

## Abstract

Paleoclimate archives are commonly used to understand Earth surface processes related to climate variability of the past. In the Atacama Desert, the most limiting factor for Earth surface processes is the availability of water. Sedimentary records often display valuable paleoclimate archives and can help to reconstruct the precipitation history and its respective driving forces. Such climate archives documenting continuous precipitation signals are very rare in the hyperarid core of the Atacama Desert and mostly record distal runoff signals from the Precordillera rather than local precipitation from the desert itself. The main goal of this thesis is to reconstruct the local precipitation history and its spatial heterogeneity in the hyperarid core of the Atacama Desert using sediment records of selected clay pans, spanning a north-south transect in the Coastal Cordillera. As part of this purpose, geophysical investigations of the sediment infill, as well as sedimentological, geochemical, mineralogical and biological investigations on the recovered sediment cores have been performed.

The Huara sediment record (4.1 m) was recovered from the northernmost clay pan of the transect and covers precipitation variations over the past 68 kyrs according to a multi-disciplinary dating approach. Seismic data imply a sediment thickness of 10 m for sediments similar like the Huara sequence, which result in an interpolated age of 166 ka for the onset of sedimentation. Sedimentological, geochemical, and mineralogical analyses indicate three distinct depositional processes that reflect different levels in humidity. On orbital timescales, interpreted wet and dry episodes show a similar pattern to wet and dry phases reconstructed from records of the Altiplano.

In the course of the PAG pilot study on a clay pan in the central part of the hyperarid core of the Atacama Desert, seismic data indicate sediments of up to 64 m thickness in the deepest part of this basin. A recovered short core sequence (6.2 m) covers the last 215 kyrs based on OSL and paleomagnetic dating. During Marine Isotope Stages (MIS) 7 and 5, sedimentological, and geochemical data, as well as diatom assemblages imply wetter episodes with higher fluvial sediment input, whereas sediment deposition is reduced in most of MIS 6 and 4. These wet periods are synchronous with enhanced East Pacific sea surface temperatures (conditions similar to modern 'El Niño'), but are

anti-correlated to records from the Altiplano and Precordillera, indicating a western moisture source.

A 52-m long drill core recovered from the center of the PAG clay pan shows strong lithological changes with high-amplitude variations similar to those in the short core. These lithological changes are indicative for alternating pluvial and dry episodes, where lacustrine/saline sediments, ranging from 52-29 m composite depth, are overlain by more uniform alluvial deposits. The difference between both sediment facies is also marked by a shift from conductive to resistive sediments at ca. 29 m, which was indicated by an extended transient electromagnetic site survey. The conductive strata consist of silt and claystones intercalated with gypsum layers. These sediments are delimited from the overlying debris-flow-like sediments by a pronounced paleosurface. Identified microfossil assemblages imply a freshwater to oligosaline paleolake of several meters water depth in the lower part of the sediment core sequence, whereas the upper sediments suggest ephemeral shallow water bodies and dry periods. Dating of the record is challenging and the final chronology is still pending, but preliminary results yield a Pliocene basal age for the sediment succession.

Asynchronism of wet phases between the northern and central Atacama can be best explained by precipitation heterogeneity due to different moisture patterns that are at least partly linked to orbital-scale variations. Results from the Huara clay pan suggest a dominance of the summer rainfall, where precipitation changes are linked to the intensity of the South American Summer Monsoon. Thus, moisture from the Atlantic Ocean is most likely the source region for pluvial phases of the northern Coastal Cordillera. In contrast, moisture availability of the PAG clay pan is most likely dominated by the winter rainfall originating from the Pacific Ocean.

In summary, due to the scarcity of continuous sedimentary archives within arid areas, also complex and discontinuous sedimentary systems, like the herein studied clay pans, represent unique opportunities to reconstruct the precipitation history of arid areas such as the Atacama Desert.

## Kurzfassung

Paläoklimaarchive werden häufig genutzt um Erdoberflächenprozesse zu verstehen, die auf Klimaschwankungen in der Vergangenheit zurückzuführen sind. In der Atacama-Wüste ist der limitierende Faktor für Erdoberflächenprozesse die Verfügbarkeit von Wasser. Sedimentabfolgen können dabei helfen, die Niederschlagsgeschichte und ihre kontrollierenden Faktoren zu rekonstruieren. Solche Klimaarchive, die kontinuierliche Niederschlagssignale erfassen, sind im hyperariden Kern der Atacama-Wüste schwer zu finden und dokumentieren häufig distale Niederschlagssignalen aus der Präkordillere statt lokale Niederschläge aus der Wüste selbst. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf der Rekonstruktion der lokalen Niederschlagsgeschichte und ihrer räumlichen Heterogenität im hyperariden Kern der Atacama-Wüste unter Verwendung von ausgewählten Sedimentarchiven, welche einen Nord-Süd-Transekt innerhalb der Küstenkordillere umfassen. Zu diesem Zweck wurden geophysikalische Untersuchungen an der Sedimentfüllung, sowie sedimentologische, geochemische, mineralogische und biologische Untersuchungen an den erbohrten Sedimentkernen durchgeführt.

