

Alexander KLOTZ

BERCHNUNGSANSATZ FÜR DEN EINSATZ VON STAHLFASERBETON AN LAWINENGALERIEN

DIPLOMARBEIT

eingereicht an der

LEOPOLD-FRANZENS-UNIVERSITÄT INNSBRUCK
FAKULTÄT FÜR BAUINGENIEURWISSENSCHAFTEN



zur Erlangung des akademischen Grades

DIPLOM-INGENIEUR

Beurteiler:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Feix

Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften
Arbeitsbereich für Massivbau und Brückenbau

Innsbruck, August 2012

Betreuer: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Feix
Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften
Arbeitsbereich für Massivbau und Brückenbau

Mitbetreuer: Dipl.-Ing. Rupert Walkner
Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften
Arbeitsbereich für Massivbau und Brückenbau

Kurzfassung

Gewölbeförmige Lawinenschutzgalerien setzen sich aus einem bergseitigen Gewölbe und einer talseitigen Stützenreihe zusammen. Diese Elemente der Galerie sind in ihrer Form an die Belastung angepasst. Dabei wird versucht wie im Tunnelbau, den Querschnitt als Druckgewölbe auszubilden, das aber aufgrund der asymmetrischen Belastung nicht ganz zu erreichen ist. Speziell im Ulmenbereich des Gewölbes entstehen Biegemomente, die einen hohen Bewehrungsgrad des Stahlbetonquerschnitts erfordern. Um die Bewehrung, die entlang des Bogens verlegt wird, nicht im Werk vorbiegen zu müssen, kommen Bewehrungsstäbe mit einem Durchmesser von maximal 12mm zum Einsatz, die sich nur durch ihr Eigengewicht an die runde Form anpassen. Durch den so begrenzten Stabdurchmesser entstehen oft sehr dichte Bewehrungsnetzwerke, um die notwendige Stahlmenge im Beton umzusetzen. Dies verursacht einen hohen Verlegeaufwand dieser Bewehrung, erschwert aber auch das gleichmäßige Einbringen des Betons.

Mit der folgenden Arbeit wird nun untersucht, ob es aus theoretischer Sicht möglich ist, den Gewölbebereich in reinen Stahlfaserbeton auszuführen, um in diesem Bereich vollständig auf Stabbewehrung verzichten zu können. Da die statische Berechnung von Faserbeton noch nicht normiert ist, werden hier zwei unterschiedliche Bemessungsverfahren herangezogen, um die Tragfähigkeit besser zu beurteilen. Zum Einen wird die ÖVBB Richtlinie "Faserbeton" und zum Anderen der Ansatz aus dem Buch "Stahlfaserbeton - Grundlagen und Praxisanwendungen" verwendet. Diese beiden, sich zum Teil stark unterscheidenden Herangehensweisen für die Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Faserbeton, werden zu Beginn dieser Arbeit näher beschrieben, und auf ihre Charakteristiken eingegangen.

Aufgrund der geringen Momententragfähigkeit von Faserbeton, die schon im Vorfeld bekannt ist, wird in einem weiteren Schritt versucht die Querschnittsform der Lawinengalerie zu optimieren, mit dem Ziel die Biegemomente entlang des Gewölbes abzumindern. Die anschließende Bemessung des Faserbetonquerschnitts erfolgt mit den Randbedingungen der bereits ausgeführten Madermähder-Galerie im Schmirntal, Tirol, und den Vorgaben der Tiroler Landesregierung für diesen Bauwerkstyp.

Abstract

A concave avalanche gallery is made up of an uphill arch and a downhill row of columns. These elements of a gallery are in their shape adjusted to the load. In doing so the cross section is tried to be built as a compression arch. But due to the asymmetric load this can barely be reached. Especially in the cheek areas of the arch bending moments arise that require a high density of reinforcement of the cross section. That the concrete reinforcement which is used along the arch does not have to be formed in the factory reinforced bars with a maximum cross section dimension of 12mm are being used. These reinforced bars adapt into mould just with their own dead weight. Due to the limited cross section of the reinforced bar very often dense grids of concrete reinforcement develop just to have the necessary amount of steel in the concrete. And so the effort of laying is high and the evenly contribution of the concrete is hindered.

