

Bernhard Maidl

Handbuch für Spritzbeton

Unter Mitarbeit von:

Thomas Rolf

Thomas Berger

Bernd Feyerabend

Christof Gipperich

Klaus Guthoff

Frank Tallarek

Jens-Detlev Wolter



Ernst & Sohn

Verlag für Architektur
und technische Wissenschaften
Berlin

Inhaltsverzeichnis

1	Geschichtliche Entwicklung des Spritzbetons	1
1.1	Maschinelle und verfahrenstechnische Entwicklung	1
1.1.1	Das Naßspritzverfahren	1
1.1.2	Das Trockenspritzverfahren	3
1.2	Entwicklung im Tunnelbau	8
1.3	Entwicklung im Bergbau unter besonderer Berücksichtigung des Ruhrkohlebergbaus	9
1.4	Entwicklung bei der Bauwerksinstandsetzung	10
2	Definitionen und Einsatzbereiche	13
2.1	Definitionen und Begriffe (nach DIN 18551 und DIN 1045)	13
2.2	Einsatzbereiche	16
2.2.1	Tunnelbau	16
2.2.2	Bergbau	17
2.2.3	Instandsetzung und Bauteilverstärkung	19
2.2.4	Tiefbau	20
2.2.5	Schalenskonstruktionen und Kuppeln	23
2.2.6	Spritzbeton unter Druckluft	24
2.2.7	Weitere Einsatzbereiche des Spritzverfahrens mit veränderten Materialvarianten	25
3	Normen, Richtlinien, Vorschriften, Empfehlungen	27
3.1	Allgemeines	27
3.2	Deutschland	27
3.2.1	DIN 18551	27
3.2.2	DIN 18314	34
3.2.3	DS 853 der Deutschen Bundesbahn	34
3.2.4	ZTV – SIB 90	37
3.2.5	Technische Gütevorschriften und Lieferbedingungen (TGL) 33415/01: Fachbereichsstandard, Sonderbetone und Sonderbetonierverfahren	38
3.3	Ausland	40
3.3.1	Österreich	40
3.3.2	Schweiz	49
3.3.3	USA, Kanada	50
3.3.4	England	52
4	Verfahrenstechnik und Geräte	54
4.1	Spritzverfahren	54
4.1.1	Trockenspritzverfahren	55
4.1.2	Naßspritzverfahren	56

Inhaltsverzeichnis

4.1.3	Vergleich der Verfahren	59
4.1.4	Weitere Entwicklungen	59
4.1.4.1	Wirbelkammerverfahren	63
4.1.4.2	SEC-Shotcrete	63
4.1.4.3	Rollschalungen	64
4.2	Geräte und Ausrüstung	66
4.2.1	Aufbereitung	67
4.2.2	Spritztechnik	68
4.2.2.1	Trockenspritzmaschinen	69
4.2.2.2	Spritzdüsen für das Trockenspritzverfahren	72
4.2.2.3	Naßspritzmaschinen	76
4.2.2.4	Spritzdüsen für das Naßspritzverfahren	80
4.2.3	Automatische Düsenführung	83
4.2.3.1	Manipulatoren	83
4.2.3.2	Spritzroboter	88
4.2.4	Zusatzgeräte	91
4.2.4.1	Einrichtungen zur automatischen BE-Mittelzugabe	91
4.2.4.2	Stahlfaserdosiergeräte	95
4.2.4.3	Zusatzgeräte zur Verminderung der Staubeentwicklung	95
4.3	Besonderheiten für Instandsetzungsarbeiten	96
4.4	Besonderheiten im Bergbau	102
5	Spritzbetonzusammensetzung und Rezepturen	104
5.1	Zuschlag	104
5.2	Zement	106
5.3	Zusatzmittel	107
5.3.1	Erstarrungsbeschleuniger	108
5.3.2	Betonverflüssiger, Fließmittel	111
5.3.3	Staubbindemittel	111
5.3.4	Verzögerer	113
5.3.5	Kunststoffdispersionen	113
5.4	Zusatzstoffe	115
5.4.1	Flugasche	116
5.4.2	Silicastaub	117
5.5	Besonderheiten für Instandsetzungsarbeiten	119
5.6	Besonderheiten im Bergbau	120
5.7	Beispiele für Rezepturen	122
6	Einflußfaktoren aus Materialtechnologie und Verfahrenstechnik	124
6.1	Materialtechnologische Einflußfaktoren	126
6.1.1	Einflüsse auf die Spritzbetonqualität	126
6.1.1.1	w/z-Wert	127

6.1.1.2	Zuschlag	128
6.1.1.3	Zement	130
6.1.1.4	Zusätze	130
6.1.2	Einflüsse auf das Rückprallverhalten	135
6.1.2.1	w/z-Wert	135
6.1.2.2	Zuschlag	137
6.1.2.3	Zement	139
6.1.2.4	Zusätze	140
6.1.3	Einflüsse auf die Staubentwicklung	141
6.1.3.1	w/z-Wert	141
6.1.3.2	Zuschlag	143
6.1.3.3	Zement	144
6.1.3.4	Zusätze	145
6.2	Verfahrenstechnische Einflußfaktoren aus der Gesamtmaschinenkonzeption	147
6.2.1	Einflüsse auf die Spritzbetonqualität	147
6.2.2	Einflüsse auf das Rückprallverhalten	150
6.2.2.1	Luftmenge	150
6.2.2.2	Förderleitungslänge	152
6.2.2.3	Wasserzugabestelle	153
6.2.2.4	Vergleich der Spritzverfahren	154
6.2.3	Einflüsse auf die Staubentwicklung	155
6.2.3.1	Maschinenkonzeption	155
6.2.3.2	Luftmenge	156
6.2.3.3	Förderleitungslänge	159
6.2.3.4	Wasserzugabe	160
6.3	Verfahrenstechnische Einflußfaktoren aus der Auftragungstechnik	162
6.3.1	Einflüsse auf die Spritzbetonqualität	165
6.3.1.1	Form der Düsenführungsbewegung	165
6.3.1.2	Bewegungsgeschwindigkeit	165
6.3.1.3	Düsenabstand	166
6.3.1.4	Düsenwinkel	168
6.3.1.5	Form der Düseneigenbewegung	169
6.3.1.6	Größe der Düseneigenbewegung	169
6.3.1.7	Geschwindigkeit der Düseneigenbewegung	170
6.3.2	Einflüsse auf das Rückprallverhalten	171
6.3.2.1	Form der Düsenführungsbewegung	172
6.3.2.2	Bewegungsgeschwindigkeit	172
6.3.2.3	Düsenabstand	173
6.3.2.4	Düsenwinkel	174
6.3.2.5	Form der Düseneigenbewegung	175
6.3.2.6	Größe der Düseneigenbewegung	176
6.3.2.7	Geschwindigkeit der Düseneigenbewegung	176

Inhaltsverzeichnis

6.3.3	Einflüsse auf die Staubeentwicklung	177
6.3.3.1	Form der Düsenführungsbewegung	177
6.3.3.2	Bewegungsgeschwindigkeit	177
6.3.3.3	Düsenabstand	178
6.3.3.4	Düsenwinkel	179
6.3.3.5	Form der Düseneigenbewegung	179
6.3.3.6	Größe der Düseneigenbewegung	179
6.3.3.7	Geschwindigkeit der Düseneigenbewegung	180
6.3.4	Verknüpfung der Düsenführungsparameter	181
6.3.4.1	Druckfestigkeit	182
6.3.4.2	Gleichmäßigkeit	182
6.3.4.3	Rückprallverhalten	182
6.3.4.4	Staubeentwicklung	185
6.4	Vergleich der manuellen mit der automatischen Düsenführung	185
7	Arbeitssicherheit	189
7.1	Gefahren und Belästigungen bei der Spritzbetonverarbeitung	191
7.2	Gesetze, Normen und Richtlinien	194
7.3	Arbeitssicherheitsmaßnahmen	195
7.3.1	Aktive Arbeitssicherheitsmaßnahmen	196
7.3.1.1	Arbeitssicherheitsmaßnahmen bei der Planung und Ausschreibung	196
7.3.1.2	Arbeitssicherheitsmaßnahmen bezüglich der Verfahrenstechnik und Gerätekonstruktion	197
7.3.1.3	Arbeitssicherheitsmaßnahmen während des Baubetriebs	201
7.3.2	Passive Arbeitssicherheitsmaßnahmen	202
7.3.2.1	Passive Arbeitssicherheitsmaßnahmen im Bereich Maschinen- und Bauverfahrenstechnik	203
7.3.2.2	Passive Arbeitssicherheit am Personal	203
7.4	Zusätzliche Bedingungen für Spritzbeton unter Druckluft	206
8	Konstruktion und Statik	209
8.1	Allgemeines	209
8.1.1	Konstruktive Anforderungen an den Spritzbeton	209
8.1.2	Anforderungen bei aggressivem Grundwasser	210
8.1.3	Einfluß dynamischer Erschütterungen beim Erhärten	211
8.2	Anwendung im Tunnelbau	211
8.2.1	Konstruktive Gegebenheiten im Tunnelbau	214
8.2.2	Wirkungsweise des Spritzbetons im Tunnelbau	214
8.2.3	Auslegung der Verbundwirkung von Gebirge und Spritzbeton	217
8.2.4	Idealisierung des Stoffverhaltens für Gebirge und Spritzbetonkonstruktionen im Tunnelbau	217
8.2.5	Statische Nachweise im Tunnelbau	219
8.2.5.1	Stand sicherheitsnachweise	220

8.2.5.2	Berechnungsmodelle	221
8.2.5.3	Anwendungsbereiche der Berechnungsmodelle	222
8.2.6	Beispiele für die Bemessung von Spritzbetonkonstruktionen im Tunnelbau	224
8.2.6.1	Beispiel Stadtbahntunnel Dortmund	225
8.2.6.2	Beispiel Tunnel der Bundesbahn-Neubaustrecke	234
8.2.6.3	Zusammenfassende Betrachtungen	239
8.3	Anwendung im Bergbau	240
8.3.1	Ausführung und mechanisches Verhalten der Konsolidierungsschicht	240
8.3.2	Ausführung und mechanisches Verhalten der Versiegelungsschicht	241
8.3.3	Ausführung und mechanisches Verhalten des Anker-Spritzbetonausbaus	242
8.3.4	Die Belastungsannahmen im Bergbau	242
8.3.5	Das Sicherheitsmodell der Konsolidierung	242
8.3.6	Ausblick und Beurteilung der zukünftigen Entwicklung	245
8.4	Instandsetzung im Bauwesen	246
8.4.1	Verbund in der Anschlußfuge	248
8.4.2	Lastumlagerung	249
8.4.3	Krafteinleitung in die Bewehrung	249
8.4.4	Kriechen und Schwinden	249
8.4.5	Tunnel-Instandsetzung mit bewehrtem Spritzbeton	250
8.4.6	Instandsetzungsarbeiten unter dynamischen Erschütterungen	254
9	Ausschreibung, Aufmaß und Abrechnung	256
9.1	VOB-konforme Ausschreibung	256
9.2	Andere Ausschreibungsmodelle	263
10	Qualitätssicherung im Tunnelbau	268
10.1	Allgemeine Darstellung des zukünftigen Vorgehens	268
10.1.1	Definitionen	268
10.1.2	Notwendigkeit eines Qualitätssicherungssystems	269
10.1.3	Elemente eines Qualitätssicherungssystems	270
10.1.4	Qualitätskriterium Arbeitsplatzbedingungen	274
10.2	Qualitätskontrolle für Spritzbeton	274
10.3	Materialtechnologische Parameter	278
10.3.1	Eignungsprüfung	278
10.3.2	Güteprüfung	281
10.3.3	Überwachung (Eigen- und Fremdüberwachung)	282
10.3.4	Ermittlung der Eigenfeuchte	282
10.3.5	Frischbetonprüfungen	282
10.3.6	Festbetonprüfungen	284
10.4	Verfahrenstechnische Parameter	293
10.4.1	Trockenspritzverfahren	294
10.4.2	Naßspritzverfahren	296
10.4.3	Steuerung und Regelung	297

Inhaltsverzeichnis

10.5	Auftragstechnische Parameter	298
10.6	Berücksichtigung der Witterungseinflüsse bei der Spritzbetonherstellung	299
10.7	Spritzen gegen gefrorene Flächen	300
10.8	Nachbehandlung und Schutz des jungen Spritzbetons	300
10.9	Qualitätssicherung für die Instandsetzung	301
11	Stand der Forschung an der Ruhr-Universität Bochum	304
11.1	Verfahrenstechnische Überwachung	306
11.2	Betontechnologische Überwachung	308
11.3	Automatisierung der Spritzbetontechnik	312
11.4	Weitere Entwicklung	321
	Literaturverzeichnis	323
	Stichwortverzeichnis	335