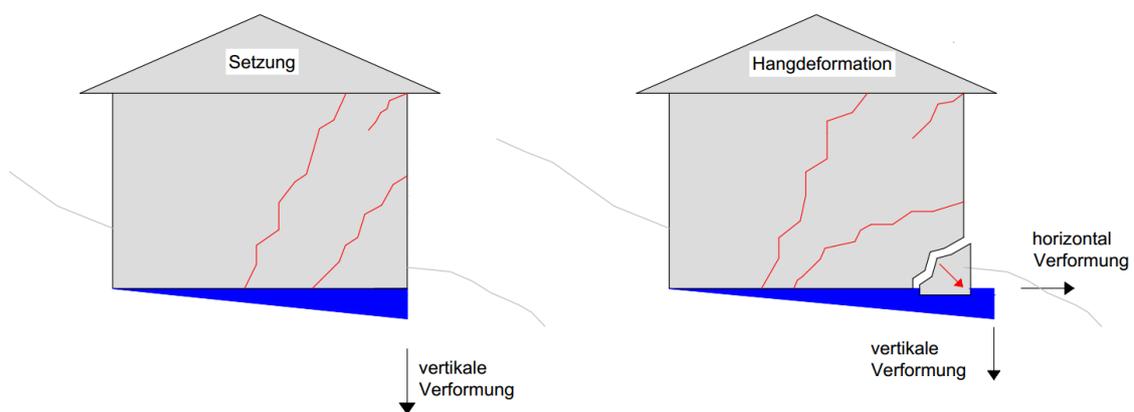


Abb. 8 Linkes Bild: Schematische Darstellung der Verformungen aufgrund reiner Setzungen, Rechtes Bild: Verformungen aufgrund Hangdeformation

### Zulässige Verformungen

Zulässige Grenzen für Verformungen wie z.B. Setzungen bei Bauwerken zu definieren ist nur bedingt möglich, da diese von unterschiedlichen Kriterien beeinflusst werden. Möller beschreibt hierfür folgende Kriterien (Möller, 2013):

- Gleichmäßigkeit der Setzungen (gleichmäßig, ungleichmäßig)
- Form bei Ungleichmäßigkeit (Verkantung, Mulden- oder Sattellagerung)
- Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks (Lagerhalle für Schuttgüter, Labor mit Präzisionsgeräten)
- Schadensfreiheit (Rissfreiheit) des Bauwerks
- Standsicherheit des Bauwerks (z. B. bei turmartigen Bauwerken)
- das verwendete Baumaterial (Beton, Mauerwerk usw.)
- Konstruktionsformen (Rahmen, Scheiben, Einzelfundamente, Plattengründung usw.)
- der vorhandene Baugrund (Ton, Sand usw.)

Es sollte aber nicht nur der Konstruktion selbst, sondern auch der Auswirkung auf vorhandene Anschlussleitungen (Wasserver- und -entsorgung, Gas- und Stromleitungen) Beachtung geschenkt werden, da diese durch Setzungen oft in Mitleidenschaft gezogen werden. (Möller, 2013) Um dennoch einen Rahmen für die differentiellen Setzungen zu gestalten, wird auf die Empfehlung für maximale Winkelverdrehung für Gebäude nach Bjerrum (Möller, 2013) hingewiesen. Das in Abb. 9, schematisch dargestellte Setzungsverhalten zeigt eine Setzungsmulde unter einem Gebäude. Dabei wird die maximale Winkelverdrehung der Bodenplatte berücksichtigt und nach entsprechenden Größen in Kriterien unterteilt.

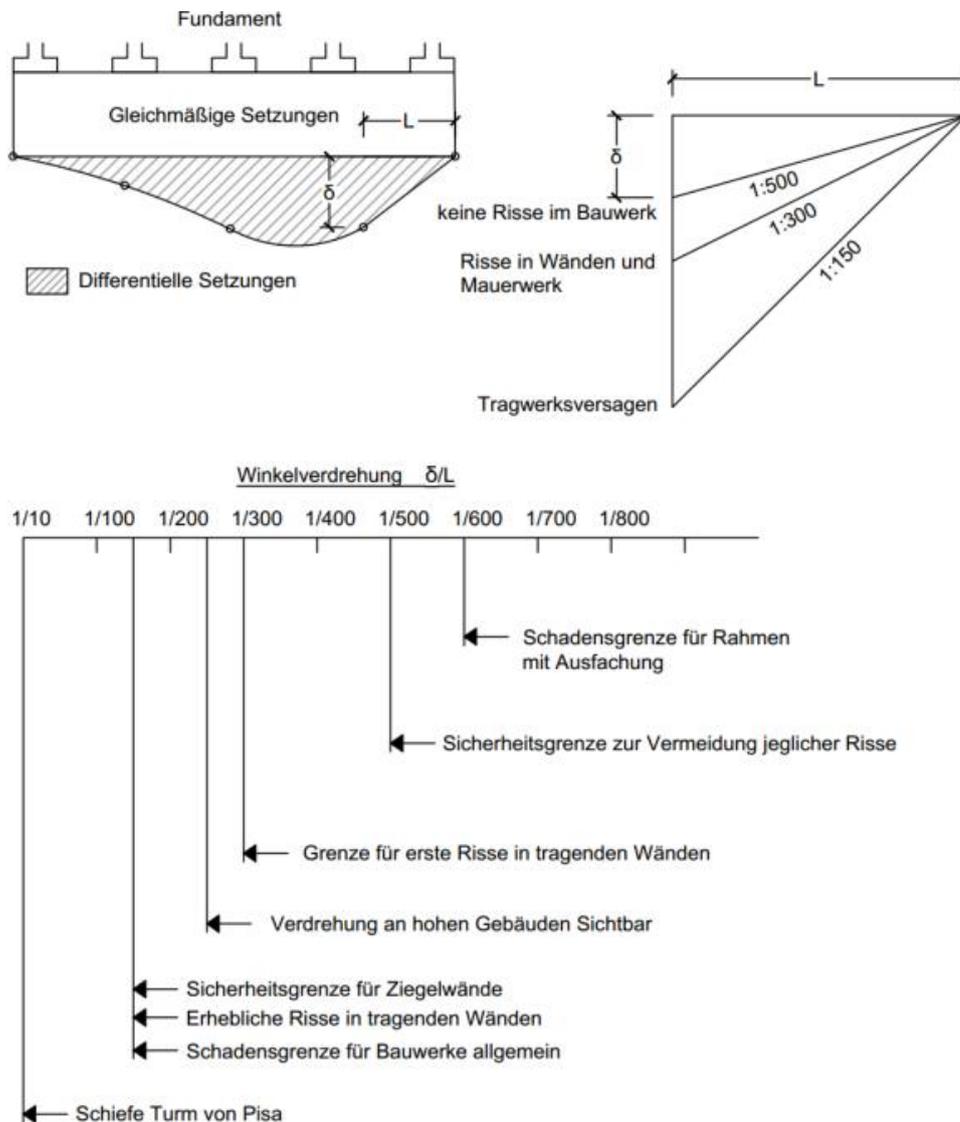


Abb. 9 Schematische Darstellung Setzungsverhalten (adaptiert aus Möller, 2013)

Wie sich anhand Abb. 9 erkennen lässt, treten erste Risse in tragenden Wänden erfahrungsgemäß bei einer Winkelverdrehung von ca.  $1/300$  auf, was bei einer Einwirkungslänge  $L$  von 6,00 m, einer vertikalen Verformung von ca. 2,00 cm entspricht.

Laut Tabelle 2, ÖNORM B 1990-1, 2013, Kapitel 8: Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit, 8.2: Vertikale Verformungen (ÖNORM B 1990-1, 2013) sind folgende Verformungen von Bauteilen bei entsprechender Nutzung in der Regel unter häufiger Einwirkungskombination ohne Berücksichtigung von Langzeitwirkungen zulässig:

Tab. 5 Zulässige vertikale Verformungen von Bauteilen entsprechend der Nutzung (ÖNORM B 1990-1, 2013)

Nutzung	$w_1 + w_3 - w_c^a$
Dächer, die nur zu Instandhaltungszwecken begangen werden, Decken mit abgehängter Untersicht	$l/200$
Decken, begehbare Dächer	$l/300$
Es bedeutet: $l$ die Stützweite des betrachteten Bauteils. Bei Auskrägung ist $l$ die doppelte Kraglänge <sup>a</sup> Bezeichnung nach ÖNORM EN 1990:2003, Bild A.1.1.	

Nach ÖNORM B 1990-1, 2013, Kapitel 8: Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit, 8.2: Vertikale Verformungen, werden folgende Verformungsbegrenzungen für Bauteile empfohlen:

*„Unter quasi-ständiger Einwirkungskombination darf die nach einer allfälligen Überhöhung verbleibende Durchbiegung (entspricht dem Durchhang ebenflächiger Bauteile)  $w_{max}$  unter Berücksichtigung der Langzeitverformung in der Regel  $1/250$  der Stützweite  $l$  nicht überschreiten.*

*Um Schäden an Ausbauteilen zu vermeiden, ist es im Allgemeinen ausreichend, den Durchbiegungszuwachs für den Zeitraum nach dem Errichten der Ausbauten (z. B. Zwischenwände, Einbauten) unter Berücksichtigung der Langzeiteinwirkungen (Kriechen) und der häufigen Einwirkungskombination auf  $1/500$  zu begrenzen, sofern nicht nachgewiesen wird, dass die Ausbauteile größere Verformungen aufnehmen können.*

*Für nachträglich eingebaute Unterfangungskonstruktionen ist unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination eine Durchbiegung  $w_{tot}$  von  $1/500$  einzuhalten, sofern keine besonderen Maßnahmen (z. B. Verwendung von Pressen) beim Einbau der Träger getroffen werden.“ (ÖNORM B 1990-1, 2013, Kapitel 8)*

Folgende Darstellung der Verformung (Abb. 10) wurde aus ÖNORM EN 1990, 2013, Anhang A.1.4.3 Vertikale und horizontale Verformungen, Bild A.1.1 – Definition der Durchbiegung, übernommen und dient zur Orientierung für die im Eurocode beschriebenen Verformungszustände:

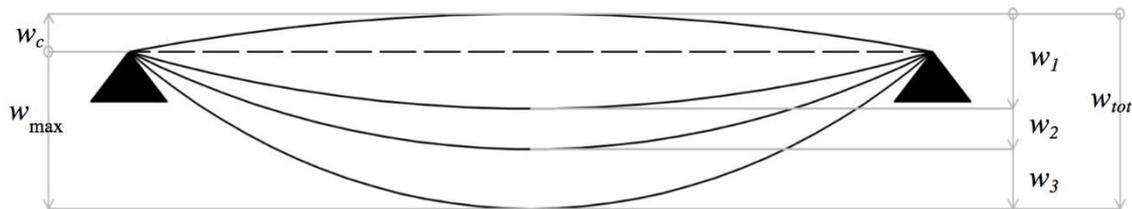


Abb. 10 Darstellung der vertikalen Verformung (ÖNORM EN 1990, 2013, Kapitel A.1.4.3, Bild A.1.1)

- $w_c$  „Spannungslose Werkstattform“ mit Überhöhung
- $w_1$  Durchbiegungsanteil aus ständiger Belastung in der Einwirkungskombination
- $w_2$  Durchbiegungszuwachs aus Langzeitwirkung der ständigen Belastung
- $w_3$  Durchbiegungsanteil infolge veränderlicher Einwirkung in der Einwirkungskombination
- $w_{tot}$  Gesamte Durchbiegung als Summe von  $w_1$ ,  $w_2$  und  $w_3$ ;
- $w_{max}$  Verbleibende Durchbiegung nach der Überhöhung

Für horizontale Verschiebungen ( $u$  bzw.  $u_i$ ) sind laut Eurocode ÖNORM B 1990-1, 2013, Kapitel 8.3, Horizontale Verschiebungen, folgende Werte für Hochbauten unter der charakteristischen Einwirkungskombination einzuhalten (ÖNORM B 1990-1, 2013, Kapitel 8):

Gesamtverformung  $u$  :

- Industrie- und Gewerbebauten  $H/150$
- sonstige eingeschößige Gebäude (z.B. Wohnung, Büro)  $H/300$

Stockwerksverformung  $u_i$  :

- mehrgeschoßige Gebäude in jedem Stockwerk  $H_i/300$

Es bedeutet:

$H_i$  Höhe der Stützen oder des Geschoßes

$H$  Gebäudehöhe

Folgende Darstellung der Verformung (Abb. 11) wurde aus ÖNORM EN 1990, 2013, Anhang A.1.4.3 Vertikale und horizontale Verformungen, Bild A.1.2 – Definition der Durchbiegung übernommen und dient zur Orientierung für die im Eurocode beschriebenen Verformungszustände:

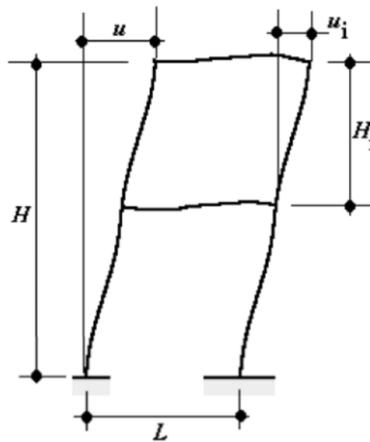


Abb. 11 Darstellung der horizontalen Verformung (ÖNORM EN 1990, 2013, Kapitel A.1.4.3, Bild A.1.2)

$u$  Seitliche Gesamtverschiebung des Gebäudes über die Gebäudehöhe  $H$ .

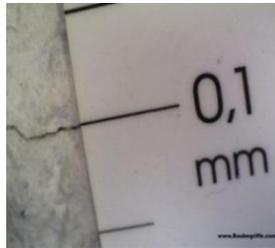
$u_i$  Seitliche Stockwerksverschiebung über eine Geschosshöhe  $H_i$ .

## Risse

Als Riss wird eine Trennungslinie in einem Bauteil bezeichnet und bedeutet ein unvollständiges Zerbrechen eines Materials mit oder ohne Zerteilung in einzelne Bruchstücke. (Franke, Schumann, 1998) Risse stammen in der Regel aus Bauteildehnungen, welche die Zugbruchdehnung des Materials überschritten haben. Bei Beton und Mauerwerk beträgt die Zugfestigkeit nur ca. 5 bis 10 % der Druckfestigkeit, wodurch diese Baustoffe besonders rissanfällig sind. Rissverursachende einwirkende Bauteildehnungen resultieren entweder aus lastbedingten oder zwangsbedingten Zugkräften. Unter lastbedingten Zugkräften versteht man Zugkräfte, Biegezugkräfte, Querkzugkräfte oder Lastumlenkungen. Zwangsbedingte Zugkräfte entstehen wiederum aus behinderten Schwindverkürzungen, behinderten temperaturbedingten Verkürzungen, durch Materialkombinationen mit unterschiedlichen Schwindmaßen und Wärmeausdehnungskoeffizienten, aus Setzungsdifferenzen oder aus konstruktionsbedingter Behinderung (z.B. Bauteile mit veränderlichem Querschnitt).

Weitere Gründe für Risse im Bauwerk könnten Rostsprengungen oder chemische Reaktionen im Zementstein sein. (Meichsner & Rohr-Suchalla, 2011)

Folgende Rissbilder können auftreten:



Haarriss

(Rissbreite < 0,15 mm)



Einzelriss

(Rissbreite > 0,15 mm)



Kerbriss



Craquelé

(Rissbreite > 0,15 mm)



Netzwerkris

(Rissbreite < 0,15 mm)



Spaltriss

Abb. 12 Darstellung möglicher Rissarten: Haarriss<sup>2</sup>, Netzwerkris<sup>3</sup>, Craquelé<sup>4</sup>, Spaltriss<sup>5</sup>, Einzelriss (Dialer, 2016), Kerbriss (Liezen, 2017)

Im Folgenden wird vor allem auf durch Verformungen des Bauwerkes oder Bauteils verursachte Risschäden eingegangen.

<sup>2</sup> [http://www.baubegriffe.com/Bausachverständiger\\_Holzmann-Bauberatung/Blog/Eintrage/2011/9/13\\_Putz%3B\\_die\\_Haut\\_des\\_Hauses\\_kann\\_auch\\_reien.html](http://www.baubegriffe.com/Bausachverständiger_Holzmann-Bauberatung/Blog/Eintrage/2011/9/13_Putz%3B_die_Haut_des_Hauses_kann_auch_reien.html), abgerufen am 28.04.2017

<sup>3</sup> <https://www.bauemotion.de/baulexikon/netzwerkrisse-in-mauerwerk/15375122/>, abgerufen am 28.04.2017

<sup>4</sup> <http://betonlexicon.nl/C/Craquele/>, abgerufen am 28.04.2017

<sup>5</sup> <http://www.tuerkei-zeitung.de/images/2012-04-gold-07.jpg>, abgerufen am 21.04.2017

Beispielsweise können im Mauerwerk bedingt durch die Herstellung (Mörtelfugen) folgende charakteristische Rissmuster entstehen:

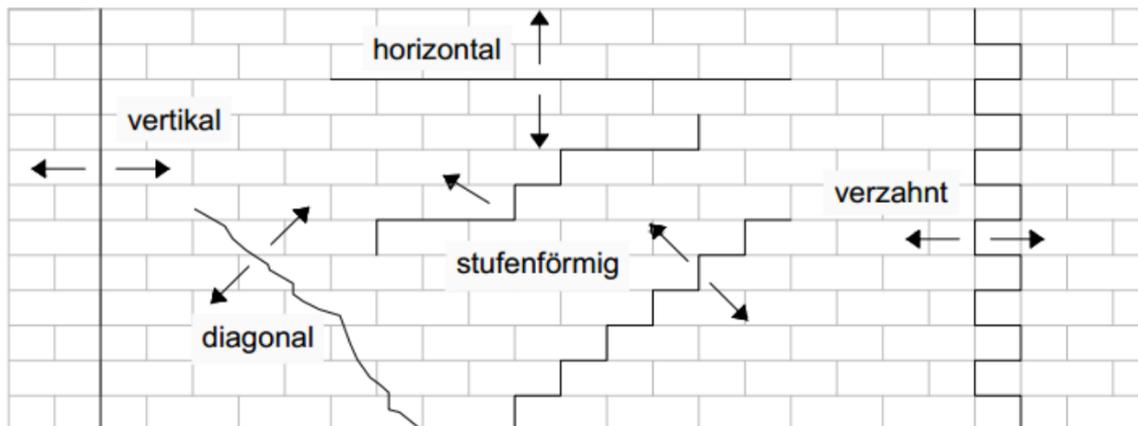


Abb. 13 Rissformen an Mauerwerkskonstruktionen<sup>6</sup>

Mauerwerksrisse gehen meist von sogenannten Laibungsecken (Fassadenöffnungen) aus, in denen sich Spannungsspitzen bilden, da an diesen Stellen Kräfte umgeleitet werden, was zu großen Zugspannungen in diesen Schwachstellen führt (Abb. 14). Risse in Laibungsecken werden auch Kerbriss genannt. Diagonale Risse in Mauerwerken verlaufen meist im Treppennmuster entlang der Mörtelfugen. (Abb. 14 Linkes Bild)



Abb. 14 Typischer Rissverlauf ausgehend vom Laibungseck (Dialer, 2016)

Aufgrund von Bauteilverformungen entstandene Schäden in Fassadenöffnungen können außerdem wie in Abb. 15 dargestellt, breite Klaffungen an Fensterrahmen verursachen.

<sup>6</sup> <https://www.baunetzwissen.de/imgs/1/3/8/5/8/4/1eec5b636ecaeab7.jpg>, adaptiert am 25.06.2017



Abb. 15 Risschäden an Fassadenöffnung mit Klaffungen; Rechts im Detail (Dialer, 2016)

Die Richtung und Art der Rissausbreitung, sowie die Rissbreite im beschädigten Bauteil, kann als Indiz für die Richtung der Verformung angesehen werden. Die folgenden Abbildungen stellen zwei Verformungssituationen dar, wobei jeweils das linke Bild Verformungsrisse an Bauwerken zeigt und im rechten Bild Verformungen (blaue Pfeile), sowie die wirkenden Zugspannungen (schwarze Pfeile) und entstandene Risse (rot) schematisch abgebildet sind. Dabei zeigt Abb. 16 ein Rissbild aufgrund einer mittigen Setzungsmulde, während Abb. 17 einen Setzungsrisse aufgrund einer einseitigen Setzungsmulde darstellt. Deutlich zu erkennen ist die für Setzungsrisse charakteristisch große Rissbreite.

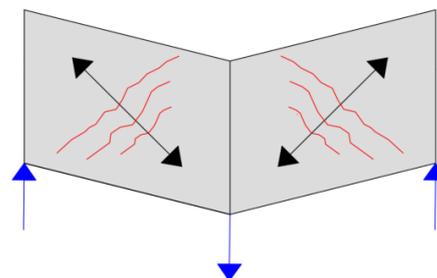


Abb. 16 Linkes Bild: Setzungsrisse (nachgezeichnet) aufgrund einer mittigen Setzungsmulde (Meichsner, 2015); Rechtes Bild: Schematische Darstellung



Abb. 17 Linkes Bild: Setzungsriss aufgrund einer einseitigen Setzungsmulde (Meichsner, 2015); Rechtes Bild: Schematische Darstellung

#### 4.1.1 Gebäudeschäden verursacht durch Massenbewegungen

Charakteristische Schäden durch Massenbewegungen sind Risse mit großer Rissbreite und Klaffung. Zuzufolge der großen Bauteilverformungen und horizontalen Kräfte können Außenwände brechen bzw. ganze Gebäudeteile abreißen. (Abb. 18)

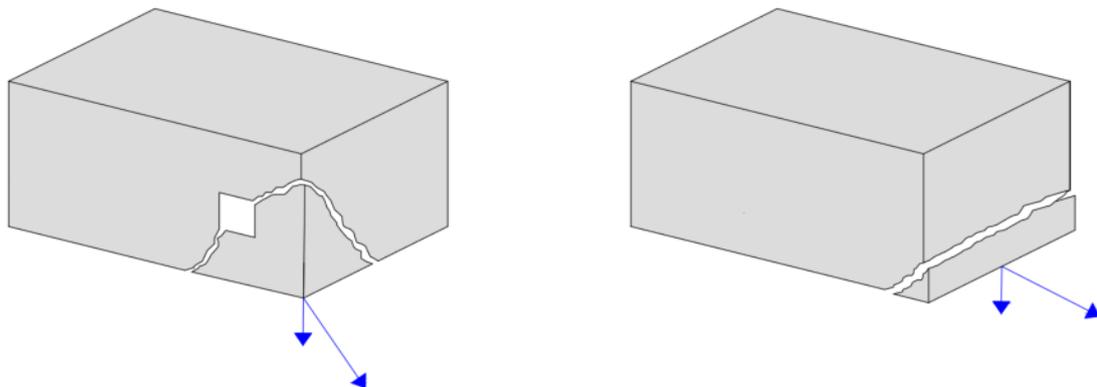


Abb. 18 Linkes Bild: Schematische Darstellung charakteristischer Schäden durch Massenbewegungen wie Abreißen einer Gebäudeecke; Rechtes Bild: Bruch bzw. Abriss einer Wand in Richtung der Hangbewegung

Je nach dem Bereich, in welchem ein Gebäude im Hang situiert ist, können sich die Schäden durch Massenbewegungen unterscheiden. Objekte welche oberhalb einer Massenbewegung bzw. im Kronenbereich stehen, weisen andersartige Schadensbilder auf, als Bauwerke welche sich mitten in einer Bewegungszone oder im Fußbereich eines Rutschungsgebietes befinden. Folgend werden die Schadensbilder in die Bereiche Krone, Bewegungszone und Fußbereich unterteilt.

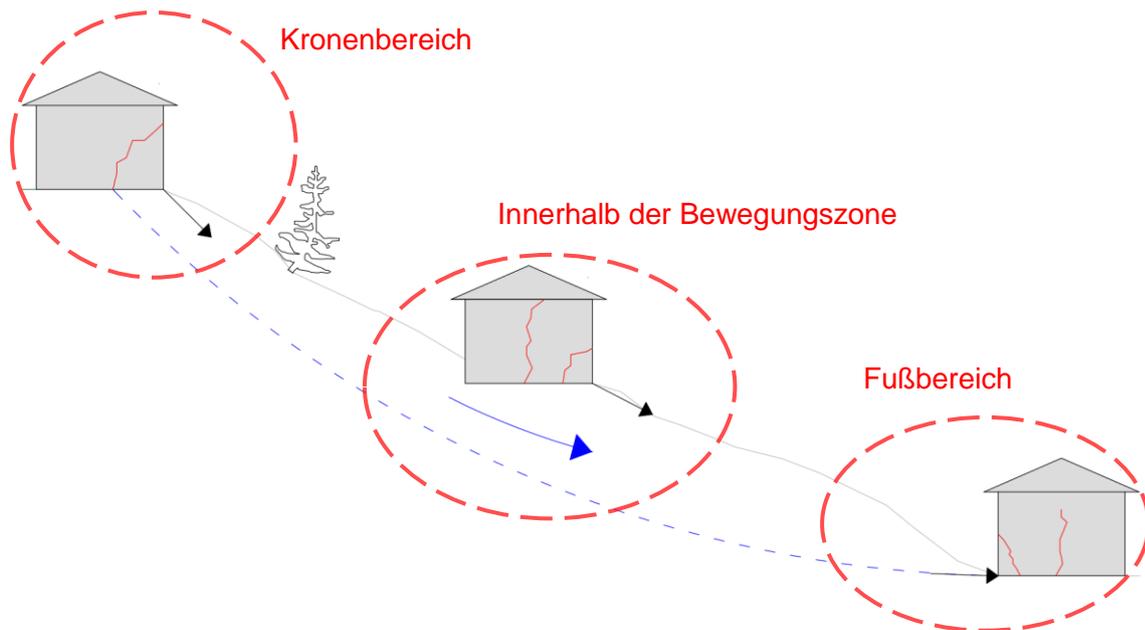


Abb. 19 Unterteilung einer Massenbewegung in Bereiche

### Schäden im Kronenbereich

Bauwerksschäden im Kronenbereich unterscheiden sich je nachdem, ob sich das Gebäude vor oder im Bereich der Anrisskante der Massenbewegung befindet. Abb. 20 und Abb. 21 zeigen Bauwerke, unter welchen sich der Hang löste. Die Anrisskante verlief dabei unter dem Gebäude. Infolge einer Hangrutschung wurden die Bauwerke auseinandergerissen.



Abb. 20 Starke Schäden an Gebäude und Leitungen aufgrund einer Massenbewegung<sup>7</sup>

<sup>7</sup> <http://www.nbcnews.com/news/us-news/slow-moving-landslide-speeds-splits-wyoming-home-two-n84731>, abgerufen am 26.04.2017



Abb. 21 Fortschreitende Hangbewegungen rissen ein Bauwerk auseinander (Jaritz, 2001)

Bei leichten Hangdeformationen wie Kriechbewegungen können Risse mit großen Rissbreiten entstehen, die sich im ganzen Gebäude ausbreiten. (Abb. 22)



Abb. 22 Linkes Bild: Starke Schäden an einem Gebäude infolge Kriechbewegungen<sup>8</sup>; Rechtes Bild: Erheblicher Risschaden an einem Stallgebäude (Dialer, 2016)

Fünf Jahre anhaltende Kriechbewegungen führten zu starken Verformungen und Rissen an einem Bauwerk. Neben den schweren Risschäden trat, aufgrund einer Beschädigung der Dachkonstruktion, Wasser in das Bauwerk ein. Des Weiteren konnten im Inneren Risse in den Decken wahrgenommen werden. (Abb. 23)

<sup>8</sup> [http://www.bydleni-iq.cz/wp-content/uploads/05a\\_benesov.jpg](http://www.bydleni-iq.cz/wp-content/uploads/05a_benesov.jpg), abgerufen am 18.08.2017



Abb. 23 Stark beschädigtes Gebäude zufolge einer Hangdeformation<sup>9</sup>

Außenbauteile wie Mauern vor den Gebäuden, können durch starke Verformungen und Risse auf Hangbewegungen hinweisen. (Abb. 24)

<sup>9</sup> Oben: [http://brnensky.denik.cz/zpravy\\_region/trhlinou-ve-zdi-jde-videt-sesouvajici-se-domy-v-zidenicich-opravi-20160302.html](http://brnensky.denik.cz/zpravy_region/trhlinou-ve-zdi-jde-videt-sesouvajici-se-domy-v-zidenicich-opravi-20160302.html), Unten: [http://plzen.idnes.cz/foto.aspx?foto1=ALT3c978d\\_IMG\\_9196.jpg](http://plzen.idnes.cz/foto.aspx?foto1=ALT3c978d_IMG_9196.jpg), abgerufen am 18.08.2017



Abb. 24 Verformungen einer Mauer infolge einer Hangverformung<sup>10</sup>

### Schäden innerhalb der Bewegungszone

Folgend werden Schadensbilder an Gebäuden präsentiert, welche innerhalb der Bewegungszone situiert waren. Je nach Art und Größe der Massenbewegung, kann sich das Schadensausmaß unterscheiden. Abb. 25 links zeigt dabei schwere Risschäden an einem Bauwerk, während beim Wohnhaus in Abb. 25 rechts ganze Wände zufolge einer Massenbewegung einstürzten.

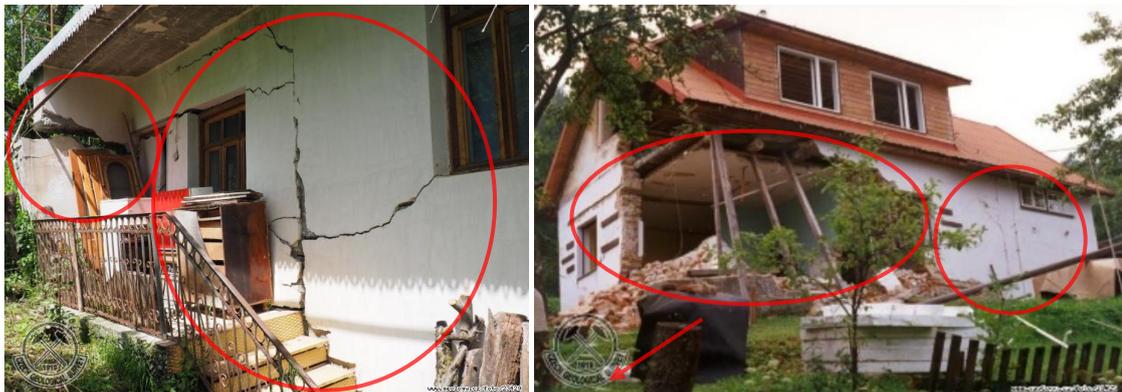


Abb. 25 Linkes Bild: Durch eine Massenbewegung geschädigtes Gebäude<sup>11</sup>; Rechtes Bild: Teilweiser Einsturz von Außenwänden infolge einer Hangbewegung<sup>12</sup>

<sup>10</sup> <http://tirol.orf.at/news/stories/2518979/>, abgerufen am 19.08.2017

<sup>11</sup> [http://fotoarchiv.geology.cz/cz/foto/23420/?lister=nahledy&jev=30&lister\\_page=5](http://fotoarchiv.geology.cz/cz/foto/23420/?lister=nahledy&jev=30&lister_page=5), abgerufen am 18.08.2017

<sup>12</sup> [http://fotoarchiv.geology.cz/cz/foto/21025/?lister=nahledy&jev=30&lister\\_page=4](http://fotoarchiv.geology.cz/cz/foto/21025/?lister=nahledy&jev=30&lister_page=4), abgerufen am 18.08.2017

Abb. 26 stellt ein Gebäude dar, dass sich innerhalb einer großflächigen Massenbewegung befand. Dabei entstanden schwere Risschäden an der Konstruktion, welche sich durch das ganze Bauwerk zogen.

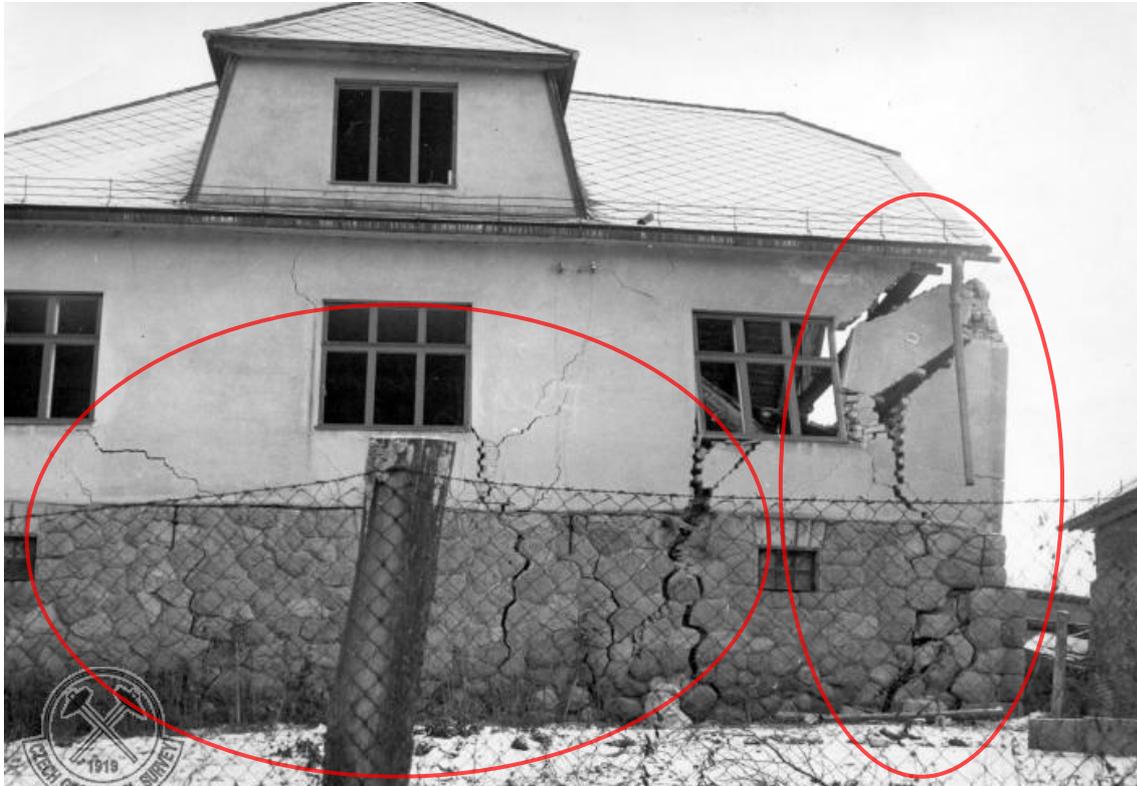


Abb. 26 Schwere Gebäudeschäden nach einer Massenbewegung  
(fotoarchiv.geology.cz, 2017)

Abb. 27 zeigt einen Schadensfall, bei dem ein aktiver Kriechhang aufgrund eines Baugrubenaushubs abrutschte und schwere Schäden an der Konstruktion verursachte. Dabei entstanden Risse an Treppenanschlüssen, Zugrisse an der Außenwand und Biegerisse am Untergeschoss der zur Baugrube gerichteten Wand.



Abb. 27 Schwere Schäden an einem Einfamilienhaus zufolge einer Hangbewegung (Aargauer Zeitung, 2015)

Schäden infolge einer Massenbewegung können auch als Risse an der Giebelwand auftreten. Diese ähneln besonders Rissbildern aus Setzungsverformungen. (Abb. 28)

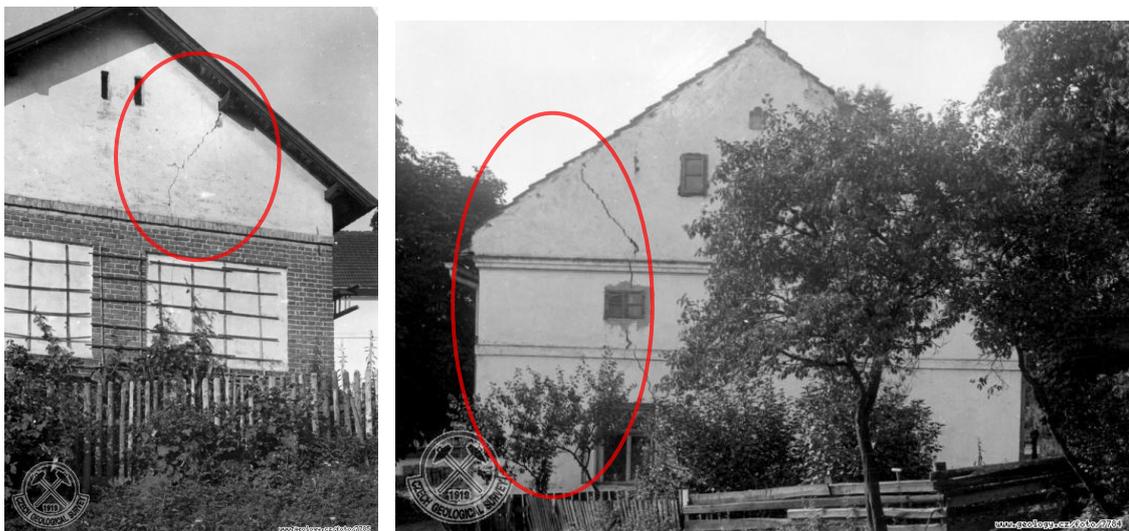


Abb. 28 Zufolge einer Massenbewegung entstandene Risse an Giebelwänden (fotoarchiv.geology.cz, 2017)

Durch Bewegungen eines steilen Hanges, im folgenden Beispiel bis zu 45 Grad Böschungsneigung, kam es zu schweren konstruktiven Schäden.



Abb. 29 Darstellung der Anlage vor dem Schadensereignis (tuerkei-zeitung.de, 2017)

Zu Beginn konnten Risse in einer Fahrbahn wahrgenommen werden. Abb. 30 links zeigt eine Zufahrt der Anlage, in der Risse mit einer Rissbreite von ca. 15 cm auftraten. Nur 4 Tage später vergrößerte sich die Rissbreite auf ca. 90 cm, dabei rutschte die Straße um ca. 75 cm ab (Abb. 30 Bild in der Mitte). Nach weiteren 6 Tagen stürzte die Fahrbahn ca. 2 m ab (Abb. 30 rechtes Bild).



Abb. 30 Linkes Bild: Erste Risse in der Straße; Bild in der Mitte: Riss breitete sich aus; Rechtes Bild: Straße brach weg (tuerkei-zeitung.de, 2017)

Die Folgen der Hangbewegung waren Verformungen und Risse in den Bauwerken. Hangseitig situierte Wände und Fußböden sackten um ca. 10 -15 cm ab. In den Wänden traten große Rissbreiten im Zentimeterbereich auf. (Abb. 31 Linkes Bild) Terrassenböden setzten sich vertikal um ca. 10 - 20 cm und verschoben sich in Hangrichtung horizontal von den Gebäuden um ca. 10 - 15 cm weg. (Abb. 31 Rechtes Bild)



Abb. 31 Linkes Bild: Schwere Risschäden an Gebäuden, Rechtes Bild: Abriss des Bodenbelags (tuerkei-zeitung.de, 2017)

Ein 1,20 m breiter Stiegdurchgang wies zwischen linker und rechter Seite eine Höhendifferenz von ca. 20 cm auf. (Abb. 32 Linkes Bild) An den Terrassen konnten Verformungen der Böden beobachtet werden. (Abb. 32 Rechtes Bild)



Abb. 32 Linkes Bild: Verformungsschäden bei einem Stiegdurchgang; Rechtes Bild: Terrassenschäden (tuerkei-zeitung.de, 2017)

Stützwände wurden zufolge der Hangdeformation versetzt und wiesen einen Spalt in den Bewegungsfugen auf. (Abb. 33)



Abb. 33 Linkes Bild: Absacken einer 6 m hohen Mauer, Blick von der Stützmauer Richtung Tal; Rechtes Bild: Blick unterhalb der Stützmauer (tuerkei-zeitung.de, 2017)

Große Hangbewegungen können nicht nur starke Risschäden mit großer Rissbreite verursachen, sondern auch deutlich sichtbare Verformungen der Konstruktion mit teilweisen Versetzungen der Bauwerke.



Abb. 34 Bauwerkversagen in einer großen Massenbewegung<sup>13</sup>

Infolge einer Kriech- und Fließbewegung eines Hanges entstanden an einem Wirtschaftsgebäude schwere Bauwerksschäden. Das Hauptgebäude löste sich teilweise von der Unterkonstruktion.

<sup>13</sup> <http://de.paperblog.com/gefahr-der-hang-rutscht-593124/>, abgerufen am 21.04.2017



Abb. 35 Schwere Schäden an Unterkonstruktion einer Alp-Hütte infolge einer Großhangbewegung (Jaritz, 2001)

Als Anzeichen für eine großflächige Rutschung traten im Einflussbereich sichtbare Verformungen an verschiedenen Bauwerken auf. Die nächsten Bilder zeigen Schiefstellungen bzw. Verformungen an Waldhütten infolge der Massenbewegung (Abb. 36 und Abb. 37.) Dabei entstanden Risse und Verwerfungen in den Bodenplatten vor der Konstruktion. (Abb. 37 Linkes Bild)



Abb. 36 Deutlich sichtbare Verformungen an Holzhütten im Einflussbereich der Rutschung (Gschlifgraben, 2008)



Abb. 37 Linkes Bild: Verwerfungen von Bodenplatten und Verformungen an einer Hütte;  
Rechtes Bild: sichtbare Schiefstellung einer Stütze (Gschlieffgraben, 2008)

Abb. 38 stellt Verformungen eines Tragwerkes zufolge einer Massenbewegung dar. Charakteristisch für Massenbewegungen ist das Kippen der Konstruktion aufgrund der horizontalen Deformationen bei Hangbewegungen.

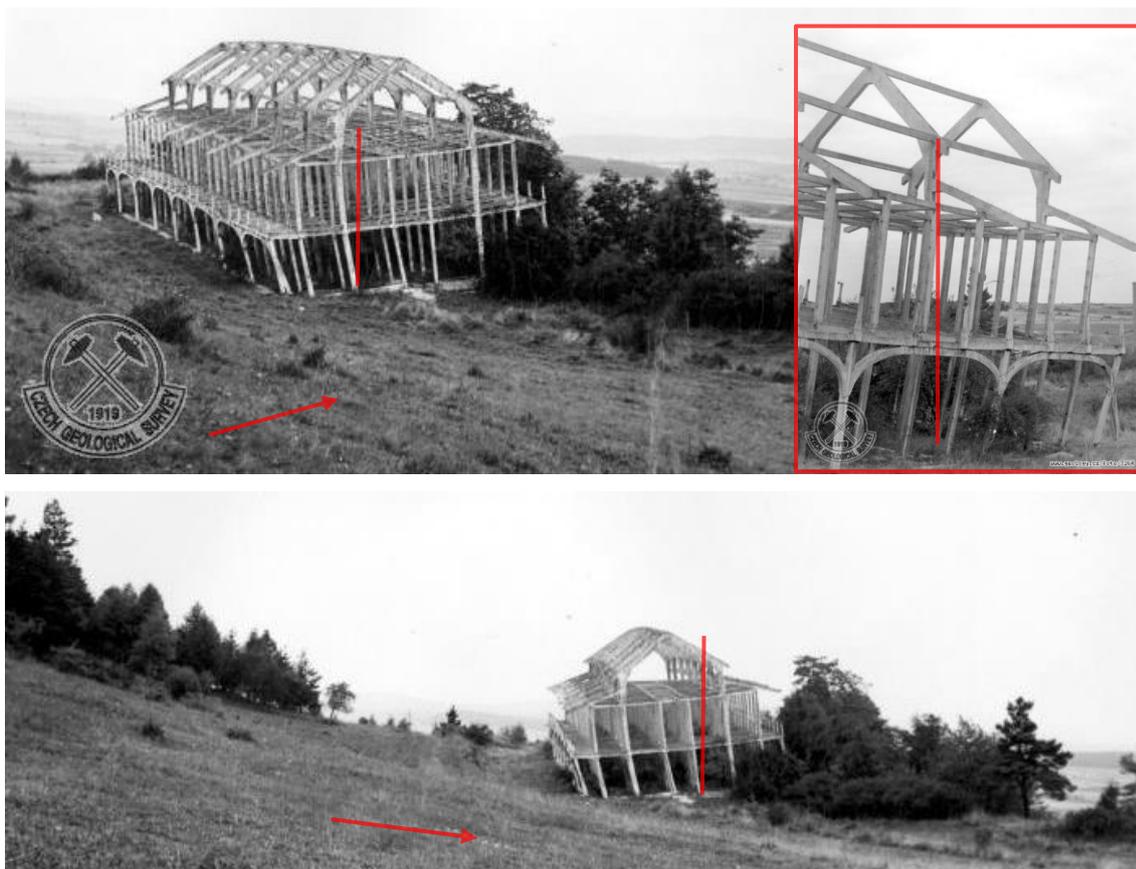


Abb. 38 Verformung einer Tragkonstruktion zufolge einer Hangbewegung  
(fotoarchiv.geology.cz, 2017)

### Schäden im Fußbereich

Je nach Art und Größe der Massenbewegung, können sich die Schadensbilder im Fußbereich unterscheiden. So zeigt Abb. 39 ein Gebäude im Fußbereich eines Kriechhanges Risschäden, während das Objekt in Abb. 40 komplett von der Rutschmasse erfasst wurde.



Abb. 39 Linkes Bild: Fußbereich eines Kriechhanges; Rechtes Bild: Risschäden am Gebäude unterhalb des Kriechhanges (Leopold, 2012)



Abb. 40 Geschädigtes Bauwerk nach einer Rutschung im Bereich der Rutschstirn (fotoarchiv.geology.cz, 2017)

Abb. 41 stellt einen Schadensfall dar, bei dem sich das Schadensobjekt außerhalb der Bewegungszone befand. Die Rutschmasse erfasste eine Gebäudehälfte und riss Teile der Außenwände nieder. Das Fundament bzw. das Untergeschoß blieb dabei intakt.



