



## **Kurzfassung**

### **Veranlassung und Ziele**

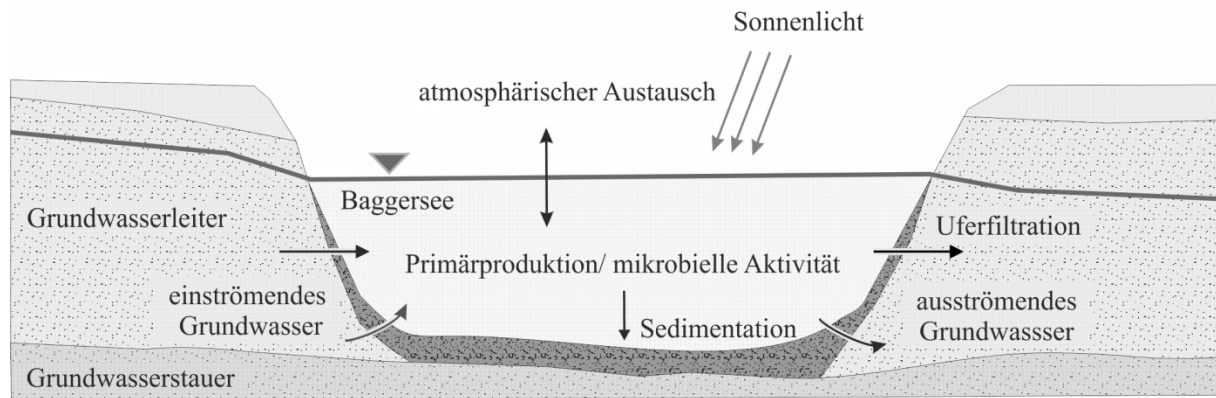
Sande und Kiese sind unverzichtbare Rohstoffe. Diese werden vorwiegend durch Trocken- und Nassbaggerungen gewonnen. Bei Nassbaggerungen erfolgt ein Eingriff in das Grundwasser, welcher die Wasserqualität in Hinsicht auf biologische, organische und anorganische Parameter verändert. Die Auswirkungen können positiv oder negativ für die Wasserbeschaffenheit sein. Das öffentliche Interesse am Schutz des Grundwassers, im Besonderen für den Schutz der Trinkwasserversorgung, kann in einem Nutzungskonflikt mit dem Interesse, diesen Rohstoff ressourcenschonend durch Nassbaggerungen abzubauen, stehen.

Ziel vorliegender Dissertation war die Untersuchung der Auswirkungen von Nassbaggerungen auf die langfristige Entwicklung der abstromigen Grundwasserqualität, insbesondere welche Stoffe über die Atmosphäre als Interaktion mit dem Grundwasser an den Unterwasserböschungen der Nassbaggerungen und über die Sohle/das Sediment eingetragen und ausgetragen werden. Des Weiteren wurde untersucht, welche Stoffumsätze im Baggersee selbst zu erwarten sind, und anhand von eigenen Messungen und Literaturdaten evaluiert, welche Einflüsse Nassbaggerungen auf die Grundwasserqualität haben.

Diese Dissertation entstand im Rahmen des Projektes: „Einfluss von Nassbaggerungen auf die Oberflächen- und Grundwasserqualität“ und wurde von den österreichischen Bundesländern Niederösterreich, Oberösterreich und Steiermark, dem Forum mineralische Rohstoffe im Fachverband der Stein- und keramischen Industrie sowie dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft gefördert. Das Forschungsvorhaben wurde in Zusammenarbeit mit dem WasserKluster Lunz – Biologische Station GmbH mit den Arbeitsgruppen Biofilm and Ecosystem Research Group (Battin und Weilhartner) und Lipid and Toxicology Research Group (Kainz und Mathieu) durchgeführt.

### **Überblick**

Durch Nassbaggerungen werden die Grundwasserverhältnisse im Umfeld des Baggersees verändert. Das Grundwasserspiegelgefälle versteilt sich an- und abstromig des Sees, die Grundwasserneubildungsrate wird beeinflusst und die Grundwasserströmung im Umfeld des Baggersees geändert (Abb. 40).