This thesis tries to investigate if it is theoretically possible to build an arch only with fibre concrete and do not use any bar for concrete reinforcement. The static calculation of fibre concrete is not yet normed and so in this thesis two design procedures are being used to better evaluate the bearing capability. The two design procedures are the ÖVBB guideline “Faserbeton” and the approach from the book “Stahlfaserbeton – Grundlagen und Praxisanwendungen”. These two approaches for the assignment of the capability of fibre concrete, which differ strongly from each other, are being described in the beginning of this thesis and their characteristics are being described.

Because it is already known that the moment of the bearing capability of fibre concrete is very low in a next step the thesis tries to optimise the mould of the cross section aiming at alleviating the bending moment along the arch. The following design of the fibre concrete cross section is carried out with the boundary conditions of the already build “Madermähder-Galerie” in Tyrol and the guidelines of the federal state government of Tyrol for this type of building.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	11
Tabellenverzeichnis	15
1 Faserbeton Allgemein	19
1.1 Entwicklung	20
1.2 Anwendungsbereiche	21
1.3 Faserarten und -typen	22
1.3.1 Stahlfaser	23
1.3.2 nichtmetallische Fasern	25
1.4 Tragverhalten von Faserbeton	27
1.4.1 Einflussfaktoren auf das Tragverhalten des Faserbetons	29
1.4.2 Faserbeton unter Druck	32
1.4.3 Faserbeton unter Zug	32
1.4.4 Faserbeton unter Biegezug	34
1.4.5 Bemessungsphilosophie unter Gebrauchslast	35
1.4.6 Bemessungsphilosophie unter Traglast	36
1.5 Kriechen und Schwinden von Faserbeton	37
1.6 Korrosion	38
1.7 Frostwiderstand	39
1.8 Richtlinien/Literatur	39
2 Herstellung, Verarbeitung und Nachbehandlung	40
2.1 Zusammensetzung	40
2.1.1 Zement	40
2.1.2 Zuschläge	40
2.1.3 Faser	41
2.1.4 Betonzusätze	41
2.2 Einmischen der Fasern	42
2.2.1 Manuelle Zugabe	42
2.2.2 Automatisierte Zugabe	42
2.3 Verarbeitung	43
2.4 Nachbehandlung	44
3 Bemessung von Faserbetonbauteilen	45
3.1 Bemessung nach ÖVBB-Richtlinie "Faserbeton"	47
3.1.1 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit GZG	47
3.1.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit GZT	49
3.1.3 Prüfung des Nachrissverhaltes (äquivalente Biegezugfestigkeit)	55
3.2 Bemessung nach "WIETEK"	57
3.2.1 Ermittlung des Raumwinkels α	57
3.2.2 Materialkennwerte	64
3.2.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit GZG	65
3.2.4 Grenzzustand der Tragfähigkeit GZT	68
3.3 Rissbreite	70

