

## **Einfluss von Nassbaggerungen auf die Oberflächen- und Grundwasserqualität**

**Christian MÜLLEGGER**

Das Department für Umweltgeowissenschaften der Universität Wien unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr. Thilo Hofmann untersuchte in Zusammenarbeit mit dem Department für Limnologie<sup>(2)</sup> und dem WasserKluster Lunz<sup>(3)</sup> die Auswirkungen von Nassbaggerungen auf die Oberflächen- und Grundwasserqualität (Mitarbeiter: Christian Müllegger<sup>1</sup>, Tom J. Battin<sup>2, 3</sup>, Martin Kainz<sup>3</sup>, Francine Mathieu<sup>2, 3</sup>, Andreas Weilhartner<sup>2, 3</sup>, Thilo Hofmann<sup>1</sup>).

Das dreijährige Projekt startete mit Juni 2008. Fördergeber waren die Länder Niederösterreich, Oberösterreich und Steiermark, sowie das Forum mineralische Rohstoffe im Fachverband der Stein- und keramischen Industrie.

### **Veranlassung und Ziele**

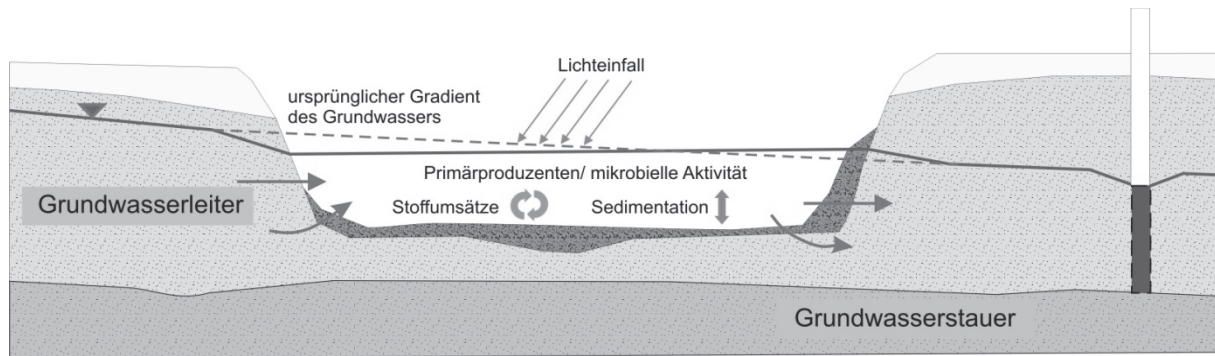
Sande und Kiese sind unverzichtbare Rohstoffe. Diese werden u. a. durch Trocken- und Nassbaggerungen gewonnen. Bei Nassbaggerungen erfolgt ein Eingriff in das Grundwasser, welcher die Wasserqualität in Hinsicht auf biologische, organische und anorganische Parameter verändert. Die Auswirkungen können 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 des Projekts 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 Flanken der Nassbaggerungen und über die Sohle/das Sediment eingetragen bzw. ausgebracht werden. Weiters 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. Eine Abschätzung des Verhaltens ausgewählter organischer Schadstoffe wurde auf Basis einer Literaturlauswertung vorgenommen.

### **Grundlagen**

Durch Nassbaggerungen werden die Grundwasserverhältnisse im Umfeld des Baggersees verändert. Das Grundwasserspiegelgefälle versteilt sich an- und abstromig des Sees, die Grundwasserneubildungsrate wird verändert, sowie die Grundwasserströmung im Umfeld des Baggersees beeinflusst. Insbesondere wird die Grundwassertemperatur abstromig des Baggersees deutlich verändert. Im Verlauf der Alterung eines Baggersees kommt es zu einer natürlichen Abdichtung des Sees gegenüber dem Grundwasserleiter.

Durch die Stoffumsätze im Baggersee sowie an den Grenzflächen des Baggersees werden insbesondere die Nährstoffe und redoxsensitive Parameter im Grundwasserabstrom im Vergleich zum Zustrom verändert. Diese Reaktionen werden vorwiegend durch mikrobielle Gemeinschaften verursacht, welche die Grenzflächen besiedeln, sowie durch Mikroorganismen und höhere Organismen im See. Der gelöste organische Kohlenstoff ist hierbei die primäre Energiequelle für diese Reaktionen. Seesedimente können eine Quelle oder Senke für Nährstoffe und Schadstoffe sein. Durch die Untersuchung von Sedimentkernen kann man Einblicke in die Historie dieser Stoffumsätze bekommen.



**Abb. 1:** System Baggersee

## Untersuchungsobjekte und Vorgehensweise

Für diese Studie wurden Baggerseen ausgewählt, die nur extensiv genutzt wurden, die über keinen Oberflächenzufluss verfügten, nicht im Einzugsgebiet von Altlasten lagen, keinem Hochwassereinfluss unterlagen sowie nicht teilverfüllt waren. Es wurden 29 Seen auf Basis der zur Verfügung gestellten Daten ausgewertet und davon 12 Seen vor Ort besichtigt. Aus diesen wurden zusammen mit den Auftraggebern 5 Baggerseen für die Untersuchung ausgewählt. Die untersuchten Baggerseen befinden sich in Tillmitsch (Steiermark), Hörsching (Oberösterreich), Grafenwörth, Persenbeug und Pframa (Niederösterreich).

