

4 Untersuchungsumfang

4.1 Auswahl der Testseen

Die im Rahmen der Vorstudie untersuchten rund 100 Baggerseen wurden anhand der im Seewasser gemessenen ^2H - und ^{18}O -Konzentrationen in drei Gruppen eingeteilt:

- Gruppe A Seen, deren Isotopengehalte sich um die Niederschlagsgerade gruppieren ($\delta^{18}\text{O} < -8 \text{‰}$).
- Gruppe B Seen, deren Isotopengehalte im unteren Teil der Verdunstungsgeraden liegen und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte zwischen -8‰ und -5‰ aufweisen.
- Gruppe C Seen, deren Isotopengehalte im oberen Teil der Verdunstungsgeraden liegen ($\delta^{18}\text{O} > -5 \text{‰}$).

Diese Gruppierung ergibt sich aufgrund der Intensität der Isotopenfraktionierung (Kap. 3.3.1) in Abhängigkeit vom Verhältnis Wasserfläche/Wassertiefe, von der Seedynamik und vom hydraulischen Anschluss des Sees an das Grundwasser. Erfasst sind sowohl Baggerseen, die im Sommer eine thermische Schichtung aufweisen, als auch Seen, bei denen eine sommerliche Wärmeschichtung aufgrund mangelnder Seetiefe oder auskiesungsbedingter Durchmischung unterbleibt.

Auf der Grundlage dieser Gruppierung wurden 20 Baggerseen ausgewählt. Um die Eignung der Seen für weitere Untersuchungen zu klären, wurde für jeden See und sein Umfeld eine geologisch-hydrogeologische Dokumentation erstellt. Diese Dokumentationen wurden verwendet, um von den 20 Baggerseen 8 auszuwählen, die im Rahmen des KaBa-Teilprojekts 6 detailliert untersucht wurden (Tab. 1).

Sechs der ausgewählten Seen (Abb. 5) liegen im Oberrheingraben (BAD 99 Leissee, KA 67 Epplesee,

ORT 234 Waldsee/Hesselhurst, ORT 292 Apostelsee, EMM 323 Waldsee/Emmendingen und ORT 268 Alter Vogelbaggersee), zwei im Alpenvorland (KN 845 Binninger Baggersee, RV 818 Bechinger See).

Der Trophiezustand der ausgewählten Baggerseen reicht von oligotroph (Binninger Baggersee) bis eutroph-hypertroph (Alter Vogelbaggersee) und überdeckt damit nahezu den gesamten Trophiebereich.

4.2 Probenahmestellen

Die Ergebnisse der Voruntersuchungen für den Leissee, Baden-Baden, und aus der Fallstudie Schwarze See, Österreich (Österreichisches Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft 1995) zeigen, dass generell in den Baggerseen eine gleichmäßige Isotopenschichtung existiert. Aufgrund dieser Beobachtung wurden die Testseen jeweils nur an einer Stelle beprobt.

Für jeden der ausgewählten Baggerseen wurde ein Grundwassermessnetz festgelegt, zu dem sowohl oberstromige wie unterstromige Messstellen gehörten. Obwohl im näheren Umfeld dieser Baggerseen bereits Grundwassermessstellen vorhanden waren, wurden für das Untersuchungsprogramm noch weitere errichtet, um zusätzliche Anforderungen nach Lage und Tiefe der Messstellen abzudecken. Insgesamt wurden sechs zusätzliche Grundwassermessstellen gebaut. Zwei weitere Grundwassermessstellen wurden am Epplesee vom Kiesunternehmen eingerichtet (Tab. 2).

Die erste der neu errichteten Grundwassermessstellen konnte im Juni 1997, die letzte Ende Oktober 1997 in das Untersuchungsprogramm einbezogen werden.

Tab. 1: Im Rahmen des KaBa-Teilprojekts 6 detailliert untersuchte Baggerseen

Bezeichnung	LfU-Code, Landkreis	Gemarkung	Trophie
Leissee	BAD 99, Baden-Baden	Baden-Baden	meso-bis eutroph*
Epplesee	KA 67, Karlsruhe	Rheinstetten	meso- bis eutroph*
Waldsee/Hesselhurst	ORT 234, Ortenau	Hesselhurst	meso- bis eutroph*
Binninger Baggersee	KN 845, Konstanz	Welschingen	oligotroph
Apostelsee	ORT 292, Ortenau	Ettenheim	meso- bis eutroph*
Waldsee/Emmendingen	EMM 323, Emmendingen	Teningen	meso- bis eutroph*
Bechinger See	RV 818, Ravensburg	Fronreute	oligo- bis mesotroph
Alter Vogelbaggersee	ORT 268, Ortenau	Schwanau-Ottenheim	eutroph-hypertroph*