4	Anwendung an einer Lawinengalerie	72
4.1	Geometrie	74
4.1.1	Optimierung	76
4.2	statisches System	87
4.3	Fundamentbettung	89
4.3.1	Lagerung	91
4.3.2	Ermittlung der Federsteifigkeiten nach KANY	92
4.4	Einwirkungen	98
4.4.1	LF1: Eigenlast	99
4.4.2	LF2: Einschüttung	100
4.4.3	LF3: Schwinden	108
4.4.4	LF4: Lawinenabgang	111
4.4.5	LF5: Abgelagerter Lawinenschnee	118
4.4.6	LF6: Regelschneelast	119
4.4.7	LF7: Temperaturbelastung	121
4.4.8	LF8: Stützenanprall	125
4.5	Schnittgrößenermittlung	127
4.5.1	Einwirkungstypen	127
4.5.2	Grenzzustände	127
4.5.3	Berechnung der Schnittgrößen	132
4.6	Material	134
4.6.1	ÖVBB-Richtlinie	134
4.6.2	Bemessung nach "WIETEK"	135
4.7	Biegebemessung	137
4.7.1	LK1: Eigengewicht	138
4.7.2	LK2: Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)	144
4.7.3	LK3: Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)	160
4.8	Querkraftnachweis	191
4.8.1	ÖVBB-Richtlinie	192
4.8.2	Bemessung nach "WIETEK"	199
4.9	Zusammenfassung der Ergebnisse	205
4.9.1	Berechnungsmethoden	205
4.9.2	Stahlfaserquerschnitt an einer Lawinengalerie	207
5	Fazit	209
	Literatur	210
6	Anhang	213
6.1	Anhang A: LK 1, Eigengewicht	213
6.1.1	Lagerungsfall A weich - weich	213
6.1.2	Lagerungsfall B steif - weich	214
6.1.3	Lagerungsfall C steif - steif	215
6.1.4	Lagerungsfall D weich - steif	216
6.2	Anhang B: LK 2, Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	217
6.2.1	Lagerungsfall A weich - weich	217
6.2.2	Lagerungsfall B steif - weich	220
6.2.3	Lagerungsfall C steif - steif	223
6.2.4	Lagerungsfall D weich - steif	226

6.3	Anhang C: LK 3, GZT nach ÖVBB-Richtlinie	229
6.3.1	Lagerungsfall A weich - weich	229
6.3.2	Lagerungsfall B steif - weich	235
6.3.3	Lagerungsfall C steif - steif	238
6.3.4	Lagerungsfall D weich - steif	241
6.4	Anhang D: LK 3, Grenzzustand der Tragfähigkeit nach WIETEK	244
6.4.1	Lagerungsfall A weich - weich	244
6.4.2	Lagerungsfall B steif - weich	247
6.4.3	Lagerungsfall C steif - steif	250
6.4.4	Lagerungsfall D weich - steif	253

Abbildungsverzeichnis

1	Kunststofffasern an einer Bruchstelle	19
2	Minarett von Agadez (links), weitere Bauwerke aus Lehm, Stroh und Mist (rechts oben) und eine Detailaufnahme der Wand (rechts unten) [11]	20
3	Anwendungsbeispiele für Faserbeton: Dachtragwerk aus Spannbetonfertigteilein-der aus Stahlfaserbeton (links), Treppe aus 5cm dickem hochfestem Stahlfaserbeton (mitte) und Waschbecken aus Glasfaserbeton (rechts) [11]	21
4	Anwendungsgebiete des Stahlfaserbetons in Deutschland [14]	22
5	Schematische Darstellung der Herstellung von gezogenen Fasern [12]	23
6	Typische Formen für gezogene Stahlfasern [11]	24
7	Schematische Darstellung der Herstellung von gefrästen Fasern (links)[12] und Typische Form einer Spannfaser (links) [11]	24
8	Schematische Darstellung der Herstellung von gehaspelten Fasern (links) [12] und typische Form einer Blechfaser (rechts) [11]	25
9	Beton in der Abbindephase [13]	27
10	Einfluss der Faser in der Abbindephase [13]	28
11	Übergang von der Mikro- zur Makrorissbildung [11]	28
12	Last-Verschiebungs-Kurven aus Einzelfaserausziehversuchen mit und ohne Endhaken im Vergleich [11]	30
13	Kritischer Fasergehalt V_{crit} [11]	30
14	Beispiele für mögliche Faserorientierungen [12]	31
15	Einfluss der Korngröße auf Faserverteilung, Faserorientierung und Verarbeitbarkeit [12]	32
16	Verbesserung des Tragverhaltens von Betonzylindern bei Druckbeanspruchung durch die Zugabe von Fasern [11]	32
17	Last-Verformungskurve von Stahlfaserbeton im Druckversuch in Abhängigkeit der Fasermenge [12]	33
18	Zugspannung in Abhängigkeit der Dehnung beziehungsweise der Rißweite [12]	33
19	Qualitative Spannungsumlagerung in Stahlfaserbeton unter Biegezugbeanspruchung [12]	34
20	Qualitative Arbeitslinie von Stahlfaserbeton im Biegezugversuch [12]	35
21	Rissbreiten bei Spannbetonbauteilen, links ohne und rechts mit Stahlfasierzugabe [11]	35
22	Spannungsverteilung des ungerissenen Betonquerschnitts [13]	36

