

1. Einleitung

In einem semi-ariden Land wie Israel ist Wasser der Schlüssel zu einer ökonomischen und sozialen Entwicklung. Der See Genezareth ist das größte Süßwasser-Reservoir des Nahen Ostens und hat daher eine einzigartige sozio-ökonomische Bedeutung für die gesamte Region. Der wesentliche Aspekt besteht heute darin, dass aus ihm etwa 40-50% des jährlichen Trinkwasserbedarfs bzw. 30% des Gesamtwasserbedarfs des Landes und angrenzender Gebiete gewonnen werden (Eckstein et al., 1994; Berman, 1998). Das wird über den seit 1964 arbeitenden Nationalen Wasserversorger (NWC) des Mekorot Co. Ltd. realisiert, der zugleich den größten Abfluss aus dem See darstellt. Die Implementierung dieses Versorgungsstranges ermöglichte unter anderem die landwirtschaftliche Nutzung und dadurch die Urbanisierung des Zentralen und Nördlichen Negev.

Das Ökosystem See Genezareth (Abb. 1-1) und seine Umgebung dienen außerdem als Erholungs-, Urlaubs- und Pilgerregion für unzählige in- und ausländische Touristen und zusätzlich werden jährlich etwa 5 Mio. US\$ durch kommerziellen Fischfang aus dem See erwirtschaftet (Hambricht et al., 2000).



Abb. 1-1: Blick nach Westen auf den See Genezareth.

Die jährliche Entnahmemenge aus dem See entspricht derzeit etwa 400×10^6 m³ Wasser, wobei Ben-Meir (2000) das Entnahme-Potential auf 590×10^6 m³ schätzt. Die Entnahmemengen richten sich jedoch im Wesentlichen nach dem Volumen des Sees, der zu 60-70% vom Fluss Jordan gespeist wird und somit direkt von den Niederschlägen im Drainagegebiet abhängig ist. Da der See inzwischen vollständig gestaut ist, wird dem See nur durch die hohe Verdunstung, den NWC und die lokalen Konsumenten Wasser entzogen. Damit hat der Mensch direkten Einfluss auf die Quantität und die Qualität des Wassers und so auf das Ökosystem des Sees (Håkanson et al., 2000).

Der See wies zu Beginn des 20. Jahrhunderts einen Chloridgehalt (Chloridität) von 300 mg/l auf (Serruya, 1978a). Die mit der wachsenden Bevölkerungszahl zunehmende Nutzung des Sees zur Bewässerung der Agrarflächen führte in den 1940iger Jahren zur Erhöhung des Chloridgehaltes auf 350-395 mg/l (Kolodny et al., 1999; Nishri et al., 1999). Die erhöhte Salinität des Sees ist im Wesentlichen die Folge von thermo-salinaren Wässern, die entlang des Ufers und am Seeboden austreten. Durch den Bau des NWC im Jahr 1964 erhöhte sich die Entnahmemenge aus dem See.

Um eine weitere Versalzung zu vermeiden wurde es notwendig, die am westlichen Ufer austretenden und hochergiebigen salinaren Quellwässer zu kanalisieren und um den See herum in den südlichen Jordan umzuleiten. Der ebenfalls 1964 gebaute Salzwasserkanal (SDC) realisierte diesen Plan (Abb. 1-2) und führte zur deutlichen Verringerung der Chloridität des Seewassers.

Dennoch ist das Seewasser, trotz der Implementierung des SDC, weiterhin deutlich salinärer als durch die bekannten Zuflüsse erbracht oder durch die hohe Evaporation verursacht werden kann (Bergelson et al., 1999). Die nicht salinaren Hauptzuflüsse in den See sind der Fluss Jordan und weitere Vorfluter. Sie sind die Hauptlieferanten (>70%) des Sees und kompensieren zugleich die zutretende salinare Grundwasserkomponente. Daher bewirken trockene Jahre, wie am Ende des 20. Jahrhunderts, in denen die Wasserführung der Vorfluter stark zurückgeht, hohe Cl-Gehalte (2002: ~290 mg/l) im Seewasser. Die im Untersuchungszeitraum (2000-2004) niedrigste Chloridität des Seewassers



Abb. 1-2: Der SDC bei Migdal.

(März 2004) liegt mit ca. 240 mg/l am oberen Akzeptanzlimit (250 mg/l Cl) für Trinkwasser (WHO, 1993).

Nicht nur für das Trinkwasser ist der hohe Mineralisationsgrad des Wassers ungünstig. 50-60% der Menge, die dem See entnommen wird, werden zur landwirtschaftlichen Bewässerung genutzt (Berman, 1998). Die Salinität des Wassers überschreitet den Toleranzbereich einiger Kulturpflanzen (Zitruspflanzen, Avocados) und führt außerdem zur kontinuierlichen Versalzung der damit bewässerten Böden sowie der unterlagernden Aquifere. So stellt die hohe Salinität des Wassers für den anthropogen und geogen stark belasteten Küstenaquifer ein zusätzliches Problem dar. Grund dafür ist, dass Wasser des See Genezareth über Bewässerungsflächen in den Aquifer infiltriert sowie über Infiltrationsbrunnen dafür genutzt wird, Teile des Küstenaquifers wieder aufzufüllen.

