

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> . . . . .	V
<b>Herausgeber</b> . . . . .	IX
<b>Autorenübersicht</b> . . . . .	IX
<b>Internationale Berichtersteller</b> . . . . .	XI
<b>1 Einführung</b> . . . . .	1
1.1 Lawinen und Lawinengefahren . . . . .	1
1.1.1 Begriffsdefinition und Problemstellung . . . . .	1
1.1.2 Lawinengefahren in den Alpen und anderen Gebirgsregionen . . . . .	2
1.1.3 Auswirkungen von Lawinengefahren auf den menschlichen Lebensraum . . . . .	4
1.2 Technischer Lawinenschutz: Klassifikation und Umfang . . . . .	6
1.2.1 Systematik und Wirkung der Maßnahmen . . . . .	6
1.2.2 Permanenter technischer Lawinenschutz (Baulicher Lawinenschutz). . . . .	8
1.2.3 Technischer Lawinenschutz mit temporärer Wirkung . . . . .	10
<b>2 Entwicklung der Lawinen und des Lawinenschutzes: Historischer Überblick</b> . . . . .	13
2.1 Postglaziale Entwicklung der alpinen Lawinen . . . . .	13
2.2 Chronik der Lawinenkatastrophen. . . . .	14
2.2.1 Alpine Lawinenkatastrophen . . . . .	14
2.2.2 Außeralpiner Lawinenkatastrophen . . . . .	16
2.3 Entwicklung des Technischen Lawinenschutzes . . . . .	17
2.3.1 Historische Lawinenschutzbauten . . . . .	17
2.3.2 Entwicklung der systematischen Lawinenverbauung . . . . .	17
<b>3 Lawinen: Entstehung und Wirkung</b> . . . . .	21
3.1 Charakteristik von Lawinen . . . . .	21
3.1.1 Definitionen und Klassifikation . . . . .	21
3.1.2 Räumliches und zeitliches Auftreten von Lawinen. . . . .	23
3.1.3 Generelle Lawinenwirkung . . . . .	24
3.2 Meteorologische Grundlagen der Lawinenentstehung . . . . .	25
3.2.1 Wettersysteme im Winter . . . . .	25
3.2.1.1 Allgemeines . . . . .	25
3.2.1.2 Hoch- und Tiefdruckgebiete . . . . .	26
3.2.1.3 Kalt- und Warmfronten . . . . .	27
3.2.2 Lawinenbildende Wetterlagen im Alpenraum. . . . .	29

3.2.2.1	Nordwest(stau)lage . . . . .	29
3.2.2.2	Westwetterlage . . . . .	30
3.2.2.3	Südföhnlage . . . . .	30
3.2.2.4	Okklusion aus Nordosten – Nordostlage . . . . .	31
3.2.2.5	Lawinenbildende Wetterlagen in Österreich . . . . .	31
3.2.2.6	Lawinenbildende Wetterlagen in der Schweiz . . . . .	31
3.3	Nivologische Grundlagen der Lawinenentstehung . . . . .	32
3.3.1	Eigenschaften des Materials „Schnee“ . . . . .	32
3.3.2	Entstehung des Schnees . . . . .	32
3.3.3	Metamorphose des Schnees . . . . .	34
3.3.3.1	Allgemeines . . . . .	34
3.3.3.2	Grundlagen zur Schneemetamorphose . . . . .	34
3.3.3.3	Mechanische Metamorphose . . . . .	35
3.3.3.4	Abbauende Metamorphose . . . . .	35
3.3.3.5	Aufbauende Metamorphose . . . . .	36
3.3.3.6	Schmelzmetamorphose . . . . .	37
3.3.4	Die Schneedecke . . . . .	38
3.3.4.1	Aufbau der Schneedecke . . . . .	38
3.3.4.2	Energiebilanz der Schneedecke . . . . .	38
3.3.4.3	Bewegungen und Spannungen in der Schneedecke (Lawinenauslösung). . . . .	40
3.3.4.4	Genetische Lawinenklassifikation. . . . .	42
3.4	Quantitative Darstellung von Lawinenereignissen . . . . .	43
3.4.1	Allgemeines . . . . .	43
3.4.2	Kriterien zur Darstellung von Lawinenereignissen. . . . .	44
3.4.2.1	Eintrittswahrscheinlichkeit (Jährlichkeit) . . . . .	44
3.4.2.2	Intensität (Magnitude). . . . .	45
3.4.3	Extremwertanalyse. . . . .	46
3.4.3.1	Methodik und Extremwertverteilungen. . . . .	46
