

VERÖFFENTLICHUNGEN

~~02.2~~ gw

02.6 gwB

DES GRUNDBAUINSTITUTES DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BERLIN

Herausgegeben von
H. Müller-Kirchenbauer und S. A. Savidis

HEFT 11

Technische Universität Darmstadt
Bibliothek Wasser und Umwelt
Peterstraße 13
D-64287 Darmstadt
Telefon 06151 / 16361
Fax 06151 / 16375

GRUNDWASSERBEEINFLUSSUNG DURCH SILICATGELINJEKTIONEN

BERLIN 1982

Fachbereich 13
(TU Darmstadt)



62509430

VIII

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

1.	EINLEITUNG	1
2.	BISHERIGER KENNNTNISSTAND ZUR INJEKTIONSTECHNIK	3
2.1	Anwendungsgebiete der Injektionstechnik	3
2.1.1	Allgemeines	3
2.1.2	Unterfangungen und Fundamentverstärkungen	3
2.1.3	Injektion zur Gebäudesicherung	5
2.1.4	Sohldichtungen	5
2.1.5	Andere Verfestigungen und Abdichtungen	6
2.2	Injektionsmittel	6
2.2.1	Allgemeines	6
2.2.2	Injektionsmittel auf Zement- und Tonbasis	7
2.2.3	Wasserglassysteme	7
2.2.4	Kunststofflösungen	9
2.3	Injektionsvorgang	10
2.4	Injektionsmaßnahmen im Grundwasser-Sediment-Bereich	12
2.4.1	Rechtliche Grundlagen nach dem Wasserhaushaltsgesetz	12
2.4.2	Bisherige Kenntnisse über das chemische Verhalten von Injektionsmitteln im Grundwasser-Sediment-Bereich	12
2.4.3	Erkenntnisse aus Messungen in Injektionsbereichen beim U-Bahn-Bau München	15
2.4.3.1	Baustellenbeschreibung	15
2.4.3.2	Baugrundverhältnisse	18
2.4.3.3	Grundwasserbeeinflussung	22
3.	VORSTELLUNG DES UNTERSUCHUNGSPROGRAMMS	28
4.	GRUNDLAGEN DER SILICATGELBILDUNG	31
4.1	Technische Alkalisilicat-('Wasserglas-')lösungen	31
4.1.1	Begriffsbestimmung	31
4.1.2	Spezifikationen und physikalische Eigenschaften	31
4.2	Chemisch-physikalische Eigenschaften der Wasserglaslösungen	34
4.3	Gelbildung (Gelierung)	36

	Seite	
4.3.1	Gelbildungsreaktionen in der Injektionstechnik	40
4.3.1.1	Gelbildung mit Carbonsäurederivaten als Härtern	40
4.3.1.2	Gelbildung mit Natriumaluminat als Reaktiv	48
4.4	Chemisch-physikalische Eigenschaften von Kiesel- (Silicat-)gelen	51
4.4.1	Gelstrukturen	51
4.4.2	Oberflächeneigenschaften und Sorptionsvorgänge	54
4.4.3	Alterung von Gelen	54
5.	FESTLEGUNG DER UNTERSUCHUNGSPARAMETER UND -VERFAHREN	57
5.1	Chemisch-physikalische Untersuchungen	57
5.1.1	Wasseranalysen	57
5.1.2	Stoffanalysen	61
5.1.3	Sedimentanalysen	61
5.1.3.1	Allgemeines	61
5.1.3.2	Auslaugversuche	62
5.1.3.3	Bindungsformen	63
5.2	Physikalische Untersuchungen	64
5.2.1	Sediment- und Kernprobenuntersuchungen	64
5.2.2	Gel- und Kippzeitbestimmung für die Injektions- mischungen	64
5.2.3	Bestimmung der freiwerdenden Flüssigkeitsmenge	65
5.2.4	Ermittlung des Spannungsverformungsverhaltens von Injektionsproben	65
6.	BESCHREIBUNG DER UNTERSUCHUNGSVERFAHREN	69
6.1	Probenahme an den Außenobjekten	69
6.1.1	Entnahme der Sedimentproben	69
6.1.2	Entnahme der Injektionsproben	69
6.1.3	Entnahme der Wasserproben	70
6.2	Chemisch-physikalische Untersuchungsverfahren an Probelösungen	71
6.2.1	Wasser- und Stoffanalysen	71
6.2.2	Auslaugversuche an den Sedimenten	73
6.2.3	Selektive Extraktionsverfahren zur Bestimmung der Bindungsformen der Elemente im Sediment	74
6.3	Physikalische Untersuchungsmethoden	74
6.3.1	Sediment- und Kernprobenuntersuchung	74