In Anbetracht der zunehmenden Wasserknappheit, dem steigenden Pro-Kopf-Verbrauch (Berman, 1998; Ben-Meir, 2000) und der Tendenz zu abnehmenden Niederschlagsmengen (Ragab & Prudhomme, 2002) wird die sozio-ökonomische Bedeutung des See Genezareth in Zukunft weiter zunehmen. Vor allem die Qualität des Seewassers muss verbessert und gesichert werden. Diese Bestrebungen besitzen höchste Priorität und sind von nationalem und internationalem Interesse.

Die Güte und Nutzbarkeit des Seewassers wird nach verschiedenen Kriterien bewertet. Dazu zählen neben der Chloridität die Mikrobiologie (Bakterien, Protozoen, Viren), toxische Anorganika und Organika (z.B. Schwermetalle, Herbizide, Pestizide). Ein weiteres Kriterium ist die Eutrophierung des Sees durch ein Überangebot von Nährstoffen (z.B. Phosphor, Stickstoff). Das kann zur Blüte gesundheitsgefährdender Algenarten führen. So wird im See seit 1994 das potentiell toxische Cyanobakterium *Aphanizomenon ovalisporum* (Banker et al., 1997) beobachtet. Um das Nährstoffangebot im See zu senken, wird der SDC daher inzwischen auch für die Erfassung der Siedlungsabwässer entlang des Westufers genutzt und dient somit dem Schutz vor übermäßiger Eutrophierung.

Der See ist von thermo-salinaren Grundwasseraustritten entlang des Ufers umgeben, die wiederum direkt durch verschiedene Aquifersysteme gespeist werden. Zusätzlich existieren un-spezifizierte Grundwasseraustritte auf dem Seeboden, die als Ursache für die hohe Chloridität des Seewassers angesehen werden. Deren Quantität, Chemie, Herkunft und Transportmechanismen sind seit Jahrzehnten Gegenstand intensiver Forschung. Ein enger Zusammenhang zwischen den Aquiferen, deren hydrogeologischen Mechanismen und den subaquatischen Austritten wird angenommen, konnte aber bislang nicht nachgewiesen werden.

Die geologische Entwicklung des Levants ist durch Trans- und Regressionszyklen gekennzeichnet, in deren Verlauf mächtige marine Sedimente abgelagert wurden. Diagenetisch verfestigt stellten sie für mehrere Generationen von (eingedunsteten) Meerwässern Speichergesteine dar. Seit dem Quartär ist der Jordangraben zur Binnensenke geworden, die mehrere Seestadien aufwies, deren Überreste der heutige See Genezareth und das Tote Meer sind. Als Resultat dieser Vergangenheit sind im tiefen Untergrund Generationen von Solen gespeichert, die residuale Meerwassersolen oder Laugungsprodukte abgelagerter Evaporitkörper darstellen. Die Grabentektonik schaffte entlang der Hauptverwerfungen ausgeprägte und tief reichende Störungssysteme, die von den häufig unter Druck stehenden Solen als hoch permeable Aufstiegswege genutzt werden. Daher treten im Beq'at Kinarot die mit TDS von 1-32 g/l hoch mineralisierten Wasser gruppenförmig (Tabgha, Fuliya, Tiberias, Ha'On, Gofra) und ausschließlich im näheren Umfeld des Grabens *sensu stricto* auf. Die regional sehr komplexen geologischen und tektonischen Verhältnisse führen dazu, dass sich (i) aufsteigende Solen mit meteorischen Süßwässern in variablen Verhältnissen mischen und (ii) die hydraulischen (räumlich) und hydrochemischen (saisonal) Charakteristika der Grundwässer stark ändern.

Der zentrale und tiefste Bereich des See Genezareth liegt in einem pull-apart-Becken, während die flachen Ränder westlich von 254 E (NIG) und östlich der östlichen Grabenrandstörung die Aquifere der Grabenflanken überdecken. In den Ausläufern der Grabenflanken ist der See somit für Grundwässer aus deren Aquifer- und Störungssystemen erreichbar. Der Untergrund des Sees innerhalb des Grabens *sensu stricto* wird von känozoischen Klastika, Gabbros und Evaporiten aufgebaut und ist hydraulisch weitestgehend unabhängig von den Grabenflanken. Daraus folgt, dass in Abhängigkeit von der Lage in Bezug auf den Graben *sensu stricto*, subaquatische Salinar-Flüsse dem See (i) diffusiv (innerhalb) oder (ii) überwiegend advektiv an die regional spezifischen hydraulischen und hydrochemischen Bedingungen in den Flanken gebunden zutreten. Trotz intensiver Forschung waren bislang keine konkreten oder stark voneinander abweichende Aussagen zur Menge und Beschaffenheit der eintretenden salinaren Wässer möglich. Auch in dieser Studie kann nur ein in sich kohärentes Bild gezeichnet werden.