3.4.3.2	<i>Beispiel:</i> Ermittlung extremer Niederschlagsmengen aus einer Zeitreihe der Station Gastein (Salzburg) . . . . .	47
3.5	Morphologische Grundlagen der Entstehung von Lawinen. . . . .	49
3.5.1	Lawineneinzugsgebiet. . . . .	49
3.5.2	Anbruchgebiet . . . . .	50
3.5.3	Sturzbahn . . . . .	54
3.5.4	Ablagerungsgebiet . . . . .	56
3.6	Wirkung der Vegetation und Schutzwald . . . . .	58
3.6.1	Vegetations- und Waldwirkungen auf Lawinen. . . . .	58
3.6.2	Wirkung von Lawinen auf Vegetation und Bäume. . . . .	61
<b>4</b>	<b>Grundlagen und Modelle der Lawindynamik und Lawinenwirkung . . . . .</b>	<b>63</b>
4.1	Lawindynamik: Grundlagen . . . . .	63
4.1.1	Physikalische Grundlagen der Bewegung von Lawinen. . . . .	63
4.1.1.1	Allgemeines . . . . .	63
4.1.1.2	Charakteristische Größen der Lawinenbewegung . . . . .	63
4.1.1.3	Lawinengeschwindigkeit . . . . .	63
4.1.1.4	Modellgesetze der Lawinenbewegung . . . . .	65
4.1.1.5	Physikalische Beschreibung des Bewegungsvorgangs. . . . .	66
4.1.1.6	Konstitutivgesetze . . . . .	67
4.1.2	Dynamik von Fließ- und Staublawinen. . . . .	68

4.1.2.1	Lawinenauslösung . . . . .	68
4.1.2.2	Bewegung von Fließlawinen . . . . .	68
4.1.2.3	Bewegung von Staublawinen. . . . .	68
4.1.2.4	Bewegung von Mischlawinen . . . . .	70
4.1.2.5	Bewegung von Nassschneelawinen . . . . .	71
4.2	Lawindynamik: Numerische Modellierung und Simulation . . . . .	72
4.2.1	Anwendungsbereich von Lawinenmodellen . . . . .	72
4.2.2	Grundlagendaten und -informationen der Lawinenmodellierung . . . . .	73
4.2.3	Lawinenmodelle im Überblick: Einteilung und Klassifizierung . . . . .	73
4.2.4	Statistisch-topographische Lawinenmodelle. . . . .	75
4.2.4.1	Alpha-Beta-Modell. . . . .	75
4.2.4.2	Andere statistisch-topographische Modelle . . . . .	76
4.2.5	Physikalisch-dynamische Lawinenmodelle . . . . .	76
4.2.5.1	Voellmy-Salm-Modell. . . . .	76
4.2.5.2	AVAL-1D . . . . .	79
4.2.5.3	Elba+ . . . . .	81
4.2.5.4	RAMMS . . . . .	82
4.2.5.5	SamosAT . . . . .	84
4.2.6	Anwendungsbereiche und Grenzen der Lawinenmodellierung. . . . .	86
4.2.7	Anwendung der Modellergebnisse in der Ingenieurpraxis . . . . .	89
4.3	Lawinenwirkung auf Strömungshindernisse. . . . .	90
4.3.1	Dynamische Lawinendruckwirkung . . . . .	90
4.3.1.1	Allgemeines . . . . .	90
4.3.1.2	Fließlawinenwirkung normal auf ein nicht umströmtes Hindernis. . . . .	91
4.3.1.3	Fließlawinenwirkung auf ein umströmtes Hindernis. . . . .	93
4.3.1.4	Staublawinenwirkung . . . . .	95
4.3.1.5	Aufprall fester Komponenten (Steine, Bäume) . . . . .	97
4.3.1.6	Druck durch vertikale Umlenkung . . . . .	98
4.3.1.7	Nassschneelawinenwirkung . . . . .	98
4.3.2	Schadenswirkung an Objekten . . . . .	98
4.3.2.1	Allgemeines . . . . .	98
4.3.2.2	Schadenswirkung durch Fließlawinen . . . . .	101
4.3.2.3	Schadenswirkung durch Staublawinen . . . . .	101
<b>5</b>	<b>Analyse, Bewertung und planliche Darstellung von Lawinengefahren (-risiken) . . . . .</b>	<b>103</b>
5.1	Grundlagen und Bewertungsansätze . . . . .	103
5.1.1	Modell der Gefahrenanalyse und Risikokonzept . . . . .	103
5.1.2	„Gefahr“ und „Risiko“: Begriffsbestimmung . . . . .	104
5.1.2.1	Lawinengefahr und Lawinenszenarien . . . . .	104
5.1.2.2	Lawinenschaden und Lawinenrisiko . . . . .	105
5.1.3	Ansätze zur Bewertung für Lawinengefahren und -risiken . . . . .	106
