

DER GROSSE SALZSEE NORDAMERIKAS

Mit 7 Abbildungen

MANFRED STRAESSER

Summary: The Great Salt Lake of North America

The Great Salt Lake of Utah is a remnant of the pluvial Lake Bonneville. It is situated in the northeastern corner of the semiarid Great Basin. Three rivers which have their origin in the humid Wasatch Range and Uinta Mts. bring water to the lake. The Great Salt Lake shows fluctuations in its level and its area in relation to the changes in climate. Precipitation in the mountains and evaporation from the lake are the main factors that influence the water budget of the lake. The long term fluctuations in the lake level are overlapped by annual fluctuations. Regularly in May and June the lake is at its highest level and in November and December the lake is at its lowest level.

It is extremely difficult to find out the amount of groundwater which flows to the lake from the rainy Wasatch Range. The author tried by considering the water budget to find out the amount of groundwater which flows to the lake in two specific years. An evaporation rate of 1077 mm and 1290 mm respectively was used. The groundwater which flows to the lake varies between 300 million and 1 billion m³.

The salinity of the lake is about 25 ‰. The chief constituent of this salt is sodium chloride (77 ‰). The origin of the salt is not yet definitely known. The relative chemical composition of the Salt Lake brine is very similar to that of seawater. Some authors therefore think that the winds which come from the Pacific Ocean have through the ages carried the salt into the Great Salt Lake basin.

The sediments of the Great Salt Lake are: 1. Calcareous clays and silts, 2. Oolite sands, 3. Algal reefs, 4. Saline precipitates.

In spite of its high salinity there is some life in the brine. Two kinds of algae are food for the Brine Shrimp and the salt fly.

Since pioneer days sodium chloride has been recovered from the brine of the Salt Lake. Today about 300.000 t of common salt are produced by divers operations. One company is preparing to recover lithium from the brine.

There are plans to divide the lake by several dikes into three basins. The result would be a brackish lake, a salt lake and a dry lake. Only when there is surplus salt water would this water flow into the dry lake which usually will be dry.

Obwohl zahlreiche amerikanische Publikationen über spezielle Probleme des Great Salt Lake vorliegen, fehlt bis heute eine zusammenfassende Darstellung der geographisch-hydrologischen Gesichtspunkte des Sees auf landeskundlicher Basis. ROSENVALL (1964), der in einer M. S. Thesis das Land am Great Salt Lake untersucht, geht nur allgemein auf die hydrologischen Erscheinungen des Sees ein. Zudem ist die Arbeit schwer zugänglich, da es nur wenige Exemplare davon gibt.

Die vorliegende Arbeit soll einen landeskundlichen Überblick über den See geben, wobei natürlich zwangsläufig der Schwerpunkt auf hydrologischen Aspekten liegt.

Die Entdeckung des Sees

Die erste Kunde von der Existenz des Great Salt Lake in Utah stammt von spanischen Missionaren, die in der 2. Hälfte des 18. Jh. von Süden her nach Zentralutah vorstießen, ohne den See jedoch selbst zu erreichen. Anfang des 19. Jh. drangen amerikanische Trapper von Osten her zum Salzsee vor, indem sie den Bear River hinunterfuhren. Wahrscheinlich war der berühmte Jim Bridger der erste Weiße, der den See zu Gesicht bekam. Die erste wissenschaftliche Beschreibung des Sees lieferte 1845 Colonel JOHN FREEMONT. Im Jahre 1852 kartierte Captain HOWARD STANSBURY den Great Salt Lake mit erstaunlicher Genauigkeit.

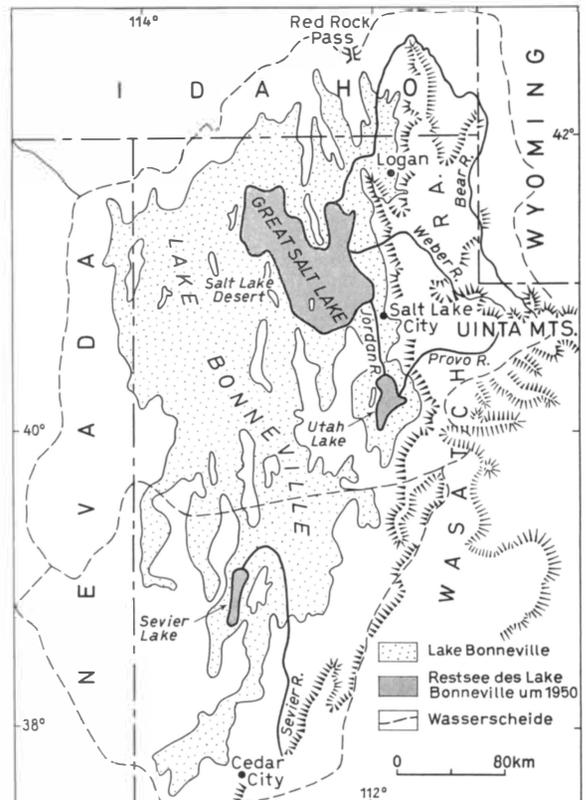


Abb. 1: Das Bonneville-Becken und der Große Salzsee

Der Great Salt Lake und sein Umland (Abb. 1)

Der Salzsee liegt im Norden des Bundesstaates Utah beiderseits des 41. Breitengrades in einer Meereshöhe von etwa 1278 m. Er füllt die nordöstlichste der vielen Depressionen des Großen Beckens Nordamerikas aus, das im Westen von der Sierra Nevada und im Osten von der über 3000 m aufragenden Wasatch Range begrenzt wird. Im westlichen Vorland der Wasatch Range liegt der Great Salt Lake. Er nimmt heute im Mittel eine Fläche von 2600 km² ein. Seine größte Nord-Süd-Erstreckung mißt etwa 110 km, während seine Breite etwa 25 km beträgt. Im Gegensatz zum Toten Meer, mit dem der Salzsee oft verglichen wird, liegt er nicht in einem geologischen Graben, sondern füllt eine flache Wanne innerhalb des Großen Beckens aus. Seine größte Tiefe beträgt heute etwa 8 m, während er im Durchschnitt wesentlich flacher ist.

Die wichtigsten klimatischen Gegebenheiten, die für diese Arbeit von Bedeutung sind, zeigen die drei folgenden Klimadiagramme (Abb. 2). Sie stellen nicht Werte einzelner Stationen dar, sondern den langjährigen Durchschnitt der drei großen Regionen Nordutahs, die die Hydrologie des Sees beeinflussen.

Nach der Formel $i = \frac{12n}{t + 10}$ wurden vom Verfasser

die Ariditätsindizes der einzelnen Gebiete berechnet. Es zeigte sich, daß in Nordwest-Utah alle Monate des Jahres Indizes haben, die unter 20 liegen, also alle Monate arid sind. Hier liegt ein vollarides Klima vor. Im zentralen Teil Nord-Utahs stehen den 5-6 ariden Monaten 6 humide Monate gegenüber, so daß hier das Klima insgesamt als semiarid bis semihumid bezeichnet werden muß. Die Gebirgsregion Nord-Utahs weist nur noch 4 aride Monate auf; hier herrscht also ein humides Klima.

Die Topographie des Landes und die Richtung der regenbringenden Winde (Westen) bewirken diese Klimaabstufung. Insgesamt handelt es sich in Nord-Utah um ein winterkaltes, sommertrockenes Steppenklima, das hygrisch als Ausläufer des kalifornischen Winterregengebietes gelten kann und Ähnlichkeit mit dem winterkalten Steppenklima der Hochländer des Irans und Anatoliens aufweist.

Die Niederschläge in den Monaten Dezember bis März fallen vor allem in der östlichen Gebirgsregion als Schnee, was für die Hydrologie des Salzsees von entscheidender Bedeutung ist.

