

**Zeitschrift:** Swiss bulletin für angewandte Geologie = Swiss bulletin pour la géologie appliquée = Swiss bulletin per la geologia applicata = Swiss bulletin for applied geology

**Herausgeber:** Schweizerische Vereinigung von Energie-Geowissenschaftlern; Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie

**Band:** 23 (2018)

**Heft:** 2

**Artikel:** Klimageschichte der späten Würm-Eiszeit im hinteren Prättigau : Funde von fossilen Hölzern aus den Baugruben der A28a Prättigauerstrasse zwischen Küblis und Serneus 1980 bis 2009, 14C-Datierungen und Holzartbestimmungen

**Autor:** Zwahlen, Peter

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-832404>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 30.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Klimageschichte der späten Würm-Eiszeit im hinteren Prättigau - Funde von fossilen Hölzern aus den Baugruben der A28a Prättigauerstrasse zwischen Küblis und Serneus 1980 bis 2009, <sup>14</sup>C-Datierungen und Holzartbestimmungen

Peter Zwahlen<sup>1</sup>

## Zusammenfassung

Zum Neubau der A28a Prättigauerstrasse zwischen Küblis Dalfazza und Serneus Bad (Kanton Graubünden, Schweiz) wurden zwischen 1982 und 1992 im Auftrag des Tiefbauamtes Graubünden geologische Sondierungen, u. A. Kernbohrungen und seismische Profile ausgeführt. Ab 2002 bis 2010 erfolgten die entsprechenden Vortriebsarbeiten (BTG-Berichte Kap. 10.3). In vielen Baugruben und Lockergesteinsstrecken der Tunnelvortriebe entlang des ganzen Projektabschnittes wurden immer wieder fossile Hölzer (7 m lange Arvenstämme, Wurzelstöcke, Wurzeln, Äste, vermodertes Holz und Rinde) ausgegraben oder angebohrt. An 20 Proben datierten verschiedene Alterslabors die <sup>14</sup>C-Alter, an 7 Proben davon wurde zudem die Baumart bestimmt.

**Untersuchungsergebnisse:** Die Altersdatierungen decken einen Altersbereich von Bölling (um 14'500 cal Jahre BP, im Folgenden mit cal BP bezeichnet) bis Atlantikum (6'600 bis 7'800 cal BP) ab. Dabei waren die ältesten (alle Bölling) Ast- und Wurzelstücke in der östlichen (oberen) Lockergesteinsstrecke des Saasertunnels wenige Meter über der Felsoberfläche in der Grundmoräne des Kübliser Stadiums eingelagert und bestanden nachgewiesenermassen ausschliesslich aus Wacholder- (Juniperus 3 von 4 Proben) und Weidengehölzen (1 fleischroter Ast). Auf der Obermoräne der Stadien von Serneus und Küblis lagerten die grossen Stämme und Wurzelstöcke von mind. 70 Jahre alten (Lebensalter) Arven (pinus cembra, Präboreal, 2 Stämme) und ca. 50 jährigen Föhren (pinus mugo oder sylvestris, Präboreal, 2 Stämme mit Stockansatz). Entlang der Basis des Saaser Rutsches, wenig über den Obermoränen, wurden nicht weiter identifizierte Aststücke und Holzfasern von vermutlich Koniferen, Weiden oder Erlen aus dem Präboreal bis Boreal (11'500 bis 9'200 cal BP, 6 Proben) erbohrt. Die jüngsten Stämme, Ast- und Rindenstücke (3 Proben, Fichte, picea abies, Atlantikum) lagerten bei Küblis Dalfazza in und seitlich zu einem mächtigen Murgangkegel aus dem Schanielatobel, d.h. dem nördlichen Seitental aus St. Anthönien.

**Interpretation:** Kurz nach der massiven Klimaerwärmung Älteste Dryas/Bølling (GS-2/GI-1 oder DO1-event um 14'650 cal BP, Rasmussen et al. 2014, siehe Fig. 5) schmolz die Eiszunge des Landquartgletschers im Bølling (Spätwürm) so weit in den Talabschnitt Serneus-Klosters zurück, dass sich in den tieferen Talflanken eine Wacholder-Weiden-Buschvegetation etablieren konnte. Im Talboden breitete sich vermutlich gleichzeitig oder spätestens bis ins Allerød eine mehr oder weniger mächtige Eiszunge aus; jedenfalls wurden die Buschgehölze durch temporäre Wiedervorstösse in die Grund- und Seitenmoränen eingewalzt. Die Verteilung von asymmetrischen Bergsturzablagerungen bei Serneus (spätes Allerød bis Jüngere Dryas möglich, siehe Kap. 3.2) spricht ebenfalls für die Existenz einer verbleibenden Eiszunge. Auf entsprechenden Bergsturzflächern, Kamesterrassen und/oder Randmoränen wuchsen im Präboreal hochstämmige Arven und Föhren. Diese lichten Pionierwälder wurden unter spätestglazialen Klimarückschlägen bzw. den Egesen-Vorstössen (Präboreal) aus den höheren Talflanken niedergewalzt oder überschottert, aber wie die Stockansätze und Stammlängen zeigen, wohl nie weit verschleppt. Kurz darauf, noch im Präboreal, destabilisierten sich die Talhänge innerhalb des Prättigau-Flysches (Saaser Rutsch im NE, Conterser Rutsch im SW) vermutlich unter dem Porenwasserdruck von zunehmend abschmelzendem Permafrost. Die Grundgleitung des Saaser Rutsches war dabei noch bis ins Boreal aktiv und überwältigte fortwährend die aufwachsenden Buschwälder, wie sie typisch sind für aktive Rutschgebiete. Die Grossrutsche beider Talflanken gleiten heute noch, aber in um 10 m bis 100 m höheren Niveaus (siehe Fig. 2). Beim Murgangereignis aus dem Schanielatobel bei Küblis handelt es sich um ein, evtl. auch mehrere, unabhängige Niedergänge im feucht-warmen Älteren Atlantikum d.h. wohl unter dem Einfluss der starken Klimaschwankungen innerhalb des «Neolithischen Optimums» (siehe Fig. 5).

<sup>1</sup> Büro für Technische Geologie, BTG, Sargans

## Abstract

For the construction of the «A28a Prättigauerstrasse» between «Küblis Dalfazza» and «Serneus Bad» (Canton of Grisons), exploration drillings were conducted on behalf of the civil engineering department of Grisons («Tiefbauamt Graubünden»), and from 2002 tunneling was done. In several excavation pits and tunnel drives along the new highway, fossil woods (7 m long trunk of stone pines, rootstocks, roots, branches, rotten wood and bark) were frequently discovered. 17 samples were taken and sent to laboratories that conduct <sup>14</sup>C dating, where of seven samples tree species were determined.

**Results:** The age determination revealed ages ranging from Bølling (around 14'500 cal BP) to Atlantic (from 6'600 to 7'800 cal BP). The oldest branches and rootstocks (Bølling) were enclosed few meters above the rock surface in the ground moraine from the stage of Küblis, consisting exclusively of juniper (in three out of four *Juniperus*) and willow wood (one flesh-colored). These finds were made in the soft ground section of the Saas Tunnel. Big trunks and root-socks of at least 50 year old (age of life) stone pines (*pinus cembra*, Preboreal, two trunks) and pines (*pinus mugo* or *sylvestris*, Preboreal, two trunks with roots) were found in the upper moraine from the stages of Serneus-Klosters. Along the base of the Saas landslide, few meters above the upper moraine, boreholes showed not further identified branches and wood fibers of presumably conifers and willows or alders of the Preboreal to Boreal (11'500 to 9'200 cal BP, 6 samples). The youngest trunks, branches and barks (three samples, spruce, *picea abies* of Atlantic age) are interbedded in a huge alluvial fan consisting of debris flow deposits from the Schanielatobel (ravine), i.e. from the northern side valley (St. Antönien).