Abbildungsverzeichnis

23	Einsatz von Stahlfaserbeton in statisch bestimmten und statisch unbestimmten Systemen [11]	37
24	Dehnungs- und Spannungsverteilung des gerissenen Faserbetonquerschnitts [10] .	37
25	Einfluss der Faserzugabe auf das Schwindverhalten von Beton [12]	38
26	Typische Igelbildung bei der Entnahme vom Fahrmischer [13]	41
27	Dosiergerät für Faser der Firma Incite (links) und Einblasgerät für Fasern der Firma La Matassina (rechts) [13]	42
28	Oberfläche eines Versuchskörpers, dessen Oberfläche nach dem Rütteln nicht abgerieben wurde [14].	43
29	Spannungsverteilung im Zustand I über den Querschnitt bei Biegemoment und zentrischer Druckkraft	48
30	Ermittlung der äquivalenten Biegezugfestigkeiten für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit [10]	50
31	Verbesserung des Nachbruchverhaltens unter zentrischer Druckspannung [11] . .	51
32	Spannungs- und Formänderungseigenschaften für Beton(Tabelle 3.1 aus [7]) . . .	52
33	Spannung-Dehungsdiagramm Zustand II und Kräftegleichgewicht am Querschnitt unter Berücksichtigung der maximalen Zugdehnung bei linearer Spannungsverteilung [10]	53
34	Bilineare Spannungs-Dehnungs-Linie[10]	54
35	Versuchsaufbau zur Bestimmung der äquivalenten Biegezugfestigkeit für Nachweise der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit, sowie der Biegezugfestigkeit beim Erstriss [10]	55
36	Ermittlung der äquivalenten Biegezugfestigkeiten für Nachweise der Gebrauchstauglichkeit und Tragsicherheit [10]	56
37	Bestimmung der Biegezugfestigkeit aus der Versuchskurve [10]	56
38	Einfacher Biegebalken mit Kerbe für die Versuchsdurchführung [13]	58
39	Qualitativer Momentenverlauf für den in Abbildung 38 gezeigten Versuchsanordnung [13].	58
40	Rissentwicklung bei einem Biegebalken [13]	59
41	Spannungsverteilung im Zustand I [13]	59
42	qualitative Arbeitslinie bei einem unterkritischen Fasergehalt [13]	60
43	Spannungsverlauf für Stahlfaserbeton vor dem Erstriss [13]	60
44	Spannungsverlauf für Stahlfaserbeton bei einer Risstiefe von 90% [13]	61
45	Spannungsverlauf für Stahlfaserbeton bei einer Risstiefe von 90% [13]	62
46	Winkel und Längen einer Halbkugel [13]	63
47	Winkel und Längen einer Halbkugel [13]	63
48	Spannungsverteilung im Zustand I über den Querschnitt bei Biegemoment und zentrischer Druckkraft [13]	66
49	Spannungsverteilung im Zustand I über den Querschnitt bei Biegemoment und zentrischer Druckkraft	66
50	Spannung-Dehungsdiagramm Zustand II und Kräftegleichgewicht am Querschnitt unter Berücksichtigung der maximalen Zugdehnung bei linearer Spannungsverteilung [10].	68
51	Kerböffnungen [21].	70
52	Spannungsverteilung eines gekerbten Balkens unter maximaler reiner Biegung [21].	71
53	Orthofoto der Lage der Madermähdergalerie [19]	72
54	Regelquerschnitt der Galerie [19].	73
55	Rahmentyp [19]	75