5.1.3.1	Allgemeines . . . . .	106
5.1.3.2	Quantifizierung der Lawinengefahr. . . . .	106
5.1.3.3	Quantifizierung von Lawinenschäden und Lawinenrisiken. . . . .	108
5.2	Methoden der Gefahren- und Risikoanalyse. . . . .	109
5.2.1	Lawinengefahrenanalyse . . . . .	109
5.2.1.1	Überblick über die Methoden und Datengrundlagen. . . . .	109
5.2.1.2	Historische Methode. . . . .	111
5.2.1.3	Morphologische Methode. . . . .	112

5.2.1.4	Einschränkungen und Unsicherheiten in der Lawinengefahrenanalyse . . . . .	115
5.2.2	Lawinenrisikoanalyse . . . . .	115
5.3	Planliche Darstellung von Gefahren und Risiken . . . . .	117
5.3.1	Überblick und Anwendungsbereich . . . . .	117
5.3.2	Gefahrenhinweiskarten . . . . .	117
5.3.3	Prozesskarten . . . . .	120
5.3.4	Gefahrenzonenpläne . . . . .	120
5.3.5	Risikokarten . . . . .	125
5.3.6	Berücksichtigung von Gefahrenzonenplänen bei raumwirksamen Aktivitäten . . . . .	126
5.3.7	Darstellung der Lawinengefahr für Verkehrswege . . . . .	128
<b>6</b>	<b>Planung von permanenten technischen Lawinenschutzmaßnahmen . . . . .</b>	<b>129</b>
6.1	Planungsgrundsätze und Planungsumfang . . . . .	129
6.1.1	Elemente der Planung: Definitionen . . . . .	129
6.1.2	Planung als Teil des technischen Risikomanagements . . . . .	130
6.1.3	Kriterien des Planungsprozesses: Überblick . . . . .	131
6.2	Schutzziele des Lawinenschutzes . . . . .	131
6.2.1	Klassifizierung der Schutzziele . . . . .	131
6.2.2	Gesellschaftlicher Schutzzielrahmen und allgemeine Schutzziele . . . . .	132
6.2.3	Quantifizierte und risikobasierte Schutzziele . . . . .	134
6.3	Sektorale Schutzkonzepte des Technischen Lawinenschutzes . . . . .	136
6.3.1	Allgemeines . . . . .	136
6.3.2	Schutzkonzepte für den Siedlungsraum . . . . .	136
6.3.3	Schutzkonzepte für Verkehrswege und Infrastruktur . . . . .	138
6.3.4	Schutzkonzepte für Skigebiete . . . . .	139
6.4	Planungs- und Projektierungsablauf des Lawinenschutzes . . . . .	140
6.4.1	Genereller Planungsablauf . . . . .	140
6.4.2	Projektierung technischer Lawinenschutzmaßnahmen . . . . .	144
6.5	Ökonomische Bewertung des Lawinenschutzes . . . . .	144
6.5.1	Allgemeines . . . . .	144
6.5.2	Gesamtwirtschaftliche Bewertung . . . . .	144
6.5.3	Wirtschaftlichkeit und Effizienz von Schutzmaßnahmen . . . . .	146
6.5.3.1	Allgemeines . . . . .	146
6.5.3.2	Methoden zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit . . . . .	146
6.5.3.3	Bewertung der Kosten von Lawinenschutzmaßnahmen . . . . .	149
6.5.3.4	Bewertung des Nutzens von Lawinenschutzmaßnahmen . . . . .	150
6.5.3.5	Bestimmung der Wirksamkeit von Lawinenschutzmaßnahmen . . . . .	151
6.5.3.6	Kriterien für die Wirtschaftlichkeit von Lawinenschutzprojekten . . . . .	153
6.5.3.7	Grenzkostenkriterium . . . . .	154
6.6	Soziale und politische Verträglichkeit von Lawinenschutzmaßnahmen . . . . .	154
6.6.1	Öffentlichkeitsbeteiligung und Partizipation . . . . .	154
6.6.2	Risk Governance . . . . .	155
6.7	Umweltverträglichkeit von Lawinenschutzprojekten . . . . .	156
6.7.1	Ökologische Bewertung . . . . .	156
6.7.2	Lawinenschutzbauten als Landschaftselement . . . . .	156

<b>7</b>	<b>Permanenter technischer Lawinenschutz: Schutzsysteme und Bautypen</b> . . . . .	159
7.1	Schutzsysteme und Bautypenwahl . . . . .	159