**Abb. 1:** Schematischer Querschnitt eines grundwassergespeisten Baggersee, überhöhte Darstellung

Grundwasser, das durch einen Baggersee fließt, wird sowohl durch die (mikro)biologisch aktive Wassersäule als auch durch die Uferfiltration beeinflusst. Gegenüber dem anstromigen Grundwasser werden aufgrund von Primärproduzenten sowie mikrobiellen Gemeinschaften insbesondere redoxsensitive Parameter beeinflusst (Abb. 1). Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) ist hierbei wesentliches Substrat des mikrobiellen Metabolismus und wird speziell an den Grenzflächen der Baggerseen wie auch im Seewasser selbst auf- und abgebaut.

Im Verlauf der Alterung von Baggerseen kommt es zu einer fortschreitenden Abdichtung der Ufer- und Seegrundbereiche gegenüber dem Grundwasserleiter.

Baggerseen unterliegen einem starken Nachnutzungsdruck (z.B. Badenutzung, Sportfischerei): neben dem Verlust der ungesättigten Bodenzone stellen insbesondere Nachnutzungsformen Gefährdungspotentiale für das abstromige Grundwasser dar.

### **Untersuchungsobjekte und Vorgehensweise**

Für diese Studie wurden Baggerseen ausgewählt, die nur extensiv genutzt wurden (keine Badeseen, Fischteiche oder Ähnliches), die über keinen Oberflächenzufluss verfügten, nicht im Einzugsgebiet von Altlasten lagen sowie nicht teilverfüllt waren. Es wurden fünf Baggerseen für die Untersuchung ausgewählt, die sich in Regionen mit quartären Grundwasserleitern befanden. Die untersuchten Baggerseen wiesen eine Größe von 38.000 bis 164.000 m<sup>2</sup> auf, hatten eine maximale Tiefe von 5 bis 10 m (bei mittlerem Grundwasserspiegel) und ein Alter nach Beendigung des Abbaus von 1 bis 28 Jahren (Tab. 1). Dadurch konnten sowohl größen- als auch altersspezifische Einflüsse der Baggerseen auf die Grundwasserqualität untersucht werden. Bei allen Seen wurden Grundwassermessstellen im an- und abstromigen Bereich abgeteuft und eine Bathymetrie durchgeführt. Das

Mischungsverhältnis zwischen See- und Grundwasser in abstromigen Grundwassermessstellen wurde mittels  $\delta^{18}\text{O}$  quantifiziert.

**Tab. 1:** Charakteristika der untersuchten Baggerseen

<b>Baggersee/ Bundesland</b>	<b>Alter</b>	<b>Seefläche</b>	<b>mittlere Wassertiefe</b>	<b>mittlere Verweilzeit des Seewassers</b>	<b>Grundwasserzustrom</b>
	[a]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[a]	[m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> ]
Pframa/Niederösterreich	1	38.000	5,2	1,4	423
Grafenwörth/Niederösterreich	5	164.000	6,4	1,5	1.954
Tillmitsch/Steiermark	10	59.000	2,3	0,2	1.500
Persenbeug/Niederösterreich	17	60.000	5,6	1,1	790
Hörsching/Oberösterreich	28	86.000	4,2	0,3	3.582

Für alle Baggerseen wurde ein numerisches Grundwassermodell für den mittleren Grundwasserspiegel erstellt, mit welchem die mittlere Verweilzeit des Wassers im See durch Kalibration abgeschätzt wurde. Die Ergebnisse der numerischen Modellierung wurden unabhängig davon durch Isotopenmessungen ( $\delta^{18}\text{O}$ ) verifiziert. Beide Methoden zeigten eine sehr gute Übereinstimmung. Die mittlere Verweilzeit beträgt in den untersuchten Baggerseen zwischen 0,2 und 1,5 Jahren.