Abb. 41 Linkes Bild: Schwere Schäden an einem Gebäude nach einer Hangrutschung<sup>14</sup>; Rechtes Bild: Geschädigtes Objekt nach den Räumungsarbeiten, die Unterkonstruktion blieb stehen (roter Kreis)<sup>15</sup>

### Schäden im Innenbereich zufolge Massenbewegung

Aufgrund einer Hangdeformation kann es zu einem Bruch der Bodenplatte kommen. Bei einem Schadensereignis traten in einer Bodenplatte Risse mit einer Rissbewegung in horizontaler und vertikaler Richtung auf, Fliesen in einer Duschkabine zerbrachen und platzen aufgrund der Bauteilverformungen ab (Abb. 42 und Abb. 43).



Abb. 42 Ein mehrere Zentimeter großer Bruch einer Bodenplatte mit Höhenversatz aufgrund einer Hangdeformation (Aargauer Zeitung, 2015)

<sup>14</sup> [http://static.kleinezeitung.at/images/uploads\\_520/9/b/4/4802996/1209EDB0-81D8-4065-A3BA-36AFECA6D4E8\\_v0\\_h.jpg](http://static.kleinezeitung.at/images/uploads_520/9/b/4/4802996/1209EDB0-81D8-4065-A3BA-36AFECA6D4E8_v0_h.jpg), abgerufen am 18.08.2017

<sup>15</sup> [https://bfw.ac.at/030/pdf/bfw-dok\\_6.pdf](https://bfw.ac.at/030/pdf/bfw-dok_6.pdf), abgerufen am 18.08.2017



Abb. 43 Schwere Setzungsrissschäden im Untergeschoss eines Wohnhauses, Bild Mitte: Detail der Verformungen und Abplatzungen in der Duschkabine (Aargauer Zeitung, 2015)

Auch im Obergeschoss traten deutlich sichtbare Rissschäden ausgehend von der Fensteröffnung auf, welche sich durch das gesetzte Mauerwerk weiterzogen (Abb. 44).



Abb. 44 Setzungsrissschaden im Innenbereich ausgehend vom Laibungseck des Fensters (Aargauer Zeitung, 2015)

Die in Abb. 42 bis Abb. 44 dargestellten Setzungsschäden zeichneten sich jahrelang durch Haarrisse am Gebäude ab. Nach wiederholt kleinen Bewegungen im Untergrund kam es schließlich zu einer Rutschung, infolge welcher die abgebildeten Schäden auftraten. (Aargauer Zeitung, 2015). Der Ablauf des Schadensherganges wird in Kapitel 5.2 genauer behandelt.

#### 4.1.2 Gebäudeschäden verursacht durch Setzungen

Setzungen bei Bestandsbauwerken sind oftmals Folge einer unzureichend durchgeführten Baugrunderkundung und einer Überschätzung der Tragfähigkeit des Bodens. Bauwerksschäden durch Setzungen sind oftmals erst über die Zeit erkennbar, da sich diese oftmals erst über längere Zeit entwickeln. Die folgende Tabelle stellt eine Übersicht möglicher Setzungsursachen dar:

Tab. 6 Ursachen von Setzungen (adaptiert aus Hilmer, Knappe & Englert 2004)

Ursache	Beispiele
Zusammendrückung des Untergrundes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weicher, breiiger Boden</li> <li>• Torf und organische Schichten</li> </ul>
Grundwasserabsenkung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wegfall des Auftriebes, Vergrößerung der Spannung im Untergrund</li> <li>• Ausspülung von Feinteilen</li> </ul>
Schrumpfung bindiger Böden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Austrocknung, insbesondere unter flach gegründeten Gebäuden</li> <li>• Baumbestand</li> </ul>
Durchfeuchtung bindiger Böden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Örtliche Veränderung der Tragfähigkeit des Bodens, z.B. durch Erhöhung des Wassergehaltes</li> </ul>
Hohlräume	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Senkung des Baugrundes über eingebrochenen, unterirdischen Hohlräumen</li> </ul>
Frosthebung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frostempfindliche Böden und in diesem Zusammenhang entstehende Hebungen und nachfolgende Setzungen</li> </ul>
Drucküberschneidungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benachbarte Gebäude (Schäden beim Altbau im Zuge von angrenzenden Neubauten)</li> </ul>

Der Boden besteht aus einem Korngerüst. Die Dichte des Bodens und das Volumen der Poren die ganz oder teilweise von Wasser gefüllt sind, werden von der Lage der einzelnen Körner bestimmt. Verformung und Tragfähigkeit des Bodens ist

dementsprechend von einem System aus Feststoff, Wasser und Luft abhängig. Durch Belastung des Systems wird Wasser und Luft aus dem Boden gepresst und das Porenvolumen bzw. das Volumen des Bodenkörpers verringert. Dies führt zu einer dichteren Lagerung und bei vertikaler Belastung dementsprechend zu Setzungen im Boden. Bei grob- oder gemischtkörnigem Bodenmaterial, wie z. B. Sand und Kies, werden die Spannungen direkt über das Korngerüst abgetragen, was zu unmittelbaren Setzungen führt. Bei wassergesättigten kohäsiven, feinkörnigen Böden wie z. B. Ton und Schluff, wird die Last zuerst durch das Porenwasser getragen, da aufgrund des feineren Korngerüsts das Wasser nicht sofort abfließen kann. Durch einen längerfristigen Konsolidierungsvorgang<sup>16</sup>, wird das Wasser langsam aus den Poren gepresst, wodurch es länger dauert bis Setzungen abklingen. Es kann unter Umständen Jahre dauern bis der Konsolidierungsvorgang und damit der Setzungsprozess abgeschlossen sind. (der Bauschaden, 2017)

In der Regel treten unter jeder Belastung des Baugrundes Setzungen auf, jedoch verursacht nicht jede Setzung einen Schaden. Gleichmäßige Setzungen, sind für das Bauwerk im Allgemeinen unkritisch, wenn sie bereits bei der Planung berücksichtigt worden sind. Ungleichmäßige Setzungen hingegen, können zu Lastumlagerungen und einer Veränderung der Auflagerbedingungen führen. Dies verursacht Spannungen und demzufolge Biegemomente, Querkräfte sowie Zugspannungen im Bauwerk zu dessen schadensfreier Aufnahme die Konstruktion, insbesondere Mauerwerke nur bedingt fähig ist. Die Folge ist eine Rissbildung im Bauwerk. Nicht alle Bauwerke weisen die gleiche Setzungsempfindlichkeit auf, diese wird hauptsächlich von der Steifigkeit des Bauwerks bestimmt. Steife Bauwerke erleiden infolge einer ungleichmäßigen Setzung eher Schiefstellungen, welche die Gebrauchstauglichkeit einschränken können.

Wie in Abb. 45 zu sehen, muss der Untergrund auf dem das Bauwerk gegründet ist nicht immer homogen sein, sondern kann aus unterschiedlichen Schichten mit unterschiedlichen Eigenschaften bestehen. In ungünstigen Fällen verlaufen die Schichtgrenzen nicht nur in horizontaler Richtung (Abb. 45 Bild „a“), sondern unterscheiden sich auch in der Ebene an mehreren Stellen voneinander (Abb. 45 Bild „c“). Da die verschiedenen Materialien zu unterschiedlichen Setzungsverhalten führen, kommt es zu differenziellen Setzungen des Untergrundes und somit einer Verformung

---

<sup>16</sup> Konsolidierungsvorgang: „Wenn die Belastung auf einer hochgradig zusammendrückbaren, porösen, wassergesättigten Bodenschicht, wie beispielsweise einer Tonschicht erhöht wird, wird die Schicht zusammengedrückt und das überschüssige Wasser tritt aus der Schicht aus. (...) Mit der Zeit nimmt der Wasserüberdruck ab und der entsprechende mittlere effektive Druck in der Schicht nimmt zu.“ (Terzaghi/Peck, 1961, Seite 243)

der Bodenplatte bzw. einer Veränderung der Auflagerreaktionen. Das Bauwerk verformt sich und es entstehen Zugspannungen welche folglich zu Rissen führen können. (Abb. 45 Bild „d“) (Meichsner & Rohr-Suchalla, 2011)

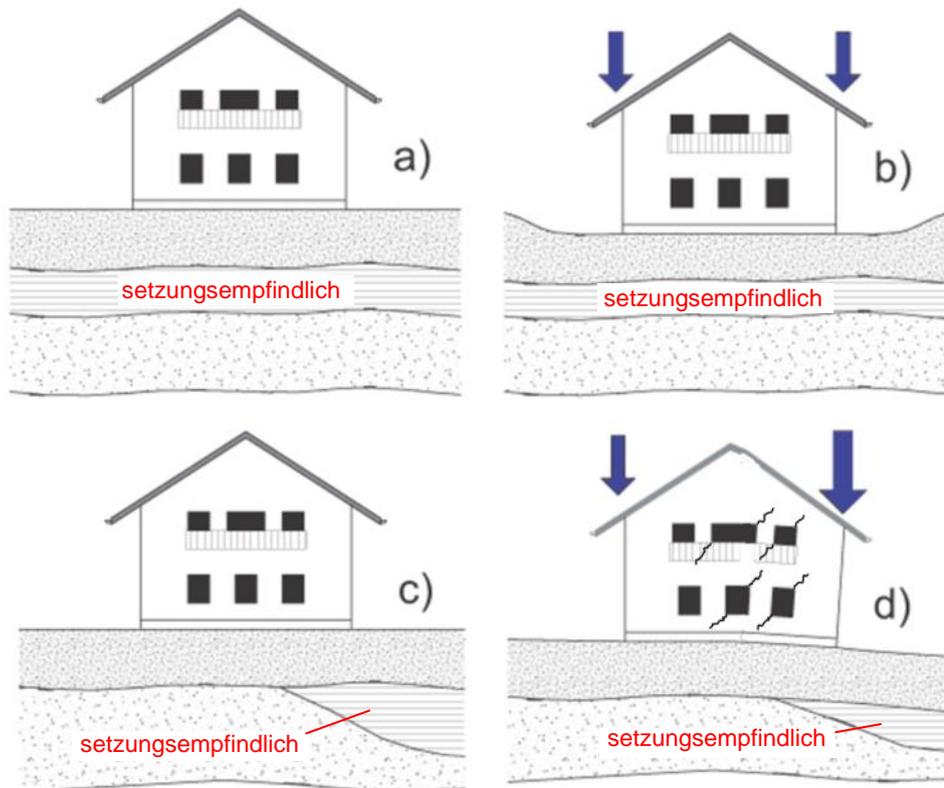


Abb. 45 Gleichmäßige und differenzielle Setzung schematisch dargestellt (Meichsner & Rohr-Suchalla, 2011)

Bei unbewehrten Mauerwerkskonstruktionen ist die Rissöffnung größer und sogar teilweise im Zentimeterbereich. (Meichsner & Rohr-Suchalla, 2011) Ein weiteres Merkmal von Setzungsrissen ist der unregelmäßige meist diagonale Verlauf. Dieser ist von der Größe der Setzung und der veränderten Art der Lastausbreitung im Tragwerk abhängig. Im folgenden Bild (Abb. 46 links) trat ein Mauerwerksriss an einem Verwaltungsgebäude aufgrund differenzieller Setzungen auf. Auffällig hier sind wieder die große Rissbreite und die diagonal verlaufenden Risse zwischen den Öffnungen mit Abplatzungen an der Fassade. Durch Spannungen welche bei Setzungen auf das Gebäude wirken, können auch Fensteröffnungen verformt werden, woraus eine Überschreitung des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit resultiert.



Abb. 46 Linkes Bild: Diagonaler Setzungsriß an Verwaltungsgebäude (Meichsner & Rohr-Suchalla, 2011); Rechtes Bild: Setzungsrisse mit großer Rissbreite und Verformungen an den Fensteröffnungen<sup>17</sup>

Eine differenzielle Setzung kann zu einer sogenannten Kragamlagerung führen. Abb. 47 zeigt deutlich, dass der rechte Riß (Detail) eine Rissbreite im Zentimeterbereich aufweist. Des Weiteren fällt der vertikale Rißverlauf auf. Wie in der Detailaufnahme zu erkennen ist, sind noch frische Spuren von Mörtel- und Putzteilen in der Rißfuge vorhanden, was ein Anzeichen dafür sein kann, dass dieses Versagen kurz vor der Aufnahme eingetreten ist. (Dialer, 2016)



Abb. 47 Linkes Bild: Mauerwerkswand mit vertikalem Rißverlauf, Rechtes Bild: Große Rissbreite bei vertikalem Rißverlauf im Detail (Dialer, 2016)

Als nächstes Schadensbeispiel folgt eine sich ablösende Giebelwand infolge einer Setzung ausgehend aus dem Wandanschluss unter der Dachkonstruktion (Abb. 48).

<sup>17</sup> <http://www.geotechnik-reeck.de/bilder/DSC03866.jpg>, abgerufen am 21.04.2017



Abb. 48 Linkes Bild: Riss zufolge einer sich ablösenden Giebelwand; Rechtes Bild: Detailaufnahme des Risses (Dialer, 2016)

Risschäden verursacht durch Setzungen können auch direkt an der Giebelwand aufscheinen (Abb. 49). Die Risse traten in erster Linie in der Fassadenöffnung auf. Charakteristisch für ein derartiges Schadensbild ist eine sichtbare Verformung der Fensteröffnungen.



Abb. 49 Linkes Bild: Diagonales Rissbild mit großer Rissbreite an einer Giebelwand<sup>18</sup>; Rechtes Bild: Setzungsrisse an Giebelwand mit Abplatzungen (Dialer, 2016)

Wie vielfältig Setzungsrisse sein können zeigt das nächste Beispiel. Eine Giebelwand wies horizontale Risschäden aufgrund einer Verformung aus differentiellen Setzungen auf, welche auf Höhe der jeweiligen Geschoßdecken auftraten.

<sup>18</sup> <https://www.wohnet.at/sanierung/aussensanierung/risse-im-mauerwerk-22635>, abgerufen am 04.05.2017



Abb. 50 Giebelwand mit horizontalem Setzungsrissverlauf (Dialer, 2016)

Abb. 51 stellt Risse an einer öfFnungsfreien Giebelwand dar, welche bereits neu verputzt wurden und nach weiteren Setzungen wieder zum Vorschein traten.



Abb. 51 Linkes Bild: Rissverlauf in Giebelwand aufgrund von Setzungsschäden; Rechtes Bild: Detailansicht des Risschadens (Dialer, 2016)

Aufgrund eines Baugrubeneinsturzes können neben vertikalen Verformungen auch horizontale Deformationen auftreten, welche den Verformungen und Schadensbildern aus Hangbewegungen ähneln. Zufolge einer Freistellung der Außenwände eines Kellers versagte die Gründung eines Gebäudes. Dabei sackte das Gebäude ab was zu schweren Verformungen und Risschäden führte. (Abb. 52)



Abb. 52 Linkes Bild: Schwere Schäden an einem Wohngebäude; Rechtes Bild: Detailaufnahme der Risschäden<sup>19</sup>

Risschäden an in Hanglage situierten Konstruktionen müssen nicht immer aufgrund von Massenbewegungen entstanden sein. Auch in Hanglage können rein vertikale Verformungen aufgrund von Setzungen auftreten. Abb. 53 zeigt Risschäden und Kerbrisse an Hauswänden aus Setzungen parallel zur Hanglage. Diese traten an Schwachstellen der Gebäudewand von Laibungseck zu Laibungseck auf und waren sowohl innen als auch außen am Objekt sichtbar.



Abb. 53 Linkes Bild: Vertikale Setzungsrisschäden an Wänden parallel zur Hanglage; Rechtes Bild: Kerbrisse an Fensteröffnungen (Dialer, 2016)

<sup>19</sup> <http://www.bild.de/regional/hannover/gebaeudesanierung/haus-sackt-bei-renovierung-ab-36447724.bild.html>, abgerufen am 04.05.2017

### Schäden durch unterschiedlich tief gegründete Bauteile

Eine andere Ursache für differenzielle Setzungen können verschieden tief gegründete Bauteile sein. Wie in Abb. 54 dargestellt, wurde die Stütze auf einem Punktfundament gegründet, während der Rest des Gebäudes auf einer tiefer liegenden Flächengründung stand. Dies führte zu unterschiedlichen Setzungen und als Folge zu Setzungsrisse im Bauwerk (in der Abbildung mit Pfeilen markiert).

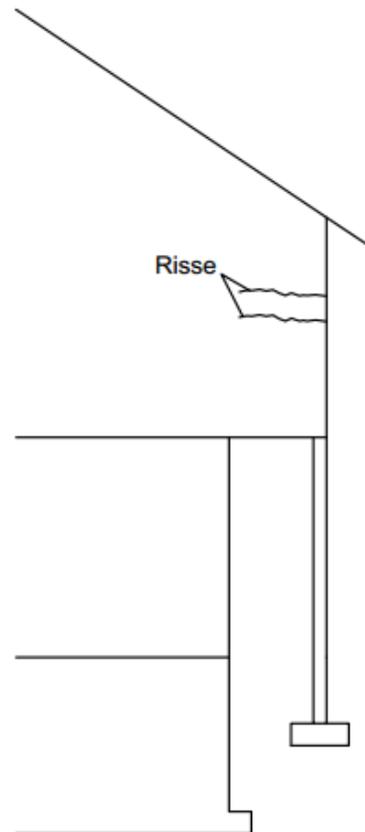


Abb. 54 Linkes Bild: Setzungsrisse aufgrund unterschiedlich tief gegründeter Bauteile; Rechtes Bild: Schematische Skizze der Situation (Dialer, 2016)

### Risse in Bodenplatten

Versagen durch Biegebeanspruchung von Betonkörpern kann nicht nur durch Schwindverkürzungen, durch zu hohe Lasten, oder durch differenzielle Setzungen entstehen, sondern auch aufgrund von gleichmäßigen Setzungen eines Gebäudes, wie in Abb. 55 dargestellt, verursacht werden. Das auf Streifenfundamenten gegründete Bauwerk setzte sich zwar gleichmäßig ab, aufgrund des Sohldruckes kam es jedoch zu Verformungen und Rissen in der Bodenplatte. Der reale Schadensfall ist in Abb. 56 bzw. Abb. 57 zu sehen.

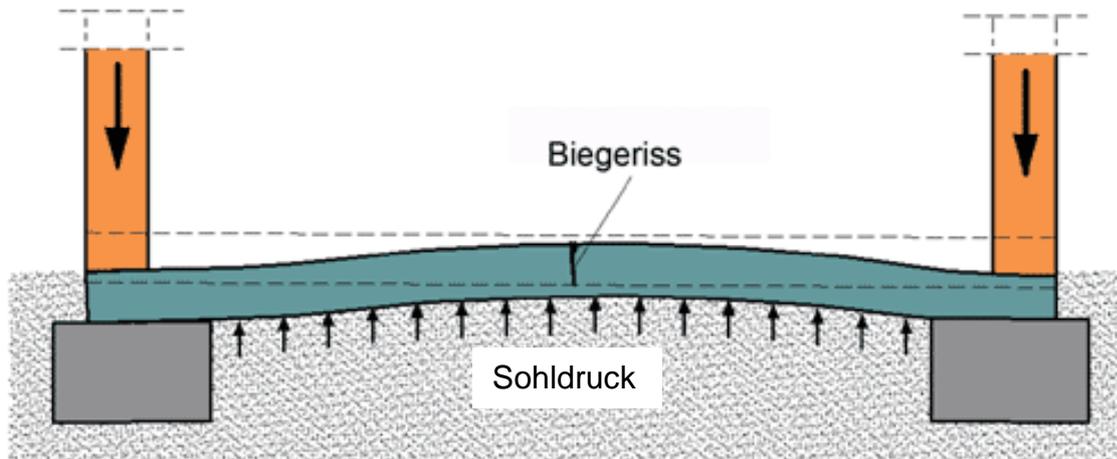


Abb. 55 Biegeriss in einer Bodenplatte aufgrund von Setzungen (Meichsner, 2015)



Abb. 56 Biegeriss in einer Bodenplatte im Inneren (Meichsner, 2015)



Abb. 57 Riss in einer Bodenplatte aufgrund von Setzungen<sup>20</sup>

<sup>20</sup> <http://www.afsrepair.com/foundation-repair/foundation-problems/settlement-sinking.html>, abgerufen am 06.04.2017

### Setzungsschäden infolge von Quellen und Schwinden

Setzungsschäden können auch durch temporäre vertikale Bodenverformungen zufolge Quellen und Schwinden des Untergrundes im Zusammenhang mit Schicht- und Sickerwässern bzw. allgemein einer Änderung des Wassergehaltes im Untergrund entstehen (Meichsner & Engels, 2015).



Abb. 58 Durch Quell- und Schwindprozesse im Untergrund verursachte Bauwerksrisse (Meichsner & Engels, 2015)

### Setzungsschäden im Innenbereich

Setzungsschäden können nicht nur an der Außenhülle eines Gebäudes auftreten, sondern auch im Inneren eines Gebäudes wahrgenommen werden. Dabei variieren die Rissverläufe. Abb. 59 stellt Rissmuster im Innenbereich dar, welche sich vertikal ausgeweitet haben, während die Risse in Abb. 60 einen vertikalen Verlauf aufweisen und dabei in die Geschoßdecke übergehen.



Abb. 59 Linkes Bild: Schwere Risschäden in einem Treppenhaus<sup>21</sup>; Rechtes Bild: Diagonaler Riss ausgehend von der Bauwerksecke (Dialer, 2016)



Abb. 60 Linkes Bild: Feiner Rissverlauf mit vertikalem Verlauf (Dialer, 2016); Bild in der Mitte und rechtes Bild: vertikale Setzungsrisse in Wänden welche in die Decke übergehen<sup>22</sup>

Setzungsschäden im Innenbereich können sich auch durch Deformationen an Bauteilen zeigen. Abb. 61 stellt zwei Schadensbilder dar, bei denen es aufgrund von Setzungen zu Aufwölbungen im Boden kam. Das rechte Bild zeigt eine Anhebung an einer Verkaufsfläche nach einer Setzung, bei welcher sich eine Betonbodenplatte um ca. 3 cm durchbog. Zwischen den Trennfugen der Betonplatten traten Risse auf.

<sup>21</sup> <http://fegroup.net.au/blog/building-settlement-stabilisation-underpinning/>, abgerufen am 09.05.2017

<sup>22</sup> <https://www.erde-hebt-sich.de/fotos/>, abgerufen am 26.06.2017



Abb. 61 Linkes Bild: Verformung eines Fließbodens<sup>23</sup>; Rechtes Bild: Anhebung einer Verkaufsfläche<sup>24</sup>

#### 4.1.3 Weitere mögliche Anzeichen für Schäden durch Hangdeformation

Folgend werden weitere Schadensbilder präsentiert die auf eine mögliche Hangbewegung hinweisen können.

##### Schäden unter der Erdoberfläche

Bauwerksrisse können aber auch nur unter der Erdoberfläche an erdberührten Bauteilen (Abb. 62) auftreten und erst in späterer Folge zu weiteren Rissen am Bauwerk führen. Es besteht die Möglichkeit einer frühzeitigen Erkennung solcher Schäden, wenn sich diese auch im Innenbereich eines Bauwerks zeigen.



Abb. 62 Linkes Bild: Von Setzungsschäden betroffenes Objekt, Bild in der Mitte und rechts: Darstellung der Setzungsriss im Mauerwerk am freigestellten Untergeschoss<sup>25</sup>

<sup>23</sup> <https://www.erde-hebt-sich.de/fotos/>, abgerufen am 26.06.2017

<sup>24</sup> <https://www.uretek.at/referenz/hornbach-wels/>, 26.06.2017

<sup>25</sup> <http://setzungen.at/galerie/>, abgerufen am 11.05.2017

### **Feuchtigkeitseintritt infolge geschädigter Außenbauteile**

Es kann vorkommen, dass Setzungsrisse zu Beginn aufgrund ihrer geringen Rissbreite nicht bemerkt werden. Risse im Millimeterbereich gefährden meist nicht die Standsicherheit eines Objektes, sind dennoch ernst zu nehmen. Auf den ersten Blick sind feine Haarrisse zufolge Setzungen oder Hangdeformationen leicht mit gewöhnlichen Putz- oder Schwindrissen zu verwechseln, die aufgrund von Zugspannung infolge von Temperaturschwankungen oder Schwinden entstehen können. Treten diese feinen Setzungsrisse an erdberührten Bauteilen (Kellerwände), oder im Falle von Grundwasser z. B. in einem Keller ausgeführt als Weiße Wannen auf, so besteht die Gefahr der Durchfeuchtung. Aufgrund der Feuchtigkeit im Boden bzw. Grundwasser, kann es durch einen Setzungsschaden zu einem Wassereintritt kommen, welcher vorerst nicht sichtbar ist. Bei Mauerwerken besteht die Gefahr, dass durch Risse eingedrungenes Wasser durch Kapillarität im Bauteil aufsteigt. Dies ist bei Wänden aus Beton weniger der Fall. Folgen des zusätzlichen Wassereintritts in das Bauteil sind Feuchtstellen die Auswirkung auf die Gebrauchstauglichkeit haben und im späteren Verlauf zu Korrosion der Bewehrung oder Schimmel im Innenbereich führen können. Die Festigkeit der Baumaterialien kann unter der übermäßigen Durchfeuchtung leiden. Bei mangelhafter oder geschädigter Feuchteisolierung kann das Wasser zusätzlich bis ins Erdgeschoss aufsteigen und zu Folgeschäden im Bauwerk führen. Da Risschäden am gesamten Gebäude auftreten können, kann dementsprechend überall Feuchtigkeit durch beschädigte Bauteile wie Wände, Dächer oder verformte Fassadenöffnungen eintreten. Abb. 63 stellt einen Setzungsschaden dar, aufgrund dessen es zu Folgeschäden durch Wassereintritt im Bauwerk kam.



Abb. 63 Setzungsrisse an einer Untergeschosswand eines in Hanglage stehenden Hauses mit Folgeschäden durch Wassereintritt<sup>26</sup>

Ungewünschter Wassereintritt kann sich zu Beginn durch Feuchtstellen in Bodenplatten oder Wänden anzeigen. (Abb. 64) Aufgrund langzeitiger Durchfeuchtung von Bauteilen kann es zu Schimmelbefall kommen. (Abb. 65)



Abb. 64 Linkes Bild: Eindringen von Feuchtigkeit durch Bodenplatte<sup>27</sup>; Rechtes Bild: Feuchte Wände im Untergeschoss<sup>28</sup>

<sup>26</sup> <http://setzungen.at/galerie/>, abgerufen am 11.05.2017

<sup>27</sup> <http://bauexperte.info/gutachter-wasserschaden-kosten-gutachten/>, abgerufen am 11.05.2017

<sup>28</sup> <http://www.pfuschambau.at/Ger/Index.html>, 11.05.2017



Abb. 65 Linkes Bild: Schimmelbefall aufgrund von Wassereintritt im Dachgeschoss<sup>29</sup>; Rechtes Bild: Feuchtigkeitseintritt und Schimmelbefall aufgrund von Setzungsschäden<sup>30</sup>

### Mögliche Schadensbilder außerhalb eines Bauwerkes

Hangbewegungen zeichnen sich nicht nur durch Schäden im Bauwerk selbst aus, sondern können ebenfalls Verformungen und Risse an angrenzenden Bauteilen verursachen. Zufolge einer Hangbewegung können Säulen verdrehen oder aufgrund von Setzung der Auflager sich vom Untergrund lösen. (Abb. 66)



Abb. 66 Linkes Bild: Versatz einer Säule<sup>31</sup>; Rechtes Bild: Entkopplung einer Balkonsäule aufgrund von Kriechbewegungen<sup>32</sup>

Verformungen von Böden (Pflastersteinen) können entweder durch schlechte Verdichtung des Untergrundes entstanden sein, oder wie im folgenden Fall, auf eine Hangdeformation hinweisen. (Abb. 67)

<sup>29</sup> <http://setzungen.at/galerie/>, abgerufen am 11.05.2017

<sup>30</sup> <http://setzungen.at/galerie/>, abgerufen am 11.05.2017

<sup>31</sup> <http://www.20min.ch/schweiz/ostschweiz/story/18478084#showid=108698&index=6>, abgerufen am 21.04.2017

<sup>32</sup> <http://www.20min.ch/schweiz/ostschweiz/story/18478084#showid=108698&index=5>, abgerufen am 21.04.2017



Abb. 67 Verformungen angrenzender Pflastersteinen an ein Gebäude, ausgelöst durch Hangbewegungen<sup>3334</sup>

Schäden an Sichtschutzwänden bzw. Gartenmauern können ein weiteres Indiz für Massenbewegungen sein. Risse treten dabei entweder in den Wandanschlüssen (Abb. 68 Linkes Bild) oder in der Konstruktion selbst auf. (Abb. 68 Rechtes Bild). Abb. 69 zeigt Risschäden und Verformungen an einer langen Betonmauer aufgrund von Setzungen.

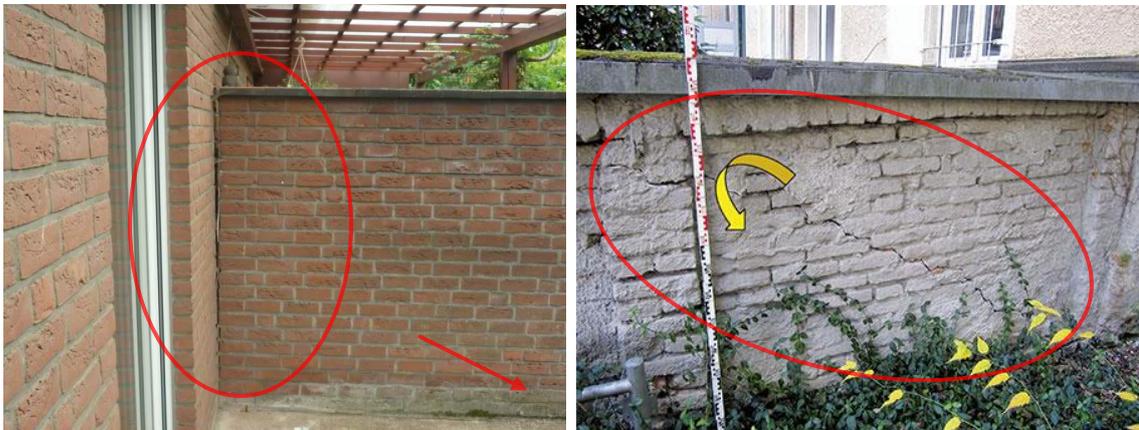


Abb. 68 Linkes Bild: Abreißen einer Sichtschutzwand vom Gebäude (VBHG, 2016); Rechtes Bild: Setzungsrisschaden an einer Trennmauer (gelber Pfeil zeigt die Verformungsrichtung an) (Dialer, 2016)

<sup>33</sup> <http://www.20min.ch/schweiz/ostschweiz/story/18478084#showid=108698&index=8>,  
 abgerufen am 21.04.2017

<sup>34</sup> <http://www.20min.ch/schweiz/ostschweiz/story/18478084#showid=108698&index=9>,  
 abgerufen am 21.04.2017



Abb. 69 Setzungsrisse mit sichtbarem Abfallen einer langen Wandkonstruktion (VBHG, 2016)

### Schiefelage eines Gebäudes

Gründe für die Schiefelage eines Gebäudes können unterschiedlichen Ursprungs sein und stammen meist aus reinen Setzungen, Änderung des Grundwasserspiegels oder etwa einer ungleichmäßigen Lasteinleitung. Es kann vorkommen, dass bei einer Verdrehung infolge von Setzungen des Gebäudes keine Risse oder sichtbaren Schäden an der Konstruktion entstehen, wenn sich das Gebäude gleichmäßig verdreht und es zu keinen Verformungen des Tragwerks kommt (Abb. 70). Aufgrund der zusätzlichen horizontalen Bewegung bei Hangdeformationen sind reine Verdrehungen an Gebäuden ohne größere Risschäden unwahrscheinlich und werden eher an Bauwerken kleiner Dimension wie kleineren Hochbauten auftreten. (Hoch, Egloff & Wackernagel, 1986)

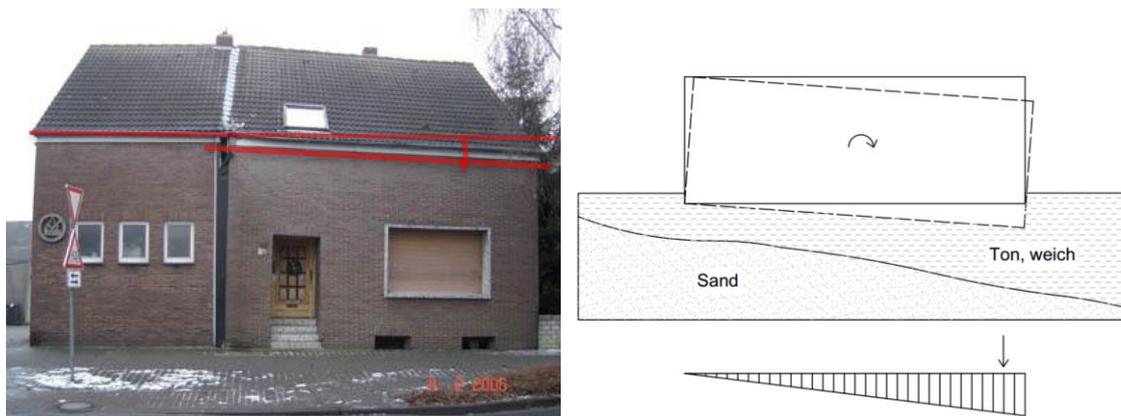


Abb. 70 Linkes Bild: Schiefelage eines Gebäudes ohne auffällige Risse; Rechtes Bild: schematische Darstellung einer einseitigen Setzung ohne Verformungen am Objekt (Mollinga, 2012)

Die nächsten beiden Bilder zeigen zwei freistehende Glockentürme, welche aufgrund ihrer Schiefelage, verursacht durch ungünstige Gründungsverhältnisse, weltbekannt sind (Abb. 71). Der Schiefe Turm von Pisa weist eine Neigung von  $4,19^\circ$  bei einer Höhe von 55 m auf (Überhang von 4,03 m). Beim Kirchturm von Bad Frankenhausen beträgt der Überhang 4,60 m bei einer Höhe von 56 m und einer Neigung von  $4,7^\circ$ . (Der Schiefe Turm, 2017)

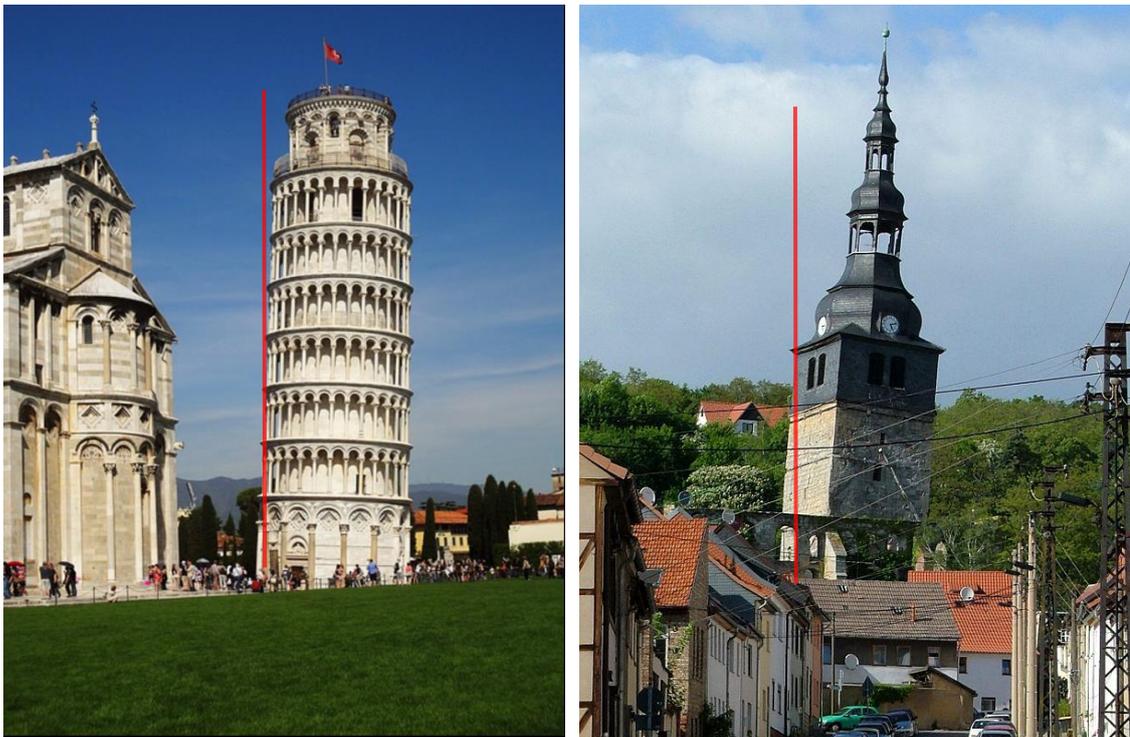


Abb. 71 Linkes Bild: Verdrehung des Schiefen Turms von Pisa<sup>35</sup>; Rechtes Bild: Schiefer Kirchturm von Bad Frankenhausen<sup>36</sup>

Starke Schiefstellungen von Gebäuden müssen keine Gefahr für die Überschreitung des Grenzzustandes der Tragfähigkeit sein (solange der Kippnachweis erfüllt wird), können als Folge aber große Einschränkungen in der Gebrauchstauglichkeit verursachen bzw. den Grenzzustand dieser überschreiten. So konnten, wie im folgenden Beispiel, Fenster und Türen nicht mehr richtig schließen und die Dachentwässerung konnte sich nicht mehr vollständig entleeren. (VBHG, 2016)

<sup>35</sup> <http://www.towerofpisa.org/leaning-tower-of-pisa-photos/>, abgerufen am 21.3.2017

<sup>36</sup> <http://www.kyffnet.de/Ausflugsziele/Oberkirche/oberkirche.html>, abgerufen am 26.06.2017



Abb. 72 Linkes Bild: Starke Schiefstellung eines Gebäudes mit Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit; Rechtes Bild: Durch die starke Schiefelage schliften die Türen am Boden bzw. konnten nicht mehr richtig verschlossen werden (VBHG, 2016)



Abb. 73 Schiefstellung im Badezimmer, Wasser lief nicht mehr vollständig ab (VBHG, 2016)

### Schäden an Wänden durch Erddruck

Unter Erddruck versteht man horizontal wirkende Spannungen, welche zwischen unterirdisch errichteten Bauteilen und dem Baugrund auftreten. Abb. 74 bis Abb. 76 zeigen Wände die sich aufgrund von Erddruck verformten bzw. Risschäden aufwiesen. Besonders Mauerwerkswände haben keine Biegetragwirkung senkrecht zur Lagerfuge. Ist eine Mauerwerkswand aufgrund einer frühen Bauphase noch unbelastet (Abb. 74

Rechtes Bild), kann infolge des Erddruckes und der daraus resultierenden Durchbiegung ein Biegeriss in dieser entstehen. (Dialer, 2016)

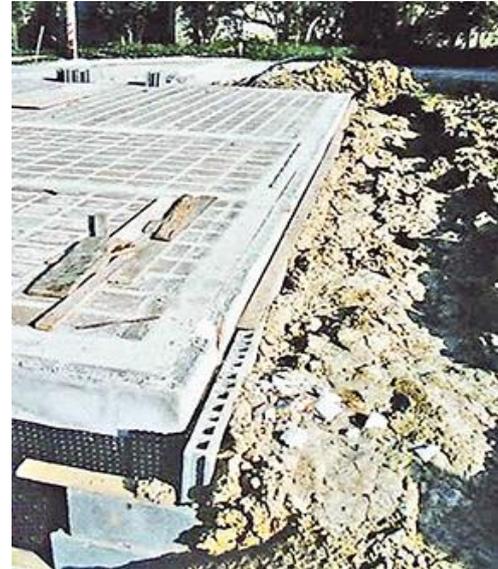


Abb. 74 Linkes Bild: Verformung und Biegeriss einer unbelasteten Mauerwerkswand aufgrund von Erddruck; Rechtes Bild: Außensituation des Schadensfalles (Dialer, 2016)

Während Mauerwerkswände meist entlang der Mörtelfuge versagen breiten sich die Risse im Beton frei aus. (Abb. 75)



Abb. 75 Linkes Bild: Verformungen und Biegerisse an Mauerwerkswand<sup>37</sup>; Rechtes Bild: Risse in Betonwand<sup>38</sup>

<sup>37</sup> <https://ohiostatewaterproofing.com/learning-center-blog/cracked-basement-walls-canton-oh/>, abgerufen am 23.04.2017

<sup>38</sup> <http://www.hingeneering.com/hingeblog/foundation-crack-repair-in-concrete-basement-wall>, abgerufen am 23.04.2017

Rissbilder aufgrund von Erddruck müssen nicht immer horizontal verlaufen wie folgende Schadensbilder zeigen (Abb. 76).



Abb. 76 Risse in Mauerwerkswänden aufgrund von Durchbiegung<sup>39</sup>

### Schäden bei Pfahlgründungen

Setzungsschäden an Gebäuden sind im Falle einer Pfahlgründung durch ein inneres Versagen der Pfähle oder einer Überschreitung der äußeren Tragfähigkeit möglich. Diese können durch konstruktive Fehler, wie mangelhafte Ausführung oder aufgrund von fehlerhafter Bemessung der Pfähle auftreten. Pfähle können aber auch durch geotechnische Einflüsse versagen wie z.B. unerwartete horizontale Verschiebungen im Untergrund. In Hanglage errichtete Pfahlgründungen, können durch hangparalleles Gleiten oder Kriechen des Untergrundes beschädigt werden. Gleiche Schadensbilder können bei Pfahlgründungen auftreten, welche reinen Erddruck aufgrund einer unsymmetrischen Aushubsituation oder Bodenauflast ausgesetzt sind. (Abb. 77)



Abb. 77 Kippen eines 13. stöckigen Hochhauses aufgrund Versagen einer Pfahlgründung<sup>40</sup>

<sup>39</sup> [https://ohiostatewaterproofing.com/blog\\_category/homeowner-tips/](https://ohiostatewaterproofing.com/blog_category/homeowner-tips/), abgerufen am 23.04.2017

<sup>40</sup> <http://www.n-tv.de/panorama/Hochhaus-in-Shanghai-kippt-um-article386837.html>, abgerufen am 21.03.2017

Folgendes Beispiel zeigt einen Schadensfall aufgrund von Versagen einer Micro- Pfahlgründung an einer Wohnanlage. (Abb. 78 Rechtes Bild) Dabei setzte sich 6 Monate nach Fertigstellung ein Carport um ca. 6,00 cm. Des Weiteren entstanden differenzielle Setzungen zwischen den einzelnen Wohnblöcken. Die dadurch entstandenen Höhendifferenzen zwischen den Gebäuden (ca. 20 cm) führten zu schweren Verformungen und Schäden an der Wohnanlage. (Abb. 78 Linkes Bild)



Abb. 78 Linkes Bild: Schwere Schäden an einer Wohnanlage; Rechtes Bild: Versagen einer Micro-Pfahlgründung (Wohnanlage)

## 4.2 Schäden an Brücken

Brücken werden in erster Linie zur Überquerung von Hindernissen wie Flüssen, Tälern Straßen oder Schienen errichtet. Die Gründung von Brücken stellt in der Geotechnik oftmals eine Herausforderung dar. Der Ausfall eines einzelnen Pfeilers kann beispielsweise zum Überschreiten des Grenzzustandes der Tragfähigkeit und in dessen Folge zu einem Versagen des gesamten Tragwerkes führen. Dementsprechend werden hohe Anforderungen an die Gründung der Pfeiler bzw. der Widerlager gestellt. Die Aufgabe der Gründung ist es alle Brückenlasten in den Baugrund zu übertragen. Bei ausreichend tragfähigem Baugrund können Flachgründungen ausgeführt werden. In vielen Fällen sind Widerlager oder Brückenpfeiler in Hanglage gegründet. Im Falle von in Massenbewegungen errichteten Brückengründungen, kann es zu Verschiebungen bzw. Verformungen und infolge dessen zu massiven Schäden oder zum Versagen der gesamten Brückenkonstruktion kommen.

#### 4.2.1 Allgemeine „Problemzonen“ bei Brücken

Brücken weisen aufgrund Ihrer Bauart und Konstruktion zum Vergleich anderen Bauwerken besondere Schwachstellen auf. Die Tragkonstruktion liegt wegen ihrer benötigten elastischen Lagerung auf speziellen verschieblichen Lagern (z.B. Elastomerlager, Gleitlager, Topflager), welche durch Überbeanspruchung aus der Lage versetzt werden können bzw. im Grenzfall keine weiteren Verformungen mehr zulassen. Abb. 79 fasst die Problemzonen von Brücken zusammen. Die Grafik zeigt unter anderem Schadensbilder an einem Widerlager aufgrund von Bodenbewegungen und Nässe, Risse an Übergangskonstruktionen oder Schäden an Brückenkappen. In den nachfolgenden Ausführungen wird vor allem auf Widerlager bzw. Brückenpfeiler und deren Schadensbilder eingegangen, da diese eine direkte Verbindung zwischen dem Tragwerk und dem Untergrund bilden und daher einen signifikanten Einfluss auf die Standsicherheit der Brücke haben.



Abb. 79 Darstellung von „Problemzonen“ bei Brücken<sup>41</sup>

Bei integralen Brücken sind Widerlager und Pfeiler kraftschlüssig mit dem Brückentragwerk verbunden (Abb. 80). Integrale Brücken weisen keine Lagerkonstruktion oder Bewegungsfugen auf. Dies bedeutet, dass sich Bauwerk und Baugrund gegenseitig stärker beeinflussen als bei konventionellen Brücken.