7.2	Technische Schutzmaßnahmen im Lawinenanbruchgebiet . . . . .	159
7.2.1	Überblick . . . . .	159
7.2.2	Lawinenanbruchverbauung: Bautypen . . . . .	161
7.2.2.1	Wirkungsweise . . . . .	161
7.2.2.2	Klassifizierung der Lawinenstützwerke: Systematik und Kriterien . . . . .	162
7.2.2.3	Bautypen: Stahlschneebrücke . . . . .	165
7.2.2.4	Bautypen: Schneenetze . . . . .	168
7.2.2.5	Bautypen: Kombinierte Schneebrücke . . . . .	172
7.2.2.6	Bautypen: Holzschneebrücke und Holzschneerechen . . . . .	174
7.2.2.7	Historische Baumethoden und Sonderbautypen. . . . .	176
7.2.2.8	Typenprüfung für Lawinenstützwerke . . . . .	180
7.2.3	Fundierung und Verankerung in der Lawinenanbruchverbauung . . . . .	180
7.2.3.1	Allgemeines . . . . .	180
7.2.3.2	Methoden der Fundierung und Verankerung . . . . .	180
7.2.3.3	Historische Fundierungsmethoden . . . . .	183
7.2.4	Verwehungsverbauung . . . . .	186
7.2.4.1	Klassifikation und Wirkungsweise . . . . .	186
7.2.4.2	Bautype: Tribschneezaun (Tribschneehag) . . . . .	186
7.2.4.3	Bautype: Kolktafeln . . . . .	188
7.2.4.4	Bautype: Schneedüsen. . . . .	189
7.2.5	Technischer Gleitschneeschutz . . . . .	190
7.2.5.1	Wirkungsweise . . . . .	190
7.2.5.2	Methoden des Gleitschneeschutzes: Überblick . . . . .	191
7.2.5.3	Bautypen: Verpfählungen. . . . .	192
7.2.5.4	Bautypen: Gleitschutzböcke . . . . .	193
7.2.5.5	Bautypen: Bermen . . . . .	195
7.3	Technische Lawinenschutzmaßnahmen in der Sturzbahn und im Ablagerungsgebiet . . . . .	195
7.3.1	Überblick . . . . .	195
7.3.2	Lawinenleit- und Lawinenablenkverbauung. . . . .	196
7.3.2.1	Wirkungsweisen und Methoden . . . . .	196
7.3.2.2	Bautypen: Leitdämme . . . . .	197
7.3.2.3	Bautypen: Lawinenablenkbauwerke (-damm, -mauer) . . . . .	197
7.3.3	Lawinenbrems- und Lawinenauffangverbauung . . . . .	199
7.3.3.1	Wirkungsweisen und Methoden . . . . .	199
7.3.3.2	Bautypen: Auffangdamm (-mauer) . . . . .	199
7.3.3.3	Bautypen: Bremshöcker, Bremskegel, Bremskeil . . . . .	201
7.3.3.4	Bautypen: Lawinenbrecher . . . . .	202
7.3.4	Überleitungsbauwerke und Sonderbauwerke . . . . .	203
7.3.4.1	Bautypen: Lawinengalerie, Lawinentunnel . . . . .	203
7.3.4.2	Bautypen: Rohrbrücke. . . . .	204
<b>8</b>	<b>Permanenter Technischer Lawinenschutz: Bemessung und Konstruktion</b> . . . . .	207
8.1	Grundlagen der Bemessung . . . . .	207
8.1.1	Bemessungsnormen: Überblick . . . . .	207

8.1.2	Generelles Bemessungskonzept . . . . .	209
8.1.2.1	Sicherheitskonzept . . . . .	209
8.1.2.2	Grenzzustände . . . . .	209
8.1.2.3	Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit . . . . .	209
8.1.2.4	Bemessungswerte . . . . .	210
8.1.2.5	Bemessungssituationen . . . . .	211
8.1.2.6	Einwirkungskombinationen . . . . .	211
8.1.3	Geotechnische Nachweisverfahren . . . . .	212
8.1.3.1	Allgemeines . . . . .	212
8.1.3.2	Nachweisverfahren 1 (NV 1). . . . .	212
8.1.3.3	Nachweisverfahren 2 (NV 2). . . . .	212
8.1.3.4	Nachweisverfahren 3 (NV 3). . . . .	213
8.1.4	Generelle Vorgehensweise bei der Bemessung . . . . .	213
8.1.5	Bemessungsgrundlagen Stahlbau . . . . .	213
8.1.5.1	Generelle Querschnittsabmessungen und Bezeichnungen . . . . .	214
8.1.5.2	Ermittlung der Schnittkräfte . . . . .	214
8.1.5.3	Klassifizierung der Querschnitte . . . . .	214
8.1.5.4	Beanspruchbarkeit des Querschnitts . . . . .	214