*nach BALLOT & HOPPE (2000)

Tab. 2: Im Rahmen des KaBa-Teilprojekts 6 neu erstellte Grundwassermessstellen

Leissee	Unmittelbar unterstromig waren bereits 4 Grundwassermessstellen vorhanden, für die jedoch keine Bohrprofile und Ausbaudaten vorlagen. Zur Beschreibung der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse sowie zur tiefenorientierten Wasserprobenahme im unmittelbaren Exfiltrationsbereich des Sees wurde eine 25 m tiefe Messstelle errichtet.
Epplesee	Unmittelbar unterstromig des Sees waren keine Messstellen vorhanden, so dass zwei Grundwassermessstellen mit 57 m bzw. 54,7 m Tiefe eingerichtet werden mußten. Sie liegen ca. 20 m bzw. ca. 120 m vom Seeufer entfernt.
Waldsee/ Hesselhurst	Unterstromig des Baggersees waren mehrere Grundwassermessstellen geringer Tiefe (< 10 m) vorhanden. Bei einer Seetiefe von 31 m war unterstromig eine weitere, 35 m tiefe Grundwassermessstelle erforderlich.
Binninger Baggersee	Im Einzugsgebiet des Baggersees gab es 6 Grundwassermessstellen und einen Brunnen. Da jedoch unmittelbar unterstromig des Sees keine Messstelle lag, wurde dort eine zusätzliche, 15 m tiefe Grundwassermessstelle errichtet.
Apostelsee	Unterstromig waren keine geeigneten Grundwassermessstellen vorhanden. Bei einer Seetiefe von 40 m wurden zwei 40 m tiefe Grundwassermessstellen erforderlich, wobei die erste direkt am nördlichen Seeufer, die zweite ca. 50 m nördlich abgeteuft wurde.
Alter Vogelbaggersee	Trotz der im Umfeld des Sees bereits vorhandenen acht Grundwassermessstellen war eine zusätzliche, 35 m tiefe Grundwassermessstelle unmittelbar unterstromig des Sees erforderlich.

4.3 Parameterumfang

Die Voruntersuchungen hatten gezeigt, dass die Wechselwirkungen zwischen Baggersee und Grundwasser durch die Kombination hydrogeologischer, isotopenhydrologischer und hydrochemischer Untersuchungsverfahren qualitativ und quantitativ erfasst werden können.

Zur Charakterisierung der allgemeinen hydrogeologischen Situation, zur Beschreibung der Grundwasserfließrichtung und des Grundwasserpotenzialgefälles wurden Grundwasserstände gemessen.

Da die Bedeutung der stabilen Isotope des Wassers Deuterium (^2H) und Sauerstoff-18 (^{18}O) für die Untersuchung des Austauschs zwischen See- und Grundwasser bekannt war (ZIMMERMANN 1979, 1988, Österreichisches Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft 1995, KENDALL & McDONNELL 1998, STICHLER et al. 1999) und sich die isotopischen Unterschiede im Rahmen der Testuntersuchungen auch bestätigten, nehmen diese beiden Parameter eine Schlüsselrolle bei den Untersuchungen ein.

Zur Beschreibung der hydrochemischen Beschaffenheit des Baggersee- und des Grundwassers sowie der komplexen chemischen und biochemischen Prozesse wurden die folgenden Parameter ausgewählt:

Temperatur	Natrium	Nitrit
elektr. Leitfähigkeit	Kalium	Nitrat
pH-Wert	Calcium	Chlorid
Sauerstoff	Magnesium	Sulfat
Kieselsäure	Eisen	Hydrogenkarbonat
freie Kohlensäure	Mangan	Ortho-Phosphat
Schwefelwasserstoff	Ammonium	

Orientierend wurden an einzelnen Proben zusätzlich folgende Parameter bestimmt:

Aluminium	Chrom
Blei	Quecksilber
Arsen	Fluor

Organische Substanzen und die mikrobiologische Beschaffenheit wurden nicht untersucht.

