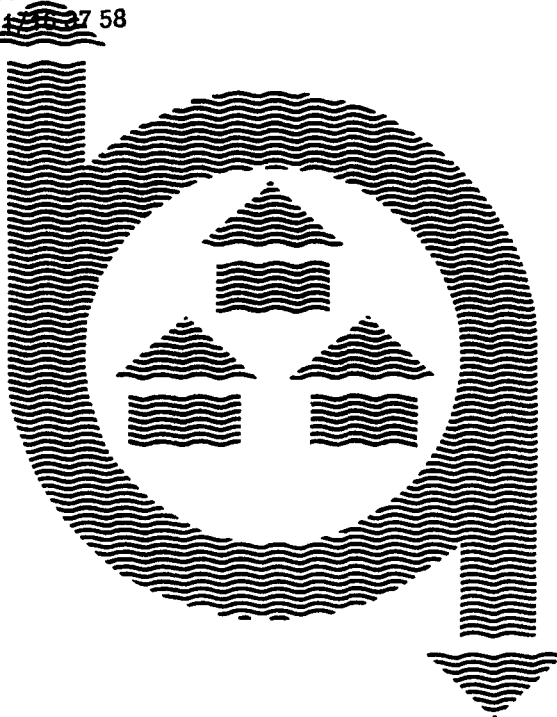


Untersuchungen zur Kalkabscheidung aus Grundwasser von Aquiferwärmespeichern mit einem mobilen Testgerät

INSTITUT WAR — Bibliothek —
Wasserversorgung, Abwassertechnik
Abfalltechnik und Raumplanung
Technische Universität Darmstadt
Petersenstraße 13, 64287 Darmstadt
TEL. 0 61 51/16 36 59 + 16 27 48
FAX 0 61 51/16 27 58

10 SBS 183



Inhaltsverzeichnis

	Kurzfassung	10
	Abstract	11
1	Einführung und Problemstellung	13
2	Thermische Speicher im Untergrund	16
2.1	Allgemeines	16
2.2	Oberflächennahe Geothermie	16
2.3	Grundlagen der Speichertechnologien	19
2.4	Einbindung in Energieversorgungssysteme	22
2.5	Historische Entwicklung und Status Quo	25
3	Aquiferwärmespeicher	28
3.1	Überblick	28
3.1.1	Systembeschreibung	28
3.1.2	Systemvarianten und -auslegung	29
3.2	Wärmeübertragung in Aquiferwärmespeichern	31
3.2.1	Allgemeines	31
3.2.2	Betriebserfahrungen	36
3.2.3	Erfassung mineralischer Ablagerungen	37
3.3	(Bio-)Geochemische Wechselwirkungen und Mechanismen	38
3.3.1	Belagbildung und Verstopfung	40
3.3.2	Carbonate	41
3.3.3	Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht und assoziierte Systeme	44
3.3.4	Methoden zur Vorhersage der Belagbildung	50
3.4	Vermeidung von Belagbildung und Verstopfung	53
3.4.1	Konventionelle Methoden	53
3.4.2	Umweltschonende Behandlungsmethoden gegen Kalkab- lagerungen	55
3.5	Schlussfolgerungen	58
4	Zielsetzung	59
5	Entwicklung eines Scaling-Testverfahrens	60
5.1	Versuchsdesign	60
5.2	Aufbau und Funktion des Testgeräts	64
5.2.1	Versuchsaufbau	64
5.2.2	Modul zur chemischen Konditionierung von Grundwasser	68
5.2.3	Regelstrategien	70
5.2.3.1	Aufheizen von Grundwasser	70
5.2.3.2	Konditionierung von Grundwasser	71
5.3	Probennahme und Analytik	72
5.3.1	Probennahme und <i>in-situ</i> -Messungen	72
5.3.1.1	Grundwasser	72
5.3.1.2	Ablagerungen im Wärmeübertrager	73

5.3.1.3	Reinigungslösung des Plattenwärmeübertragers.....	74
5.3.2	Analytik	75
5.3.2.1	Grundwasser und Reinigungslösung	75
5.3.2.2	Qualitätskontrolle.....	77
5.4	Erprobung des Testgeräts	80
5.4.1	Reglerverhalten	80
5.4.2	Temperaturverhältnisse im PWT.....	83
5.4.3	Wärmeübertragung	85
5.4.4	Kalkbelagbildung als Funktion der Versuchsdauer.....	87
5.4.5	Kalkbelagbildung als Funktion der Temperatur.....	92
5.4.6	Reproduzierbarkeit der Kalkabscheidung	94
5.5	Praktische Folgerungen für den Scaling-Test.....	95
6	Erprobung und Anwendungsbeispiele des Scaling-Tests.....	97
6.1	Untersuchungsstandorte und Grundwässer	97
6.1.1	Hydrogeologische Ausgangssituation	97
6.1.2	Hydro(geo-)chemische Charakterisierung der Grundwässer	101
6.1.3	Geochemische Simulationen	106
6.1.3.1	Spezierung ausgewählter Inhaltsstoffe	106
6.1.3.2	Sättigungszustände ausgewählter Minerale	109
6.2	<i>On-site</i> -Untersuchungen	114
6.2.1	Scaling-Tests an stark mineralisierten Grundwässern.....	114
6.2.2	Standardisierung des Scaling-Tests	117
6.2.3	Ableitung eines Ca-Schwellenwertes	119
6.2.4	Scaling-Tests an carbonatischen Grundwässern	124
6.2.4.1	Grundwässer GW4, GW5 und GW6	124
6.2.4.2	Grundwasser GW7	129
6.2.5	Einfluss extremer Prozessbedingungen auf die Kalkabscheidung ...	132
6.2.5.1	Erhöhung der Ionenstärke.....	133
6.2.5.2	Erhöhung der Aufheiztemperatur	135
6.2.5.3	Temperaturdifferenz zwischen Primär- und Sekundärkreislauf.....	139
6.3	Konditionierung von Grundwasser mit Kohlendioxid	140
6.3.1	Versuchsbedingungen.....	141
6.3.2	Scaling-Tests mit kontinuierlicher CO ₂ -Beaufschlagung	145
6.3.3	Scaling-Tests mit intermittierender CO ₂ -Beaufschlagung	148
6.4	Weitere Mineralphasen im Versuchsaufbau	151
7	Diskussion und Schlussfolgerungen	157
7.1	Aufbau und Betrieb des Testgeräts	157
7.2	Scaling-Test	158
7.3	Ergebnisse der Scaling-Tests	160
7.4	CO ₂ -Beaufschlagung von Grundwasser.....	161
7.5	Praktische Folgerungen und Empfehlung	163
8	Zusammenfassung	165

9	Summary	168
10	Literatur	171
11	Verzeichnis der Bilder, Tabellen, Abkürzungen und Symbole	183
11.1	Bilder	183
11.2	Tabellen	186
11.3	Abkürzungen und Symbole	187
12	Anlagen	190
12.1	Datenblatt Plattenwärmeübertrager	190
12.2	Kalibrierdaten Widerstandsthermometer.....	191
12.3	Wiederfindung Mg, Na und K.....	191
12.4	Geochemische Simulationen	192
12.5	Chemische Analyse modifiziertes Grundwasser.....	196
12.6	Analysedaten Scaling-Tests	197
	Anhang	
	Verzeichnis aus der Schriftenreihe "Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft"	202