8.1.5.5	Bauteile mit einer Beanspruchung durch eine zentrische Druckkraft . . . . .	218
8.1.5.6	Schraubverbindungen . . . . .	220
8.1.5.7	Bolzenverbindungen . . . . .	220
8.1.5.8	Schweißverbindungen . . . . .	220
8.2	Bemessung der Lawinenanbruchverbauung . . . . .	220
8.2.1	Allgemeine Bemessungsregeln . . . . .	220
8.2.2	Extreme Schneehöhen (Dimensionierungsschneehöhe $H_{ext}$ ) . . . . .	221
8.2.2.1	Methodik . . . . .	221
8.2.2.2	Extreme Schneehöhen in der Schweiz und Österreich (Tirol, Vorarlberg). . . . .	222
8.2.3	Lage der zu schützenden Objekte . . . . .	223
8.2.4	Statische Systeme für Lawinenstützwerke . . . . .	224
8.2.5	Einwirkungen auf Lawinenstützwerke . . . . .	225
8.2.5.1	Überblick . . . . .	225
8.2.5.2	Schneedruck . . . . .	226
8.2.5.3	Randkräfte . . . . .	230
8.2.5.4	Resultierender Schneedruck und Lastanordnung . . . . .	231
8.2.5.5	Schneedruck auf den Rost . . . . .	233
8.2.5.6	Schneedruck auf schlanke Objekte und Bauteile . . . . .	234
8.2.5.7	Seitenkräfte . . . . .	235
8.2.5.8	Eigengewicht . . . . .	235
8.2.5.9	Windkräfte . . . . .	235
8.2.5.10	Andere Einwirkungen . . . . .	236
8.2.6	Planung und Anordnung der Stützverbauung im Anbruchgebiet . . . . .	236
8.2.6.1	Allgemeines . . . . .	236
8.2.6.2	Verbauungswürdige Hangneigung . . . . .	236
8.2.6.3	Vertikale Ausdehnung der Stützverbauung . . . . .	236
8.2.6.4	Horizontale Ausdehnungen der Stützverbauung . . . . .	237
8.2.6.5	Verbauungsweisen . . . . .	238
8.2.6.6	Werkhöhe . . . . .	239
8.2.6.7	Werkabstände in der Falllinie . . . . .	239
8.2.6.8	Seitliche Werkzwischenräume . . . . .	242
8.2.6.9	Kombinationen mit Gleitschneeschutz . . . . .	242

8.2.7	Baustoffe der Lawinenanbruchverbauung . . . . .	243
8.2.7.1	Allgemeines . . . . .	243
8.2.7.2	Baustahl . . . . .	243
8.2.7.3	Holz . . . . .	245
8.2.7.4	Verbindungsmittel . . . . .	245
8.2.7.5	Seile und Betonstähle . . . . .	246
8.2.7.6	Ankermörtel . . . . .	246
8.2.8	Tragwerksanalyse und Tragwerksbemessung . . . . .	248
8.2.8.1	Allgemeines . . . . .	248
8.2.8.2	Einwirkungskombinationen . . . . .	248
8.2.8.3	Berechnung der Auflagerreaktionen und Schnittgrößen . . . . .	249
8.2.8.4	Bemessung der Tragkonstruktion von Stahlstützwerken . . . . .	252
8.2.8.5	Bemessung des Rostes von Stahlstützwerken . . . . .	252
8.2.8.6	Bemessung von Holztragwerken . . . . .	254
8.2.8.7	Bemessung von Schneenetzen . . . . .	254
8.2.8.8	Bemessung von Schneerechen . . . . .	256
8.2.8.9	Korrosionsschutz für die Oberkonstruktion . . . . .	257
8.2.9	Geotechnische Bemessung der Fundierung der Lawinenanbruchverbauung	258
8.2.9.1	Allgemeines . . . . .	258
8.2.9.2	Bemessung der Fundierung von Lawinenanbruchverbauungen . . . . .	258
8.2.9.3	Bemessungssituationen . . . . .	259
8.2.9.4	Teilsicherheitsbeiwerte für Stützenfundierungen . . . . .	260
8.2.9.5	Bemessung Stützenfundierung . . . . .	260
8.2.9.6	Bemessung der Trägerfundierung . . . . .	263
8.2.9.7	Korrosionsschutz für die Fundierung . . . . .	267
8.2.9.8	Prüfung von Mikropfählen . . . . .	267
8.2.10	Lawinenanbruchverbau im Permafrost . . . . .	268
8.3	Bemessung der Verwehungsverbauung . . . . .	271
8.3.1	Bemessung von Tribschneezäunen und Kolktafeln . . . . .	271
8.3.1.1	Bemessung der Wirkung von Tribschneezäunen . . . . .	271