4.4 Untersuchungszeitraum und Beprobungsrhythmus

Da die Wechselwirkung Baggersee/Grundwasser von vielen, z. T. jahreszeitlich variierenden Faktoren abhängt, wurde der Untersuchungszeitraum anfangs auf ein Jahr (Februar 1997 bis Januar 1998) festgelegt. In diesem Zeitraum wurden monatliche Beprobungen für Isotopengehaltsmessungen durchgeführt. Für die hydrochemischen Untersuchungen erfolgten innerhalb des Jahres 1997 vier Beprobungen:

- Ende der Vollzirkulation (Monate März/April)
- Stratifikation (Monat Juni)
- Ende der Stratifikation (Monat September)
- Vollzirkulation (Monat Dezember)

Eine erste hydrogeologische Beurteilung auf der Basis der vorliegenden isotopenhydrologischen und hydrochemischen Daten führte Anfang Februar 1998

zu der Entscheidung, die Untersuchungen unter Einbeziehung der neuen Messstellen bis mindestens Juni 1998 zu verlängern. Notwendig wurde dies für alle Bag-

gerseen mit Ausnahme des Binnerer Baggersees und des Waldsees/Emmendingen, für die die Untersuchungen im Januar 1998 beendet wurden.

Tab. 3: Übersicht über die Anzahl der im Zeitraum Februar 1997–Juni 1998 im Rahmen des KaBa-Teilprojekts 6 durchgeführten Untersuchungen und die beteiligten Institutionen

Bezeichnung des Baggersees	Institution, die die Probenahme oder Analytik durchführte	Proben		Analysen	
		See	Grundwasser-messstellen	Hydrochemie	Isotope
Leissee	LGRB	18	68	86	
	LfU	575		39	
	GSF				835
	Stadtwerke Baden-Baden		299		
Epplesee	LGRB		55	55	
	LfU	299		69	
	GSF				432
	Subunternehmer		202		
Waldsee/ Hesselhurst	LGRB	15	22	37	
	GSF				611
	Subunternehmer	359	252		
Binnerer Baggersee	LGRB	8	14	22	
	GSF				337
	Subunternehmer	132	183		
Apostelsee	LGRB	18	30	48	
	GSF				595
	Subunternehmer	422	173		
Waldsee/ Emmendingen	LGRB	16	24	40	
	GSF				729
	Subunternehmer	258	471		
Bechinger See	LGRB	7	16	23	
	GSF				326
	Subunternehmer	166	160		
Alter Vogelbagger- see	LGRB		19	19	
	LfU	256		39	
	GSF				423
	Subunternehmer		206		
Teilsommen	LGRB	82	248	330	
	LfU	1130		147	
	GSF				4288
	Subunternehmer	1337	1647		
	Stadtwerke Baden-Baden		299		
Summe		2549	2194	477	4288

LGRB – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg; LfU – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg; GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, GmbH, Neuerberg

Die Arbeiten konnten allerdings erst wieder im März 1998 aufgenommen werden. Das Ergänzungsprogramm für die verbliebenen sechs Baggerseen wurde stark in seinem Umfang reduziert und beschränkte sich hauptsächlich auf die 1997 neu erstellten Grundwassermessstellen sowie wenige ausgewählte Probenahmestellen. Zusätzlich wurden während der monatlichen Beprobung für Isotopengehaltsmessungen Tiefenprofile physiko-chemischer Parameter gemessen. Eine Übersicht über den Umfang von Probenahme und Analytik enthält Tab. 3.

4.5 Probenahmemodus

Um den Einfluss der Probenahme auf die Messergebnisse zu untersuchen, wurden bei der ersten Beprobungskampagne sowohl Schöpfproben als auch gepumpte Wasserproben entnommen und untersucht. Dabei gab es folgende Ergebnisse:

Für die überwiegende Zahl der Messstellen zeigten sich keine oder nur sehr geringe Unterschiede zwischen den Analysenergebnissen der geschöpften und gepumpten Proben. Lediglich bei einigen Entnahmestellen deuteten die Unterschiede in den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten von $> 0,5 \text{ ‰}$ darauf hin, dass beim Abpumpen eine Wasserkomponente mit einer anderen isotopischen Zusammensetzung beigezogen wird, in den meisten Fällen aus tieferen Aquiferbereichen. In der Regel stellte sich kurze Zeit nach der Probenahme der ursprüngliche Zustand wieder ein. Offensichtlich werden diese Messstellen ständig von Grundwasser durchströmt und die natürlichen hydraulischen Verhältnisse nur beim Abpumpen gestört.

Wegen dieser Befunde wurden für die isotopehydrologischen Reihenuntersuchungen die weniger aufwendigen Schöpfproben genommen. Lediglich die vier Stichtagsbeprobungen für hydrochemische Untersuchungen wurden mittels Pumpe durchgeführt. Diese Wasserproben wurden auch auf ^2H - und ^{18}O -Konzentrationen untersucht.