<sup>41</sup> <https://presse.adac.de/meldungen/tests/kommunale-bruecken-in-keinem-guten-zustand.html>, abgerufen am 26.06.2017

Relativbewegungen des Tragwerkes (z.B. aufgrund von Temperaturschwankungen) können bei integralen Brücken nicht von einer Lagerkonstruktion aufgenommen werden. (Abb. 81) Hieraus resultieren zusätzliche Belastungen auf die gesamte Konstruktion oder einzelne Bauwerksabschnitte. Ein Beispiel hierbei können Nachverdichtungseffekte des Bodens im Bereich des Widerlagers zufolge der Verformung der Widerlagerwand sein. (Pilch, 2016; sbp.de, 2015)



Abb. 80 Integrale Brücke<sup>42</sup>

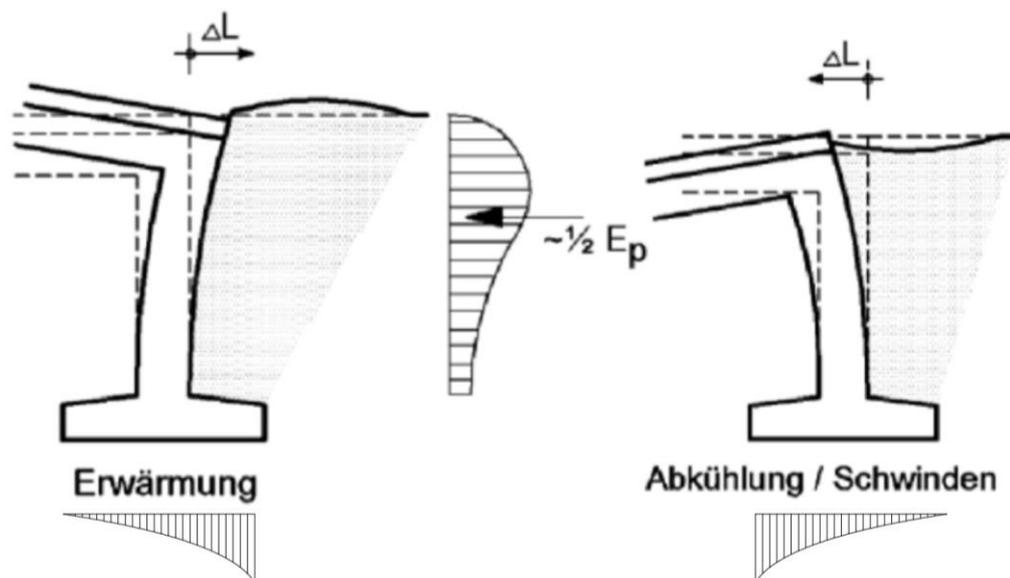


Abb. 81 Verformungen einer integralen Brücke aufgrund von Temperaturänderung (adaptiert aus Geier, 2009)

<sup>42</sup> <https://www.nbmw.com/bridges/33625-integral-abutment-bridges.html>, abgerufen am 21.08.2017

#### 4.2.2 Schäden durch Massenbewegungen

Im Falle einer Massenbewegung wirken vorwiegend horizontale Kräfte auf die Widerlager bzw. es kommt zu Zwangsverschiebungen der Brücke oder Teilen dieser. Ist das Tragwerk durch Lager von anderen Bauteilen entkoppelt, können Verformungen in erster Linie an den Widerlagern auftreten. (Abb. 82 Bild oben) Bei Bewegung einzelner Pfeiler oder Ausfall der Stützwirkung, erleidet das Tragwerk Biegebeanspruchung und in Folge Schäden. (Abb. 82 Bild Mitte) Wirken horizontale Kräfte auf die Widerlager einer integralen Brücke, so können aufgrund der steifen Verbindung die Kräfte nicht durch Verschiebungen der Widerlager aufgenommen werden. Durch diese Rahmenwirkung werden die Verformungen direkt in den Überbau übertragen was zu Biegespannungen im Tragwerk der Brücke führen kann (Abb. 82 Bild unten). Infolge dessen können Biegerisse und Betonabplatzungen entstehen. (Geier, 2009)

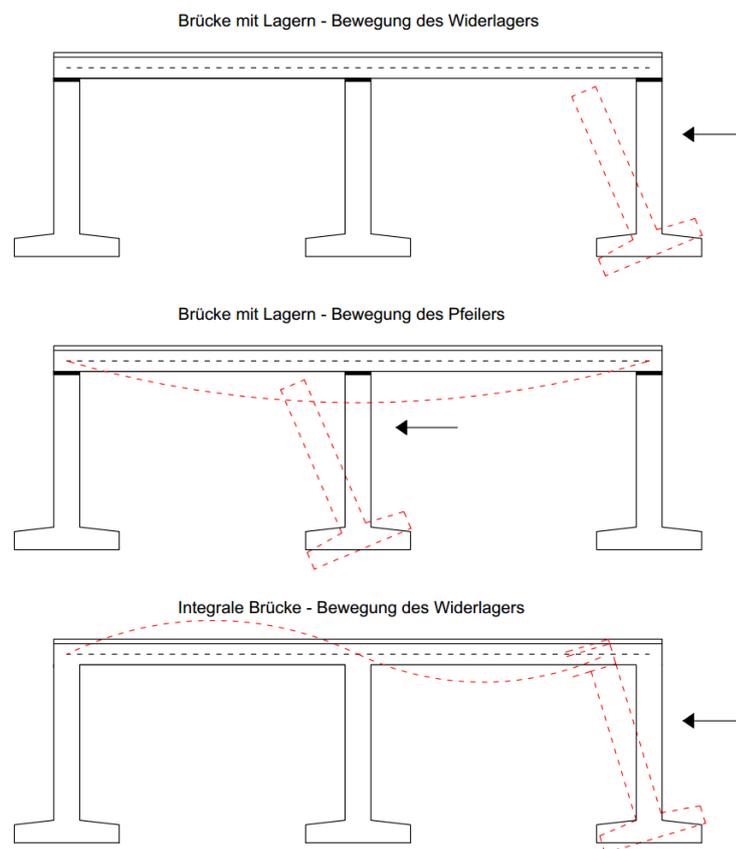


Abb. 82 Schematische Darstellung einer mit Lagern ausgeführten Brücke und einer integralen Brücke

Bei Brücken welche mit Lagern ausgeführt sind, kommt es in erster Linie zu übermäßigen Lagerverschiebungen und Verwerfungen bzw. Rissen im Bereich des Fahrbahnübergangs. In weiterer Folge führen horizontale Verschiebungen zu

Verdrehungen des Widerlagers, sowie zu Risschäden. Unter der Brückenkonstruktion kann es zu Hebungen und Setzungen kommen (Abb. 83).

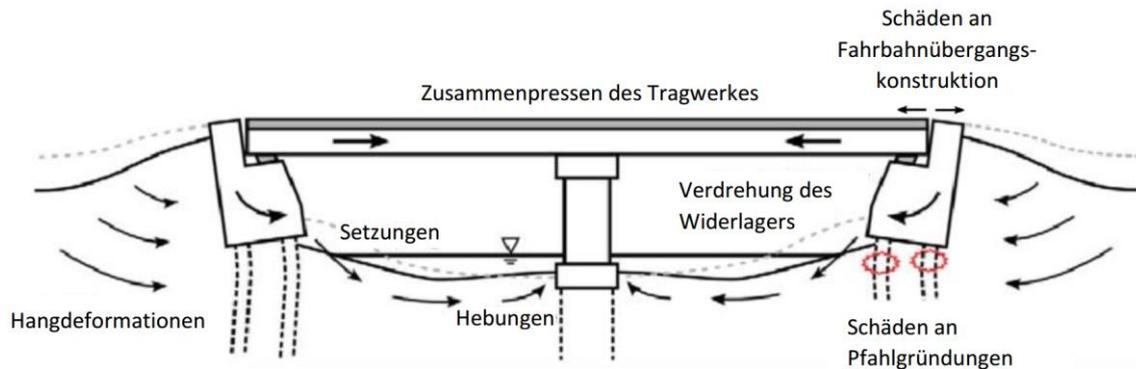


Abb. 83 Schematische Darstellung konstruktiver Schäden an Brücken aufgrund Verformung der Widerlager<sup>43</sup>

Abb. 84 und Abb. 85 zeigen Schäden an Brücken aufgrund von Hangdeformationen mit deutlich sichtbaren Pressungen und Rissen im Bereich der Fahrbahnübergangskonstruktion.

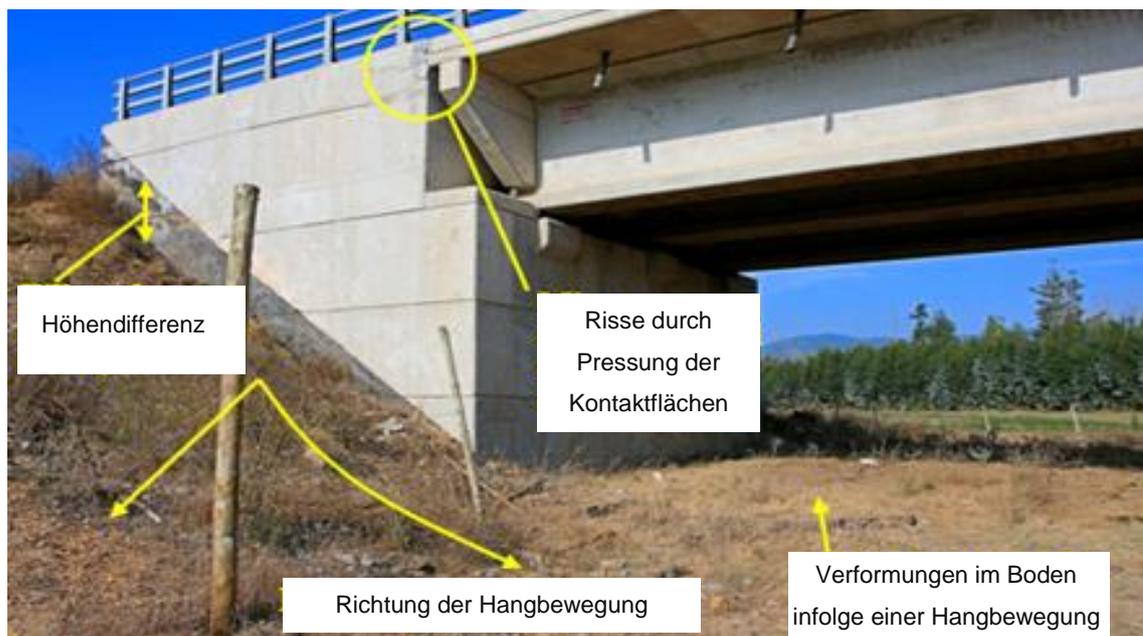


Abb. 84 Risse im Fahrbahnübergang aufgrund von Setzungen im Bereich des Widerlagers einer Brückenkonstruktion<sup>44</sup>

<sup>43</sup> [https://www.researchgate.net/publication/261878850\\_Spreading-Induced\\_Damage\\_to\\_Short-Span\\_Bridges\\_in\\_Christchurch\\_New\\_Zealand](https://www.researchgate.net/publication/261878850_Spreading-Induced_Damage_to_Short-Span_Bridges_in_Christchurch_New_Zealand), abgerufen und adaptiert am 25.06.2017

<sup>44</sup> <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/11030/005.cfm>, abgerufen auf 28.04.2017

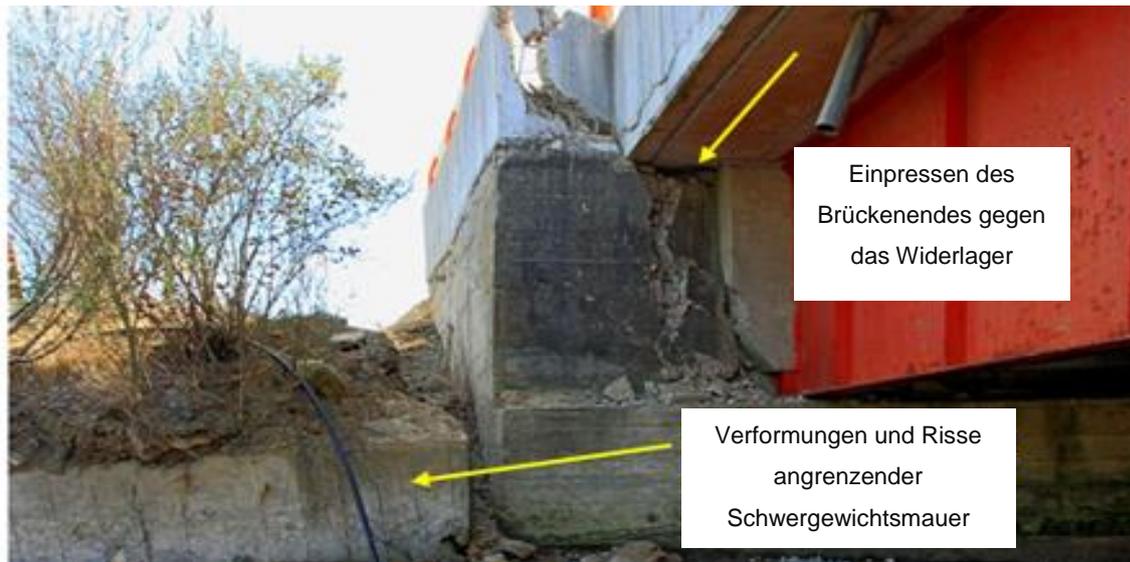


Abb. 85 Schäden durch Einpressen eines Tragwerkendes gegen das Widerlager; die Schadensursache war eine durch ein Erdbeben ausgelöste Hangbewegung<sup>45</sup>

Horizontale Bewegungen des Widerlagers können sich ebenfalls durch Schäden wie Verformungen und Verwerfungen im Fußbereich zeigen. (Abb. 86)



Abb. 86 Verwerfungen von Betonplatten infolge einer Kriechbewegung im Bereich des Widerlagers<sup>46</sup>

Abb. 87 zeigt eine Fahrbahn mit starker Rissbildung im Übergangsbereich, welche durch Pressung des Tragwerkendes gegen das Widerlager aufgrund einer Kriechbewegung verursacht wurde. Schäden an Fahrbahnübergangskonstruktionen von Brücken können

<sup>45</sup> <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/11030/005.cfm>, adaptiert am 28.04.2017

<sup>46</sup> [https://www.ndsu.edu/nd\\_geology/nd\\_mass\\_wasting/creep3.htm](https://www.ndsu.edu/nd_geology/nd_mass_wasting/creep3.htm), adaptiert am 05.06.2017

aber auch durch hohen Verschleiß zufolge Verkehrsbelastung oder Temperaturverformung Risse und Schäden aufweisen. (Unterweger, 2010)



Abb. 87 Risse im Fahrbahnübergangsbereich verursacht durch Kriechbewegungen im Bereich des Widerlagers (Brünner ZT GmbH, 2017)

Infolge Kriechen eines Hanges, welcher auf das Widerlager wirkte, kam es zu einer leichten Verschiebung der gesamten Brückenkonstruktion. Da einzelne Bauteile wie Brückenpfeiler nicht immer auf derartige Verschiebungen bzw. Verformungen ausgelegt sind, führt dies zu einer Überbeanspruchung der Stahlbetonbauteile und folglich zu Überbeanspruchung und Betonabplatzungen (Abb. 88)



Abb. 88 Betonabplatzungen an einen Mittelpfeiler einer Brücke aufgrund einer Verformung (Brünner ZT GmbH, 2017)

Verschobene Auflager (Abb. 89) können ein Indiz für Horizontalbewegungen eines Brückentragwerks sein. Jedoch können Verschiebung ebenfalls aufgrund des Temperaturunterschiedes zwischen Einbau und aktuellem Zustand entstehen.



Abb. 89 Verschobenes Brückenauflager als Indiz für Verschiebungen bzw. Verformungen einer Brücke<sup>47</sup>

Durch Setzungen kann es zu Gründungsversagen einzelner Bauteile kommen. In Abb. 90 kam es zu einer Stützensenkung von ca. 30 cm. Die Konsequenzen waren Verformungen und Risse im Tragwerk. Die Konstruktion war daraufhin unbefahrbar und musste gesperrt werden.



Abb. 90 Schwerer Risschaden und Verformung einer Brücke aufgrund von Absinken eines einzelnen Brückenpfeilers<sup>48</sup>

<sup>47</sup> <http://www.ingenieurkaelin.ch/kompetenzen/untersuchungen/>, abgerufen am 28.04.2017

<sup>48</sup> <http://www.mainzund.de/schiersteiner-bruecke-bleibt-bis-ende-maerz-gesperrt/>, 28.04.2017

### 4.3 Schäden an Infrastruktur

Durch Massenbewegungen werden nicht nur Gebäude und Brücken, sondern auch Infrastruktureinrichtungen wie Straßen, Masten oder im Untergrund installierte Leitungen beeinträchtigt. Aufgrund ihrer meist geringen Steifigkeit und der daraus resultierenden meist gut sichtbaren Verformungen, können Infrastruktureinrichtungen ein guter Indikator für Bewegungen im Untergrund sein.

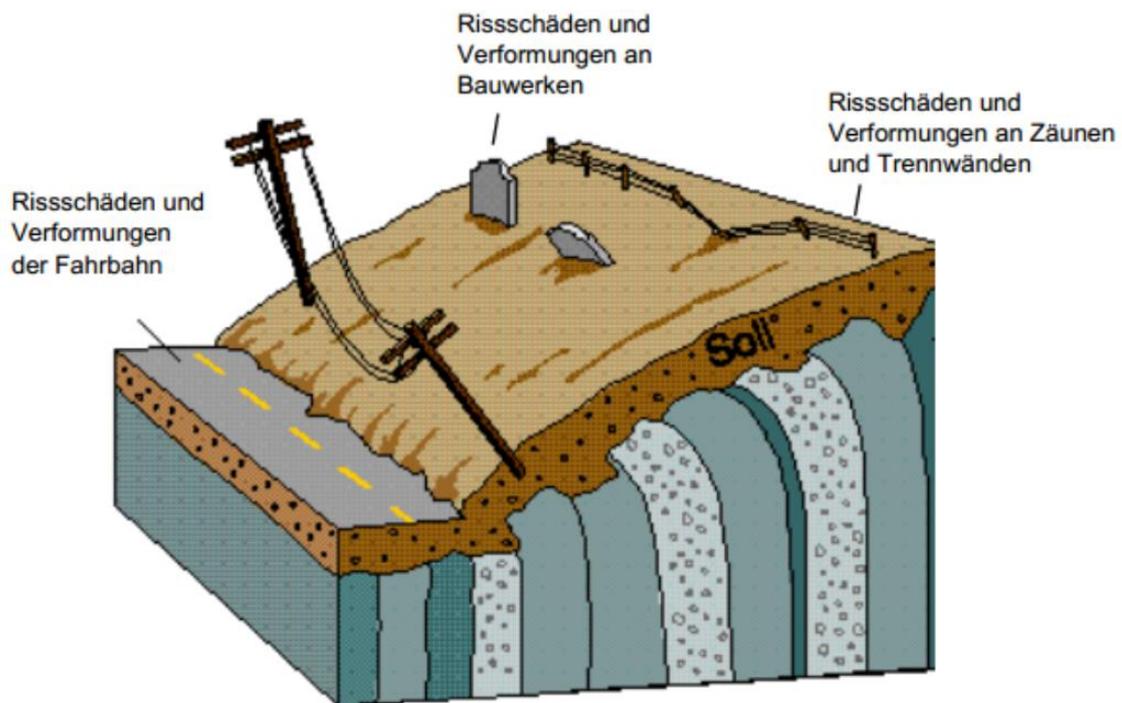


Abb. 91 Schematische Darstellung von Schäden an Infrastruktur<sup>49</sup>

#### 4.3.1 Schäden an Fahrbahnen

Aufgrund ihrer geringen Steifigkeit weisen asphaltierte Straßen sehr früh und deutlich durch sichtbare Schäden auf Bewegungen im Untergrund hin. Diese können oftmals aber auch zufolge der Nutzung (zu hohe Achslasten oder Winterdienst) oder zufolge Alterungserscheinungen entstehen. Wie in folgenden Beispielen dargestellt, weisen Asphaltstraßen bei Bodenverformungen wie Böschungsbrüchen oder Hangverschiebungen deutliche Risschäden auf.

49

<http://www.empr.gov.bc.ca/Mining/Geoscience/SurficialGeology/Landslides/Pages/Whatarethedifferenttypesoflandslides.aspx>, abgerufen und adaptiert am 26.04.2017



Abb. 92 Hangverschiebung, bis zu 20 cm Breite Risse in der Fahrbahndecke<sup>50</sup>

Nach starken Regenfällen kam es zu einer Hangrutschung unterhalb einer Fahrbahn. Aufgrund schwerer Folgeschäden wie Risse und Höhenversätze wurde die Straße unbenützbar.



Abb. 93 Linkes Bild: Schwere Schäden an einer Fahrbahn infolge einer Hangrutschung; Rechtes Bild: Höhenversätze machten die Straßen unbenützbar<sup>51</sup>,

Infolge einer Kriechbewegung entstand ein Riss quer über die gesamte Fahrbahnbreite der tief in den Unterbau reichte (Abb. 94 Linkes Bild). Begleitet wurde dies durch weitere Merkmale im nahen Umfeld wie wellenartige Verformungen am Bankett der Straße (Abb. 94 Rechtes Bild), wellige Hangmorphologie, Schrägwuchs sowie Feuchtstellen welche auf eine Hangbewegung hinweisen. (Leopold, 2012)

<sup>50</sup> <http://www.blick.ch/news/schweiz/zentralschweiz/mehrere-gebäude-betroffen-jetzt-rutscht-der-hang-in-beckenried-id2294833.html>, abgerufen am 06.04.2017

<sup>51</sup> <http://www.krone.at/steiermark/ort-nach-hangrutsch-zum-katastrophengebiet-erklart-unwetter-in-der-stmk-story-420428>, abgerufen am 06.04.2017



Abb. 94 Linkes Bild: Querrisse infolge von Bewegungen im Untergrund; Rechtes Bild: Wellenartige Verformungen am Bankett der Straße (Leopold, 2012)

Je nach Art der Massenbewegung und Fahrbahnaufbau können sich die Rissbilder voneinander unterscheiden. Abb. 95 Links zeigt eine Straße im Einflussbereich einer Kriechbewegung mit vielen kleineren Rissen. Bei einem Böschungsbruch kam es hingegen zu einem regelrechten Zerreißen der Fahrbahn. (Abb. 95 Rechtes Bild)



Abb. 95 Linkes Bild: Risse im Asphalt entstanden durch Kriechbewegungen<sup>52</sup>; Rechtes Bild: Risschaden in einer Straße infolge eines Böschungsbruches (Dialer, 2016)

<sup>52</sup> [https://www.ndsu.edu/fargo\\_geology/mass\\_wasting/mw\\_images/creep\\_trlwd\\_1994.jpg](https://www.ndsu.edu/fargo_geology/mass_wasting/mw_images/creep_trlwd_1994.jpg), abgerufen am 18.08.2017

### 4.3.2 Schäden an Gleisen

Züge können nur sehr kleine Unregelmäßigkeiten im Gleis ausgleichen. Bereits kleinste Verformungen im Gleiskörper werden registriert und saniert, um den Zug sicher in der Spur zu halten. Dementsprechend werden bei Massenbewegungen wie Hangkriechen nur leichte Schadensbilder direkt am Gleis sichtbar sein bzw. müssen solche geringen Verschiebungen detektiert werden (Schienenprüfzug). Sehr häufige Sanierungsarbeiten an einer Zugtrasse aufgrund von Lageänderungen im Oberbau können ebenfalls ein Anzeichen für langsame Bewegungen im Untergrund sein. Betrachtet werden sollte auch das Umfeld der Gleisanlage. In Abb. 96 ist eine Zugtrasse abgebildet, entlang welcher eine Randleiste verläuft, die Verwerfungen anzeigt, welche durch eine Kriechbewegung im Fuß des Hanges entstanden sein dürften.



Abb. 96 Verschub von Randleisten entlang einer Bahnstrecke<sup>53</sup>

Abb. 97 zeigt eine Gleisanlage welche sich im Einflussbereich eines Kriechhanges befindet. Durch die permanente Bewegung des Hanges musste der Oberbau regelmäßig saniert werden. Die Massenbewegung verursachte Hebungen und Versatz im Gleiskörper. Ein weiteres Anzeichen für die Veränderung der Gleislage ist die mehrfache Verstellung des Drainagegrabens, welcher ursprünglich parallel zum Gleis ausgeführt wurde.

<sup>53</sup> <http://nora.nerc.ac.uk/513294/1/jgeen%252E14%252E00152.pdf>, abgerufen am 20.05.2017

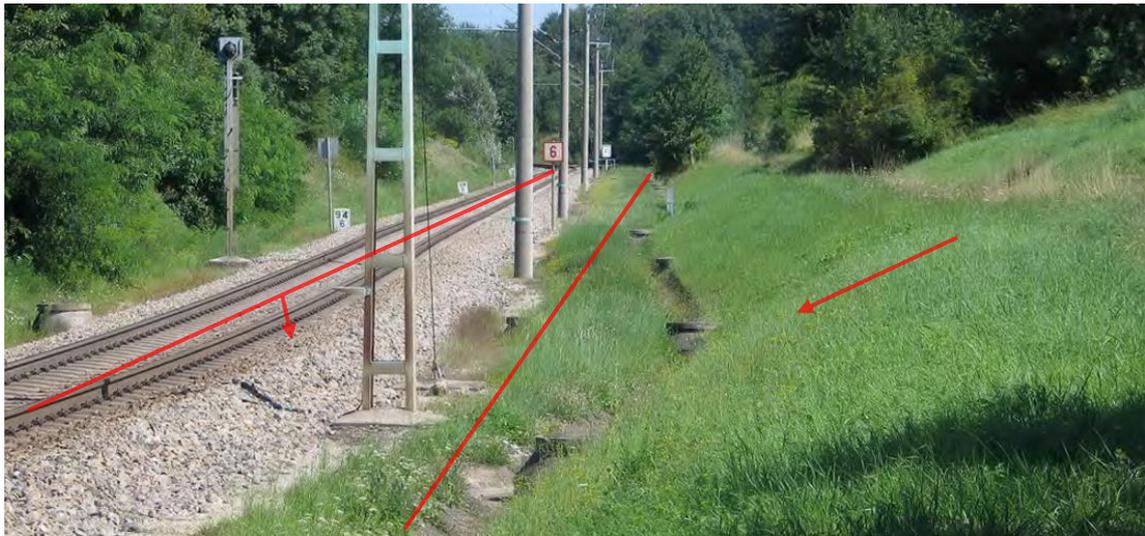


Abb. 97 Sichtbare Hebungen und Versatz an einem Bahngleis sowie ein verschobener ursprünglich gerade verlaufender Entwässerungsgraben (Leopold, 2012)

#### 4.3.3 Schäden an Masten

Infolge von Hangbewegungen werden Masten oftmals verschoben und verdreht. Aufgrund ihrer schmalen und hohen Konstruktionsart können bereits leichte Verschiebungen im Untergrund anhand von Verdrehungen erkannt werden (Abb. 98 Linkes Bild). Im Bereich eines Kriechhanges kam es neben Gebäude- und Straßenschäden zur Schrägstellung von Masten (Abb. 98 Rechtes Bild).



Abb. 98 Linkes Bild: Verdrehter Strommasten<sup>54</sup>; Rechtes Bild: Schrägstellung eines Masten (Leopold, 2012)

<sup>54</sup> <http://www.luzernerzeitung.ch/nachrichten/zentralschweiz/obwalden/EWO-verlegt-nach-Hangrutsch-Stromleitung;art95,263908>, abgerufen am 25.04.2017

Abb. 99 zeigt Schäden aufgrund einer Massenbewegung. Dabei wurden Stromleitungsmasten und Straßenschilder verdreht und der Gehweg durch die Hangbewegung verworfen.



Abb. 99 Verdrehte Masten und Verwerfung eines Gehweges (fotoarchiv.geology.cz, 2017)

Zufolge einer Hangrutschung stürzte ein Hochspannungsmast um (Abb. 100 Linkes Bild). Zur Verdeutlichung der Auswirkungen von Erdbewegungen auf Fahrbahnen und Stromleitungsmasten anhand dieses Extremfalles dargestellt (Abb. 100 Rechtes Bild).



Abb. 100 Linkes Bild: Versagen einer Hochspannungsleitung<sup>55</sup>; Rechtes Bild: Schwere Schäden an einer Straße zufolge einer großen Massenbewegung<sup>56</sup>

<sup>55</sup> <http://steiermark.orf.at/news/stories/2661047/>, abgerufen am 18.08.2017

<sup>56</sup> <http://rtlnext.rtl.de/cms/nach-erdrutsch-strasse-bei-los-angeles-sieht-aus-wie-ziehharmonika-2548646.html>, abgerufen am 18.08.2017

#### 4.3.4 Schäden an Wasserleitungen

In Hanglagen kann ein starker Wasseraustritt zufolge einer beschädigten Leitung und der daraus resultierenden übermäßigen Bewässerung des Bodens Hangbewegungen auslösen. Hangdeformationen können wiederum durch Verformungen der Leitungen zu schweren Schäden oder Brüchen dieser führen. (Abb. 101)



Abb. 101 Linkes Bild: Wasserleitungsbruch im Untergrund<sup>57</sup>; Rechtes Bild: Beschädigte Wasserleitung nach einer Massenbewegung<sup>58</sup>

Der Bruch einer Hauptwasserleitung kann schwere Folgen haben. Austretende Wassermengen unterspülten eine Straße, wobei der Wasserdruck zu starken Verformungen und Hebungen der Fahrbahn führte. (Abb. 102 Linkes Bild) Teile der Straße stürzten aufgrund von Bodenerosion ein. (Abb. 102 Rechtes Bild)



Abb. 102 Linkes Bild: Starke Verformung einer Fahrbahn<sup>59</sup>; Rechtes Bild: Schäden durch Erosion unter einer Straße<sup>60</sup>

<sup>57</sup> [https://cdn.shutterstock.com/shutterstock/videos/5598047/thumb/1.jpg?i10c=img.resize-\(height:160\)](https://cdn.shutterstock.com/shutterstock/videos/5598047/thumb/1.jpg?i10c=img.resize-(height:160)), abgerufen am 06.04.2017

<sup>58</sup> <http://photos.denverpost.com/2016/04/22/landslides-destroying-homes-in-colorado-springs-photos/#30>, abgerufen am 20.06.2017

<sup>59</sup> <http://www.blick.ch/news/schweiz/feuerwehr-bruch-einer-hauptwasserleitung-verursacht-hohen-sachschaden-in-bern-id5827396.html>, abgerufen am 06.04.2017

<sup>60</sup> <http://polizei.news/2016/11/29/mattenhof-be-grosser-schaden-bei-wasserleitungsbruch/>, abgerufen am 25.04.2017

## 4.4 Schäden an Stützbauwerken

In diesem Unterkapitel werden hauptsächlich Stützbauwerkschäden behandelt und nicht ein Versagen dieser (z.B. zufolge Korrosion oder fehlerhafter Dimensionierung). Es ist schwer eine Aussage zu treffen, welche Schadensbilder klar durch Massenbewegungen verursacht worden sind und welche rein konstruktiver Natur sind. Dementsprechend werden auch einige Schadensfälle präsentiert, welche nicht direkt im Zusammenhang mit Massenbewegungen stehen.

Die Aufgabe von Stützbauwerken ist eine vorübergehende oder ständige Sicherung von Geländesprüngen. Stützbauwerke werden dabei auf eine Belastung durch Erddruck bemessen. Aufgrund einer Massenbewegung wirkende Erddrücke, welche um ein Vielfaches höher sein können als die angenommene Erddruckbelastung, kann eine Überschreitung der Tragfähigkeit bzw. der Gesamtstandsicherheit zu schweren Schäden an der Konstruktion oder einem Versagen des Stützbauwerkes führen.

Stützbauwerke welche im Bereich einer Massenbewegung situiert sind, können unter anderem folgende Schadensbilder aufweisen:

- Verformung
- Risse
- Kippen
- Gleiten in der Sohlfläche
- Bruch
- Verlust der Gesamtstandsicherheit
- Grund- bzw. Böschungsbruch

### 4.4.1 Verformungen von Stützbauwerken

Aufgrund von Hangdeformationen wie Hangkriechen können Stützbauwerke Verformungen erleiden. Diese können z.B. in Form einer Ausbauchung auftreten. Jahrelange Kriechbewegung führten zu starken Verformungen an einer Steinschlichtmauer. (Abb. 103)

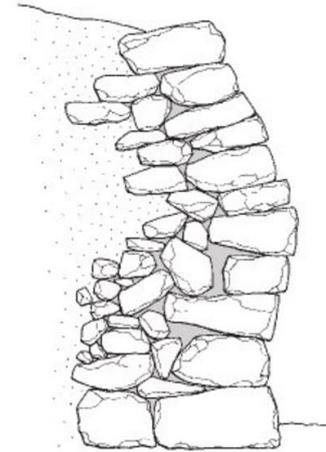


Abb. 103 Linkes Bild: Durch Kriechbewegungen im Hang beeinflusste Steinschichtmauer mit sichtbarer Ausbauchung; Rechtes Bild: Skizze der Situation<sup>61</sup> (Liezen, 2017)

Abb. 104 zeigt eine Steinschichtmauer, bei welcher es aufgrund von Verformungen infolge einer Kriechbewegungen des Hanges zur Ausbauchung kam. Diese verursachte teilweise Brüche in den Steinen und es entstanden mehrere Zentimeter große Hohlräume zwischen den Steinen. (Abb. 105).



Abb. 104 Starke Umlagerung der Steine aufgrund einer Kriechbewegung (Liezen, 2017)

<sup>61</sup> <http://data.umwelteinsatz.ch/T/Dimensionierung-Statik-Teil1.html>, abgerufen am 26.04.2017



Abb. 105 Linkes Bild: Bruch in einem Mauerwerksstein aufgrund von Verformungen; Rechtes Bild: Detail des Bruches (Liezen, 2017)

Im nächsten Schadensfall führten Verformungen an einer Raumgitterwand zu Rissen in einer Stützkonstruktion. (Abb. 106) Derartige Stützbauwerke können sich durch Hangbewegungen jahrelang verformen, ohne dabei zu Versagen. Abb. 107 zeigt eine 12 Jahre alte ca. 6 m hohe Raumgitterwand mit starken Verformungen.



Abb. 106 Linkes Bild: Verformung bzw. Ausbauchen einer Raumgitterwand; Rechtes Bild: Risschäden im Detail (Hilmer, Knappe & Englert 2004)



Abb. 107 Verformung eines 12 Jahre alten Stützbauwerkes (Brandl, 2008)

Folgende Bilder stellen zwei weitere Fälle von Schäden an Stützbauwerken aufgrund von Hangdeformationen dar. Dabei versagte eine Steinschichtmauer komplett und wurde durch die Hangbewegung verschoben. (Abb. 108, Linkes Bild). Eine Holzstützkonstruktion wies aufgrund von Kriechbewegungen starke Verformungen auf. (Abb. 108, Rechtes Bild)



Abb. 108 Linkes Bild: Komplettversagen eines Stützbauwerkes aufgrund einer Massenbewegung<sup>62</sup>; Rechtes Bild: Verformung einer Holzstützwand zufolge einer Kriechbewegung<sup>63</sup>

<sup>62</sup> <http://de.paperblog.com/gefahr-der-hang-rutscht-593124/>, abgerufen am 21.04.2017

<sup>63</sup> [http://karvinsky.denik.cz/nehody/20100604\\_sesuvy\\_pudy\\_ohrozeni\\_budovy\\_orlova.html](http://karvinsky.denik.cz/nehody/20100604_sesuvy_pudy_ohrozeni_budovy_orlova.html), abgerufen am 18.08.2017

#### 4.4.2 Kippen von Stützbauwerken

Folgende Schadensbilder zeigen Stützkonstruktionen aus Beton oder Mauerwerk, welche aufgrund von Hangbewegungen kippen. Wie in Abb. 109 ersichtlich, kam es an einer Betonstützmauer zu einem Kippversagen. Begleitet wurde dieser Schadenfall durch starke Verwerfungen in der angrenzenden Fahrbahn. Der starke Bewuchs im gerissenen Asphalt kann dabei ein Anzeichen dafür sein, dass der Schaden schon vor längerer Zeit entstanden ist. (Abb. 109 Rechtes Bild)



Abb. 109 Linkes Bild: Kippende Stützmauer unter einem Kriechhang; Rechtes Bild: Starke Verwerfungen im Asphalt<sup>64</sup>

Während Betonstützmauern meist aus einzelnen Segmenten bestehen und es dadurch vorkommen kann, dass nur einzelne Blöcke kippen, sind Mauerwerkswände aufgrund ihrer Fertigungsart oftmals kraftschlüssig über die Länge verbunden. Aufgrund dessen kann sich eine Neigungsänderung über die gesamte Länge ausbreiten und die Mauer dadurch verformen. Folgende Bilder zeigen kippende Mauerwerkswände aufgrund von Hangdeformationen. (Abb. 110)

<sup>64</sup>

[https://www.researchgate.net/publication/268590571\\_Seismically\\_Induced\\_Lateral\\_Earth\\_Pressures\\_on\\_Retaining\\_Structures\\_and\\_Basement\\_Walls](https://www.researchgate.net/publication/268590571_Seismically_Induced_Lateral_Earth_Pressures_on_Retaining_Structures_and_Basement_Walls), abgerufen am 02.05.2017



Abb. 110 Linkes Bild: Verformung einer Mauerwerkswand unter einem Kriechhang<sup>65</sup>; Rechtes Bild: Kippen einer niedrigen Stützmauer<sup>66</sup>

#### 4.4.3 Gleiten von Stützbauwerken

Ein Kompletversagen einer Stützkonstruktion kann aber auch eintreten, ohne dass der eigentliche Betonkörper Schäden aufweist. So kam es nach einem Starkregenereignis zu einer Rutschung im Untergrund, aufgrund derer eine 5 Meter hohe Winkelstützmauer versetzt wurde. (Abb. 111) Abb. 111 rechts, stellt dabei die Untergrundsituation sowie den Schadenshergang schematisch dar.

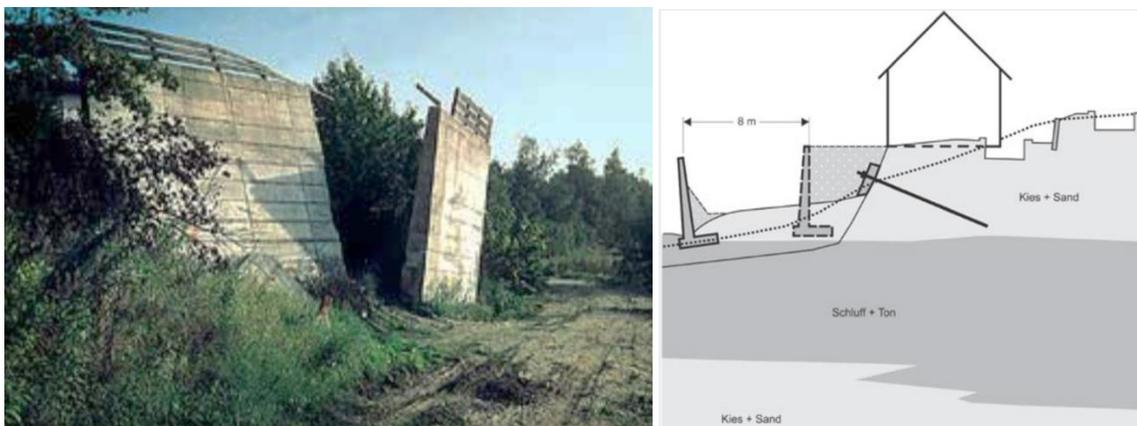


Abb. 111 Linkes Bild: Gleitversagen einer Stützmauer; Rechtes Bild: schematische Darstellung der Untergrundsituation (Hilmer, 2006)

Zufolge einer Massenbewegung wurde eine Stützmauer über 2 m verschoben. Dabei kam es zu schweren Verwerfungen in der angrenzenden Fahrbahn.

<sup>65</sup> [http://homepages.uc.edu/~maynarjb/CintiGeology/mount\\_adams%20index.htm](http://homepages.uc.edu/~maynarjb/CintiGeology/mount_adams%20index.htm), abgerufen am 02.05.2017

<sup>66</sup> <http://homeinspectionmassachusetts.com/know-your-home/retaining-walls/>, abgerufen am 02.05.2017



Abb. 112 Gleiten einer Stützmauer mit starken Verwerfungen im Asphalt (tuerkei-zeitung.de, 2017)

#### 4.4.4 Brüche von Stützbauwerken

Eine weitere Schadensart stellen Brüche von Stützmauern dar. Abb. 113 präsentiert Schadensfälle bei denen es aufgrund einer Massenbewegung, zu einem inneren Versagen der Stützkonstruktion kam. Begleitet wurden diese Schadensbilder durch starken Verwerfungen in den Fahrbahnen.



Abb. 113 Linkes Bild: Bruch einer Stützmauer zufolge einer Hangdeformation<sup>67</sup>; Rechtes Bild: Versagen einer Stützmauer mit starken Verformungen der Fahrbahn<sup>68</sup>

<sup>67</sup> <http://www.koaa.com/story/29793273/landslide-in-skyway-neighborhood-damaging-more-homes>, abgerufen am 26.04.2017

<sup>68</sup> <http://wkkj.iheart.com/articles/local-news-stories-106759/retaining-wall-collapses-on-watson-road-14676509/>, abgerufen am 02.05.2017

Zufolge einer Schmelzphase mit starken Niederschlägen kam es zu einer Hangbewegung mit gleichzeitigem Versagen einer Winkelstützmauer an einer Autobahn mit schweren Folgen. (Abb. 114)



Abb. 114 Wandbruch einer Winkelstützmauer nach einer Schmelzphase mit starken Niederschlägen<sup>69</sup>

Die nächsten Bilder dokumentieren Schäden bzw. deren Veränderung an einer Geschiebesperre infolge einer großflächigen Massenbewegung. Während im ersten Bild (Abb. 115) die Geschiebesperre noch funktionstüchtig war, zeigten sich zwei Monate später starke Schäden am Bauwerk infolge einer Massenbewegung (Abb. 116). Einige weitere Wochen später versagte die Konstruktion durch die ständig fortschreitende Rutschung komplett (Abb. 117).

<sup>69</sup> <http://www.oe24.at/oesterreich/chronik/tirol/Unfall-auf-der-Brennerautobahn-Beton-Mauerteile-begraben-Lkw-BILDER-VIDEO/60160925#textBegin>, abgerufen am 26.04.2017



Abb. 115 Erste Risse und Verformungen einer Geschiebesperre infolge einer Rutschung, Aufnahme datum: 29.11.2007 (Gschlifgraben, 2008)



Abb. 116 Fortschreiten der Rutschung, Starke Verformungen und Trennrisse einer bei Geschiebesperre, Datum der Aufnahme: 28.01.2008 (Gschlifgraben, 2008)



Abb. 117 Komplettversagen einer Geschiebesperre zufolge einer Massenbewegung,  
Aufnahmedatum: 22.02.2008 (Gschlifgraben, 2008)

## 5 Schadens Erfassung

Eine ausführliche Schadens Erfassung ist erforderlich, um anhand der Schadensbilder bestmöglich auf die maßgebenden Schadensursachen schließen zu können. Besonders bei der Erfassung einer Massenbewegung spielt die Veränderung der Bauwerksschäden über einen bestimmten Zeitraum eine große Rolle. Bauwerksschäden werden im Rahmen einer Bauwerkssicherung untersucht. Dabei handelt es sich um eine Dokumentation des Ist-Zustandes eines Bauwerkes. Festgestellt werden Art, Größe und Verteilung der Schäden. Dies geschieht oftmals durch eine optische Begutachtung des Bauwerkes und eine visuelle Erfassung der Schäden. Bei der Ermittlung der Schadensursache ist eine Umfeldanalyse durchzuführen, bei welcher äußere Einflüsse in der Umgebung und bauliche Änderungen am Objekt selbst sowie in der Nähe des Bauwerkes untersucht werden. Kapitel 4, bietet eine Unterstützung bei der Ursachenfindung um einen Überblick über die möglichen Schadensursachen zu erlangen und Rissmuster beziehungsweise weitere charakteristische Anzeichen deuten und zuordnen zu können. Es kann hilfreich sein Anrainer bzw. Personen, welche in Verbindung zum geschädigten Objekt stehen, zu befragen um eventuell Informationen zum Schadenshergang, früherer Schädigungen etc. zu erlangen. Auch vorhandene Unterlagen wie Gründungspläne oder alte Umbaupläne sollten bei einer Schadensanalyse miteinbezogen werden. Schäden zeichnen sich meist durch Risse, Verformungen, oder Verdrehung der Konstruktion aus. Anzeichen für die Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit in Gebäuden wie Feuchtstellen, verformte Türen oder Fensterrahmen können die Folge eines Bauwerksschadens sein und sind bei der Bauwerkssicherung zu dokumentieren. Der gesamte Ablauf ist stets detailliert zu protokollieren und durch Bilder zu dokumentieren.