Die Huara-Sedimentabfolge (4.1 m), abgeteuft in der nördlichsten Tonpfanne des Transekts, wurde mittels einem multidisziplinären Datierungsansatz erforscht und spiegelt die Niederschlagsschwankungen der letzten 68,000 Jahre wider. Seismische Daten lassen auf eine Sedimentmächtigkeit von 10 m für Sedimente ähnlich der erbohrten Sedimentsequenz schließen, wodurch sich ein Alter von 166,000 Jahren für den Beginn der Sedimentation der untersuchten Sedimente extrapolieren lässt. Sedimentologische, geochemische und mineralogische Analysen weisen auf drei unterschiedliche Ablagerungsprozesse hin, die unterschiedliche Feuchtigkeitsniveaus widerspiegeln. Auf orbitalen Zeitskalen zeigen die interpretierten feuchten und trockenen Episoden ähnliche Muster wie rekonstruierte Feucht- und Trocken-Phasen aus verschiedenen Archiven des Altiplanos.

Im Zuge der Pilotstudie wurden geophysikalische Daten der PAG-Tonpfanne aus dem zentralen Teil des hyperariden Kerns erhoben, die auf eine Sedimentmächtigkeit von bis zu 64 m im tiefsten Teil dieses Beckens hinweisen. Eine erbohrte Kurzkernsequenz (6,2 m) umfasst die letzten 215,000 Jahre, was durch optisch

stimulierte Lumineszenz und paläomagnetische Datierung bestimmt werden konnte. Während der Marinen Isotopen Stadien (MIS) 7 und 5 deuten sedimentologische und geochemische Daten aber auch Diatomeenvergesellschaftungen auf feuchtere Episoden mit höherem fluvialen Eintrag hin, wohingegen die fluviale Sedimentablagerung in einem großen Teil von MIS 6 und 4 in einem geringen Maße dokumentiert sind. Diese Feuchteperioden treten zeitgleich mit erhöhten Oberflächenwassertemperaturen im ostpazifischen Ozean (Bedingungen ähnlich dem modernen ‚El Niño‘ Phänomens) auf, aber korrelieren nicht mit Rekonstruktionen aus dem Altiplano und der Präkordillere.

Ein 52 m lange Bohrkern aus der Mitte der PAG-Tonpfanne, zeigt deutliche lithologische Veränderungen, bei denen die Amplituden der Variationen ähnlich derer aus dem Kurzkern sind. Diese lithologischen Veränderungen deuten auf abwechselnde pluviale und trockene Episoden hin, bei denen lakustrin-saline Sedimente im Bereich von 52 bis 29 m von einheitlichen alluvialen Ablagerungen überlagert werden. Der Unterschied zwischen beiden Sedimentfazies ist auch in den Ergebnissen der transientelektromagnetischen Untersuchung der Tonpfanne zu erkennen, die einen Wechsel von leitenden zu schwer leitenden Sedimenten bei ca. 29 m anzeigt. In der leitenden Fazies, welche aus Silt- und Tonsteinen bestehen, sind Gipslagen eingeschaltet. Diese Sedimente werden durch eine ausgeprägte Paläooberfläche von überlagernden Muren-ähnlichen Sedimenten abgegrenzt. Mikrofossilvergesellschaftungen im unteren Teil der Kernsequenz deuten auf Süßwasser bis oligohaline Bedingungen eines mehrere Meter tiefen Paläosees hin, während die oberen Sedimente auf eine Ablagerung in kurzlebigen, flachen Gewässern und Trockenperioden hindeuten. Die Datierung der Sedimentabfolge ist anspruchsvoll und die finale Chronologie ist noch ausstehend, aber vorläufige Ergebnisse ergeben ein pliozänes Alter für die Basis der Sedimentfolge.

Die Asynchronität der feuchten Phasen zwischen dem nördlichen und dem zentralen Teil der Atacama-Wüste lässt sich am besten durch eine Niederschlagsheterogenität aufgrund unterschiedlicher Feuchtigkeitstransportmuster erklären, die zumindest teilweise mit Variationen der orbitalen Parameter verbunden ist. Die Ergebnisse der Huara-Tonpfanne zeigen eine Dominanz des Sommerniederschlags, bei dem die Niederschlagsänderungen von der Intensität des südamerikanischen Sommermonsuns abhängen. Feuchtigkeit aus dem Atlantik ist

daher höchstwahrscheinlich die Quellregion für Niederschläge in der nördlichen Küstenkordillere die pluviale Phasen bedingen. Im Gegensatz dazu wird die Feuchtigkeitsverfügbarkeit an der PAG-Tonpfanne höchstwahrscheinlich vom Winterregen dominiert, welcher über dem pazifischen Ozean entsteht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass aufgrund der Seltenheit kontinuierlicher Sedimentarchive in ariden Gebieten auch komplexe und diskontinuierliche Sedimentsysteme, wie die hier untersuchten Tonpfannen, einzigartige Möglichkeiten darstellen, einen bedeutenden Beitrag zur Rekonstruktion der Niederschlagsgeschichte von Trockengebieten, wie z.B. der Atacama-Wüste, leisten zu können.