

**High Alpine lake sediments as chronicles for regional
glacier and climate history in the Upper Engadine,
southeastern Switzerland**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZÜRICH

for the degree of
DOCTOR OF NATURAL SCIENCES

Presented by

Christian Ohlendorf
Diplom Geologe, Universität Göttingen
born April 26. 1966
in Buchholz i.d.N., Germany

Accepted on the recommendation of:

Prof. Dr. H. Weissert, ETH Zürich, Examiner
Dr. M. Sturm, EAWAG, Dübendorf, Co-examiner
Dr. F. Niessen, AWI, Bremerhaven, Co-examiner

Berichte aus der Geowissenschaft

Christian Ohlendorf

**High Alpine lake sediments as chronicles for
regional glacier and climate history in
the Upper Engadine, southeastern Switzerland**

Shaker Verlag
Aachen 1999

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Ohlendorf, Christian:

High Alpine lake sediments as chronicles for regional glacier and climate history in the Upper Engadine, southeastern Switzerland/
Christian Ohlendorf. - Als Ms. gedr. -

Aachen : Shaker, 1999

(Berichte aus der Geowissenschaft)

Zugl.: Zürich, ETH, Diss., 1998

ISBN 3-8265-4905-8

Copyright Shaker Verlag 1999

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISBN 3-8265-4905-8

ISSN 0945-0777

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

*Als ich in den Jugendtagen
Noch ohne Grübelei,
Da meint' ich mit Behagen,
Mein Denken wäre frei.*

*Seitdem hab' ich die Stirne
Oft auf die Hand gestützt
Und fand, daß im Gehirne
Ein harter Knoten sitzt.*

*Mein Stolz, der wurde kleiner.
Ich merkte mit Verdruß:
Es kann doch unsereiner
Nur denken, wie er muß.*

Wilhelm Busch

Contents

Abstract	v
Zusammenfassung	vii
Reassunt	x

CHAPTER 1

Introduction	1
1.1 'Climate Change', still a hot topic ?	1
1.2 The link between climate, glaciers and lake sediments	3
1.3 The high Alpine archive	3
1.4 Concept and goals of the study	4

CHAPTER 2

Regional overview of the Upper Engadine	7
2.1 Geography	7
2.2 Geology	10
2.2.1 'General' or pre quaternary geology	10
2.2.2 Quaternary geology	13
2.3 Previous research	17
2.4 Hydrography, Hydrochemistry and Limnology of the lakes	19
2.5 Climate	23
2.6 Vegetation	24
2.7 History	25

CHAPTER 3

Methods	27
3.1 Seismic survey	27
3.2 Coring	27
3.3 Sampling	28
3.4 Physical Properties	28
3.4.1 Susceptibility	28
3.4.2 Declination	29
3.4.3 Wet bulk density	29
3.4.4 Grain size	31
3.4.5 Layer counting	31
3.4.6 Accumulation rates	31
3.4.7 Suspension load	32

3.5	Geochemistry	32
3.5.1	Total Carbon, Nitrogen, Hydrogen and Sulphur contents	32
3.5.2	Total inorganic carbon	32
3.5.3	Total organic carbon	33
3.5.4	Biogenic Silica	33
3.5.4	Main and Trace elements	33
3.6	Mineralogy with XRD	33
3.7	AMS 14C-dating	34
3.8	Climate, glacier, tourism and tree ring data	34
3.9	Statistical tools and data analysis	35
3.10	Data storage	36

CHAPTER 4

Glacial varve thickness and 127 years of instrumental climate data: A comparison 37

4.1	Introduction	37
4.2	Results	39
4.2.1	Lithology and Chronology	39
4.2.2	MAR and records of human activity	42
4.2.3	MAR and climate records	45
4.2.4	Comparison of suspension and sediment samples	47
4.3	Discussion	47
4.3.1	Human impact on MAR	47
4.3.2	Impact of low frequency glacier size variations on MAR	48
4.3.3	Impact of high frequency variations on MAR	49
4.4	Conclusions	53

