



# Der Bergsturz von Miralago: Talgeschichte im Valposchiavo

Peter Zwahlen<sup>1</sup>

**Schlagworte:** Valposchiavo, Miralago, Bergsturz, <sup>14</sup>C-Datierungen, Spätwürmstadial, Jüngere Dryas

**Keywords:** Valposchiavo, Miralago, rockslide, <sup>14</sup>C-dated wood, late Würm stadial, younger Dryas

## Zusammenfassung

Die geologisch-geotechnischen Untersuchungen zur Projektierung des Pumpspeicherkraftwerkes Lagobianco der Repower AG Poschiavo ermöglichen den Projektgeologen des Büros für Technische Geologie AG Sargans (BTG) dank <sup>14</sup>C-datierter Holzfunde aus stratigraphisch gut interpretierbaren Sondierbohrungen die Rekonstruktion einer geologischen Talgeschichte des Valposchiavo ab dem jüngsten Pleistozän bzw. der ausgehenden Würm-Eiszeit (vgl. Fig. 5). Damit werden auch die vorangehenden eiszeitlichen Ereignisse im Veltlin besser fassbar.

Als wesentliche Neuerkenntnisse lässt sich Folgendes zusammenfassen:

Der Bergsturz von Miralago (Motta di Meschino) ist ein Ereignis der Jüngeren Dryas (siehe Fig. 5) und hat nach mehreren Teilstürzen spätestens ab dem Präboreal (9700-8700 v. Chr.) den Lago di Poschiavo aufgestaut.

- Mehrere Moränenlagen unter-, zwischen- und überlagern die Bergsturzmassen. Die Sturzeignisse sind damit als spätglaziale Bildungen zu betrachten.
- Die unterlagernden Moränen können dem Veltliner-Stadium gemäss Staub (1946) zugeordnet werden, vermutlich aus der Übergangszeit Älteste Dryas - Bölling-Interstadial. Die ein- und angelagerten Moränen können dem wohl mehrphasigen Brusasker-Stadium nach Staub (1946) zugeordnet werden. Nach den Neudatierungen und der modernen Glazialstratigraphie sind die Brusaskervorstösse damit als Bildungen der Kaltzeit der Jüngeren Dryas im weiteren Sinne zu verstehen.
- Weder das Brusasker- noch das Veltliner-Stadium nach Staub (1946) sind mit dem Gschnitz-Stadium im Trins- bzw. Silltal (Brenner, Tirol) korrelierbar. Das Gschnitz-Stadium ist vom Alter her (Ivy-Ochs et al. 2006) eher gleichzusetzen mit

dem Veltliner-Stadium von Chiuro nach Hantke (1983, 2011). Hantke (1983) dehnt das Veltliner-Stadium allerdings fast beliebig weit über Chiuro hinaus nach Sondrio und Morbegno. Das «Veltliner Stadium» gemäss Staub (1946) und Hantke (1983) wäre daher genauer zu definieren und aufeinander abzustimmen.

## Abstract

Geological-geotechnical investigations conducted as part of the project planning for the «Pumped Storage Power Plant Lagobianco» operated by Repower AG Poschiavo, performed by the commissioned projecting geologists from the «Büro für Technische Geologie AG Sargans (BTG)», were able due to <sup>14</sup>C-dated wood discoveries (inter alia Larix species identification) from stratigraphically well-interpretable explorations drillings to reconstruct a geological earth history of the Poschiavo Valley from the Late Pleistocene (end of the Würm Ice Age). This has also improved our understanding of the preceding glacial events in the Valtellina.

The most important new insights can be summarized as follows:

- The Miralago (Motta di Meschino) rockslide is an event of the «Younger Dryas». Following several secondary rockslides, at the latest from the Preboreal, this dammed up the Lago di Poschiavo.
- Several moraine layers lie below between and over the rockslide material. This consequently means that the rock slide events may be considered late ice age formations.
- The underlying moraines are attributable to the «Veltliner Stage» according to Staub (1946) (probably the Oldest Dryas - Bölling transition), while the enclosed and attached moraines are probably attributed to the multiphase «Brusasker Stage» according to Staub (1946). According to the new dating and the latest glacial stratigraphy, the «Brusasker Advances» can consequently be considered formations of the cold phase of the «Late Dryas» in the broadest sense.
- Neither the «Brusasker Stage» nor the «Veltliner Stage» according to Staub (1946) can be correlated with the so-called «Gschnitz Stage»

<sup>1</sup> Büro für Technische Geologie AG, 7320 Sargans, peter.zwahlen@btgeo.ch

in Trin Valley or Sill Valley (Brenner, Tyrol). The «Gschnitz Stage» is more an age-equivalent (Ivy-Ochs et al. 2006) to the «Chiuro (Valtellina) stage» according to Hantke (1983, 2011). Hantke (1983) broadened the socalled «Veltliner Stage», however, almost arbitrarily far beyond Chiuro to include Sondrio and Morbegno, a terminological convention that clearly needs to be defined more precisely.

## 1 Vorwort

Auf die mehrfach in Moränen eingelagerten Bergsturzmassen von Miralago wurden in Zusammenhang mit den Projektierungsarbeiten zum Pumpspeicherwerk Lagobianco (Repower AG) von 2011 bis 2013 umfangreiche Sondierungen angesetzt. Die Resultate wurden in den Projektberichten BTG 2012 und 2013 detailliert beschrieben und aufgezeichnet, sowie an Fachtagungen und in Fachzeitschriften darüber berichtet (Zwahlen 2015, ohne Sondierungen auf den Bergsturz). Im Zentrum stehen die folgenden Sondierstandorte und Untersuchungen: Miralago Satellitensee, Zwischenlager Motta di Miralago, Nebenanlagen Camp Martin, <sup>14</sup>C-Altersdatierungen an Holzfunden aus Bohrkernen der Sondierkampagnen 2010 bis 2012, RhB (Rhätische Bahn)-Brücke Miralago.

Staub (1946) kartierte den Bergsturz von Miralago detailliert und Heim (1932) hat ihn beschrieben. Burga (1987) gibt eine Übersicht zur Vegetationsentwicklung in der ausgehenden Würmeiszeit im Valposchiavo. Mit <sup>14</sup>C-Altersdatierungen an Holzfunden aus Bohrkernen der Sondierkampagnen 2010 bis 2012 konnte der Bergsturz erstmals genau datiert werden (BTG 2012). Im vorliegenden Bericht sollen diese dokumentiert und beschrieben werden, denn die Resultate waren bis anhin nur in den nicht öffentlich zugänglichen Projektberichten festgehalten. Die Repower AG in Poschiavo hat dem Vorhaben in verdankenswerter Weise zugestimmt. Der vorliegende Berichtsauszug aus den geologisch-geotechnischen

Projektgrundlagen ist damit als Nachtrag zu Zwahlen (2015) zu verstehen.

## 2 Geologie des Bergsturzes von Miralago

Die geologische Einbettung des Bergsturzes von Miralago ist in Figur 1 und Figur 2 dargestellt. Staub (1946) hat den Bergsturz sehr detailliert kartiert. Eine Revision dürfte höchstens aufgrund von neu vermessenen Topographien exakter ausfallen.