8.3.1.2	Statische Systeme von Tribschneezäunen und Kolktafeln . . . . .	272
8.3.1.3	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen von Tribschneezäunen und Kolktafeln . . . . .	273
8.3.1.4	Bautechnische Bemessungsgrundlagen von Tribschneezäunen und Kolktafeln . . . . .	273
8.3.2	Bemessung von Schneedüsen . . . . .	273
8.3.2.1	Bemessungsgrundlagen . . . . .	273
8.3.2.2	Statische Systeme . . . . .	273
8.3.2.3	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen . . . . .	274
8.4	Bemessung der Lawinenleit-, Lawinenbrems- und Lawinenauffangverbauung . . . . .	275
8.4.1	Näherungsweise Bemessung der Wirkhöhe von Auffang- und Ablenkdammen (Klassisches Bemessungsverfahren) . . . . .	275
8.4.2	Bemessung der Wirkung nach exakteren physikalischen Verfahren . . . . .	275
8.4.2.1	Allgemeine Bemessungsgrundlagen . . . . .	275
8.4.2.2	Auffang- und Ablenkdamme . . . . .	276
8.4.2.3	Leitdamme . . . . .	279
8.4.3	Bemessung von Lawinenablagerungsräumen . . . . .	280
8.4.4	Einwirkungen auf Leit-, Brems- und Auffangbauwerken . . . . .	281
8.4.5	Statische und geotechnische Bemessung . . . . .	282

8.4.5.1	Geotechnische Bemessung von Lawinendämmen . . . . .	282
8.4.5.2	Erdbau: Geotechnische Untersuchungen . . . . .	284
8.4.5.3	Regeln für den Bau von Lawinendämmen . . . . .	285
8.4.6	Bemessung von Lawinenbrechern. . . . .	286
8.4.6.1	Allgemeines . . . . .	286
8.4.6.2	Bautechnische Bemessung . . . . .	286
8.4.6.3	Konstruktive Durchbildung . . . . .	289
8.4.7	Bemessung von Lawinenschutzgalerien . . . . .	290
<b>9</b>	<b>Bauausführung und Erhaltungsmanagement . . . . .</b>	<b>295</b>
9.1	Bauausführung des Technischen Lawinenschutzes . . . . .	295
9.1.1	Allgemeines . . . . .	295
9.1.1.1	Rahmenbedingungen auf Lawinenbaustellen . . . . .	295
9.1.1.2	Anforderungen an Geräte und Bauverfahren . . . . .	297
9.1.2	Einrichtung und Erschließung von Lawinenbaustellen . . . . .	297
9.1.2.1	Umfang und Ausstattung der Baustelleneinrichtung . . . . .	297
9.1.2.2	Sozial- und Büroeinrichtungen, Unterkünfte . . . . .	298
9.1.2.3	Lagerräume und Manipulationsplätze . . . . .	299
9.1.2.4	Kommunikationseinrichtungen für Lawinenbaustellen . . . . .	300
9.1.2.5	Ver- und Entsorgung von Lawinenbaustellen . . . . .	300
9.1.2.6	Baustellengemeinkosten (Kosten der Baustelleneinrichtung) . . . . .	301
9.1.3	Erschließung und Transport im Bereich von Lawinenbaustellen . . . . .	302
9.1.3.1	Güterwegerschließung. . . . .	302
9.1.3.2	Seilkran . . . . .	305
9.1.3.3	Helikopter . . . . .	306
9.1.3.4	Kosten der Baustellenerschließung . . . . .	307
9.1.4	Besondere Baumethoden der Lawinenanbruchverbauung . . . . .	308
9.1.4.1	Allgemeines . . . . .	308
9.1.4.2	Absteckung im Gelände . . . . .	308
9.1.4.3	Herstellung von Mikropfahlfundamenten (Mikropfahlböcken) . . . . .	309
9.1.4.4	Herstellung von Seilankerfundamenten . . . . .	311
9.1.4.5	Herstellung von Sprengankerfundamenten (historisch) . . . . .	312
9.1.4.6	Herstellung von Grundplattenfundamenten . . . . .	312
9.1.4.7	Herstellung von Betonfundamenten . . . . .	313
9.1.4.8	Herstellung von Mikropfahlfundamenten im Fels . . . . .	314
9.1.4.9	Herstellung von „Toter- Mann“-Fundamenten . . . . .	314
9.1.4.10	Herstellung von Rammfundamenten . . . . .	314
9.1.4.11	Montage der Lawinenstützbauwerke . . . . .	314