Abbildungsverzeichnis

56	Momentenverlauf der Vorbemessung im GZT	76
57	Lawinenschutztunnel mit angepasster Querschnittsgeometrie	77
58	Lawinenschutzgalerie mit elliptischen Querschnitt	77
59	Schutz tunnel mit angepasster Querschnittsgeometrie	78
60	Momentenverlauf zufolge Eigengewicht	79
61	Form nach dem ersten Optimierungsschritt	80
62	Momentenverlauf nach der ersten Optimierung	81
63	Momentenverlauf zufolge Betoneigengewicht nach der ersten Optimierung	81
64	Form nach dem zweiten Optimierungsschritt	82
65	Momentenverlauf nach der zweiten Optimierung	83
66	Momentenverlauf zufolge Betoneigengewicht nach der zweiten Optimierung . . .	83
67	Form nach dem dritten Optimierungsschritt	84
68	Momentenverlauf nach der dritten Optimierung	85
69	Momentenverlauf zufolge Betoneigengewicht nach der dritten Optimierung . . .	85
70	Vergleich der untersuchten Querschnittsgeometrien	86
71	Nummerierung und Formen die in Abbildung 70 unterschieden werden.	87
72	Abmessungen der Systemachse des gewählten Galeriequerschnitts.	89
73	Ödometerversuch einer Feldprobe	90
74	Federlager [16]	91
75	Tabelle 24 für Setzungsbeiwerte für starre Fundamente [17]	93
76	Bestimmung der Grenztiefe [15]	94
77	Setzungsanteile [17].	94
78	Horizontalverschiebung der setzungsfähigen Schicht [17]	95
79	Nummerierung der Stäbe und Knoten der Systemlinie	98
80	Abmessungen der Fundamente und des Randbalkens (Maße in cm).	99
81	Einschütthöhen talseitig der Ersatzwand	101
82	Ausbildung des Erdgewölbes [16]	102
83	Ansatz des erhöhten Erddrucks auf der Bergseite der Ersatzwand	103
84	aktiver Erddruck aus Bodeneigenlast [8]	105
85	Vorzeichenregel für die Berechnung des aktiven und passiven Erddrucks [8]. . . .	105
86	Aufteilung der Lawinenlast auf einen horizontalen und vertikalen Anteil	111
87	Orientierung des aktiven Erddrucks [8].	112
88	Wirkung der vertikalen Lawinenbelastung berseitig der Ersatzwand	113
89	Wirkung der horizontalen Lawinenbelastung berseitig der Ersatzwand	114
90	Wirkung der vertikalen Lawinenbelastung talseitig der Ersatzwand	116
91	Wirkung der horizontalen Lawinenbelastung talseitig der Ersatzwand	117
92	Temperaturverteilung eines Elements mit zwei Lagen [4]	122
93	Temperaturbereiche.	124
94	Stützenanprall an der Stütze der Galerie.	126
95	Benutzeroberfläche des Statikprogramms RSTAB.	132
96	Stahlfasertyp FE 65/35 laut ArcelorMittal	136
97	Spannung-Dehnungsdiagramm Zustand II und Kräftegleichgewicht am Querschnitt unter Berücksichtigung der maximalen Zugdehnung bei linearer Spannungsver- teilung [10]	163
98	Mohr'sche Spannungskreis	200
99	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge Eigengewicht im Lagerungsfall A . .	213
100	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge Eigengewicht im Lagerungsfall B . .	214
101	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge Eigengewicht im Lagerungsfall C . .	215