CHAPTER 5

Evaluation of sedimentary tracers for catchment weathering and erosion modes 55

5.1	Introduction	55
5.2	Results	56
5.2.1	Mineral composition of river- and most recent lake sediments	56
	<i>River sediments</i>	58
	<i>Most recent lake sediments</i>	59
5.2.2	Mineral composition of turbidites in Lej da Silvaplauna Holocene sediments	59
5.2.3	Geochemistry of the most recent and Holocene lake sediments	61
	<i>Most recent lake sediments</i>	61
	<i>Holocene sediments</i>	61
5.2.4	Magnetic properties of Holocene sediments in Lej da Silvaplauna	65

5.3	Discussion	67
5.3.1	Recent controls on sediment distribution	67
5.3.2	Turbidite mineralogy: Tracer for catchment drainage conditions ?	67
	<i>The effect of sorting</i>	68
	<i>How is the signature of the source region preserved ?</i>	70
	<i>The two main mineralogical signatures</i>	70
	<i>Climatic interpretation of the turbidite record</i>	71
5.3.3	Chemical properties: Tracers for the intensity of chemical weathering ? ..	73
	<i>The recent lake sediments</i>	74
	<i>Possible weathering signals</i>	76
	<i>The Holocene record of Lej da Silvplauna</i>	78
	<i>Complications in the interpretation of element concentrations</i>	80
5.3.4	Magnetic properties: Tracers for the erosion of topsoil ?	81
5.4	Conclusions	84

CHAPTER 6

Interannual and interdecadal variability in the Neoglacial varve record of Lej da Silvplauna 89

6.1	Introduction	89
6.2	Results	91
6.2.1	Geochemistry and MAR of the sediments deposited since AD 1494	91
	<i>The turbidite record</i>	92
6.2.2	Comparison of the MAR record with climate (proxy) data on a regional scale	93
	<i>General correlation</i>	93
	<i>Correlation in the time window AD 1738-1766</i>	98
6.2.3	Time series analysis of the Neoglacial varve record.....	98
6.3	Discussion	100
6.3.1	Evaluation of geochemical sediment parameters as climate proxies	100
	<i>Ccarb accumulation rates as glacier size proxy</i>	102
6.3.2	Event stratigraphy and constraints for a AD 1738-1766 anomaly	103
	<i>Event stratigraphy</i>	103
	<i>The time period AD 1738 - 1766</i>	104
6.3.3	Regional significance of the MAR climate record with special consideration of the AD '1738-1766 anomaly'	105
	<i>Regional significance of the 1940s anomaly</i>	105
	<i>Regional significance of the AD 1738-1766 anomaly</i>	106
	<i>MAR and lake ice break-up dates</i>	107
6.3.4	Forcing mechanisms on varve deposition and the possibility of a non-linear response of varve formation	108
	<i>Non-linear response of the MAR to climatic forcing ?</i>	108
	<i>Intervals of more pronounced periodicity</i>	109
	<i>Time series analysis</i>	110
6.4	Conclusions	112

CHAPTER 7

The Late- and Post-Glacial sediment record of Lej da Champfèr..... 115

7.1	Introduction	115
7.2	Results.....	117
7.2.1	Lithology of Lej da Champfèr sediments.....	117
7.2.2	Physics, chemistry and mineralogy of the sediments	121
7.2.2.1	Lej da Champfèr core PCH 94/3 (0-1159 cm)	121
7.2.2.2	Magnetic susceptibility in other cores	125
7.2.2.3	Unit 4 sediments of PCH 94/3 (505-1159 cm).....	125
	<i>Physical and chemical properties</i>	125
	<i>Mineralogy</i>	129
7.2.3	Dating of Lej da Champfèr sediments.....	133
7.3	Discussion.....	136
7.3.1	Comparison of Late Glacial and Postglacial sediments.....	136
7.3.2	Is the unit 3/4 boundary an isochrone ?	137
7.3.3	Special characteristics of the green rhythmites	141
7.3.4	Median grainsize and MAR: Glacier size proxies in the Late Glacial sediments of Lej da Champfèr ?	142
7.3.5	Sediment mineralogy as a key to the glacier positions during the Late Glacial	147
7.3.6	The dating problem	152
7.3.7	Climatic interpretation and comparison with other records.....	156
	<i>Geomorphological background</i>	157
	<i>The Egesen (YD) ELA depression</i>	157
	<i>The YD cold interval</i>	157
	<i>Green rhythmites = YD</i>	158
	<i>Younger Dryas</i>	159
	<i>Glacier retreat rates at the YD/PB transition</i>	160
	<i>Allerød</i>	162
	<i>Bølling</i>	163
7.3.8	Comparison of interannual variability in different MAR records.....	164
7.4	Conclusions	165

