

Bohrlochzementation

Herausforderungen der Ölfeldchemie

Inhaltsverzeichnis

		Seite
I	Abkürzungen und Formelzeichen	7
II	Vorwort	11
1	Einleitung	12
2	Historische Entwicklung der Bohrlochzementation	13
3	Zementation in der Bohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung	16
3.1	Aufgaben der Bohrlochzementation	17
3.2	Randbedingungen bei Bohrlochzementationen	20
3.2.1	Bohrlochparameter	20
3.2.2	Geologische Randbedingungen bei tiefen Bohrungen	26
3.2.3	Lagerstättenparameter	29
3.3	Anforderungen an Injektionsmedien	30
3.3.1	Technologische Eignung und Handhabung	30
3.3.2	Kompatibilität und Beständigkeit	31
3.3.3	Verfügbarkeit und Qualität	31
3.3.4	Wirtschaftlichkeit	32
3.4	Zementationsprobleme und -fehler	33
3.4.1	Verdrängung von Bohrspülungen und Vermischungseffekte	35
3.4.2	Beseitigung der Filterkuchen von Bohrspülungen	37
3.4.3	Verträglichkeit mit Inhaltsstoffen von Bohrspülungen	38
3.4.4	Zementation in wasserempfindlichen Formationen	40
3.4.4.1	Auflösung von Gesteinskomponenten in Zementsuspensionen	40
3.4.4.2	Hydratation gesteinsbildender Minerale durch Filtrat von Zementsuspensionen (ohne Volumenänderung)	41
3.4.4.3	Hydratation gesteinsbildender Minerale durch Filtrat von Zementsuspensionen (mit Volumenänderung)	42
3.4.4.4	Osmotische Diffusion des Filtrates von Zementsuspensionen im Gestein	43
3.4.4.5	Maßnahmen zur Verringerung von Bohrlochinstabilitäten	44
3.4.5	Zuflüsse ins Bohrloch	45
3.4.5.1	Zufluss von Lebend-Lagerstättenwasser	45
3.4.5.2	Zufluss von flüssigen Kohlenwasserstoffen (Lebend-Öl / Kondensate)	46
3.4.5.3	Zufluss von Formationsgasen	47
3.4.6	Filtrations- und Zirkulationsverluste von Zementsuspensionen	47
3.4.7	Komplizierte Temperatur- und Druckverhältnisse	50
3.4.8	Trägerschädigung durch Zementsuspensionen	51
3.4.8.1	Ursachen der Trägerschädigung bei Bohrlochzementationen	51
3.4.8.2	Invasion von Feststoffen aus Zementsuspensionen	52
3.4.8.3	Invasion von Filtrat aus Zementsuspensionen	53

3.4.8.4	Verminderung von Trägerschädigungen	54
3.4.8.5	Beseitigung von Trägerschädigungen durch Säurebehandlung	55
3.4.9	Kanalbildung / Gasinvasion	55
3.4.10	Qualitätsmängel des Zementmantels	59
4	Basiskomponenten für die Bohrlochzementation	60
4.1	Bindemittel	61
4.1.1	Anorganische Bindemittelsysteme	62
4.1.1.1	Zemente für die Bohrlochzementation	62
4.1.1.1.1	Bohrlochzemente nach API / Portlandzemente (CEM I)	67
4.1.1.1.2	Hochofenzemente	77
4.1.1.1.3	Puzzolanzemente (Trass- und Aschenzemente)	79
4.1.1.1.4	Tonerdezemente	82
4.1.1.1.5	Sonstige Zemente	84
4.1.1.2	Magnesitbinder	85
4.1.1.3	Gipszemente	88
4.1.1.4	Wasserglas-Systeme	88
4.1.1.5	Schlackenzemente	90
4.1.1.6	Spezielle anorganische Bindemittelsysteme	92
4.1.1.6.1	Quellzemente / Expansionszemente	93
4.1.1.6.2	Salzzemente	95
4.1.1.6.3	Thermalzemente	96
4.1.1.6.4	Leichtzemente	102
4.1.1.6.5	Feinst-Zemente / Mikrozemente	103
4.1.2	Partiell- oder rein organische Bindemittelsysteme	104
4.1.2.1	Kunstharze	104
4.1.2.2	Polymermodifizierte Zemente	106
4.1.2.3	Spezielle Dichtungsmittel	109
4.1.2.3.1	Schwefelzemente	109
4.1.2.3.2	Bitumen / Asphalt	110
4.2	Anmachwasser / -lösungen für Standard-Bohrzemente	112
4.2.1	Wasser-Zement-Faktor / Lösung-Feststoff-Faktor	113
4.2.2	Süßwasser	114
4.2.3	Salzwasser	116
4.2.4	Spezielle Anmachlösungen	118
5	Suspensionen für die Bohrlochzementation	118
5.1	Anforderungen an Zementsuspensionen für die Bohrtechnik	119
5.2	Herstellung von Zementsuspensionen für die Bohrtechnik	120
5.3	Untersuchungsmethoden für Suspensionen für die Bohrlochzementation	121
5.3.1	Obligatorische Standarduntersuchungen nach API	122
5.3.1.1	Bestimmung des Gehaltes an freiem Wasser	122
5.3.1.2	Bestimmung der Verpumpungs- / Abbindezeit	124
5.3.1.2.1	HT/HP-Zementkonsistometer zur Bestimmung von Verpumpungs- und Abbindezeiten	126
5.3.1.2.2	Temperatur-Druck-Prüfprogramme für HT/HP-Untersuchungen	128
5.3.2	Wahlfreie Untersuchungsmethoden	132
5.3.2.1	Ermittlung des normalen und minimalen Wassergehaltes	132
5.3.2.2	Messung der Suspensionsdichte	133
5.3.2.3	Messung des Flüssigkeitsverlustes	135
5.3.2.4	Messung rheologischer Kenndaten	137
5.3.3	Nichtstandardisierte Prüfverfahren	139

5.4	Physiko-chemische und technologische Eigenschaften von Zementsuspensionen für die Bohrtechnik	142
5.4.1	Chemische Reaktivität	143
5.4.1.1	Abbinde- und Erhärtungsvorgänge in Standard-Bohrlochzementen (Portlandzementen)	145
5.4.1.1.1	Grundvorstellungen zur Erhärtung von Standard-Bohrlochzementsuspensionen	145
5.4.1.1.2	Hydratation und Erhärtung unter Atmosphärendruck	147
5.4.1.1.3	Hydratation und Erhärtung unter HT/HP-Bedingungen	149
5.4.1.1.4	Einfluss von CaSO ₄ auf die Hydratation von Standard-Bohrlochzementen (PZ)	151
5.4.1.1.5	Einfluss von Alkalisulfaten auf die Hydratation von Standard-Bohrlochzementen (PZ)	154
5.4.1.1.6	Bedeutung von AFt- und AFm-Phasen	155
5.4.1.2	Verpumpungs- / Abbindezeit	157
5.4.1.2.1	Temperatureinfluss auf die Verpumpungszeit	158
5.4.1.2.2	Druckeinfluss auf die Verpumpungszeit	160
5.4.1.2.3	Einfluss des WZF auf die Verpumpungszeit	161
5.4.2	Rheologische Eigenschaften	162
5.4.3	Stabilität von Zementsuspensionen	170
5.4.4	Dichte von Zementsuspensionen	172
5.4.5	Wasserbindevermögen	173
6	Zusatzstoffe für die Bohrlochzementation (Zuschlag- und Füllstoffe)	173
6.1	Aufgaben von Zusatzstoffen (Zuschlag- und Füllstoffe)	174
6.2	Beschwerungsmittel	175
6.2.1	Ilmenit	176
6.2.2	Quarzsand	176
6.2.3	Eisenarsenid und Bleisulfid	176
6.2.4	Eisenoxide	177
6.2.5	Schwerspat	177
6.2.6	Salze	178
6.3	Dichte-reduzierende Zusatzstoffe / Leichterungsmittel	178
6.3.1	Bentonit	179
6.3.2	Kieselgur / Diatomeenerde	180
6.3.3	Expandierter Perlit	180
6.3.4	Gilsonit	181
6.3.5	Puzzolane	181
6.3.6	Andere Leichterungsmittel	183
6.4	Füllstoffe	183
7	Zusatzmittel für Zementsuspensionen in der Bohrtechnik	185
7.1	Aufgaben der Zusatzmittel für die Bohrlochzementation	186
7.2	Beschleunigung von Abbindereaktionen / Abbindebeschleuniger	187
7.2.1	Arten von Abbindebeschleunigern	188
7.2.2	Wirkungsmechanismen von Abbindebeschleunigern	191
7.2.3	Einsatzbereiche von Abbindebeschleunigern	191
7.3	Verzögerung von Abbindereaktionen / Abbindeverzögerer (set retarder)	192
7.3.1	Arten von Abbindeverzögerern	193
7.3.1.1	Polyhydroxy- und Polycarboxy-Verbindungen	194
7.3.1.2	Amine, Polyamino- und Polyamido-Verbindungen	197
7.3.1.3	Anorganische Salze	197
7.3.1.4	Komplexbildner	197

7.3.2	Wirkungsmechanismen der Abbindeverzögerer	199
7.3.3	Einsatzbereiche von Abbindeverzögerer	201
7.3.3.1	Vergleich von kommerziellen Abbindeverzögerern mit technischen Rohstoffen	201
7.3.3.2	Wirkung von Abbindeverzögerern in Suspensionen von nicht-standardisierten Bindemitteln	202
7.4	Verbesserung des Dispersionsgrades / Dispersionshilfsmittel - Fließmittel - Superverflüssiger	204
7.4.1	Arten von Verflüssigern	205
7.4.2	Wirkungsmechanismen von Verflüssigern	209
7.4.3	Einsatzbereiche von Verflüssigern	210
7.5	Zementsteinschrumpfung und -expansion	211
7.5.1	Messung von Expansions- / Schrumpfungsvorgängen während der Zementsteinbildung	213
7.5.2	Zusätze zur Zementsteinexpansion	214
7.6	Verhinderung von Flüssigkeitsverlusten (fluid-loss prevention)	219
7.6.1	Zusatzmittel gegen Flüssigkeitsverluste (fluid-loss additives)	220
7.6.2	Wirkungsmechanismen von Zusatzmitteln gegen Flüssigkeitsverluste	224
7.7	Zusätze gegen Zirkulationsverluste (lost circulation)	224
7.7.1	Arten von Zusätzen gegen Zirkulationsverluste	225
7.7.2	Wirkungsweise von Zusätzen gegen Zirkulationsverluste	227
7.8	Porenbildner / Luftporenbildner	227
7.9	Entschäumer / Entlüfter	228
7.10	Festigkeitserhöhende Zusätze	228
7.11	Reibungsminderer	229
7.12	Bakterizide	231
7.13	Sonstige Zusatzmittel und Hilfsstoffe in Zementsuspensionen	231
8	Zementsteine für die Bohrlochzementation	233
8.1	Chemische Beständigkeit von Zementsteinen gegenüber äußeren Einflüssen	233
8.1.1	Beständigkeit gegenüber gasförmigen Medien	233
8.1.1.1	Wasserdampf	234
8.1.1.2	Kohlendioxid / Carbonatisierung des Zementsteines	234
8.1.1.3	Schwefeldioxid / Schwefelwasserstoff	235
8.1.1.4	Andere Gase	237
8.1.2	Beständigkeit gegenüber flüssigen Medien	237
8.1.2.1	Beständigkeit gegenüber wässrigen Medien	237
8.1.2.1.1	Lösungen mit Mg^{2+} -Ionen	239
8.1.2.1.2	Lösungen mit SO_4^{2-} -Ionen	240
8.1.2.1.3	Lösungen mit Cl^- -Ionen	242
8.1.2.1.4	Einwirkung von NaCl - Lösungen auf Zementstein	243
8.1.2.1.5	Einwirkung von $MgCl_2$ - Lösungen auf Zementstein	245
8.1.2.1.6	Beständigkeit gegenüber Mischsalz-Lösungen / Lagerstättenwässer (LW)	249
8.1.2.1.7	Beständigkeit gegenüber anderen sauren wässrigen Lösungen	251
8.1.2.2	Beständigkeit gegenüber nichtwässrigen sauren Lagerstätteninhaltsstoffen	251
8.2	Beständigkeit von Zementstein aufgrund verschiedener Zement- und Zementsuspensionseigenschaften	252
8.2.1	Einfluss von Anmachwasser / -lösungen und vom WZF	252
8.2.2	Einfluss der Mahlfineinheit des Zementes	252
8.2.3	Einfluss des Alters von Zementsteinen	253

8.2.4	Einfluss von Zusatzstoffen (Zuschlag- und Füllstoffen)	253
8.2.5	Einfluss von Zusatzmitteln	255
8.3	Prüfmethoden für Zementsteine	255
8.3.1	Mechanische Beständigkeit von Zementsteinen	256
8.3.1.1	Mechanische Festigkeitsprüfungen für Zementsteine	257
8.3.1.1.1	Druckfestigkeitsprüfung unter Normalbedingungen	258
8.3.1.1.2	Triaxiale Druckfestigkeit	260
8.3.1.1.3	Biegezugfestigkeit	271
8.3.2	Permeabilität	272
8.3.3	Elastizitätsmodul	274
8.3.4	Porosität / Porenradienverteilung	280
8.4	Wechselwirkungen Stahloberfläche-Zementstein-Formation	284
8.4.1	Metallurgische Aspekte	284
8.4.2	Haftfestigkeit von Zementsteinen	285
8.4.2.1	Prüfmethoden zur Haftscherfestigkeit	287
8.4.2.2	Haftscherfestigkeit Stahloberfläche - Zementstein	289
8.4.2.3	Haftscherfestigkeit Zementstein - Formation	291
8.4.2.4	Möglichkeiten zur Verbesserung der Haftscherfestigkeit	294
9	Synergismus Bohrlochchemie - Instrumentelle Analytik der Zement- und Bauchemie	295
9.1	Analytik für die Bohrlochzementation	296
10	Spezialbereiche der Zementation	297
10.1	Zementation im Bergbau	297
10.2	Zementation bei der Endlagerung von Abfallstoffen	298
10.3	Zementation bei tiefen Temperaturen	299
10.3.1	Randbedingungen im Permafrostbereich	300
10.3.2	Problematik der Permafrost-Zementation	301
10.3.3	Untersuchungen zur Zementation bei tiefen Temperaturen	302
10.4	Zementation bei hohen Temperaturen	306
10.5	Zementation in Salzlagen	309
10.5.1	Anwendung von Magnesitbindern	310
10.5.1.1	Eignungsuntersuchungen von Magnesitbindern	310
11	Zusammenfassung	315
12	Literatur	317