9.1.5	Baukosten der Lawinenanbruchverbauung . . . . .	315
9.1.5.1	Allgemeines . . . . .	315
9.1.5.2	Baukosten für Stahlschneebrücken (Beispiel). . . . .	316
9.1.5.3	Baukosten für kombinierte Schneebrücken (Beispiel). . . . .	317
9.1.5.4	Baukosten für Schneenetze (Beispiel) . . . . .	318
9.1.6	Baugeräte und Maschinen für die Lawinenanbruchverbauung . . . . .	319
9.1.6.1	Allgemeines . . . . .	319
9.1.6.2	Bohrgeräte . . . . .	320
9.1.6.3	Hydraulikaggregate (Kraftstationen) . . . . .	321
9.1.6.4	Kompressoren . . . . .	322
9.1.6.5	Injektionsstationen und Ankermörtelpumpen . . . . .	322

---

9.1.6.6	Treibstofftanks . . . . .	324
9.1.7	Arbeitssicherheit auf Lawinenbaustellen. . . . .	324
9.1.7.1	Allgemeine Sicherheitsbestimmungen . . . . .	324
9.1.7.2	Präventiver Arbeitnehmerschutz (vor Baubeginn) . . . . .	325
9.1.7.3	Anforderungen an das eingesetzte Baupersonal . . . . .	325
9.1.7.4	Persönliche Schutzausrüstung (PSA) . . . . .	326
9.1.7.5	Persönliche Schutzausrüstung bei angeseilten Arbeiten. . . . .	327
9.1.7.6	Schutz gegen Witterungseinflüsse. . . . .	328
9.1.7.7	Absturzsicherungen und Hanggerüste . . . . .	328
9.1.7.8	Arbeitssicherheit bei Lastflügen mit Helikopter . . . . .	330
9.1.7.9	Blitzschutz auf Lawinenbaustellen . . . . .	330
9.1.7.10	Steinschlagschutz auf Lawinenbaustellen . . . . .	330
9.1.7.11	Unfallversorgung: Erste Hilfe und Bergung. . . . .	331
9.2	Erhaltung von Lawinenschutzbauwerken . . . . .	331
9.2.1	Allgemeines. . . . .	331
9.2.2	Erhaltungsmanagement und Zustandsbeurteilung . . . . .	332
9.2.2.1	Lebensdauer der Lawinenverbauung . . . . .	332
9.2.2.2	Funktionen der Erhaltung und Erhaltungsstrategien . . . . .	332
9.2.2.3	Inspektion und Zustandsbeurteilung . . . . .	334
9.2.3	Schäden und Mängel an Schutzbauwerken . . . . .	336
9.2.3.1	Übersicht und Definitionen. . . . .	336
9.2.3.2	Ursachen für Schäden an Lawinenschutzbauwerken. . . . .	337
9.2.3.3	Schadenerhebung und Zustandsbeurteilung . . . . .	338
9.2.3.4	Schäden an Lawinestützwerken . . . . .	340
9.2.3.5	Schäden an Lawinendämmen . . . . .	340
9.2.3.6	Schäden an Lawinengalerien. . . . .	341
9.2.3.7	Schäden an Verwehungsverbauungen . . . . .	341
9.2.4	Maßnahmen der Erhaltung von Lawinenschutzbauwerken . . . . .	354
9.2.4.1	Erhaltung (Unterhalt): Instandsetzung und Wartung. . . . .	354
9.2.4.2	Methoden der Sanierung von Lawinenschutzbauwerken . . . . .	354
9.2.4.3	Dringlichkeit von Sanierungsmaßnahmen . . . . .	355
9.2.4.4	Sanierung von Lawinenmauern . . . . .	356
9.2.4.5	Sanierung von Schneebrücken . . . . .	357
9.2.4.6	Sanierung von Lawinennetzen . . . . .	358
9.2.4.7	Erhaltungskosten, jährliche Kosten . . . . .	359
9.2.4.8	Sanierungskosten, Kostenbeispiele . . . . .	359
9.2.4.9	Abtrag oder Verfall . . . . .	361
<b>10</b>	<b>Gebäude- und Objektschutz . . . . .</b>	<b>363</b>
10.1	Maßnahmen des technischen Gebäudeschutzes (Objektschutzes) . . . . .	363
10.1.1	Allgemeines. . . . .	363
10.1.2	Maßnahmen am Gebäude. . . . .	363
10.1.2.1	Lage und Form des Gebäudes . . . . .	363
10.1.2.2	Konstruktive Gebäudeschutzmaßnahmen . . . . .	365
10.1.2.3	Temporäre Maßnahmen an Gebäuden . . . . .	366
10.1.2.4	Bauweisen und Bauprodukte für den Gebäudeschutz . . . . .	367
10.1.3	Vorgelagerte Gebäudeschutzmaßnahmen . . . . .	368