CHAPTER 8

Conclusions and Outlook 169

8.1	The use of siliciclastic sediments as chronicles of climate	169
8.2	Proposed future research	171

References	175
Appendices	189
Acknowledgments	200
Curriculum Vitae	203

Abstract

The laminated, siliciclastic sediments of four glacier fed lakes located in a high Alpine valley (Upper Engadine) in the central Alps of southeastern Switzerland record environmental changes in a high resolution mode. Physical, chemical and mineralogical sediment properties were investigated in the present study, in order to trace these changes. The study focuses on the varved Neoglacial sediments of Lej da Silvaplauna and the laminated Late Glacial sediments of Lej da Champfèr. Forcing factors on varve formation are identified by an analysis of the modern sediments and rates of glacier size change are estimated for the Late Glacial. A model that links Late Glacial sediment accumulation rates to changes in the mode of glacier movement is proposed.

The annually laminated sediments of Lej da Silvaplauna, were compared with glacier monitoring data and instrumental climate data from AD 1864 to 1990. Long-term and short-term responses to climatic change as well as anthropogenic influence can be traced separately in the varve succession. Economic development in the lake's catchment has resulted in higher autochthonous production in the last 30 years. Autochthonous components contribute around 10% to the total amount of sediment accumulated annually since 1960, but their contribution is negligible before this date. Decadal-scale trends in annual mass accumulation rates (MAR) correlate with glacier size-variations. A stepwise, running multiple regression analysis demonstrates that interannual changes in MAR are strongly correlated with changes in mean summer temperatures, but cannot be sufficiently explained without considering summer precipitation and the number of days with snow per year. There is a ~50% probability that a given fluctuation in MAR is caused by a summer temperature anomaly. The wide range of observed correlation coefficients reveals the sensitivity of the archive to temporal variability of the climatic forcing factors. Together with a possibly non-linear response of the MAR signal to climate forcing this makes the development of transfer functions ambiguous. In a qualitative way a comparison with Swiss and European climate archives demonstrated that in most cases MAR anomalies reflect meteorological extreme conditions that are detectable on a regional scale and perhaps linked to large scale atmospheric circulation of western Europe.

To estimate the influence of rainfall on sediment accumulation, for selected samples the concentration of main and trace elements, magnetic properties and the mineral composition was determined. None of these parameters allows quantitative estimates about the contribution of rainfall derived material to MAR on an annual basis. It is suggested that for high resolution studies magnetic tracers offer the highest potential if they can be calibrated with other tracers. The possibility of an early hu-

man impact on sediment accumulation should be investigated further. XRD-analyses of river sediments and turbidites in the Holocene sequence of Lej da Silvaplauna indicate that mineralogical tracers can be employed to identify sediment sources in the geologically diverse catchment.

In all 4 Upper Engadine lakes a drastic lithologic change marks the cessation of glacial meltwater input. Evidence is presented, that this did not happen simultaneously in all lakes. Probably Lej da S. Murezzan received meltwaters 500 years longer than two of the upstream lakes.