In den Wasserproben der Baggerseen sowie denjenigen der Grundwassermessstellen wurden neben den physikalisch-chemischen Summenparametern die Hauptanionen und Hauptkationen, stabile Wasserisotope ( $\delta^2\text{H}/\delta^{18}\text{O}$ ), ausgewählte Schwermetalle und Aluminium, Nährstoffe ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , DOC), mikrobielle Abundanz und das Algentoxin Mikrocytin<sub>LR</sub> zu vier Zeitpunkten (April, Juli, September, Dezember 2009) gemessen. Bei drei Baggerseen wurden aktuell umweltrelevante Pestizide im Grund- sowie Seewasser analysiert.

### **Einfluss der Baggerseen auf die Hydrochemie und auf die Ökologie**

Sowohl die gemessenen physikalisch-chemischen Parameter (Wassertemperatur, gelöster Sauerstoff, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit) als auch die stabilen Wasserisotope zeigten, dass alle untersuchten Baggerseen gut durchmischt und sauerstoffreich waren. Die jahreszeitlich bedingten Schwankungen der Wassertemperatur sowie die Isotopensignatur des Seewassers konnten, je nach Fließrate des Grundwassers, zeitverzögert und gedämpft im Grundwasserabstrom erfasst werden.

Durch die  $\text{CO}_2$ -Aufnahme der Primärproduzenten bei der Photosynthese kam es zu einer Erhöhung des pH-Wertes im Seewasser ( $+1,0\pm 0,3$  pH-Einheiten), die gedämpft in den

abstromigen Grundwassermessstellen weiterverfolgt werden konnte. Der Abbau organischen Materials an der Grenzfläche zwischen See und Grundwasser (Seesediment) bewirkte eine Sauerstoffzehrung. Diese Sauerstoffzehrung konnte unabhängig vom Alter des Baggersees in den abstromigen Grundwassermessstellen erfasst werden.

Carbonate wurden im Seewasser aufgrund der biogenen Erhöhung des pH-Wertes und durch den atmosphärischen Austausch ausgefällt. Berechnete Sättigungsindizes für Calcit zeigten eine deutliche Übersättigung im Seewasser auf (SI:  $0,8 \pm 0,1$ ). Die Ausfällung von Carbonaten führte zu einer Verminderung der Calcium-, Magnesium- sowie Hydrogencarbonatkonzentration im See- und abstromigen Grundwasser.

Die Nitratkonzentrationen im Seewasser wurden durch die Nährstoffaufnahme von Primärproduzenten sowie mikrobieller Gemeinschaften signifikant verringert ( $-23,5 \pm 8,7 \text{ mg L}^{-1}$ ), die Konzentrationen blieben auch im abstromigen Grundwasser gering. Weder das Alter der Baggerseen noch die Größe zeigten einen signifikanten Effekt auf die abstromig erfassten Nitratkonzentrationen. Es zeigte sich jedoch eine Korrelation mit der mittleren Verweilzeit des Seewassers. In Seen mit längerer mittlerer Verweilzeit ( $\geq 1,1$  Jahre) wurde die Nitratkonzentration gegenüber anstromigen Werten um bis zu 99% verringert. Ammonium wurde vor allem im See generiert, es kam zu einem leicht erhöhten Austrag ins abstromige Grundwasser ( $\leq 0,18 \text{ mg L}^{-1}$ ). Es wurde kein Nitrit ins abstromige Grundwasser ausgetragen.

Es konnte kein Einfluss der Baggerseen auf die Konzentration der Schwermetalle Cadmium, Zink, Chrom, Kupfer, Nickel, Blei und Aluminium im Abstrom der Seen festgestellt werden. Eine erhöhte Eisen- und Mangankonzentration ( $\leq 290 \text{ } \mu\text{g L}^{-1} / \leq 950 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ ) war in abstromigen Grundwassermessstellen feststellbar, wenn anoxische Bedingungen vorlagen, und resultierte aus der Lösung von geogenen Eisen- und Manganoxiden aus dem Sediment des Grundwasserleiters bzw. aus dem durchströmten Seesediment der Unterwasserböschungen.