Obwohl die westlichen Randgebirge und die Inseln des Sees teilweise bis zu 2000 m aufragen, sind sie doch nicht hoch genug, um feuchte Inseln im ariden Klima des Großen Beckens zu bilden. Der Salzsee er-

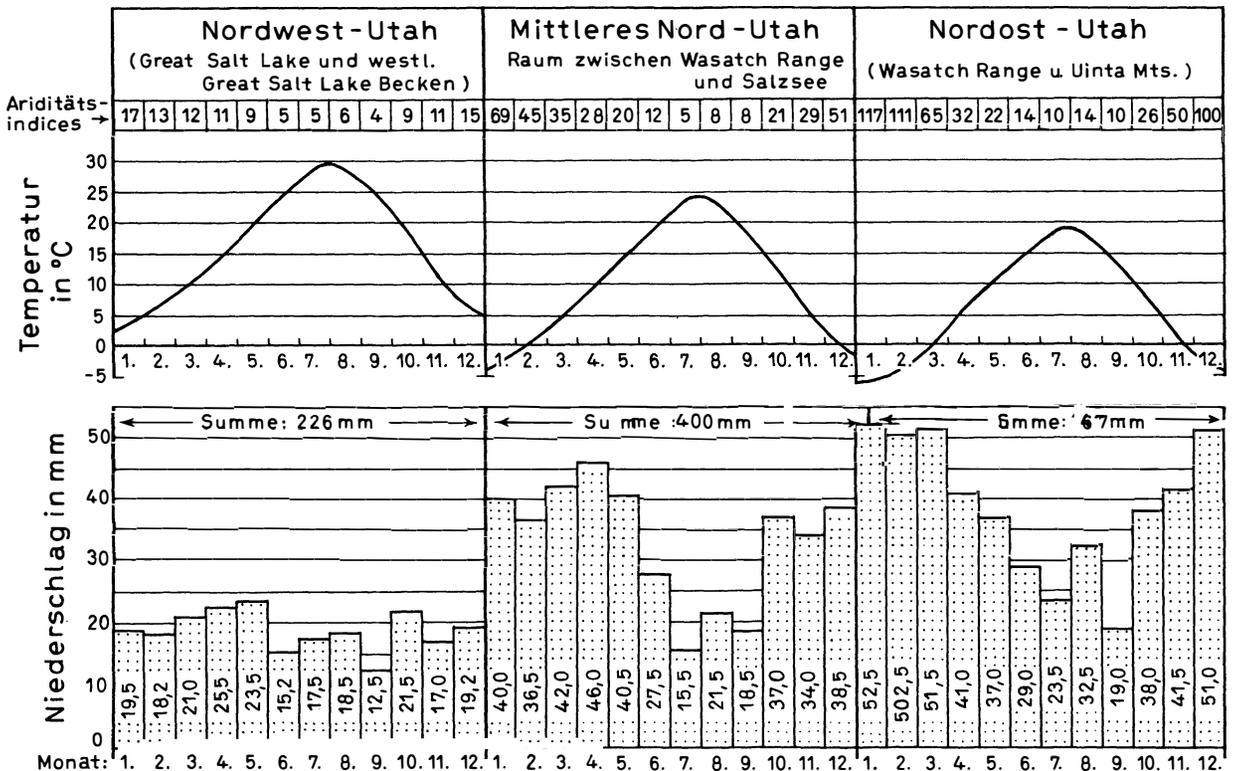


Abb. 2: Klimatisches Verhalten der drei Großräume Nordutahs 1930-1960 (Werte nach „Climatological Data, Utah“, US Weather Bureau)

hält von ihnen nur unbedeutende, periodische Zuflüsse. Die östlichen Randgebirge der Wasatch und Uinta Mts. erhalten dagegen wegen ihrer Höhenlage Niederschläge, die teilweise 1500 mm erreichen. Die relativ geringe Verdunstung im kühlen Gebirge bewirkt es, daß ein Teil dieser Niederschläge oberflächlich abfließen kann (nach WATER SUPPLY PAPER Nr. 1347:55 mm). In diesen östlichen Randgebirgen entspringen daher die Flüsse, die für die Entstehung bzw. Erhaltung des Salzsees verantwortlich sind (Abb. 1). Von einer Reihe kleinerer und unbedeutender Abdachungsflüsse der Wasatch Range abgesehen, liefern drei größere Flüsse das Wasser für den See; dazu kommt noch das Grundwasser. Der bedeutendste Zufluß ist der Bear River, der größte Fluß Nordamerikas ohne Abfluß zum Weltmeer. Nicht weit von seiner Quelle entfernt entspringen in den hohen Uinta Mts. auch Weber River und Provo River. Letzterer fließt zunächst in den Süßwasser führenden Utah Lake und dann als Jordan weiter zum Salzsee.

Die Parallelisierung des Great Salt Lake mit dem Toten Meer beruht nicht nur auf dem hohen Salzgehalt beider Wasserkörper, sondern auch auf den vergleichbaren hydrographischen Gegebenheiten. Auch dort fließt ein Süßwasserfluß (Jordan) in einen Süßwassersee (See Tiberias) und aus diesem weiter in einen salzigen Endsee. Eine eigenartige geographische Koinzidenz will es, daß das gleiche hydrographische System außerdem im innerandinen Hochbecken Südamerikas noch einmal auftritt.

Die Geschichte des Great Salt Lake (Abb. 3)

Der Great Salt Lake ist ein Restsee des eiszeitlichen Lake Bonneville, der wesentlich größer war als der heutige Salzsee und mit etwa 50 000 km² (Größe des heutigen Lake Michigan) fast ganz Nordwest-Utah sowie Teile von Süd-Idaho und Ost-Nevada bedeckte. Im Westteil des Großen Beckens breitete sich zu jener Zeit der Lake Lahontan aus.

In den Eiszeiten herrschte in den randlichen Trockengebieten der Subtropen ein feuchteres Klima als heute. Die Verdunstung war geringer und die Niederschläge waren wahrscheinlich höher. Die heutigen Trockengebiete der Subtropen waren daher eingengt (PITTELKOW, 1936 S. 209). Wenn die morphologischen Voraussetzungen in den damals humideren Gebieten gegeben waren, konnten sich Seen bilden. Viele der heutigen Endseen der Trockengebiete waren in jener Pluvialzeit größer als heute und hatten z. T. Abfluß zum Meer. Ein solcher Pluvialsee war der Lake Bonneville.

Die Geschichte dieses pluvialzeitlichen Vorläufers des heutigen Salzsees läßt sich noch heute an den Spuren ablesen, die er in der Landschaft hinterlassen hat und die in klassischer Weise K. G. GILBERT (1890) beschrieben hat. Die Forschungen GILBERTS wurden in neuerer Zeit vor allem von EARDLEY, GVOSETZKY u.

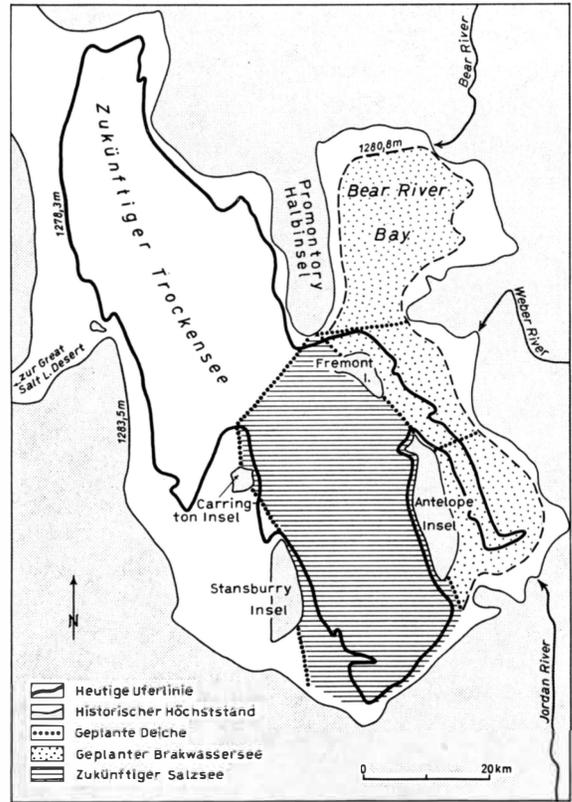


Abb. 3: Der Great Salt Lake in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft

MARSELL (1957); BRIGHT (1963); MORRISON (1961); MORRISON u. FREY (1965); GVOSETZKY u. HAWKES (1953) ergänzt bzw. korrigiert. So wurde z. B. durch Radiokarbonbestimmungen an Kalktuffen des Sees der spätpluviale Hochstand des Sees in die Zeit 25 000 bis 13 500 Jahre vor heute festgelegt (EARDLEY, GVOSETZKY u. MARSELL, 1957).

Mit dem Abklingen der Pluvialzeit änderte sich das Klima wieder in Richtung der heutigen Verhältnisse (ANTEVS, 1952). Die Verdunstung wurde stärker, der Zufluß zum See geringer, und der Seespiegel senkte sich weiter ab. Der See wurde kleiner und teilte sich in mehrere Restseen, die schließlich fast alle austrockneten. Nur der Salzsee, der Utah See und der Sevier See sind heute noch als Seen vorhanden.

Die Geschichte des Lake Bonneville in der letzten Pluvialzeit gibt die folgende Abb. 4 wieder.

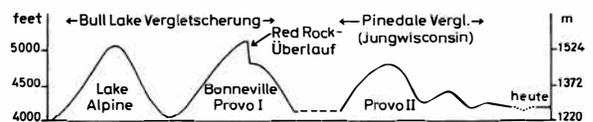


Abb. 4: Lake Bonneville in der letzten Eiszeit (nach MORRISON, 1961)

Die langfristigen Schwankungen des Salzsees

Der Great Salt Lake ist ein Endsee, d. h., der in seinem hydrologischen Einzugsgebiet auf den Abfluß entfallende Anteil des Niederschlages sammelt sich im tiefsten Punkt des Great Salt Lake Beckens, wo die Verdunstung an diesem Wasser zehrt. Verstärkt sich nun in feuchten Jahren der Zufluß zum See, kann die Verdunstung das gesteigerte Wasserangebot nicht aufzehren. Der Endsee steigt daher an und vergrößert wegen der flachen Wannenform sein Areal beträchtlich. Durch diese Flächenvergrößerung wird die Verdunstung begünstigt, so daß diese ebenfalls ansteigt und dem unbegrenzten Wachstum des Sees entgegenwirkt. In Trockenjahren wird umgekehrt der Zufluß zum See verringert, der See wird kleiner und die Verdunstung wegen der Flächenverringering eingeschränkt. Die Flächengröße des Sees wird also durch das dynamische Gleichgewicht zwischen Zufluß und Verdunstung gesteuert. Da sowohl die Höhe der Verdunstung als auch die Menge der Zuflüsse klimaabhängig sind, muß der See auf größere oder kleinere Klimaschwankungen sehr empfindlich reagieren.

Nicht nur auf die großen, langfristigen Klimaschwankungen der Eiszeit reagierte der See, sondern auch auf die weniger starken Klimaschwankungen in junger historischer Zeit. Als 1847 die mormonischen Pioniere den Salzsee erreichten, lag sein Spiegel in einer Meereshöhe von etwa 1280 m, was einer Fläche von 4150 km² entsprach. Seit 1870 liegen genaue Beobachtungen über die Spiegel- und Arrealschwankungen des Sees vor. Auch die Klimabeobachtungen beginnen in jener Zeit. Für die Zeit vor 1870 ist man auf indirekte Methoden angewiesen, wenn man das Verhalten des Sees bestimmen will. FREMONT berichtet, daß er im Jahre 1845 zur Antelope Island geritten sei und ihm das Wasser bis an die Sattelgurte reichte. Das würde einer Spiegelhöhe von etwa 1280,3 m entsprechen. Im Jahre 1848 war der See so stark gefallen, daß eine trockene Verbindung zwischen Antelope Insel und Festland bestand. Aus diesen Berichten können Rückschlüsse auf das damals herrschende Klima gezogen werden. Dabei ist natürlich zu beachten, daß zu jener Zeit noch kein Wasser für Bewässerungszwecke den Seezuflüssen entzogen wurde. Der Seespiegel muß daher heute bei gleichen Klimabedingungen niedriger liegen als damals. Welche Rolle der Entzug von Bewässerungswasser jedoch im einzelnen spielt, ist bis heute noch nicht geklärt. Die Spiegelschwankungen des Sees seit 1850 zeigt die folgende Abb. 5.

Im Jahre 1873 hatte der See seinen höchsten Stand in historischer Zeit erreicht. Sein Spiegel lag in 1283,5 m Meereshöhe, was einer Fläche von 5670 km² entsprach. Berichte aus der Zeit zwischen 1861 und 1873 sprechen von besonders hohen Niederschlägen in jenen Jahren, so daß die Gründe für das Ansteigen des Sees wahrscheinlich in einer Steigerung der Zuflüsse lagen.

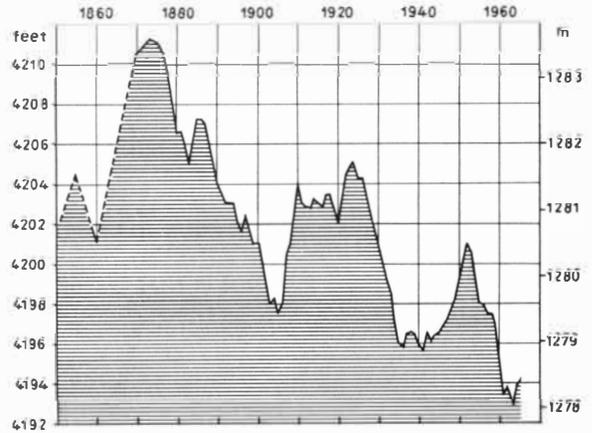


Abb. 5: Spiegelschwankungen des Great Salt Lake in historischer Zeit; Jahreshöchststände (Werte aus: Water Supply Paper Nr. 1314 u. 1734 sowie Surface Waters of Utah 1961-65)

Der Anstieg des Sees in jener Zeit wurde von manchen Fachleuten mit der damals beginnenden Bewirtschaftung des Landes durch den weißen Mann in Verbindung gebracht. Die Waldzerstörung und die Überweidung fördern zweifelsohne den Abfluß und könnten damit ein Ansteigen des Seespiegels bewirken. Der anschließende Rückgang des Sees zeigt jedoch, daß der primäre Grund für die Seespiegeländerungen in Klimaschwankungen zu suchen ist.

Der starke Rückgang des Sees in den letzten Jahren ist keineswegs durch den gesteigerten Wasserentzug (Bewässerung) aus den Seezuflüssen allein zu erklären. Er hängt primär mit der allgemeinen Trockenheit im Südwesten der USA zusammen. Im November 1963 erreichte der See den tiefsten Stand in historischer Zeit mit einer Spiegelhöhe von 1277,5 m (US Geol. S.: Surface Water Records, Utah 1963). Das bedeutet einen Rückgang von etwa 6 m seit dem Hochstand von 1873. Die Seefläche hat sich in jener Zeit von 5670 auf 2350 km² verringert. Ob der See in den nächsten Jahren weiter abnehmen wird, kann nicht vorhergesagt werden. Schon um die Jahrhundertwende hatten Fachleute ein baldiges Auströcknen des Sees vorhergesagt (GILBERT), und doch stieg der See wieder an. Die Seespiegelschwankungen sind eben in erster Linie von Klimaschwankungen abhängig, die nicht langfristig vorhergesagt werden können.

Die alljährlichen Schwankungen des Seespiegels

Im vorigen Abschnitt wurde gezeigt, welche großen Schwankungen der See in geologischer und historischer Vergangenheit durchgemacht hat. Diese langfristigen Schwankungen waren stets überlagert von jahreszeitlichen Schwankungen.

Die Größe eines abflußlosen Sees wird bestimmt durch die Wasserzufuhr jeglicher Art und die Höhe der Verdunstung. Neben den oberirdischen Zuflüssen

kann vor allem der Zufluß von Grundwasser wichtig werden. Weiter liefern die direkt auf den See fallenden Niederschläge Wasser für den See. Bei stagnierendem Seespiegel wird das dynamische Gleichgewicht zwischen Verdunstung und Zuflüssen durch die Gleichung (1) erfaßt (LANGBEIN, 1961).

$$V = N + Z_{F1} + Z_{Gr} \quad (1)$$

V = Verdunstung, N = Niederschlag, Z_{F1} = Zufluß durch oberirdische Flüsse, Z_{Gr} = Grundwasserzufluß.

Die Änderung der gespeicherten Wassermenge ΔS beträgt demnach:

$$\Delta S = N + Z_{F1} + Z_{Gr} - V \quad (2)$$

Der Betrag ΔS ist für die Spiegelschwankungen des Sees verantwortlich. Da die Summanden, die ΔS bestimmen, im Laufe des Jahres schwanken, muß sich der Seespiegel entsprechend ändern.

Die absolute Höhe des Salzseespiegels schwankt zwar von Jahr zu Jahr, der Jahresgang der Pegelkurve ist jedoch auffallend parallel. Den Höchststand erreicht der Salzsee mit großer Regelmäßigkeit in den Monaten Mai–Juni; im November und Dezember wird der Tiefstand erreicht (*US Geol. S. Water Supply P. Nr. 1734 u. 1314*). Die Amplitude der Jahreschwankungen beträgt im Durchschnitt 60 cm, was natürlich mit einer entsprechenden Flächenveränderung verbunden ist. Bei Flächenangaben über den Großen Salzsee sind wegen dieser Jahreschwankungen nur Mittelwerte möglich. In der augenblicklichen Lage des mittleren Seespiegels verändert sich die Fläche des Sees um etwa 250 km² bei 60 cm Höhengschwankung.

Für den Verlauf der jährlichen Schwankung des Seespiegels spielen die direkten Niederschläge auf den See nur eine unbedeutende Rolle, da sie sehr gering sind (etwa 250 mm pro Jahr). Der überwiegende Teil dieser Niederschläge fällt wie in ganz Utah im Winter.

Das Verdunstungsmaximum über dem See liegt in den Monaten Juni, Juli und August, wobei im August der Höchstwert erreicht wird. Über die absolute Höhe der Verdunstung über dem See gehen die Meinungen noch stark auseinander. MEYERS und NORDENSON (1962) kommen auf Grund von Messungen mit der Verdunstungswaage, die nach anderen klimatischen Daten (Strahlung, Lufttemperatur, Taupunkt, Windbewegung) korrigiert wurden, zu einem Verdunstungswert von weniger als 3,5 feet (1077 mm). In einer neueren Untersuchung kommen DICKSON und McCULLOM (1965) mit Hilfe der Eddy Flux Methode zu wesentlich höheren Werten, die für das Jahr 1963 4,2 feet (1290 mm) ausmachten.

Der Bear River ist bei weitem der wichtigste Wasserlieferant für den See. Er liefert etwa 53 % der oberflächlichen Zuflüsse. Die durchschnittliche Jahresgangkurve der drei wichtigsten Seezuflüsse zeigt die Abb. 6.

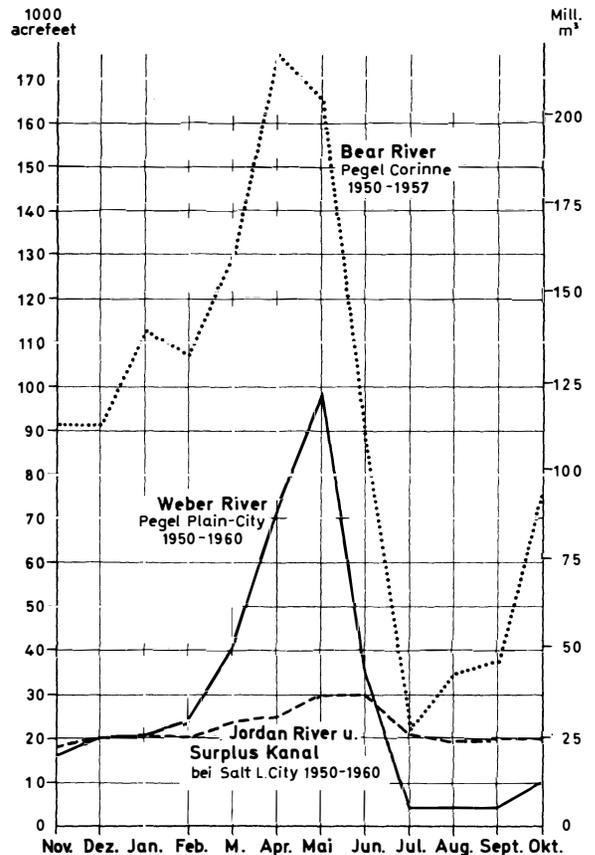


Abb. 6: Abflußkurven der drei wichtigsten Zuflüsse im Mittel der Jahre 1950–1960 (Water Supply Paper Nr. 1734)

Die frühsummerliche Schneeschmelze im Hochgebirge ist für das Abflußmaximum verantwortlich. Der Jordan River kommt aus dem Utahsee, wodurch seine Abflußkurve ausgeglichen wird.

Die Deutung der Jahresgangkurve der Spiegelschwankungen des Salzsees ist jetzt möglich: Der Hochstand des Sees in den Monaten Mai–Juni wird durch die starke Wasserzufuhr der durch die Schneeschmelze angeschwollenen Flüsse bewirkt. Die Verdunstung ist in dieser Zeit noch relativ niedrig, so daß die Zufuhr von Wasser dessen Aufzehrung übertrifft. Während die Zuflüsse zum See im Laufe des Sommers zurückgehen, steigt die Verdunstung weiter an, und schließlich überwiegt die Aufzehrung von Wasser die Zufuhr. Das bewirkt ein Absinken des Seespiegels bis in den Herbst hinein. Dann geht die Verdunstung zurück, und die Zuflüsse nehmen wieder zu. Der Seespiegel kann also wieder steigen.

Zum Wasserhaushalt des Sees

Durch die Gleichung (1), oben links, wird der Wasserhaushalt des Salzsees erfaßt. Während die Größen Niederschlag und Zuflüsse (Oberflächenwasser) leicht

zu bestimmen sind, bereitet die Bestimmung von Verdunstung und unterirdischem Zufluß (Grundwasser) Schwierigkeiten. Am schwersten zu bestimmen ist die in den See fließende Grundwassermenge. Die Verdunstungsgröße dürfte nach allen bisherigen Untersuchungen (s. o.) zwischen 1077 und 1290 mm liegen. Um eine ungefähre Vorstellung von der Größenordnung der Grundwasserzuflüsse zu erhalten, wurde vom Verfasser für zwei ausgewählte Jahre die jeweilige Wasserbilanz des Sees aufgestellt. Als Verdunstungsgröße wurden die beiden erwähnten Extremwerte eingesetzt.

Der jährliche Grundwasserzufluß beträgt nach der umgeformten Gleichung (1)

$$Z_{Gr} = V - (N + Z_{Fi}) \quad (3)$$

Der direkte Niederschlag betrug im Jahre 1960 171 mm (*US Weather Bureau: Climatological Data, Utah*). Der Zufluß der Flüsse betrug nach *Water Supply Paper Nr. 1734* 437 mm bei einer mittleren Seefläche von 2808 km² im Jahre 1960. (Seefläche berechnet nach dem Anhang in DICKSON und McCULLOM, 1965.)

Die Gleichung (3) erfaßt die Höhe der Grundwasserzuflüsse nur unvollkommen, da die Änderung der Seespiegelhöhe im hydrologischen Jahre 1960 noch berücksichtigt werden muß. Zu Anfang dieses Jahres lag der Seespiegel um 36 cm höher als am Ende des betrachteten Zeitraumes. Diese 360 mm können jedoch nur von der Verdunstung aufgezehrt worden sein. Außerdem muß die Verdunstung die 171 mm Niederschlag und die 437 mm oberflächlichen Zuflüsse aufgezehrt haben. Die Höhe der Grundwasserzuflüsse kann jetzt unter Annahme einer Verdunstungshöhe von 1077 bzw. 1290 mm berechnet werden:

1. $Z_{Gr} = 1077 \text{ mm}$
 $- (437 \text{ mm} + 360 \text{ mm} + 171 \text{ mm})$
 $Z_{Gr} = 109 \text{ mm} (306 \text{ Mill. m}^3)$
2. $Z_{Gr} = 1290 \text{ mm} - 968 \text{ mm}$
 $Z_{Gr} = 322 \text{ mm} (904 \text{ Mill. m}^3)$

Die entsprechende Rechnung für das feuchtere Jahr 1950 ergibt folgende Werte: Niederschläge 278 mm. Höhe der Zuflüsse 990 mm. Der See stieg um 278 mm. Mittlere Seefläche 3780 km². In diesem Jahre konnte die Verdunstung das zugeführte Wasser nicht aufzehren, und der See stieg daher um 278 mm.

1. $Z_{Gr} = 1077 \text{ mm}$
 $- (278 \text{ mm} + 990 \text{ mm}) + 278 \text{ mm}$
 $Z_{Gr} = 87 \text{ mm} (339 \text{ Mill. m}^3)$
2. $Z_{Gr} = 1290 \text{ mm}$
 $- (278 \text{ mm} + 990 \text{ mm}) + 278 \text{ mm}$
 $Z_{Gr} = 300 \text{ mm} (1,13 \text{ Milliarden m}^3)$

Es ist zunächst erstaunlich, daß in einem Trockenjahr wie 1960 mehr Grundwasser (in mm Höhe) zum See fließen soll als in einem feuchten Jahre wie 1950. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß das 1950 zugeflossene Grundwasser sich auf eine größere Fläche verteilt als dies 1960 der Fall war. Die absolute

Menge in m³ zeigt dann auch, daß 1950 mehr Grundwasser zum See floß, als das 1960 der Fall war. Allerdings liegt der Mehrbetrag unter der eigentlich zu erwartenden Menge. Es ist noch folgender Gesichtspunkt zu beachten:

Wenn der See steigt und seine Fläche vergrößert, dringen große Mengen Wasser als Uferfiltrat in Grundwasserspeicher ein, die bisher leer waren. Diese leeren Grundwasserspeicher des Sees liegen vorwiegend im hochariden westlichen Einzugsgebiet des Sees, wo sich nur sehr wenig natürliches Grundwasser bilden kann. Wenn der Seespiegel fällt, fließt das beim Steigen des Sees in diese Speicher eingedrungene Wasser wieder in den See zurück, soweit es nicht verdunstet ist. Der effektive Spiegelanstieg des Sees muß also im Jahre 1950 geringer sein als eigentlich zu erwarten war. Ebenso ist die Spiegelsenkung im Jahre 1960 kleiner als zu vermuten war. Die quantitativ kaum faßbaren Wasserbewegungen aus dem See in die Uferfiltratzone und wieder zurück schwächen sowohl die langfristigen als auch die jahreszeitlichen Spiegelschwankungen des Sees ab.

Die Tatsache, daß die meßbaren Spiegelschwankungen des Sees nicht identisch sind mit dem tatsächlichen Wasserverlust oder -gewinn eines Jahres, macht die Bestimmung der Grundwasserzuflüsse aus der Wasserhaushaltsgleichung einzelner Jahre problematisch. Die Frage, welcher Verdunstungswert den realen Gegebenheiten am nächsten kommt, kann natürlich aus der obigen Rechnung nicht beantwortet werden. Er schwankt wahrscheinlich von Jahr zu Jahr je nach Wetterbedingungen zwischen den beiden Extremwerten.

In den Wasserhaushaltsberechnungen wurde nicht berücksichtigt, daß drei Salzwerke pro Jahr etwa 300 000 t Kochsalz aus dem See gewinnen und die entsprechende Wassermenge in Salinen außerhalb des Sees zur Verdunstung bringen. Bei einer augenblicklichen Seefläche zwischen 2600 und 3000 km² würde der entsprechende Wasserverlust jedoch nur 0,5 mm ausmachen, ein Betrag, der vernachlässigt werden kann.

Auf die Bedeutung des Uferfiltrats wurde bereits oben hingewiesen. Die drei Diagramme der Abb. 7 zeigen die Wasserbilanz des Salzsees und den Einfluß der Grundwasserbewegungen in den letzten Jahrzehnten.

Der langjährige Mittelwert der Verdunstung ist mit 3,75 feet (1143 mm) angesetzt – ein Wert, der nach Ansicht des Verfassers dem langjährigen Mittel am nächsten kommen dürfte.

Aus den Diagrammen ist zu erkennen, wie der Seespiegel in den letzten Jahren fällt, weil die Wasserzufuhr zum See geringer ist als die Verdunstung. Im Jahre 1938 ist die Zufuhr etwa gleich der Verdunstung; der Seespiegel stagniert. In Jahren, in denen die Wasserzufuhr die Verdunstung übertrifft, steigt der Seespiegel an (1936, 1952). Diese Gesetzmäßigkeit

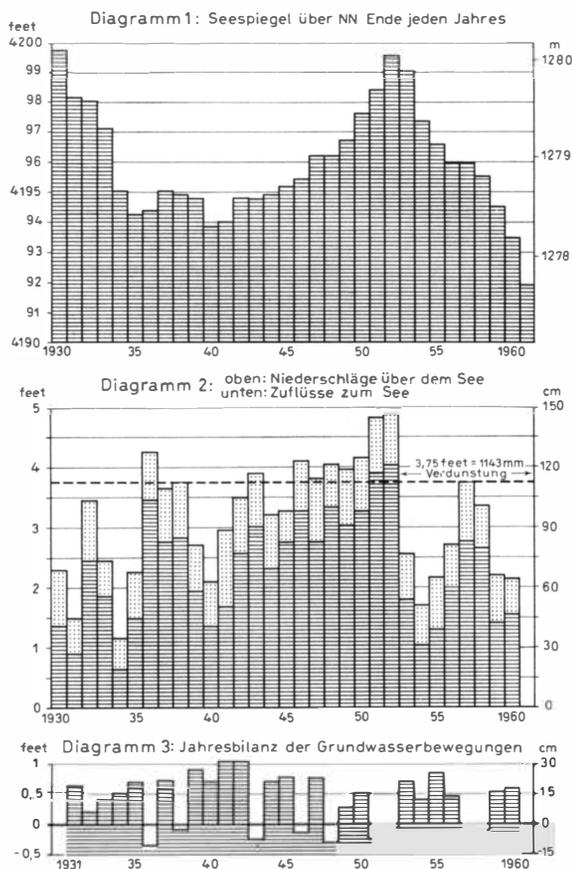


Abb. 7: Diagramme zum Wasserhaushalt des Salzsees
(Basiswerte aus: DICKSON und MELULLOM, 1965 und
Water Supply Paper Nr. 1314 u. 1734)

zeigt jedoch einige Unregelmäßigkeiten, wie sie deutlich in den Jahren 1948 und 1945 zu erkennen sind. Zudem stimmen in den „Normaljahren“ die Differenzbeträge zwischen Wasserdefizit bzw. -überschuss und Seespiegelschwankungen nicht genau. Eine derartige Unregelmäßigkeit ist aus zwei Gründen zu erwarten: Die angesetzte Jahresverdunstung gilt für das langjährige Mittel, unterliegt aber natürlich in Einzeljahren gewissen Schwankungen. Zudem müssen die Wasserbewegungen in den See und aus dem See (Uferfiltration) berücksichtigt werden. Da echte Grundwasserzuflüsse zum See und die Wirkung der Uferfiltration nicht differenziert werden können, wird im Diagramm 3 der Abb. 7 die Gesamtbilanz aller Wasserbewegungen zum See oder vom See weg dargestellt.

Im Jahre 1951 stieg der See z. B. um 24 cm, während der Wasserüberschuss 32 cm betrug. Es gehen dem See also 8 cm verloren, die zusammen mit dem zugeflossenen echten Grundwasser vom See wegfließen. Unter Umständen werden dem See derart große Mengen Wasser als Uferfiltrat entzogen, daß die Gesamtbilanz allen sich unterirdisch bewegenden Was-

sers ausgeglichen oder sogar negativ sein kann. Natürlich fließt in jedem Jahr echtes Grundwasser in den See, auch in Jahren mit negativer Grundwasserbilanz. Während der Grundwasserzstrom vorwiegend vom Ostufer des Sees aus erfolgt, liegen die wirksamen Speicher für das Uferfiltrat am Westufer des Sees.

Der Salzgehalt des Großen Salzsees

Das auffallendste Merkmal des Great Salt Lake ist sein ungewöhnlich hoher Salzgehalt. Die Salzkonzentration des Sees liegt heute bei 25–27 % und damit in gleicher Höhe wie beim Toten Meere. Die Dichte des Wassers beträgt 1,21. Man kann heute das Wasser des Sees als gesättigte Salzlösung bezeichnen.

Den weitaus größten Anteil am Salz des Sees hat das gewöhnliche Kochsalz mit 77 %. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Salze, die beim Eindampfen des Seewassers zurückbleiben (*Utah Geol. a. Min. S.: Geology of Salt Lake County, 1964, S. 82*):

NaCl	77%
Na ₂ SO ₄	9%
MgCl ₂	5%
MgSO ₄	4%
KCl	4%
Sonstiges	1%
	100%

Die Chemische Analyse des Seewassers ergibt folgende Ionenzusammensetzung (in ppm):

SiO ₂	7,0	HCO ₃ ⁻	398,0
Eisen	0,11	SO ₄ ⁻	2 210,0
Ca ⁺⁺	265,0	Cl ⁻	147 000,0
Mg ⁺⁺	9 390,0	F ⁻	5,0
Na ⁺	84 900,0	J ⁻	0,5
Li ⁺	40,0	NO ₃ ⁻	154,0
		Bor	30,0

Nach *Utah Geol. a. Min. S. : Geology of Salt Lake County, 1964, Seite 80.*

Insgesamt dürften nach verschiedenen Schätzungen etwa 4 Milliarden t Salz im Wasser des Salzsees gelöst sein. Während der Salzgehalt in verschiedenen Teilen des Sees gewisse Unterschiede zeigt, liegt der pH-Wert des Wassers durchweg bei 8,2. Diesen pH-Wert weist auch das Wasser des Weltmeeres auf. Die geringe Wasserstoffionenkonzentration wird in beiden Fällen durch die sogenannte Alkalinität hervorgerufen. Darunter versteht man einen Überschuss der starken Kationenäquivalente über die starken Anionenäquivalente. Bei Meerwasser beträgt dieser Wert 2,38, beim Salzsee 3,45 Milligrammäquivalente pro kg Wasser. Die überschüssigen Kationen sind an schwache Anionen gebunden. Es tritt Hydrolyse ein und OH-Ionen werden frei. Daher reagiert solches Wasser alkalisch und verfügt im Gegensatz zu einer normalen Kochsalzlösung über ein starkes Puffervermögen. Der pH-Wert kann in solchen Gewässern nur unwesentlich schwanken.

Der hohe pH-Wert bewirkt, daß die Bikarbonate, die die Flüsse in den See transportieren, ausgefällt werden, sobald ihre Konzentration einen bestimmten Grenzwert überschreitet. Im Durchschnitt enthalten die zum See fließenden Flüsse 340 mg Bikarbonat (HAHL und LANGFORD, 1964). Durch die Verdunstung von Seewasser reichern sich die Karbonate an und werden ausgefällt.

Die Zusammensetzung des Seewassers zeigt gewisse Ähnlichkeiten mit der von Meerwasser, wenn man von der unterschiedlichen Gesamtkonzentration absieht:

Ionen	Meerwasser	Salzseewasser
Na ⁺	30,0%	31,5 %
Cl ⁻	54,0%	54,0 %
Mg ⁺⁺	3,5%	3,5 %
SO ₄ ⁻⁻	7,7%	8,2 %
HCO ₃ ⁻	0,4%	0,15%
K ⁺	1,1%	2,0 %
	96,7%	99,35%

Im Jahre 1957 wurde der Salzsee durch einen Eisenbahndamm in eine nördliche und eine südliche Hälfte geteilt. Der Damm ist aus Gesteinsmaterial aufgeschüttet worden. Um einen gewissen Wasseraustausch zwischen den beiden Seehälften zu gewähren, sind in den Damm zwei Öffnungen von je 4,50 m Breite eingebaut. Da die Mehrzahl der Seezuflüsse in den südlichen Teil des Sees fließt, ist normalerweise die Wasserbewegung durch diese beiden Durchlässe nach Norden gerichtet. Der Damm bewirkte natürlich eine gewisse Änderung in der chemischen Zusammensetzung des Seewassers. Der Südteil des Sees wird ständig durch einmündendes Süßwasser der Flüsse verdünnt. Dem Nordteil des Sees wird dagegen durch die beiden Durchlässe nur hoch angereichertes Seewasser zugeführt. Der Nordteil des Salzsees ist daher heute salzhaltiger als der Südteil und stellt eine gesättigte Lösung mit Bodenkörper dar. Am Boden des südlichen Seeteiles sind dagegen keine Salzablagerungen zu finden.

Salzgehalt und Seespiegelschwankungen

Wenn der Salzsee aus klimatischen Gründen ansteigt, wird das gelöste Salz des Seewassers auf ein größeres Volumen verteilt. Das Seewasser wird also verdünnt, und die gelöste Salzmenge pro Wassereinheit nimmt ab. Der umgekehrte Vorgang spielt sich beim Schrumpfen des Sees ab. Beim Ansteigen des Sees werden in den Uferzonen des Sees feste Salzkusten gelöst, so daß die absolute Menge gelösten Salzes zunimmt, wenn der See ansteigt. Dennoch geht die relative Salzkonzentration zurück, da der Effekt der Volumenvergrößerung des Wassers größer ist als die Zunahme der absoluten Menge gelösten Salzes.

Die Spiegelschwankungen des Salzsees müssen also stets begleitet sein von umgekehrt proportionalen Schwankungen des Salzgehaltes. Wenn der See z. B. 30 m ansteigen würde, würde die gesamte Great Salt

Lake Desert überflutet und die Seefläche auf 19 000 km² anwachsen. Gleichzeitig würde das Salz der Great Salt Lake Desert gelöst werden. Trotzdem hätte der vergrößerte See nach einer Berechnung von EARDLEY (1957) nur einen Salzgehalt von 1,2 ‰.

Aus der folgenden Tabelle (nach EARDLEY, GVOSDETZKY und MARSELL, 1957) geht hervor, wie stark der Salzgehalt des Sees mit den Spiegelschwankungen variiert. Während des Höchststandes des Sees in historischer Zeit (1873) betrug der Salzgehalt z. B. nur 13 ‰. In den letzten Jahren lag er dagegen stets über 25 ‰.

Seespiegel m über 00	Seefläche in km ²	Volumen des Sees in km ³	Salzgehalt in %
1 566	51 200	8 800	Süßwasser
1 469	38 800	4 640	mit Abfluß
1 371,1	25 200	1 820	0,2
1 341	22 600	910	0,4
1 310,5	18 900	305	1,2
1 293,9	12 950	140	2,6
1 289	11 650	76	4,8
1 286	6 500	47	7,7
1 280	4 150	15,8	23,0

Natürlich bewirken auch die jährlichen Schwankungen des Seespiegels einen geringen Wechsel des Salzgehaltes. Nach HAHL und LANGFORD (1964) schwankt der Salzgehalt des Sees im Laufe des Jahres um 1–2 ‰ (heute nur noch im südlichen Seebecken).

Die Herkunft des Salzes im Great Salt Lake

Die Frage nach der Herkunft der Salze im Great Salt Lake ist nicht genau geklärt. Zunächst steht fest, daß es sich um ein eingedampftes Konzentrat des Lake Bonneville handelt. Die Frage nach der Herkunft der Salze ist aber damit noch nicht entschieden. Normalerweise liefert die chemische Verwitterung die Hauptmenge aller chemisch gelösten Stoffe im Wasser der Flüsse. Das trifft vor allem auf Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺ und HCO₃⁻ zu. Den größten Anteil unter den Anionen im Wasser des Salzsees stellt jedoch das Chlor. Chlorhaltige Gesteine sind aber sehr selten, und es ist nicht anzunehmen, daß die großen Salz mengen im Wasser des Salzsees aus der Gesteinsverwitterung hervorgegangen sind. Im Bonnevillebecken kommen zudem nur kleine salzhaltige Ablagerungen aus der Jurazeit vor, die ausgelaugt werden konnten. Wenn das heute im Salzsee vorhandene Salz nicht aus Kochsalzlagern innerhalb des Beckens ausgelaugt wurde, kommt nur eine andere Möglichkeit in Frage, auf die EARDLEY (1957) hinweist:

Es ist bekannt, daß die vom Weltmeere kommenden Winde beträchtliche Mengen Salzstaub enthalten. Das Salz wirkt bei der Bildung von Niederschlägen als Kristallisationskeim und wird so mit den Niederschlägen ins Landesinnere verfrachtet. In einem abflußlosen Becken sammelt sich dieses Salz natürlich systematisch an. EARDLEY (1957) hat berechnet, daß

jährlich etwa 400 000 t Salz vom Meere ins Bonnevillebecken befördert werden. Die Flüsse führen dieses Salz dem Salzsee zu. Die Ähnlichkeit von Meeressalz und Salz vom Salzsee untermauert diese Vermutung. Nach HAHN und LANGFORD (1964) werden heute pro Jahr etwa 2 Mill. t Salze verschiedener Art von den Flüssen in den See transportiert.

Die Sedimente des Great Salt Lake

Nach EARDLEY, GVOSDETZKY und MARSELL (1957) finden sich auf dem Boden des Salzsees vier Arten von Sedimenten:

1. Kalkhaltige Tone und Schluffe,
2. Oolitische Kalksande,
3. Biogene Kalkablagerungen,
4. Salzablagerungen.

1. Die Kalkablagerungen herrschen in den tieferen Teilen des Sees vor. Die graue bis dunkle Farbe dieser Sedimente rührt von organischer Substanz her, die 1–2 % betragen kann. Diese Seetone bestehen zu $\frac{1}{3}$ aus Kalk und zu $\frac{2}{3}$ aus silikatischen Bestandteilen. Letztere sind die feinsten Anteile der von Wind und Flüssen in den See geführten Schwebstoffe, die in den tiefsten und ruhigsten Teilen des Sees abgesetzt werden. Der ausfallende Kalk des Seewassers wird mit in die Sedimente eingebaut.

2. Die weißen oolitischen Kalksande finden sich vor allem in der Uferregion des Sees und der Inseln. Dabei werden solche Uferzonen bevorzugt, die dem Winde und dem Wellenschlag ungeschützt ausgesetzt sind. In ruhigen, geschützten Buchten fehlen sie. Die oolitischen Teilchen bestehen aus zwei Komponenten: Dem aus mineralischen Fragmenten oder organischen Stoffen bestehenden Kern und den sich konzentrisch darum lagernden weißen Kalkschalen. Der Durchmesser der Oolite beträgt im Schnitt 0,38 mm.

3. Die riffartigen biogenen Kalkablagerungen kommen wie die oolitischen Sande in der flachen Uferregion vor. Es sind kuppelartige Hügel aus porösem, tuffartigem Kalk von 0,5 bis 1 m Durchmesser und 10 bis 20 cm Höhe.

Die Entstehung dieser Kalktuffe ist an die im See lebenden Algen gebunden. Diese leben in großen Kolonien, die am Seegrund festgewachsen sind. Da die Algen für die Photosynthese Sonnenlicht brauchen, leben sie vorwiegend in flachem Wasser, soweit dieses durch die Brandung nicht zu sehr getrübt wird. Bei der Photosynthese entziehen die Algen dem Wasser CO_2 und lösen damit die Ausfällung von Bikarbonat als Kalk aus.

Da der CO_2 -Entzug sich in unmittelbarer Nähe der Algenkolonien vollzieht, scheidet sich der Kalk auf diesen ab und verkalkt sie so allmählich.

4. Die leicht löslichen Salze des Seewassers werden in Zeiten niedrigen Seespiegels als chemische Sedimente abgesetzt; sie können später wieder gelöst werden. Heute bilden sich diese Sedimente nur noch im abgetrennten nördlichen Seebecken. Am bekanntesten

unter den chemischen Sedimenten ist der Mirabilith ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$). Da er in warmem Wasser stärker löslich ist als in kaltem Wasser, wird er allwintertlich in schönen Kristallen ausgeschieden.

Leben im Great Salt Lake

Obwohl der Große Salzsee das Tote Meer Nordamerikas genannt wird, ist er doch nicht ohne Leben. Trotz des extrem hohen Salzgehaltes des Wassers können mehrere Algenarten im See leben. Man erkennt das sehr leicht daran, daß das normalerweise tiefblau gefärbte Wasser bisweilen durch eine Algenart rostbraun gefärbt wird. (Auch in deutschen Seen, z. B. im Bodensee, tritt gelegentlich diese Färbung des Wassers durch Algen auf. Man bezeichnet sie hier als Seeblüte.) Nach FLOWERS (1934) handelt es sich dabei um die Schwingalge *Aphanothece Packardii*. Die Blaualge *Aphanothece Utahensis* ist wegen ihrer Farbe im tiefblauen Wasser des Sees weniger leicht zu erkennen. Diese beiden Algenarten sind die wichtigsten Pflanzen, die im Salzsee leben.

Von diesen Algen ernähren sich Tiere, wie z. B. die Brine Shrimp (Salzgarnele) *Artemia Salina* und die Salzfliegen *Ephydra Gracilis* und *Ephydra Hians*. Die Salzgarnele ist etwa $\frac{1}{2}$ cm lang und fast farblos; man sieht sie daher selten, obwohl sie in großen Mengen im Wasser des Sees lebt. Sie wird heute gefangen, eingefroren und als Futter für tropische Fische verkauft. Den Naßhornpelikanen, die auf den Inseln im See leben, dient sie als Futter.

Während die erwähnten Algen für die biogene Bildung von Kalktuffen verantwortlich sind, dienen die Kotkügelchen der Brineshrimp als Kerne für die oolitischen Sande. So werden diese Bewohner des Salzsees auch geologisch wirksam. Neben den Algen, Garnelen und Salzfliegen leben noch zahlreiche Bakterienarten im Wasser des Great Salt Lake.

Berühmt sind die Kalifornischen Seemöwen (*Larus Californicus*) und die Naßhornpelikane, die die Ufer und Inseln des Sees bevölkern. Im Frühjahr und Herbst halten sich große Mengen wandernder Wasservögel in den sumpfigen Mündungsgebieten der drei Flüsse auf, die in den See münden.

Die wirtschaftliche Nutzung des Salzsees

Das Wasser des Großen Salzsees ist ein hoch angereichertes Salzwasserkonzentrat von beachtlichem wirtschaftlichem Werte. Schätzungsweise 4 Mrd. t Salz sollen im Wasser des Sees gelöst sein. Bereits die mormonischen Pioniere machten sich unmittelbar nach ihrer Ankunft in Utah diese Salzlagerstätte nutzbar. Primitive Salzgewinnungsanlagen wurden noch vor der Errichtung von Wohnhäusern erbaut, um den Salzbedarf von Mensch und Vieh zu sichern. Ab 1860 stieg der Salzbedarf wegen der steigenden Bevölkerungszahl im Gebiet der Rockies stark an, und die ersten regelrechten Salinen wurden errichtet. Man

brauchte vor allem Kochsalz für die Chlorgewinnung in den Silberminen von Butte, Montana.

Heute gewinnen drei größere Unternehmen jährlich etwa 300 000 t Kochsalz aus dem Wasser des Sees. Die Salinen liegen am Süd- und Westufer des Sees. Die Salzproduktion Utahs, die fast ausschließlich vom Salzsee kommt, macht heute 1 % der US-Produktion aus; sie beträgt 5mal mehr, als der Staat Utah selbst verbraucht.

Obwohl das Seewasser neben Kochsalz noch andere wertvolle Bestandteile enthält (Magnesium, Lithium), wird heute nur das Kochsalz wirtschaftlich verwertet. Augenblicklich (1967) plant eine Gesellschaft mit deutscher Kapitalbeteiligung, Lithium aus dem See zu gewinnen.

Am Südufer des Salzsees westlich von Salt Lake City liegt heute der Badestrand des Sees, der jeden Sommer von zahlreichen nach Salt Lake City kommenden Touristen aufgesucht wird. Das Baden im Salzwasser des Sees ist zwar kein Vergnügen, gehört aber zu den Attraktionen Utahs. Um die Jahrhundertwende gab es mehrere Badestrände am See mit angeschlossenen Vergnügungszentren. Der Seespiegel ist jedoch in den letzten Jahren so stark gefallen, daß die Uferlinie immer weiter zurückwich, und die damals bestehenden Badeeinrichtungen vom Wasser abgeschnitten wurden. Heute sind nur 2 provisorische und nicht besonders einladende Badeplätze am Südufer in Betrieb.

Der Tourismus gehört schon heute zu den wichtigsten Einnahmequellen Utahs und soll in Zukunft noch weiter gefördert werden. Neben den Nationalparks in Süd-Utah und den Wintersportgebieten in der Wasatch Range gehört der Salzsee zu den allbekanntesten Touristenattraktionen und lockt jährlich viele Besucher an. Die Schaffung eines attraktiven Badestrandes mit den dazugehörigen Bauten ist eine Voraussetzung für eine stärkere wirtschaftliche Nutzung des Sees. Augenblicklich (1967) scheint endlich der alte Plan verwirklicht werden zu können, Antelope Island zu einem „National Monument“ zu erklären und entsprechend auszubauen.

Zukünftige Planungen am Great Salt Lake

ROSENVALL (1965) geht in einer Arbeit auf eine Studie der Great Salt Lake Authority ein, deren Verwirklichung das zukünftige Bild des Sees grundlegend verändern würde. Durch eine Reihe von Deichen soll der heutige See in drei Sektoren aufgeteilt werden.

Ein Deich von der Südspitze der Promontory Range zur Carrington Insel und von dort weiter zur Nordspitze der Stansburry Insel soll die gesamte Nordhälfte des Sees abtrennen. Da diese abgetrennte Nordhälfte keinerlei nennenswerte oberflächliche Zuflüsse erhält, würde sie als Folge der Abtrennung trocken fallen. Die Verdunstung von dem verbleibenden See würde wegen der Flächenverkleinerung stark reduziert werden. Ein zweiter Deich soll die gesamte Bear

River Bay sowie das südöstliche Seebecken vom südwestlichen Becken abtrennen. Da in das abgetrennte östliche Seebecken die drei großen Flüsse einmünden, würde hier ein Brackwassersee entstehen, dessen Wasser für bestimmte industrielle Zwecke nutzbar wäre. Die Spiegelhöhe dieses Seebeckens könnte in konstanter Höhe (1280,9 m) gehalten werden. Dadurch würden weite Uferbereiche nicht mehr von den jahreszeitlichen und langfristigen Schwankungen der Uferlinie betroffen. Es würde eine festliegende Uferlinie geschaffen (Abb. 1).

Das nicht von der Verdunstung im südöstlichen Seebecken aufgezehrte Wasser soll in das südwestliche Seebecken ablaufen, dessen Spiegel konstant in 1280 m Meereshöhe gehalten werden soll. Das südwestliche Seebecken, das den eigentlichen Salzsee ausmachen würde, hat einen Überlauf zum nördlichen Seebecken. Durch diese Maßnahmen würde die Verdunstung des gesamten Salzsees um etwa $\frac{1}{3}$ herabgesetzt. Die Verminderung der Verdunstung würde ausreichen, um den auf das südwestliche Seebecken begrenzten eigentlichen Salzsee ganzjährig mit Wasser zu versorgen. Das zu bestimmten Jahreszeiten anfallende Überschußwasser soll in das nördliche, meist trocken liegende Seebecken, ablaufen. Durch diese Maßnahme würde auch im südwestlichen Seebecken endlich eine konstante Uferlinie geschaffen.

Ob diese Maßnahmen jedoch durchgeführt werden, läßt sich heute noch nicht sagen.

Literatur

- ANTEVES, E.: Rainfall and Treegrowth in the Great Basin Washington 1938.
- : Cenozoic Climates of the Great Basin. Geol. Rdsch. Bd. 40, Heft 1, 1952.
- BRIGHT, R. C.: Pleistocene Lakes Thatcher and Bonneville, Southwestern Idaho. University of Minnesota. Ph. D. Thesis, 1963.
- CHAPMANN, V. J.: Salt Deserts and Salt Marshes of the World. New York, 1960.
- DICKSON, R., und MCCULLUM, C.: Evaporation from the Great Salt Lake as computed from Eddy Flux Techniques, in: Evaporation Studies Great Salt Lake, Part II. Utah Geol. a. Min. S. Water Res. Bull. 6, 1965.
- EARDLEY, A. J., GVOSDEZKY, V., MARSELL, R. E.: Hydrology of Lake Bonneville and Sediments and Soils of its Basin. Geol. Soc. Am. Bull. V 68, 1957.
- EARDLEY, A. J.: Sediments of Great Salt Lake, Utah. Am. Assoc. Petr. Geologists Bul. V 22, 1938.
- FLOWERS, S.: The Vegetation of the Great Salt Lake Region. Bot. Gaz. 1934.
- GVOSDEZKY, V., und HAWKES, B.: Reappraisal of the History of Lake Bonneville. Bull. of the University of Utah. Vil. 43 No. 5, 1953.
- HAHL, D. C., LANGFORD, R. H.: Dissolved Mineral Inflow to Great Salt Lake and Chemical Characteristics of the Salt Lake Brine. Utah Geol. a. Min. S. Water Res. Bull. 3, 1964.
- GILBERT, K. G.: Lake Bonneville. US Geol. S. Monograph 1, 1890.

- MORRISON, R. B.: Correlation of Deposits of Lake Lahontan and Bonneville and the Glacial Sequences of the Sierra Nevada and Wasatch Mts. US Geol. S. Prof. Paper 424-D, 1961.
- : Quarternary of the Great Basin. The Quarternary of the United States, 1965.
- MORRISON, R. B., FRYE, J. C.: Correlation of the Middle and Late Quarternary Successions of the Lake Lahontan, Lake Bonneville, Rocky Mountain (Wasatch Range), Southern Great Plains, and Eastern Midwest Areas. Mackay School of Mines. Reno 1965.
- MEYERS, J., NORDENSON, T. J.: Evaporation from the 17 Western States. US Geol. S. Prof. Paper 272-D, 1962.
- MCDONALD, D. B.: The Effects of Pollution on the Great Salt Lake. Univ. of Utah 1956.
- LANGBEIN, W. B.: Salinity and Hydrology of Closed Lakes. US Geol. S. Prof. Paper 412, 1961.
- NELSON, E.: Utahs Changing Economic Patterns. Salt Lake City, 1964.
- PACK, F. J.: Lake Bonneville. Salt Lake City, 1939.
- PECK, L.: Hydrometeorological Studies of the Great Salt Lake. Univ. of Utah, 1954.
- PITTELKOW, J.: Die eiszeitliche Trockengrenze Nordamerikas. Geogr. Z. 42, 1936.
- ROSENVALL, L. A.: A Geographical Study of the Great Salt Lake. Univ. of Utah. 1964.
- US GEOL. S.: Water Supply Paper No. 1314. Compilation of Records of Surface Waters of the United States through Sept. 1950. Part 10, The Great Basin. 1960.
- : Water Supply Paper No. 1734. Compilation of Records of Surface Waters of the United States October 1950 to Sept. 1960. Part 10. The Great Basin. 1963.
- : Surface Water Records for Utah, 1960-1965.
- US Weather Bureau: Climatological Data, Utah.
- Utah Economic and Business Review: Water Resources of the Bonneville Basin. Part 1, Salt Lake City 1953.
- Utah Geol. a. Min. S.: Geology of Salt Lake County. Salt Lake City, 1964.
- : Mineral and Water Resources of Utah. Salt Lake City, 1964.
- : Karte des Great Salt Lake. 1961.

VEGETATION UND LANDSCHAFT IN BAYERN

Erläuterungen zur Übersichtskarte der natürlichen Vegetationsgebiete von Bayern

Mit 2 Abbildungen und 1 Karte (Beilage VII)

PAUL SEIBERT

Summary: Vegetation and landscape in Bavaria

The 'Map of natural vegetation areas in Bavaria 1 : 500 000' presents the potential natural vegetation of the *Land*. Because of the scale, only societal complexes, based on dynamic-genetic, topographic and synsystematic criteria and called 'vegetation areas' could be presented.

The vegetation map is a deductive or construed map. Soil, geologic, topographic and climatic maps were all used in the delimitation of vegetation units. In addition, a number of excursions were undertaken, in order to test in the field the coincidence between the vegetation areas and the location factors shown on the other maps, and to clear up outstanding questions.

The plant-sociologic-systematic division of OBERDORFER (1967) was used as the basis of the division and naming of the vegetation areas. The physiognomically, but also often sociologically-systematically related plant communities or vegetation areas have been aggregated into formation groups in the map key.

An ordering of the vegetation geography can be induced from the vegetation map and is presented in Fig. 2: The vegetation regions of Bavaria. Seven vegetation districts are presented in this map, whose differences are determined by the major altitudinal divisions and the broad canvas of climate and can be seen in their varying formation character. The vegetation districts can be further sub-divided into a series of 'growth-type districts' (*Wuchsdistrikten*). These are conditioned edaphically or through subtler altitudinal differences and are differentiated more in terms of floristic variations within characteristic communities.

The individual 'growth-type districts' are briefly described in the section 'The vegetation regions and their plant cover'. The dominant plant communities, giving their name to the whole, and important accompanying communities of the potential natural vegetation are described in structural terms, especially tree type. The recognition of locational individualities, such as soils, bedrock, orography and climatic peculiarities brings vegetation into a relationship with the landscape of each particular growth-type district. These locational individualities, represented through vegetation, form the basis for the varying forestry and agricultural use forms dominant in the growth-type districts, and whose main traits are discussed.

'Vegetation districts' and 'Growth-type districts' as units of vegetation geography define in large measure the total milieu operating on vegetation. They are thus comparable with the 'natural environment units' of the geographer, with which they show some overall agreement.

Die erste und bisher auch die einzige Vegetationskarte, die einen Überblick über ganz Bayern bietet, ist die von K. RUBNER unter Mitarbeit von J. LUTZ und H. ZEIDLER zusammengestellte Karte „Natürliche Waldgesellschaften Bayerns“ im Maßstab 1 : 2 700 000 (RUBNER und REINHOLD 1953, RUBNER 1955). Seit dem Erscheinen dieser Karte hat einerseits OBERDORFER im Jahre 1957 die erste pflanzensoziologisch-systematische Übersicht über die süddeutschen Pflanzengesellschaften veröffentlicht und sie in weiteren Arbei-