### 2.1 Aufbau der quartären Lockergesteinsablagerungen

Besonders wichtige <sup>14</sup>C-datierte Hölzer, die zur Datierung des Bergsturzes Hinweise lieferten, konnten aus den Kernbohrungen (KB) 23, 24 und 35 gewonnen werden. Diese wurden im Gebiet von Miralago abgeteuft (Fig. 3). Anhand der Sondierbohrungen war es möglich, die Lockergesteine der Talfüllung detailliert zu charakterisieren (Fig. 4).

**Grundmoräne:** Braun-beiger, oft rostig angewitterter Sand oder Kies mit wenig bis viel Steinen, lokal mit kleinen Blöcken (Ø 20-30 cm), mässig bis stark siltig, erdfeucht, sehr dicht gelagert (vorbelastet). Die Grobkomponenten sind kantengerundet bis angerundet, vereinzelt gestriemt und bestehen aus unterschiedlichen Gneisen der ostalpinen Kristallincken der benachbarten Talfanken, jedoch nicht aus Brusio-Granit. In rostig angewitterten Lagen können die Komponenten vergrust zerfallen. Typische Korngrössenverteilungen der Grundmoränen fallen in die USCS-Klassen GM, GW-GM, GC-GM, SM, SC-SM (VSS 2008), was die Einlagerung von grobem Kies in siltig-tonige Matrix charakterisiert.

Die Grundmoränen können dem basalen Veltliner-Stadium (Staub 1946, unteres Drittel KB 27) oder dem jüngeren Brusasker-Stadium

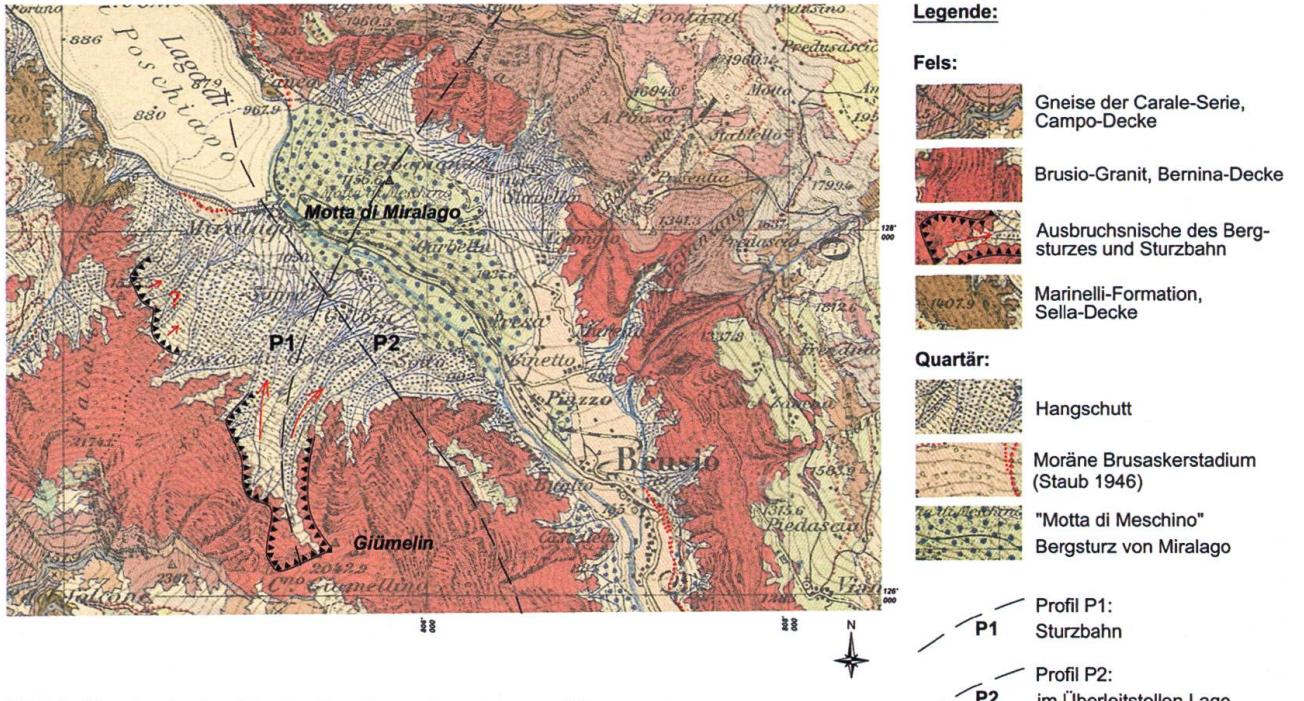


Fig. 1: Geologische Karte des Bergsturzes von Miralago nach Staub (1946).

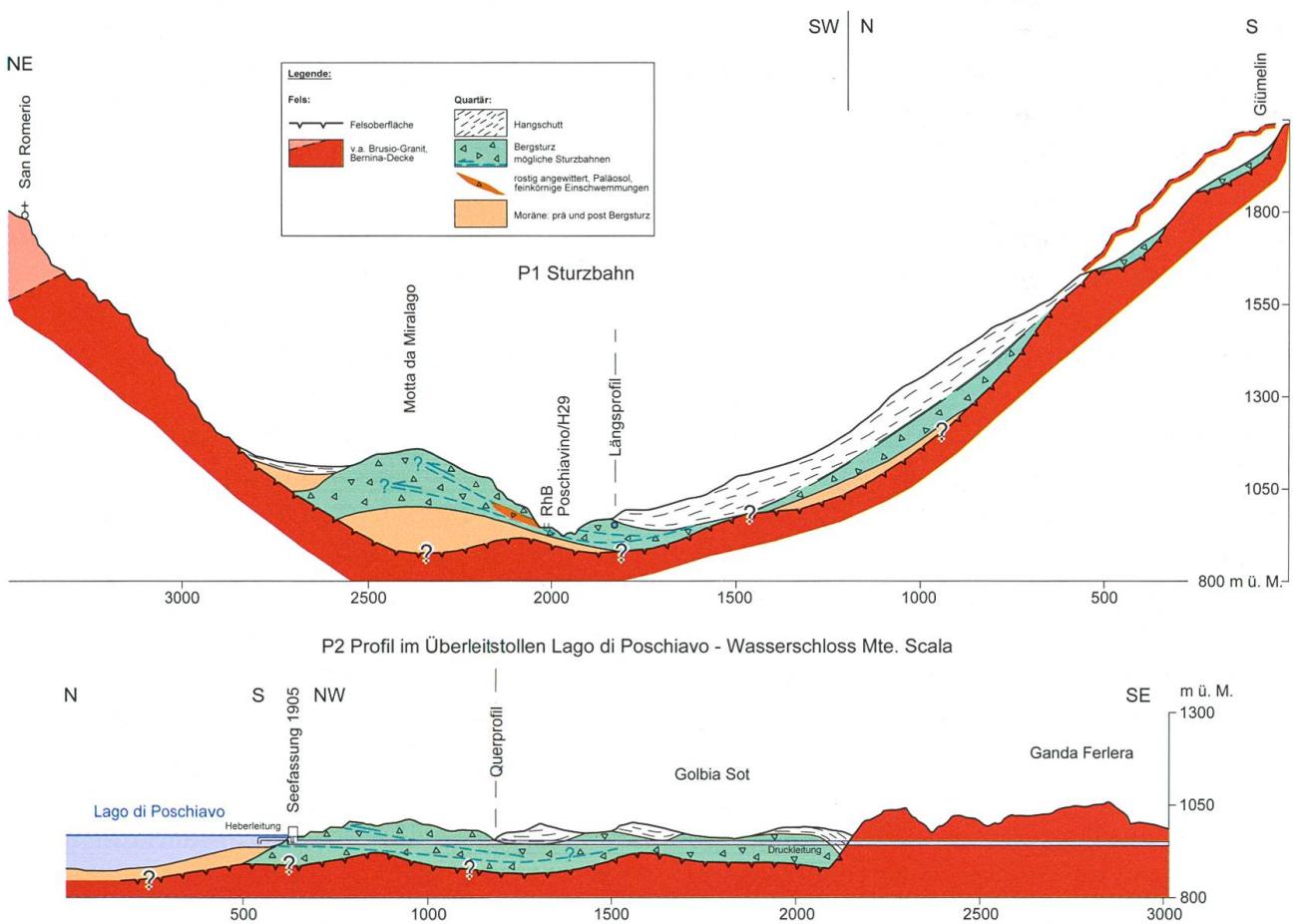


Fig. 2: Profil quer zum Tal und Ausbreitung der Sturzmassen längs zum Tal.

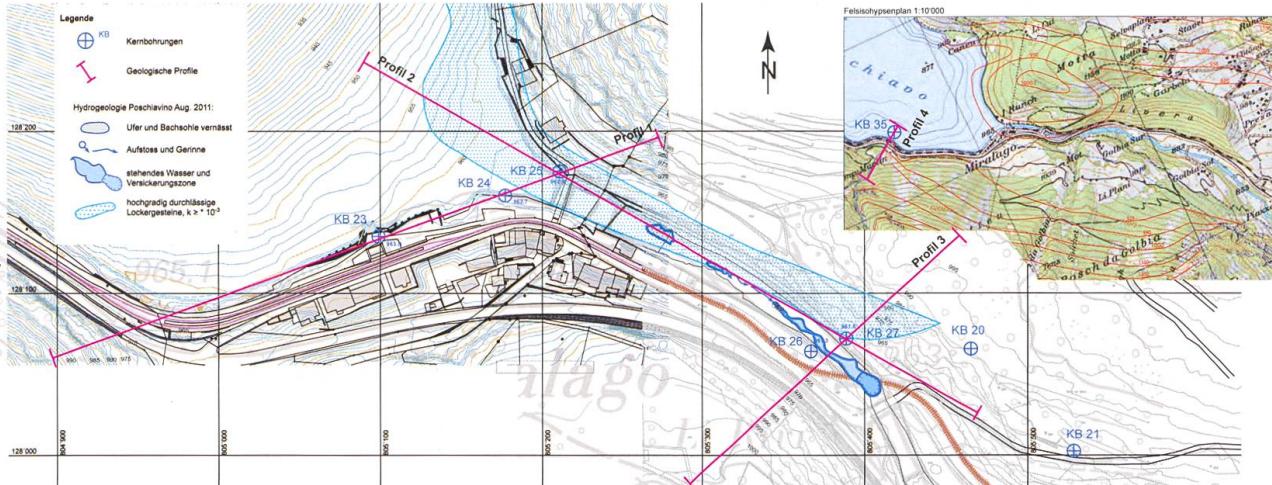


Fig. 3: Situation von Miralago mit Felsisohypsenplan, Sondierbohrungen und Profilspuren zu Fig. 4 gemäss BTG (2012) Miralago Satellitensee.

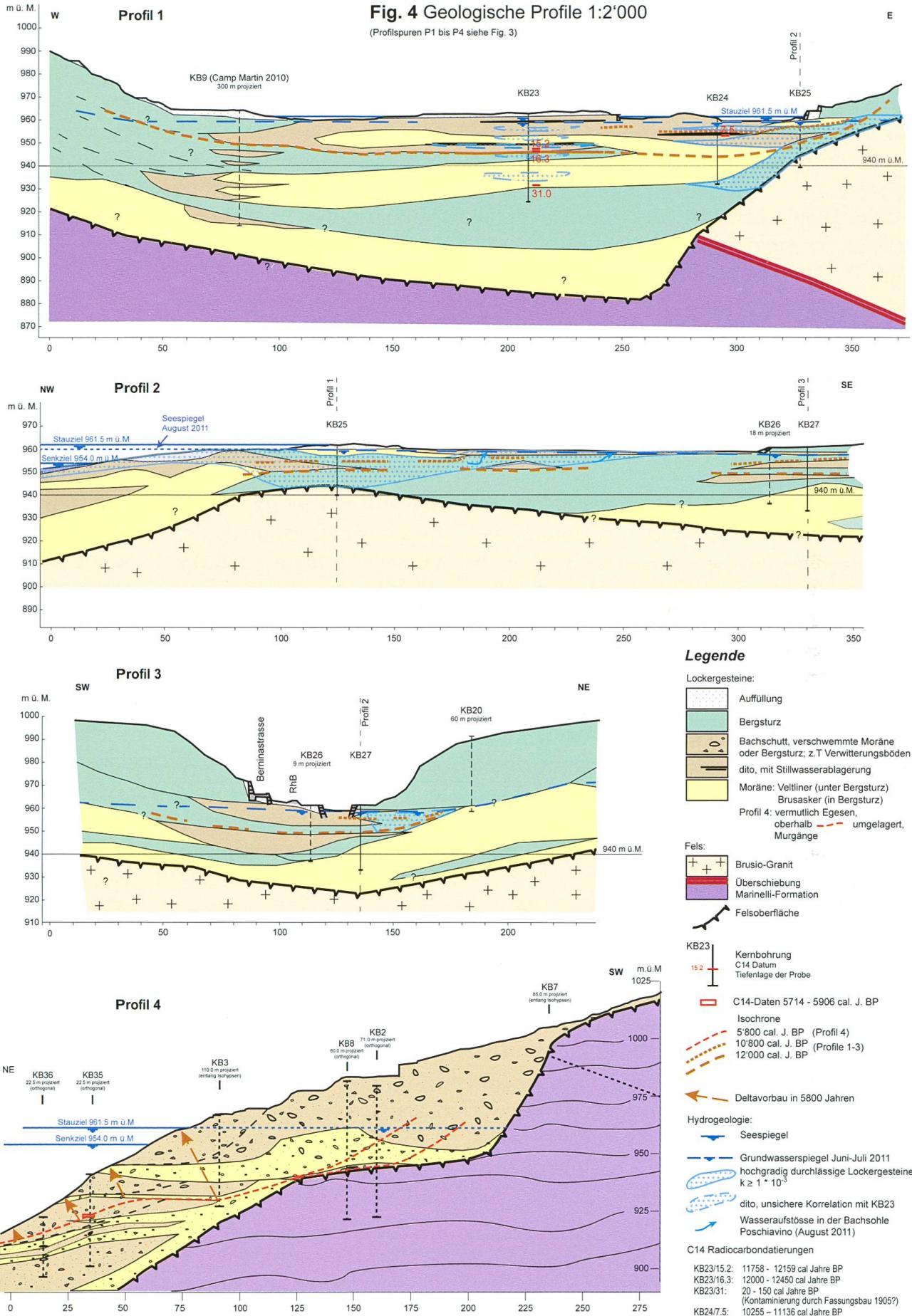
(Staub 1946, in Bergsturz zwischengelagert KB 23 und KB 24) zugeordnet werden. Gemäss der geologischen Profile in Figur 4 sind die Grundmoränen unter dem Seebecken und unter dem Bergsturz von Miralago sehr unregelmässig verteilt. Sie können fluviatil erodiert (Bachschutt) oder durch die Sturzmassen weggeschrämt worden sein. Die mehrmalige Verzahnung der Grundmoräne mit Sturzmassen und/oder mit Bachschutt lässt auf wiederholte Sturzereignisse und Gletschervorstösse schliessen.

**Obermoräne:** Beiger bis grauer Sand oder Kies mit wenig bis viel Steinen, lokal mit Lagen aus kleinen Blöcken ( $\varnothing$  20-50 cm), mässig bis stark siltig, erdfeucht, mitteldicht bis dicht, ab 20 m Tiefe sehr dicht gelagert. Die Grobkomponenten sind kantengerundet bis angerundet und bestehen aus polymikten Gneisen, worunter auch Biotit-Chlorit-Gneise der unweit anstehenden Marinelli-Formation erkennbar sind. Vereinzelt wurde auch Brusio-Granit bestimmt, der möglicherweise aus Bergsturzmaterial aufgearbeitet wurde. Basale Lagen sind im Kontakt mit Bergsturzmaterial z.T. rostig angewittert. Die USCS-Klassen sind ähnlich wie in den Grundmoränen allerdings mit höherem Sandgehalt (GM-SM, SM) und kaum tonigem Silt (SC-SM). Obermoränen werden durchwegs dem jüngeren Brusasker-Stadium (STAUB 1946) zugeordnet.

**Bergsturzmasse:** Graue bis rostig-beige Steine und Blöcke, schwach sandig, schwach bis reichlich kiesig, wenn verschwemmt dann lagenweise stark siltig-sandig. Komponenten kantig bis angerundet praktisch monomikter Brusio-Granit. Komponentengefüge dicht verkeilt, z.T. mit kavernösen Hohlräumen. USCS-Klassifikation: GW, GM, GW-GM, was auf die kiesig-steinige Grobfraktion hinweist.

**Bachschutt, Murgangablagerungen:** Braungrauer Kies oder Sand, stark sandig bzw. kiesig, lagenweise siltig, mit wenig bis viel Steinen, vereinzelte Blocklagen. Komponenten kantengerundet bis gerundet, z.T. rollig, polymikte Gneise (darunter Marinelli-Formation), Brusio-Granit (wenn in Bergsturz zwischengelagert): Lagerung mitteldicht bis dicht, ab 20 m Tiefe sehr dicht, meist nass. USCS-Klassifikation: ähnlich wie in der Bergsturzmasse aber mit höherem Sandgehalt (SW-SM).

**Stillwassersedimente, Schwemmschichten, Verwitterungsböden oder Bachschutt:** Dunkelgrauer Silt, sandig, schwach kiesig, schwach tonig, ± organisch. Schwemmschichten zudem mit rostig-beigem Kies oder Sand, stark siltig, leicht tonig. Komponenten kantengerundet bis gerundet, polymikte Gneise und Brusio-Granit, z. T. stark verwittert. Lagerung mitteldicht bis dicht, meist nass. USCS-Klas-



sifikation: CL-ML, SC-SM (tonig-siltiger Sand) bis GM, SM (gröbere Kies- und Sandlagen).

## 2.2 Alter des Bergsturzes bezüglich seiner Superposition mit Lokalmoränen

Staub (1946) kartierte die Sturzmasse als «Bergsturz des Veltliner Stadiums» (siehe Fig. 5), dem relativ ältesten Glazialstadium auf seiner «Geologischen Karte der Bernina-Gruppe». Offenbar hat er die kartierten Superpositionen derart interpretiert, dass die Sturzmassen von den Moränen des nächst jüngeren Brusasker-Stadiums umlagert werden. Die Sondierbohrungen haben diese Ansicht, abgesehen von der Zuordnung zu «Gschnitz», bestätigt. Es konnten mehrfache Wechsel- und Anlagerungen von Moränen mit und an die Bergsturzmassen nachgewiesen werden. Wie Staub (1946) richtig feststellte, werden die Sturzmassen durchgehend von den ältesten Veltliner-Moränen unterlagert, verfingern sich jedoch mehrmals mit den jüngeren Brusaskermoränen. Der Bergsturz von Miralago ist daher definitiv ein spätglaziales Ereignis (Allerød bis Jüngere Dryas, siehe Fig. 5), auch wenn ihn Heim (1932) als prähistorisch-postglazial bezeichnete.

## 3 <sup>14</sup>C-Datierungen der erbohrten fossilen Hölzer

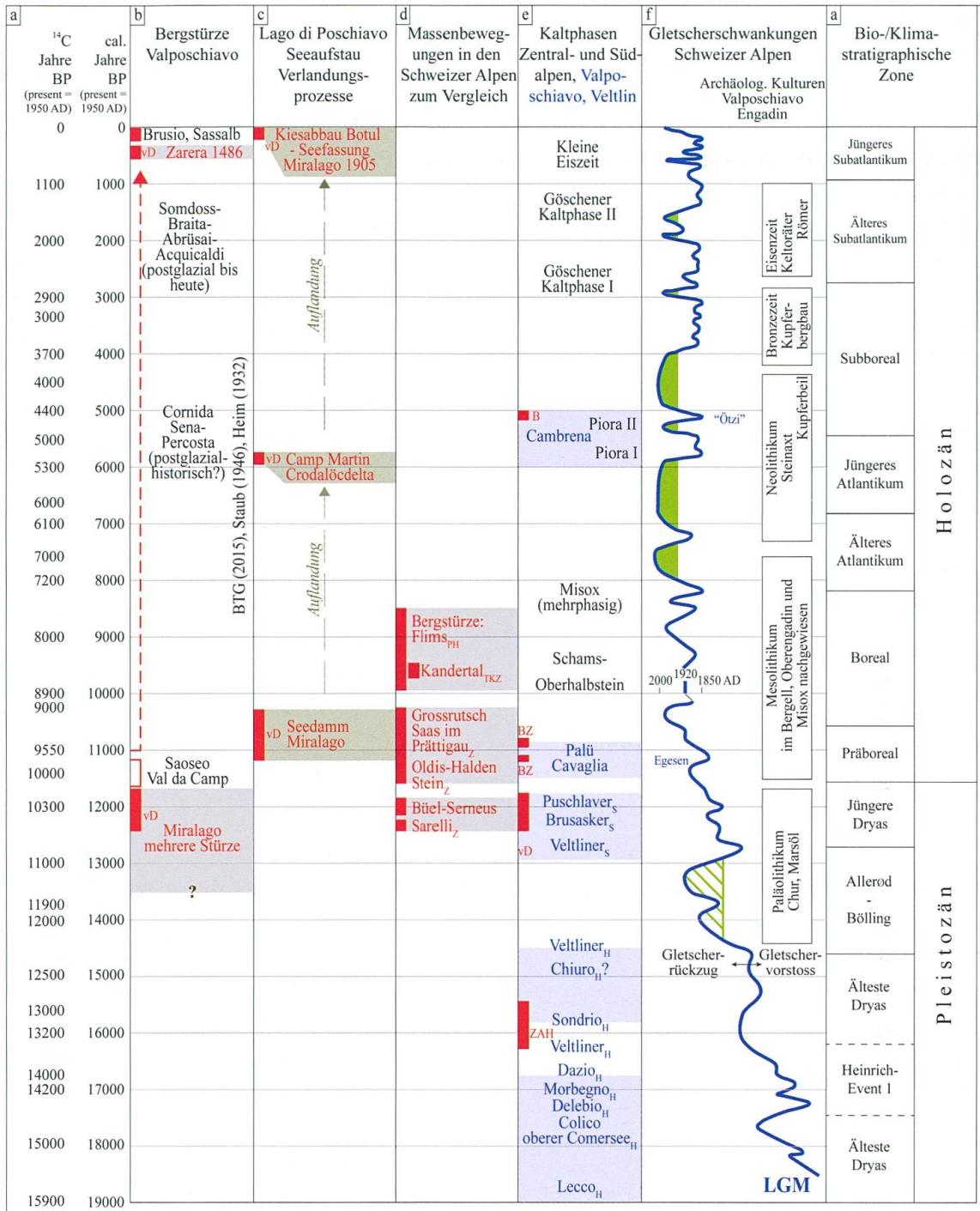
Die <sup>14</sup>C-Analysedaten der Holzproben sind in Figur 6 aufgelistet und nach Sondierbohrung und Fundtiefe geordnet. Die ältesten Proben (Jüngere Dryas) stammen aus KB 23 aus 15,2 bis 16,3 m Tiefe. Sie lagerten im Dach einer Bergsturzzunge (nicht der obersten) und entlang der Basis von siltig-tonigem, dunklem Bachschutt. Dieser wird von ca. 5 m mächtiger Moräne überlagert (Brusasker-Stadium nach Staub 1946). Die Holzprobe KB 23/15,2 besteht aus aufgespleistten, hellbeigen Fasern (vermutlich Föhre *Pinus* sp.) und einem hart gepressten Splintholzstück, das nach dem abbürsten der schwar-

zen Aussenschichten noch das Braun des ursprünglichen Holzes zeigt. Mit einer Holzanalyse konnte bestimmt werden, dass es sich um Lärche (*Larix decidua*) handelt (siehe Anhang 1, Artbestimmung durch Lab. Schoch). Die Holzprobe KB 23/16,3 aus dem Dach des Bergsturzes bestand aus wenig zerquetschten Fasern und einzelnen Holzkohlestückchen, die aus der siltigen Matrix geschlämmt werden mussten. Die beiden gemessenen Alter von annähernd  $12100 \pm 300$  cal. BP (Jüngere Dryas) belegen gemäss der interpretierten Bohr- und Talprofile (Fig. 4 und Fig. 5) die jüngsten Sturzereignisse des Bergsturzes von Miralago. Ob es sich dabei um die Hauptmasse des Sturzes (Motta da Miralago oder Meschino) handelt oder um kleinere Nachstürze, lässt sich mit den vorliegenden Aufnahmedaten nicht entscheiden (siehe P1 Sturzprofil in Fig. 2). Sicher ist nur, dass die jüngeren Stürze während der Jüngeren Dryas nochmals von Brusaskermoränen gemäss Staub (1946) eingedeckt wurden.

Die Probe KB 23/31 enthielt das jüngste Holz, das analysiert wurde. Es wurde ein Alter von ca. 100 Jahren bestimmt. Offenbar wurden dabei von der Bohrkrone Reste von Holzverschalungen oder -verstrebungen aus dem nahegelegenen Seefassungsbau von 1905 (Anon 1908) erfasst und mitgerissen.

Die Probe aus KB 24/7,5 stammt aus feinkörnigen Lagen innerhalb von Bachschutt. Turbulente Bachströmungen wechselten offenbar kleinräumig und kurzzeitig mit Stillwasserbecken. Das Alter von  $11'136-10'255$  cal. Jahre BP (Präboreal) lässt auf den beginnenden Aufstau des Lago di Poschiavo schliessen. Die Holzfasern mussten aus der feinkörnigen Matrix geschlämmt werden. Es handelt sich wahrscheinlich um Föhrenfasern (*Pinus* sp.), wobei der Befund fraglich ist.

In der Seebohrung KB 35 bei Camp Martin wurde in 17,4-17,8 m Tiefe ab Seegrund innerhalb des Crodalötschdeltas vermodertes, faseriges Holz und vertorfte Rinden ange-



#### Erläuterung der Spalten

- [a] Alterskalen und Klimazonen nach Zwahlen (2008, 2012), Blant et al. (2010), Burga & Perret (1998), van Raden (2013)
- [b] Bergstürze Valposchiavo
- [c] Lago di Poschiavo, Seeaufstau, Verlandungsprozesse
- [d] Massenbewegungen in den Schweizer Alpen zum Vergleich
- [e] Kaltphasen Zentral- und Südalpen, Stadien Valposchiavo-Veltlin
- [f] Gletscherschwankungen in den Schweizer Alpen (Burga & Perret)

#### Zitate

- vD vorliegende Daten
- PH v. Poschinger & Haas (1997)
- TKZ Tinner, Kaltenrieder, Zwahlen et al. (2005)
- Z Zwahlen (2008)
- B Beeler (1981)
- BP Burga & Perret (1998)
- BZ Beeler (1981) und Zoller (1998)
- ZAH Zoller, Anthanasiadis & Heitz-Weniger (1977), Moor Pian di Gembro, Aprica Pass
- S Staub (1946), H Hantke (1983)

Fig. 5: Alterskorrelationen geologischer Bildungsprozesse in Zusammenhang mit dem Bergsturz von Miralago.

bohrt. Die Beurteilung auf dem Bohrpontron liess auf mehrere grössere Stamm- oder Aststücke von Koniferen schliessen. Das Alter von 5906-5714 cal. Jahre BP (Jüngerer Atlantikum) lässt zumindest ab dem Boreal innerhalb von 6000 Jahren auf einen lokalen Deltavorbau von ca. 18 m zu 25 m und einer Deltaböschung 30-42° schliessen (Fig. 4).

Die nachgewiesene Lärche und die Faserreste von vermuteten Föhren in der Jüngeren Dryas und dem Präboreal finden in Burga & Perret (1998) eine Bestätigung. Die Lärchen-Föhren-Mischwälder sind im Valposchiavo ab Allerød über grosse Höhenstufen verbreitet, dies zusammen mit der hier nicht nachgewiesenen Arve. Der Kälteeinbruch der Jüngeren Dryas vermochte diesen Waldtyp offenbar nicht aus dem Südtal zu verdrängen.

Im Laufe der Sondierkampagne wurden aus den vorherrschend grobkörnigen Ablagerungen keine Proben zur Pollenanalyse ausgesondert. Einige Probentaschen mit Holzresten enthalten noch angelagerten tonigen Silt-Sand. Daraus könnten, falls Interesse besteht, Versuche unternommen werden, Pollenassoziationen zu isolieren. Entsprechende Proben sind bei P. Zwahlen am BTG

hinterlegt.

#### 4 Zusammenfassende Interpretation

Wie aus den  $^{14}\text{C}$ -Altersanalysen abgeleitet (Fig. 6) werden kann, baut sich der Bergsturz von Miralago aus vermutlich mehreren Sturzereignissen innerhalb der Jüngeren Dryas auf. Erste Stürze sind möglicherweise bereits im späten Allerød niedergegangen. Die Sturzmassen lagern weitgehend auf Grundmoränen des Veltliner-Stadiums (Staub 1946), das der Ältesten Dryas zugeordnet wird. Brusaskermoränen (Staub 1946) lagern zwischen und randlich zu den Sturzungen. Mit den vorliegenden Datierungen ist das Brusasker-Rückzugsstadium ebenfalls eine Bildung der Kälteregression der Jüngeren Dryas. Ob es sich tatsächlich um ein Rückzugsstadium handelt oder allenfalls um einen Wiedervorstoß bleibt offen. Das nochmals jüngere Puschlaver-Stadium gemäss Staub (1946) hat nach dessen Kartierung das Seebecken nicht mehr erreicht. Der Seeaufstau ist erst ab dem Präboreal nachweisbar.

Mit den hier vorgestellten spätglazialen Ereignissen drängt sich erneut (Zwahlen 2017) die Erkenntnis auf, dass der über 1500 Jahre

<b><math>^{14}\text{C}</math> Radiocarbon-Datierungen, Datentabelle</b>							
Projekt Lagobianco, Sondierkampagne 2011, Aussenanlagen Valposchiavo							
Teilprojekt, Berichtsnummer	Probennummer	Labornummer	Alter C14 conv. Jahre BP	Messfehler $\pm$ Jahre	Alter calibriert cal Jahre BP, 2D	Labor	Messmethode
Satellitensee Miralago, 5346-8	KB23/15.2	B-10023	<b>10250</b>	$\pm 50$	<b>11758 - 12159</b>	Uni Bern	C14-Aktivität Methan
Satellitensee Miralago, 5346-8	KB23/16.3	ETH-44243	<b>10290</b>	$\pm 40$	<b>11950 - 12400</b>	ETH Zürich	Ionenstrahl
Satellitensee Miralago, 5346-8	KB23/31	ETH-44241	<b>95</b>	$\pm 30$	<b>150 - 20</b>	ETH Zürich	Ionenstrahl
Satellitensee Miralago, 5346-8	KB24/7.5	B-10028	<b>9410</b>	$\pm 160$	<b>10255 - 11136</b>	Uni Bern	C14-Aktivität Methan
EAB LdP Camp Martin, 5346-19	KB35/17,4-17,8	B-10026	<b>5050</b>	$\pm 40$	<b>5714 - 5906</b>	Uni Bern	C14-Aktivität Methan

Erläuterungen:  
 Jahre BP (before present) bezieht sich auf das Jahr 1950 (= 0 in der Zeitskala). Alterskalibrierung [cal BP] nach Stuiver et al. (1998/1999)  
 Uni Bern: Radiocarbon-Labor Physik.Inst; ETH-Zürich: Lab. Ion Beam Physics.

Fig. 6:  $^{14}\text{C}$ -Radiocarbon-Datierungen der Holzproben.

anhaltenden Kälteregression der Jüngeren Dryas (Rasmussen et al. 2014 und Fig. 5) ein wesentlich grösseres Gewicht in der Klimgeschichte innerhalb des Alpenraums zugewiesen werden muss, als bisher angenommen.

## 5 Ausblick auf weitere Forschungsarbeiten

Einige Ereignis- und Zeitkorrelationen bedürfen, nach der Einschätzung des Autors, noch genauerer Bestätigung. Die Staub'schen Glazialstadien (Staub 1946) sollten anhand von Moorprofilen in Zungenbecken oder extramoränen Moorgebieten zeitlich genauer erfasst werden. Mit dem Gschnitz-Stadium im Tirol (Brennergebiet) können diese kaum korreliert werden, jedenfalls nicht nach heutiger Altersauffassung (Ivy-Ochs et al. 2006). Moorgebiete, die sich für entsprechende Analysen anbieten, sind im Valposchiavo in jeder Höhenlage verbreitet.

Weitere Untersuchungen erfordert die Frage nach dem Veltliner-Stadium gemäss Staub (1946) und/oder Hantke (1983). Zur Überprüfung von bestehenden Arbeiten und für neue Untersuchungen bieten sich Moränenwälle und Moorgebiete im gesamten Veltlin samt seinen Seitentälern an (Hantke 2011). Die in der Korrelationstabelle in Figur 5 vorgenommene Zuweisung des Alters der Moorbasis des Pian di Gembro (Älteste Dryas, Zoller et al. 1977) auf das Chiuro-Stadium (Hantke 1983) dürfte ein kühner, wenn nicht voreiliger Wurf darstellen. Spannende Fragen für interdisziplinär arbeitende Naturwissenschaftler stehen in den Südalpentälern jedenfalls noch genügend an.

## Danksagungen

Die Grundlagepläne und -daten zur vorliegenden Arbeit wurden von 2010 bis 2014 anlässlich der Projektierung des Pumpspeicherkraftwerkes im Auftrag der Repower AG Poschiavo am Büro für Technische Geologie AG (BTG) in Sargans erarbeitet. Die projektierende Repower AG gab die diskutierten Daten zur vorliegenden Publikation frei. Die Berichtsauszüge, insbesondere die Digitalisierung der Pläne und Karten, die Figuren und Profile wurden am BTG AG in Sargans durch die Zeichnerin Vivianne Lareida und die Sekretärin Daniela Schwitter redigiert und Daniel Figi, Ingenieurgeologe und ehemaliger stellvertretender Projektgeologe hat den Publikationsentwurf korreliert. Das BTG hat dem Verfasser Peter Zwahlen die unverzichtbare Infrastruktur zur Verfügung gestellt. All diesen Kolleginnen und Kollegen am BTG und des Projektteams der Repower AG sei damit der herzlichste Dank ausgesprochen.

Mit Planlieferungen, Datierungen und wissenschaftlichen Beratungen haben die Swisstopo, die Radiocarbonlabor des Physikalischen Instituts der Universität Bern und der Ion Beam Physics an der ETH sowie das Labor für quartäre Hölzer, W.H. Schoch wesentlich zum Gelingen der vorliegenden Arbeit beigetragen.

## Literatur

- Anon 1908: Die Kraftwerke Brusio und die Kraftübertragung nach der Lombardei. Schweizer. Bauzeitung, Bd. LI, Nr. 1-13, Kommissionsverlag Rascher & Cie. Zürich.
- Beeler, F. 1981: Das Spät- und Postglazial im Berninapassgebiet. Geographica Helvetica, Heft 3, 1981.
- Blant, M., Moretti, M. & Tinner, W. 2010: Effect of climatic and paleoenvironmental changes on the occurrence of Holocene bats in the Swiss Alps. The Holocene, SAGE Publications.
- Burga, C. A. 1987: Gletscher- und Vegetationsgeschichte der südrätischen Alpen seit der letzten Späteiszeit. Denkschr. Schweiz. Naturf. Ges. 101, Basel.
- Burga, C. A. & Perret, R. 1998: Vegetation und Klima der Schweiz seit dem jüngeren Eiszeitalter. Ott Verlag Thun.
- Hantke, R. 1983: Eiszeitalter 3, Westliche Ostalpen und Südalpen zwischen Dolomiten und Mont-Blanc. Ott Verlag Thun.
- Hantke, R. 2011: Eiszeitalter, Kalt-/Warmzeit-Zyklen und Eistransport im alpinen und voralpinen Raum. Ott Verlag/hep Verlag AG Bern.
- Heim, A. 1932: Bergsturz und Menschenleben. - Separatdruck aus der Vierteljahrsschrift der Natf. Ges. Zürich 1932, Gebr. Fretz AG Zürich.
- Ilyashuk, B., Gobet, E., Heri, O., Lotter, A. F., Van Leeuwen, J. F. N., Van Der Knaap, W. O., Ily-

- ashuk, E., Oberli, F. & Amman, B. 2009: Late glacial environmental and climatic changes at the Maloja Pass, Central Swiss Alps, as recorded by chironomids and pollen. *Quaternary Science Reviews* 28, 1340-1353.
- Ivy-Ochs, S., Kerschner, H., Kubik, P. W. & Schlüchter, C. 2006: The Glacier response in the European Alps to Heinrich event 1 cooling: The Gschnitz stadial. *Journal of Quaternary Science*, 21 (2), 115-130.
- Müller, H. J. 1972: Pollenanalytische Untersuchungen zum Eisrückzug und zur Vegetationsgeschichte im Vorderrhein- und Lukmaniergebiet. *Botanisches Inst. Uni. Basel, Flora Bd. 161* (1972).
- Von Poschinger, A. & Haas, U. 1997: Der Flimser Bergsturz, doch ein Warmzeitliches Ereignis?. *Bull. angew. Geol.* Vol 2/1.
- Van Raden, U. J., Colombaroli, D., Gilli, A., Schwander, J., Bernasconi, S. M., Van Leeuven, J. F. N., Leuenberger, M. & Eicher, U. 2013: High-resolution late-glacial chronology for the Gerzensee lake record (Switzerland):  $\delta^{18}\text{O}$  correlation between a Gerzensee-stack and NGRIP. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 391: 13-24 2013
- Rasmussen, S. O., Bigler, M., Blockley, S. P. et al. 2014: A stratigraphic framework for abrupt climatic changes during the last glacial period based on three synchronized Greenland ice-core records. *Quaternary Science Reviews* 106, 14-28.
- Staub, R. 1946: Geologische Karte der Bernina-Gruppe 1:50'000. Geologische Spezialkarte Nr. 118. Schweiz. Natf. Ges., Schweiz. Geol. Komm. Orell Füssli Zürich.
- Stuiver, M., Reimer, P. J. & Reimer, R. et al. 1998. Intcal98 Radiocarbon Age Calibration, 24'000 - 0 cal BP. *Radiocarbon*, Vol. 40, No. 3, p. 1041-1083 und 1999 CALIB Radiocarbon Calibration. HTML version 4.2, Execute at Queen's University, [www.calib.org](http://www.calib.org).
- Tinner, W., Kaltenrieder, P., Soom, M., Zwahlen, P., Schmidhalter, M., Boschetti, A. & Schlüchter, C. 2005: Der nacheiszeitliche Bergsturz im Kandertal [Schweiz]: Alter und Auswirkungen auf die damalige Umwelt. *Eclogae geol. Helv.* 98.
- VSS Schweizerischer Verband der Strassenfachleute 2008: Geotechnische Erkundung und Untersuchung. Bodenklassifizierung nach USCS. Schweizer Norm SN 670 004-2b-NA, VSS Zürich 2008.
- Zoller, H., Anthanasiadis, N. & Heitz-Weniger, A. K. 1977: Pollendiagramme Palü und Pian di Gembro. Alpqua-Führer.
- Zwahlen, P. 2008: Geologische Karte des Quartärs im Prättigau. *Geographica Helvetica, Swiss Journal of Geography*, Heft 3 2008.
- Zwahlen, P. 2012: Entstehung der Naturlandschaft in: Geschichte des Kantons Schwyz, Band 1, Zeiten und Räume. Chronos, Ed. Historischer Verein des Kantons Schwyz.
- Zwahlen, P. 2015: Pumpspeicherkraftwerk Lagobi-  
anco - der Ingenieurgeologe im Projektierungsprozess. *Swiss Bulletin für angewandte Geologie*, Vol. 20/1, 2015, Ed. SASEG, SFIG/GSGI.
- Zwahlen, P. 2016/2017: Würmeiszeit und die Rückzugsstadien im Alpenrheintal. *GeoTirol* 2016, Annual Meeting DGGV 25.-28. September 2016 Universität Innsbruck und Swiss Geoscience Meeting SGM 2017 Davos, Posterpräsentation.
- Zwahlen, P. 2018: Klimageschichte der späten Würm-Eiszeit im hinteren Prättigau - Funde von fossilen Hölzern aus den Baugruben der A28a Prättigauerstrasse zwischen Küblis und Sernen 1980 bis 2009,  $^{14}\text{C}$ -Datierungen und Holzartenbestimmung. *Swiss Bull. angew. Geol.* Vol. 23/2, 2018.

#### Grundlagenberichte Büro für Technische Geologie

- BTG Büro für Technische Geologie AG 2011: Projekt Lagobianco, Konzessionsgesuch, Druckstollen, Wasserschloss, Druckschacht. Geologisch-Geotechnischer Bericht Nr. 5346-2 vom 11. März 2011. Repower AG Poschiavo.
- BTG Büro für Technische Geologie AG 2012: Projekt Lago Bianco, Miralago Satellitensee. Geologisch-Geotechnischer Bericht Nr. 5346-8 vom 24. Januar 2012. Repower AG Poschiavo.
- BTG Büro für Technische Geologie AG 2012: Projekt Lago Bianco, Nebenanlagen Camp Martin. Geologisch-Geotechnischer Bericht Nr. 5346-19 vom 27. Januar 2012. Repower AG Poschiavo.
- BTG Büro für Technische Geologie AG 2012: Projekt Lago Bianco, RhB-Brücke Miralago. Geologisch-Geotechnischer Bericht Nr. 5346-35 vom 31. Oktober 2012. Repower AG Poschiavo.
- BTG Büro für Technische Geologie AG 2013: Projekt Lago Bianco, C14 Altersdatierungen an Holzfunden aus Bohrkernen der Sondierkampagnen 2010 bis 2012, Ergänzung bzw. Revision von bestehenden Baugrundmodellen. Bericht Nr. 5346-40 vom 28. Februar 2013. Repower AG Poschiavo.
- BTG Büro für Technische Geologie AG 2015: Gemeinde Poschiavo, Technischer Bericht zur Gefahrenkarte, Prozess Sturz, Nr. 5663 vom September 2015. Amt für Wald und Naturgefahren (AWN) Graubünden.

## Anhang

Artbestimmung von datierten Hölzern durch das Labor für quartäre Hölzer, W. H. Schoch, 8135 Langnau am Albis.

### Probe 1

Sondierbohrung KB 23 anfangs August 2011 gebohrt, Probentiefe 15.2 m, (siehe Fig. 4 Profil 1) Bachschutt zwischen Bergsturz und Moräne. Seedamm Miralago, Koordinaten 805'100 / 128'134, 963.5 m ü.M.

Hart gepresstes, gut konserviertes Splintholzstück mit schwarzbraun verwitterter Oberfläche (Foto unten rechts), unter der die ursprüngliche, dunkelbraune Holzfärbung freigeübürstet werden kann (Foto unten links). Dieses Probenstück wurde als Lärche



(grösste Breite: 4 cm)

(*Larix decidua*) artbestimmt. Die  $^{14}\text{C}$ -Datierung ergab 12'159 - 11'758 cal. J. BP, «Jüngere Dryas».

Mit dem Lärchensplitter wurden auch beige graue aufgespleistte Holzfasern (vermutlich *Pinus* sp.) angebohrt, die jedoch nicht näher artbestimmt wurden.

#### Anatomische Merkmale in Mikroschnitten:

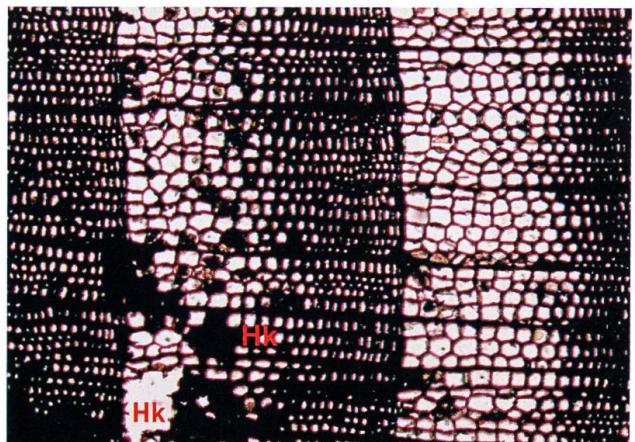


Sägeschnitt: Schmale Jahrringe (10/5mm) vom Frühholz scharf abgegrenztes Spätholz.

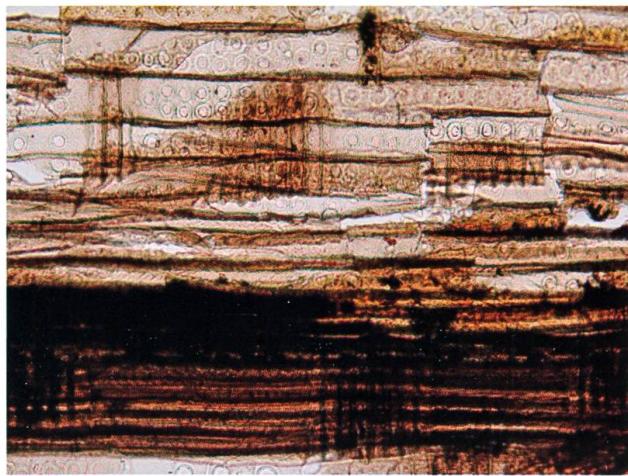
Der Sägeschnitt eröffnet ein Jahrringbild eines tangential abgespaltenen Splitters. Die Jahrringkrümmung lässt auf ein Stammholz von mindestens 15 cm Durchmesser schliessen, der jedoch auch wesentlich mehr gemessen haben kann. Die durchschnittliche Jahrringbreite von 0.5 mm (rel. schmal) deutet auf einen Wuchsstandort in höheren Lagen (möglich sind 1000 - 2000 m ü.M.) oder eben auf das generell kühlere Klima der «Jüngeren Dryas» hin.



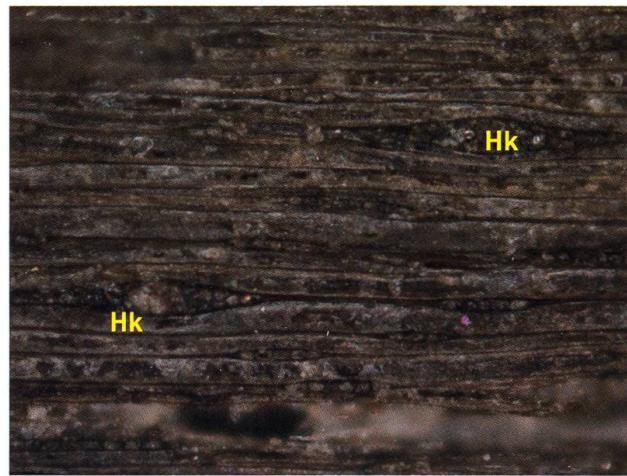
Die Holzprobe ist gut erhalten; ein biologischer Abbau ist gut erkennbar, lässt aber die anatomischen Merkmale sehr gut erkennen. Die Zellstrukturen sind intakt und kaum gepresst, obwohl das Holz unter mindestens 15 m Sturzmassen und Moräne eingelagert war.



Nadelholz, Jahrringe (0.5 mm) mit ausgeprägtem Spätholz, Hk: Harzkanal.



Radialschnitt: Abrupter Übergang von Früh- zu Spätholz (unten). Kleine Tüpfel in den Markstrahlzellen und viele Tüpfel in Doppelreihen in den Tracheiden (oben).



Tangentialfläche mit oberflächlichen Harzkanälen Hk (3D-Auflichtmikroskop). Merkmal für *Larix decidua*.

## Probe 2

Seeböhrung KB 35, Crodalötschdelta, Koordinaten 804'576 / 128'407, 941.5 m ü.M.  
30 cm verwitterte und vertorfte Holzfasern und Rinden in 17.5 m unter Seeboden.  
 $^{14}\text{C}$ -Datierung: 5906 - 5714 cal. J. BP, Jüngeres Atlantikum, Bachschutt im Deltavorbau.  
Holzart nicht näher bestimmt. Zur Zeit des neolithischen Optimums sind im Valposchiavo alle heute vorkommenden Waldbäume, Koniferen wie Laubbäume, zu erwarten (Burga et al 1998).