Abbildungsverzeichnis

102	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge Eigengewicht im Lagerungsfall D . .	216
103	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge charakteristische Kombination im Lagerungsfall A	217
104	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge häufige Kombination im Lagerungsfall A	218
105	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge quasi-ständige Kombination im Lagerungsfall A	219
106	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge charakteristische Kombination im Lagerungsfall B	220
107	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge häufige Kombination im Lagerungsfall B	221
108	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge quasi-ständige Kombination im Lagerungsfall B	222
109	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge charakteristische Kombination im Lagerungsfall C	223
110	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge häufige Kombination im Lagerungsfall C	224
111	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge quasi-ständige Kombination im Lagerungsfall C	225
112	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge charakteristische Kombination im Lagerungsfall D	226
113	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge häufige Kombination im Lagerungsfall D	227
114	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge quasi-ständige Kombination im Lagerungsfall D	228
115	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge Grundkombination im Lagerungsfall A	229
116	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge Grundkombination mit dem Gelenk im Knoten 6 im Lagerungsfall A	230
117	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge Grundkombination mit dem Gelenk im Knoten 6 und 10 im Lagerungsfall A	231
118	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge Grundkombination mit dem Gelenk im Knoten 6 und 10 im Lagerungsfall A (zweite Iteration)	232
119	Querkraftverlauf und Systemverschiebung zufolge Grundkombination mit dem Gelenk im Knoten 6 und 10 im Lagerungsfall A	233
120	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge außergewöhnliche Kombination mit dem Gelenk im Knoten 7 im Lagerungsfall A	234
121	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge Grundkombination mit dem Gelenk im Knoten 10 und 7 im Lagerungsfall B	235
122	Querkraftverlauf und Systemverschiebung zufolge Grundkombination mit dem Gelenk im Knoten 7 und 10 im Lagerungsfall B	236
123	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge außergewöhnliche Kombination im Lagerungsfall B	237
124	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge Grundkombination mit dem Gelenk im Knoten 6 und 10 im Lagerungsfall C	238
125	Querkraftverlauf und Systemverschiebung zufolge Grundkombination mit dem Gelenk im Knoten 6 und 10 im Lagerungsfall C	239

Tabellenverzeichnis

126	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge außergewöhnliche Kombination im Lagerungsfall C	240
127	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge Grundkombination mit dem Gelenk im Knoten 6 und 14 im Lagerungsfall D	241
128	Querkraftverlauf und Systemverschiebung zufolge Grundkombination mit dem Gelenk im Knoten 6 und 14 im Lagerungsfall D	242
129	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge außergewöhnliche Kombination im Lagerungsfall D	243
130	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge Grundkombination mit dem Gelenk im Knoten 6 und 14 im Lagerungsfall A	244
131	Querkraftverlauf und Systemverschiebung zufolge Grundkombination mit dem Gelenk im Knoten 6 und 14 im Lagerungsfall A	245
132	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge außergewöhnliche Kombination mit dem Gelenk im Knoten 7 im Lagerungsfall A	246
133	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge Grundkombination mit dem Gelenk im Knoten 10 im Lagerungsfall B	247
134	Querkraftverlauf und Systemverschiebung zufolge Grundkombination mit dem Gelenk im Knoten 10 im Lagerungsfall B	248
135	Momenten- und Normalkraftverlauf außergewöhnliche Kombination mit dem Gelenk im Knoten 8 im Lagerungsfall B	249
136	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge Grundkombination mit dem Gelenk im Knoten 6, 10 und 14 im Lagerungsfall C	250
137	Querkraftverlauf und Systemverschiebung zufolge Grundkombination mit dem Gelenk im Knoten 6, 10 und 14 im Lagerungsfall C	251
138	Momenten- und Normalkraftverlauf außergewöhnliche Kombination im Lagerungsfall C	252
139	Momenten- und Normalkraftverlauf zufolge Grundkombination mit dem Gelenk im Knoten 6 und 14 im Lagerungsfall D	253
140	Querkraftverlauf und Systemverschiebung zufolge Grundkombination mit dem Gelenk im Knoten 6 und 14 im Lagerungsfall D	254
141	Momenten- und Normalkraftverlauf außergewöhnliche Kombination mit Gelenke im Knoten 6 im Lagerungsfall D	255

Tabellenverzeichnis

1	Tabelle verschiedener Faserwerkstoffe [12]	26
2	Beispiele für die Mischzusammensetzung von Faserbeton [11]	41
3	Mindestwerte für die Biegezugfestigkeit der Faserbetonklasse BZ [10]	47
4	Mindestwerte für die Biegezugfestigkeit der Faserbetonklasse T [10]	49
5	Auflistung der Verhältniszahlen [13]	62
6	Notwendige Faserkennwerte für die Bemessung von Faserbeton [13]	65
7	Liste der Knotennummern mit den dazugehörigen Koordinaten.	89
8	StEIFEMODULE für nichtbindige Böden [17]	90
9	Lagerungsfälle.	91
10	Eingangswerte für die Tabelle 75	92
11	Setzungsbeiwerte lt. Tabelle 75	94

12	Federsteifigkeiten für das Ersatzfedersystem der Fundamentbettung nach KANY [17].	97
13	Querschnittshöhen der Stäbe	99
14	Typische Kennwerte für typische Böden aus [15]	100
15	Bodenspannungen über den jeweiligen Knoten	101
16	Tabelle für den Wandreibungswinkel [8].	104
17	Bodenkennwerte der Hinterfüllung.	104
18	Ergebnis der Erddruckverteilung bergseitig der Ersatzwand	107
19	Nennwerte für die unbehinderte Trocknungsschwinddehnung $\varepsilon_{cd,0}$ (in‰) für Beton mit Zement CEM Klasse N [7].	108
20	k_h -Werte aus [7]	109
21	Gleichlasten zufolge Lawinenabgang	117
22	Knotenlasten zufolge Lawinenabgang	118
23	Gleichlasten zufolge abgelagerten Lawinenschnee.	120
24	Knotenlasten zufolge abgelagerten Lawinenschnee.	120
25	Gleichlasten zufolge Regelschneelast	121
26	Knotenlasten zufolge Regelschneelast	121
27	Anhaltswerte für äquivalente statische Anprallkräfte aus Straßenverkehr auf Stützkonstruktionen von Tragwerken an und über Straßenverkehrswegen [5].	126
28	Kombinationsbeiwerte	129
29	Grundkombination	129
30	außergewöhnliche Kombination	130
31	Charakteristische Kombination	131
32	Häufige Kombination	131
33	Quasi-ständige Kombination	131
34	Spannungs- und Formänderungseigenschaften von C 30/37 aus [7]	136
35	Form- und Festigkeitseigenschaften von FE 65/35 laut ArcelorMittal	136
36	Erforderliche Höhen für den Lastfall Eigengewicht mit dem Lagerungsfall A . . .	140
37	Erforderliche Höhen für den Lastfall Eigengewicht mit dem Lagerungsfall B . . .	141
38	Erforderliche Höhen für den Lastfall Eigengewicht mit dem Lagerungsfall C . . .	142
39	Erforderliche Höhen für den Lastfall Eigengewicht mit dem Lagerungsfall D . . .	143
40	Ergebnis der Bemessung zufolge Eigengewicht	144
41	Erforderliche Höhen für die charakteristische Kombination (Lagerungsfall A) . .	146
42	Erforderliche Höhen für die häufige Kombination und den Lagerungsfall A . . .	147
43	Erforderliche Höhen für die quasi-ständige Kombination und den Lagerungsfall A	148
44	Erforderliche Höhen für die charakteristische Kombination und den Lagerungsfall B	150
45	Erforderliche Höhen für die quasi-ständige Kombination und den Lagerungsfall B bei einer doppelt so hohen horizontalen Federsteifigkeit (statt c_u von 44,2 MN/m, 88,4 MN/m).	151
46	Erforderliche Höhen für die häufige Kombination und den Lagerungsfall B . . .	152
47	Erforderliche Höhen für die quasi-ständige Kombination und den Lagerungsfall B	153
48	Erforderliche Höhen für die charakteristische Kombination und den Lagerungsfall C	154
49	Erforderliche Höhen für die häufige Kombination und den Lagerungsfall C . . .	155
50	Erforderliche Höhen für die quasi-ständige Kombination und den Lagerungsfall C	156
51	Erforderliche Höhen für die charakteristische Kombination und den Lagerungsfall D	157
52	Erforderliche Höhen für die häufige Kombination und den Lagerungsfall D . . .	158
53	Erforderliche Höhen für die quasi-ständige Kombination und den Lagerungsfall D	159
54	Ergebnis des Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	160

55	Erforderliche Höhen für die Grundkombination und den Lagerungsfall A	162
56	Erforderliche Höhen für die Grundkombination mit Gelenk im Knoten 6 und den Lagerungsfall A	166
57	Ermittlung des Resttragmoment für den Knoten 6	167
58	Erforderliche Höhen für die Grundkombination mit Gelenk im Knoten 6 und den Lagerungsfall A nach Anpassung der Normalkraft	168
59	Ermittlung der Resttragmoment für den Knoten 10	169
60	Erforderliche Höhen für die Grundkombination mit Gelenk im Knoten 6 und 11 und den Lagerungsfall A	170
61	Ermittlung der Resttragmoment für den Knoten 10, zweite Iteration	171
62	Erforderliche Höhen für die Grundkombination mit Gelenk im Knoten 6 und 10 und den Lagerungsfall A nach der zweiten Iteration	172
63	Erforderliche Höhen für die Grundkombination mit Gelenk im Knoten 10 und 7 und den Lagerungsfall B	174
64	Erforderliche Höhen für die Grundkombination mit Gelenk im Knoten 6 und 10 und den Lagerungsfall C nach der zweiten Iteration	175
65	Erforderliche Höhen für die Grundkombination mit Gelenk im Knoten 6 und 14 und den Lagerungsfall D nach der zweiten Iteration	176
66	Erforderliche Höhen für die außergewöhnliche Kombination mit Gelenk im Knoten 7 und den Lagerungsfall A	177
67	Erforderliche Höhen für die außergewöhnliche Kombination und Lagerungsfall B	178
68	Erforderliche Höhen für die außergewöhnliche Kombination und Lagerungsfall C	179
69	Erforderliche Höhen für die außergewöhnliche Kombination und Lagerungsfall D	180
70	Ermittlung des Resttragmoment für den Knoten 6	181
71	Erforderliche Höhen für die Grundkombination und Lagerungsfall A	182
72	Erforderliche Höhen für die Grundkombination mit Gelenke in den Knoten 6 und 14 und Lagerungsfall A	183
73	Erforderliche Höhen für die Grundkombination mit Gelenke in den Knoten 6 und 10 und Lagerungsfall B	184
74	Erforderliche Höhen für die Grundkombination mit Gelenke in den Knoten 6, 10 und 14 und Lagerungsfall C	185
75	Erforderliche Höhen für die Grundkombination mit Gelenke in den Knoten 6 und 14 und Lagerungsfall D	186
76	Erforderliche Höhen für die außergewöhnliche Kombination mit Gelenke im Knoten 7 und Lagerungsfall A	187
77	Erforderliche Höhen für die außergewöhnliche Kombination mit Gelenke im Knoten 8 und Lagerungsfall B	188
78	Erforderliche Höhen für die außergewöhnliche Kombination für den Lagerungsfall C	189
79	Erforderliche Höhen für die außergewöhnliche Kombination mit Gelenke im Knoten 6 und Lagerungsfall D	190
80	Ergebnis des Grenzzustand der Tragfähigkeit	191
81	Querkraftnachweis für den Knoten 4	195
82	Querkraftnachweis für den Knoten 10	196
83	Querkraftnachweis für den Knoten 4	196
84	Querkraftnachweis für den Knoten 14	196
85	Querkraftnachweis für den Knoten 7	197
86	Querkraftnachweis für den Knoten 10	197
87	Querkraftnachweis für den Knoten 4	197

Tabellenverzeichnis

88	Querkraftnachweis für den Knoten 14	198
89	Querkraftnachweis für den Knoten 6	198
90	Querkraftnachweis für den Knoten 10	198
91	Querkraftnachweis für den Knoten 4	199
92	Querkraftnachweis für den Knoten 6	199
93	Querkraftnachweis für den Knoten 14	199
94	Querkraftnachweis für den Knoten 6	201
95	Querkraftnachweis für den Knoten 14	202
96	Querkraftnachweis für den Knoten 4	202
97	Querkraftnachweis für den Knoten 14	202
98	Querkraftnachweis für den Knoten 10	203
99	Querkraftnachweis für den Knoten 5	203
100	Querkraftnachweis für den Knoten 6	203
101	Querkraftnachweis für den Knoten 10	204
102	Querkraftnachweis für den Knoten 14	204
103	Querkraftnachweis für den Knoten 4	204
104	Querkraftnachweis für den Knoten 6	205
105	Querkraftnachweis für den Knoten 14	205