**Interpretation:** The strong climate warming of Dryas/Bølling (GS-2/GI-1 or D01-event at about 14'650 cal BP, Rasmussen et al. 2014) has subsequently led to the rapid retreat of the Landquart glacier during Bølling (Late Würm). The glacier melted so much back into the valley section of Serneus-Klosters, that a juniper-willow-vegetation was developed on the lower valley slopes. It is supposed, that on the valley floor, simultaneously a glacier tongue was developed. Caused by a temporary glacial advance, the brushwood was embedded into the ground moraines. Moreover, the distribution of asymmetric rockslide deposits at Serneus indicates a residual glacier tongue in the valley floor. Standard *cembra*- and mountain pines grew on the rockslide deposits and lateral moraine deposits. Due to the late glacial climatic change and the advances during Egesen-stage (in a broad sense, Preboreal), the open pioneer woods of the higher valley sides were rolled down or paved over. However, the roots and trunk lengths indicate, that they were not displaced far away. Subsequently, during Preboreal, the valley sides entirely located

within the «Prättigau-Flysch» became unstable (landslides of Saas and Conters), probably owing to an increasing pore water pressure caused by the thawing of permafrost. The landslide of Saas was active until Boreal. The moving soil mass constantly rolled down the growing brushwood, as typically observed at active landslides. The landslides of Saas and Conters are still active, but on a 10 m to 100 m higher levels (see Fig. 2). The debris-flow event from the Schanielatobel is associated with one or probably more independent events during warm and humid older Atlantic, i.e. influenced by strong climate fluctuation within the «Neolithic Optimum» (see Fig. 5).

## 1 Einleitung

Zwischen 1980 und 1992 projektierte das Tiefbauamt Graubünden die neue A28a Prättigauerstrasse zwischen Küblis Dalfazza und Klosters Selfranga (Anschluss Verlad Vereinatunnel) mit den Umfahrungstunnels Küblis, Saas, Klosters (Gotschnatunnel) und vielen Kunstbauten über Tage, u. A. die berühmte Sunnibergbrücke bei Serneus (Büel-Bad). Ab 1996 (Sunnibergbrücke) und 2002 (Saaser Tunnel) begannen die Bauarbeiten, die 2011 mit dem Rohbau des Saaser Tunnels und 2015 mit demjenigen des Kübliser Tunnels endeten. Fig. 1 gibt eine topographische und quartärgeologische Übersicht über das Projektgebiet.

Die Sondierkampagnen zu den geologisch-geotechnischen Projektierungsgrundlagen, die in den Geologischen Berichten zum Auflageprojekt 1992 (BTG 1980-1992) erläutert sind, leitete und begleitete das Büro für Technische Geologie, Dr. T. Lardelli Chur. Durch etliche der tiefen Sondierbohrungen v. A. zwischen Saas (Tunnel unter dem Saaser Rutsch) und Büel (Sunnibergbrücke) wurden ab den Grundmoränen, praktisch ab Felsoberfläche, bis in den Saaser Grossrutsch fossile Holzresten erbohrt (siehe Fig. 2 und 3). Bei den anschliessenden Vortriebs- und Aushubarbeiten zum Saaser Tunnel (BTG 2004-2009) und zum Widerlager Sunni-

bergbrücke (BTG 1980-1992) wurden öfters Äste bis ganze Baumstämme ausgegraben. Das gleiche ereignete sich beim Voreinschnitt West (Dalfazza) zum Kübliser Tunnel und bei der Tagbauquerung des Schanielatobels (BTG 2009-2010). Die baubegleitenden Geologen und durch diese sensibilisiert die örtliche Bauleitung sammelten die Funde ein, um sie vorerst in den betreffenden Büros zu bezeichnen und zwischenzulagern.

Von diesen Holz- und Rindenfunden liessen die baubegleitenden Geologen 20 Proben <sup>14</sup>C-altersdatieren (Fig. 6), bei 7 davon zudem die Baumart bestimmen (Anhang 1). An 2 Stammscheiben führte der Archäologische Dienst Graubünden dendrochronologische Messungen aus. Die art- und dendrochronologisch bestimmten Holzfunde wurden im Frühjahr 2017 beim Archäologischen Dienst Graubünden archiviert. Die Resultate dieser Analysen erlauben es im Folgenden, für den Talabschnitt des hinteren Prättigaus eine konkret datierte Klimageschichte aufzustellen d.h. das Ende der Würmeiszeit und gleichzeitig die Waldentwicklung ab dem Bølling bis ins Boreal, im Falle des Murgan-niederganges bei Dalfazza bis ins Ältere Atlantikum zu skizzieren (Fig. 5).

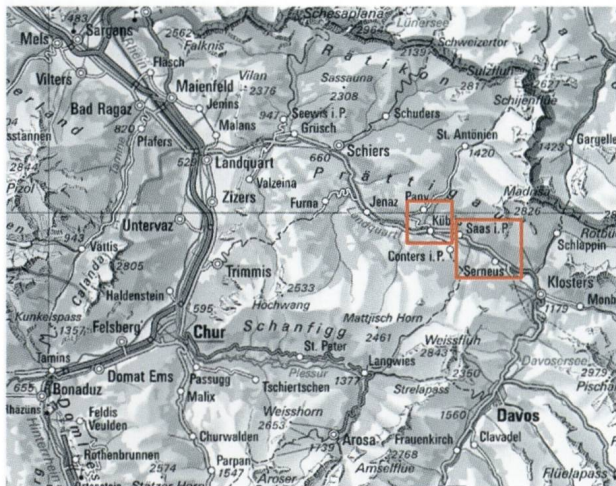
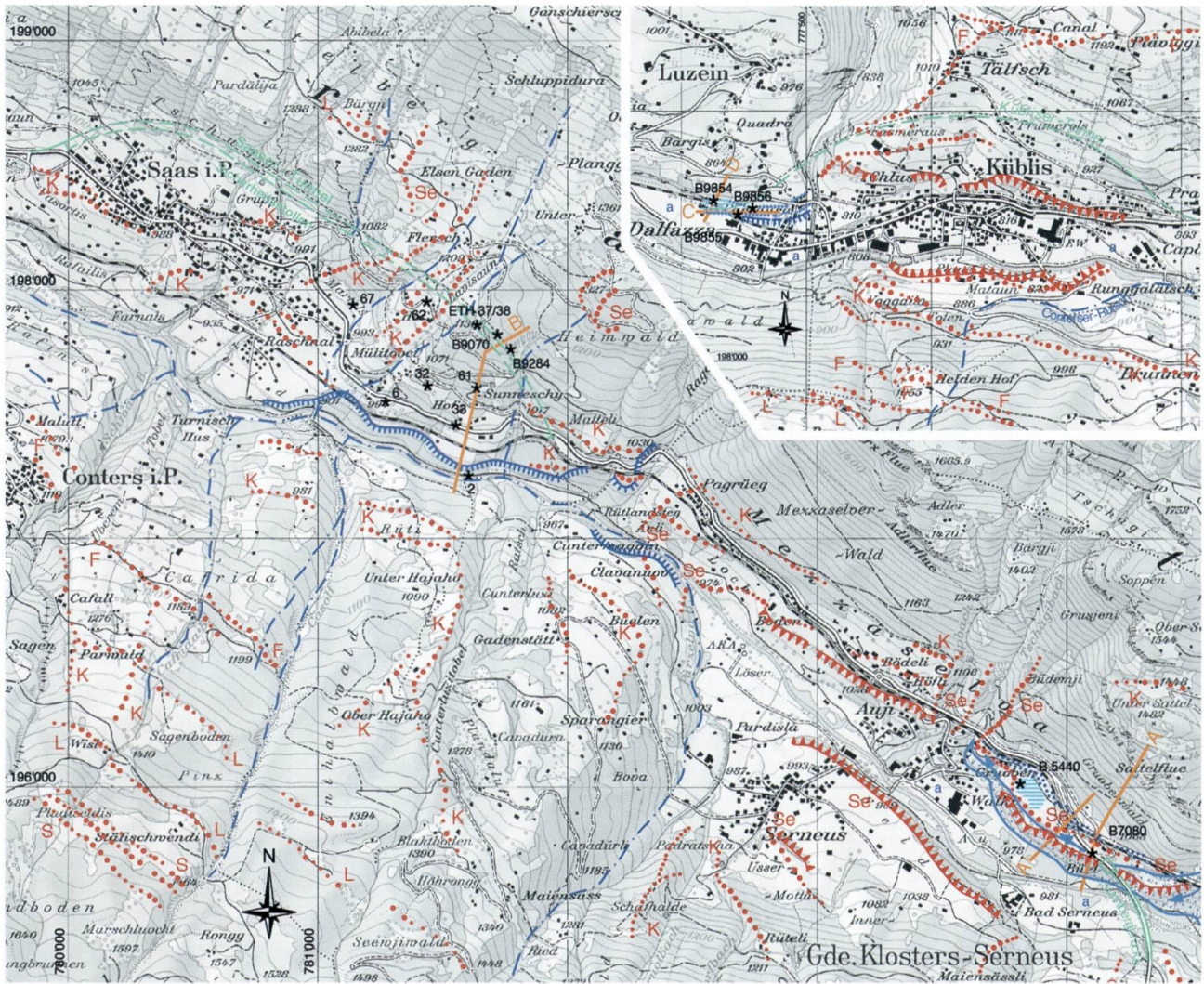
## 2 Geologische Situation

Das Prättigau ist in die Serien des Prättigau-Flysches eingeschnitten, die vermutlich ab der frühen Kreide (Nänny 1948), sicher ab dem Céno-manien (Steinmann 1994) bis ins Frühtertär (Yprésien, frühes Eozän) als Turbidite in das frühalpiner, penninische, tiefmarine Subduktionsbecken abgeströmt sind. Im hinteren Prättigau betrifft dies die jüngeren Serien «Gyrenspitz-Serie» (Campanien) bis «Ruchberg-Sandstein» (frühes Eozän, Yprésien, Nänny 1948).

Der Kübliser Tunnel durchfährt die liegende Gyrenspitz-Serie, eine engständig gefaltete, plattig bis gebankte Wechsellagerung aus

z.T. brekziösen, teils kalkigen Sandsteinen mit grün- bis schwarzgrauen Mergelschiefern, die alle Texturmerkmale von turbiditischen Flyschen aufweisen. Der Saaser Tunnel durchfährt die hangende Eggberg-Serie, eine Wechsellagerung aus gebankten Sandkalken mit feineren, plattigen Sandsteinen und schwarzen Mergelschiefern, in der die Flyschtexturen wegen des hohen Kalkgehaltes weniger deutlich ausgebildet sind. Gegen das Ostportal des Saaser Tunnels dünnen die Kalkbänke der Eggberg-Serie aus und gehen dann fliegend in die feinkörnig plattigen, kieseligen Sandsteine und schwarzen Phyllite der Oberälpli-Serie über. Im Becken von Serneus lagert die intensiv tektonisierte, von ESE überschobene Gempi-Schuppe, die sich aus den Eggberg- und Gyrenspitz-Serien in verkehrter Lagerung aufbaut. Im Talbecken von Klosters, also östlich ausserhalb unseres Untersuchungsgebietes, fällt dann von der Saaser Calanda - Madrisa im Norden bzw. der Casanna - Gotschnagrat im Süden der Rahmen des Prättigauer Flyschfensters, bestehend vorwiegend aus der massig kalkigen Sulzfluh-Decke, der schiefrig verschuppten Aroser Zone und der wieder massigen, gneisdominierten Silvretta-Decke mittelsteil gegen den Talboden ein.

Das beschriebene Deckengebirge wurde durch die verschiedenen quartären Eiszeiten, besonders prägend durch die jüngste Würmeiszeit, den inhomogenen Gesteinsfestigkeiten entsprechend sehr unregelmässig abgetragen. Meist überlagern die dicht und stabil gelagerten Grund- oder Obermoränen, zumindest im Projektbereich der Würmeiszeit zugeordnet (Letzteiszeit oder Birrfeld-Glazial, Keller 2010), völlig diskordant die erodierten Felsoberflächen.



**LEGENDE**

glaziale Morphologien, Pleistozän:

- Randmoränen, Wälle und Erratikerzeilen
- ▬▬▬ Kamestrassen, fluvioglazial, Rückzugsstadien von:
  - S Sargans
  - F Fideris
  - Se Serneus - Klosters
  - L Lunden - Chur
  - K Küblis

**Bergsturz**

- Reichweite hangseitig unter Se-Moräne
- ▬▬▬ Sturzmasse
- ▬▬▬ Sturzunge

Holozän:

- ▬▬▬ Erosionsböschungen
- ▬▬▬ Ränder von Grossrutschen
- ▬▬▬ Umfahrungstunnel Küblis und Saas
- ▬▬▬ Sunnbergbrücke Umfahrung Klosters
- ▬▬▬ Murgangablagerung Dallfazza
- a Landquartalluvionen
- ▬▬▬ Stillwassersedimente

- Geologische Profile (A, A', B, C, D)
- ★ 61 Fundpunkte 14C-Proben
- ★ 99070 Sondierbohrung Probennummer

Fig. 1: Küblis – Saas – Serneus, Situation 1:25'000. Übersicht Quartärgeologie mit Fundpunkten der <sup>14</sup>C-Proben und Projekt A28a.

### 3 Stratigraphie der holzführenden Lockergesteine

#### 3.1 Glazigene Ablagerungen, Spätpleistozän

##### **Grundmoräne des Landquartgletschers:**

Im Projektbereich der A28a Prättigauerstrasse lagert immer die Grundmoräne des Landquartgletschers auf der Felsoberfläche. Diese Basisbildungen lassen sich gemäss der Tunnelaufnahmen (BTG 2012) und der Kernbeschreibung von Sondierbohrungen (BTG 1980- 1992) wie folgt zusammenfassen:

Die Grundmoräne ist durchwegs sehr dicht gelagert und verhielt sich sowohl gegenüber den Sondierbohrungen als auch den Tunnelvortrieben standfest, dies selbst unter Maschinenvortrieb (TBM). Im Tunnel zeigte sie sich als hellgrauer, schwach toniger, siltiger Sand mit viel Kies, wenig Steinen und einzelnen kleinen bis selten grossen Blöcken bis >1 m Durchmesser. Die Grobfraction Kies, Steine und Blöcke schwimmt meist in der Feinfraktion aus tonigem Silt und Sand, ist damit weitgehend matrixgestützt. Die Korngrössenverteilung wird gemäss USCS-Siebanalysen als «SM, SM-SC, GM-GC, GM» (VSS 2008) klassiert. Die Grobkomponenten bestehen vorwiegend aus kantigen bis abgerundeten, oft gestriemten, dunklen, sandigen Kalken, Serpentiniten, Gneisen und vereinzelt aus Amphiboliten. Die Herkunft als Gletscherschürflinge aus dem Prättigau-Flysch, der Sulzfluh- und Falknis-Decken, der Aroser Zone und der Silvretta-Decke (Kristallin), die alle im Talbecken von Klosters anstehen, ist damit offensichtlich.

Beim Tunnelvortrieb war die Mächtigkeit der Grundmoräne mit knapp 1 m bis 10 m sehr wechselhaft (vgl. Längsprofile Tunnel Fig. 3). In den Sondierbohrungen weiter talwärts konnte sie dagegen 50 m erreichen (vgl. Hangprofile Fig. 2). Dort bestand die Hauptmasse aus grauem, tonig siltigem Sand (Matrix), in dem die Grobfraction Kies und Steine matrixgestützt eingebettet waren.

Abschnittsweise erhielt man den Eindruck von subglazial lakustrisch eingelagerten «dropstones».

##### **Obermoräne des Landquartgletschers:**

Die auf der Grundmoräne lagernde Obermoräne (Randmoräne) ist nur noch dicht bis mitteldicht gelagert und erforderte bautechnische Stützmassnahmen; der TBM-Vortrieb musste ausgesetzt werden. Sie besteht aus dunkelgrauem, siltigem Kiessand mit reichlich Steinen und einem variierenden Anteil an Blöcken mit Durchmessern bis 2 m, vereinzelt aber auch bis 6 m. Die USCS-Klassifikation «GM-GC, GM, GC» (VSS 2008) weist auf den vorherrschenden Gehalt an komponentengestützte Grobfraction. Die Komponenten bestehen aus dunklen, kantigen bis abgerundeten, sandigen Kalken und vereinzelt aus Tonschiefern und Gneisen. Der Obermoräne sind lokal randglaziale, schotterartige Schmelzwassersedimente mit Schrägschichtung oder Rutsch bzw. Stauchstrukturen, die auf Glazialtektonik hinweisen, eingelagert. Der Kristallingehalt aus der Silvretta-Decke ist geringer als in der Grundmoräne, aber das Talbecken von Klosters zeichnet sich immer noch als Liefergebiet ab. Im Tunnelbereich kann die Mächtigkeit der Obermoräne konstruktiv auf 20 bis 40 m abgeschätzt werden (vgl. Fig. 2 und 3).

Grund- und Obermoränen führen generell wenig Gebirgswasser bzw. erweisen sich mehrheitlich als Grundwasserstauer. Beim Tunnelvortrieb führte die Felsoberfläche stellenweise Tropfwasser und innerhalb der kiesigeren Obermoräne wurden tropfende Bereiche bis Gerinne angefahren. Die Sondierbohrungen waren durchwegs bergfeucht. Eigentliche Wasserzutritte wurden vermutlich durch die Bohrung selbst bzw. die feinkörnige Matrix fortlaufend abgedichtet.

# Büel

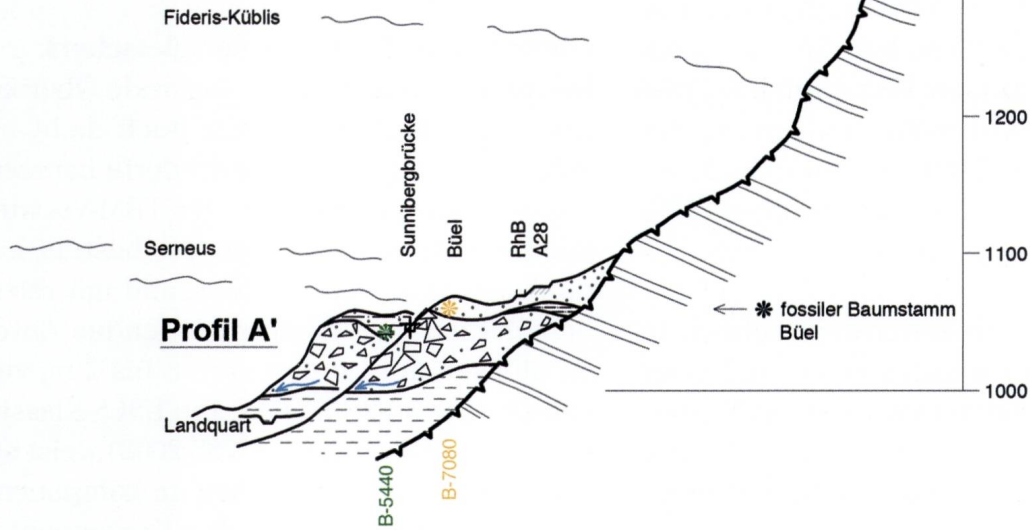
SSW

NNE

m ü. M.

## Profil A

## Profil A'



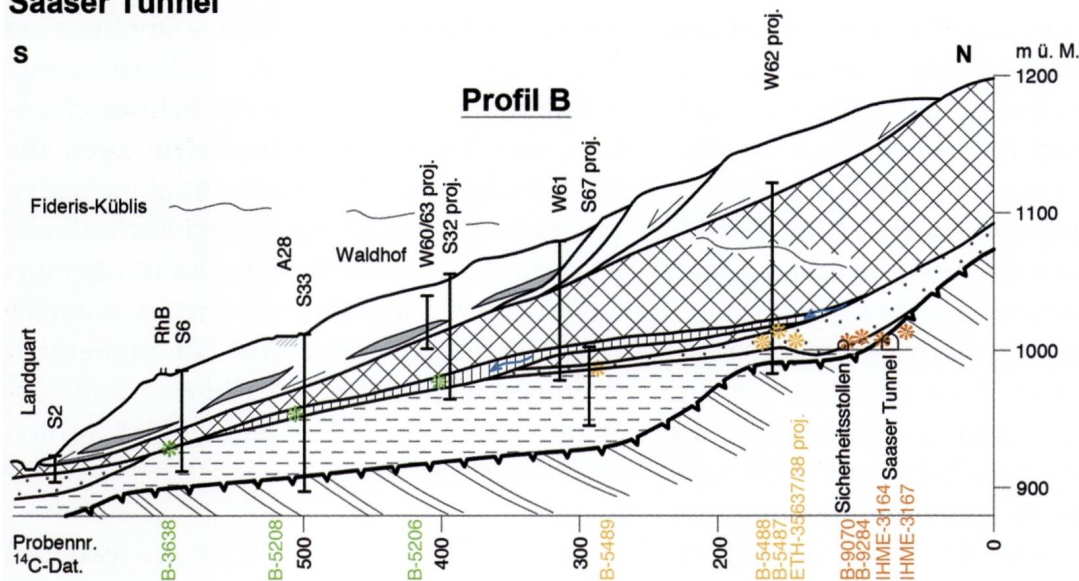
# Saaser Tunnel

S

N

m ü. M.

## Profil B



### Legende:

- Obermoräne, z.T. mit Sander, Schwemmschichten
- Fels, Prättigau-Flysch
- Felsoberfläche
- Grundmoräne
- Fideris-Küblis: Eisoberfläche des Stadiums
- Rutschmasse Saas aktiv mit Gips- und Rauhwackeschürflingen
- Rutschmasse Saas inaktiv  
Basis: Moränenkies, Blöcke mit Hangwasser

### Sturzmassen Büel

### fossiles Holz

- Atlantikum
- Boreal - Präboreal
- jüngere Dryas - Präboreal
- Bølling - Allerød

Fig. 2: Geologische Hangprofile 1:5000, Profil A, A': Büel, Sunniberg Widerlager Nord, Profil B: Saaser Tunnel unter Saaser Rutsch (Waldhof).

### **Rand-, Stirnmoränen, abgeschwemmte Schotter und Murenschutt von Seitengletschern (Egesen):**

Ablagerungen von jüngeren Seitengletschern lassen sich im Tunnelbereich unter dem Saaser Rutsch nicht von der beschriebenen Obermoräne unterscheiden. Auf den südöstlich anschliessenden Talterrassen von Pagrüeg-Mezzaselva-Gruoben-Büel sind jedoch morphologisch glazigene Ablagerungen kartierbar, die jüngeren Vorstössen von einzelnen Hängegletschern aus dem rechten steilen Talhang (Zastia-Ragoz-Tschägi-Albeina) zugeordnet werden können. In entsprechende Schotter oder Schlammströme eingebettete Holzreste (u.a. die Arvenstämme von Büel, siehe Fig. 2 und 5) weisen auf die Kaltzeit «Jüngere Dryas bis Präboreal» bzw. die Egesenvorstösse von lokalen Seitengletschern (BTG 1982-1992). Diese lagern ausnahmslos auf dem Bergsturz Büel (Kap. 3.2). Die Bildung holzführender Moor- und Paläoböden über diesen Lokalmoränen ist bis ins Atlantikum nachgewiesen.

### **3.2 Bergsturz von Büel Serneus**

Die rechte Talschulter von Gruoben - Büel - Chlus gegenüber von Serneus wird zu einem grossen Teil aus einer Bergsturzmasse aufgebaut. Der Sturzkörper ist in Fig. 1 kartiert und in Fig. 2 Profile A und A' im Hangprofil von Büel (Widerlager N Sunnibergbrücke) dargestellt. Die Talschulter Gruoben - Büel wurde für das Auflage- und Bauprojekt der A28a Umfahrung Klosters eingehend geologisch-geotechnisch untersucht (BTG 1992, 1996-2008). Die Fig. 1 und 2 und die folgenden Beschreibungen stellen einen Auszug aus den Sondierresultaten dieser Berichte dar:

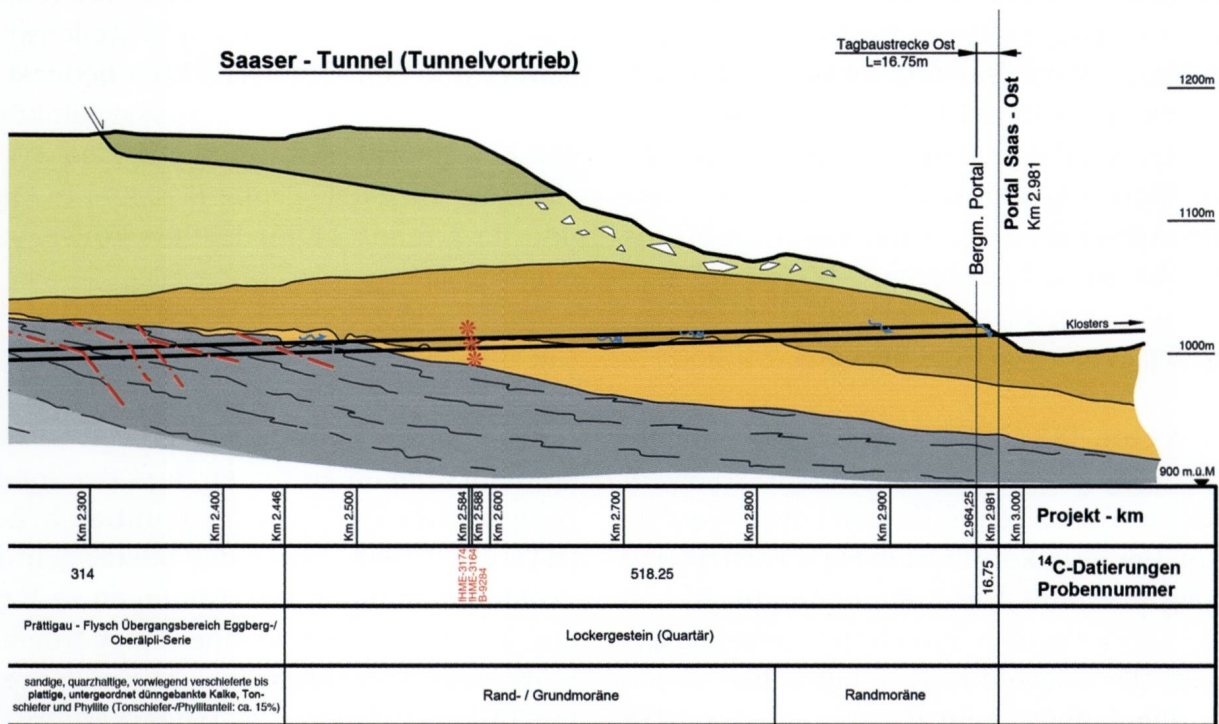
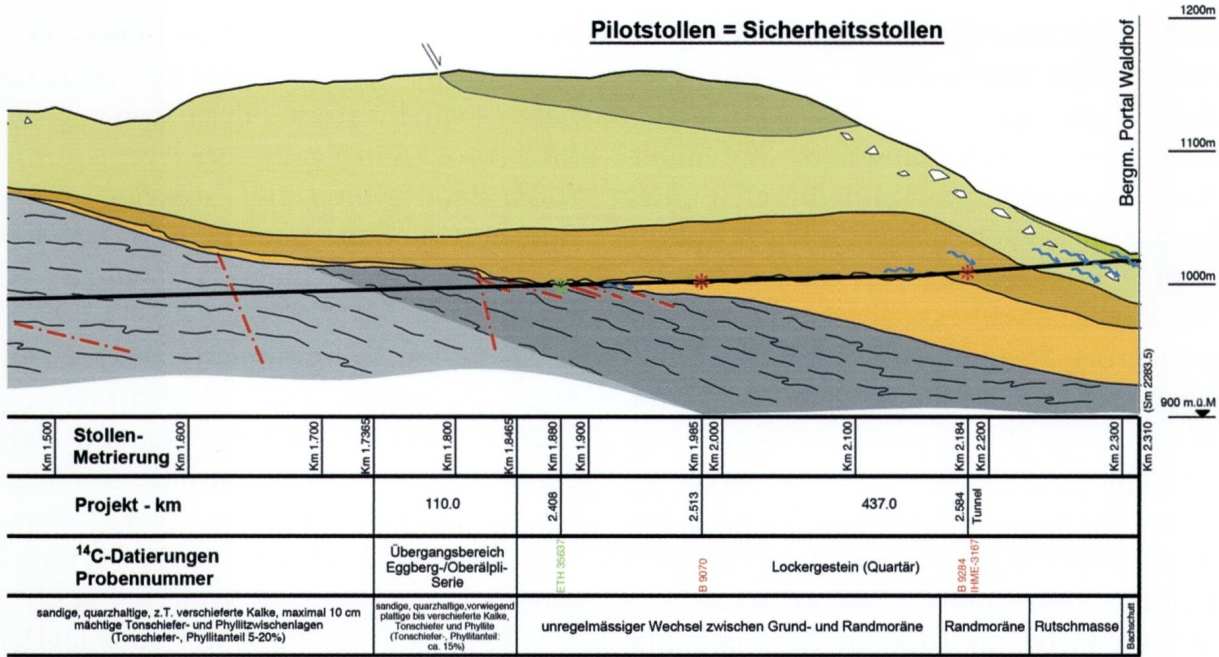
Die Bergsturzmasse lagert überall auf typischer Grundmoräne des Landquartgletschers (Beschreibung siehe Kap. 3.1), dies bis an die bergseitig ausgekolkte Felsoberfläche der Talflanke. Die Bergsturzmasse der gesamten Talterrasse kann auf  $5 \times 10^6 \text{ m}^3 \pm 10\%$  geschätzt werden, was gemäss Heim (1932)

in den Alpen einem kleinen Bergsturz entspricht. Die Sturzmasse in der Talterrasse besteht von Klosters-Chlus (oben bzw. E) bis Büel (Profil A in Fig. 2) vorwiegend aus rostroten Sandsteinen und Brekzien und von Büel bis Gruoben (unten bzw. NW) mehrheitlich aus hellem Sulzfluh-Kalk. Untergeordnet können dunkle Flyschkalke oder mitgestürzte Reste von Talmoränen (Gneise, Grünestein, Radiolarite,) eingelagert sein. Nach Häfner (1924, 1926) bestehen die «roten» Sandsteine und Brekzien aus «Verrucano-Buntsandstein», welche in den Felsbändern von «Tschägi - Soppen - Wiss Tschuggen» unterhalb der Alpen «Albeina» an Stelle von Sulzfluh-Granit die Basis der Sulzfluh-Decke bilden. Die Sturzmasse wird durchgehend von lokalen Obermoränen und stellenweise Sander und Schwemmschichten bedeckt. In diese verschwemmten, vernässt feinkörnigen Lokalmoränen waren die beiden Arvenstämme von Büel (Probe B-7080/4 in Fig. 6 und im Anhang 1) vor Fäulnis konserviert eingelagert.

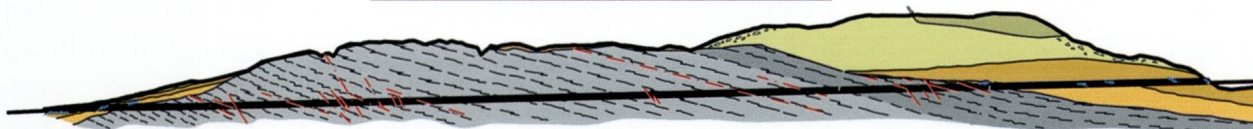
Die Sturzmassen bauen die rechte Talterrasse Chlus - Büel - Gruoben auf. Im Talboden und entlang der linken Flanken von Serneus ist nichts davon zu finden, was die Sondierungen zum Bauprojekt Sunnibergbrücke (BTG 1982-1992, 1994) klar bestätigen. Die dreidimensionalen Darstellungen in Fig. 1 und 2 ergeben das Bild einer langgezogenen Sturzzunge ausschliesslich entlang der rechten Talflanke. Diese zum Tal asymmetrische Lagerung kann plausibel dahingehend gedeutet werden, dass die Sturzmassen von der Albeina (Permotrias, Sulzfluhkalk) auf die noch bestehende Eiszunge des Landquartgletschers, die im Talboden das Zungenbecken von Serneus erfüllte (siehe Kartierung Fig. 1), niedergestürzt und anschliessend noch mitgeschleppt worden sind.

### **3.3 Grossrutsche von Saas und Conters**

Die Rutschmassen bestehen beide vorwiegend aus Schutt der Flysch-Serien Eggberg,



### Übersicht Saaser - Tunnel, Länge 2'581 m



**Legende:**

- |                           |  |                      |
|---------------------------|--|----------------------|
| Rutschmasse Saas, aktiv   | Felsoberfläche                           | Wasserzutritte       |
| Rutschmasse Saas, inaktiv | Fels, Prättigau - Flysch: Oberäpli-Serie | <b>fossiles Holz</b> |
| Obermoräne                | Fels, Prättigau - Flysch: Eggberg-Serie  | Boreal - Präboreal   |
| Grundmoräne               | Bruch- und Scherzonen                    | Bölling - Allerød    |

Fig. 3: Geologische Längsprofile Saaser Tunnel Ost, Heimwald - Waldhof, Aufnahmeprofil Baubegleitung Saaser Tunnel, Aufnahmeprofil Sicherheitsstollen.

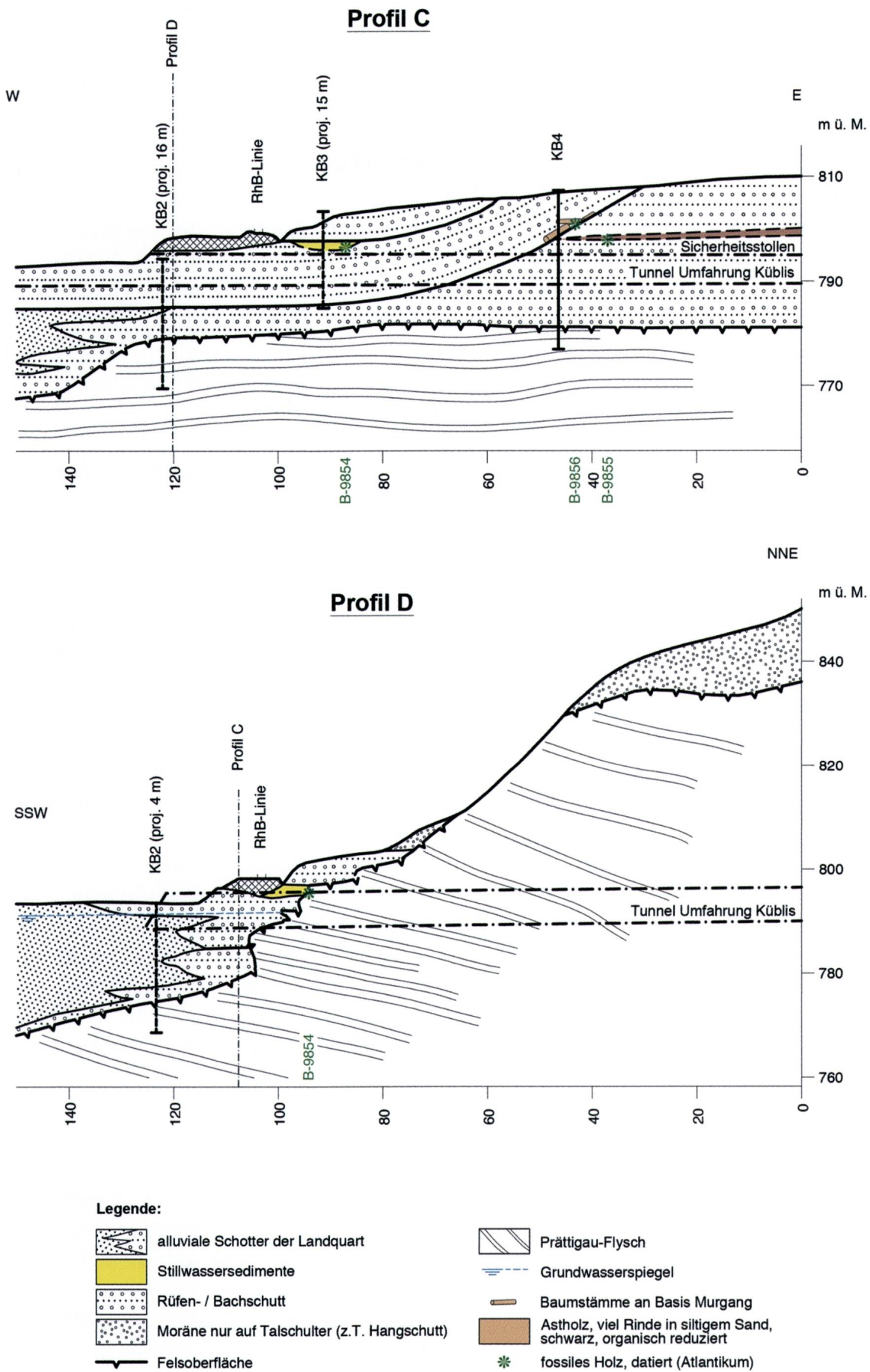


Fig. 4: Geologische Hangprofile 1:1000: Dalfazza, Voreinschnitt Kübliser Tunnel West, Profil C: Profil in der Achse Tunnel – Voreinschnitt, Profil D: Hangprofil quer zum Tal.

Oberälpli und Ruchberg (Noverraz 1998). In den sehr unterschiedlich entfestigten, meist mitteldicht bis dicht gelagerten Rutschmassen ist die ursprüngliche Schichtfolge zumindest auf den ersten Blick nicht mehr erkennbar. In der schwarzen, phyllitischen Matrix (Phyllit-Lagen der Eggberg- und Oberälpli-Serien) chaotisch eingewalzt lagern die größeren Flyschzyklen meist als plattige Komponenten (Siltsteine, Kalksandsteine, Sandkalke oder Brekzien) in Kies-, Stein- oder Blockgrösse; die USCS-Klassifikation «GC, GC-GM, GM» (VSS 2008) verweist auf den stark tonig-siltigen Kies. In den Sondierbohrungen des Saaser-Rutsches konnten gelegentlich flyschfremde Komponenten erkannt werden, wie etwa helle Kalk- oder Dolomitmikrite, rostrote brekziöse Sandsteine und Schiefer, dickere Gips- und Rauhwa-ckeschuppen und selten Gneise. Die hellen Karbonate entstammen dem Sulzfluh-Kalk oder den Jurakalken der Falknis-Decke (Sturzsutt aus der Saaser Calanda). Die rostig schiefri- gen Sandsteine sowie Gips und Rauhwa-cke können der Sulzfluh-Decke zuge- wiesen werden, etwa den Couches Rouges (vgl. Allemann 2002), dem Verrucano-Bunt- sandstein bzw. der Permotrias (vgl. Häfner 1924), Rauhwa-cke und Gips der jüngeren Tri- as, (vgl. Allemann 2002). Gneisartige Kompo- nenten der Kies und Steinfraktion stellen vermutlich in den Rutsch eingeschuppte Relikte aus höher gelegenen Talmoränen dar. Zusammengefasst können die Rut- schmassen als äusserst unreife (unsortiert, Komponenten vorwiegend kantig), matrix- gestützte Lockergesteine klassiert werden. Die Durchlässigkeit für Hangwasser ist sehr inhomogen, generell jedoch schlecht. Damit kann Oberflächenwasser zwar einsickern aber kaum zirkulieren, was oberflächennahe Hangwasserspiegel bzw. intern hohe Poren- wasserdrucke zur Folge hat.

Gemäss der Konstruktion des Hangprofils in Fig. 2B erreicht der Saaser Rutsch über dem Tunnel 150 m Mächtigkeit, die sich talwärts auf ca. 50 m reduziert. Im Landquartei-

schnitt ist die Rutschmasse auf die basalen 10 m hinunter erodiert. Nachgewiesener- massen (Inklinometerdeformationen in den Sondierbohrungen) sind heute im Rutsch- hang recht konstant nur die obersten 40 m aktiv. In den Bohrkernen lassen sich die akti- ven Rutschanteile von den ruhig gelegten kaum unterscheiden. Im Landquartei- schnitt stossen der Saaser und der Conter- ser Rutsch frontal aufeinander. Man erhält den Eindruck, als ob sich heute ein dynami- sches Gleichgewicht zwischen Stirnerosion und nachstossenden Rutschmassen einge- pendelt habe.

### **3.4 Murgangkegel aus dem Schanielatobel bei Küblis Dalfazza**

Die Hangprofile von Fig. 4C/D weisen auf mindestens drei Murgangereignisse inner- halb des Atlantikums hin (klimatische Warmzeiten, vgl. Fig. 5). Die Muren bestehen mehrheitlich aus schlecht sortiertem Bach- schutt mit angerundeten bis gut gerundeten Flyschkomponenten der Kies-, Stein- und Blockfraktion (USCS-Klassifikation GP-GM geschätzt). Der durch die Felsoberfläche und den Murgang 2 seitlich abgedämmte Teich ist mit laminierten Ton, Silt und See- kreide gefüllt, wobei die Kreidelagen 5 bis 10 mm grosse Turm- und Konusschnecken enthalten. Die datierte Holzkohle ist als mm- bis cm-grosse Körner bis Schmitzen in die Stilwassersedimente eingestreut und deut- lich jünger als das Fichtenholz in den Muren 1 und 2 (Fig. 5).

### **3.5 Gotschna-Rutsch**

Für das Quartär des hinteren Prättigaus bil- det der Gotschna-Rutsch eine auffällige Rutsch- und Bergsturzmasse in der linken Talflanke SW von Klosters. Dieser Gross- rutsch ist immer noch aktiv und gibt fort- während geotechnische Probleme für alle bestehenden Infrastrukturbauten, insbeson- dere die Umfahrungsbauten der RhB (Ver- einalinie) und A28a (Gotschnatunnel). Da

der Gotschnarutsch ausserhalb des hier behandelten Untersuchungsgebietes liegt, fassen wir an dieser Stelle die wichtigsten Untersuchungsergebnisse aus BTG (1987-1988, Vereinalinie RhB), BTG Arbeitsgemeinschaft Lardelli & Baugéologie Chur (1986-2006, A28a Gotschnatunnel) und Dapples et al. (2003) zusammen.

Der Gotschna-Rutsch erfasst die gesamte Talflanke zwischen Gotschnaboden (1800 m ü.M.) und dem Talfuss entlang der Landquart (1050 mü.M.) und dem Stützbach (1300 m ü.M.). Sämtliche Sondierbohrungen belegen, dass der Gotschnarutsch aus Trümmern der Aroser Schuppenzone besteht, d.h. aus ostalpinem Kristallin, Permokarbon und Trias aus der Stufe Gotschnagrät - Gotschnaboden und aus ostalpiner Trias (Raibler Schichten und Hauptdolomit) mit südpenninischem Mesozoikum (Aroser Schiefer, Radiolarit, Aptychenkalk, Flysch und Ophiolithe als Serpentin) aus dem tieferen, völlig versackten Flankenbereich des Zugwaldes. Dieser wird in den Untersuchungsberichten auch «Schuttsturz» genannt. Entlang der Linie Landquart - Stützbach stösst der Rutsch fortwährend auf das Vorland auf, was permanente Deformationsschäden an Gebäuden, Brücken, Tunneln, Strassen, Bahnlinien und der Gotschna Seilbahn verursacht. Entlang dieses Aufstosses sind etliche überfahrene Baumreste v.a. in Sondierbohrungen der erwähnten Bauprojekte und in einer Baugrube zum Neubau des «Silvretta Parkhotel» gefunden worden. Zeitweise staute der Gotschnarutsch bei seinem Aufstoss auf den von NE schüttenden Talbach-Schuttfächer im Landquarttal bei Klosters Platz - Toggiloch - Au - Äuja einen See auf. In den weit verbreiteten tonig-siltigen Seesedimenten sind ganze Fichten-Föhrenwälder eingelagert und bestens konserviert. Beim Aushub des Ausgleichbeckens Toggiloch zum KW Klosters (heute z.T. Freibad Klosters) wurden umfangreiche Stammlager ausgegraben.

Der See Klosters Platz - Toggiloch staute sich um 7700 cal BP (Älteres Atlantikum) auf. Dies ist das älteste Datum, das die Rutschaktivität belegt. Etwas jünger (um 7335 und 5665 cal BP, Älteres bis Jüngerer Atlantikum) sind Funde aus dem ebenfalls überfahrenen Talbachschuttfächer. Der Seerückstau fand somit in der Warmzeit des «Neolithischen Optimums» statt, etwa gleichzeitig mit den Muren von Küblis Dalfazza (vgl. Korrelationstabelle Fig. 5). Drei Holzproben unter der aufgestauten Rutschstirn entlang des höher gelegenen Stützbaches belegen Rutschbewegungen zwischen 3275, 1950 und 705 cal BP (Subboreal und Subatlantikum) d.h. in einer Klimaepoche mit starken Klimaschwankungen (vgl. Fig. 5). Wie erwähnt ist der Gotschna-Rutsch wie die Grossrutsche von Saas und Conters heute noch aktiv. Diese Deformationen bewirkten u. A. den Abriss des alten «Silvretta Hotels» und grosse Bauprobleme bei den Ostportalen des Gotschnatunnels A28a und des Zugwaldtunnels RhB oberhalb von Klosters Selfranga.

#### 4 Durchgeführte Untersuchungen

Die in Kap. 3 zusammengefasste Lockergesteinsstratigraphie resultiert aus der Interpretation von über 30 Sondierbohrungen und -schlitzen. Diese sind im Auflageprojekt (BTG 1992) geologisch beschrieben und archiviert. Die geologischen Aufnahmen der Baubegleitung zum Saaser Tunnel und dessen Sicherheitsstollen sind in BTG (2004-2009) und diejenigen zum Kübliser Tunnel, insbesondere zum Voreinschnitt Dalfazza (Fig. 4) und zur Querung des Schanielatobels in BTG (2009-2010) beschrieben. Die Längsprofile zum Saaser Tunnel in Fig. 3 sind den Schlussberichten BTG (2012) entnommen und die Hangprofile 1:5000 (Fig. 2, Profile A und A': Büel, Profil B: Saaser Tunnel im Schnitt Waldhof) wurden unter Verwendung der Querprofile aus Zwahlen (2008) rekonstruiert. Die Fundlagen der fossilen Hölzer

können in den Hang- und Längsprofilen der Fig. 2, 3 und 4 verortet werden. Erste, noch unvollständige Darstellungen der pleistozänen und holozänen Talgeschichte im Prättigau hat der Autor der vorliegenden Arbeit bereits in Dapples et al. (2003) und Zwahlen (2008) veröffentlicht.

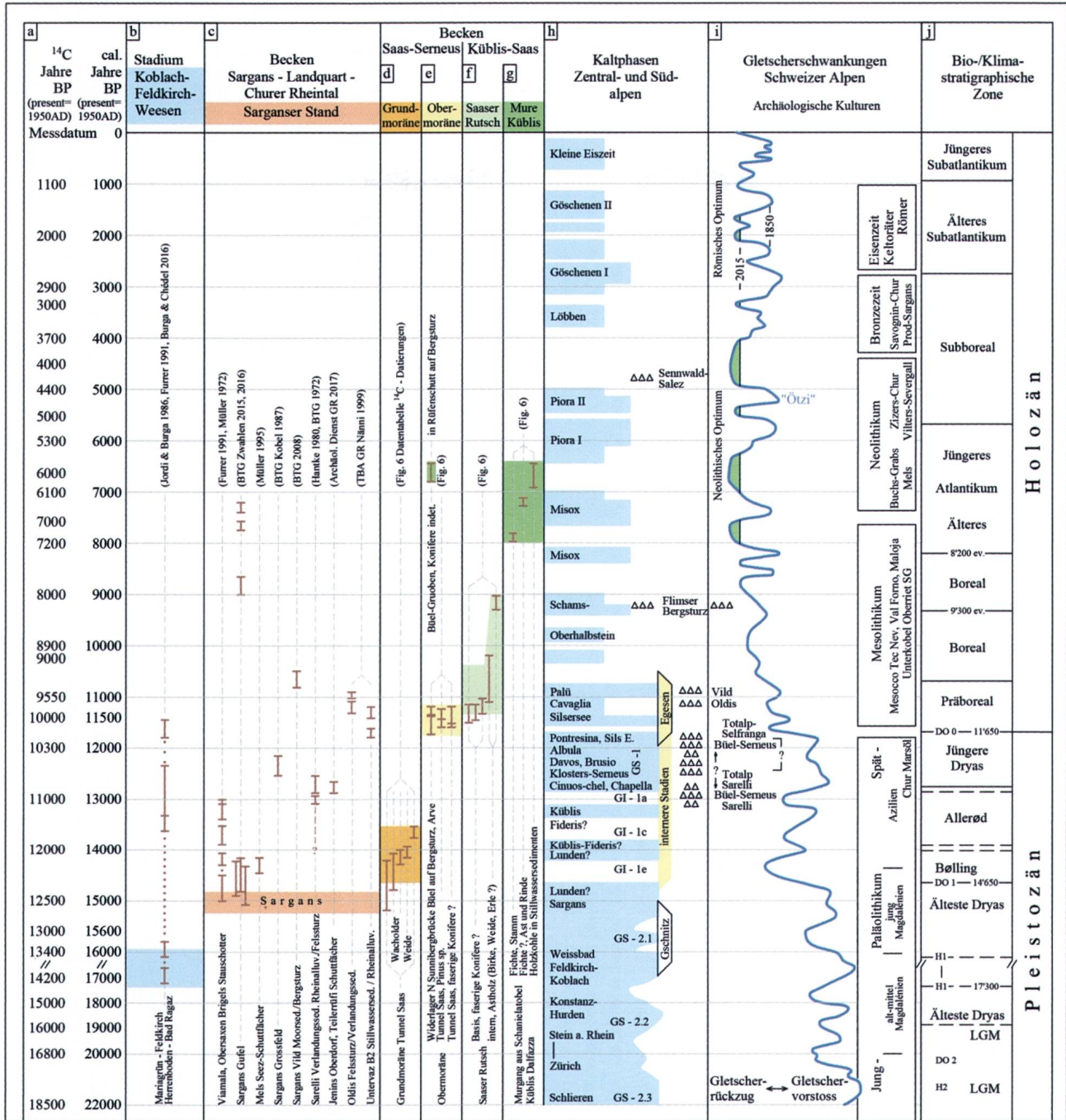
Die  $^{14}\text{C}$ -Datierungen der fossilen Hölzer sind in Fig. 6 tabellarisch in Reihenfolge der Fundpositionen von Büel-Serneus - Saaser Tunnel - Küblis Dalfazza aufgelistet. Aus der Tabelle sind zudem die Archivnummern der  $^{14}\text{C}$ -Labors, des Labors für Quartäre Hölzer (siehe Anhang 1) und des Probenarchivs des Archäologischen Dienstes Graubünden in Chur (ADG) ersichtlich. Im ADG sind seit dem Frühjahr 2017 alle datierten und artbestimmten Holzproben archiviert.

Die für die Altersbestimmung erforderliche Präparation, die Aufbereitung und Datierung des Probenmaterials, erfolgten je nach Probengrösse und -zustand am «Radiocarbonlabor des Physikalischen Instituts der Universität Bern» (Uni Bern) oder am «Laboratory for Ion Beam Physics (LIP) der ETH-Zürich» oder am «Conventional radio carbon dating service laboratory» in Kiev. Nicht verwendete Restproben werden üblicherweise an den betreffenden Labors archiviert. Die Messfehler sind mit der Unsicherheit von  $\pm 2\sigma$  angegeben (Länge der Altersbalken in Fig. 5). Die Kalibrierung der gemessenen  $^{14}\text{C}$ -Alter in skalierte siderische Jahre wurden jeweils vom Alterslabor durchgeführt, je nach Messjahr gemäss Reimer et al. (2013) oder Stuiver et al. (1999).

Das Gerüst zur Korrelationstabelle Fig. 5 hat P. Zwahlen erstmals für seinen Beitrag zur «Geschichte des Kantons Schwyz» (Zwahlen 2012) entworfen. Die Tabelle wurde dann zur Erläuterung des spätpleistozänen Eiszerfalls im Alpenrheintal in Zwahlen (2016) auf die Ostschweiz und den angrenzenden Bodenseeraum, das Vorarlberg, das Tirol und Veltlin angepasst. Die vorliegende Übersichts-

karte Fig. 1 fokussiert detaillierter auf das hintere Prättigau, stimmt jedoch mit der Glazialkarte in Zwahlen (2016, 2018) überein. Die Korrelationen in der Tabelle stützten sich auf folgende Quellen: Blant et al. (2010), Burga & Perret (1998), Dansgaard und Öschger (2010), Ilyashuk et al. (2009), Ivy-Ochs et al. (2006), Rasmussen et al. (2014), van Raden et al. (2013) und Reimer et al. (2013). Die Grundtabellen (Zwahlen 2012 und 2016) profitierten zudem von Korreferaten und Diskussionen mit Prof. W. Tinner (Institute of Plant Science Paleoecology Uni Bern), Dr. D. Leesch (Collaboratrice scientifique en préhistoire, