



**DIE SALARE  
IM  
ALTIPLANO -  
EIN PLAYA-  
MODELL**



**OBERSEMINARVORTRAG      BERIT LEGLER  
BETREUER: PROF. SCHNEIDER**

## Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung
2. Einführung
  - 2.1 Begriffe Playa, Salar (Definition und Synonyme)
  - 2.2 Geographische Lage des Altiplano
3. Geologisch – klimatisches Umfeld
  - 3.1 Geologie, Morphologie
  - 3.2 Klima
4. Sedimentation in den Salaren, Salartypen
  - 4.1 Allgemeine Sedimentationsfaktoren
  - 4.2 Salartypen nach RISACHER & FRITZ (1991)
    - 4.2.1 Salzseen – Morphologie, Sedimenttypen, Sedimentstrukturen
    - 4.2.2 Salzkrusten – Morphologie, Sedimenttypen, Sedimentstrukturen
    - 4.2.3 Playas – Morphologie, Sedimenttypen, Sedimentstrukturen
    - 4.2.4 Exponierte ungespannte Grundwasserleiter – Morphologie, Sedimenttypen, Sedimentstrukturen
5. Biota
6. Literatur

## **1. Zusammenfassung**

Playas, in Südamerika auch Salare genannt, sind topographische Senken im ariden und semiariden Klima. Im peruanisch-bolivianischen Altiplano, einer abflusslosen Hochebene in den Anden, gibt es eine Vielzahl von Salaren, die Reste pleistozäner Seen darstellen. Unter hyperariden Klimabedingungen wird feinkörnig klastisches und nichtklastisches Material (Salze) abgelagert. Eine große Rolle bei der Sedimentation spielen Wasserangebot, Windaktivität, Sedimentarten, Salze und Klimaschwankungen. Man findet verschiedene Salartypen:

- mehrere Meter tiefe Salzseen, die auf wenig permeablem Substrat entstehen
- Salzkrusten der Beckenzentren, die hoch porös sind und weite Flächen einnehmen können
- flache Playas in den Zentralsenken der Becken, die zum Teil durch Quellen gespeist werden
- exponierte ungespannte Grundwasserleiter, die seichte Seen bilden

Die Zahl der hier lebenden Organismenarten ist auf Grund der lebensfeindlichen Umgebung relativ begrenzt.

## **2. Einführung**

### **2.1 Begriffe Playa, Salar (Definition und Synonyme)**

Die Definition des Begriffs Playa ist schwierig, da er in der Literatur unterschiedlich verwendet wird. Nach JOHNSON & OLIVER (1997) versteht man unter Playas abflusslose Becken innerhalb von Wüsten. Werden sie durch periodische Regengüsse überflutet, entstehen Seen. Sie können bis etwa 9000 km<sup>2</sup> groß werden, wie zum Beispiel der Lake Eyre in Australien, die meisten von ihnen sind jedoch viel kleiner. Das Wasser versickert und verdunstet, ein trockenes Becken bleibt zurück. Man findet jedoch auch dauerhafte Seen, beispielsweise den Great Salt Lake in Utah/USA. Dieser führt Salzwasser, es gibt aber auch Süßwasserseen. Allein diese kurze Gegenüberstellung zeigt, dass man den Begriff Playa allgemein fassen muss.

Dazu kommt noch, dass in verschiedenen Regionen der Erde verschiedene Synonyme gebraucht werden. So kennt man nach JOHNSON & OLIVER (1997) in Afrika den Begriff Chotts, in Australien Pan und Salt Pan, aus Asien und dem Mittleren Osten Sabkha oder Qa und schließlich aus Südamerika Salar. Das Problem der Synonyme ist die zum Teil inhaltlich unterschiedliche Bedeutung. So besteht bei Sabkhas eine direkte oder indirekte Verbindung des Grundwassers mit dem Meer, bei Playas gibt es diese Verbindung nicht.

Nach JOHNSON & OLIVER (1997) ist es wohl beste, Playa nach NEAL (1975) „als allgemeinen Begriff für eine Vielzahl topographischer Senken, die im ariden und semiariden Klima vorkommen“ (JOHNSON & OLIVER, 1997), zu definieren.

## 2.2 Geographische Lage des Altiplano

Der Altiplano ist ein weites Hochplateau im Süden Perus und Südwesten Boliviens (Abb. 1).



**Abb. 1:** Geographische Lage des Altiplano (Kreis);  
Karten aus Microsoft Encarta  
Weltatlas - Version 99



Die Hochfläche erstreckt sich zwischen  $66^{\circ}$  und  $71^{\circ}$  westlicher Länge sowie  $15^{\circ}$  und  $22^{\circ}$  südlicher Breite. Gegliedert in mehrere Hochbecken, wird der etwa 3000 m über NN liegende Altiplano von der West- und der Ostkordillere der Anden begrenzt (Microsoft Encarta Enzyklopädie Plus, 1999), was in Abb. 2 deutlich wird. Hier enden Flüsse, die von den schnee- und eisbedeckten Bergen herabströmen (GEO Spezial, 1997). In dem abflusslosen Becken bilden sich Salare, die Thema des Vortrages sind.

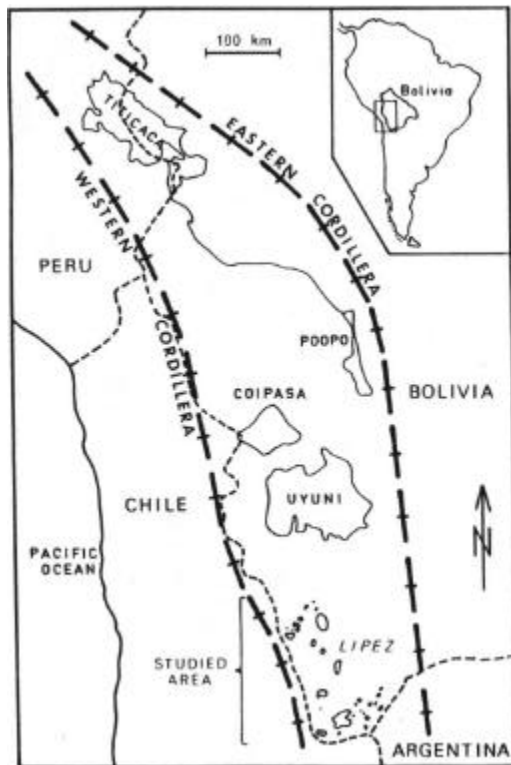


Abb. 2: Überblick über Altiplano; aus RISACHER & FRITZ (1991)

### 3. Geologisch – klimatisches Umfeld

#### 3.1 Geologie, Morphologie

Das weite, abgeschlossene Becken des Altiplano erstreckt sich auf etwa 200000 km<sup>2</sup> Fläche (RISACHER & FRITZ, 1991).

Die Geologie verdeutlicht ein Schnitt durch die zentralen Anden (Abb. 3).

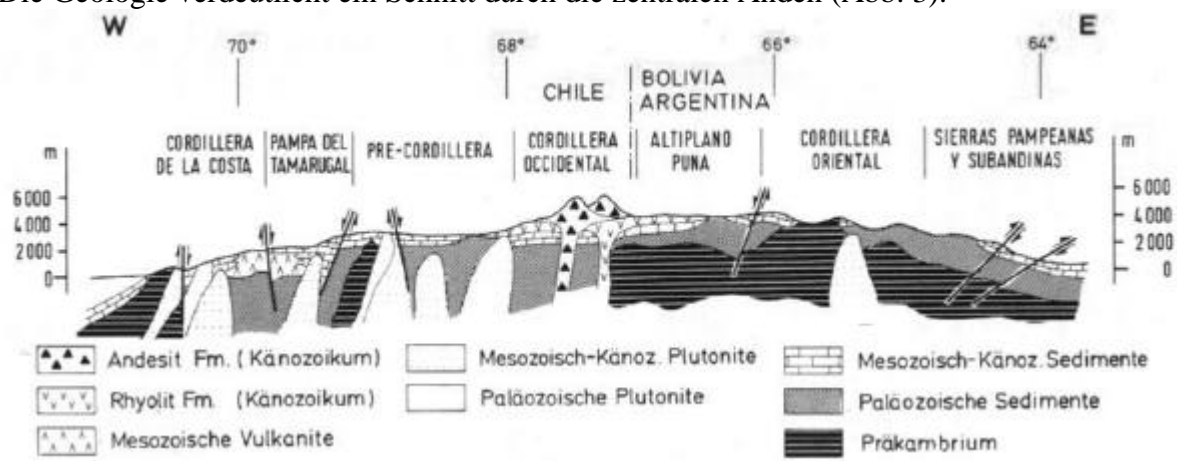


Abb. 3: Geologischer Schnitt durch die Anden; aus ZEIL (1986)

Nach ZEIL (1986) senkte sich am Beginn des Känozoikums das Gebiet stark gegenüber der Ost- und Westkordillere ab (siehe Abb.4). Daraus resultieren bis 14000 m mächtige kontinentale Sedimente der Oberkreide (kontinentale Rotsedimente) und des Tertiärs (intramontane Molasse). Die Sedimentation erfolgte, nachdem das Mesozoikum im wesentlichen eine Zeit der Abtragung war.

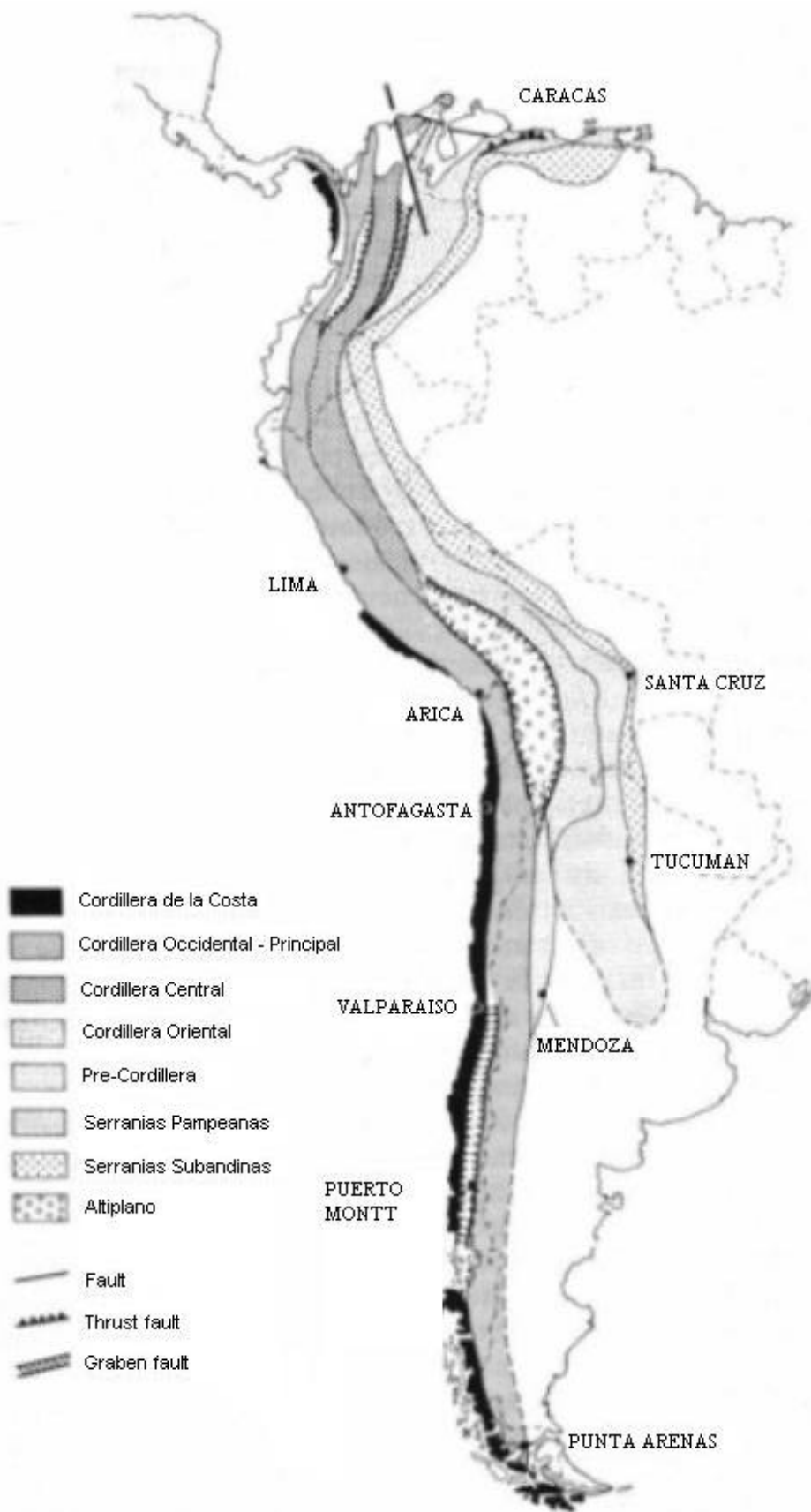
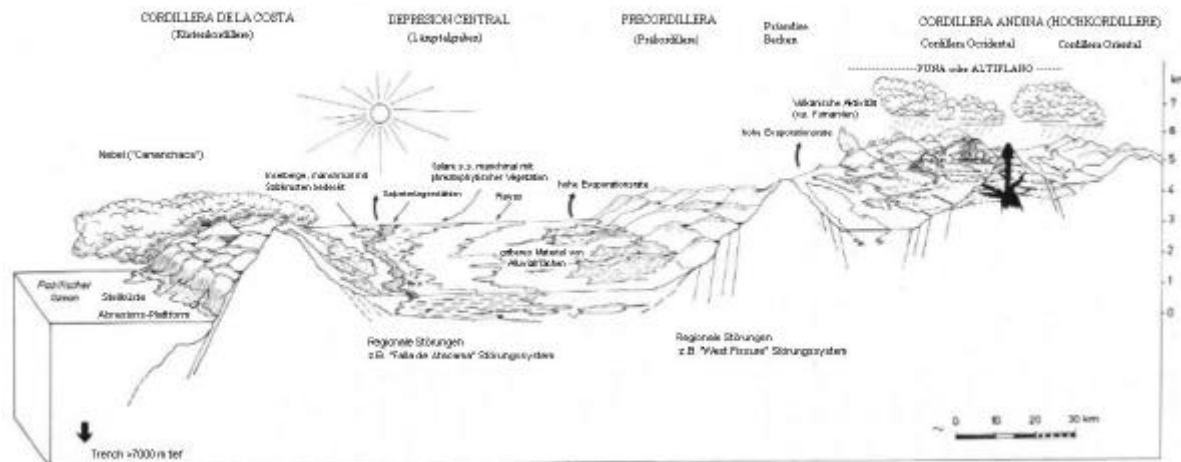


Abb. 4: Geologie der Anden; aus ZEIL (1986)

Heute befindet sich „der quasikratonische Block“ (ZEIL, 1986) auf 3500 bis 4000 m Höhe. Mit dem Pleistozän setzte eine Hebung ein.

Nach ZEIL (1986) kam es seit dem Miozän zu intensiver vulkanischer Aktivität. Stratovulkane entstanden, die heute Höhen von über 6000 m über NN aufweisen. Nach RISACHER & FRITZ (1991) ist der Vulkanismus von andesitischer bis rhyolithischer Natur. Lavaströme und Ignimbrite ließen auf 4100 bis 4600 m über NN einzelne Teilbecken entstehen. Zum Teil findet man auch Ablagerungen gediegenen Schwefels. Noch heute sind mit Fumarolen und heißen Quellen Zeichen des Vulkanismus nicht zu übersehen.

Eine gute Verdeutlichung der morphologischen Situation gibt Abb. 5.



**Abb. 5:** Morphologische Skizze der Anden; aus ZEIL (1986)

### 3.2 Klima

Im Pleistozän wurden das Zentrum des Altiplanos und kleinere intravulkanische Becken im Süden von großen Seen beherrscht (RISACHER & FRITZ, 1991). Man kennt nach RISACHER & FRITZ (1991) und GEYH et al. zwei Hauptseenphasen: Minchin (30000 – 25000 Jahre vor heute) und Tauca (16000 – 8000 Jahre vor heute). Diese riesige Seenlandschaft mit Süßwasserseen, die 20 bis 70 m tief waren, war nur durch wesentlich höhere Niederschlagsmengen im Vergleich zu heute möglich (GEYH et al.)

Vor 10000 Jahren, das heißt mit Beginn des Holozäns, kam es zu einem starken Klimaumschwung, dessen Folge auch eine Änderung der Niederschlagssituation war.

Reste ehemaliger Eisbedeckungen in einzelnen Salzseen bezeugen, dass vor einigen Jahrhunderten das Klima kälter war als heute (RISACHER & FRITZ 1991).

Nach RISACHER & FRITZ (1991) betragen die Jahresdurchschnittstemperaturen 5 bis 10 °C, wobei die Temperatur nach Süden und mit steigender Höhe abnimmt. Die Wintertemperaturen (im Juni und Juli) liegen bei etwa –30 °C, die Sommertemperaturen (Dezember bis Februar) 20 bis 25 °C. Dabei treten Differenzen zwischen Tages- und Nachttemperatur von etwa 40 K auf. 50 bis 150 mm Niederschlag fallen jährlich, wobei sich der Regen auf die Sommermonate begrenzt. Die Niederschlagsmengen nehmen wie die Temperatur nach Süden hin ab. Die potentielle Verdunstung beläuft sich im Gebiet des Altiplano auf 1000 bis 1500 mm pro Jahr. Da die Seen jedoch lange Zeit gefroren sind, liegt die reale Verdunstung stark unter diesen Werten.

Eine wichtige Rolle in Sedimentationsprozessen spielen die Staubstürme, die durch kalte Windsysteme am Nachmittag aufgewirbelt werden (Microsoft Encarta Weltatlas, 1999).

Zusammenfassend lässt sich der Altiplano als eine „hyper-aride Hochgebirgsregion“ (GEYH et al.) charakterisieren. Auf Grund der Aridität und der niedrigen Temperaturen sind Pflanzenbedeckung und Bodenbildung nur spärlich ausgebildet beziehungsweise fehlen völlig (RISACHER & FRITZ, 1991).

## **4. Sedimentation in den Salaren, Salartypen**

### **4.1 Allgemeine Sedimentationsfaktoren**

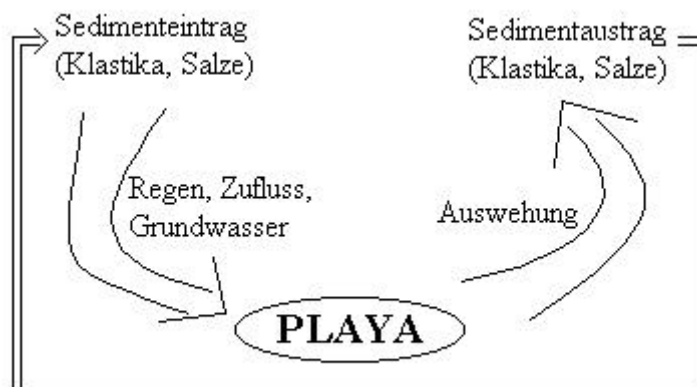
Faktoren, die die Sedimentation in Playas beeinflussen, sind der Grundwasserspiegel, abfließendes Wasser, Oberflächenwasser, Porenwasser, vorkommende Sedimente, Salze, äolische Prozesse sowie chemische und biologische Reaktionen (COOKE et al., 1993).

Nach COOKE et al. (1993) wird in Playas feinkörnig klastisches und nicht klastisches Material sedimentiert. Ton, Schluff und körnige Partikel werden durch Wasserzufluss und äolische Prozesse eingetragen. Sie gelangen dadurch direkt auf die Sedimentoberfläche oder werden in stehendem Wasser abgelagert. Unter nicht klastischem Material sind Salze zu verstehen, die aus dem Grundwasser (durch Kapillaraufstieg, angeschnittenen Grundwasserspiegel) stammen oder teilweise durch Oberflächenzufuhr (Niederschlag, Auslaugung vulkanischen Gesteins) eingetragen werden. Vorkommende Salze sind nach JAEGER (1939) zum Beispiel Halit, Borax, Gips, Na- und K-Karbonate, Natriumjodat und Natriumsulfat. Die Verschiedenartigkeit der Salze beruht auf der Tatsache, dass unterschiedliche Vulkanite ausgelaugt werden.

Zu den Sedimenten gesellen sich nach HARDIE et al. (1978) noch grobe Schuttmassen, die als Schwemmfächer von den umrandenden Gebirgszügen in Beckenrandbereiche schütten.

In Gebieten mit geringen Niederschlägen ist die Wirkung von fluviatilen Prozessen besonders im Beckenzentrum gering. Hier spielt die Windaktivität eine große Rolle. Bei der Winderosion sind nach COOKE et al. (1993) folgende Erscheinungen zu beachten:

- (1) Mit der Feuchtigkeit des Sediments schwankt dessen Anfälligkeit für die Erosion. Dabei bildet der Wasserspiegel die untere Grenze.
- (2) Winderosion ist nicht gleichbedeutend mit einem völligen Sedimentaustrag aus dem Becken. Häufig kommt es zu Umlagerungen, wie in Abb. 6 zu erkennen ist.



**Abb. 6:** Sedimentkreislauf im Becken

- (3) In einigen Playas kennt man das Phänomen von Schleifspuren auf dem Sediment. Sie sind etwa 3 cm tief, mehrere cm breit und maximal 270 m lang. Am Ende der Spuren liegt ein Stein oder ein anderer Gegenstand, der bis 200 kg schwer sein kann. Die wohl wahrscheinlichste Erklärung gab STANLEY (1955) in COOKE et al. (1993). Demnach sollen windgetriebene Eiskörner die Steine über eine nasse Playaoberfläche schleppen.

Am Rande der Salzseen des Altiplano findet man nach LAUGÉNIE & PERSON (1992) häufig Dünenfelder.

Eine wichtige Frage für das Verständnis von Ablagerungsprozessen ist die nach Klimazyklen im Sediment.

Man kennt nach COOKE et al. (1993) kurzzeitige Wechsel, jahreszeitliche und jährliche Schwankungen des verfügbaren Oberflächenwassers und oberflächennahen Wassers. Folgen sind unterschiedliche Salzgehalte, Sedimentationsschwankungen, Auftreten von Vegetation, Salzkrusten, unterschiedliche Windwirkung sowie Strömungsphänomene.

Bei häufigem Wechsel kann es zu ungleicher Verteilung von salz- und nichtsalzhaltigen Regionen sowie dem Auftreten von Salzphänomenen (Tipistrukturen, Trockenrisse und andere) kommen. Möglich ist bei einer Flutung von Playas der Wechsel zwischen einer weichen, mürben, trockenen Oberfläche und einer harten, trockenen Kruste durch Salzlösung. Dieser Wechsel dauert im Durchschnitt vier Jahre (COOKE et al., 1993).

Zu Oberflächenveränderungen kommt es nach COOKE et al. (1993) auch, wenn in Playas mit wasserlöslichen Evaporiten im Untergrund der Grundwasserspiegel sinkt. Das nach unten strömende Wasser führt gelöstes Salz fort. Es kommt zu Bodenabsenkungen und Dolinenbildungen, riesige Polygone und Streifen bilden sich, die weiche Oberfläche verwandelt sich in eine harte Kruste.

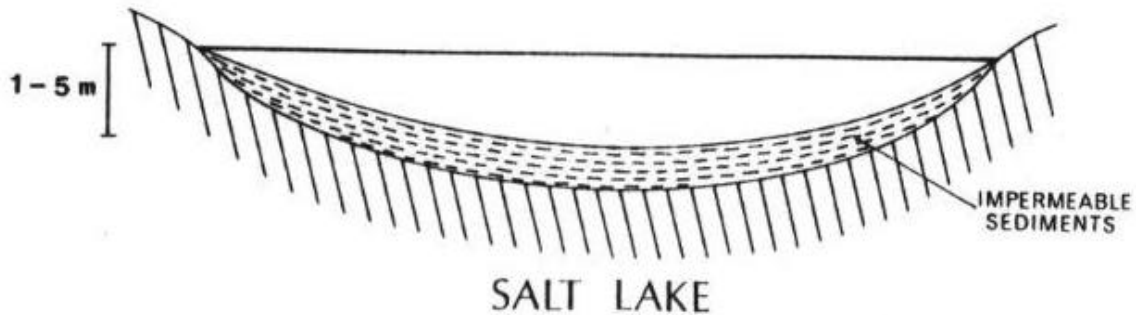
In feuchten Perioden kommt es zur Sedimentansammlung, trockene Perioden sind von gesteigerter Erosion (besonders Deflation) gekennzeichnet. Häufig ist ein gleichmäßiger Wechsel zwischen Erosions- und Sedimentationszeiten zu beobachten (COOKE et al., 1993).

Anzeichen für langzeitige Wechsel (länger als Holozän) sind nach COOK et al. (1993) Strandlinien, Abrasionsterrassen, Deltas, Landzungen, Sandbänke, Kliffs, Überflutungskanäle und Kalktuffe. Sie repräsentieren ehemalige Seen.

## **4.2 Salartypen nach RISACHER & FRITZ (1991)**

### **4.2.1 Salzseen – Morphologie, Sedimenttypen, Sedimentstrukturen**

Nach RISACHER & FRITZ (1991) sind Salzseen mehrere Meter tief. Der Salzwasserkörper liegt über einem wenig permeablen Substrat, wie in Abb. 7 zu erkennen ist. Die Seen trocknen nur gelegentlich aus. Im Winter werden Salzkristalle ausgefroren, die sich am Boden ablagern. Die häufigsten Salze sind „Natron ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ), Mirabilit ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ) und seltener Hydrohalit ( $\text{NaCl} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ )“ (RISACHER & FRITZ, 1991).

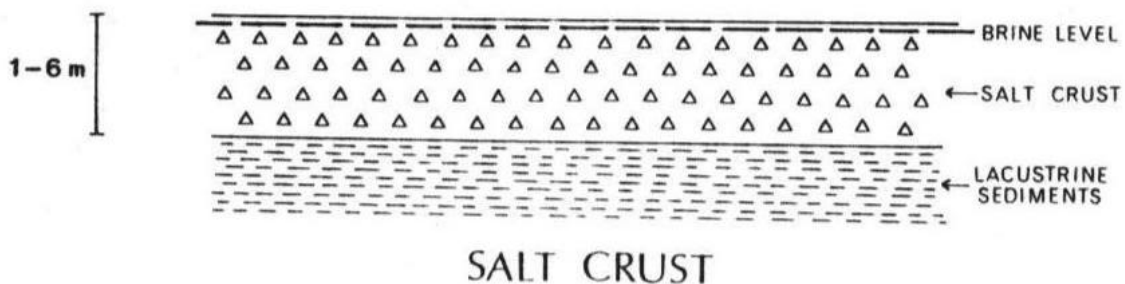


**Abb. 7:** Schnitt durch einen Salzsee; aus RISACHER & FRITZ (1991)

Es sind mehr oder weniger dauerhafte Seen, in die nach HARDIE et al. (1978) Klastika und gelöste Salze durch Flüsse eingetragen werden. Bei höherer Verdunstung ist eine Ausfällung der Salze auch durch starke Konzentration der Oberflächenlösung in den Sommermonaten möglich. Als Sedimente bilden sich Wechsellagerungen von Salzmineralschichten und dünnen klastischen Lagen. Der Klastit-Eintrag (meist Schluff) erfolgt während Sturmregenereignissen, zum Teil auch als gradierte Schichtfluten. An flachen Stellen der Seen können sich nach HARDIE et al. (1978) auch Wellenrippel bilden.

#### **4.2.2 Salzkrusten – Morphologie, Sedimenttypen, Sedimentstrukturen**

Salzkrusten findet man nach RISACHER & FRITZ (1991) in Beckenzentren. Sie sind das Ergebnis des Austrocknens früherer Salzseen. Sie sind hoch porös, die Poren sind zumindest teilweise mit Salzwasser gefüllt, siehe Abb. 8. Dominierende Salze sind Gips und Halit. Ein Beispiel für diesen Typ ist der Salar de Uyuni, die mit 10000 km<sup>2</sup> wohl größte Salzkruste der Welt.

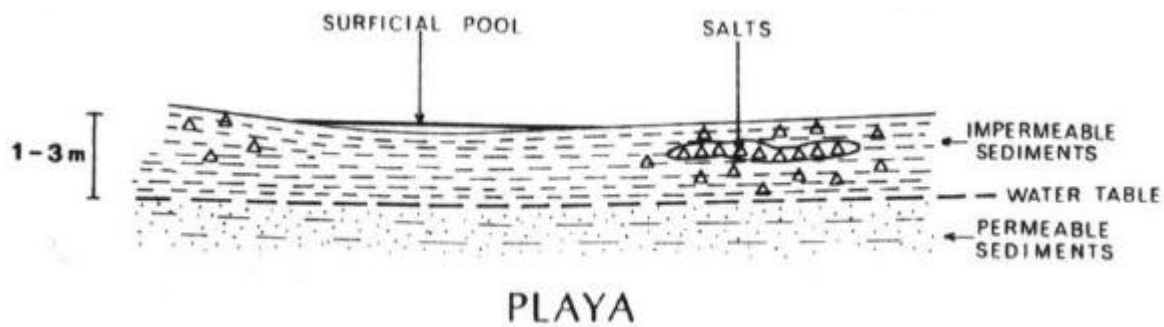


**Abb. 8:** Schnitt durch eine Salzkruste; aus RISACHER & FRITZ (1991)

Nach COOKE et al. (1993) kann es durch den Kristallisationsdruck der Salze zu Zerreißen an der Oberfläche der Krusten kommen. So entstehen Salzrücken, Krustenpolygone und eine stark unregelmäßige Mikrotopographie.

#### **4.2.3 Playas – Morphologie, Sedimenttypen, Sedimentstrukturen**

Nach RISACHER & FRITZ (1991) findet man Playas in den Zentralsenken der Becken. Abb. 9 verdeutlicht diesen Salartyp. Die Tiefe beträgt einige Dezimeter bis Meter. Der Untergrund besteht aus lakustrinen Sedimenten. Salzwasser, meist stark reduzierend, durchtränkt und sättigt den gespannten Grundwasserleiter.



**Abb. 9:** Schnitt durch eine Playa; aus RISACHER & FRITZ (1991)

Der See wird häufig von Uferquellen gespeist. Das Quellwasser ist oft stark verdünnt, so dass es als Schicht über der unterlagernden konzentrierten Salzlösung Teile der Playaoberfläche einnimmt (RISACHER & FRITZ, 1991). Um die Quellen herum können sich nach HARDIE et al. (1978) Travertin und Kalktuff in Form von Hügeln, Ooiden, Schichten, Porenzement und säulenähnlichen Erscheinungen bilden. Zerbrechen einzelne Gebilde, so wird Karbonatschlamm sedimentiert.

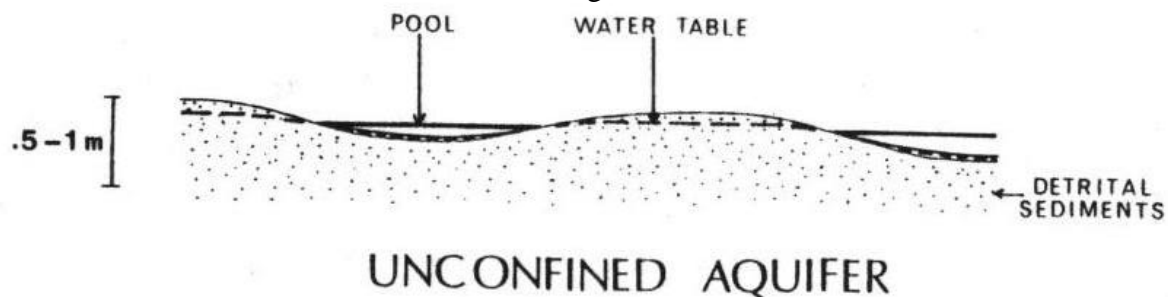
Salze werden nach RISACHER & FRITZ (1991) meist zwischen den Sedimentschichten ausgefällt, wobei die Lösung durch Kapillarkräfte bewegt wird. Die intergranulare Salzlösung unterliegt oberhalb des Grundwasserspiegels der Verdunstung und der Oxidation. Salzabscheidungen findet man in unregelmäßigen Linsen. Auffällig werden vor allem Mirabilit, Gips und Ulexit ( $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$ ).

Generell tritt keine vertikale Zonalität der Salze, bedingt durch unterschiedliche Löslichkeit, auf. Auf Grund der geringen Wassertiefe müssten Wellenrippel entstehen.

Trocknen die Playaseen aus, so bildet sich nach HARDIE et al. (1978) eine Salzschiicht, die bei anschließender Flutung von einer dünnen, bis 10 mm mächtigen Schluffschicht abgedeckt wird. Auch die Bildung von Cyanobakterienmatten ist möglich (HARDIE et al., 1978).

#### **4.2.4 Exponierte ungespannte Grundwasserleiter – Morphologie, Sedimenttypen, Sedimentstrukturen**

Ist der Untergrund des Beckens mit grobkörnigem Sediment (Kies, Sand) gefüllt und der Grundwasserspiegel liegt auf Oberflächenniveau oder etwas darüber, dann bilden sich nach RISACHER & FRITZ (1991) sehr seichte Seen mit unregelmäßigen Begrenzungen, siehe Abb. 10. Die lakustrinen Sedimente reichen nicht aus, um das Beckenzentrum zu füllen. Salze frieren aus und fallen durch Verdunstung des Wassers aus.



**Abb. 10:** Schnitt durch exponierten ungespannten Grundwasserleiter; aus RISACHER & FRITZ (1991)

Nach COOKE et al. (1993) bilden sich dünne Salzkrusten von Gips und Halit aber auch dickere Salzpflaster heraus. Die Oberfläche, soweit nicht von Wasser bedeckt, ist nass, weich, klebrig und zum Teil schlammig. Möglich sind hier Lösungserscheinungen im Salz in Form kleiner Gruben und Dolinen.

Es gibt außer den genannten vier Endgliedtypen eine Vielzahl von Kombinationen. Sie treten insbesondere in großen Salaren auf. Zu dem kommen noch jahreszeitliche Schwankungen, die durch die unterschiedliche Verteilung der Niederschläge zustande kommen. Des weiteren findet man auch Frischwasserseen, die die erste chemische Entwicklungsstufe der heutigen Salzseen darstellen.

## **5. Biota**

In den Seen kann man mattenbildende Cyanobakterien finden (HARDIE et al. 1978). Nach JAEGER (1939) und LAUGÉNIE & PERSON (1992) leben in Thermalquellen Krustazeen, die die Nahrungsgrundlage der hier brütenden Flamingos (GEO Spezial, 1997) bilden. Außerdem gibt es mehrere Kolibriarten (LAUGÉNIE & PERSON, 1992).

Im Altiplano beheimatete Pflanzen sind Zwerg- und Polstersträucher, Kakteen und zum Beispiel das Tussockgras (LAUGÉNIE & PERSON, 1992) sowie Tamarugalobäume innerhalb von Lehmpfannen (JAEGER, 1939).

## **6. Literatur**

- Autorenkollektiv (1997): Anden und die Welt der Inka, GEO Spezial 5, 114 – 115, Gruner & Jahr Hamburg.
- COOKE R. & WARREN A. & GOUDIE A. (1993): Desert Geomorphology, UCL Press London.
- GEYH M. A. & GROSJEAN M. & SCHOTTERER U. (?): Zeitlich unterschiedliche Temperatur- und Niederschlagsentwicklung im globalen Wüstengürtel: ein Ergebnis chronologischer Forschung, Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben Hannover.
- HARDIE L. A. & SMOOT J. P. & EUGSTER H. P. (1978): Saline lakes and their deposits: a sedimentological approach in MATTER A. & TUCKER M. E. (1978): Modern and Ancient Lake Sediments, Spec. Publs int. Ass. Sediment. 2, 7 – 41, Oxford.
- JAEGER F. (1939): Die Trockenseen der Erde in CREUTZBURG N. (1939): Petermanns Geographische Mitteilungen, Ergänzungsband L II 236, Perthes Gotha.
- LAUGÉNIE C. & PERSON A. (1992) : Die tropischen Anden in GÖBEL P. (1992): Zauber und Schönheit unserer Erde, 272 – 279, Das Beste Stuttgart.
- RISACHER F. & FRITZ B. (1991): Geochemistry of Bolivian salars, Lipez, southern Altiplano: Origin of solutes and brine evolution, Geochimica et Cosmochimica Acta 55, 3, 687 – 705.
- ZEIL W. (1986): Südamerika, Enke Stuttgart.
  
- **Sonstige Medien:**
- JOHNSON B. & OLIVER M. (1997): Digital Resources for Managing Wetlands: The Case of Playa Lake Research: A Preliminary Report, <http://www.library.ucsb.edu/istl/97-summer/article3.html>
- Microsoft Encarta Enzyklopädie – Version 99
- Microsoft Encarta Weltatlas – Version 99