10.1.3.1	Allgemeines . . . . .	368
10.1.3.2	Spaltkeile . . . . .	368

10.1.3.3	Ebenhöh	369
10.1.3.4	Prallmauer	370
10.1.4	Objektschutzmaßnahmen für andere Bauwerksarten	371
10.2	Normative Grundlagen des Gebäudeschutzes gegen Lawinen	371
10.3	Bemessung von Gebäuden gegen Lawinendruckwirkung	373
10.3.1	Allgemeines	373
10.3.2	Einwirkungskombinationen	373
10.3.3	Bemessung im GZT	376
10.3.4	Bemessung im GZG	376
10.4	Nutzungskonzepte für lawinengefährdete Liegenschaften	377
<b>11</b>	<b>Temporärer Lawinenschutz</b>	<b>379</b>
11.1	Methoden des temporären Lawinenschutzes	379
11.2	Aktiver Temporärer Lawinenschutz	379
11.2.1	Künstliche Lawinenauslösung	379
11.2.1.1	Allgemeines	379
11.2.1.2	Grundsätze der künstlichen Lawinenauslösung	380
11.2.1.3	Wirkung der künstlichen Lawinenauslösung	381
11.2.1.4	Methodenübersicht	382
11.2.1.5	Methodenvergleich	386
11.2.1.6	Sicherheitsrisiken der künstlichen Lawinenauslösung	387
11.2.2	Akute Sperre von Anlagen	387
11.2.3	Evakuierungen	388
11.3	Passiver temporärer Lawinenschutz	388
11.3.1	Lawinenwarnung und Lawinenprognose	388
11.3.1.1	Allgemeines	388
11.3.1.2	Organisation der Lawinenwarnung	389
11.3.1.3	Erstellung des Lawinenlageberichts	390
11.3.1.4	Informationsverbreitung	394
11.3.2	Saisonale Sperre von Anlagen	394
11.3.3	Organisatorische Maßnahmen	394
<b>12</b>	<b>Lawinenbeobachtung (Monitoring) und Ereignisdokumentation</b>	<b>395</b>
12.1	Methoden der Lawinenbeobachtung und -dokumentation	395
12.2	Technologien des Lawinenmonitorings	395
12.2.1	Allgemeines: Monitoring	395
12.2.2	Meteorologisches Monitoring (Beobachtung lawinenauslösender Wetterereignisse)	396
12.2.2.1	Allgemeines	396
12.2.2.2	Automatische Wetterstationen	396
12.2.2.3	Weterradar (Beispiel Valluga)	398
12.2.3	Monitoring der ruhenden Schneedecke	400
12.2.4	Schneemechanisches Monitoring	402
12.2.5	Remote Sensing (luftgestütztes Monitoring)	403
12.2.6	Monitoring der Einwirkung des Schnees auf Lawinenschutzbauten	403
12.2.7	Monitoring der Lawindynamik	404
12.2.7.1	Lawindynamische Monitoringanlagen	404
12.2.7.2	Kraftmessungen mit Druckplatten	404
12.2.7.3	Fließhöhenmessungen in Lawinen	406

---

12.2.7.4	Optische Geschwindigkeitssensoren . . . . .	407
12.2.7.5	Geschwindigkeitsmessungen mit dem gepulsten Dual Doppler Radar . . . .	407
12.3	Dokumentation von Lawinenereignissen . . . . .	408
<b>13</b>	<b>Technischer Lawinenschutz international: Zahlen und Fakten . . . . .</b>	<b>409</b>
13.1	Überblick und Vergleich . . . . .	409
13.2	Länderberichte: Faktenblätter . . . . .	417
13.2.1	Österreich . . . . .	417
13.2.2	Schweiz . . . . .	418
13.2.3	Frankreich . . . . .	420
13.2.4	Italien . . . . .	421
13.2.5	Deutschland (Bayern) . . . . .	422
13.2.6	Norwegen . . . . .	423
13.2.7	Island . . . . .	424
13.2.8	Spanien (Katalonien) . . . . .	426
13.2.9	Kanada . . . . .	427
13.2.10	Vereinigte Staaten von Amerika (USA) . . . . .	428
13.2.11	Japan . . . . .	429
13.2.12	Andere Länder . . . . .	431
<b>14</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick . . . . .</b>	<b>433</b>
	<b>Literatur . . . . .</b>	<b>435</b>
	<b>Index der Abbildungsquellen . . . . .</b>	<b>453</b>
	<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>455</b>
	<b>Inserentenverzeichnis . . . . .</b>	<b>465</b>

