



Doctoral Thesis

Holocene flood variability and glacier fluctuations in the Central Alps revealed by lacustrine sediments

Author(s):

Glur, Lukas

Publication Date:

2013

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-009906720> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 21027

Holocene flood variability and glacier fluctuations in the Central Alps revealed by lacustrine sediments

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

LUKAS GLUR

MSc in Earth Science, University of Basel

born May 29, 1980

from Adligenswil (LU)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Flavio S. Anselmetti, examiner

Dr. Adrian Gilli, co-examiner

Prof. Dr. Christoph Schär, co-examiner

Prof. Dr. Achim Brauer, co-examiner

Summary

Global climate change is projected to significantly modify recent climate conditions. Especially the increased occurrence of large-scale intense precipitation causing severe flooding, would highly affect the Alpine region and its foreland, since floods represent a major natural hazard in the Alps. In order to assess natural flood variability and its forcing factors that could improve accurate projections of these climate extremes, we established a 10'000 year-long flood reconstruction of the Central Alps based on 10 Northern and 5 Southern Alpine lacustrine sedimentary archives. Lakes with a certain relief in the respective catchment record individual flood events by distinct sediment layers (flood turbidites). These layers contain high amounts of terrigenous material that was mobilized during intense precipitation events and transported to the next downstream lake. Therefore, individual lake sediment successions uncover the local flood history. To reconstruct a regional flood pattern and thus rather a synoptic Alpine intense rainfall signal, we studied multiple Alpine lake records.

The accuracy of the lacustrine flood chronology is verified by a good correlation with historical flood reconstructions from the Northern Alpine region covering the last 500 years. Regarding Northern Alpine flood variability over the past 2500 years, a coincidence between high flood frequencies and low summer temperatures is apparent, which we interpret in terms of changing North Atlantic atmospheric circulations accompanied by varying summer mean temperatures. In particular, we propose a weaker (stronger) expression of the subtropical high-pressure zone accompanied by lower (higher) summer mean temperatures, which favors (impede) the occurrence of Atlantic storm tracks affecting the Central Alpine region and thus enhance (decrease) the occurrence of intense precipitation. Over the past 10'000 years, the overall pattern of the Northern and Southern Alpine flood frequency anti-correlate with variations in total solar irradiance that is considered to affect air temperatures. Thus, we assume that variations in North Atlantic circulation controlled flood frequency in the entire Central Alpine region throughout the Holocene. Nevertheless, during distinct periods a partial discrepancy in Northern and Southern Alpine flood variability is apparent, in which flood frequency is only enhanced in the Southern Alps. We explain this pattern by exceptional weak expressions of the subtropical high-pressure zone accompanied by distinct cool conditions shifting the Atlantic storm tracks to Mediterranean latitudes and thus favoring heavy precipitation at the southern slope of the Alps.

We further established a 2250 year-long reconstruction of mass accumulation rate (MAR) of Lake Trüebsee (Central Alps) at an annual resolution. Enhanced sub-glacial erosion during increased glacial cover in the catchment cause enhanced MAR and vice versa, mirroring continuously fluctuations of the upstream-located Titlis Glacier. We assume that our data reflect an overall Central Alpine glacial pattern considering the strong correspondences with other independent Alpine glacier reconstructions. Furthermore, MAR values strongly anti-correlate with a summer mean temperatures reconstruction over the past 2250 years, which indicate that Alpine glacier fluctuations were strongly controlled by varying melting rates of glaciers in summer. As the MAR reconstruction is based on individual varve thicknesses, detailed characterization of the annual laminae is crucial. Thus, we performed textural and mineralogical analyzes of selected laminae with an application of scanning electron microscopy (SEM) at micron resolution. The SEM-analyses were combined with visual core description (thin sections / smear slides / high-resolution core photographs) throughout the entire laminated succession.

In terms of global climate change and based on paleoclimatic evidence only, we expect in the Central Alpine region no upward-trend in the frequency of large-scale intense precipitation (intensity was not reconstructed). We assume that a poleward expansion of the subtropical dry zone accompanied by projected increasing summer mean temperatures will impede the occurrence of Atlantic storm tracks causing floods at Central Alpine latitudes. In contrast, as mean summer temperatures controlled Alpine glacier fluctuations over the past 2250 years, we propose that projected increases in summer temperatures will enhance melting rates of glaciated areas during summer and thus intensify Alpine glacier retreat under global climate change.

Zusammenfassung

Aufgrund des globalen Klimawandels wird erwartet, dass sich die aktuellen klimatischen Verhältnisse signifikant verändern werden. Speziell das vermehrte Auftreten von grossräumigen Starkregenniederschlägen, welche Hochwasser erzeugen, würde alpine Regionen und dessen Vorland stark beeinträchtigen, da Hochwasser zu den bedeutendsten Naturgefahren in den Alpen zählen. Um die natürliche Variabilität von Hochwasser und von Faktoren, welche deren Auftreten kontrollieren, zu erkennen und somit dessen Prognostizierbarkeit zu verbessern, haben wir eine Hochwasserrekonstruktion des zentralen Alpenraums der letzten 10 000 Jahre erstellt. Diese beruht auf 10 nord- und 5 südalpinen Seesedimentarchiven. Seen mit einem steilen Einzugsgebiet zeichnen einzelne Hochwasserereignisse in ihren Sedimenten durch spezifische Ablagerungen (Flutturbidite) auf. Diese Ablagerungen enthalten hohe Anteile an terrestrischem Material, welches während Starkniederschlägen mobilisiert und in den stromabwärtsliegenden See transportiert wird. Die lakustrine Sedimentabfolge zeichnet somit die lokale Flutgeschichte des jeweiligen Einzugsgebietes auf. Durch die Berücksichtigung von Sedimentabfolgen aus mehreren alpinen Seen konnten wir die Analyse räumlich erweitern und ein regionales Muster vergangener Hochwasser rekonstruieren, welches eher ein synoptisches Starkniederschlagssignal widerspiegelt.

Die Aussagekraft der lakustrinen Hochwasserrekonstruktion wurde durch eine gute Übereinstimmung mit einer historischen Hochwasserstudie der vergangenen 500 Jahre im nordalpinen Raum bestätigt. Beim Betrachten der nordalpinen Hochwasservariabilität der letzten 2500 Jahre fällt auf, dass hohe Flutfrequenzen in Perioden mit tiefen Sommertemperaturen auftreten. Dieses Muster erklären wir mit unterschiedlichen nordatlantischen Zirkulationsmustern, welche mit variierenden Sommertemperaturen einhergehen. Dabei begünstigt (hemmt) eine schwach (stark) ausgeprägte subtropische Hochdruckzone, begleitet von tieferen (höheren) Sommerdurchschnittstemperaturen, das Auftreten von atlantischen Stürmen im zentralen Alpenraum, was die Frequenz von Starkniederschlagsereignissen erhöht (erniedrigt). Während der vergangenen 10 000 Jahre verläuft das generelle Muster der nord- und südalpinen Hochwasserfrequenz gegenläufig zu den Variationen der totalen solaren Strahlung, welche ihrerseits die Lufttemperaturen beeinflusst. Aufgrund dessen gehen wir davon aus, dass während des gesamten Holozäns Variationen in der nordatlantischen Atmosphärenzirkulation die Hochwasserfrequenz in den Zentralalpen dominiert haben. Dennoch ist während bestimmten Perioden eine partielle

Diskrepanz zwischen der nord- und südalpiner Flutvariabilität vorhanden. Diese Zeiträume sind vor allem durch eine erhöhte Hochwasserfrequenz in den Südalpen gekennzeichnet. Wir erklären dieses Muster mit einer aussergewöhnlich schwachen Ausprägung der subtropischen Hochdruckzone während sehr kalten klimatischen Bedingungen. Dadurch werden atlantische Sturmbahnen in mediterrane Breitengrade abgelenkt, und es treten vermehrt Starkniederschläge südlich des Alpenhauptkamms auf.

Im Weiteren konnten wir eine jährlich aufgelöste Rekonstruktion von Sediment-Massenakkumulationsraten (MAR) des Trüebsees über die vergangenen 2250 Jahre erstellen. Diese widerspiegelt aufgrund verstärkter subglazialer Erosion während erhöhter glazialer Bedeckung im Einzugsgebiet Fluktuationen des stromaufwärtsliegenden Titlisgletschers. Wir gehen davon aus, dass aufgrund sehr starker Übereinstimmungen mit anderen alpinen Gletscherrekonstruktionen diese MAR-Rekonstruktion ein generelles zentralalpines Gletschermuster aufzeigt. Die MAR-Rekonstruktion des Trüebsees zeigt zudem eine Antikorrelation mit rekonstruierten Sommerdurchschnittstemperaturen, was darauf hindeutet, dass hauptsächlich variierende Abschmelzraten im Sommer die alpinen Gletscherfluktuationen bestimmen. In dieser Studie war die detaillierte Charakterisierung der jährlichen Laminationen sehr entscheidend, da die MAR-Rekonstruktion im Wesentlichen auf der Dicke der individuellen Warven basiert. Aus diesem Grund wurde an ausgewählten Sedimenttiefen hochaufgelöste (einige μm Auflösung) textuelle und mineralogische Analysen mit einer Anwendung der Rasterelektronenmikroskopie (SEM) durchgeführt. Diese wurden durch visuelle Kernbeschreibungen (Dünnschliffe, Smear Slides, hochaufgelöste Kernfotos) entlang der ganzen Sedimentabfolge ergänzt.

Im Zusammenhang mit dem globalen Klimawandel erwarten wir nur unter Berücksichtigung der paleoklimatischen Rekonstruktion kein vermehrtes Auftreten von grossräumigen Starkniederschlägen in den Zentralalpen (die Intensität der Ereignisse wurde nicht rekonstruiert). Wir nehmen an, dass die prognostizierte Erhöhung der Sommertemperatur einhergeht mit einer polwärts gerichteten Expansion der subtropischen Trockenzone, welche das Auftreten von atlantischen Stürmen in den alpinen Breitengraden hemmen wird und somit auch die Frequenz von Starkniederschlägen. Da über die vergangenen 2250 Jahre im Wesentlichen Sommerdurchschnittstemperaturen Gletscherfluktuationen kontrolliert haben, gehen wir im Weiteren davon aus, dass erhöhte Sommertemperaturen die Abschmelzrate in vergletscherten Gebieten beschleunigt. Somit wird der alpine Gletscherschwund mit dem prognostizierten globalen Klimawandel verschärft.