Übersicht der Vorgangsweise bei der Aufnahme konstruktiver Schäden:

- Dokumentation aller Innenräume, Fassaden sowie Außenbereiche (Dachkonstruktion, bauwerksanschließende Bauteile sowie Fahrbahnen und Pflasterungen) schriftlich und fotografisch
- Rissdokumentation und Rissmessung an markanten Rissen, Rissmarker installieren, bei besonders exponierten Stellen Rissmonitore anbringen
- Messbolzen an mehreren Stellen am Bauwerk platzieren und periodisch überwachen (Philipps, 2005)

## 5.1 Messtechnik

Bei der Ermittlung konstruktiver Schäden werden für die jeweilige Schadensart und Größe, entsprechende Messgeräte und Diagnosemittel angewendet. Abschnitt 5.1.1, behandelt die Aufnahme von Bauwerksrissen. Abschnitt 5.1.2, beschreibt Messverfahren zur Bestimmung weiterer Schadensgrößen an Bauwerken wie Verformungen, Verdrehungen oder Verschiebungen.

### 5.1.1 Risschäden

Der bei Hoch- und Ingenieurbauten am häufigsten auftretende Schaden ist ein Bauwerksriss. Jedoch gibt es kein genormtes Verfahren zur Rissbreitenmessung. Meichsner & Rohr-Suchalla schlagen folgende Vorgangsweisen vor:

- Scharfe Risskanten ohne Ausbruchstellen
- Messung orthogonal zum Rissverlauf
- Messung an mehreren Stellen über die Länge. Der Abstand der Messstellen sollte nicht größer als die Maschenweite (flächige Bauteile) bzw. der Bügelabstand (stabförmige Bauteile) sein
- alle Risse mit einer Rissbreite von 0,05 mm und größer, sind zu erfassen
- das Bauteil ist in Messflächen einzuteilen, bei denen gleichartige Bedingungen für die Rissursache und Rissentstehung bestehen. Die Messerwerte einer Messfläche sind eine Grundgesamtheit.

(Meichsner & Rohr-Suchalla, 2011, Kapitel 9.1 Rissbreiten und -auswertung)

Bauwerksrisse können im Zuge einer Rissuntersuchung durch zerstörungsfreie (Risslineal), zerstörungsarme (Gipsmarker) und zerstörende (Bauteilöffnungen, Bohrkern) Untersuchungsmethoden ermittelt werden.

Bei Risschäden können folgende Kennwerte ermittelt werden:

- Risslänge: mittels Meterstab, Fotoaufnahme mit Skala
- Rissbreite: Risslineal, Risslupe
- Risstiefe: Spion, Bohrkern, optisch, z.B. durch Betrachten der Rückseite der Wand
- Rissbewegung: Rissmarker, Rissmonitor, Setzdehnungsmesser, Fissurometer
- Rissalter: optische Beurteilung der Rissflanken, optische Beurteilung des Grads der Verschmutzung, Vermoosung, Verrußung

(Dialer, 2016), Kapitel 5.3 Erfassbare Kennwerte, Tabelle 9

Bei der Anwendung der unterschiedlichen Messverfahren sollte klargestellt werden, mit welcher Genauigkeit gemessen werden soll. Bei einem kleinen temporären Riss kommt

eher ein Rissmarker zur Anwendung, während bei einem Setzungsrisse mit großer Rissbreite eher Rissmonitore bzw. Setzdehnungsmesser angewendet werden. Allgemein sollte immer die gleiche Person Bauwerksschäden wie Risse und Rissveränderungen begutachten, da es sonst möglich ist, dass z. B. verschiedene Personen am gleichen Riss verschiedene Rissbreiten messen und so die Messung verfälscht wird. Des Weiteren ist noch zu erwähnen, dass optische Verfahren nicht die gleichen Messwerte liefern wie mechanische oder elektrische Messgeräte. Somit kann ein Vergleich zwischen zwei unterschiedlichen Messverfahren Differenzen aufweisen. (Meichsner & Rohr-Suchalla, 2011)

Folgende Messverfahren eignen sich zur Aufnahme von Risschäden:

### Meterstab

Zur Aufnahme der Risslänge kann ein geodätischer Meterstab verwendet werden. Gleichzeitig kann der Risschaden mittels Foto und dem Meterstab mit Skalierung dokumentiert werden. Dadurch soll ein ungefährender Längenbezug zum Riss hergestellt werden. Rissbreiten sollten immer orthogonal zum Rissverlauf aufgenommen werden. Die Aufnahmen können durch Kontraständerung nachbearbeitet werden, um die Sichtbarkeit und Muster des Risses besser darstellen zu können. (Abb. 118 Rechtes Bild).

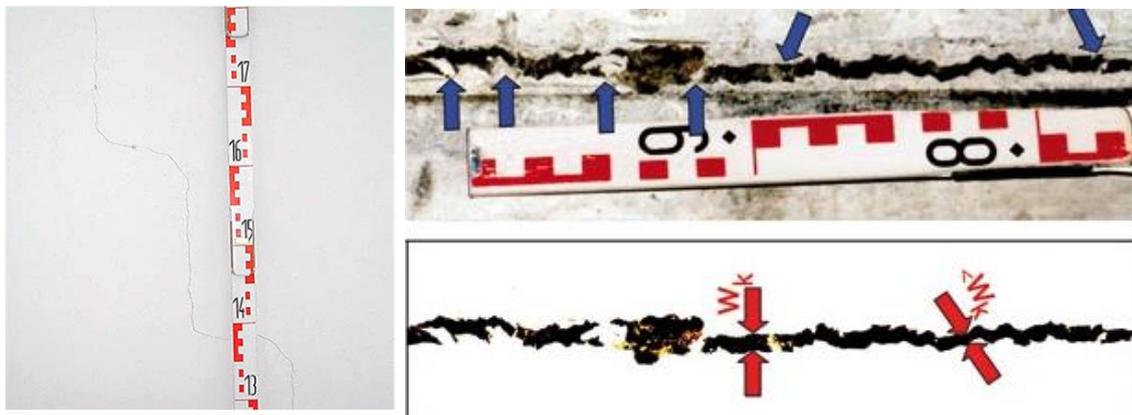


Abb. 118 Linkes Bild: Rissaufnahme mittels geodätischem Meterstab (Dialer, 2016); Rechtes Bild: Nachbearbeitung einer Aufnahme durch Kontrasterhöhung (Meichsner & Rohr-Suchalla, 2011)

### Risslineal

Die Breite eines Risses kann mittels Risslineal aufgenommen werden. Dabei wird das Risslineal direkt auf den Riss gelegt und somit die Breite der Markierung mit der Breite des Risses verglichen woraus erkannt werden kann, dass es sich eigentlich nicht um ein direktes Messinstrument, sondern um ein Vergleichsinstrument handelt (Abb. 119).



Abb. 119 Linkes Bild: Aufnahme der Rissbreite mittels Risslineal<sup>70</sup>; Rechtes Bild: Geringe Rissbreite<sup>71</sup>

### Risslupe

Ist eine größere Genauigkeit bei der Rissbreitenaufnahme erforderlich, als mit einem Rissbreitenlineal möglich, kann eine Risslupe verwendet werden. Für eine präzise Aufnahme von Haarrissen eignet sich eine Präzisions-Skalenlupe. (Abb. 120). Diese verfügt über eine vielfache Vergrößerung mit einer geneigten Edelstahlstrichplatte (Skala) im Sockel der an den Riss angelegt wird. Ein Problem stellt die Wahl der Messstelle dar, da die Rissbreite entlang der Risslänge sehr stark variieren kann. Digitale Risslupen bieten die Möglichkeit, direkt mit dem Messgerät eine Fotodokumentation zu erstellen (Abb. 121).

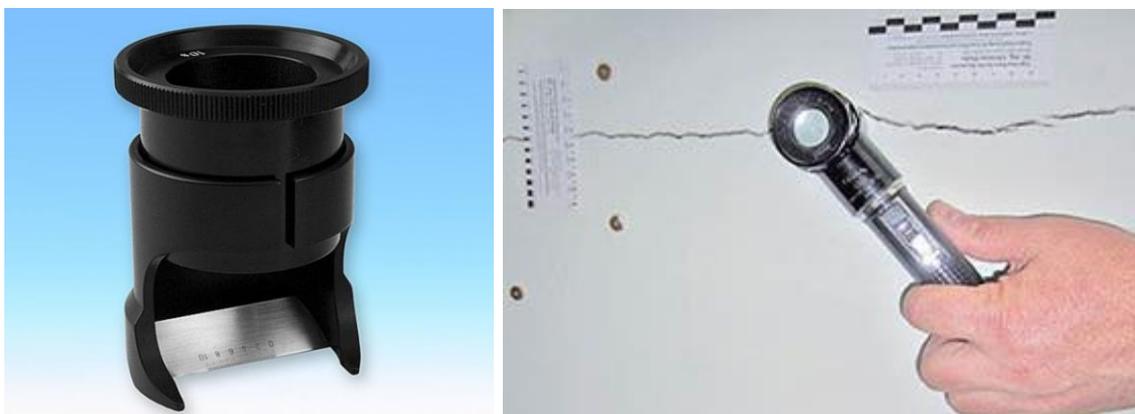


Abb. 120 Linkes Bild: Präzisions-Skalenlupe<sup>72</sup>; Rechtes Bild: Rissbreitenaufnahme mittels optischer Risslupe (Dialer, 2016)

<sup>70</sup> <http://www.ronaldapitz.de/images/gutachten/1.jpg>, abgerufen am 27.06.2017

<sup>71</sup> <http://www.gsp-mannheim.de/images/Risslineal%20klein.jpg>, abgerufen am 27.06.2017

<sup>72</sup> <http://www.kalibrierservice24.de/Mikroskope---Lupen/Risslupen/Risslupe-RL-6-fach.html>, abgerufen am 27.06.2017



Abb. 121 Rissaufnahme mittels digitaler Risslupe (Dialer, 2016)

### Rissmonitor und Rissmarker

Um die Bewegung eines bereits vorhandenen Risses aufzuzeichnen, eignen sich Rissmonitore oder Rissmarker. Ein Rissmonitor besteht aus zwei Kunststoff-Messmonitorteilen, welche jeweils auf einer Seite des Risses überlappt angebracht werden, wodurch die Veränderungen eines Risses beobachtet werden können (Abb. 122). Ein Problem hierbei können Rissbewegungen darstellen, welche nach einiger Zeit wieder in die Ursprungslage zurückkehren. Für derartig temporäre und kleine Rissbewegungen wird eher die Anwendung eines Rissmarkers empfohlen. (Abb. 123) An seine Grenze stoßt der Rissmarker aber bei größeren Rissbreiten aufgrund von Abplatzung, hierbei ist wiederum ein Rissmonitor die geeignetere Variante. (Abb. 122)

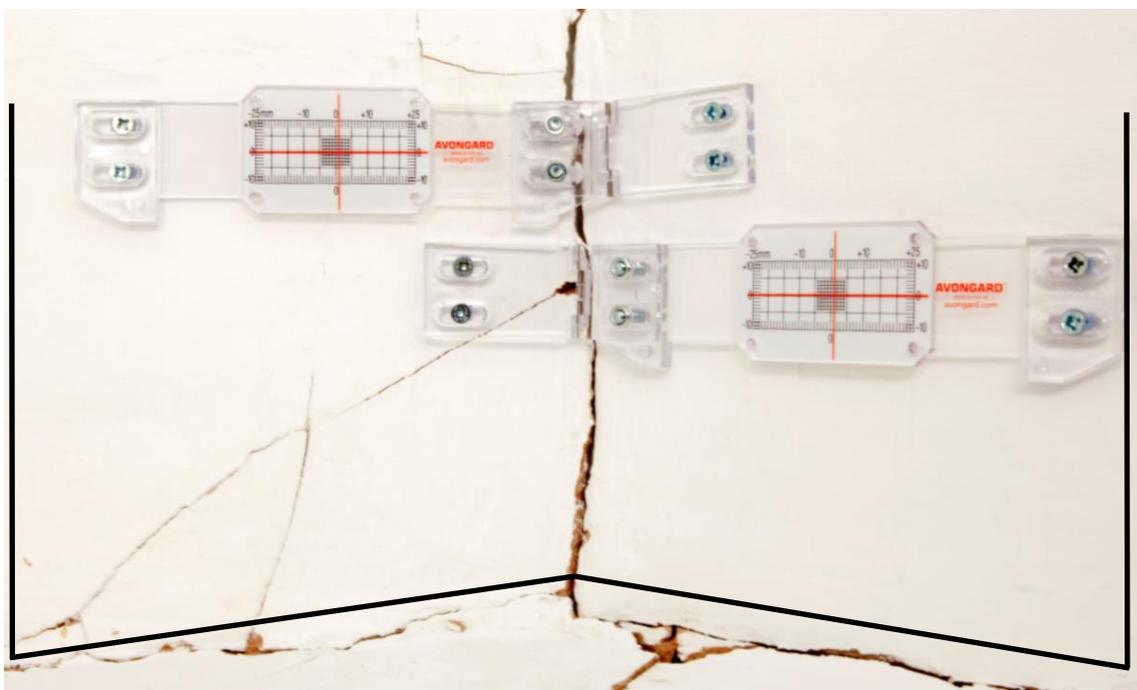


Abb. 122 Anwendung eines Rissmonitors bei einem Riss in der Nähe einer Wandecke<sup>73</sup>

<sup>73</sup> <http://www.berntsen.com/Construction/Avongard-Crack-Monitor>, abgerufen am 31.03.2017



Abb. 123 Linkes Bild: Gipsmarker bei kleiner Rissbewegung; Rechtes Bild: Abplatzen eines Gipsmarkers aufgrund einer großen Rissbewegung (Dialer, 2016)



Abb. 124 Gipsmarker mit Datum (Meichsner & Rohr-Suchalla, 2011)

### Setzdehnungsmesser

Eine weitere Möglichkeit Rissbewegungen zu messen ist der Einsatz eines Setzdehnungsmessers. Dabei werden sechs Messingplättchen in drei Messrichtungen mit Hilfe einer Schablone angebracht. Mittels eines Setzdehnungsmessers (mit Temperaturkompensator) wird die Veränderung der Entfernung in drei Messrichtungen gemessen und so die Rissbewegung ermittelt. Dieses Messverfahren kann mit einem aufgeklebten Rissmonitor bzw. einem Rissmaßstab kombiniert werden. (Abb. 125)

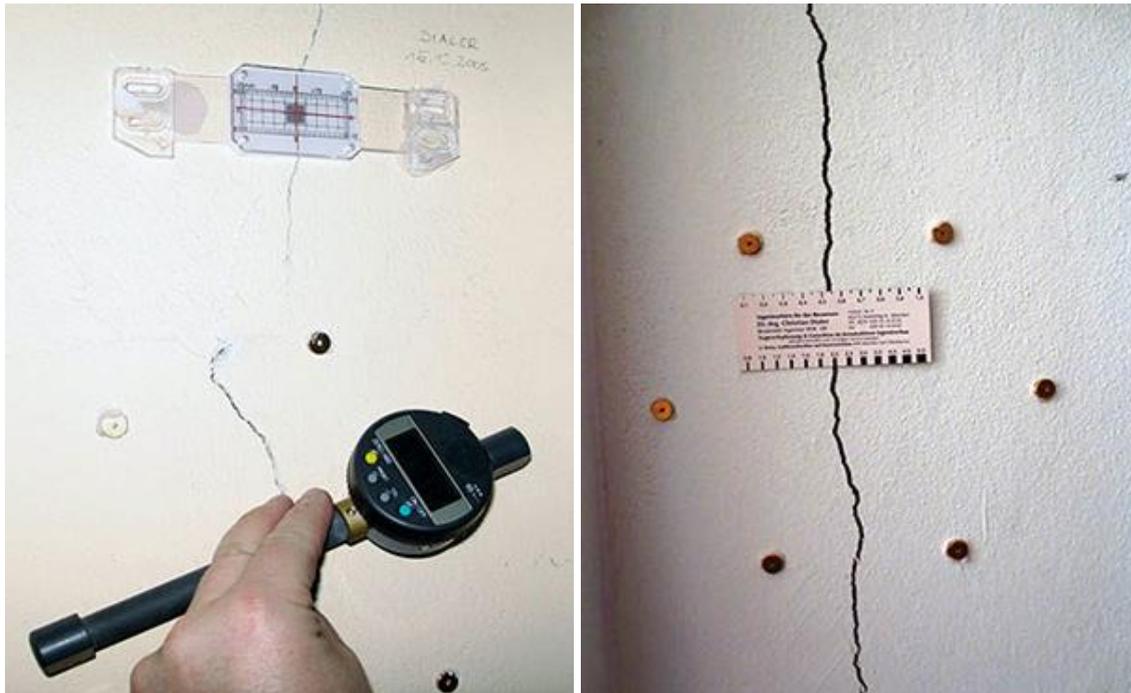


Abb. 125 Aufnahme einer Rissbewegung mittels digitalem Setzdehnungsmessers in Kombination mit einem Rissmonitor (Dialer, 2016)

### Fissurometer

Neben Rissbewegungen in der Ebene können mit einem Fissurometer auch Bewegungen aus der Ebene genau erfasst werden. Dabei werden wie in Abb. 126 dargestellt zwei sich unabhängig bewegende Starrkörper an die jeweilige Risseite befestigt.

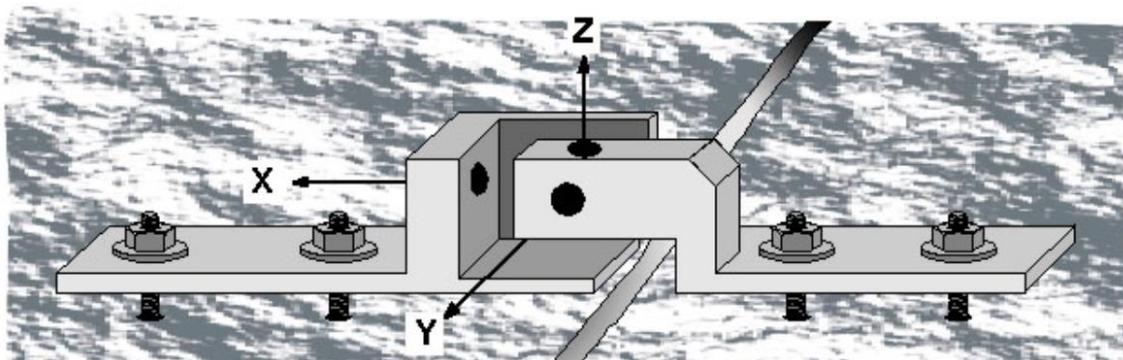


Abb. 126 Fissurometer mit dreiachsiger Aufnahmemöglichkeit<sup>74</sup>

74

<http://www.gloetzi.de/fileadmin/produkte/1%20Messwertaufnehmer/5%20Weg%20und%20Dehnung/P%2020064.02%20Fissurometer%203D%20alt%20de.pdf>, Abgerufen am 31.03.2017

Die Starrkörper besitzen für die jeweilige X-, Y- oder Z Richtung eine Öffnung. Durch diese Öffnung kann mit einem Abstandsmessgerät (mechanisch oder elektronisch (Abb. 128)) die Entfernung zwischen den Starrkörpern ermittelt werden. (Abb. 127)

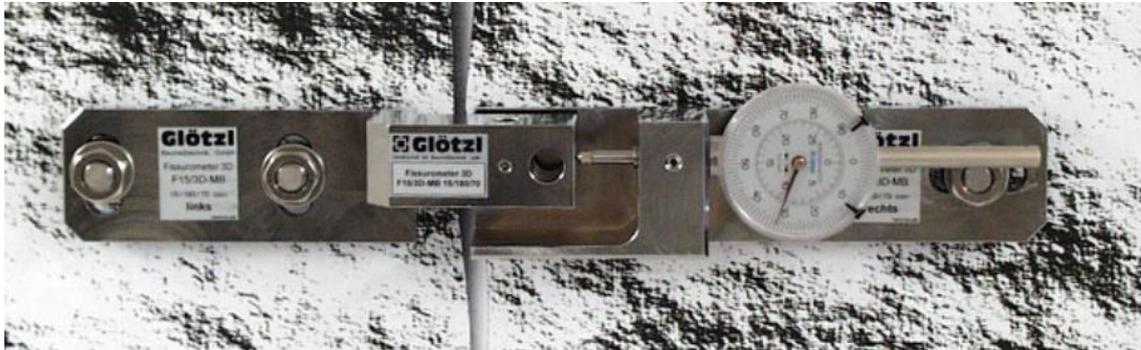


Abb. 127 Rissbreitenmessung mithilfe eines Fissurometers<sup>74</sup>



Abb. 128 Rissdokumentation einer aufgrund von Setzungen geschädigten Brücke mittels digitaler Rissbreitenmessung<sup>75</sup>

### Bohrkernentnahme

Um nicht nur die Rissbreite und die Risslänge, sondern auch die Risstiefe bestimmen zu können, besteht die Möglichkeit einer Bohrkernentnahme. Der Durchmesser des Bohrkernes beträgt im Regelfall zwischen 50 und 250 mm. Neben Informationen über den Riss an der Entnahmestelle, wird ein Einblick in das Bauwerk selbst gewährt (Abb. 129). So können derartige Proben ebenfalls zur Erfassung des Bauteilaufbaues, oder für

<sup>75</sup> [http://www.eautobahn.de/html/bruckenhebung\\_mainz-mombach.html](http://www.eautobahn.de/html/bruckenhebung_mainz-mombach.html), abgerufen am 28.04.2017

Laboruntersuchungen zur Bestimmung von Materialparametern (Druck-/Zugfestigkeit, Feuchtigkeitsgehalt, Karbonatisierungstiefe etc.) herangezogen werden.



Abb. 129 Linkes Bild: Bohrkernentnahme; Rechtes Bild: Einblick in das Bohrloch mit Risschaden im Inneren einer Wand (Dialer, 2016)

### Optische Beurteilung der Rissflanken

Bei der Bestimmung der genauen Rissursache ist der Rissentstehungszeitpunkt von großer Bedeutung. Da Risse sich meist über die Zeit tendenziell weiterentwickeln, vergrößern und zu Beginn als feine Haarrisse auftreten, werden diese am Anfang meist nicht wahrgenommen. Aus diesem Grund ist nicht auszuschließen, dass die Rissursache oder der Beginn des Risses schon Monate zurückliegt (Meichsner & Rohr-Suchalla, 2011). Eine optische Beurteilung der Rissflanken ist nur in bestimmten Fällen möglich und eine schwierige Aufgabe, bei der viel Erfahrung vonnöten ist. Um den Zustand der Rissflanken zu untersuchen wird die Anwendung einer Risslupe empfohlen. Verschmutzungen und Vermoosungen können auf das Rissalter schließen lassen. So können lose anhaftende Rissflanken etwa ein Indiz für einen erst vor kurzer Zeit aufgetretenen Riss sein, während ausgebrochene Rissflanken mit starker Verschmutzung und Vermoosung ein mögliches Anzeichen für einen älteren Schadensfall sind. (Dialer, 2016)

### 5.1.2 Weitere Messgrößen

Neben Rissen treten, wie in Kapitel 4 angeführt, weitere Schadensformen auf. Massenbewegungen führen vor allem zu Verformungen, Verdrehungen und Verschiebungen am Bauwerken. Des Weiteren können auch Feuchtstellen, und Hohlräume im Inneren eines Bauteils ein Indiz für einen Schaden sein. Aus diesem Grund werden folgende Messgrößen und die zur Ermittlung angewendeten Messinstrumente beschrieben, welche auf direkte oder indirekte Art und Weise ermittelt werden können. Direkte Ermittlung bedeutet, dass die Messgröße direkt ermittelt wird,

wie die Neigung durch einen Neigungsmesser. Bei der indirekten Ermittlung hingegen wird der gesuchte Messwert durch Rückführung auf andere physikalische Größen ermittelt. Durch den Vergleich periodisch durchgeführter Messungen, kann auf etwaige Veränderungen am Bauwerk wie z.B. Verformungen rückgeschlossen werden.

Tab. 7 Messinstrumente deren Messgrößen

Messinstrumente/ -sensoren	Neigung	Distanz	Niveau	Temperatur	Innere Bauteil- unter- suchung
Neigungsmesser	X		X		
Totalstation	X	X	X		
Nivelliergerät	X	X	X		
Laserscanner	X	X	X		
Photogrammetrie	X	X	X		
GNSS		X	X		
Faseroptische Sensoren				X	X
Wärmebildkamera				X	X
Videoendoskopie					X
Ultraschall- messung					X

### Handnahe Untersuchungsmittel

Für Stichproben können sogenannte Handnahe Untersuchungsmittel angewandt werden um schnell, ohne großen Aufwand Bauwerke auf mögliche Schäden bzw. Abweichungen zu untersuchen. So können mittels eines hydrostatischen Nivellements, einer sogenannten Schlauchwaage, ohne ein elektronisches Messgerät, Niveaudifferenzen festgestellt werden, in dem ein Schlauch mit einer Flüssigkeit gefüllt an den zu messenden Bauteilen angelegt wird.

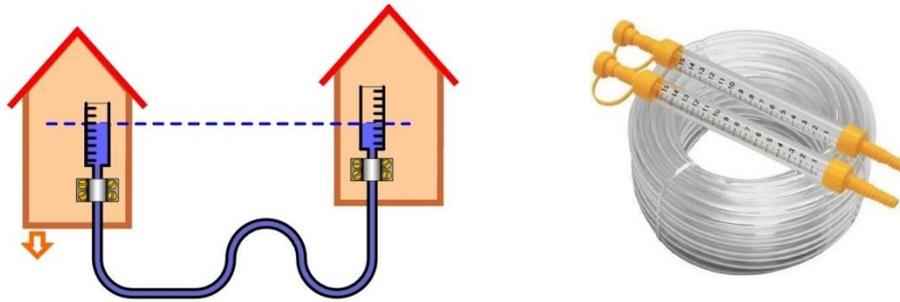


Abb. 130 Linkes Bild: Schematische Darstellung einer Schlauchwaagenmessung<sup>76</sup>; Rechtes Bild: Schlauchwaage mit Skala<sup>77</sup>

Neigungsgefälle an Bodenflächen können wiederum auf einfache Weise mit einer Billardkugel überprüft werden. Verdrehungen von Bauteilen wie Masten oder Stützmauern lassen sich mit einer herkömmlichen Wasserwaage oder einem Schnurlot bestimmen. (Abb. 131 Linkes Bild) Bei einem Schnurlot handelt es sich um eine Schnur mit einem am Ende befestigten Gewicht. Angelegt an ein Bauteil kann so, durch die vertikale Bezugslinie des Lots, eine mögliche Schiefstellung ersichtlich werden. Die Position einer Bewehrung in einem Betonbauteil lässt sich auf die Schnelle mit einem starken Magnet orten. Typische Messgeräte wie Maßband oder Schublehre, werden hier nur kurz erwähnt, da diese häufig im Einsatz sind und allgemein bekannt sein dürften (Abb. 131 Rechtes Bild).

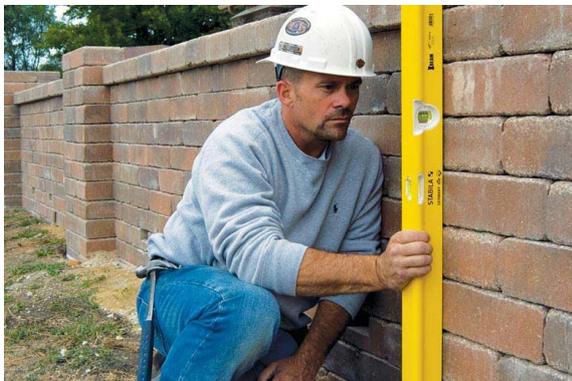


Abb. 131 Linkes Bild: Einsatz einer Wasserwaage an einer Gartenmauer<sup>78</sup>; Rechtes Bild: Digitales Maßband<sup>79</sup>

<sup>76</sup> <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/1024989>, abgerufen am 18.04.2017

<sup>77</sup> <https://vodovahy.heureka.cz/vodovaha-vodni-delka-trubky-20-m/galerie/>, abgerufen am 27.06.2017

<sup>78</sup> [http://www.stabila.de/R-Type/upload/laengen/laengen\\_bild7.jpg](http://www.stabila.de/R-Type/upload/laengen/laengen_bild7.jpg), abgerufen am 22.08.2017

<sup>79</sup> <https://www.amazon.de/Bosch-PMB-Digitales-Laser-Maßband-Maßbandlänge/dp/B000EBN17E>, abgerufen am 09.04.2017

## Neigungsmesser

Die Neigung eines Bauobjektes kann entweder fern durch Instrumente wie z.B. Totalstation oder Laserscanner gemessen werden, oder direkt am Bauteil. Die einfachste Methode ist der Einsatz einer Schlauch- bzw. Wasserwaage. Diese ist aber ungenau und sollte nur als einfache Überprüfungs-methode angesehen werden. Weitaus geeigneter sind digitale und analoge Neigungssensoren, wobei digitale Messgeräte eine feinere Auflösung bieten. Neigungenänderungen können dabei entweder durch orthogonal zueinander angeordnete Beschleunigungsaufnehmer gemessen werden, bei denen eine Neigungsänderung der Sensoren durch Schwingungsaufnehmer registriert wird, oder nach dem optoelektronischen Prinzip, bei dem der Winkel zwischen einem Flüssigkeitshorizont und einem Sensor mittels positionsempfindlichen Diode gemessen wird. Neigungsmesser werden entweder an das Bauteil angelegt oder für eine längere Beobachtungsdauer fix montiert. (Abb. 132) (Retze, 2008)



Abb. 132 Linkes Bild: Anlegen eines Neigungssensors an ein Bauwerk<sup>80</sup>; Rechtes Bild: Digitaler Neigungssensor<sup>81</sup>

## Totalstation

Eine Totalstation wird entweder temporär oder permanent platziert und misst horizontale Richtung, vertikale Winkel zur Senkrechten und die Schrägdistanz zu Messpunkten mittels elektronischer Distanzmessung. (Abb. 133 Linkes Bild). Die Messungen könnten entweder reflektorlos über Lasertechnik oder mittels Infrarottechnologie (benötigt Messreflektoren) erfolgen. (Retze, 2008) Ein Vergleich periodisch aufgenommener Koordinaten gibt Auskunft über eine mögliche Positionsänderung der Messpunkte. Zur Sicherstellung, dass immer an den gleichen Stellen eines Bauwerkes gemessen wird,

<sup>80</sup> <http://www.sisgeo.com/products/inclinometers-and-tiltmeters/item/tilli-portable-tilmeter.html>, abgerufen am 27.06.2017

<sup>81</sup> <http://www.accelerometer.ch/sensoren/neige-sensoren.html>, abgerufen am 27.06.2017

können geodätische Messpunkte wie ein Prisma angebracht werden. (Abb. 133 Rechtes Bild)



Abb. 133 Linkes Bild: Messung mittels Totalstation<sup>82</sup>; Rechtes Bild: Dauerhaft angebrachte Prisma zur periodischen Überwachung von Setzungen am Messobjekt (Aargauer Zeitung, 2015)

### Nivelliergerät

Zur Bestimmung von Höhenunterschieden wird ein Nivelliergerät verwendet. Um beispielweise Schieflagen an einem Bauwerk feststellen zu können, werden sogenannte Messbolzen oder Prismen an verschiedenen Punkten der Konstruktion angebracht und über längeren Zeitraum erfasst und dokumentiert.



Abb. 134 Linkes Bild: Höhenbolzen zur Bestimmung von Niveauänderungen (Mollinga,2012); Rechtes Bild: Höhenbestimmung mittels Nivelliergerät und Messlatte<sup>83</sup>

### Laserscanner

Laserscanning ermöglicht eine reflektorlose Messung von einer großen Anzahl von Punkten eines Objektes. Die aufgenommenen Koordinaten der Punkte können mit Softwarelösungen kombiniert werden, woraus dreidimensionale virtuelle Modelle erstellt

<sup>82</sup> <http://www.vinzai.com/blog/85-leica-builder-series-total-stations>, abgerufen am 03.04.2017

<sup>83</sup> <https://www.handwerker-versand.de/1727969-Optisches-Nivelliergeraet-Bosch-GOL-26-D-Professional.html>, abgerufen am 10.04.2017

werden. Besonders im Nahbereich können hohe Messgenauigkeiten erzielt werden. (Abb. 135)



Abb. 135 Linkes Bild: Laser Scanner Leica<sup>84</sup>; Rechtes Bild: Darstellung einer Lasermessung<sup>85</sup>

### Photogrammetrie

Bei der Photogrammetrie werden Bilder von Objekten aus verschiedenen Perspektiven aufgenommen. Mithilfe von Algorithmen können die angefertigten Bilder über Passpunkte entzerrt und ein dreidimensionales Bild eines Objektes erstellt werden (Abb. 136 Linkes Bild). Aufnahmen können zum Beispiel mittels einer Drohne erfolgen. (Abb. 136 Rechtes Bild) Diese Methode eignet sich nicht nur zur Ermittlung von Lageänderungen von Bauwerken durch den Vergleich unterschiedlicher Aufnahmen, sondern es können auch optische Schäden wie Risse erfasst werden.

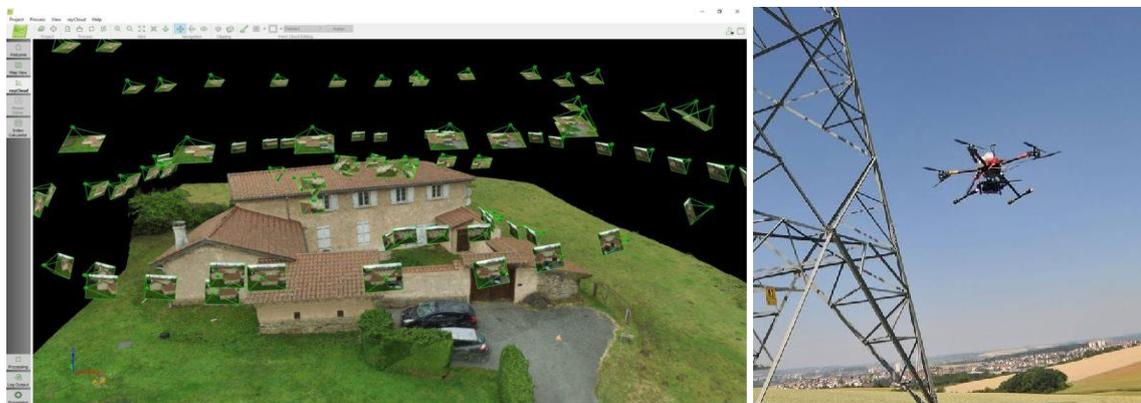


Abb. 136 Linkes Bild: Auswertung einer Photogrammetrie aufgenommen mittels Drohne<sup>86</sup>; Rechtes Bild: Photogrammetrisches Kamerasystem in Kombination mit einer Drohne<sup>87</sup>

<sup>84</sup> <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/long-range-inspection-capabilities-with-laser-scanner>, abgerufen am 03.04.2017

<sup>85</sup> <http://sep.adambonner.co.uk/newsite/wp-content/uploads/2012/08/scanner.jpg>, abgerufen am 03.04.2017

<sup>86</sup> <https://www.coptrz.com/blog/pix4dmapper-pro-the-future-of-mapping-and-surveying/>, abgerufen am 03.04.2017

<sup>87</sup> <https://www.geobranchen.de/mediathek/geonews/item/hochschule-wuerzburg-schweinfurt-studiengang-vermessung-und-geoinformatik-erhaelt-foerdermittel-fuer-photogrammetrie-und-bildverarbeitung>, abgerufen am 26.06.2017

## GNSS

GNSS ist ein Sammelbegriff für die gängigsten Satellitenpositionierungsverfahren wie das amerikanische GPS (Global Positioning System), das russische GLONAS oder das europäische Galileo. GNSS-Sensoren können zur einfachen Positionsbestimmung eingesetzt werden. Dabei werden die Laufzeiten von Satellitensignalen (mit Zeitmarken versehen) zum GNSS-Empfänger gemessen und die Position über die Uhrzeit bestimmt. Für eine Positionsbestimmung ist eine freie Sicht auf mindestens vier Satelliten vonnöten wobei die Genauigkeit durch zusätzliche Satelliten erhöht wird. Mithilfe von Referenzpunkten kann die Messgenauigkeit zudem überprüft werden. (Rebhan, 2015)



Abb. 137 Linkes Bild: Positionsbestimmung mittels GNSS<sup>88</sup>; Rechtes Bild: GNSS Sensor<sup>89</sup>

## Psydolites

Bei Psydolites handelt es sich um Sendeeinheiten die Daten, ähnlich den Satellitensignalen, aussenden und sich in der Nähe zum Empfänger an einem Referenzpunkt befinden. Diese können vor allem dann verwendet werden, wenn die Messung über GNSS nicht möglich ist oder unzureichende Ergebnisse liefert. Durch die Kombination von GNSS und Psydolites kann die Genauigkeit gesteigert werden. (Retze, 2008)

## Faseroptische Sensoren

Durch faseroptische Messsysteme können hochpräzise Daten von Bauwerksverformungen und Temperaturänderung liefern. Verformungen werden nach dem Prinzip unterschiedlicher Laufzeiten von Lichtsignalen gemessen. Die Glasfaserkabel haben ein kleines Volumen und können über eine Länge von mindestens

<sup>88</sup> [https://www.galabau-verband.at/images/stories/galabau/artikelbilder\\_01\\_17/gps-vermessung/Foto\\_Leica-Geosystem\\_big.jpg](https://www.galabau-verband.at/images/stories/galabau/artikelbilder_01_17/gps-vermessung/Foto_Leica-Geosystem_big.jpg), abgerufen am 22.08.2017

<sup>89</sup> [http://www.leica-geosystems.ch/thumbs/originals/LRLX\\_2624.jpg](http://www.leica-geosystems.ch/thumbs/originals/LRLX_2624.jpg), abgerufen am 22.08.2017

0,25 bis 80 m betragen. Da sich das Messgerät außerhalb der Leitung befindet und die Kabel nur ein Lichtsignal weiterleiten, können diese direkt in das Bauteil (Abb. 138), oder in den Untergrund eingebaut werden. Ein weiterer Vorteil von faseroptischen Messsystemen ist die Reichweite, die Kabel können Daten über sehr lange Distanzen weiterleiten. Zuletzt sei noch erwähnt, dass faseroptische Messsysteme unempfindlich gegenüber elektromagnetischen Wellen sind und keine eigene Energiezufuhr für die Sensoren erforderlich ist, da diese nur ein Lichtsignal weiterleiten. (Lienhart & Ehrhart, 2016)

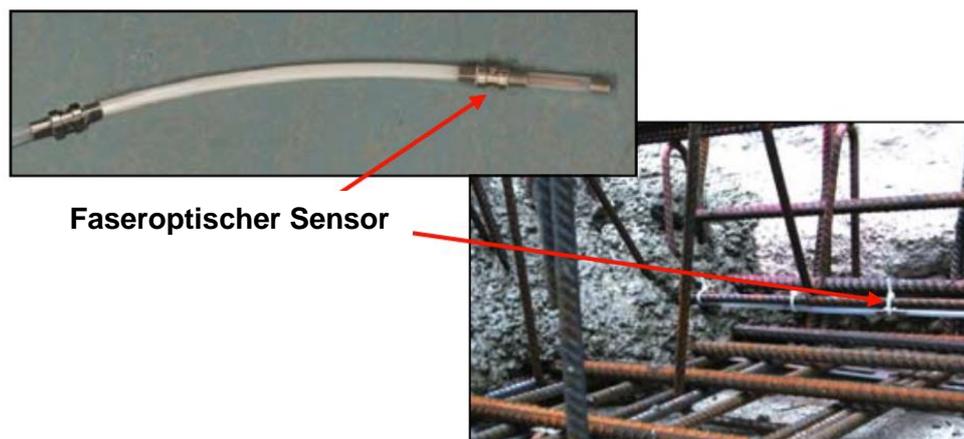


Abb. 138 Faseroptischer Sensor mit Bewehrungsstahl eingebaut (Lienhart & Ehrhart, 2016)

### Wärmebildkamera

Eine Wärmebildkamera wandelt für das menschliche Auge unsichtbare Infrarotstrahlung in ein sichtbares Bild um. Dabei werden Temperaturdifferenzen farblich dargestellt. Bei der Analyse von Bauschäden können mithilfe einer Wärmebildkamera Leckagen bzw. Feuchtestellen geortet werden.

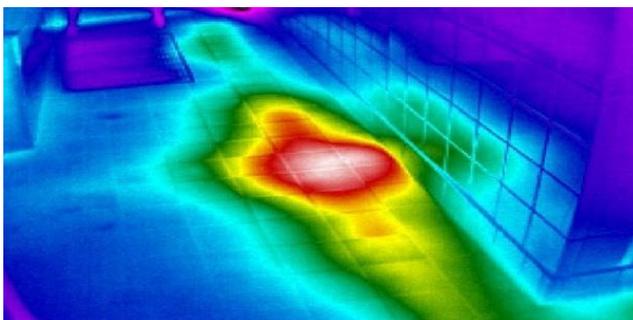


Abb. 139 Linkes Bild: Leckagenortung mittels einer Wärmebildkamera<sup>90</sup>; Rechtes Bild: Wärmebildkameraaufsatz für Smartphones<sup>91</sup>

<sup>90</sup> <http://www.leck-ortung.at>, abgerufen am 04.04.2017

<sup>91</sup> <http://www.flir.de/flirone/display/?id=62814>, abgerufen am 04.04.2017

## Videoendoskopie

Schäden können in manchen Fällen auch im Inneren oder unter einem Bauwerk auftreten und sind dadurch schwer zugänglich. Dies können z. B. Schäden durch Erosion unter dem Bauwerk, Risse in einer Betonplatte aufgrund von Aufschwimmen oder defekte Abwasserleitungen sein. Dabei kann es vonnöten sein unter bzw. in die beschädigte Konstruktion zu blicken. In derartigen Fällen eignet sich eine visuelle Schadensaufnahme mittels Videoendoskopie. Bei einer beschädigten Bodenplatte etwa, werden flächendeckend Bohrungen hergestellt und mittels Endoskop Untersuchungen der Bodenplatte durchgeführt. Dieses Verfahren gibt Einblick über die Gründungssituation und das Schadensausmaß.

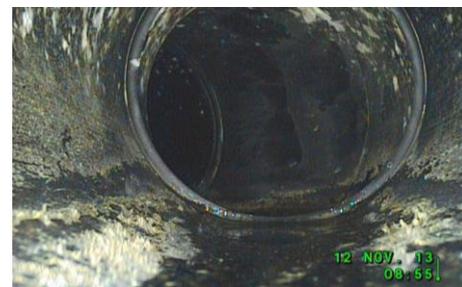


Abb. 140 Linkes Bild: Modernes Videoendoskop zur Untersuchung von Bauwerksschäden<sup>92</sup>; Rechtes Bild: Untersuchung einer Abwasserleitung mittels Videoendoskop<sup>93</sup>

## Ultraschallmessung

Ist ein direkter Einblick in das Bauteil nicht möglich, kann eine Untersuchung via Ultraschallmessung durchgeführt werden. Dabei handelt es sich um ein sogenanntes zerstörungsfreies Prüfverfahren, mit dem schnell und einfach Bauwerkszustände analysieren werden können. Mithilfe der Ultraschallmethode kann die Bauteilgeometrie ermitteln bzw. Fehlstellen wie etwa Hohlstellen oder Verdichtungsmängel lokalisiert werden. Diese Methode wird vor allem bei Beton, Stahl- und Spannbetonbauwerken eingesetzt.

<sup>92</sup> [http://img.directindustry.de/images\\_di/photo-m2/54467-9980546.jpg](http://img.directindustry.de/images_di/photo-m2/54467-9980546.jpg), abgerufen am 03.04.2017

<sup>93</sup> [http://www.cliconag.ch/fileadmin/\\_processed\\_/csm\\_131112AH\\_558f2de9dd.jpg](http://www.cliconag.ch/fileadmin/_processed_/csm_131112AH_558f2de9dd.jpg), abgerufen am 03.04.2017



Abb. 141 Linkes Bild: Betondeckungsmessung an einer Wand mittels Ultraschall; Rechtes Bild: Untersuchung einer Betonstütze<sup>94</sup>

## 5.2 Beispiele für durch Geotechnik verursachte Schadensfälle und deren Anzeichen

Folgend werden Schadensbeispiele präsentiert, welche nicht direkt im Zusammenhang mit Massenbewegungen stehen, in welcher jedoch zu Folge eines geotechnischen Versagens, konstruktive Schäden aufgetreten sind.

### 5.2.1 Schäden an Gebäuden

#### Grundbruchversagen einer Balkonanlage

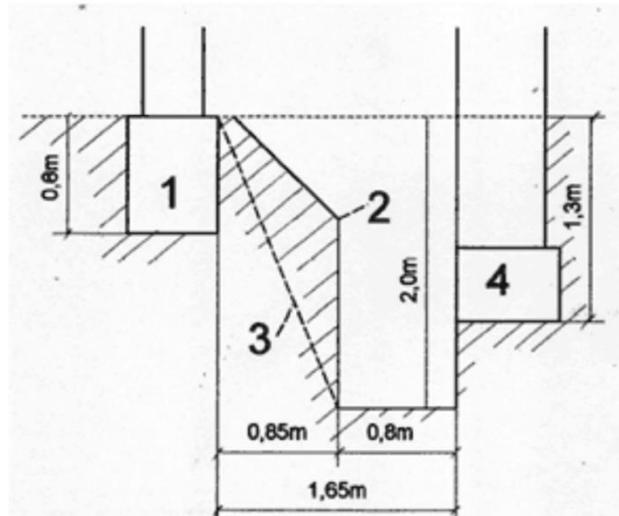
Bei einem dreigeschossigen Mehrfamilienhaus wurde eine neue Balkonanlage errichtet. Aufgrund schlechter Baukoordination wurden die Abdichtung der Kellerwände erst nach der Fertigstellung der Balkone durchgeführt. (Abb. 142 Linkes Bild) Zufolge der Gebäudeabdichtungsmaßnahmen mussten die Kellerwände 2,00 m tief freigelegt werden. Dabei kam es zu Rissen in den Balkonanschlüssen an die Fassade. (Abb. 142 Rechtes Bild)

<sup>94</sup> <https://www.proceq.com/de/vergleichen/ultraschall-impulsgeschwindigkeit-und-impuls-echo/>, abgerufen am 26.06.2017



Abb. 142: Linkes Bild: Balkonanlage mit freigestellten Kellerwänden; Rechtes Bild: Risse im Balkonanschluss an die Fassade (Rizkallah, Achmus & Kaiser 2003)

Die Schadensursache der Risse war ein Grundbruch und Setzungen im Bereich der Fundamente der Balkonanlage aufgrund eines nicht normgerechten Grabenaushubs. Wie in Abb. 143 schematisch dargestellt, wurde bei den Schachtarbeiten die Böschung zu steil ausgeführt. Dabei wurde ebenfalls das in 80 cm Tiefe frostsicher gegründete Betonfundamente der Balkonstützen freigelegt, was den Grundbruch verursachte. Die Balkonanlage musste komplett abgetragen und neu errichtet werden.



- 1 Fundament der Balkonstütze
- 2 Grabenaushub nach DIN 4124 bei 2 m Aushubtiefe
- 3 Tatsächlicher Aushub des Abbruchunternehmens
- 4 Gebäudefundament

Abb. 143 Darstellung der Aushubsituation (Rizkallah, Achmus & Kaiser 2003)

### Gründungsversagen eines Wohnhauses

Nach anhaltenden Regenfällen kam es zu einer Hangbewegung oberhalb einer Baugrube, welche an mehreren Mehrfamilienhäusern Schäden verursachte.



Abb. 144 Im Bild links das Schadensobjekt mit darunterliegender Baugrube (Aargauer Zeitung, 2015)

Dabei kam es zu einem Versatz einer freistehenden Garage, zwischen einer Bodenplatte und einem Sockel klaffte eine ca. 10 cm große Lücke auf. Des Weiteren hatten sich Risse im Rasen des Objektes gebildet. Meterlange Risse entstanden auch im Mauerwerk des Gebäudes und aufgrund von Verformungen der Konstruktion, ließen sich einige Fenster nicht mehr öffnen. (Abb. 145 Bild oben) Eine Außentreppe hatte sich vom Hauptgebäude abgespalten und wies schwere Schäden auf. (Abb. 145 Bild Unten)



Abb. 145 Bild oben: Risschäden und Verformungen infolge einer Rutschung am Hauptgebäude; Bilder unten: Schäden an Außenbauteilen (Aargauer Zeitung, 2015)

Schwere Risschäden und Verformungen welche vom Untergeschoss bis unter die Dachkonstruktion reichten konnten an den Außenwänden wahrgenommen werden (Abb. 146 bis Abb. 147).



Abb. 146 Risschäden an Fensteröffnungen des Untergeschosses mit Rissmarkern versehen (Aargauer Zeitung, 2015)



Abb. 147 Linkes Bild: Risse unter der Dachkonstruktion; Rechtes Bild: Starke Verformung und Biegerisse am Untergeschoss (Aargauer Zeitung, 2015)

Während des Schadensherganges nahmen die Bewohner ein lautes Knirschen und Knallen wahr. Im Untergeschoss rissen Jahrzehnte alte Haarrisse in der Bodenplatte auf und Türrahmen hatten sich aus der Wand gelöst. Eine Wandplatte der Dusche in der Ecke platze ab.



Abb. 148 Linkes Bild: Sichtbare Verformungen der Bodenplatte des Wohnhauses; Rechtes Bild: Risschäden im Obergeschoss (Aargauer Zeitung, 2015)

Einige Tage nach dem Schadensereignis hatten sich die Risse noch weiter geöffnet, was durch ein Knirschen wahrgenommen werden konnte. Auch weitere benachbarte Häuser waren von den Hangbewegungen betroffen. Betonsäulen wiesen Abplatzung auf oder wurden aus der Verankerung gerissen. Des Weiteren breiteten sich die Risse im Boden über das Nachbargrundstück aus. Das Schadensereignis kündigte sich bereits Jahre zuvor durch Haarrisse im Bauwerken an, welche sich aufgrund der Bewegungen im Untergrund schließlich geöffnet hatten. Außerdem war das beschädigte Objekt bereits zehn Jahre zuvor von Hangbewegungen infolge von Kanalbauarbeiten betroffen. Die Anwohner hatten bei den Einwendungsverhandlungen auf die instabile Situation des Hanges hingewiesen.

Laut der Bauleitung wurden Hangsicherungen nach den heutigen Standards vor dem Baubeginn durchgeführt. Die Baugrube ist mit in den Boden gerammten Platten eingefasst und so stabilisiert worden. Nach dem Schadensereignis kam es am Rand der Baugrube zu Abbrüchen. Laut Planer und Bauherrschaft wurden neben der Hangsicherung, Rissaufnahmen durchgeführt. Zu Beginn der Bauarbeiten bildeten sich nur einzelne Risse bei einer einzigen Liegenschaft. Als Schadensursache für die schweren Schäden am 82 Jahre alten Gebäude wurde ein instabiles Fundament vermutet.



Abb. 149 Aushubarbeiten für die Überbauung Apfelhain in Gränichen verursachten eine Hangbewegung (Aargauer Zeitung, 2015)

Seit dem Schadensereignis standen der Hang und die darauf befindlichen Häuser unter messtechnischer Beobachtung. Neben einer optischen Überwachung wurden geodätische Messungen durchgeführt. Dabei sind wie in Abb. 150 dargestellt, Prismen an das Bauwerk angebracht worden. Zur Ermittlung der Rissbewegungen kamen Gipsmarker zum Einsatz (Abb. 150). Die durchgeführten Messungen lieferten keine Anzeichen für weitere Bodenbewegungen. Laut Experten handelte es sich um keine großflächige Hangbewegung.



Abb. 150 Linkes Bild: Prisma an einer Hauswand zur Messung von Bewegungen; Rechtes Bild: Gipsmarker zur Überwachung von Rissbewegungen (Aargauer Zeitung, 2015)

Geeignete Untersuchungsmaßnahmen wie ein Bodengutachten, hätte auf die instabile Lage des Hanges hinweisen können. Als Sanierungsmaßnahme wurde der Hang durch Betoninjektionen und eine Felsverankerung gesichert.

### Versagen von Pfahlgründungen

2009 wurde der 200 m hohe (58 Stockwerke) Millennium Tower in San Francisco fertiggestellt und eröffnet.



Abb. 151 Millennium Tower in San Francisco<sup>95,96</sup>

<sup>95</sup> <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3980040/The-leaning-tower-San-Francisco-Satellite-images-prove-350-million-luxury-high-rise-Millennium-Tower-SINKING-40mm-year.html>, abgerufen am 03.04.2017

<sup>96</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Millennium\\_Tower\\_\(San\\_Francisco\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Millennium_Tower_(San_Francisco)), abgerufen am 27.06.2017

Im Jahr 2016 kam auf, dass das Gebäude seit der Fertigstellung um mehr als 40 cm abgesunken war, was die maximalen berechneten Setzungen von 15 cm um ein Vielfaches übertraf. Neben gleichmäßigen Setzungen traten ebenfalls differenzielle Setzungen auf, was zusätzlich zu einer leichten Neigung des Objektes führte. Wie in Abb. 152 dargestellt, wurde die Lagenänderung des Gebäudes mithilfe von Radarsatellitenaufnahmen gemessen. Dabei wurden die zwischen 22. Februar 2015 und 20. September 2016 aufgenommenen Radarbilder übereinandergelegt. Das Ergebnis zeigte eine deutliche Positionsänderung der Messpunkte in der Sichtlinie (Perspektive von der aus der Satellit misst) von bis zu 40 mm pro Jahr auf. Daraus resultiert eine Vertikalbewegung ohne Verdrehung von bis zu 50 mm pro Jahr. (dailymail.co.uk, 2016)

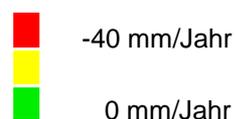
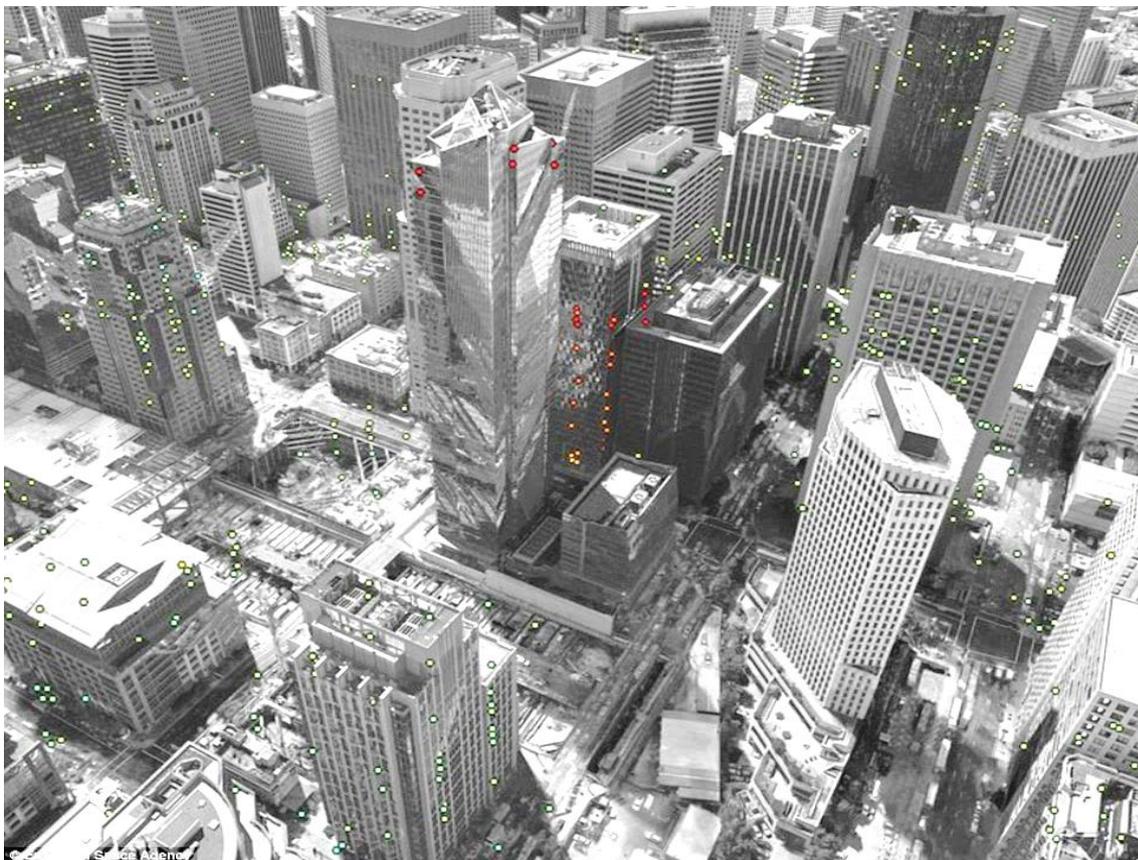


Abb. 152 Satellitenmessung des Millennium Towers zwischen 22.02.2015 und 20.09.2016, die Skala von Rot bis Grün beschreibt die Veränderungen zum Vorjahr<sup>97</sup>

<sup>97</sup> <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3980040/The-leaning-tower-San-Francisco-Satellite-images-prove-350-million-luxury-high-rise-Millennium-Tower-SINKING-40mm-year.html>, abgerufen am 05.03.2017

Als Schadensursache wurde zu Beginn eine angrenzende Baustelle vermutet. Dabei handelte es sich um die Errichtung einer neuen Bus- und Zugtrasse, mit einem neu geplanten Terminal, dem Transbay Transit Center. (Abb. 153). Zu Beginn der Bauarbeiten wurde eine 18 m tiefe Baugrube für das neu geplante Terminal, das sich direkt neben dem Millennium Tower befindet ausgehoben. Im Zuge der Erdarbeiten musste der Grundwasserspiegel abgesenkt werden. Die Grundwasserabsenkung verstärkte die Setzungen des instabilen Millennium Towers.



Abb. 153 Millennium Tower mit angrenzender Baustelle (Apple Inc. Maps Applikation, 2017)

Die übermäßigen Setzungen begannen laut Aufzeichnungen aber schon zwei Jahre vor Baubeginn des Terminals. Das Gebäude sank 24 Monate nach der Fertigstellung bereits 25 cm und lag damit 10 cm über den errechneten Maximalwert. Die eigentliche Schadensursache war die unterdimensionierte Pfahlgründung sowie das Material im Untergrund. Wo früher Wasser war, wurde nach dem verheerenden Erdbeben im Jahr 1906 das Schuttmaterial aus den zerstörten Bauwerken der Stadt in eine Bucht geleert, um neues Bauland zu schaffen. Dieses Material bildete in späterer Folge den Untergrund auf dem der Millennium Tower errichtet wurde. Das Bauwerk wurde auf 25 m langen Reibungspfählen in dichten Sand in Kombination mit einer dicken Stahlbetonplatte gegründet. In 60 m Tiefe wäre eine Gründung auf festen Felsgrund möglich gewesen, jedoch wurden die Pfähle aus Kostengründen kürzer ausgeführt, wodurch eine Lastabtragung durch Spitzendruck nur bedingt möglich war. Ein weiteres Problem ergab sich aus dem hohen Eigengewicht des 200 m hohen Objekts. Das Gebäude wurde nicht mit einem leichten Stahlbauskelett gefertigt, sondern als schwere Betonkonstruktion ausgeführt, wie bei Apartmenthäusern üblich, was die Setzungen zusätzlich begünstigte.

Wie sich an den Schadensbildern erkennen lässt, handelt es sich momentan lediglich um optische Schäden. Dennoch ziehen die Setzungen bereits große wirtschaftliche Probleme und einen großen Imageschaden mit sich. So traten vor dem Gebäude in den Gehsteigplatten Risse auf. (Abb. 154 Linkes Bild) Eine freiliegende Armierung war die Folge von Betonabplatzungen an den Kellerwänden des Millennium Towers. (Abb. 154 Rechtes Bild) Abb. 155 zeigt unregelmäßige Abstände zwischen den Fassadenplatte welche auf Verformungen des Bauwerkes hinweisen. Risse traten auch in der Tiefgarage des Millennium Towers auf, welche vertikal von der Bodenplatte bis zur Decke verliefen. Rissmonitore wurden dabei zur Beobachtung der Rissbewegungen eingesetzt. (Abb. 155 Rechtes Bild)



Abb. 154 Linkes Bild: Setzungsrisse in Gehsteigplatten vor dem Millennium Tower<sup>98</sup>; Rechtes Bild: Betonabplatzungen an den Kellerwänden des Millennium Towers<sup>99</sup>



Abb. 155 Linkes Bild: Sichtbare Veränderung der Fassadenplattenabstände am Millennium Tower<sup>100</sup>; Rechtes Bild: Rissmonitore an einer Wand der Tiefgarage<sup>101</sup>

<sup>98</sup> <http://orf.at/stories/2359608/2359607/>, abgerufen am 20.02.2017

<sup>99</sup> Joanna Fox, [http://media2.s-nbcnews.com/i/newscms/2016\\_42/1761681/millennium-tower-01\\_fbe30e250dde8a243cf17c3402673b9f.nbcnews-ux-2880-1000.jpeg](http://media2.s-nbcnews.com/i/newscms/2016_42/1761681/millennium-tower-01_fbe30e250dde8a243cf17c3402673b9f.nbcnews-ux-2880-1000.jpeg), abgerufen am 20.02.2017

<sup>100</sup> CBS San Francisco, <http://www.dailymail.co.uk/news/article-3719928/The-leaning-tower-San-Francisco-350million-luxury-high-rise-home-Joe-Montana-sunk-16-inches-tilted-two-inches-completed-2009.html>, abgerufen am 20.02.2017

<sup>101</sup> <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3980040/The-leaning-tower-San-Francisco-Satellite-images-prove-350-million-luxury-high-rise-Millennium-Tower-SINKING-40mm-year.html>, abgerufen am 20.02.2017

Die Setzungen und Verdrehungen befinden sich derzeit noch im Toleranzbereich und gefährden nicht die Standsicherheit des Objektes. Jedoch liegt San Francisco in einem stark erdbebengefährdeten Gebiet. Durch ein Erdbeben könnte sich die Lage des Millennium Towers weiter destabilisieren, was zu weiteren Setzungen und einem Versagen führen könnte. (Matier & Ross, 2016; Lindner, 2016)

### Hydraulisch verursachtes Versagen

Der Hochwasserschaden am Schürmannbau in Bonn ist eines der spektakulärsten Schadensfälle in Deutschland. Dabei handelte es sich um ein im Jahr 1993 fast fertiggestelltes Bauprojekt, mit vier Untergeschossen, zwei Erd-, sowie vier Obergeschossen. Auf der Flussseite befand sich noch zusätzlich eine Tiefgarage mit drei Untergeschossen die als schwarze Wanne ausgeführt wurde. Die unterirdischen Bauwerke wurden ansonsten als weiße Wanne gefertigt (Abb. 156, Linkes Bild). Das Bauwerk konnte nicht direkt an eine bereits vorhandene Schlitzwand angeschlossen werden, weswegen eine Vorsatzschale mit einem Drainagesystem geplant wurde, um Leckagewasser kontrolliert abzuführen. Da sich die Untergeschosse bis zur Hälfte unter dem Grundwasserspiegel befanden und das Eigengewicht vom Gesamtgebäude nicht groß genug war, um der Auftriebskraft in den Wintermonaten entgegenzuwirken, musste eine kontrollierte Wasserhaltung auch nach der Bauphase sichergestellt werden. (Abb. 156, Rechtes Bild)

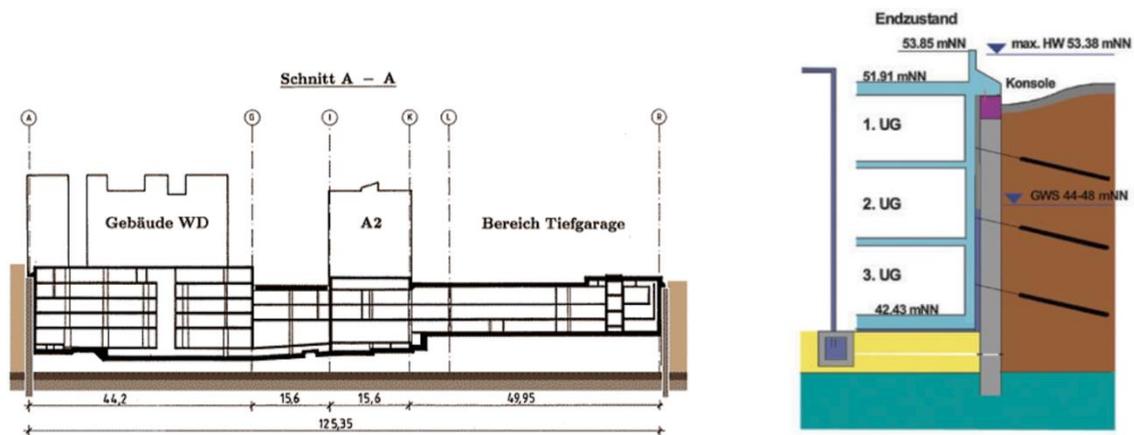


Abb. 156 Linkes Bild: Schnitt der Gebäudeanlage vor dem Versagen; Rechtes Bild: Darstellung der geplanten Verbindung zwischen Gebäude und bestehender Schlitzwand (Ruckenbrod & Schlüter 2005)

Aufgrund eines Hochwassers 1993 und einer nicht abgeschlossenen Abdeckung zwischen Gebäude und bestehender Schlitzwand (Topfrandfuge), konnte zusätzliches Wasser zwischen das Objekt und Schlitzwand eindringen. (Abb. 157) Da der

Topfwasserstand bereits recht hoch angehoben war, reichte nur eine geringe Erhöhung des Wasserspiegels um die Tiefgarage aufzutreiben zu lassen.

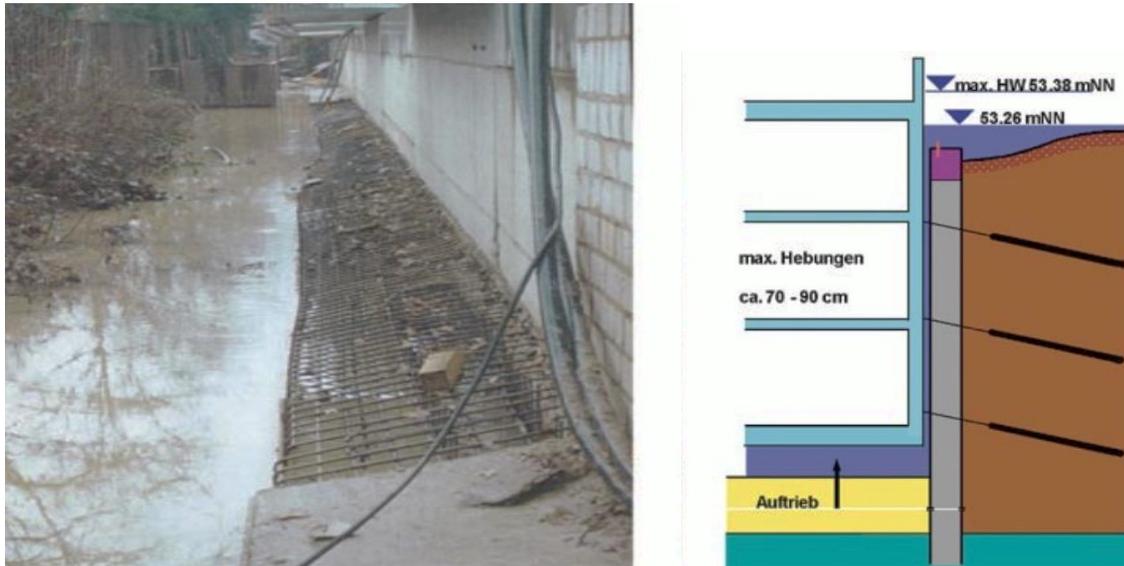


Abb. 157 Linkes Bild: Bauzustand während des Hochwassers; Rechtes Bild: Schematische Darstellung der Situation (Ruckenbrod & Schlüter, 2005)

Als Folgen der Auftriebswirkung, war das Objekt ungleichmäßig aufgeschwommen. Aufgrund des dadurch eingetretenen Wassers in die Untergeschosse, erhöhte sich die Gewichtskraft des Gebäudes und das Bauwerk sank wieder ab. Da sich in der Zwischenzeit Erdmaterial unter der angehobenen Bodenplatte angesammelt hatte, konnte das Gebäude nicht mehr in seine ursprüngliche Lage zurücksinken. (Abb. 158)

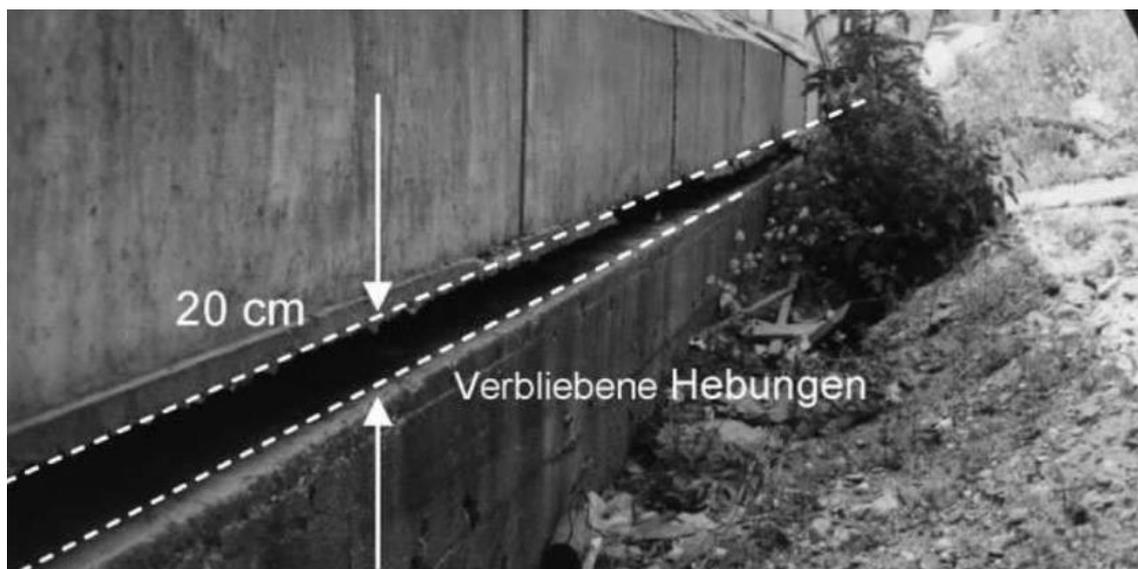


Abb. 158 Gehobener Zustand nach dem Absinken des aufgeschwommenen Objektes (Ruckenbrod & Schlüter, 2005)

Folglich verformte sich die Bodenplatte aufgrund des unebenen Untergrundes und brach an gewissen Stellen (Abb. 159, 2 & 5). Neben der starken Verformung der Bodenplatte, kam es auch zu Durchstanzen an den steifen Treppenhauköpfen sowie Abrissen in den Decken (Abb. 159, 1). Wo die Scheibenwirkung der Wände unterbrochen war, traten vereinzelt schwere Schäden auf (Abb. 159, 3). Einige Wände zeigten starke Verformungen sowie horizontale Biegerisse auf (Abb. 159, 4).

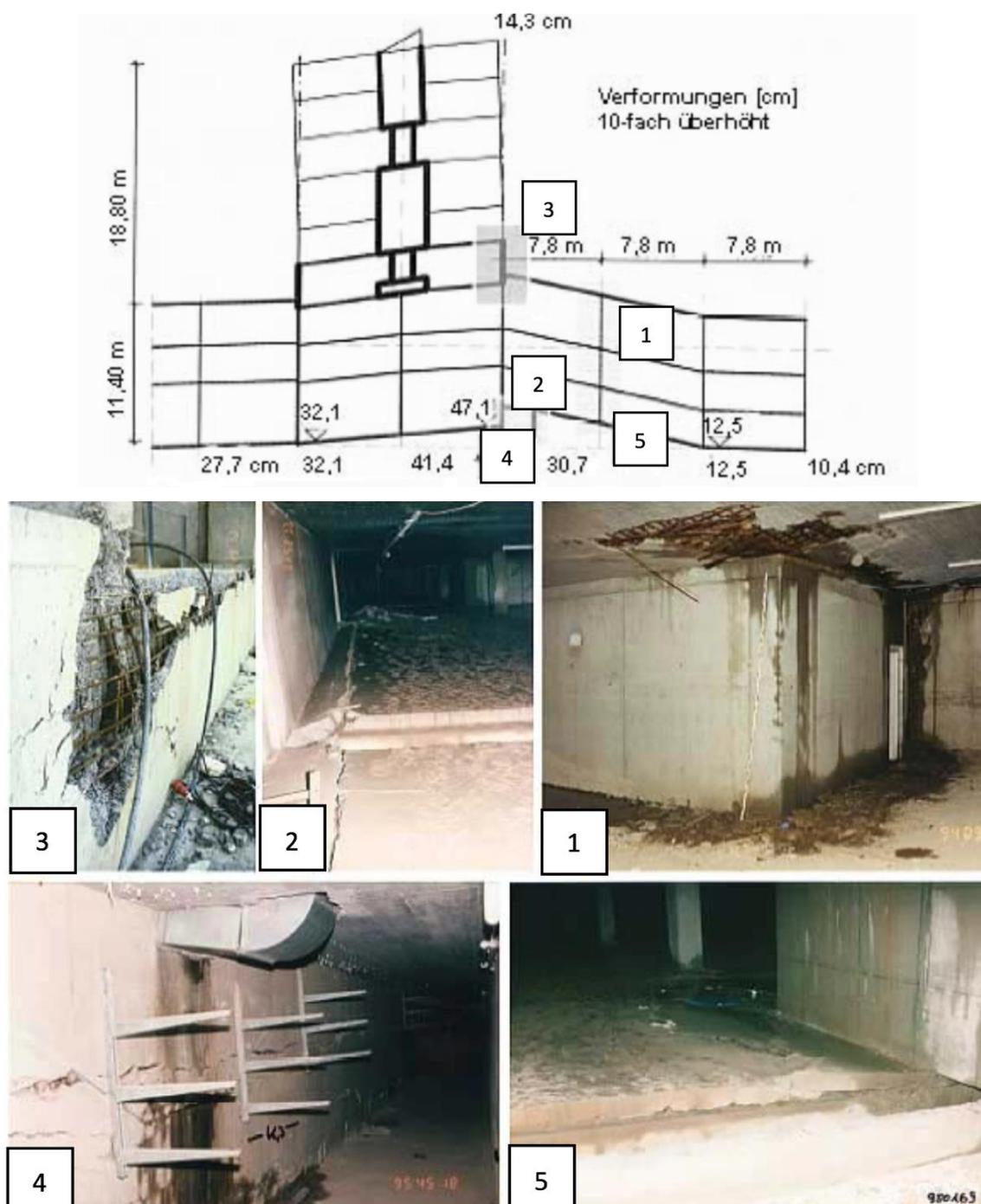


Abb. 159 Bild oben: Schematische Darstellung der Verformungen; Bilder 1-5: Darstellung der Schäden nach dem Versagen (Ruckenbrod & Schlüter, 2005)

Die beschädigte Bodenplatte wurde nach dem Schadensereignis mithilfe von Videoendoskopie untersucht. Abplatzungen mit freiliegender Bewehrung waren unter anderem die Folgen der ungleichmäßigen Setzung nach dem Aufschwimmen. (Abb. 160)



Abb. 160 Untersuchung der Bodenplatte via Videoendoskopie (Ruckenbrod & Schlüter, 2005)

Das in der Abschlussbauphase befindliche Gebäude das während dem Bau dem Hochwasser zum Opfer fiel, konnte nach Renovierungsarbeiten erst 3 Jahre später fertiggestellt werden. (Ruckenbrod & Schlüter, 2005)

### **Auftriebsschaden in einer Tiefgarage**

Besonders bei Konstruktionen mit mehreren Untergeschossen, wo ein hoher Grundwasserspiegel vorherrscht, sollte nicht nur der Abdichtung, z. B. als Weiße Wanne ausgeführt, Beachtung geschenkt werden, sondern auch der Auftriebskraft. Diese sollte zudem lokal berücksichtigt werden. Nicht nur das Gesamtgewicht des Bauwerkes, das der Auftriebskraft entgegenwirkt ist bei der Berechnung maßgebend, sondern auch die lokalen Kräfte, welche auf die Bodenplatte wirken. Bei Nichtbeachtung dieser lokalen Größen, kann es zu ungeplanten Verformungen, Rissen und Wasseraustritt kommen. Wie im Eurocode EN1997-1:2014;2.4.2 9(P) angeführt: „Einwirkungen, bei denen die Kräfte des Grundwassers und des offenen Wassers vorherrschen, müssen im Hinblick auf Verformungen, Rissbildungen, Veränderung der Durchlässigkeit und Erosion besonders beachtet werden.“ (Meichsner, 2015)

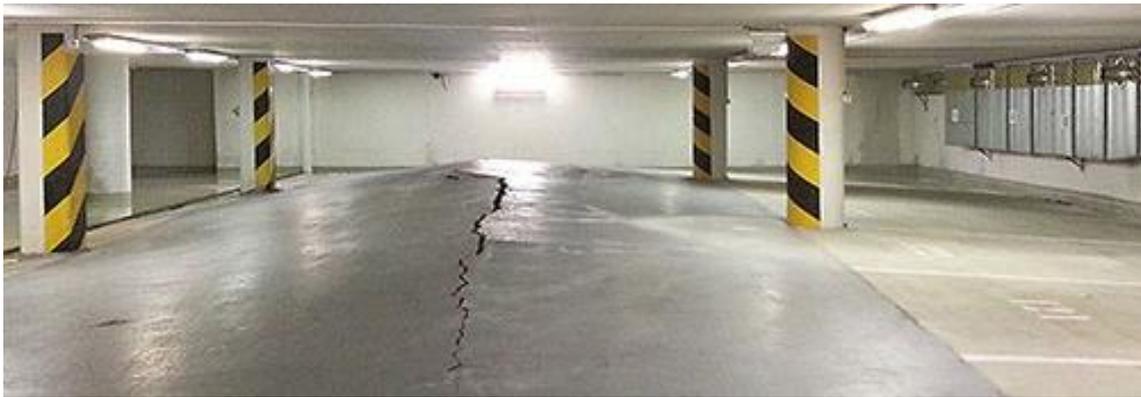


Abb. 161 Verformung der Bodenplatte durch Aufschwimmen in einer Tiefgarage (Meichsner, 2015)

Kommt es zu auffälligen Rissen in Bodenplatten, so können die Rissbewegungen mittels Fissurometer oder Rissmonitor dokumentiert werden. Zusätzlich sollte die Grundwassersituation durch geeignete Messverfahren, die in der Arbeit von Frau Winkler beschrieben werden, unter Beobachtung stehen.

### Schäden infolge von Erschütterungen

Durch nachbarliche Baugrundsicherung können z.B. durch das Einrütteln einer Spundwand oder die Herstellung einer Rüttelstopf- oder Rütteldrucksäule an benachbarten Bauwerken Schäden entstehen. Dabei wird Energie in den Baugrund eingeleitet und breitet sich über Erschütterungswellen in das benachbarte Grundstück und somit das benachbarte Bauwerk aus. Für Risschäden infolge von Erschütterung gibt es keine typischen Rissverläufe. (Dialer, 2016)

Im folgenden Beispiel traten Schäden an einem Gebäude, als auch an Garagen zufolge von Spundwandarbeiten am benachbarten Grundstück auf. (Abb. 162 Linkes Bild) Risse konnten an der Gebäudefassade wahrgenommen werden. (Abb. 162 Rechtes Bild)

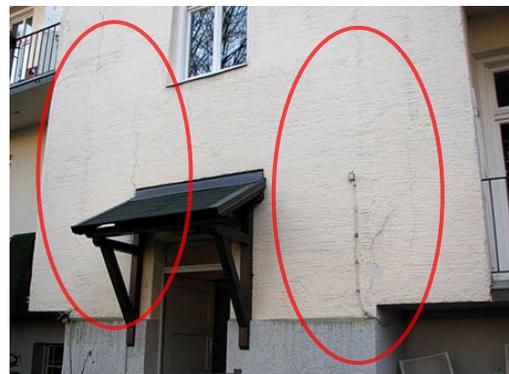


Abb. 162 Linkes Bild: Spundwandarbeiten am benachbarten Grundstück; Rechtes Bild: Risschäden in der Gebäudefassade (Dialer, 2016)

Aufgrund der Erschütterungen breiteten sich die Risse am ganzen Bauwerk aus. Ein Türsturz versagte und musste gestützt werden. (Abb. 163 Linkes Bild) Dabei unterschieden sich die Rissbilder voneinander in der Form um Rissbreite.



Abb. 163 Linkes Bild: Großer Risschaden an einem Türsturz; Rechtes Bild: Risse mit geringer Rissbreite an Innenwand (Dialer, 2016)

An den Außenwänden einer Garage traten Risse mit großen Rissbreiten auf wobei sich die Risse in vertikaler und horizontaler Richtung ausbreiteten. Aufgrund von Trennrissen kam es zu teilweisen Verformungen der Mauerwerkswände.

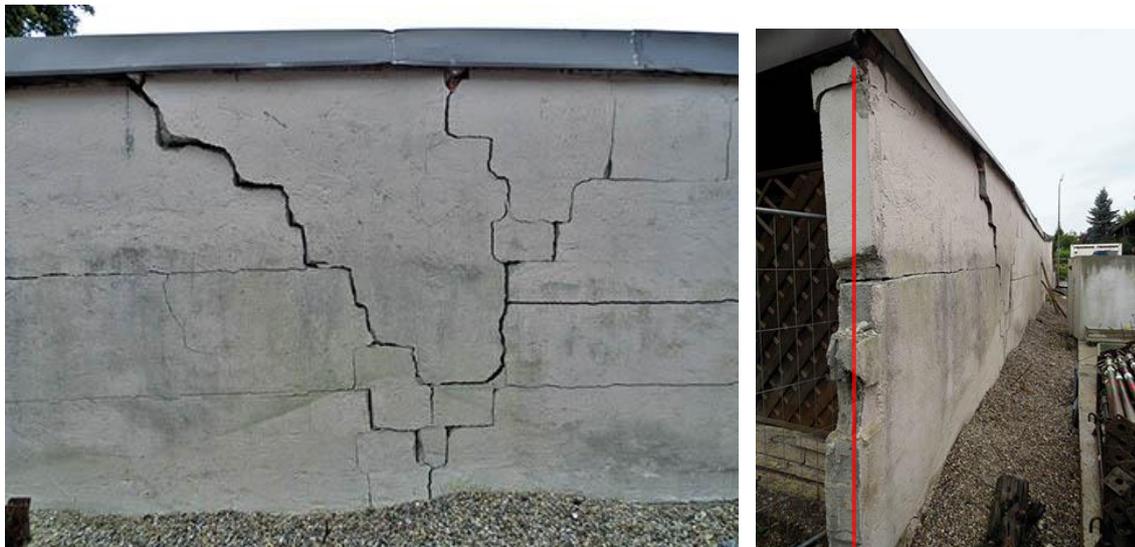


Abb. 164 Risschäden in einer Mauerwerkswand aufgrund von Erschütterung (Dialer, 2016)

## 5.2.2 Schäden an Stützbauwerken

### Stützmauerversagen in Baltimore

Im April 2014 versagte in Baltimore die Stützmauer zwischen einer bewohnten Straße und einer Zugtrasse nach einem Starkregeneignis (Abb. 165, Abb. 166).



Abb. 165 Nach dem Einsturz, Stützmauerversagen in Baltimore<sup>102</sup>



Abb. 166 Blick von der Zugtrasse aus, Stützmauerversagen in Baltimore<sup>103</sup>

Das Versagen kündigte sich bereits Jahre im Vorhinein durch Risse und Aufwölbungen im Gehsteig, sowie der angrenzenden Straße an. Zudem wurde eine Änderung des

---

<sup>102</sup>

[http://news.nationalgeographic.com/content/dam/news/photos/000/793/79300.ngsversion.1422285093966\\_adapt.1190.1.jpg](http://news.nationalgeographic.com/content/dam/news/photos/000/793/79300.ngsversion.1422285093966_adapt.1190.1.jpg), abgerufen am 15.2.2017

<sup>103</sup>

[http://www.geoengineer.org/media/k2/items/cache/3bd383cdf9446912a35458166e99234d\\_XL.jpg](http://www.geoengineer.org/media/k2/items/cache/3bd383cdf9446912a35458166e99234d_XL.jpg), abgerufen am 15.2.2017

Gefälles bei einer Straße nahe der Stützmauer beobachtet. Abb. 167 stellt den Zustand der Stützmauer und Umgebung vor dem Versagen dar. Im Vergleich zeigt das obere Bild aus dem Jahre 2009 noch keine Risserscheinung, während die untere Aufnahme von 2011 bereits klare Risschäden in der Fahrbahn als auch im Gehweg entlang der Stützmauer anzeigt.

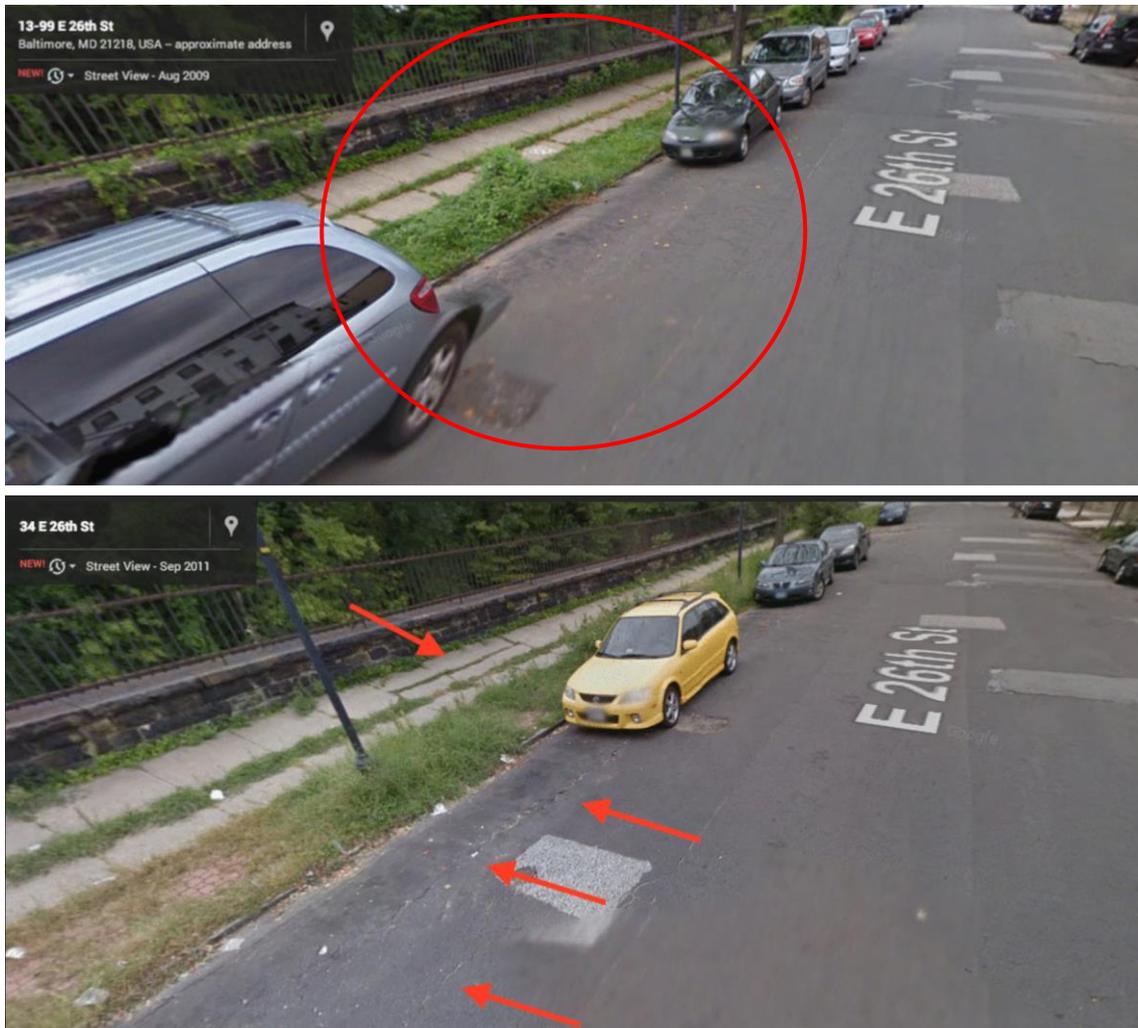


Abb. 167 Bild oben: August 2009, Straße und Gehweg weisen keine Auffälligen Risse auf; Bild unten: September 2011, Straße und Gehweg weisen auffällige Risse und Verformungen auf<sup>104</sup>

Die Steinmauer aus dem Jahr 1890, sowie die umliegenden Absperrungen wiesen einen schlechten erodierten Zustand vor. Aufnahmen der Straße und Stützmauer vor dem Kollaps aus den Jahren zuvor, zeigen auffällige Risse im Asphalt parallel zur Stützmauer. Diese waren eine Folge der sich langsam verformenden Stützwand. Da sich das Versagen der Stützmauer bereits Jahre vorher ankündigte, hätte ein rechtzeitiges

<sup>104</sup> <http://gizmodo.com/signs-of-an-impending-landslide-1570965514>

Handeln den Einsturz und die Gefährdung des Zugverkehrs sowie der dort parkenden Einwohner verhindern werden können. Der eingestürzte Bereich wurde unmittelbar nach dem Versagen durch eine Trägerbohlwand gesichert. (Shen & Reutter 2014)

Als Monitoringmethode hätte man die Neigung der Stützmauer sowie die sich ausbreitenden Risse beobachten und dokumentieren können.

### **Rutschung einer Winkelstützmauer**

Um einen Hang zu sichern, wurde eine 5 Meter hohe Winkelstützmauer errichtet. Der Bereich oberhalb der Winkelstützmauer diente als ebener Garten für Neubauten, die Winkelstützmauer wurde dabei auf Kies gegründet. Ein Starkregenereignis nach einer langen Trockenperiode führte zu einer Rutschung der Stützmauer. Im Fußbereich versetzte sich das Bauwerk um 8 bis 10 m Hangabwärts. Der Stahlbetonkörper blieb dabei voll intakt. (Abb. 168)



Abb. 168 Rutschversagen einer Winkelstützmauer (Hilmer, 2006)

Hauptursache für das Eintreten des Schadenfalls war eine mangelhafte Untersuchung des Untergrundes. Wie im folgenden Bild gut zu erkennen ist, befand sich der Kies auf dem die Winkelstützmauer gegründet wurde, unmittelbar auf einer wassersperrenden Schicht aus Filzmergel, einer tonhaltigen Sedimentschicht die erst in tiefen Lagen fest wird. Des Weiteren wurde aufgrund der Neubausituation bis zur Fertigstellung der Kanalisation das Regenwasser von der Straße unter der Stützmauer abgeführt und auch die Dächer der Neubauten über den Untergrund entwässert. Untersuchungen des Bodenmaterials aus dem Rutschbereich ergaben eine Rutschfestigkeit vom

aufgeweichten Schluff und Ton von  $7^\circ$  bei einer Anfangsfestigkeit von  $21^\circ$ . Aufgrund des Starkregenereignisses versagte dann der Boden in seiner Standsicherheit unter der Stützmauer, was schließlich zu der Rutschung geführt hat. Aufgrund der instabilen Lage wurde sofort eine verankerte Elementwand unter den Häusern errichtet, später wurde dies durch ein neues Brüstungsmauerwerk ersetzt bzw. ein benachbarter Hang mit Faschinen gesichert. (Abb. 169) (Hilmer, 2006) Das Stützbauwerk hätte auf eventuelle Neigungsänderung und Setzungen vor dem Versagen untersucht werden können.

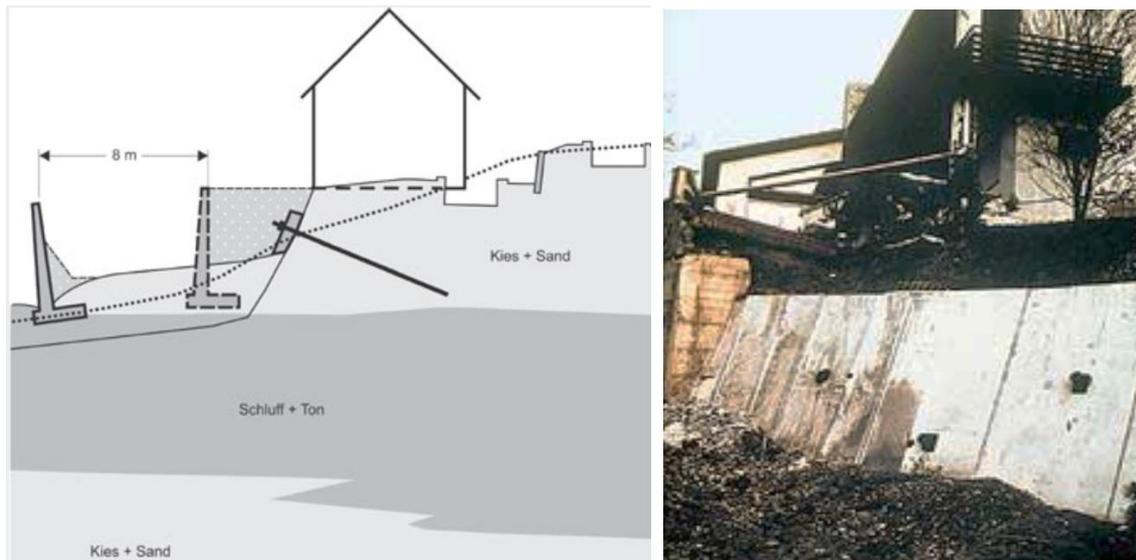


Abb. 169 Linkes Bild: Darstellung der Untergrundsituation im Rutschbereich; Rechtes Bild: temporäre Stützung durch eine verankerte Elementenwand nach dem Schadensereignis (Hilmer, 2006)

### 5.2.3 Schäden an Brücken

#### Erosion bei Brücken

Starke Niederschläge und große Abflussmengen durch die Schneeschmelze im Frühjahr verursachten eine Bodenerosion und unterspülten ganze Brückenfundamente wie in Abb. 170 und Abb. 171. dargestellt. Als Folge daraus, kann ein Verlust der Stützwirkung resultieren woraus Verformungen und Risse an der Konstruktion entstehen können.



Abb. 170 Von Bodenerosion betroffene Brückenkehre, rote Pfeile zeigen die Position der Pfeiler an (Ramsauer Straße, Schladming, 2017)



Abb. 171 Ein unterspültes Brückenpfeilerfundament (Ramsauer Straße, Schladming, 2017)

Eine Gefahr des Unterspülens besteht besonders bei Brückenwiderlagern, welche sich in unmittelbarer Nähe zu Fließgewässern befinden. (Abb. 172)



Abb. 172 Schiefstellung eines unterspülten Widerlagers aufgrund von Hochwässern<sup>105</sup>

<sup>105</sup> [http://www.bregenzerwaldbahn-frueher-heute.at/430\\_Die\\_Bruecken\\_neu.htm](http://www.bregenzerwaldbahn-frueher-heute.at/430_Die_Bruecken_neu.htm), abgerufen am 26.06.2017

### 5.2.4 Fundamentversagen bei Brücken

Infolge von schweren Niederschlägen, kam es zu einem Versagen der Gründung eines Pfeilers wie im folgenden Beispiel (Abb. 173). Durch das Versagen der Pfeiler und der ausgefallenen Stützung verformte sich die Brücke stark, was zur Überbeanspruchung der Tragkonstruktion führte. (Abb. 174).



Abb. 173 Versagen einer Brückenkonstruktion durch Ausfall eines Pfeilers<sup>106</sup>

<sup>106</sup> <http://www.sanluisobispo.com/news/local/article135046339.html>, abgerufen am 06.04.2017



Abb. 174 Schwerer Schaden an einem Brückentragwerk<sup>107</sup>

<sup>107</sup> <http://www.sanluisobispo.com/news/local/article135046339.html>, abgerufen am 06.04.2017

## 6 Schadensbilder zur Überwachung von Massenbewegungen

### 6.1 Einleitung

Das nachfolgende Kapitel wurde gemeinsam mit Herrn Marte, Herrn Rebhan sowie Frau Winkler verfasst und soll den Lückenschluss zwischen geotechnischen und konstruktiven Schadensbildern liefern. Ziel dieses Kapitels ist es, auf die Nutzung von geotechnischen und konstruktiven Schadensbildern als einfache, rasche und kostengünstige Ergänzung für das Monitoring zur Überwachung von Massenbewegungen, oder als Grundlage für die Planung eines Monitorings einzugehen. Dabei sollen anhand von Beispielen die Grenzen und Anwendungsmöglichkeiten einer derartigen interdisziplinären Aufgabe dargestellt und ausgearbeitet werden.

Bauwerke und Kunstbauten, welche sich auf Böschungen oder im näheren Umfeld dieser befinden, können Auswirkungen auf die Hangstabilität haben und Bodenbewegungen wie Hangkriechen, Hangfließen oder Rutschungen verursachen, zu welchen es ohne deren Konstruktion möglicherweise nicht kommen würde. In umgekehrter Weise führen Hangbewegungen zu Verformungen im Untergrund, welche über die Foundation direkt in das Bauwerk weitergeleitet werden und in weiterer Folge Schäden an diesen verursachen können.

Schäden infolge einer Hangbewegung müssen nicht sofort im gesamten Einflussgebiet bemerkbar sein. So kann es sein, dass zunächst nur Schadensbilder an Bauwerken zu erkennen sind, denen erst später geotechnisch sichtbare Veränderungen im Gelände wie z. B. Anrisskanten oder Buckelbildung folgen. In umgekehrter Weise können sich Bewegungen im Hang zu Beginn auch nur durch „geotechnische Auffälligkeiten“ und erst in weiterer Folge an den Konstruktionen selbst zeigen. Um Schadensbilder als mögliche Erkennungs- und Überwachungsmittel von Massenbewegungen nutzen zu können, ist es erforderlich, das gesamte Umfeld zu betrachten und den Zusammenhang zwischen geotechnischen und konstruktiven Schäden zu verstehen. Zur Überwachung von Hangbewegungen zählen sowohl die Aufnahme von Schäden im Gelände, als auch an Bauwerken. Erst die Berücksichtigung der Gesamtheit aller Schadensbilder und deren Gegenüberstellung lässt auf die Bewegungen im Hang schließen, wodurch mögliche Fehlanalysen oder Missinterpretationen vermieden werden können. Nicht jeder Hang mit einer unruhigen Morphologie indiziert eine Bewegung im Untergrund und nicht jedes Gebäude mit Schäden nahe eines Hanges gilt als sofortiges Anzeichen einer Massenbewegung. Es ist somit i.A. erforderlich eine Vielzahl an unterschiedlichen

Schadensmerkmalen aufzunehmen und diese gegenüberzustellen. Erst die Kombination geotechnischer und konstruktiver Schadensbilder gibt Aufschluss, ob es tatsächlich Hangbewegungen gibt oder ob die Schäden durch andere Ursachen ausgelöst wurden. Handelt es sich um Bewegungen im Untergrund, bietet die Überwachung der Schadensbilderentwicklung von Bauwerken über die Zeit eine gute ergänzende Monitoringmethode, um die Bewegungen im Hang kostengünstig zu erfassen und entsprechende Sicherungsmaßnahmen rechtzeitig umzusetzen. Der Einsatz eines Monitorings liefert zwar mehr oder weniger eindeutige Ergebnisse über den Zustand der Hangaktivität, aus Kostengründen wird deren Anwendung aber oftmals nur auf einen begrenzten Zeitraum ausgelegt. Da bei Massenbewegungen jedoch nie sicher gesagt werden kann, wann es erneut zu einer Erhöhung der Bewegungsrate kommt oder sich ein inaktiver Hang wieder in Bewegung setzt, ist eine Begrenzung des Überwachungszeitraums oftmals schwierig festzulegen. Wird anhand der Schadensbilder erkannt, dass ein komplexeres Überwachungssystem erforderlich ist, so liefern die Schadensbilder im Vorhinein eine gute Möglichkeit, um die Notwendigkeit eines Monitorings abzuschätzen. Ziel der Verknüpfung unterschiedlichster Schadensmerkmale ist es, die Entwicklung von Schäden und die Bewegungsaktivität eines Hanges umfangreicher und eventuell kostengünstiger beobachten zu können. Zwar ist diese Methode keinesfalls mit aufwändigen Monitoringlösungen vergleichbar, jedoch bietet sie für viele Fälle, vor allem in ländlichen, kaum besiedelten Gebieten, eventuell eine ausreichende bzw. in den meisten Fällen eine ergänzende Möglichkeit der Erfassung und Überwachung von Massenbewegungen.

Im folgenden Kapitel werden drei Beispiele von Hangbewegungen behandelt, anhand derer die kombinierte Betrachtungsweise von geotechnischen und konstruktiven Schäden für Monitoringzwecke diskutiert wird. Mithilfe der Schadensbilder und einfacher Messgeräte wird die Entwicklung der Ausdehnung und die Bewegungsrate der Massenbewegung, sowie der Aktivitätszustand bestimmt. Um die Darstellung möglicher Schadensbilder zu erleichtern, werden in den Beispielen Fotos realer Ereignissen verwendet. Diese sollen jedoch lediglich der Darstellung und Visualisierung der Schadensbilder bzw. Schadensmerkmale dienen.

## 6.2 Beispiel 1

### 6.2.1 Beschreibung der Situation

Dieses Beispiel stellt einen Hang dar, an dessen Krone sich zwei Gebäude befinden. Am Böschungsfuß verläuft eine Stützmauer und eine Straße. Über den Hang verteilt herrscht aufgelockerter Baumbewuchs. Außerdem verläuft eine Stromleitung mit mehreren Masten entlang der Böschung. (Abb. 175)



Abb. 175 Übersicht Hangsituation

### 6.2.2 Ausdehnung der Massenbewegung

Die Ausdehnung der Bewegungszone lässt sich anhand der Schadensbilder feststellen. Die im Umfeld einer Massenbewegung über längere Zeit entstandenen geotechnischen als auch konstruktiven Schäden können Rückschluss über die Ausdehnung einer Massenbewegung geben. Kommen über die Jahre in der weiteren Umgebung neue Schadensbilder hinzu, so kann davon ausgegangen werden, dass sich der Bereich der Massenbewegung ausgedehnt hat.

Das folgende Beispiel stellt Schadenssituationen zu zwei Zeitpunkten dar. Zunächst wird die Erstaufnahme einer Massenbewegung mit Schadensbildern präsentiert und anschließend jene einer Folgeuntersuchung.

### Erstaufnahme des Hanges

Abb. 176 stellt die Hangsituation zum Zeitpunkt der Erstaufnahme mit den unterschiedlichen geotechnischen und konstruktiven Schadensbildern dar. Der rot strichlierte Bereich umfasst eine mögliche Bewegungszone des Hanges. Die einzelnen Schadensbilder werden in Abb. 177 bis Abb. 181 in größerer Form dargestellt und durch eine kurze Beschreibung ergänzt.

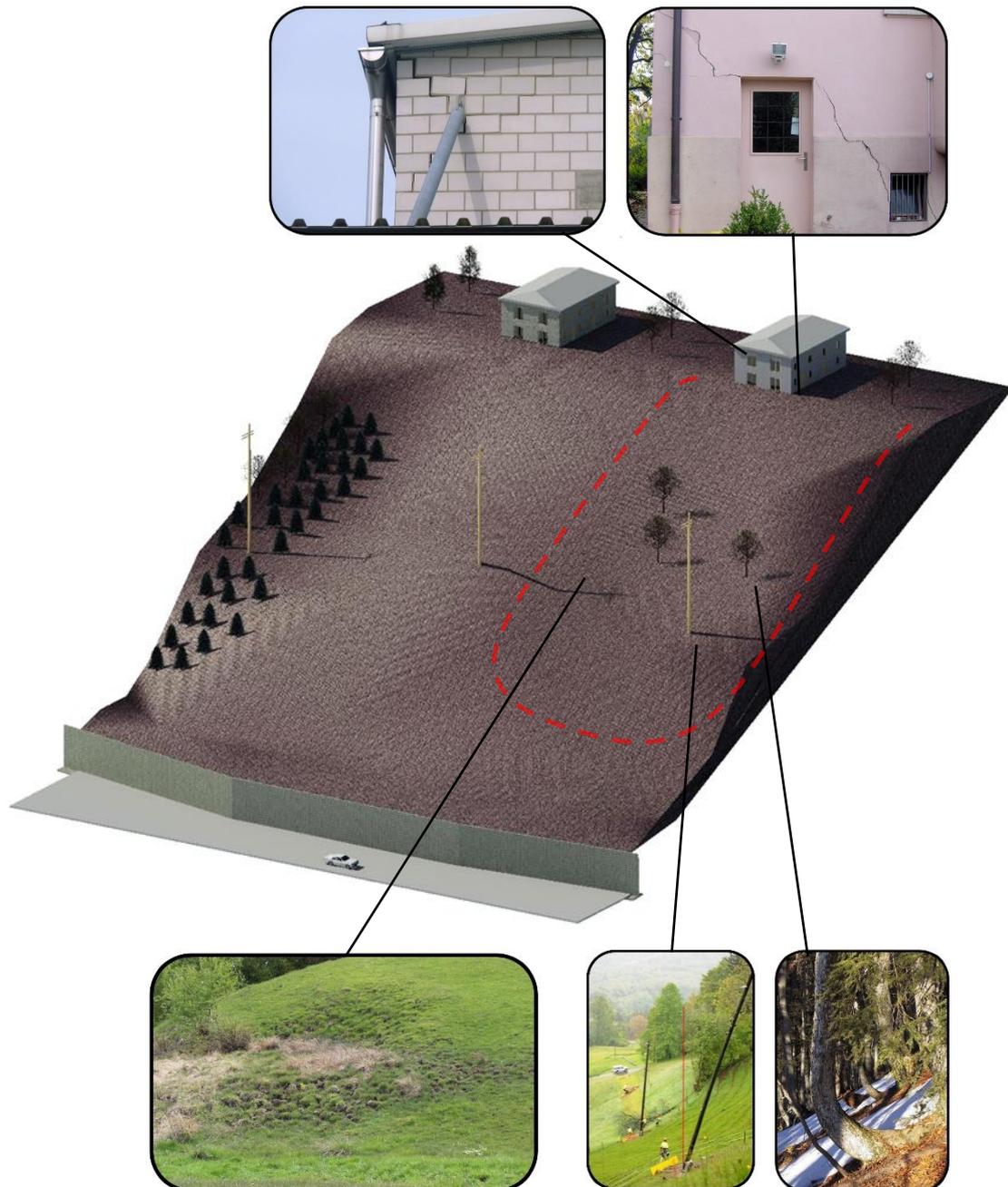


Abb. 176 Übersicht der Hangsituation mit den Schadensbildern zum Zeitpunkt der Erstaufnahme

In Abb. 177 ist ersichtlich, dass sich das abgebildete Gebäude nach links neigt. Infolge dieser Neigungsänderung entstehen Risse. Charakteristisch für Verformungen an Bauwerken ist die große Rissbreite.



Abb. 177 Risschäden mit großer Rissbreite an einem Gebäude<sup>108</sup>

Abb. 178 zeigt Verformungen bzw. Mauerwerksrisse im Bereich der Fugen unter der Dachkonstruktion, welche infolge einer Auflagersenkung entstehen können.



Abb. 178 Risschäden im Mauerwerk infolge von Verformungen<sup>109</sup>

<sup>108</sup> <http://www.soiltec.ch/setzungsschaeden-wie-weiter.html> aufgerufen am 27.05.2017

<sup>109</sup> <http://www.soiltec.ch/setzungsschaeden-wie-weiter.html> aufgerufen am 27.05.2017

Bei der Erstaufnahme wurden Schäden an Strommasten bemerkt. Wenn Versorgungsleitungen, wie in Abb. 179 Strommasten, im Einflussbereich einer Massenbewegung stehen, können diese übermäßige Verdrehungen bzw. Verschiebungen aufweisen. Die Stromleitung kann aufgrund der Lageänderung überspannt bzw. durchhängend sein.



Abb. 179 Verdrehung von Strommasten<sup>110</sup>

Eine unruhige Hangmorphologie kann durch die Bewegung des Hanges ausgelöst werden. Um diese Anzeichen als Indiz für Hangbewegungen nutzen zu können, ist sicherzustellen, dass diese Schäden am Gelände nicht durch andere Einflüsse wie z. B. Viehtrieb verursacht wurden (Abb. 180).

<sup>110</sup> Abb. links: <http://www.luzernerzeitung.ch/nachrichten/zentralschweiz/obwalden/EWO-verlegt-nach-Hangrutsch-Stromleitung;art95,263908> aufgerufen am 25.04.2017

Abb. rechts: [http://159.213.57.103/geoweb/scheda\\_frane/imm\\_frane.htm](http://159.213.57.103/geoweb/scheda_frane/imm_frane.htm) aufgerufen am 28.06.2017



Abb. 180 Unruhige Hangmorphologie (Villach, 2017)

Durch langjährige Kriechbewegungen in bewaldeten Gebiet kann Säbelwuchs an Bäumen beobachtet werden (Abb. 181). Weisen auffällig viele Bäume im Bereich eines möglichen Kriechhanges diese Wuchsform auf, so kann davon ausgegangen werden, dass diese durch langsame Bewegung des Untergrundes verursacht wurden. Bei der Erstaufnahme konnte an einigen Bäumen eine säbelartige Wachstumsform erkannt werden.



Abb. 181 Säbelwuchs<sup>111</sup>

<sup>111</sup> Abb. links: <http://www.sagen.at/fotos/data/506/medium/Saebelwuchs.jpg>, abgerufen am 01.05.2017

Abb. rechts: [http://www.bayerwaldwandern.de/sonstiges/treffokt05\\_17.jpg](http://www.bayerwaldwandern.de/sonstiges/treffokt05_17.jpg), abgerufen am 01.05.2017

### **Folgeuntersuchung des Hanges**

Abb. 182 stellt die Hangsituation im Zuge einer Folgeuntersuchung mit den unterschiedlichen geotechnischen und konstruktiven Schadensbildern dar. Der rot strichlierte Bereich stellt jenen Bereich der Massenbewegung dar, welcher als Ausgangslage für die weiteren Untersuchungen herangezogen wurde.

Die Ausdehnung der Kriechbewegung ist daran zu erkennen, dass im Zuge der Folgeuntersuchung auch Schäden am zweiten Gebäude an der Hangkrone erkennbar wurden, weiters ist ein zweiter Strommast von Verformungen betroffen, einige Stützmauerblöcke zeigen leichte Neigungsänderungen und der Bereich der Buckelbildung am Hang hat sich im Vergleich zur Erstaufnahme vergrößert. Mithilfe dieser Schadensbilder ist es möglich den aktuellen Bewegungsbereich (gelb strichlierter Bereich) abzuschätzen und die Ausdehnung im Vergleich zur Erstaufnahme zu ermitteln.

Das Schadensbild der Stützmauerverdrehung ist in Abb. 183 in größerer Form dargestellt. Für die übrigen Schadensbilder wird auf Abb. 177 bis Abb. 181 der Erstaufnahme verwiesen, wobei sich diese im Laufe der Jahre durch die Weiterentwicklung der Bewegung verändert haben. Die Risse des ersten Hauses weiteten sich weiter aus und die Rissbreite nahm zu. Die Verdrehungen des Strommasten erhöhten sich und die Buckelbildung weitete sich im Gelände aus.

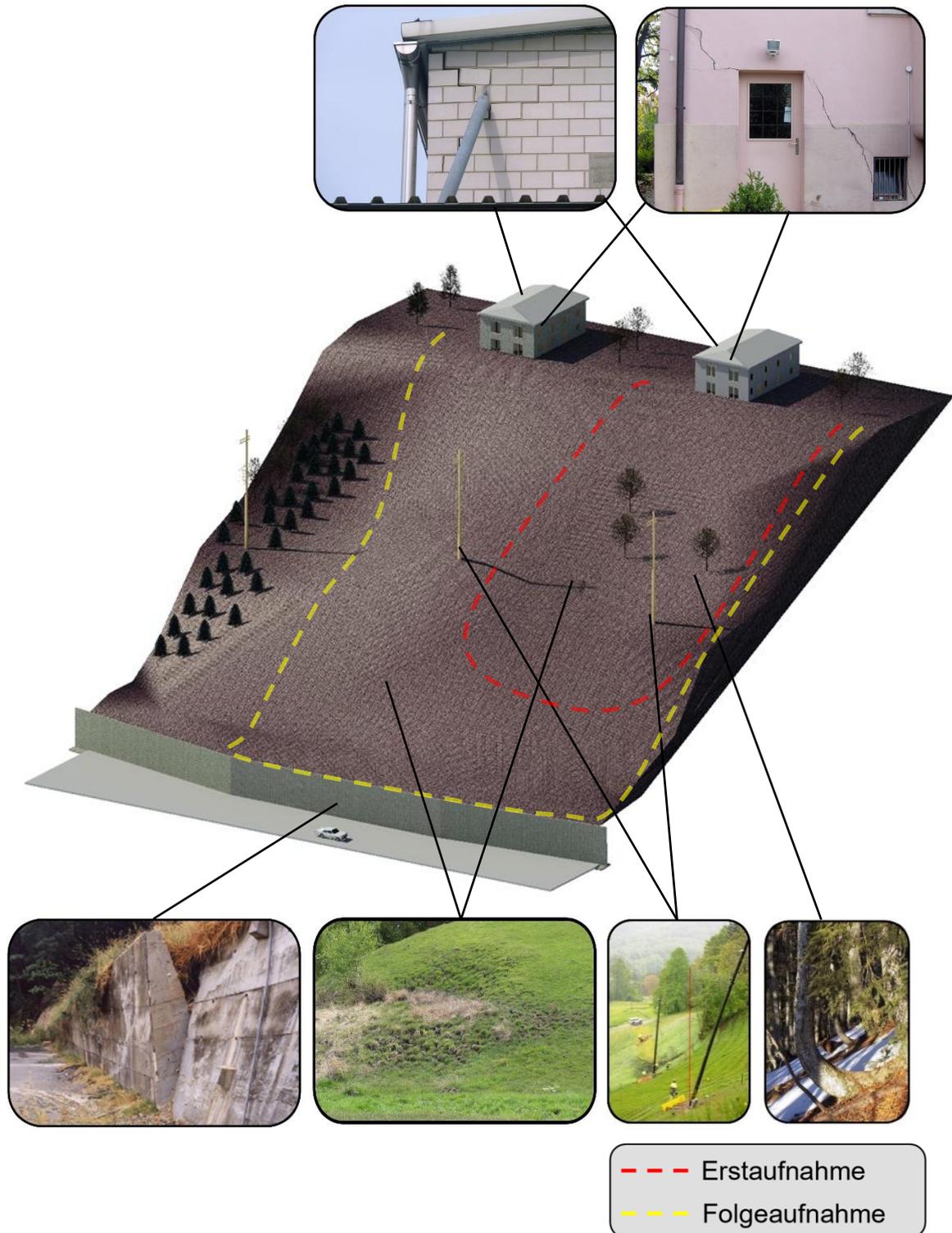


Abb. 182 Übersicht der Hangsituation mit entstandenen Schadensbildern im Zuge der Folgeuntersuchung. Die rote Strichlinie stellt die Bewegungszone zum Zeitpunkt der Erstaufnahme dar. Die aktuelle Bewegungszone ist durch den gelb strichlierten Bereich dargestellt.

Durch den erhöhten Erddruck eines Kriechhanges kann es zu Neigungsänderungen bei Stützbauwerken kommen, ohne dass diese komplett versagen. Bei angrenzenden Fahrbahnen können demzufolge Verwerfungen im Asphalt auftreten. Zu Beginn befinden sich diese nur im Millimeter bis niedrigem Zentimeter-Bereich. Abb. 183 zeigt eine bereits stark fortgeschrittene Neigungsänderung bei welcher sich das Bauwerk über längere Zeit verdreht hat. Bewuchs in den Rissen des Asphalts deutet darauf hin, dass die Schäden schon vor längerer Zeit entstanden sind.



Abb. 183 Neigungsänderung einzelner Stützmauerblöcke<sup>112</sup>

### 6.2.3 Bewegungsrate der Massenbewegung

Die Geschwindigkeit, mit welcher sich ein Hang fortbewegt, lässt sich mithilfe einfacher Messgeräte bestimmen. Generell werden Bewegungen im Untergrund mit geotechnischen Instrumenten, wie z.B. Inclinometermessungen, ermittelt. Diese sind jedoch i.A. mit großem Aufwand und hohen Kosten verbunden. Eine einfachere Möglichkeit bietet die Beobachtung konstruktiver sowie geotechnischer Schadensbilder an der Oberfläche. Durch die Veränderung der Schäden über einen längeren Zeitraum kann unter Umständen auf die Bewegungsrate geschlossen werden.

---

112

[https://www.researchgate.net/publication/268590571\\_Seismically\\_Induced\\_Lateral\\_Earth\\_Pres-sures\\_on\\_Retaining\\_Structures\\_and\\_Basement\\_Walls](https://www.researchgate.net/publication/268590571_Seismically_Induced_Lateral_Earth_Pres-sures_on_Retaining_Structures_and_Basement_Walls) aufgerufen am 27.05.2017

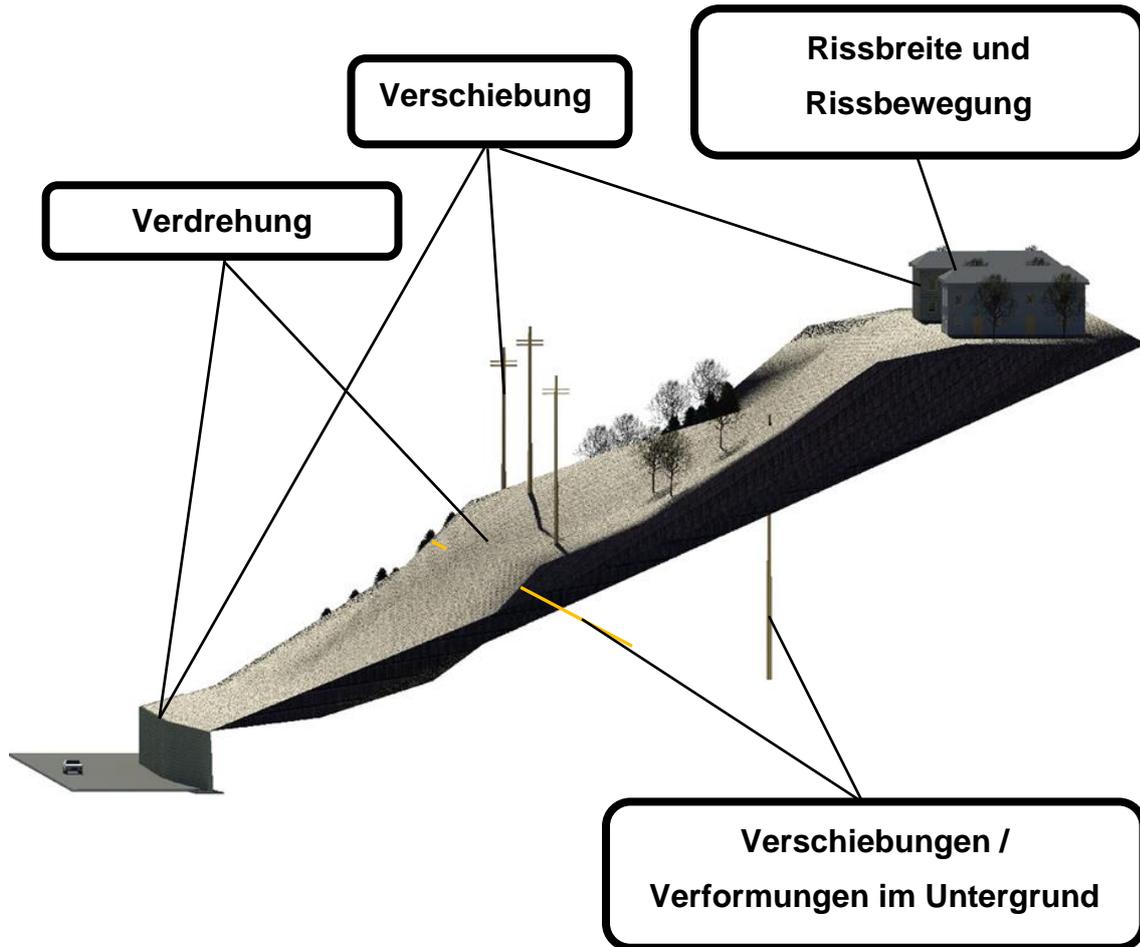


Abb. 184 Überblick des Kriechhanges mit verschiedenen Messgrößen zur Ermittlung der Bewegungsrate

Abb. 184 stellt den Hang mit möglichen Messgrößen dar, welche erfasst werden können, um die Bewegungsrate des Hanges zu bestimmen. Da zu Beginn der Messungen noch nicht bekannt ist, um welche Schadensursache es sich handelt, wird empfohlen aus Kostengründen zuerst einfache Überwachungsmethoden wie Risslineal, Gipsmarker, Wasserwaage, Drahtextensometer und dergleichen anzuwenden. Werden Veränderungen festgestellt und reichen die angewandten Methoden nicht mehr aus, so muss eine aufwändigere Messtechnik eingesetzt werden. Die zu ermittelnden Messgrößen und die dazu erforderlichen Messinstrumente werden im Folgenden eingehender beschrieben.

Tab. 8 Beispiele für Messgrößen und jeweilige Messinstrumente

<b>Rissbreiten und Rissbewegungen</b>	
 <p>Abb. 185 Gipsmarker<sup>113</sup></p>	<p>Einfache Messmethoden zu Beginn: Risslineal, Gipsmarker, Rissmonitor</p> <p>Genauere Messmethoden: Fissurometer, Setzdehnungsmesser</p>
<b>Verschiebungen von Bauwerken</b>	
 <p>Abb. 186 Prisma<sup>114</sup> Abb. 187 Totalstation<sup>115</sup></p>	<p>Einfache Messmethoden zu Beginn: an das Bauwerk angebrachte Messpunkte (Prisma), welche mittels Totalstation periodisch überwacht werden können</p> <p>Genauere Messmethoden: Satellitenmessungen durch GNSS oder Laserscanning</p>
<b>Verdrehungen</b>	
 <p>Abb. 188 Wasserwaage<sup>116</sup></p>	<p>Einfache Messmethode zu Beginn: Wasserwaage, Pendel, Schlauchwaage</p> <p>Genauere Messmethoden: elektronische Neigungssensoren, Laserscanner</p>
<b>Verschiebungen und Verformungen im Untergrund</b>	
 <p>Abb. 189 Inklinometer<sup>117</sup></p>	<p>Oberflächliche Messmethoden: gespannte Drahtextensometer, Schlauchwaage, Konvergenzmessgerät, Vermessung geodätischer Messpunkte mit Totalstation</p> <p>Messmethoden für tieferliegende Bodenschichten: Stangenextensometer, Inklinometer, TDR</p>

<sup>113</sup> <http://www.baulinks.de/webplugin/2012/0645.php4>, abgerufen am 13.06.2017

<sup>114</sup> <http://www.vinzai.com/blog/85-leica-builder-series-total-stations>, abgerufen am 13.06.2017

<sup>115</sup> <http://www.pictaram.club/share/BRcsKPhhZGA>, abgerufen am 27.05.2017

<sup>116</sup> <http://messfreunde.de/stabila-wasserwaage-type-196-2-m-electronic-ip65-magnet-neigungsmesser-183-cm-4005069177072-17707.html>, abgerufen am 13.06.2017

<sup>117</sup>

[https://www.lfu.bayern.de/geologie/massenbewegungen/hangbewegungen/pic/985696\\_gr.jpg](https://www.lfu.bayern.de/geologie/massenbewegungen/hangbewegungen/pic/985696_gr.jpg), abgerufen am 13.06.2017

### 6.2.4 Aktive / inaktive Bewegung

Sind bei einer Hangbewegung über einen längeren Zeitraum (ca. 1 Jahr) keine Bewegungen erkennbar, wird laut Multilingual Landslide Glossary (1993) von einer inaktiven Bewegung gesprochen. Mit den im vorigen Abschnitt (Bewegungsrate) angeführten Messsystemen kann die Bewegungsrate ermittelt werden. Bei der Bestimmung der Hangaktivität müssen saisonale Veränderungen wie Frost-Tau-Wechsel Perioden oder niederschlagsreiche Monate berücksichtigt werden, da diese häufig die Ursache von Bewegungen sind oder zu einer Erhöhung der Bewegungsrate führen. Es ist jedoch zu beachten, dass jede inaktive Bewegung zu einem späteren Zeitpunkt erneut in Bewegung treten kann.

## 6.3 Beispiel 2

### 6.3.1 Beschreibung der Situation

Im unteren Bereich des Hanges von Beispiel 2 verläuft eine Eisenbahnstrecke, welche von einer Straßenbrücke gequert wird. Die Brücke ist auf vier Pfeilern und zwei Brückenwiderlagern gelagert. Im Hang selbst befindet sich ein Weidezaun sowie eine Stromleitung mit einigen Masten.

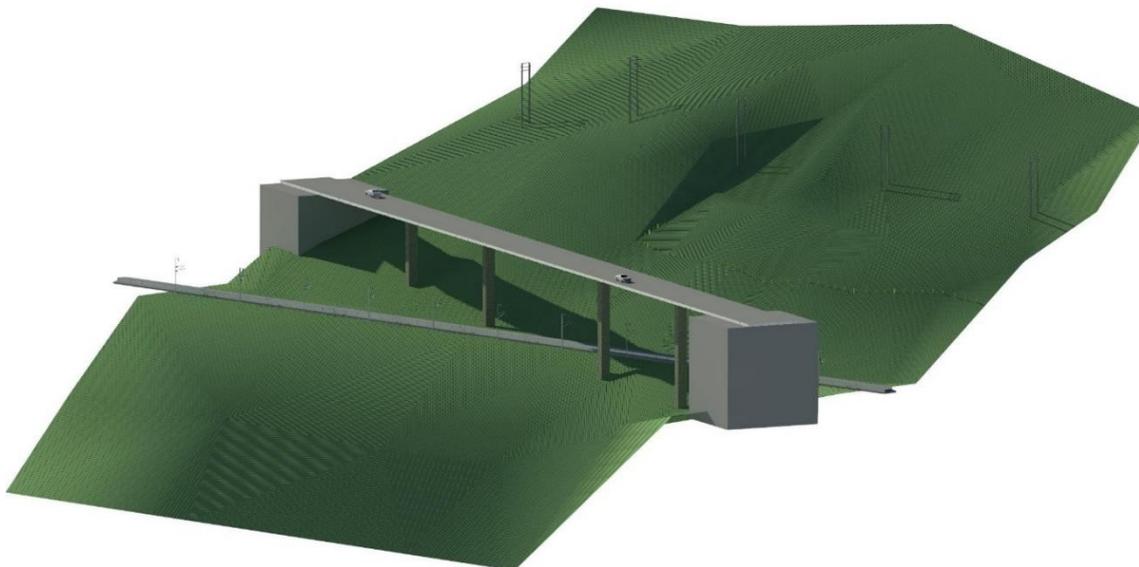


Abb. 190 Übersicht Hangsituation

### 6.3.2 Ausdehnung der Massenbewegung

Wie in Beispiel 1 werden auch in diesem Fall die unterschiedlichen Schadensbilder, welche am Hang und den umliegenden Konstruktionen auftreten können angeführt, und zur Abschätzung der Ausdehnung der Massenbewegung herangezogen.

Das folgende Beispiel stellt die Erstaufnahme einer Schadenssituation und eine Folgeuntersuchung der Massenbewegung zu einem späteren Zeitpunkt dar.

### Erstaufnahme des Hanges

Abb. 191 illustriert den Hang zum Zeitpunkt der Erstaufnahme mit den vorgefundenen geotechnischen und konstruktiven Schadensbildern. Der rot strichlierte Bereich stellt eine mögliche Bewegungszone des Hanges dar. Die einzelnen Schadensbilder werden in Abb. 192 bis Abb. 198 in größerer Form dargestellt und kurz beschrieben.

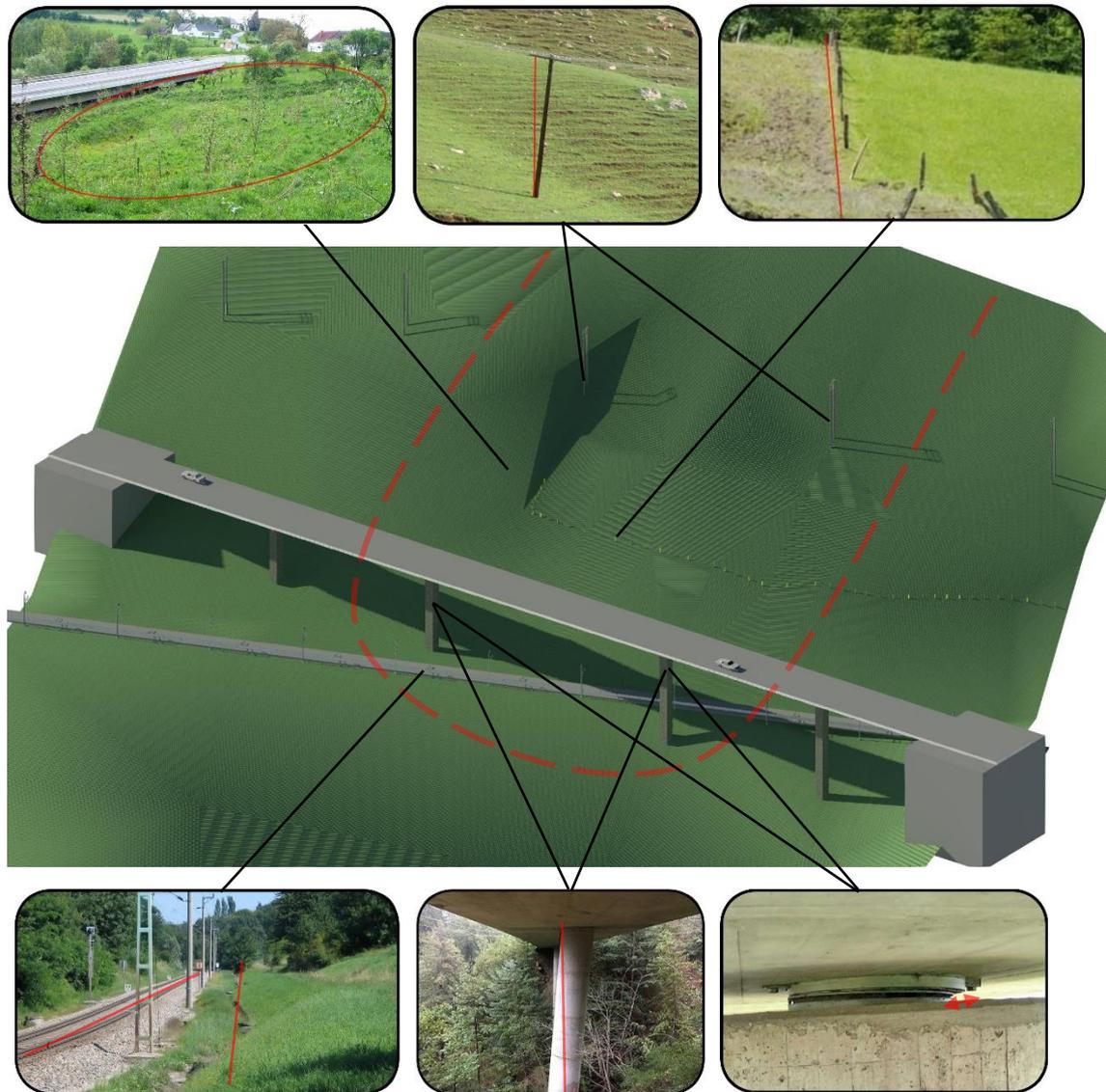


Abb. 191 Übersicht der Hangsituation mit den ersichtlichen Schadensbildern zum Zeitpunkt der Erstaufnahme

Verdrehungen von Strommasten wurden im Zuge der Erstaufnahme festgestellt und dokumentiert. Abb. 192 zeigt die Neigungsänderung eines Masten, welche sich anfänglich durch eine durchhängende bzw. zu stark gespannte Stromleitung bemerkbar macht.



Abb. 192 Verdrehungen des Strommasten, sowie Bodenunebenheiten und erste Anrisskanten erkennbar <sup>118</sup>

Des Weiteren sind zum Zeitpunkt der Erstaufnahme verschobene und verdrehte Zaunstempel bemerkbar. Diese können Hinweis auf mögliche Bewegungen im Untergrund liefern. Ist ein Zaun in einem gewissen Abschnitt verdreht und im übrigen Bereich unbeschädigt, so kann dadurch auf die Grenze der Bewegung rückgeschlossen werden. Abb. 193 illustriert einen Zaun, bei welchem einige Elemente durch eine mögliche Kriechbewegung verdreht sind.



Abb. 193 Verdrehungen der Zaunstempel (Gasperl, Tartarotti, 2014)

Abb. 194 zeigt aufgenommene Schäden am Bahngleis. Bei aktiven Bahnstrecken ist es eher unwahrscheinlich, dass Verformungen sichtbar werden, da bereits bei kleinsten Abweichungen der erforderlichen Gleislage der Oberbau saniert wird. Aufgrund der Entgleisungsgefahr haben Gleise einen sehr geringen Toleranzbereich für zulässige

<sup>118</sup> [http://159.213.57.103/geoweb/scheda\\_frane/imm\\_frane.htm](http://159.213.57.103/geoweb/scheda_frane/imm_frane.htm), abgerufen am 08.06.2017

Verformungen. Sind in gewissen Abschnitten häufig Sanierungsarbeiten erforderlich, kann dies ein Indiz für mögliche Untergrundbewegungen sein. Abb. 194 zeigt eine Gleisanlage, bei welcher trotz regelmäßiger Sanierungen durch einen angrenzenden Kriechhang erkennbare Hebungen und ein Versatz der Gleislage entstanden sind. Die Auswirkungen der Kriechbewegungen sind an dem parallel zum Gleis verlaufenden Drainagegraben noch deutlicher erkennbar, welcher ursprünglich geradlinig eingebaut wurde und erst durch die kriechenden Untergrundbewegungen den am Bild erkennbaren kurvigen Verlauf erhalten hat.



Abb. 194 Zuggleis angrenzend an einen Kriechhang mit erkennbaren Schäden (Leopold, 2012)

Weiters wurden bei der Erstaufnahme Schadensbilder an den Brückenpfeilern aufgenommen. Abb. 195 zeigt einen Versatz des Pfeilerfundamentes. Infolge der Verdrehung des Pfeilers kam es zu Rissen im Stützbereich. Fällt die Stützung eines Tragwerks aus, kann es zu großen Verformungen und Biegerissen kommen, wie in Abb. 196 ersichtlich.



Abb. 195 Linkes Bild: Verschiebung eines Brückenpfeilers; Rechtes Bild: Risschäden im Stützbereich<sup>119</sup>



Abb. 196 Biegerisse am Tragwerk aufgrund des Ausfalls der Stützwirkung<sup>120</sup>

An Brückenpfeilern mit biegesteifen Stützenanschlüssen an das Tragwerk, welche sich im Einflussbereich eines Kriechhanges befinden (im Fallbeispiel die zwei mittleren Stützen), können durch Verschiebungen Risse entstehen. Ist die Brücke auf den Pfeilern verschieblich gelagert, so können Verschiebungen in den Auflagern festgestellt werden. Durch die Anzahl der betroffenen Stützen ist es möglich, den Ausdehnungsbereich der Massenbewegung abzuschätzen.

<sup>119</sup> <http://www.sanluisobispo.com/news/local/community/cambrian/article134263244.html>, abgerufen am 13.06.2017

<sup>120</sup> <http://www.sanluisobispo.com/news/local/community/cambrian/article134263244.html>, abgerufen am 13.06.2017



Abb. 197 Auflagerverschiebungen an den Stützen der Brücke zufolge möglicher Kriechbewegungen<sup>121</sup>

Im Zuge der Erstaufnahme ist eine unebene Morphologie des Hanges ersichtlich, wie in Abb. 198 dargestellt.



Abb. 198 Unebene Hangmorphologie verursacht durch mögliche Kriechbewegungen im Untergrund (Leopold, 2012)

<sup>121</sup> <http://www.ingenieurkaelin.ch/kompetenzen/untersuchungen/>, abgerufen am 08.06.2017

### Folgeuntersuchung des Hanges

Abb. 199 stellt die Hangsituation zum Zeitpunkt der Folgeuntersuchung mit den unterschiedlichen geotechnischen und konstruktiven Schadensbildern dar. Der rot strichlierte Bereich stellt jenen Bereich der Massenbewegung dar, welcher als Ausgangslage für die weiteren Untersuchungen herangezogen wird.

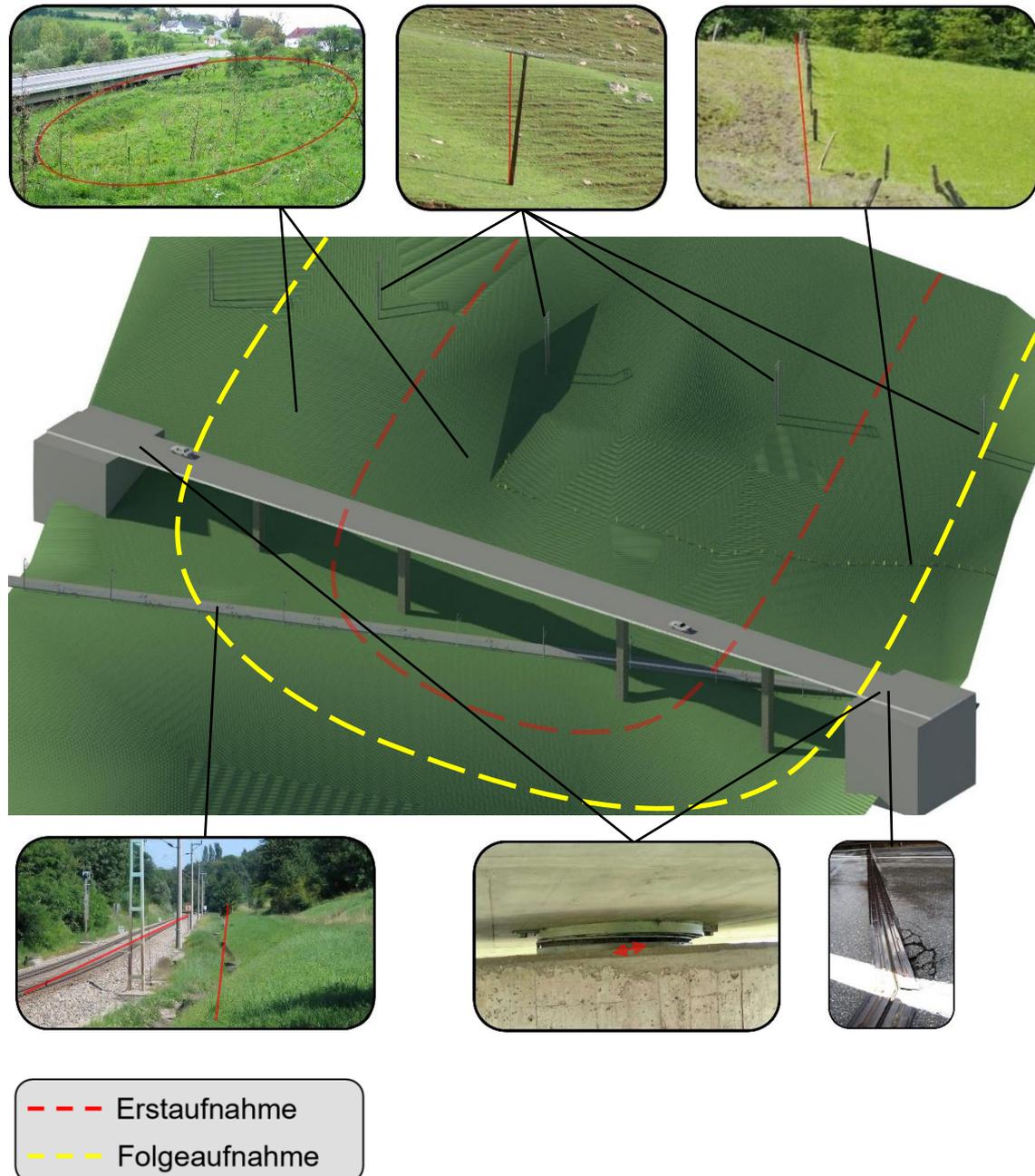


Abb. 199 Übersicht der Hangsituation mit entstandenen Schadensbildern im Zuge der Folgeuntersuchung. Der rot strichlierte Bereich stellt die Bewegungszone zum Zeitpunkt der Erstaufnahme dar. Die aktuelle Bewegungszone ist durch den gelb strichlierten Bereich dargestellt.

Die Ausdehnung der Kriechbewegung ist daran zu erkennen, dass zu diesem Zeitpunkt nun auch Verdrehungen an zwei weiteren Strommasten erkennbar sind. Des Weiteren kam es zu Verschiebungen zusätzlicher Zaunstempel, der Bereich der Buckelbildung vergrößerte sich und der Bereich des Gleises, welcher von Versatz betroffen war, dehnte sich im Vergleich zur Erstaufnahme aus. Die Lagerverschiebungen an den beiden mittleren Pfeilern, welche zur Erstaufnahme von den Bewegungen betroffen waren, verringerte sich. Grund dafür ist, dass nun die gesamte Brücke in der Massenbewegung liegt und alle Pfeiler gemeinsam mit der Bewegungsmasse mit verschoben werden, ohne dass es zu weiteren größeren Schäden an den Pfeilern oder Auflagerbereichen kommt. Jedoch weisen die Auflager in den Widerlagern nun starke Verschiebungen auf. An der Fahrbahnübergangskonstruktion zwischen Brücke und angrenzender Straße entstehen demzufolge Risse und Verwerfungen. Mithilfe der erwähnten Schadensbilder ist es möglich den aktuellen Bewegungsbereich (gelb strichlierte Bereich) abzuschätzen und die Ausdehnung im Vergleich zur Erstaufnahme zu ermitteln.

Das Schadensbild der Fahrbahnübergangskonstruktion ist in Abb. 200 in größerer Form dargestellt. Für die übrigen Schadensbilder wird auf Abb. 192 bis Abb. 198 der Erstaufnahme verwiesen, wobei sich diese im Laufe der Zeit durch die Weiterentwicklung der Bewegung veränderten und die Schäden verstärkt ausgeprägt und deutlicher erkennbar sind.



Abb. 200 Asphaltbrüche bzw. -risse an einer Fahrbahnübergangskonstruktion<sup>122123</sup>

---

122

<http://www.ewp.ch/core/cms/article.php?parmx=YXJ0JTNENTM0JTI2bGFuJTNERyUyNm5wJT NEMTA1NQ%3D%3D&par mz=4bb2a9f756f2883f898554c9fe2b92e7>, abgerufen am 12.06.2017

123

<https://www.springerprofessional.de/ingenieurbau/brueckenbau/wie-an-fugen-brueckenschaeden-entstehen/6558538>, abgerufen am 28.06.2017

### 6.3.3 Bewegungsrate der Massenbewegung

Gleich dem Beispiel 1 wird zur Ermittlung der Bewegungsrate wiederum die Möglichkeit der Verwendung einfacher Messmethoden angeführt. Abb. 201 zeigt eine Übersicht des Kriechhanges mit den unterschiedlichen Messgrößen, anhand derer auf die Bewegungsgeschwindigkeit im Hang rückgeschlossen werden kann.

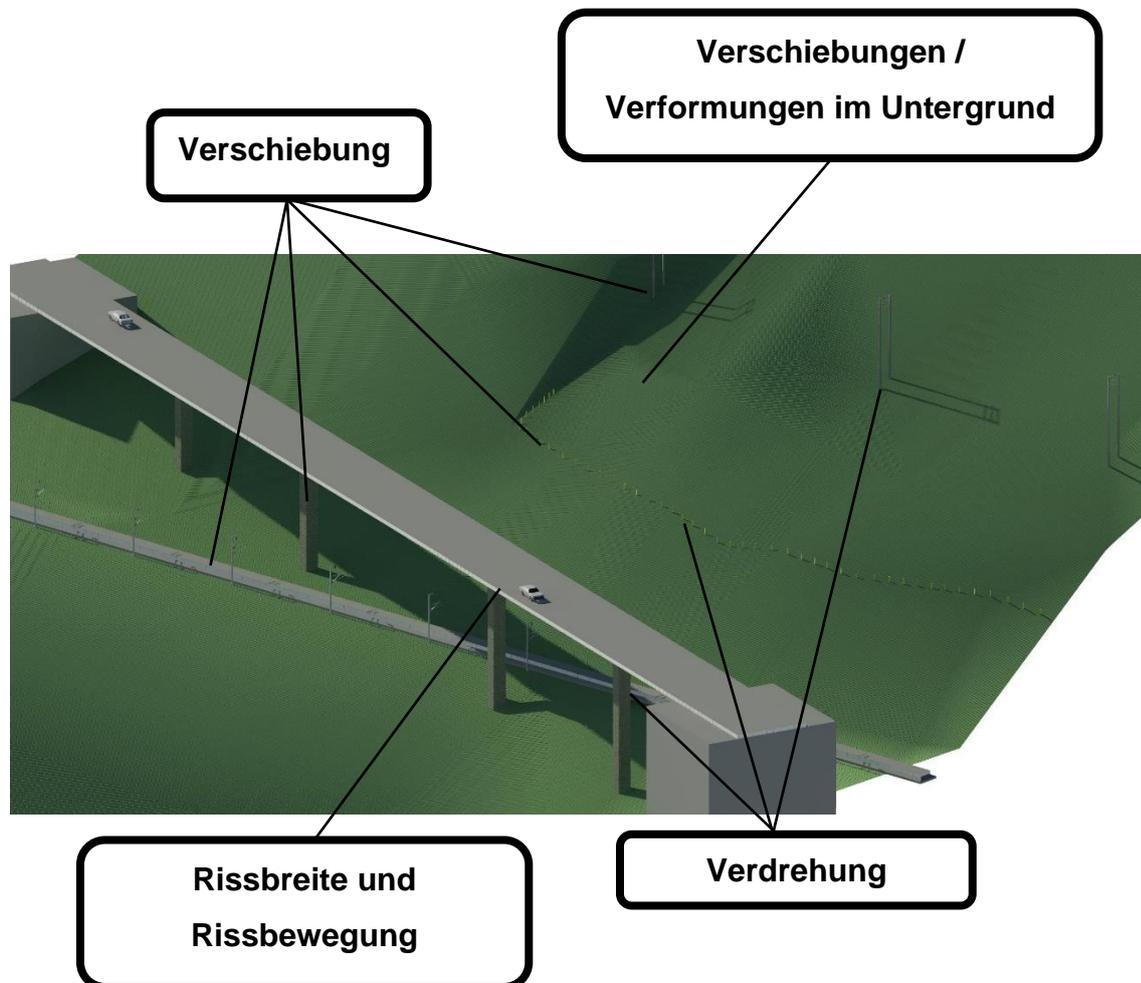


Abb. 201 Überblick des Kriechhanges mit verschiedenen Messgrößen zur Ermittlung der Bewegungsrate

Für eine genaue Beschreibung der einzelnen Messgrößen sowie der Messgeräte zur Ermittlung dieser, wird auf Tab. 8 (Kapitel 6.2.3 Beispiel 1) verwiesen. Vor allem Inklinometermessungen werden bei dieser Größenordnung von Bewegungen empfohlen. Zur Messung von Rissbewegungen an schwer erreichbaren Bauteilen (z.B. Brückenpfeiler) können elektronische Rissbreitenmesser eingesetzt werden. Veränderungen der Gleislage können mittels Schienenprüfzug detektiert werden.

## 6.4 Beispiel 3

### 6.4.1 Beschreibung der Situation

Dieses Beispiel umfasst den Talstationsbereich einer Skipiste, in welchem sich mehrere Gebäude (Liftgebäude, Parkhaus) mit einem danebenliegenden Parkplatz befinden. Wenig darüber, im Fußbereich der Piste, steht eine Skihütte. Neben der Piste verlaufen am Hang Liftstützen, Beschneiungsanlagen sowie einige Lichtmasten. Im Randbereich der Skipiste sind des Weiteren vereinzelt Bäume vorzufinden.

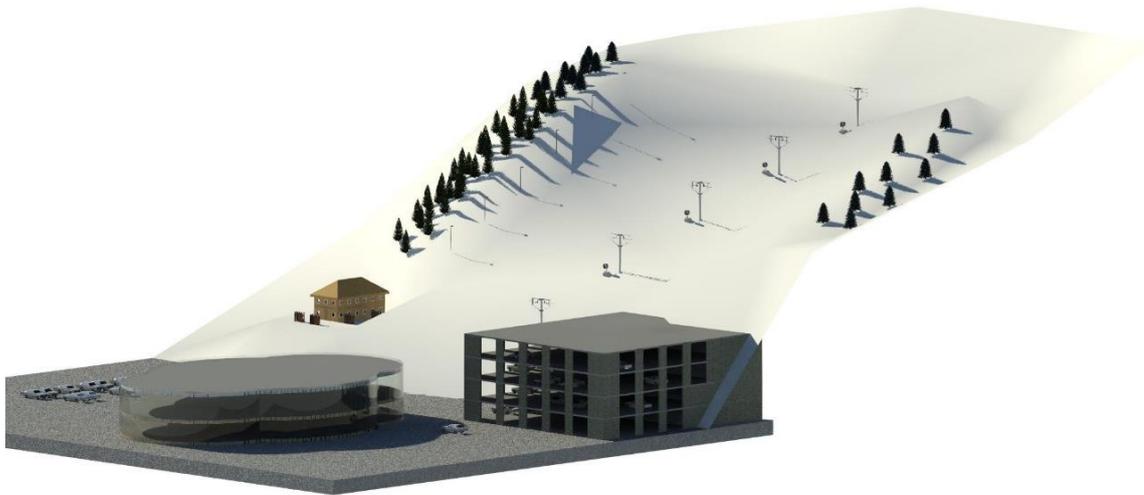


Abb. 202 Übersicht Hangsituation

### 6.4.2 Ausdehnung der Massenbewegung

Wie in den beiden vorhergehenden Beispielen werden auch in diesem Beispiel die unterschiedlichen Schadensbilder, welche am Hang und den umliegenden Konstruktionen auftreten können, angeführt und zur Abschätzung der Ausdehnung der Massenbewegung genutzt.

Das Beispiel stellt die Erstaufnahme einer Schadenssituation und eine Folgeuntersuchung der Massenbewegung zu einem späteren Zeitpunkt dar.

### Erstaufnahme des Hanges

Abb. 203 illustriert den Hang zum Zeitpunkt der Erstaufnahme mit den unterschiedlichen geotechnischen und konstruktiven Schadensbildern. Der rot strichlierte Bereich stellt eine mögliche Bewegungszone des Hanges dar. Die einzelnen Schadensbilder werden in Abb. 204 bis Abb. 206 in größerer Form dargestellt und kurz beschrieben.

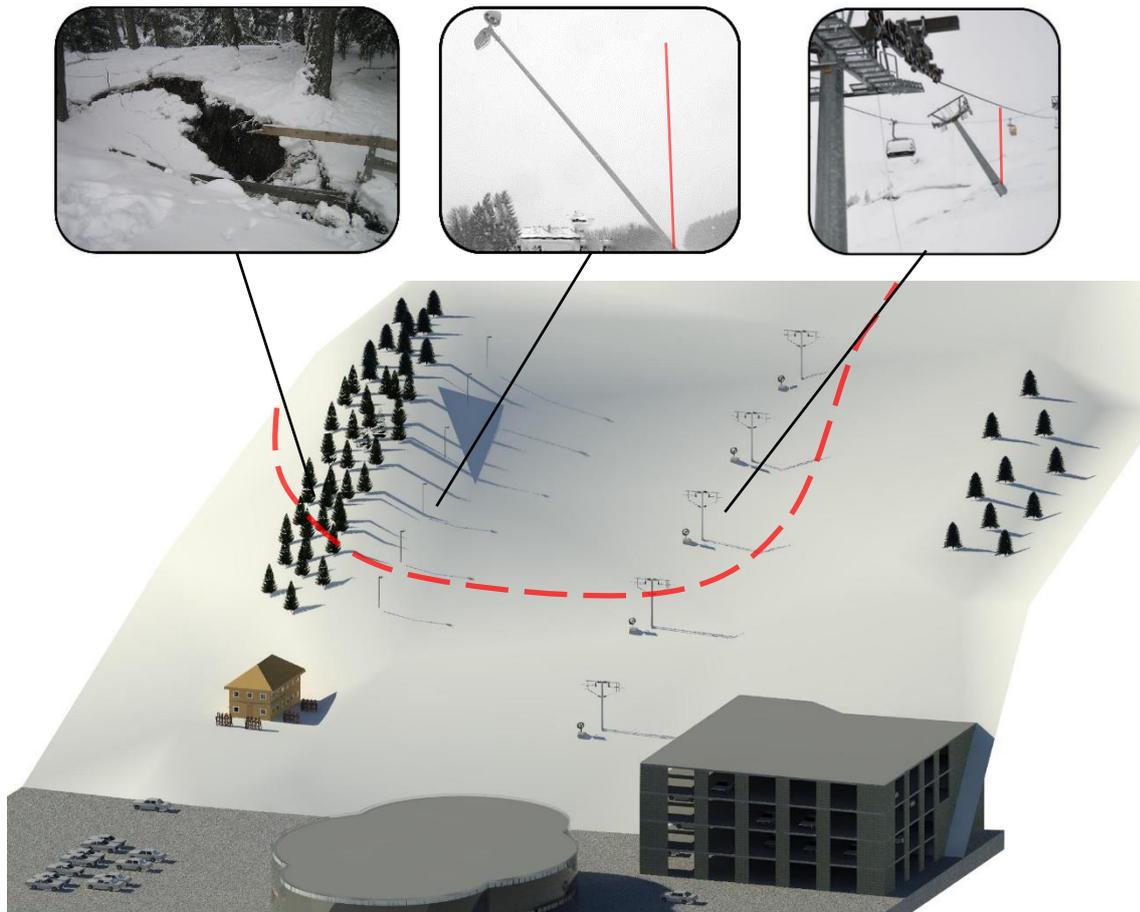


Abb. 203 Übersicht der Hangsituation mit ersichtlichen Schadenbildern zum Zeitpunkt der Erstaufnahme

Im Zuge der Erstaufnahme der Skipiste wurden Anrisskanten im Randbereich der Piste erkannt. Anrisskanten im Boden können durch Untergrundbewegungen verursacht werden und helfen in vielen Fällen den Übergangsbereich von bewegtem zum unbewegtem Untergrund zu detektieren. Der darüberliegende Bereich ist nicht von der Massenbewegung betroffen, der darunterliegende befindet sich im Einflussbereich. Somit ist die Lage der Anrisskante ein hilfreiches Mittel zur Abschätzung der Ausdehnung der Bewegung (Abb. 204 und Abb. 205).



Abb. 204 Anrisskante mit erkennbarem Geländeversatz<sup>124</sup>



Abb. 205 Anrisskante als Hinweis möglicher Hangbewegungen<sup>125</sup>

<sup>124</sup>

[http://www.provinz.bz.it/zivilschutz/service/news.asp?aktuelle..=&aktuelles\\_action=4&aktuelles\\_article\\_id=412174](http://www.provinz.bz.it/zivilschutz/service/news.asp?aktuelle..=&aktuelles_action=4&aktuelles_article_id=412174), abgerufen am 13.06.2017

<sup>125</sup> <http://www.planat.ch/de/wissen/rutschung-und-felssturz/erdrutsch/entstehung-er/>, abgerufen am 13.06.2017

Des Weiteren waren bei der Schadensaufnahme Verdrehungen an den Lichtmasten entlang der Skipiste erkennbar. Bewegungen im Untergrund können zu Verschiebungen und Verdrehungen der Lichtmasten führen, wie in Abb. 206 links dargestellt. Handelt es sich um Untergrundbewegungen, ergibt sich die Möglichkeit die Anzahl der betroffenen Masten zu nutzen, um Informationen über die Ausdehnung des Bewegungsbereichs zu erhalten.

Konstruktive Schadensbilder wurden außerdem an den Liftstützenfundamenten aufgenommen, welche möglicherweise auf Bewegungen im Hang zurückgehen. Befinden sich Stützen im Einflussbereich einer Massenbewegung, so kommt es zu differentiellen Setzungen und horizontalen Verschiebungen. Bei größeren Fundamenten können auch unter Umständen Risse entstehen. Aufgrund dessen kann es zu Neigungsänderungen der Stützen kommen. Abb. 206 rechts zeigt mögliche Schäden an Liftstützen.



Abb. 206 Linkes Bild: Verdrehter Lichtmast<sup>126</sup>; Rechtes Bild: Neigungsänderung einer einzelnen Liftstütze<sup>127</sup>

<sup>126</sup> <https://www.merkur.de/lokales/miesbach/miesbach/lichtmasten-kreisverkehr-gerammt-1026575.html>, abgerufen am 28.06.2017

<sup>127</sup> <http://www.luzernerzeitung.ch/nachrichten/zentralschweiz/obwalden/Schoenbueel-Mast-knickte-wegen-zuviel-Schnee;art95,259946>, abgerufen am 13.06.2017

### Folgeuntersuchung des Hanges

Abb. 207 stellt die Hangsituation mit den unterschiedlichen geotechnischen und konstruktiven Schadensbildern dar. Der rot dargestellte Bereich zeigt den Bereich der Massenbewegung, welcher als Ausgangslage für die weiteren Untersuchungen herangezogen wird.

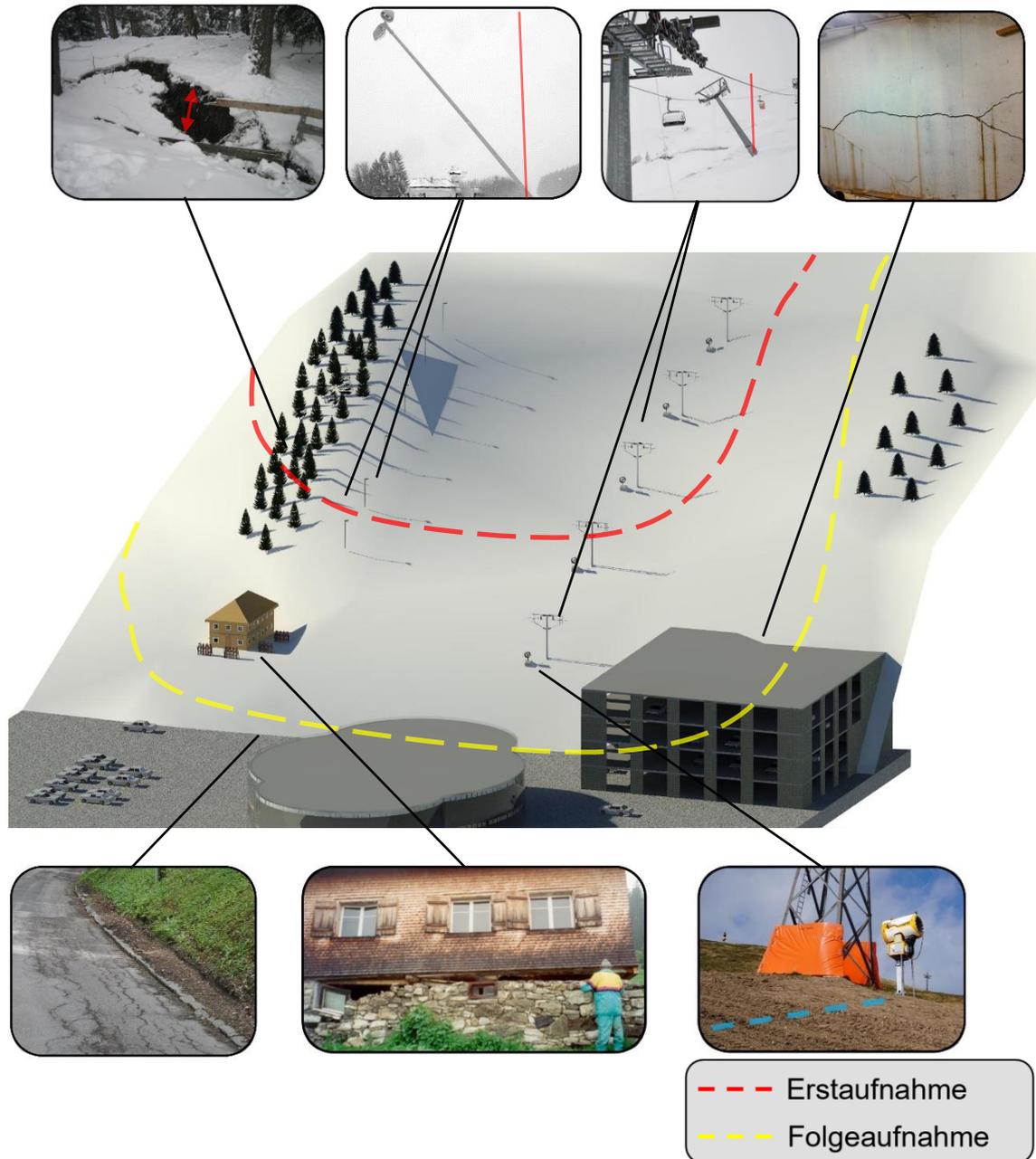


Abb. 207 Übersicht der Hangsituation mit entstandenen Schadensbildern im Zuge der Folgeuntersuchung. Der rot strichlierte Bereich stellt die Bewegungszone zum Zeitpunkt der Erstaufnahme dar. Die aktuelle Bewegungszone ist durch den gelb strichlierten Bereich dargestellt.

Die Ausdehnung der Kriechbewegung ist daran zu erkennen, dass sich zu diesem Zeitpunkt die bereits zuvor aufgetretenen Schäden verstärkten und ausweiteten, sowie zusätzlich neue Schadensbilder entstanden sind. Die Massenbewegung dehnte sich bis zum Fuß des Hanges aus und führte dadurch zur Entstehung von Schäden an der Skihütte, dem Parkplatz und dem Parkhaus. Die Anzahl der betroffenen Liftstützen und Lichtmasten erhöhte sich und die Anrisskante dehnte sich aus. Zusätzlich führte die Bewegung im Untergrund zu Schäden an den Wasserversorgungsleitungen der Beschneiungsanlage.

Durch die Ausdehnung der Bewegungszone sind zum Zeitpunkt der Folgeuntersuchung Schäden am Parkhaus erkennbar. In Abb. 208 ist ersichtlich, dass der einwirkende Erddruck zur Entstehung von Rissen am Gebäude führte.



Abb. 208 Risse am Parkhaus ausgelöst durch den erhöhten Kriechdruck, der auf das Gebäude einwirkt <sup>128</sup>

Das Schadensbild in Abb. 209 zeigt Verwerfungen im Asphalt des Parkplatzes, welcher an den Böschungsfuß angrenzt. Durch die kriechenden Bewegungen im Untergrund und die daraus resultierenden langsamen Verschiebungen der Bodenmasse, wirkt ein erhöhter Erddruck auf darunterliegende Konstruktionen ein.

<sup>128</sup> <http://www.hingeneering.com/hingeblog/foundation-crack-repair-in-concrete-basement-wall>, abgerufen am 13.06.2017



Abb. 209 Risse und Verwerfungen am Parkplatz angrenzend an die Skipiste<sup>129</sup>

Weitere konstruktive Schäden sind an der Skihütte erkennbar. Die Hütte ist aus Holz konstruiert und befindet sich auf einem Steinschichtungsunterbau. Durch Massenbewegungen kann es zu Verformungen von Holzkonstruktionen kommen, wie in Abb. 210 ersichtlich. Zusätzlich findet man in diesem Fall eine geschädigte Unterkonstruktion vor. Holzkonstruktionen sind aufgrund ihrer nachgiebigen Bauweise und der höheren Zugfestigkeit von Holz weniger anfällig für Risse und können sich im Vergleich zu Konstruktionen aus mineralischen Baustoffen stärker verformen.



Abb. 210 Verformungen an der Holzkonstruktion und Schäden am erdberührten Mauerwerk verursacht durch kriechende Bewegungen des Hanges (Jaritz, 2001)

<sup>129</sup> <https://www.meinbezirk.at/feldkirchen/lokales/die-klein-st-veiter-strasse-richtung-st-martin-sorgt-seit-jahren-fuer-aerger-nicht-nur-bei-anrainern-m6345243,943614.html>, abgerufen am 13.06.2017

Durch die langsam fortschreitenden Bewegungen im Untergrund kommt es im Übergangsbereich von bewegter zu unbewegter Zone zu einer Verschiebungsdifferenz. Befinden sich in diesem Bereich unterirdische Leitungen, wie im vorliegenden Beispiel Wasserleitungen zur Versorgung der Beschneiungsanlage, kann es zu Rohrbrüchen und Versorgungsproblemen kommen.



Abb. 211 Wasserleitung (in blau eingezeichnet) zur Versorgung der Beschneiungsanlage. Durch die Kriechbewegung kommt es zur Entstehung undichter Stellen im Rohr <sup>130</sup>

Mithilfe dieser Schadensbilder ist es möglich den aktuellen Bewegungsbereich (innerhalb des gelb strichlierten Bereichs in Abb. 207) abzuschätzen und die Ausdehnung im Vergleich zum Zeitpunkt der Erstaufnahme zu ermitteln. Für die übrigen Schadensbilder wird auf Abb. 204 bis Abb. 206 verwiesen, wobei sich diese im Laufe der Jahre durch die Weiterentwicklung der Bewegung verändert haben.

### 6.4.3 Bewegungsrate der Massenbewegung

Gleich den vorigen beiden Beispielen wird zur Ermittlung der Bewegungsrate wiederum die Möglichkeit der Verwendung einfacher Messgeräte angeführt. Abb. 212 zeigt eine Übersicht des Kriechhanges mit den unterschiedlichen Messgrößen anhand derer auf die Bewegungsgeschwindigkeit im Hang rückgeschlossen werden kann.

<sup>130</sup> <http://www.wieser.it/de/fotos/kronplatz-bz-errichtung-der-skipiste-hinterberg-inkl-verlegung-der-beschneiungsanla/>, abgerufen am 13.06.2017

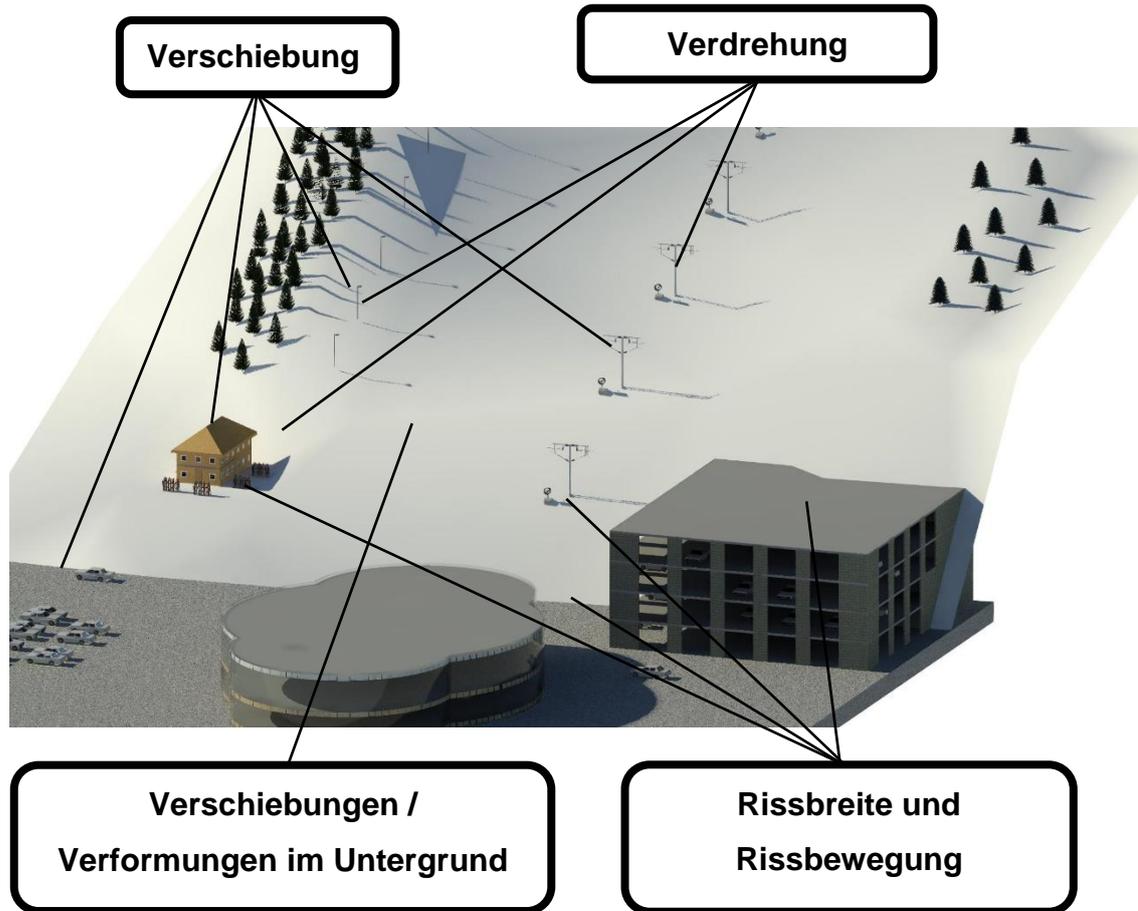


Abb. 212 Überblick des Kriechhanges mit verschiedenen Messgrößen zur Ermittlung der Bewegungsrate

Für eine genaue Beschreibung der einzelnen Messgrößen sowie der Messgeräte zur Ermittlung dieser, wird auf Tab. 8 von Kapitel 6.2.3 (Beispiel 1) verwiesen.

## 6.5 Rutschung Pogerschitzen

Die Ortschaft Pogerschitzen (Gemeinde Sittersdorf) ist im Osten von Kärnten, nahe der slowenischen Staatsgrenze situiert (Abb. 213). Im Februar 2014 ereignete sich in dieser Ortschaft eine Hangrutschung auf einer Fläche von ca. 50.000 m<sup>2</sup>. Die Unterlagen zu der Massenbewegung wurden freundlicherweise von der Wildbach- und Lawinenverbauung Kärnten zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wurden gemeinsam mit dem Ingenieurbüro GDP ZT GmbH vor Ort Begehungen des Geländes und der Situation durchgeführt.

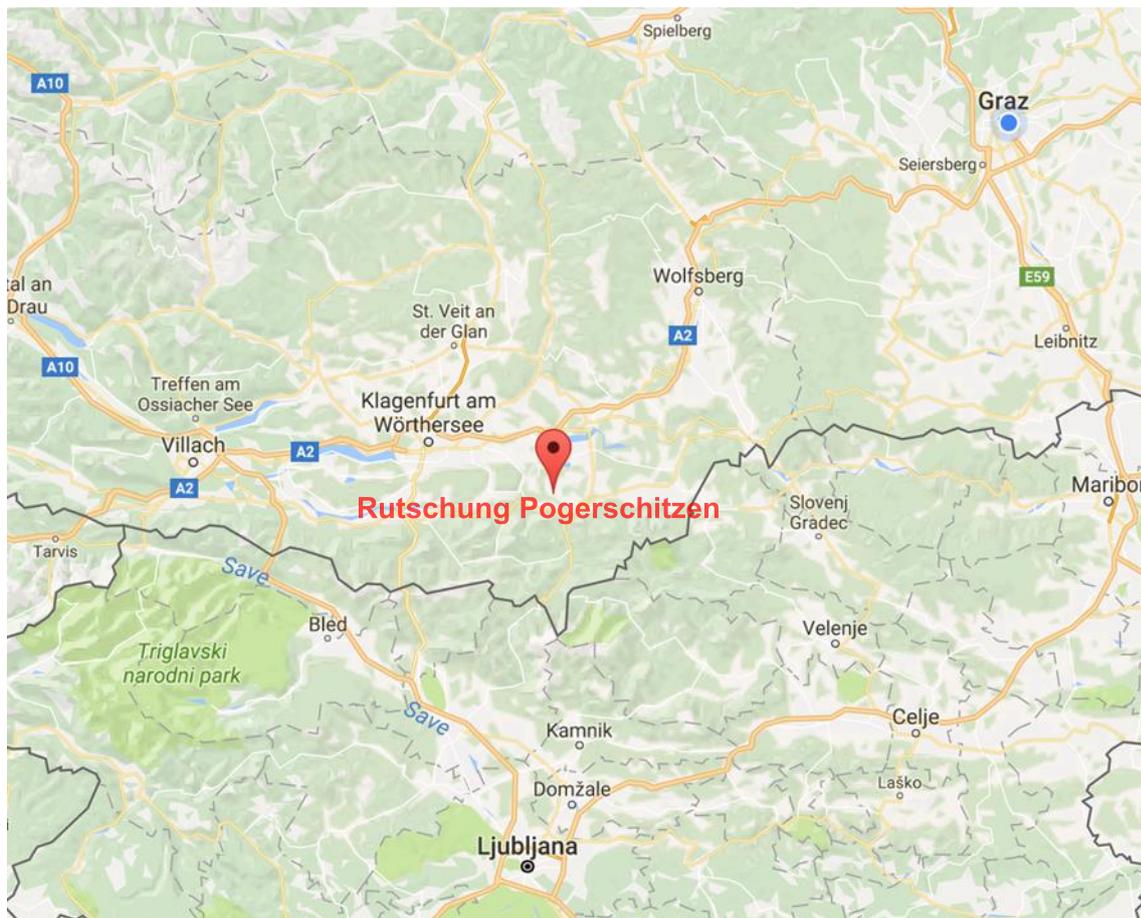


Abb. 213 Geographische Lage der Rutschung Pogerschitzen<sup>131</sup>

Die Rutschung ereignete sich an einem Hang, welcher zur Vellach (Fluss durch die Ortschaft Pogerschitzen) hin abfällt. Die Rutschung weist eine Länge von ca. 300 m und eine Breite von 150 bis 200 m auf. Im Zuge der geomorphologischen Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass es in diesem Bereich bereits früher zu Hangbewegungen gekommen ist. Im unteren Bereich der Rutschung befinden sich muschelförmig ausgeformte Muldenstrukturen, welche als ehemalige Abrisse

<sup>131</sup> Adaptier von: Google Maps, abgerufen am 27.05.2017

interpretiert werden konnten. Auf Grund der umgebenden sehr flachen, kontinuierlich verlaufenden Geländemorphologie, wird eine Geländeüberschiebung vermutet.

Im oberen Bereich der Rutschung (Steilhang) befindet sich bis zur Böschungsoberkante grobkörniges Material (vorwiegend Kies) mit einer Mächtigkeit von 25 bis 30 m. Im unteren Bereich der Rutschung geht der Kies in feinkörnigen, bindigen Boden über. Es dominieren sandig, tonige Schluffe und schluffige Feinsande mit geringem Tonanteil.

Bezüglich der hydrologischen Bedingungen sei zu erwähnen, dass eine bergseitige Wassereinspeisung in die Rutschmasse erfolgt. Im Schichtgrenzbereich, zwischen Kies und dem feinkörnigen Neogen, treten an mehreren Stellen Schichtwässer hervor (siehe Abb. 222 und Abb. 223).

Die Tiefe der Gleitfuge konnte im Zuge der Untersuchungen ermittelt werden und liegt bei ca. 17 m. Durch eine Inclinometermessung (durch die GDP ZT GmbH) konnte diese Annahme bestätigt werden.

### 6.5.1 Ursachen und Auslöser

Als Hauptauslöser für die entstandene Hangrutschung gelten die austretenden Schichtwässer im Grenzbereich von kiesigen, steinigen Material und Neogen. Diese bewirkten eine ständige breitflächige Bewässerung des hangabwärts anschließenden Geländes. Unterhalb des grobkörnigen Materials befinden sich Lockerböden mit wasserempfindlichem Verhalten. Werden diese ständig bewässert kommt es zu einer Aufweichung des Bodens und zusätzlich zur Erhöhung des Porenwasserdrucks, welcher die Böschungsstandsicherheit reduziert. Es wird des weiterem davon ausgegangen, dass durch die Gletscherschmelze nach der Eiszeit Entspannungsvorgänge in den Hängen auftraten, welche bis heute teilweise noch ablaufen, und zur Bildung von neuen Trennflächen in der Rutschungsmasse führen. Dadurch werden die Böden wasserwegsam und die Stabilität des Hanges reduziert. Die überlagernde grobkörnige Bodenschicht bildet im Übrigen eine erhebliche Auflast und wirkt sich ungünstig auf die Böschungsstabilität aus.

Bereits vor Eintritt der Rutschung wurden beim Hang Drainagen und Entwässerungsmaßnahmen durchgeführt. Allerdings stellten sich diese als sehr ungünstig dar, da vor allem im mittleren und unteren Bereich der Rutschung Feuchtzonen und Tümpel, sowie im Boden aufgetretene Risse, in welchen Wasser stand, zu finden waren.

All diese Faktoren gemeinsam lösten letztendlich die Bewegung des Hanges aus.

### 6.5.2 Geotechnische Schadensbilder

Im Zuge der Begehung am 24.05.2017 wurden die geotechnischen Schadensbilder aufgenommen. Die Rutschung befindet sich in einem unsanierten Zustand. Das Rutschereignis liegt bereits etwas mehr als drei Jahre zurück, wodurch zufolge des Bewuchses und der natürlichen Regeneration nicht mehr alle Schäden deutlich erkennbar sind. Ein Großteil der Schadensbilder ist jedoch immer noch auffindbar.

Die Rutschung unterteilt sich in zwei Steilstufen mit dazwischenliegendem flachen Bereich. Abb. 214 zeigt eine Satellitenaufnahme des Rutschbereiches mit einer Fläche von ca. 50.000 m<sup>2</sup>. Die blaue Markierung stellt die obere Steilstufe mit anschließendem flachen Abschnitt dar, die rote Markierung bildet die Begrenzung der unteren Steilstufe.

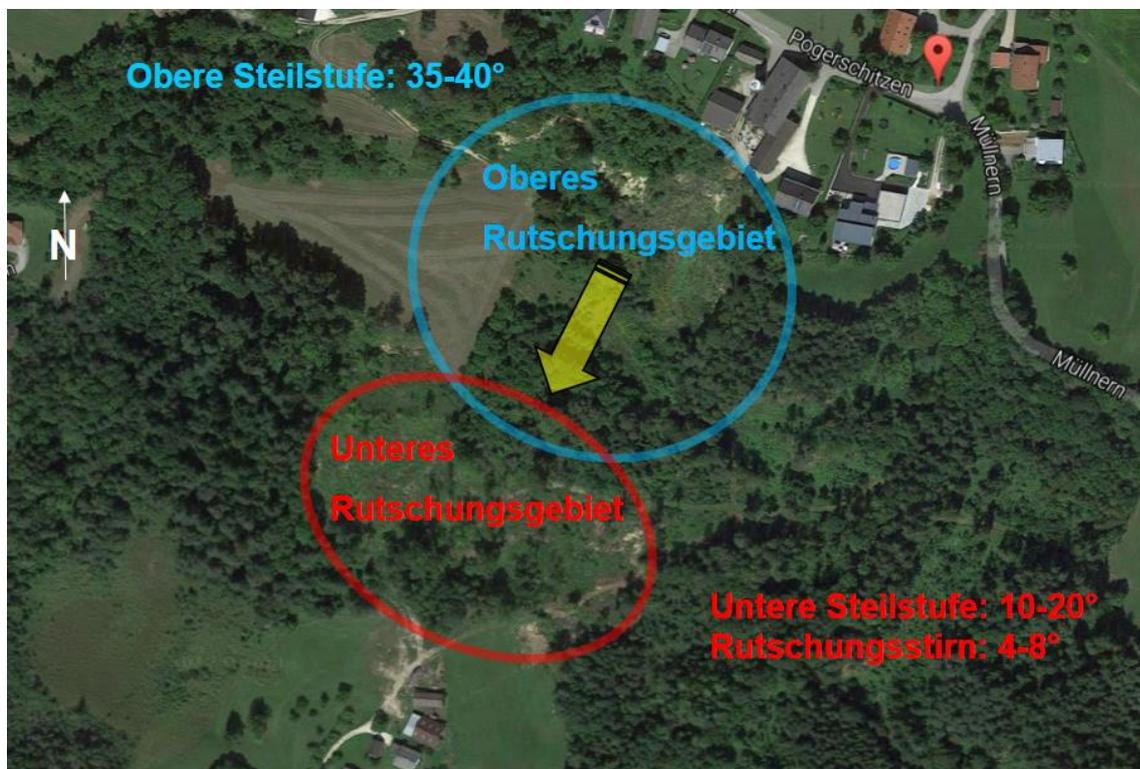


Abb. 214 Satellitenaufnahme des Rutschungsgebietes; Blaue Markierung: oberes Rutschungsgebiet; Rote Markierung: unteres Rutschungsgebiet<sup>132</sup>

#### Oberer Rutschungsbereich

Der obere Rutschungsbereich besteht aus einer sehr steilen Böschung und einer darunter angrenzenden Wiese. Abb. 215 stellt diesen Bereich mit Blick von der darunterliegenden Wiese dar (Blickrichtung Nordosten). Zur einfacheren Zuordnung der aufgenommenen Schadensbilder erfolgt eine Unterteilung in die drei Bereiche A, B und

<sup>132</sup> Adaptiert von: Google Maps, abgerufen am 27.05.2017

C (siehe Abb. 215). Die gesamte Rutschzone ist aufgrund einer deutlich ausgeprägten Anrisskante gut erkennbar und vom unbewegten Bereich abgrenzbar.

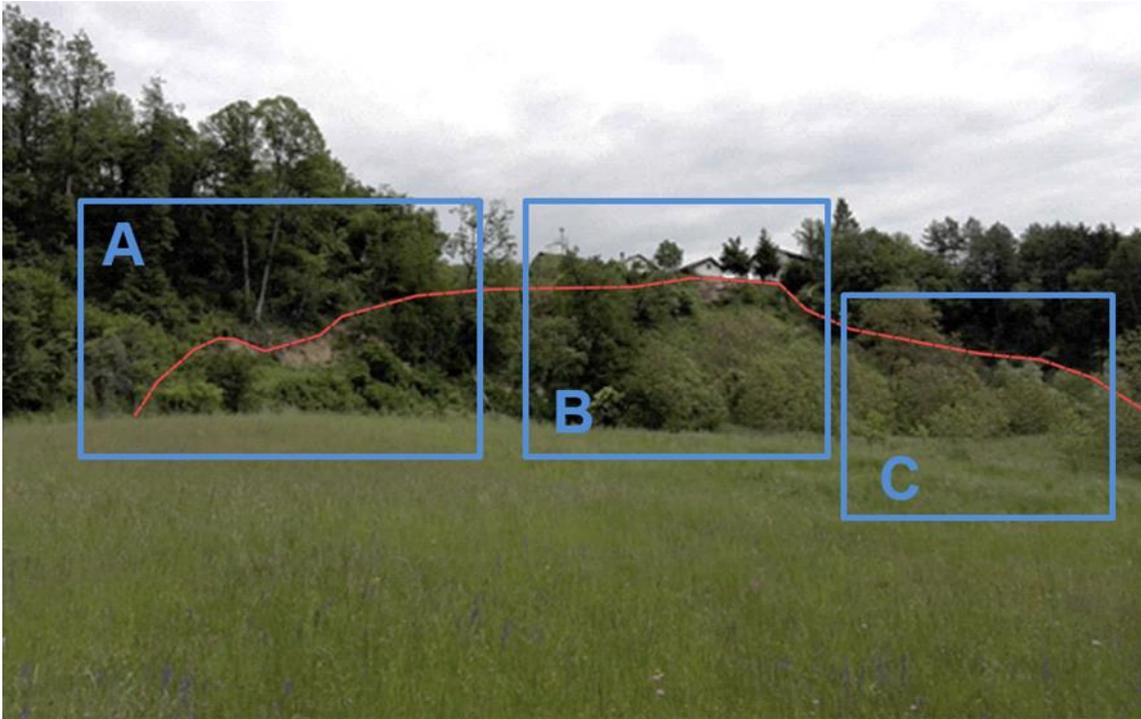


Abb. 215 Blickrichtung Nordosten auf die obere Steilstufe der Rutschung. Die rote Markierung stellt den Verlauf der Anrisskante dar. Die Bereiche A, B und C werden anschließend im Detail ausgearbeitet.

### **Bereich A**

Bereich A stellt den westlichen Teil des oberen Rutschungsbereiches dar. An den Fotos ist erkennbar, dass es sich um einen grobkörnigen Bodenaufbau handelt. Abb. 216 bis Abb. 218 zeigen die Anrisskante der Rutschung. Diese ist durch einen Geländeversatz von ca. 2-3 m deutlich erkennbar.



Abb. 216 Gut erkennbare Anrisskante. Durch die Rutschung ergab sich ein Höhenversatz des Geländes von mehreren Metern.



Abb. 217 Durch die Rutschung ist das Gelände um 2-3 m tiefer versetzt.

Seit dem Rutschereignis kam es entlang der Anrisskante zu keinen nennenswerten Nachrutschungen des Erdmaterials. Immer wieder wurden örtliche Begehungen und

Dokumentationen durchgeführt, anhand derer feststellbar ist, ob es zu Veränderungen kam. Abb. 218 zeigt jedoch Bereiche entlang der Anrisskante, an welchen es jederzeit möglich ist, dass es zum Abrutschen von kleineren Massen kommt. Vor allem die sich knapp ober der Anrisskante befindlichen Bäume können durch ihr Eigengewicht und die Schiefstellung Bewegungen auslösen. Aufgrund der starken Verwurzelung der Bäume haben diese allerdings auch eine positive Auswirkung auf die Stabilität.



Abb. 218 Die Auflast des Baumstamms kann zum Nachbrechen der Anrisskante führen.

### **Bereich B**

Dieser Bereich umfasst den höchsten und steilsten Teil der Rutschung. Abb. 219 bis Abb. 224 zeigen Schadensbilder dieser Zone. Anhand der Fotos ist erkennbar, dass der Boden unterhalb des kiesigen Materials in eine feinkörnige Neogenschicht übergeht. Unmittelbar nach dem Rutschungsereignis war die Neogenschicht derart stark durchnässt, dass Wasser austritt. Zum Zeitpunkt der Begehung ist diese Feuchte immer noch erkennbar und Wassertropfen an der Schicht sichtbar. Auch im umliegenden Bereich sind Feuchtestellen und Tümpel im Boden zu finden. Man kann davon ausgehen, dass diese Neogenschicht den Hang derart stark durchnässte, dass es schlussendlich zur Rutschung führte.



Abb. 219 Blick von oben auf den östlichen Bereich der Anrisskante.



Abb. 220 Obere Steilstufe mit Blick auf die Anrisskante unmittelbar nach dem Rutschereignis (WLV Kärnten, 2014)



Abb. 221 Obere Steilstufe mit Blick auf die Anrisskante zum Zeitpunkt der Begehung, drei Jahre nach dem Rutschereignis



Abb. 222 Neogenschicht (rote Markierung) unterhalb des grobkörnigen Bodens bewässert den Hang permanent



Abb. 223 Geringe Wasseraustritte aus der Neogenschicht erkennbar



Abb. 224 Feuchtstellen im Boden deuten auf eine starke Durchnässung des Hanges hin

### **Bereich C**

Bereich C umfasst den östlichsten Bereich der oberen Steilstufe. Abb. 225 und Abb. 226 zeigen Schadensbilder dieser Zone. Die Anrisskante ist wiederum gut erkennbar, zusätzlich ist es in diesem Bereich durch Aufschiebungen der Rutschungsmasse zur Schiefstellung von Bäumen gekommen. Aufgrund der verschiedenen Bewegungsraten im Boden sind die Bäume unterschiedlich stark verdreht worden und wachsen nun in dieser Form weiter.



Abb. 225 Deutlich sichtbare Anrisskante der Rutschung



Abb. 226 Schrägstellung der Bäume durch die Verschiebungen der Bodenmasse

### **Flache Wiese zwischen den Steilstufen**

Beim Rutschungsereignis kam es in der Wiese zwischen den Steilstufen (unteres Ende des oberen Rutschungsbereiches) zur Entstehung enormer Zugrisse im Boden. Diese wiesen teilweise eine Breite von bis zu einem Meter auf. Zuzufolge der starken Durchnässung des Hanges waren diese Risse teilweise mit Wasser gefüllt. Im Zuge durchgeführter Sanierungsarbeiten wurden die Risse in der Wiese geschlossen. Bei der Begehung im Mai 2017 konnten an der Wiese aus diesem Grund keine aussagekräftigen Schadensbilder aufgenommen werden. Jedoch war zuzufolge der Aufschiebungen im betroffenen Bereich eine unruhige Oberflächenmorphologie ersichtlich.

In Abb. 227 bis Abb. 230 sind Fotos der Wiese dargestellt. Die Abbildungen enthalten Fotos unmittelbar nach dem Rutschungsereignis, sowie Fotos zum Zeitpunkt der Begehung.

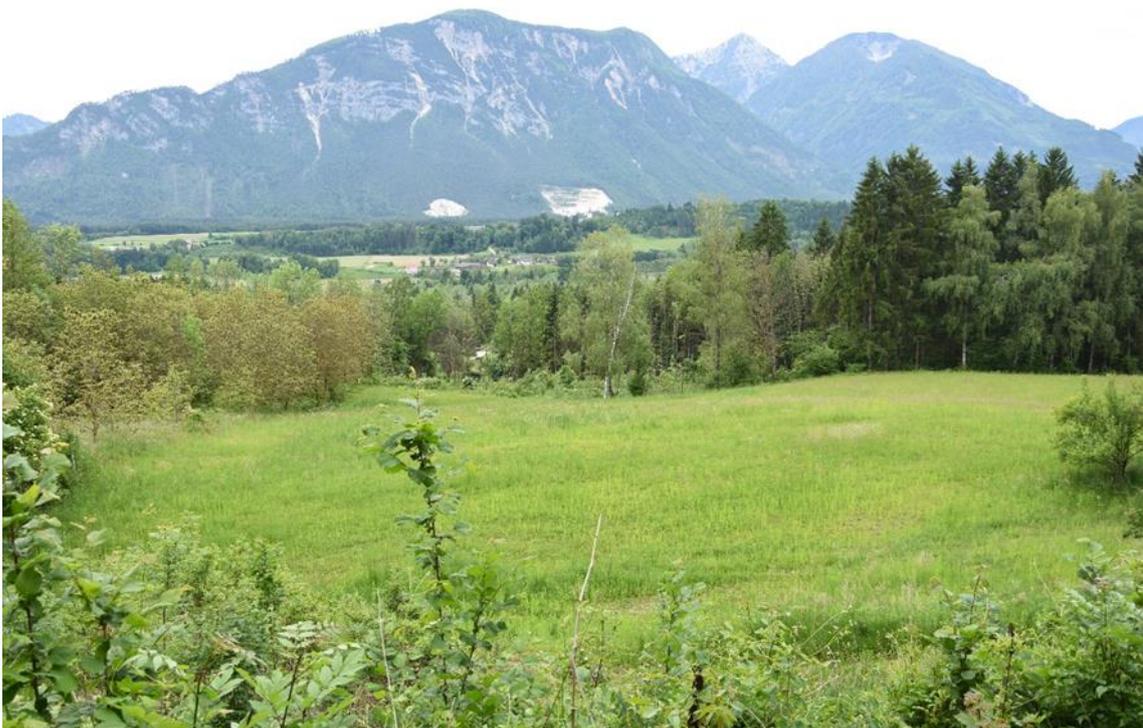


Abb. 227 Blickrichtung Süden von der oberen Steilstufe auf den anschließenden flachen Bereich



Abb. 228 Blickrichtung Nordosten vom unteren Bereich der dazwischenliegenden Wiese auf die obere Steilstufe. An der Wiese sind außer leichten Unebenheiten keine Schäden mehr ersichtlich.



Abb. 229 Risse in der Wiese unmittelbar nach der Rutschung (WLV Kärnten, 2014)



Abb. 230 Durch die starke Durchfeuchtung des Hangs sind die Risse teilweise mit Wasser gefüllt; Aufnahme direkt nach dem Rutschungsereignis (WLV Kärnten, 2014)

### **Unterer Rutschungsbereich**

Im unteren Rutschungsbereich konnten im Zuge der Begehung nur einige Schadensbilder aufgenommen werden. Durch die Rutschung liegen umgebrochene Bäume am Boden oder hängen an anderen noch intakten Bäumen. Teilweise sind die Bäume schräg geneigt, je nach Bewegungsgeschwindigkeit im Untergrund haben sich die Bäume in verschiedene Richtungen verdreht. Zusätzlich ist das Gebiet bereits so stark verwachsen, dass es schwierig war, Risse oder andere Schäden am Boden zu erkennen. Es ist zu erwähnen, dass der Hang in diesem Bereich immer noch stark durchfeuchtet ist und am Boden immer wieder Tümpel und Fechtstellen aufzufinden sind. In den letzten zwei Tagen vor der Begehung hat es leicht geregnet. Laut Informationen der GDP ZT GmbH ist die Durchfeuchtung des Hanges aber auch ohne unmittelbar zuvor auftretende Niederschläge deutlich erkennbar.

Die untere Abgrenzung der Rutschung zum unbewegten Bereich wird im östlichen Abschnitt von einer aufgeschobenen Rutschungsstirn gebildet, im westlichen Bereich ist das Gelände eher eingesunken und hat zur Entstehung von Eintiefungen geführt. Abb. 231 bis Abb. 233 zeigen aufgenommene Schadensbilder dieses Rutschungsbereiches.



Abb. 231 Blickrichtung Süden auf den unteren Rutschungsbereich. An den schiefen Bäumen ist erkennbar, welcher Bereich von der Bewegung betroffen ist.



Abb. 232 Im Bereich der unteren Rutschzone sind Bäume durch die Rutschung teilweise umgebrochen, hängend an anderen Bäumen oder schiefgestellt.



Abb. 233 Unteres Ende der Rutschung im östlichen Bereich. Die aufgeschobene Rutschzunge bildet den Übergang zur unbewegten Zone.

### **Monitoring**

Im oberen Bereich der Rutschung (Bereich B) wurde (durch die GDP ZT GmbH) zur Überwachung der Hangbewegungen ein Inklinometerrohr installiert. Eine Nullmessung und drei Folgemessungen wurden bisher durchgeführt, wobei es zu Verschiebungen von 2 mm im Zeitraum eines Jahres gekommen ist. Aus Kostengründen wurden seit Mai 2016 keine weiteren Messungen mehr durchgeführt. Abb. 234 zeigt das installierte Inklinometerrohr.



Abb. 234 Inklinometerrohr

Anhand anderer einfacher Beobachtungsmethoden wurde im Zuge der Begehung jedoch festgestellt, dass es seit der letzten Messung zu keinen größeren Verschiebungen gekommen ist. Im Grenzbereich zwischen bewegter und unbewegter Zone verlaufen einige Waldwege. Deren Verlauf kann genutzt werden, um Aussagen über die Bewegungsrate im Untergrund zu treffen. Da an den Wegen keine

Verschiebungen erkennbar sind, kann davon ausgegangen werden, dass es im Hang in letzter Zeit zu keinen größeren Bewegungen kam (siehe Abb. 235 und Abb. 236). Zumindest können Verschiebungen im Dezimeterbereich oder darüber hinaus ausgeschlossen werden. Kleinere Bewegungsraten können mit derartigen Beobachtungsmethoden nicht festgestellt werden.

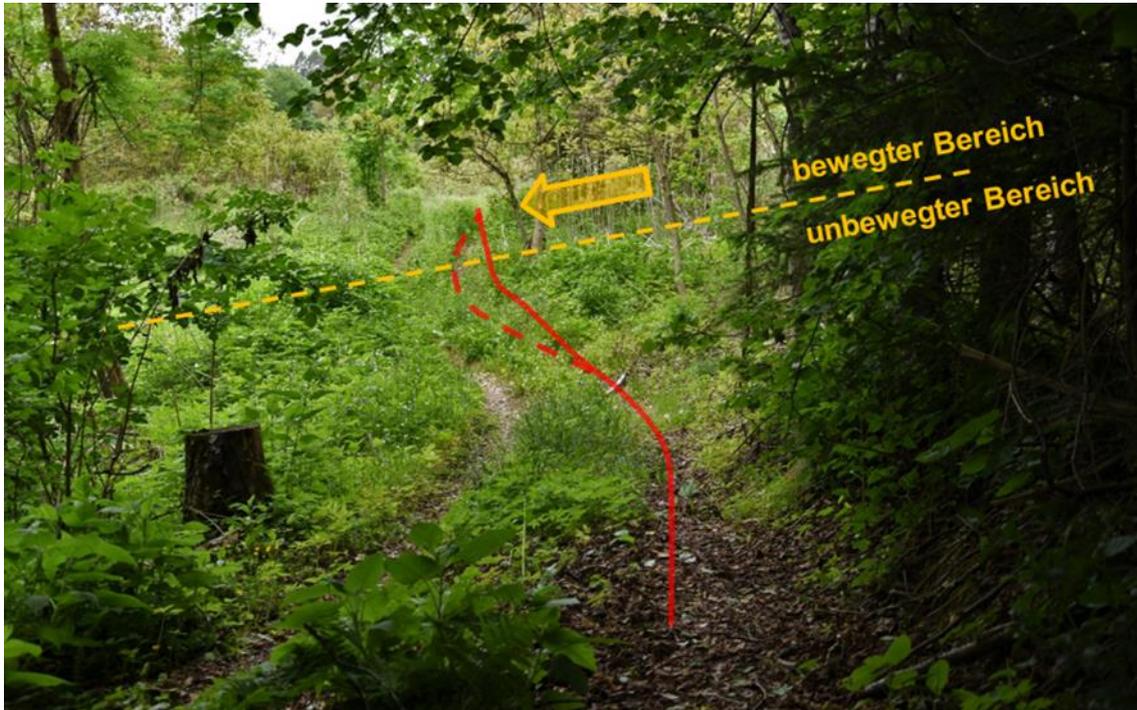


Abb. 235 Ungerader Verlauf des Weges deutet auf die Grenze der Bewegungszone und die Verschiebungen hin.



Abb. 236 Verlauf und Form des Weges liefern Hinweise über die Bewegungsrate und die Grenze zwischen bewegtem und unbewegtem Bereich.

### 6.5.3 Konstruktive Schadensbilder

Neben den geotechnischen Schadensbildern wurden bei der Begehung am 24.05.2017 im Rutschungsgebiet bzw. im unmittelbaren Umfeld der Rutschung ebenfalls konstruktive Schadensbilder erhoben.

Zur Übersicht wird das Rutschungsgebiet mit dem nordöstlich gelegenen Bauernhof (Abb. 237, X), sowie dem südlichen Bauernhof (Abb. 237, Y bzw. Z) im folgenden Satellitenbild dargestellt.

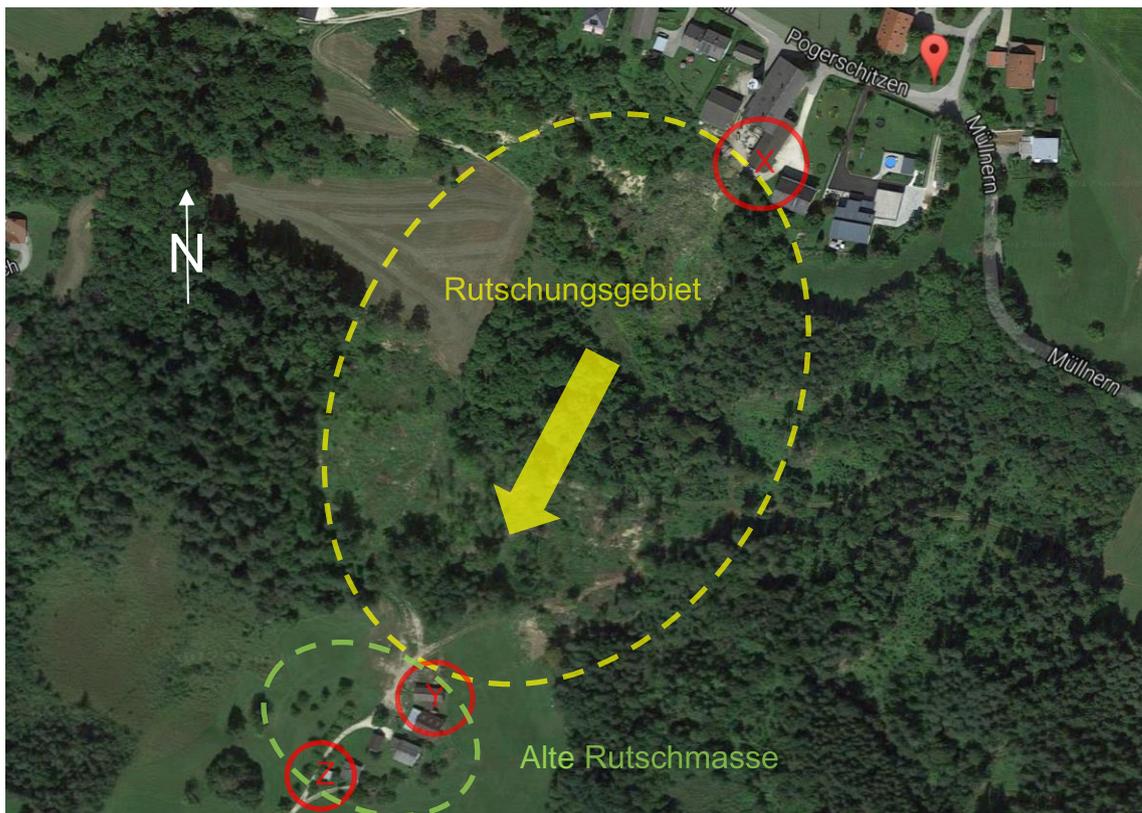


Abb. 237 Satellitenaufnahme des Rutschungsgebietes<sup>133</sup>

Direkt im Rutschungsgebiet befinden sich keine Bauwerke, jedoch sind unmittelbar an der Hangkrone (in ca. 5 m Entfernung) einige Bauwerke situiert. Ein weiterer Bauernhof liegt südlich angrenzend an die Rutschungsstirn. In diesem Bereich flacht das Gelände ab (4°- 8° Gefälle). Die Rutschung kam einige Meter vor den Objekten des südlichen Bauernhofes zum Stillstand, welcher sich auf einer alten Rutschmasse befindet.

<sup>133</sup> Adaptier von: Google Maps, abgerufen am 27.05.2017



Abb. 238 Blick Richtung Norden, Aufnahme des südlichen Bauernhofes unter dem Rutschungsgebiet; eingezeichnet in grün das alte Rutschungsgebiet



Abb. 239 Blick Richtung Süden, Aufnahme des südlichen Bauernhofes nach dem Rutschungsereignis 2014 (WLV Kärnten, 2014)

### Bereich X

Bei der Begehung wurde zuerst der nordöstliche Bauernhof besichtigt (Abb. 237, X). Während die umliegenden Bauobjekte keine signifikanten Schäden aufwiesen, zeigte ein als Traktorgarage verwendetes Bauwerk auffällige Risse.



Abb. 240 Traktorgarage mit auffälligen Rissen, Blick Richtung Osten

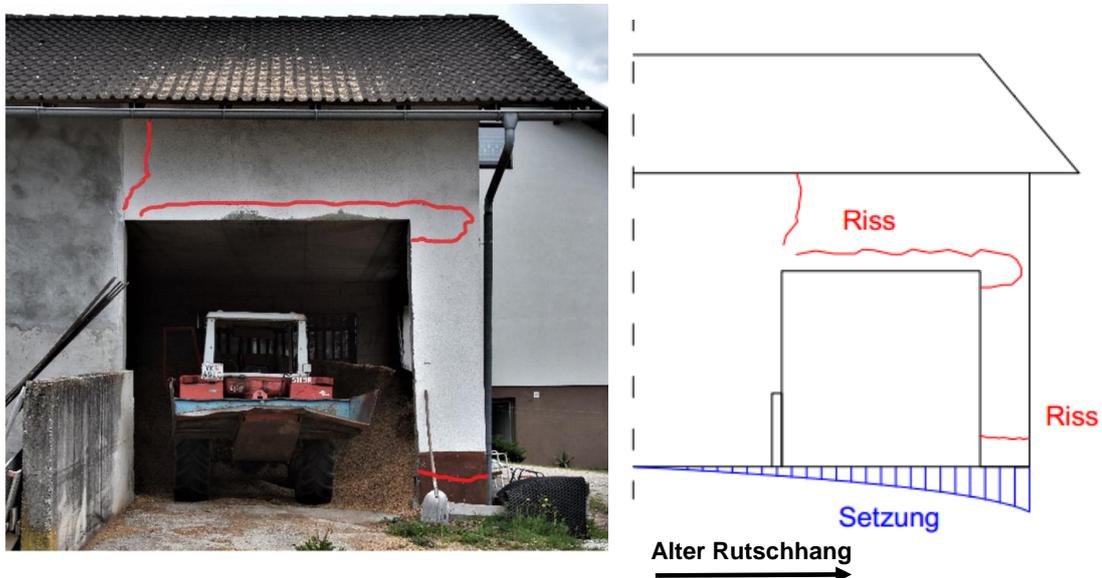


Abb. 241 Linkes Bild: Nachgezeichnete Rissmuster; Rechtes Bild: schematische Darstellung



Abb. 242 Traktorgarage mit Risschäden Blick Richtung Nordwesten

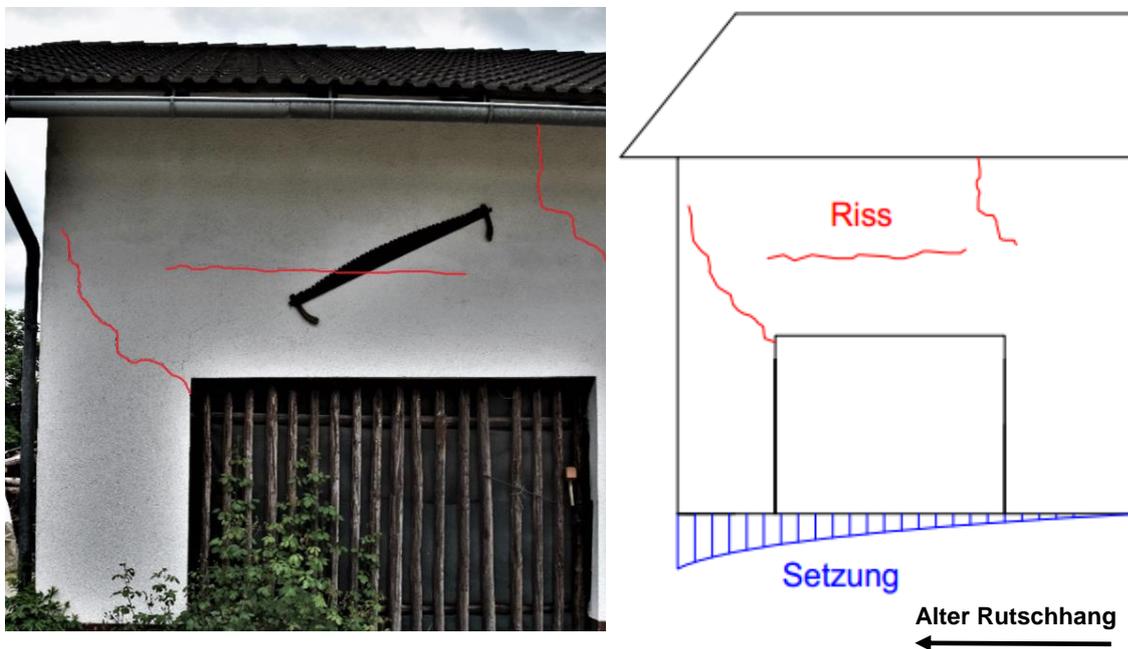


Abb. 243 Linkes Bild: Nachgezeichnete Rissmuster; Rechtes Bild: Schematische Darstellung

Werden die Risschäden von beiden Seiten betrachtet, so deuten diese Rissmuster auf Bewegung in Richtung des Rutschhanges hin.

Abb. 244 zeigt eine Aufnahme aus dem Jahr 2014. Bei genauerer Betrachtung der Aufnahme wird ersichtlich, dass unmittelbar nach der Rutschung noch keine signifikanten Risschäden am Gebäude erkennbar waren. Im Zuge der Begehung wurden jedoch Risschäden mit einer Rissbreite im Zentimeterbereich festgestellt. Dies deutet darauf hin, dass sich das Objekt über die letzten drei Jahre in Richtung des Rutschhanges bewegt haben könnte.



Abb. 244 Aufnahme des nördlichen Bauernhofes in der Nähe des Hanges nach der Rutschung im Jahr 2014 (WLV Kärnten, 2014)



Abb. 245 Aufnahme der Traktorgarage in der Nähe des Rutschhanges

### **Bereich Y**

Als nächstes wurden die südlich der Rutschung gelegenen Objekte des Bauernhofs im Bereich der Rutschungstirn besichtigt (Abb. 237, Y & Z). Beim Schadensobjekt handelt es sich um eine Holzkonstruktion, welche auf einem Streifenfundament gegründet ist.

Wie in Abb. 246 zu erkennen, weist die Gründung eine Neigung talabwärts auf. Grund für die schiefe Lage können große Bautoleranzen, aber auch Bewegungen des Hanges infolge der Rutschung sein.



Abb. 246 Stallgebäude südlich unter dem Rutschungsende, Blick Richtung Westen, Darstellung der Neigungsunterschiede von Betonwand und Bauwerk im Detail

### **Bereich Z**

Die Wohngebäude, welche südlich unterhalb der Holzkonstruktion liegen, wiesen keine auffälligen Schäden auf. Beim südlichsten Gebäude handelt es sich um eine zweigeschossige Garage (Abb. 237, Z). An dieser war, wie in folgenden Abbildungen zu sehen, eine Verformung mit daraus folgenden Risschäden erkennbar. Die Wände im Untergeschoss neigten sich südwestlich talabwärts.



Abb. 247 Zweigeschossige Garage südlich vom Rutschhang, Blick Richtung Nordosten



Abb. 248 Frontalansicht der Garage Blick Richtung Norden

Die Verformung der Konstruktion führte zu einem Kippen der Wände. Aufgrund dessen kam es zu einer Momentenbelastung im Anschlussbereich Boden/Wand und infolge dessen zu Rissen in der Bodenplatte.

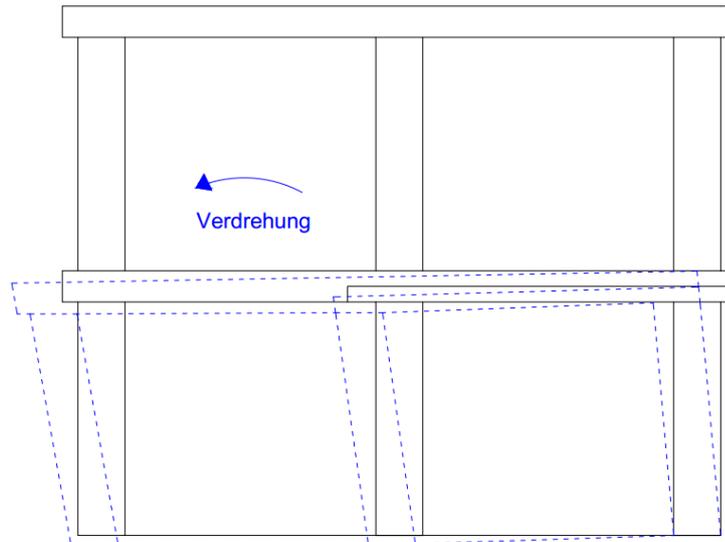


Abb. 249 Schematische Darstellung der Verdrehung der zweigeschossigen Garage, Blick Richtung Norden



Abb. 250 Linkes Bild: Risse in der Bodenplatte aufgrund von Kippen der inneren Wand; Rechtes Bild: Risschaden im Detail

### Weiteres Vorgehen

Bei den konstruktiven Schäden konnte festgestellt werden, dass die Orientierung der Deformationen mit der Bewegungsrichtung der Rutschung ident ist. Die Durchfeuchtung des Hanges hat seit dem Rutschungsereignis abgenommen, ist aber immer noch deutlich erkennbar und zu berücksichtigen. Um genaue Aussagen über die Aktivität und Bewegungsrate des Hanges in Pogerschitzen treffen zu können, müssten die dokumentierten Schäden über die nächsten Jahre beobachtet werden, um eventuelle Veränderung der Schadensbilder festzustellen.

Folgende Messgrößen können auf einfache Weise überwacht werden:

Geotechnisch:

- Positionsänderung geodätischer Messpunkte
- Vorhandene Risse im Boden
- Veränderung der Hangmorphologie
- Durchfeuchtung des Hanges

Die geodätischen Messpunkte können mittels GNSS-Sensor bzw. Totalstation auf eine Positionsänderung überprüft werden. Risse im Boden und Durchfeuchtung des Hanges können durch regelmäßige Begehungen optisch auf Veränderungen beobachtet werden.

Konstruktiv:

- Rissbewegung an der Traktorgarage
- Neigungsänderung des Stallgebäudes bzw. der Streifenfundamente
- Neigungsänderung der zweigeschossigen Garage

Bei den Risschäden würden sich Gipsmarker oder ein Rissmonitor anbieten, während die Neigungsänderungen der Bauteile mit einer Wasserwaage bzw. einem Neigungssensor periodisch überwacht werden können.

## 7 Resümee

Mit dieser Arbeit wurde versucht, Schadensbilder aus der Geotechnik und aus dem konstruktiven Ingenieurbau miteinander zu verknüpfen. Eine der größten Herausforderungen hierbei war es, eine geeignete Kategorisierung und Unterteilung der Schäden und Schadensbilder zu finden. Nicht alle Konstruktionen verhalten sich unter Einfluss einer Hangdeformation gleich. Während große Bauwerke oder Straßen Risse und Verformungen aufweisen, sind bei Bauwerken mit kleinerer Aufstandsfläche (z.B. Stromleitungsmasten oder Brückenpfeiler) häufig Verdrehungen und Verschiebungen zu erkennen. Demzufolge wurde die Sammlung der Schadensbilder nach der Art der Konstruktion aufgebaut, um die für eine Massenbewegung charakteristischen Schäden des jeweiligen Bauwerkstyps (Gebäude, Brücke, Infrastruktur und Stützbauwerk) aufzuzeigen.

Durch die Sammlung von Schadensfällen und Schadensbildern wird ersichtlich, dass Schäden an Bauwerken in Hanglage und damit in potenziellen Bereichen für Massenbewegungen nicht immer auf das Vorliegen einer Hangdeformation oder Massenbewegung zurückzuführen sind. Bauwerksschäden wie Risse oder Verformungen können unterschiedlichen Ursprungs sein. So kann es sich auch bei in Hanglage errichteten Bauwerken nur um reine Setzungen in Form einer vertikalen Verschiebung handeln. Schiefe Masten oder Schäden an Straßen können z.B. ebenfalls aufgrund mangelhafter Ausführung und Planung oder durch Witterungseinflüsse entstanden sein. Erst durch die gemeinsame Betrachtung konstruktiver und geotechnischer Schadensbilder ist eine gesicherte Aussage über das Vorliegen einer Hangdeformation oder Massenbewegung möglich.

Diese Arbeit behandelt nur im Zusammenhang mit der Geotechnik verursachte Schäden, demzufolge wurde auf die Ausarbeitung weiterer Schadensursachen wie z. B. chemisch bedingten Folgeschäden durch Korrosion der Bewehrung verzichtet. Eine Langzeitbeobachtung einer Massenbewegung war im Zuge der hier vorliegenden Arbeit nicht möglich. Dennoch finden sich Methoden zur Erfassung dieser im Anhang und wurden auch durch eine Begehung einer Massenbewegung behandelt. Die präsentierten Schadensbilder zeigen wie vielfältig Schäden an Bauwerken durch Bewegungen im Untergrund ausfallen können.

Treten an einem Bauwerk, welches im Bereich eines Hanges situiert ist Schäden auf, so kann anhand der Schadensbilder eine Aussage über eine mögliche Hangbewegung getroffen werden. Wichtig dabei ist, dass die Gesamtheit des Schadensausmaßes erkannt wird und die Beziehung der einzelnen Schäden zueinander sachgemäß hergestellt und gedeutet wird. Nicht jeder Schaden muss aus einer Hangdeformation entstanden sein. Weisen die aufgetretenen Schäden auf eine mögliche Massenbewegung hin, so kann die Veränderung dieser mit einfachen Mitteln beobachtet werden. Vor allem in der Anfangsphase der Beobachtung und zur Planung eines möglichen Monitoringkonzepts kann die Verwendung einfacher Messinstrumente zielführend und hilfreich sein. Durch die zeitliche Veränderung der Schäden kann auf die Aktivität, Bewegungsrate und den Einflussbereich der Massenbewegung rückgeschlossen werden. Die Nutzung von Schadensbildern bietet dementsprechend eine geeignete Methode, Massenbewegungen zu überwachen. Dadurch können Hangbewegungen rechtzeitig erkannt und durch geeignete Sicherungsmaßnahmen weitere Schäden eingedämmt oder vermieden werden.



## 8 Literatur

Aargauer Zeitung (2015)

Überall riesige Risse im Hause – und der Bauleiter sprach von „Haarrissen“. Verfasst von Katja Schlegel. Abgerufen am 02.05.2017 von <https://www.aargauerzeitung.ch/aargau/aarau/ueberall-riesige-risse-im-haus-und-der-bauleiter-sprach-von-haarrissen-129048651>

Balak, M.; Rosenberger, R.; Steinbrecher, M. (2005)

1. Österreichischer Bauschadensbericht. Wirtschaftskammer Österreich. Wien: oft-Institut für Bauschadensforschung.

Boley, C. (2012)

Handbuch Geotechnik, Grundlagen – Anwendung – Praxiserfahrung. 1. Auflage. Wiesbaden: Springer Verlag.

Brandl, H. (2008)

TUWien Vorlesung: Grundbau und Bodenmechanik 2. Stützenkonstruktionen und Bauwerksfundierungen in labilen Hängen. Institut für Geotechnik. Forschungsbereich Grundbau. Boden- und Felsmechanik. Wien.

Brandl, H. (2015)

Bauwerke in Kriechhängen, Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 160. Jg., Heft 1-12, Wien: Österreichischer Ingenieur- und Architekten-Verein.

Brünner ZT GmbH (2017)

Instandsetzungskonzept mit statischer Nachrechnung für diverse Brückenobjekte, IST-ZUSTAND. Graz.

dailymail.co.uk (2016)

The leaning tower of San Francisco. Abgerufen am 15.2.2017 von <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3980040/The-leaning-tower-San-Francisco-Satellite-images-prove-350-million-luxury-high-rise-Millennium-Tower-SINKING-40mm-year.html>

der Bauschaden (2017)

Fachzeitschrift zur Beurteilung, Sanierung und Vermeidung von Bauschäden. 5 Jahrgang. Ausgabe April/Mai. Merching: Forum Verlag Herkert GmbH.

Der Schiefe Turm (2017)

Der Schiefe Turm von Bad Frankenhausen, Abgerufen am 26.06.2017 von <http://der-schiefe-turm.de/zum-turm/schiefstellung/>

Dialer, C. (2016)

Rissschäden an Mauerwerkskonstruktionen. Schadensfreies Bauen. Band 7. Ralf Ruhnau (Hrsg.), . Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

fotoarchiv.geology.cz (2017)

Geologische Fotografien online. Öffentliche zentrale elektronische Datenbank des tschechischen Geologiedienstes. Abgerufen am 18.08.2017 von [http://fotoarchiv.geology.cz/cz/nahledy/jev/30/?lister=nahledy&lister\\_page=1](http://fotoarchiv.geology.cz/cz/nahledy/jev/30/?lister=nahledy&lister_page=1)

- Frank, R. (2008)  
General presentation of Eurocode 7 'Geotechnical design. Abgerufen am 05.03.2017 von [http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/WS2008/EN1997\\_1\\_Frank.pdf](http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/WS2008/EN1997_1_Frank.pdf)
- Franke, L.; Schumann, I. (1998)  
Schadensatlas. Klassifikation und Analyse von Schäden an Ziegelmauerwerk. Schutz und Erhalt des europäischen Kulturerbes. Forschungsbericht Nr. 8. Band 2. Europäische Kommission. Brüssel (Hrsg.). Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Gasperl, W.; Tartarotti, T. (2014)  
Großrutschung Höhenberg Großraming. Wildbach- und Lawinenverbauung Oberösterreich.
- Geier, R (2009)  
Integrale Brücken. Brückentagung. Abgerufen am 26.06.2017 von [http://brueckentagung.at/bruecke2009/PDF/13\\_Geier.pdf](http://brueckentagung.at/bruecke2009/PDF/13_Geier.pdf)
- Gschlifgraben (2008)  
Technischer Bericht zu Gschlifgraben. Projekt 2008. Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung. Sektion Oberösterreich. Gebietsbauleitung Salzkammergut. Österreich.
- Gänßmantel, J.; Horn, K. (2012)  
Bausubstanz. Zeitschrift für nachhaltiges Bauen, Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Hoch, M.; Egloff, M.; Wackernagel, A. (1986)  
Überwachung von Bauwerken: geodätische Messkontrollen während dem Bau und nach Fertigstellung. Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt. Band 104. Zürich: ETH-Bibliothek.
- Hilmer, K (2006)  
Schäden an erdberührten Bauteilen. Ursachen, Schadensanalyse und Sanierung. 41. Bausachverständigen-Tag im Rahmen der Frankfurter Bautage 2006. Tagungsband. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Hilmer, K.; Knappe, M.; Englert, K. (2004)  
Gründungsschäden. Schadenfreies Bauen. Band 34. Günter Zimmermann. Ralf Ruhнау (Hrsg.). Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Jaritz, W (2001)  
Großhangbewegung Rindberg, Gem. Sibratsgfall, Vlb., Schadensbilder – Ursache – Prognose, Georisiken – Seminar und Workshop 2001. ZT- Büro Moser – Jaritz. Österreich.
- Leopold, P. (2012)  
Kriechbewegungen in den neogenen Beckensedimenten des Burgenlandes: Verbreitung, Vergleich natürlicher Einflussfaktoren, Bewegungsmechanismen und Auslöser. Dissertation an der Universität Wien.
- Lienhart, W.; Ehrhart, M. (2016)  
TUGraz Vorlesung Geotechnical Monitoring WS 2016/17. Graz: Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme.

- Lindner, R (2016)  
Abgerufen am 20.02.2017 von <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/baupfusch-am-wohnhaus-millennium-tower-in-san-francisco-14459683.html>
- Matier; Ross (2016)  
Abgerufen am 20.02.2017 von <http://www.sfgate.com/bayarea/article/SF-s-landmark-tower-for-rich-and-famous-is-8920197.php#photo-10690687>
- Meichsner, E.; Engels, M. (2015)  
Bausubstanz. Zeitschrift für nachhaltiges Bauen, Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Meichsner, H (2015)  
Bauwerksrisse kurz und bündig. Rissentstehung, -ursachen und -vermeidung, Instandsetzung gerissener Bauteile. 2.; überarb. u. erw. Aufl.; Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Meichsner, H.; Rohr-Suchalla, K. (2011)  
Risse in Beton und Mauerwerk. Ursachen, Sanierung, Rechtsfragen, 2. überarb. u. erw. Aufl.; Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Mollinga, A (2012)  
Bergschadensregulierung. Untersuchung. Bewertung und Sanierung bergbaulich verursachter Schäden. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Multilingual Landslide Glossary (1993)  
The International Geotechnical Societies UNESCO Working Party for World Landslide Inventory. The Canadian Geotechnical Society. Richmond (B.C.): BiTech Publishers Ltd.
- Möller, G. (2013)  
Geotechnik, Bodenmechanik. 2. Auflage. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn Verlag.
- ONR 24008 (2014)  
Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken. Wien: ON Österreichisches Normungsinstitut.
- ONR 24800 (2009)  
Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Begriffe und ihre Definitionen sowie Klassifizierung. Wien: ON Österreichisches Normungsinstitut.
- ONR 24803 (2008)  
Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Betrieb, Überwachung und Instandhaltung. Wien: ON Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM EN 1990 (2013)  
Eurocode 0 – Grundlagen der Tragwerksplanung. Wien: Austria Standards.

ÖNORM B 1990-1 (2013)

Eurocode 0 – Grundlagen der Tragwerksplanung. Teil 1: Hochbau. Nationale Festlegung zu ÖNORM EN 1990 und nationale Ergänzungen. Wien: Austria Standards.

ÖNORM EN 1992-1-1 (2015)

Eurocode 2 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken. Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Wien: Austria Standards.

ÖNORM EN 1996-1-1 (2013)

Eurocode 6 – Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbaueten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk. Wien: Austria Standards.

ÖNORM EN 1997-1 (2014)

Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln. Wien: Austria Standards.

Pilch, E (2016)

Integrale Brücken – Interaktion Bauwerk Baugrund. Monographic Series TU Graz, Schriftreihe des Institutes Betonbau. Band 6. Graz: Verlag der Techn. Univ. Graz.

Philipps, G (2005)

Bauschadensfälle. Band 7. Günter Zimmermann und Ralf Schuhmacher (Hrsg.). Die vorsorgliche private Beweissicherung im Bauwesen - Bedeutung, Zweck, Beispiele. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

Rebhan, M (2015)

Ist-Zustandserfassung und Bewertung bestehender, unverankerter Stützbauwerke. Masterarbeit an der Technischen Universität Graz.

Retze, U (2008)

Beispielhafte Untersuchung zum Einsatz von Monitoringmethoden an einer Brücke. Wissenschaftliche Arbeit an der Universität der Bundeswehr München.

Rizkallah, V.; Achmus, M.; Kaiser, J. (2003)

Bauschäden beim Bauen im Bestand - Schadensursachen und Schadensvermeidung. Informationsreihe. Heft 19. Hannover: Institut für Bauforschung.

Ruckenbrod, C.; Schlüter, F.H. (2005)

Wasser- und Feuchteschäden im Stahlbetonbau. Vermeiden, Beurteilen und Instandsetzen. Tagungsband. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.; Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB (Hrsg.). 2. unveränd. Aufl.; Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

sbp.de (2015)

Schlaich Bergmann Partner. Abgerufen am 26.06.2017 von <http://www.sbp.de/themenwelt/integrale-bruecken/>

Shen, F.; Reutter, M. (2014)

Railroad retaining wall collapses in Charles Village. Abgerufen am 15.02.2017 von <https://baltimorebrew.com/2014/04/30/railroad-retaining-wall-collapses-in-charles-village/>

- Terzaghi, K.; Peck, R. (1961)  
Die Bodenmechanik in der Baupraxis. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer-Verlag.
- tuerkei-zeitung.de (2017)  
Schwere Bauschäden in Alanya-Kargicak bei Gold 4. Verfasst von Dietmar Pedersen. Abgerufen am 18.08.2017 von <http://www.tuerkei-zeitung.de/aktuellemeldungen/schwere-bauschaeden-in-alanya-kargicak-888.html>
- Unterweger, H. (2010)  
TUGraz Vorlesung. Brückenbau Grundlagen, Ausbildung Tragsysteme, Tragverhalten, Einwirkungen, Baumethoden, Lagerung und Tragwerksentwurf. Version 3.Graz: Institut für Betonbau.
- Unterweger, H. (2011)  
TU Graz Vorlesungs Skriptum, Baustatik 2 – Bauwerkssicherheit, Sicherheitskonzept. Die neuen Eurocodes. Der Eurocode „0“ – Europäisches Bemessungskonzept. Modellbildung bei Bauwerken. Der Eurocode „1“ – Einwirkungen auf Tragwerke, Beispiele. Graz: Institut für Stahlbau.
- VBHG (2016)  
Verband bergbaugeschädigter Haus- und Grundeigentümer e.V.; Abgerufen am 25.04.2017 von <http://www.vbhg.de/index.php/ueber-uns/gebaeudeschaden-oder-bergschaden>
- WLV Kärnten (2014)  
Fotobeilage Pogerschitzen Mai 2014. Wildbach- und Lawinenverbauung - Forsttechnischer Dienst - Gebietsbauleitung Kärnten. Villach.