Die untersuchten Baggerseen wiesen eine Größe von 3,8 bis 16,4 ha auf, hatten eine max. Tiefe von 5 bis 10 m bei mittlerem Grundwasserspiegel und ein Alter von 1 bis 28 Jahren. Dadurch konnten sowohl größen- als auch altersspezifische Einflüsse der Baggerseen auf die Grundwasserqualität untersucht werden. Bei allen Seen wurden zusätzliche Grundwassermessstellen eingerichtet und eine Bathymetrie durchgeführt.

In den Wasserproben der Baggerseen sowie den der Grundwassermessstellen wurden neben den physikalisch-chemischen Summenparametern die Hauptanionen und Hauptkationen, Schwermetalle, Nährstoffe und Mikrocytin zu vier Zeitpunkten (April, Juli, September, Dezember 2009) gemessen. Im Seewasser wurden ebenfalls Seebiota in verschiedenen Größenklassen, Chlorophyll a und mehrfach ungesättigte Fettsäuren untersucht. An den Grenzflächen der Seen wurden der Metabolismus von Biofilmen, das physiologische Profil der mikrobiellen Gemeinschaften sowie die mikrobielle Abundanz bestimmt. Zusätzlich wurden in den Seesedimenten Schwermetalle und Biomarker untersucht.

Um die Einflüsse von Nassbaggerungen auf die Grundwasserqualität auf Basis der Ergebnisse bereits publizierter Studien auszuwerten wurde eine datenbankgestützte Metaanalyse durchgeführt. Das Ziel der Metaanalyse war es, einen detaillierten Einblick in existierende Studien zu erhalten und die Ergebnisse dieser Studien wissenschaftlich strukturiert auszuwerten. Insgesamt wurden 128 Studien in die Metadatenbank aufgenommen und analysiert.

Für alle Baggerseen wurde ein numerisches Grundwassermodell für den mittleren Grundwasserspiegel erstellt, mit welchem die mittlere Verweilzeit des Wassers im See ermittelt wurde. Die Ergebnisse der numerischen Modellierung wurden unabhängig durch Isotopenmessungen verifiziert. Beide Methoden zeigten eine gute Übereinstimmung. Die mittlere Verweilzeit beträgt in den untersuchten Baggerseen zwischen 0,2 und 1,5 Jahren.

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

Der Abbau organischen Materials an der Grenzfläche zwischen See und Grundwasser (Seesediment) bewirkt eine Sauerstoffzehrung. Diese Sauerstoffzehrung ist unabhängig vom Alter des Baggersees in den abstromigen Grundwassermessstellen beobachtet worden. Durch die CO<sub>2</sub> Aufnahme der Primärproduzenten in Folge der Photosynthese kommt es zu einer

Erhöhung des pH-Wertes im Seewasser, die gedämpft in abstromigen Grundwassermessstellen weiterverfolgt werden kann. Durch die biogen induzierte Erhöhung des pH-Wertes werden Carbonate ausgefällt. Die Ausfällung von Carbonaten und die biogene Aufnahme von Calcium und Magnesium führen zu einer Verminderung der Calcium-, Magnesium-, sowie Hydrogencarbonatkonzentration im Seewasser und abstromigen Grundwasser. Die elektrische Leitfähigkeit nimmt, vorwiegend durch die biogene Entkalkung und den Nährstoffrückhalt im See, ab. Die jahreszeitlich bedingten Schwankungen der Seewassertemperatur können, je nach Fließzeit des Grundwassers, zeitverzögert im Grundwasserabstrom beobachtet werden.

Es konnte kein gerichteter Einfluss auf die Konzentrationen der Ionen Natrium und Kalium sowie Sulfat und Chlorid festgestellt werden. Die beobachteten hydrochemischen Veränderungen haben keinen negativen Einfluss auf die Grundwasserqualität. Die Veränderung der Grundwassertemperatur im Abstrom eines Baggersees verändert jedoch die mikrobielle Aktivität.

Es konnte ebenfalls kein Einfluss der Baggerseen auf die Konzentration der Schwermetalle Cadmium, Zink, Chrom, Kupfer, Nickel, Blei und Aluminium festgestellt werden. Eine Erhöhung der Eisen- und Mangankonzentration ist bei abstromigen anoxischen Grundwassermessstellen feststellbar und resultiert aus der Lösung von geogenen Eisen- und Manganoxiden aus dem Sediment des Grundwasserleiters, bzw. aus dem durchströmten Seesediment.

