

Experimentelle Tracerstudien und Modellierungen von Austauschprozessen in einem meromiktischen Restsee (Hufeisensee)

Abschlußbericht zum Teilprojekt

"Schichtungsdynamik und -stabilität von Tagebaurestseen"

im Projektbereich

Industrie- und Bergbaufolgelandschaften

am UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

SUB Göttingen 7
208 777 105



98 B 5127

✓
18

Autoren

Manfred Maiss^{1,3}, Volker Walz¹, Michael Zimmermann¹, Johann Ilmberger¹,
Wolfgang Kinzelbach^{1,4}, Walter Gläßer²

¹ Institut für Umweltphysik, Universität Heidelberg,
INF 366, D-69120 Heidelberg

² UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Hydrogeologie
Hallesche Straße 44, D-06246 Bad Lauchstädt

³ aktuell: Max-Planck-Institut für Chemie, Abt. Luftchemie,
PF 3060, D-55020 Mainz

⁴ aktuell: Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft,
ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Übersicht	1
2	Der Hufeisensee	7
2.1	Morphometrie	9
2.2	Temperatur und Leitfähigkeit	14
2.2.1	Leitfähigkeit	15
2.2.2	Temperatur	17
2.3	Dichte und Stabilität	21
2.4	Seespiegel- und Chemoklinenvariationen	25
2.5	Grundwasserankopplung	27
2.6	Isotopie und Chemie	29
3	SF₆-Tracerexperiment im Monimolimnion	33
3.1	Physikalische Eigenschaften von SF ₆	33
3.1.1	Löslichkeit	34
3.1.2	Molekulare Diffusion	35
3.2	Einbringen der SF ₆ -Markierung	37
3.2.1	Einbringtechnik	37
3.2.2	Tatsächlich eingebrachte Tracermenge	39
3.3	Probennahmetechnik	40
3.3.1	Fördertechnik	40
3.3.2	Probenbehälter	43
3.4	Konzentrationsbestimmung	48
3.5	Meßergebnisse	52
3.5.1	Hintergrundkonzentration	52
3.5.2	Beobachtete vertikale Ausbreitung	54
3.5.3	Bilanzierung der SF ₆ -Menge im Monimolimnion	56
3.5.4	Verhalten des Konzentrationsmaximums	58
3.5.5	Entwicklung oberhalb des Konzentrationsmaximums	60
3.5.6	SF ₆ -Diffusion über die Chemokline	61
4	Vertikale Mischungsprozesse	67
4.1	Diffusionsansatz im Mixolimnion	67
4.2	Temperaturentwicklung im Winter 95/96	75

4.2.1	Temperaturmeßkette im Monimolimnion	75
4.2.2	Temperaturentwicklung des Mixolimnions unter Eis	77
4.3	Vertikale Diffusionskoeffizienten im Monimolimnion	84
4.3.1	Abschätzung des Sedimentwärmeflusses und der Diffusionskoeffizienten aus der Temperaturentwicklung im Winter 95/96	84
4.3.2	Diffusionskoeffizienten aus der Leitfähigkeitsentwicklung	91
4.3.3	Diffusionskoeffizienten aus der SF ₆ -Ausbreitung	95
4.3.4	Vergleich der ermittelten Diffusionskoeffizienten	98
4.3.5	Abschätzung eines maximal möglichen Zuflusses	100
4.4	Bodennahe Zeitreihen der stabilen Isotope	103
5	Physikalische Seemodellierung	107
5.1	Modellwahl	107
5.2	Modellgrößen	108
5.3	Stoffbilanzgleichung	109
5.4	Prozesse	111
5.4.1	Wärmeaustausch mit der Atmosphäre	112
5.4.2	Eisbedeckung	115
5.4.3	Sprungschichtabsenkung	116
5.4.4	Mischungsprozesse im Hypolimnion	121
5.4.5	Isotopenfraktionierung an der Wasseroberfläche	123
5.4.6	Zu- und Abflüsse	127
5.4.7	Variabler Seespiegel	128
5.4.8	Sedimentwärmefluß	130
5.4.9	SF ₆ -Hintergrundkonzentration	131
5.5	Lösungsverfahren und Programmaufbau	131
5.6	Dateneingabe	136
5.7	Datenausgabe und Postprocessing	138
6	Modelleichung Gesamtsee	141
6.1	Eichparameter	141
6.2	Eingabedaten	143
6.2.1	Seegeometrie und Schichtenwahl	143
6.2.2	Meteorologische Daten, Windeffizienzfaktor	143
6.2.3	Stabile Isotope im Regen	154
6.2.4	Zu- und Abflüsse, Wasserbilanzmodell	159
6.3	Meßdaten zur Modelleichung	168
6.4	Wärmeinhalt	173
6.5	Sprungschichtverlauf und Chemoklinenabsenkung	175
6.6	Vertikale Temperaturverteilung	176
6.7	Vertikale Leitfähigkeitsverteilung	181
6.8	Stabile Isotope	186
6.9	Tritium	190

7 Simulation der SF₆-Ausbreitung im Monimolimnion	193
7.1 Modellierung der SF ₆ -Ausbreitung	193
7.2 Numerische Fehler	196
7.3 Zuflußsimulationen	197
7.4 Abflußsimulationen	201
7.5 Diskussion	203
8 Diskussion	204
Abbildungsverzeichnis	207
Tabellenverzeichnis	210
Literaturverzeichnis	211
A Diffusionskoeffizienten im Monimolimnion	216
B Wasseranalysen Hufeisensee	221
C Molekulare Diffusionskoeffizienten	222
D Morphometrische Daten	224
E Übersicht über die SF₆-Profile	227
F Akima-Interpolation	230