	Seite	
6.3.2	Gel- und Kippzeitbestimmung für die Injektionsmischungen	76
6.3.3	Bestimmung der freiwerdenden Flüssigkeitsmenge	76
6.3.4	Bestimmung des Spannungsverformungsverhaltens	77
6.3.4.1	Allgemeines	77
6.3.4.2	Versuchsdurchführung	77
6.3.4.3	Untersuchungen nach DIN 4093 Entwurf	79
7.	EINGESETZTE UND UNTERSUCHTE INJEKTIONSMITTEL	81
7.1	Allgemeines	81
7.1.1	Charakterisierung der Injektionsmaterialien	82
7.2	Chemische Untersuchungen	86
7.2.1	Untersuchte Chemikalien	86
7.2.1.1	Wasserglas	87
7.2.1.2	Ethylacetat	89
7.2.1.3	Durcisseur 600 C	92
7.2.1.4	Natriumaluminat	94
7.2.1.5	Porenwasser-Analysen	95
7.3	Physikalische Untersuchungen	101
7.3.1	Gel- und Kippzeiten der Injektionsmischungen	101
7.3.2	Freiwerdende Flüssigkeitsmenge bei Gelen	104
8.	UNTERSUCHUNGEN AN IN-SITU-OBJEKTEN	107
8.1	Baulos H 110	107
8.1.1	Baustellenbeschreibung	107
8.1.2	Beschreibung des Injektionsvorganges	110
8.1.3	Anordnung der Meßstellen	114
8.1.3.1	Anordnung der Wasserentnahmepegel	114
8.1.3.2	Lage der Kernbohrungen	117
8.1.4	Geologische Verhältnisse	119
8.1.4.1	Überblick	119
8.1.4.2	Mineralbestand	119
8.1.4.3	Geochemismus	122
8.1.5	Hydrologische Verhältnisse	122
8.1.5.1	Überblick	122
8.1.5.2	Hydrogeologische Basisdaten	124
8.1.5.3	Berechnung des zeitabhängigen Verlaufes der Grundwasserbeeinflussung	130

	Seite	
8.1.6	Darstellung und Auswertung der Meßergebnisse	131
8.1.6.1	Geochemische Meßergebnisse	131
8.1.6.1.1	Meßzeitpunkte	131
8.1.6.1.2	Ausgangssituation	131
8.1.6.1.3	Art, Ausmaß und Verlauf der Grundwasser- qualitäts-Beeinflussung	134
8.1.6.1.4	Verlauf der Untersuchungsparameter	136
8.1.6.1.5	Situation am Ende des Beobachtungszeitraumes	185
8.1.6.2	Festigkeitsuntersuchungen	189
8.2	Baustelle Mendelsohn-Bau	193
8.2.1	Baustellenbeschreibung	193
8.2.2	Beschreibung der Injektionsmaßnahme	196
8.2.3	Anordnung der Meßstellen	197
8.2.4	Geologische Verhältnisse	198
8.2.5	Hydrologische Verhältnisse	199
8.2.5.1	Überblick	199
8.2.5.2	Hydrogeologische Basisdaten	200
8.2.6	Darstellung und Auswertung der Meßergebnisse	201
8.2.6.1	Geochemische Meßergebnisse	201
8.2.6.2	Festigkeitsuntersuchungen	205
8.3	Baustelle Allermöhe	209
8.3.1	Baustellenbeschreibung	209
8.3.2	Beschreibung des Injektionsvorgangs	211
8.3.3	Anordnung der Meßstellen	212
8.3.4	Geologische Verhältnisse	214
8.3.5	Hydrologische Verhältnisse	216
8.3.6	Auswertung der Meßergebnisse	219
9.	UNTERSUCHUNGEN AN LABORPROBEN	222
9.1	Versuchssande	222
9.2	Probenherstellung und Lagerung	223
9.2.1	Allgemeines	223
9.2.2	Einbau des Sandes	224
9.2.2.1	Mitteldichte und dichte Lagerung	224
9.2.2.2	Lockere Lagerung	225
9.2.3	Injektionsanlage	225
9.2.4	Verpreßvorgang bei mitteldichter und dichter Lagerung des Sandes	226

XII

	Seite	
9.2.5	Herstellung der Proben bei lockerer Lagerung	227
9.2.6	Ausbau und Lagerung der Proben	228
9.3	Experimentelle Untersuchungen	229
9.3.1	Umströmungsversuche	229
9.3.1.1	Einleitung	229
9.3.1.2	Versuchsbeschreibung	230
9.3.1.3	Untersuchte Parameter	233
9.3.2	Durchströmungsversuche	234
9.3.2.1	Einleitung	234
9.3.2.2	Versuchsbeschreibung	235
9.3.2.3	Untersuchte Parameter	238
9.3.3	Modellversuche in einer hydraulischen Rinne	238
9.3.3.1	Einleitung	238
9.3.3.2	Versuchsdurchführung	239
9.4	Darstellung und Auswertung der Meßergebnisse	241
9.4.1	Geochemische Meßergebnisse	241
9.4.1.1	Allgemeines	241
9.4.1.2	Charakterisierung des zuströmenden Wassers	242
9.4.1.3	Versuchsergebnisse der Umströmungsversuche	245
9.4.1.3.1	Auswirkungen der untersuchten Reaktive auf die Wasserbeschaffenheit	245
9.4.1.3.2	Korrelations- und Regressionsanalyse der untersuchten Parameter	255
9.4.1.3.3	Versuchsparameter: Mischungsverhältnis des Injektionsmittels	261
9.4.1.3.4	Versuchsparameter: Alter der injizierten Lockergesteinsprobe bei Umströmungsbeginn	266
9.4.1.3.5	Versuchsparameter: Kornverteilung, Lagerungsdichte und Belastung der Injektionsprobe	269
9.4.1.3.6	Versuchsparameter: Volumen und Oberflächengröße der umströmten Injektionsprobe	271
9.4.1.3.7	Versuchsparameter: Wasserfließgeschwindigkeit	274
9.4.1.3.8	Versuchsparameter: Ummantelung von Ethylacetatproben mit Natriumaluminatgel	276
9.4.1.4	Versuchsergebnisse der Durchströmungsversuche	278
9.4.1.4.1	Allgemeines	278
9.4.1.4.2	Versuchsparameter: Mischungsverhältnis des Injektionsmittels	283
9.4.1.4.3	Versuchsparameter: Alter der Injektionsprobe und Lagerungsdichte des injizierten Korngerüsts	283

	Seite	
9.4.1.4.4	Versuchsparameter: Wasserfließgeschwindigkeit (Filtergeschwindigkeit v_f)	285
9.4.1.4.5	Versuchsparameter: Höhe der durchströmten Injektionsprobe	287
9.4.1.5	Ergebnisse aus dem Modellversuch in einer hydraulischen Rinne	287
9.4.2	Spannungsverformungsverhalten	292
9.4.2.1	Einleitung	292
9.4.2.2	Ethylacetat als Reaktiv	293
9.4.2.2.1	Mischungsverhältnisse	293
9.4.2.2.2	Probenalter und Lagerungsdichte	297
9.4.2.3	Durcisseur 600 als Reaktiv	299
9.4.2.3.1	Mischungsverhältnisse	299
9.4.2.3.2	Lagerungsdichte und Probenalter	302
10.	DISKUSSION UND INTERPRETATION DER GEOCHEMISCHEN MESS- ERGEBNISSE	304
10.1	Baulos H 110	304
10.1.1	Korrelationen der Untersuchungsparameter	304
10.1.2	Allgemeine Darstellung der physiko-chemischen Vorgänge im Grundwasser erläutert am Objekt Baulos H 110	311
10.1.2.1	Geochemische Prozesse	311
10.1.2.2	Biochemische Prozesse	329
10.1.2.3	Physikalische Prozesse	331
10.1.2.4	Übersicht	332
10.1.2.5	Vergleich der Ergebnisse vom Baulos H 110 mit denen des Objektes "Hangauffahrt" in München	335
10.2	Baustelle Mendelsohn-Bau	336
10.3	Baustelle Allermöhe	337
10.4	Laborversuche	338
10.4.1	Diskussion der Laborversuche	338
10.4.1.1	Umströmungsversuche	338
10.4.1.2	Durchströmungsversuche	343
10.4.1.3	Hydraulische Rinne	345
10.4.1.4	Ummantelung einer Ethylacetatinjektion	345
10.5	Vergleich der Untersuchungsergebnisse aus in-situ-Objekten und Laborversuchen	346
10.6	Spannungsverformungsverhalten	349

XIV.

	Seite
11. BEWERTUNG DER MESSERGESBNISSE	352
11.1 Hygienisch-toxikologische Bewertung der Untersuchungsergebnisse	352
11.1.1 Allgemeines	352
11.1.2 Hygienisch-toxikologische Charakterisierung	353
11.2 Möglichkeiten zur Minimierung der Grundwasser- beeinträchtigung bei Silicatgelinjektionen.	358
11.3 Möglichkeiten zur Überwachung der Grundwasser- qualität im Bereich von Injektionsmaßnahmen mit Silicatgelen	361
12. ZUSAMMENFASSUNG	364
LITERATURVERZEICHNIS	369
ANLAGEN	376
KURZFASSUNG	377
ABSTRACT	378