In 6.5 m of continuously laminated Late Glacial sediments from Lej da Champfèr physical, chemical and mineralogical sediment properties were analyzed. A preliminary, floating chronology is proposed for the sediments that is based on the counting of layer couplets. Reduced sediment median grainsize in accordance with existing models is viewed as a tracer for an increased catchment glaciation. The tentative Late Glacial MAR variations disagree with the existing model, which indicates a different way of glacier movement for the larger Late Glacial glaciers. A model is proposed that ascribes low MAR that occur during maximum catchment glaciation to reduced basal shear stress (reduced erosion capacity) of cold glaciers, which is indicative of a cold, arid continental climate. Such conditions are proposed for the first 450 and the last 150 years of the YD cold interval.

Sediment mineralogy was used to trace the positions and rates of movement of Late Glacial catchment glaciers. Mineralogical changes in Lej da Champfèr sediments apparently to a large extent are influenced by the glaciers in the southeastern catchment that meet contrasting lithologies on an advance. With reservation to changes in the chronology by combining grainsize and mineralogical tracers, rates of glacier size change were calculated. Accordingly it is suggested that glaciers retreated very rapidly from their YD maximum positions within 30-50 years at a rate of 70-120 m/yr which is 5-10 times faster than for the retreat from LIA positions (13 m/yr). Moreover, all tracers indicate that the YD was not a uniform cold interval. Regarding interannual variability the comparison with recent sediments reveals that the second half of the YD is punctuated by several events of unusually high MAR. This might reflect a more instable climate with larger oscillations in temperature and/or precipitation.

Zusammenfassung

In den laminierten, siliziklastischen Sedimenten von vier, in einem zentralalpinen Hochtal (Oberengadin) der südöstlichen schweizer Alpen gelegenen und von glazialen Schmelzwässern gespiesenen Seen, sind Umweltveränderungen mit hoher zeitlicher Auflösung aufgezeichnet. In dieser Arbeit wurden physikalische, chemische und mineralogische Sedimenteigenschaften untersucht, um diese Veränderungen nachzuzeichnen. Gegenstand dieser Arbeit sind die gewarvten neoglazialen Sedimente des Lej da Silvaplauna, sowie die laminierten spätglazialen Sedimente des Lej da Champfèr. Durch eine Analyse der rezenten Sedimente werden Faktoren, die die Warvenbildung beeinflussen, ermittelt. Die Geschwindigkeit von Veränderungen der Gletschergrössen wird für das Spätglazial abgeschätzt.

Die jahresweise geschichteten Sedimente des Lej da Silvaplauna wurden für den Zeitraum AD 1964-1990 mit Daten über die Zungenlängenänderung von Gletschern, sowie mit instrumentell erhobenen Klimadaten verglichen. Sowohl langfristige als auch kurzfristige Reaktionen auf Klimaveränderungen und anthropogene Einflüsse können in der Warvenabfolge getrennt voneinander verfolgt werden. Die wirtschaftliche Entwicklung im Einzugsgebiet des Lej da Silvaplauna hat in den letzten 30 Jahren zu einer erhöhten autochthonen Produktion geführt. Autochthone Sedimentbestandteile haben seit 1960 einen Anteil von etwa 10% an der Gesamtmenge des pro Jahr akkumulierten Sedimentes. Vor 1960 ist ihr Anteil vernachlässigbar. Auf der Zeitskala von Jahrzehnten korrelieren die Sediment-Akkumulationsraten (MAR) mit Änderungen der Gletschergrösse. Eine schrittweise durchgeführte, gleitende, multiple Regressions-Analyse zeigt, dass die jährlichen Schwankungen der MAR zwar stark mit Schwankungen der mittleren Sommertemperatur korreliert sind. Jedoch können MAR-Schwankungen nicht ausreichend erklärt werden, wenn nicht Sommerniederschlag und die Anzahl der Tage pro Jahr mit Schneefall mit berücksichtigt werden. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine MAR-Schwankung durch eine Anomalie der mittleren Sommertemperatur verursacht wurde, beträgt ca. 50%. Die grosse Schwankungsbreite der ermittelten Korrelationskoeffizienten zeigt, dass das Sedimentarchiv sehr sensibel auf zeitliche Veränderungen der Einflussgrössen reagiert. Diese Tatsache, zusammen mit einer möglicherweise nicht linearen Reaktion des MAR-Signals auf Klimaveränderungen, schliesst die Entwicklung von Transferfunktionen aus. Ein qualitativer Vergleich des Sedimentarchives mit schweizer und europäischen Klimaarchiven zeigt, dass MAR-Anomalien in den meisten Fällen meteorologische Extrembedingungen widerspiegeln, die ein regionales Ausmass hatten und deshalb wahrscheinlich mit Veränderungen der atmosphärischen Zirkulation über Westeuropa zusammenhängen.

Um den Einfluss des Niederschlags auf die Sedimentakkumulation (MAR) abzuschätzen, wurde an ausgewählten Proben die Konzentration von Haupt- und Spurenelementen, magnetische Eigenschaften und die Mineralzusammensetzung bestimmt. Keiner dieser Parameter erlaubt es, quantitative Angaben über den Beitrag von durch Niederschläge erodierten Material zur MAR mit jahresweiser Auflösung zu machen. Für hochauflösende Studien scheinen magnetische Eigenschaften am geeignetsten zu sein, wenn sie mit anderen Parametern kalibriert werden können. Die Möglichkeit eines frühen anthropogenen Einflusses auf die Sedimentakkumulation sollte eingehender untersucht werden. Die röntgendiffraktometrische Analyse von Flusssedimenten und Turbiditen in der holozänen Sedimentabfolge vom Lej da Silvaplana zeigt, dass die Mineralzusammensetzung dazu benutzt werden kann, Sedimentquellen in dem geologisch sehr diversen Einzugsgebiet der Seen, zu identifizieren.

In allen 4 Oberengadiner Seen markiert ein drastischer Lithologiewechsel das Ende des Eintrags von glazialen Schmelzwässern. Es werden Indizien vorgestellt, die darauf hindeuten, dass dieses Ereignis nicht in allen Seen gleichzeitig stattfand. Möglicherweise wurde der Lej da S. Murezzan 500 Jahre länger von Schmelzwässern beeinflusst als zwei der stromaufwärts gelegenen Seen.

In 6,5 m durchgehend laminierten, spätglazialen Sedimenten aus dem Lej da Champfèr wurden physikalische, chemische und mineralogische Sedimenteigenschaften untersucht. Basierend auf der Zählung von Warven wird eine vorläufige Chronologie der Sedimente vorgeschlagen. In Anlehnung an existierende Modelle, werden reduzierte Korngrößen-median Werte als Phasen ausgedehnter Vergletscherung des Einzugsgebietes interpretiert. Die vorläufigen spätglazialen MAR-Veränderungen stimmen nicht mit den existierenden Modellen überein. Dies ist ein Hinweis darauf, dass sich die grösseren spätglazialen Gletscher anders bewegten als die heutigen. Ein Modell, dass die kleinen MAR während Phasen ausgedehnter Vergletscherung mit einer Reduktion der basalen Schubspannung (reduziertes Erosionsvermögen) in Verbindung bringt wird präsentiert. Reduzierte basale Schubspannungen werden bei kalten Gletscher in kalt-aridem, kontinentalen Klima beobachtet. Aufgrund des MAR befundes werden solche Bedingungen für die ersten 450 und die letzten 150 Jahre der Jüngeren Dryas angenommen.

Die Mineralzusammensetzung der Sedimente wurde benutzt, um Positionen und Veränderungsraten der spätglazialen Gletscher zu rekonstruieren. In den spätglazialen Sedimenten des Lej da Champfèr wird die Mineralzusammensetzung stark durch die Gletscher im südöstlichen Einzugsgebiet beeinflusst, die bei einem Vorstoss sehr unterschiedliche Lithologien erodieren. Vorbehaltlich Veränderungen in der Chronologie wurden Grössenveränderungen der Gletscher aus Veränderungen

der Korngrösse und der Mineralogie der Sedimente abgeleitet. Hieraus ergibt sich, dass die Gletscher sich sehr schnell, innerhalb von 30 bis 50 Jahren, mit einer Rate von 70 -120 m/a von ihrem Maximalstand, den sie in der Jüngeren Dryas erreichten, zurückzogen. Dies ist 5-10 mal schneller als für den Rückzug vom Maximalstand der kleinen Eiszeit (13 m/a). Alle gemessenen Parameter weisen darauf hin, dass die Jüngere Dryas keine homogene Kaltphase war. Wenn spätglaziale interannuelle MAR-Veränderungen mit denen rezenter Sedimente verglichen werden fällt auf, dass die zweite Hälfte der Jüngern Dryas durch einige Ereignisse ungewöhnlich hoher MAR gekennzeichnet ist. Dies könnte auf ein instabiles Klima mit grösseren Temperatur- und/oder Niederschlagsschwankungen hindeuten.

Reassunt

Ilis sedimaints laminats siliciclastics da quatter lais da l'Engiandin'Ota, tuots spisgiantats d'auas da vadret, documenteschan müdamaints da l'ambiant da cuorta d'urada. In quista lavur sun gnüds stübgjads ils sedimaints, ed inpustüt sedimaints cun varvas neoglacias dal Lej da Silvaplauna e sedimaints laminats dal temp glacial tardiv dal Lej da Champfèr cun metodos fisicalas, chemicalas, e mineralogicas. Quistas metodos permettan da documentar variaziuns aint ils sedimaints, e da stübgjar ils facturs chi influenzeschan la fuormaziun da varvas. Inplü vegna inprovà da quantifichar la sveltezza cun la quala ils vadrets han müdà lur grandezza d'urant il temp glacial tardiv.

La laminaziun annuala aint ils sedimaints dal Lej da Silvaplauna es gnüda congualada cun il müdamaint da la lunghezza dals vadrets e cun datas da clima masüradas pels ons 1964 fin 1990. Aint illas varvas as poja disferenzchar reacziuns sün müdamaints da clima e influenzas antropologicas da differenta d'urada. La prosperaziun economica aint illa regiun d'inchasch dal Lej da Silvaplauna ha manà aint ils ultims 30 ons ad ün augmaint da la producziun da material autochton. La part da material autochton han agiunt daspö il 1960 il 10% dal sedimaint accumulà d'urant tuot l'on. Avant l'on 1960 es quista part negligibla. Sur decennis dad ons correescha la rata d' accumulaziun da sedimaints (RAS) cul müdamaint da la grondezza dals vadrets. Üna analisa da regressiun multipla, fatta pass per pass, muossa cha las variaziuns annualas da la RAS correeschan fermamaing cun variaziuns da la temperatura mezdana da stà. Però i nu poulan gnir spiegadas las variaziuns in möd chi cuntantescha, sainza resguardar la plövgia da stà e'l nomber da dis d'urant l'on chi ha naivü. La probabilità ch'üna variaziun da la RAS es la causa d' üna anomalia da la temperatura mezdana da stà es intuorn da var 50%. La gronda variaziun dals coefficients da correlaziun muossan, cha l'archiv da sedimaints es fich sensitiv sün variaziuns temporalas dals facturs ils plü importants. Quist fat, insembel cun la reacziun probabelmaing na lineara dal signal da la RAS sün müdamaints da clima, nu permetta da douvrrar funcziuns da transfer. Ün cungal qualitativ da l'archiv da sedimaints cun archivs da clima Svizzers e Europeans muossa, cha las bleras anomalias da la RAS represchaintan condiziuns metrologicas extremas chi han gnü üna dimensiun regionala e stan perque in connex cun müdamaints da la circulaziun aint ill'atmosfera sur l'Europa occidentala.

Per pudair valütar l'influenza da la precipitaziun sün l'accumulaziun da sedimaints sun gnüdas masüradas las concentraziuns dals elemaints principals e'ls elemaints da stizis, il caracter magnetic e la composiziun mineralogica da muostras selecciunadas da sedimaint. Ningün da quists parameters nu permetta da quantifichar

l'erosiun chi pertocca a la RAS chaschunà tras la precipitaziun düront l'on. Per stüdis fich precis para d'esser il caracter magnetic il plü adat, però be scha las datas poulan gnir calibradas cun oter parameters. Las pussibilitats d'ün'influenza antopogena antecpada sün l'accumulaziun da sedimaints stu vess gnir stübgia plü precis. L' analisa da diffractometria cun razz da röntgen dals sedimaints da flüm e da turbidits da las vettas dal Holocen dal Lej da Silvaplauna muossa cha la composiziun mineralogica po gnir dovrada per identifichar la funtana dals sedimaints our da la regiun d'inchasch dal lai, üna zona chi es our dal punct da vista geologic fich cumplachada.

In tuot ils 4 lais da l'Engiadin'Ota documentescha ün müdamaint drastic da la composiziun dals sedimaints la finischun da l'inchasch d'aua da vadret. I vegnan preschantadas indicaziuns, chi muossan cha quists evenimaints nu chattan lö aint in mincha lai aint il listess mumaint. Probabelmaing ha survgni il Lej da S. Murezzan per var 500 ons plü lönch aua da vadret sco ils lais situats plü insü aint illa val.

Aint in ün minz continuond da 6.5 m da sedimaints laminats dal temp glacial tardiv dal Lej da Champfèr sun gnü fats stüdis da'l caracter fisical, chemical e mineralogic dals sedimaints. Sülla basa da la dombraziun da varvas vegn proponü üna cronologia preliminar dals sedimaints. In vista a models existents es la reducziun da la grandezza mediana da partikels da sedimaint interpretada sco fasas da grond'extensiun da vadrets aint illa regiun d'inchasch. Ils müdamaints preliminaris dal temp glacial tardiv da la RAS corresponda cun models existaints. Quist fat muossa cha'ls vadrets gronds dal temp glacial tardiv as schmuvantaivan in different möd da quels d'hoz. Ün model chi cumbinescha las RAS plü pitschnas düront temps da grond'extensiun da vadrets cun üna reducziun da la tensiun basala (main erosiun dal vadret) vegn preschantà. Üna reducziun da la tensiun basala chatta lö pro vadrets fraids aint in ün clima fraid-arid continental. A man da las valurs da la RAS vegnan proponüdas condiziuns sco talas per ils prüms 450 e'ls ultims 150 ons dal temp da la Dryas Giuvna.

La composiziun mineralogica dals sedimaints vegn dovrada per reconstruir posiziuns e ratas da müdamaints dals vadrets dal temp galcial tardiv. Aint ils sedimaints dal temp galcial tardiv dal Lej da Champfèr vegn influenzada la composiziun mineralogica fermamaing dals vadrets aint illa regiun d'inchasch meridiunal, chi erodescha pro ün avanzamaint dal vadret fich differentas litologias. Cun l'agüd da la cronologia e dal müdamaint da la grandezza dals partikels e da la mineralogia dals sedimaints sun gnüdas interpretadas variaziuns da la grandezza da vadrets. Ils resultats muossan cha'ls vadrets as han retrats fich svelts, infra 30 fin 50 ons, cun üna rata da 70 fin 120 meters l'on da lur stadi maximal chi vaivan ragiunt düront il temp da la Dryas Giuvna. Quist es var 5 fin 10 jadas plü svelts sco la retratta

dal stadi maximal düront l'ultim temp pitschen da glatsch (13 meters l'on). Tuot ils parameters masürats demuossan cha'l temp da la Dryas Giuvna nu d'eira üna fasa fraida homogena. Scha müdamaints dal la RAS interanuals aint il temp galcial tardiv vegnan cungalats cun quels da sedimaints recents, schi's vezza cha la seguonda metà dal temp da la Dryas Giuvna es caracterisada tras evenimaints insolits da fich otas RAS. Quist pudess esser ün'indicaziun sün ün clima instabil cun grondas variaziuns da temperatura e/o precipitaziun.