In den untersuchten Baggerseen sind die Nitrat- und Phosphatkonzentrationen im abstromigen Grundwasser verringert, die Kohlenstoffkonzentration hingegen wird nicht signifikant verändert. Die Abnahme der Nitrat- und Phosphatkonzentrationen ist positiv im Hinblick auf die Grundwasserqualität zu werten. Die untersuchten Baggerseen sind Senken für Nitrat und Phosphat und in Abhängigkeit vom See, Senken oder Quellen für Kohlenstoff. Ammonium wird vor allem im See generiert, es kommt jedoch zu keinem signifikanten Austrag ins abstromige Grundwasser. Ebenso wird kein Nitrit ins abstromige Grundwasser ausgetragen.

Die Grenzflächen der Baggerseen beherbergen mikrobielle Gemeinschaften mit unterschiedlichen physiologischen Profilen. Die Nettoprimärproduktion dieser mikrobiellen Gemeinschaften an den Grenzflächen leistet einen wesentlichen Beitrag zum Nährstoff- und Kohlenstoffumsatz in Baggerseen. Die Abundanz der Mikroben stieg im Seewasser an und blieb auch im abstromigen Grundwasser leicht, jedoch nicht signifikant erhöht. Gelöster organischer Kohlenstoff ist wesentliches Substrat des mikrobiellen Metabolismus und wird speziell an den Grenzflächen der Baggerseen wie auch im Seewasser selbst auf- und abgebaut. Die Studie zeigte, dass es zu keinem nachhaltig signifikanten Austrag von DOC aus den Baggerseen kam. Lediglich bei den jüngeren Baggerseen kam es zum Austrag von DOC in das abstromige Grundwasser. Baggerseen generieren eine große Menge an Biomasse. Ob ein See Quelle oder Senke für Kohlenstoff ist, wird vom Alter des Baggersees sowie von der Verweilzeit des Seewassers beeinflusst.

Physikalisch-chemische Parameter (Wassertemperatur, gelöster Sauerstoff, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und Chlorophyll a) zeigten, dass alle untersuchten Baggerseen meist gut durchmischt und sauerstoffreich waren. Durch höhere biologische Aktivität im Sommer sanken Sauerstoffkonzentrationen leicht mit zunehmender Tiefe, während die Chlorophyll a Konzentrationen leicht anstiegen. Die biochemische Qualität der Nahrungskette (Algen bis Zooplankton) war in allen Seen hoch und mit Seen guter Wasserqualität gleichzusetzen.

Aufgrund des geringen Anteils an organischem Kohlenstoff im Seesediment ist von einem geringen terrestrischen Eintrag von partikulärem Kohlenstoff auszugehen.

Mikrocystine sind Toxine, die von vielen Cyanobakterien erzeugt werden. Mikrocystin (MC) wurde als Variante  $MC_{LR}$  (Mikrocystin mit Leucine und Argenin) gemessen. Die Internationale Weltgesundheitsbehörde (WHO) gibt als Gefährdungspotential für die menschliche Gesund-

heit bei Trinkwasserkonsum eine  $MC_{LR}$  –Konzentration von 1 µg/l an.  $MC_{LR}$  –Konzentrationen aller 5 Baggerseen waren <0.05 µg/l, daher weit unter gesundheitsgefährdenden Konzentrationen. Im See- und Grundwasser konnte keine Mikrocytin nachgewiesen werden. Daher stellt in diesen Baggerseen Mikrocytin kein Gefährdungspotential für das abstromige Grundwasser dar. Die Bildung von Mikrocytin ist jedoch sehr stark von der Vermehrung der Cyanobakterien und somit den klimatischen Bedingungen abhängig. Da Mikrocytin schnell abgebaut wird, kann nicht ausgeschlossen werden, dass zu anderen Untersuchungszeitpunkten höhere Konzentrationen hätten angetroffen werden können. Durch den raschen Abbau im See, an den Grenzflächen sowie im Grundwasserleiter ist eine Gefährdung des abstromigen Grundwassers jedoch als gering einzuschätzen.

Schwermetalle zeigten keine vertikale Akkumulation in den Seesedimenten. Untersuchungen von Biomarkern in Sedimentschichten ( $\delta^{13}C$ , C/N und Fettsäuren) wiesen darauf hin, dass alle untersuchten Sedimente stabil waren und keiner wind-induzierten Durchmischung unterlagen.

### **Atmosphärischer Eintrag von Pestiziden**

Im Baggersee und an den Grenzflächen wird durch die erhöhte mikrobiologische Aktivität und den unterschiedlichen mikrobiologischen Habitaten der biologische Abbau von Pestiziden gefördert. Der Eintrag über die Windverfrachtung und Oberflächenabfluss bei der Anwendung von Pestiziden in unmittelbarer Nähe eines Baggersees stellt jedoch ein Gefährdungspotential dar. Die Gefährdung durch atmosphärische Einträge oder Oberflächenzuflüsse kann durch die Anlage dichter Gehölze/Sträucher und bauliche Maßnahmen verringert werden.

### **Ausblick**

In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass Baggerseen positive und negative Einflüsse auf Grundwasserleiter haben. Für die Praxis interessant wäre die Fragestellung, in welchen hydrogeologischen Situationen die positiven Aspekte von Baggerseen auf die Grundwasserqualität bei bereits anthropogen vorbelasteten Grundwasserleitern (Pestizide/ Düngung) genutzt werden könnten.