Die mikrobielle Abundanz stieg im Seewasser an ( $+2,7 \pm 1,1 \times 10^6 \text{ Zellen mL}^{-1}$ ) und blieb gegenüber anstromigen Grundwasser auch im abstromigen Grundwasser signifikant erhöht ( $+1,3 \pm 1,5 \times 10^5 \text{ Zellen mL}^{-1}$ ). Die vorliegende Studie zeigte, dass es zu keinem nachhaltig signifikanten Austrag von DOC aus den Baggerseen kam. Lediglich bei dem jüngsten Baggersee kam es zu einem geringen Austrag von DOC in das abstromige Grundwasser ( $\leq 2,4 \text{ mg L}^{-1}$ ): dies könnte auf eine noch nicht etablierte Uferfiltrationszone im Abstrom zurückzuführen sein.

Mikrocystin (MC) wurde als Variante MC<sub>LR</sub> (Mikrocystin mit Leucin und Arginin) gemessen. Die Internationale Weltgesundheitsbehörde (WHO, 2011) gibt als Gefährdungspotential für die menschliche Gesundheit eine MC<sub>LR</sub>-Konzentration von 1 µg L<sup>-1</sup> an. Die gemessenen MC<sub>LR</sub>-Konzentrationen im Seston ( $\leq 30$  ng MC<sub>LR</sub> L<sup>-1</sup>) waren weit unter gesundheitsgefährdenden Konzentrationen. Im See- und Grundwasser konnte kein MC<sub>LR</sub> nachgewiesen werden. Da MC<sub>LR</sub> schnell abgebaut wird, kann nicht ausgeschlossen werden, dass zu anderen Zeitpunkten möglicherweise höhere Konzentrationen vorlagen. Durch den raschen mikrobiologischen Abbau von MC<sub>LR</sub> im Seewasser und an den Grenzflächen, ist es jedoch unwahrscheinlich, dass MC<sub>LR</sub> in Konzentrationen  $>1$  µg L<sup>-1</sup> weitreichend in das abstromige Grundwasser gelangt.

Die untersuchten Baggerseen befanden sich im unmittelbaren Nahbereich zu landwirtschaftlichen Flächen. Im anstromigen Grundwasser konnte der Nachweis für Desphenylchloridazon (Transformationsprodukt von Chloridazon, ein Herbizid) bei den untersuchten Baggerseen erbracht werden (0,03–0,1 µg L<sup>-1</sup>). Im Seewasser konnte Desphenylchloridazon nicht nachgewiesen werden. Durch die erhöhte mikrobielle Aktivität im Oberflächenwasser und die unterschiedlichen mikrobiellen Habitate ist von einem erhöhten Abbau der durch das Grundwasser eingetragenen Pestizide auszugehen.

Durch den Verlust der ungesättigten Bodenzone können Baggerseen die abstromige Grundwasserqualität beeinträchtigen (z.B. thermischer Einfluss, mikrobielle Abundanz). In vorliegender Studie konnte jedoch gezeigt werden, dass Baggerseen die Qualität des abstromigen Grundwassers durch deren unterschiedliche (mikrobielle) Habitate und verschiedene Redox-Zonierungen auch verbessern können. Baggerseen stellen Senken für Nährstoffe und Carbonate, in speziellen Situationen auch für Schadstoffe, dar. Die jeweilige Nachnutzung eines Baggersees stellt für das abstromige Grundwasser jedoch ein individuell zu beurteilendes Risiko dar (z.B. Badenutzung, Fischzucht, Siedlungsbau). Die mit dieser Nutzung verbundenen Aktivitäten beeinflussen die See- und Grundwasserqualität, die Risiken daraus sind schwierig zu erfassen und zu kontrollieren. Aus Sicht des vorsorgenden Grundwasserschutzes ist die Nachnutzung des Baggersees als Landschaftsteich ohne anthropogene Einflüsse eindeutig zu bevorzugen.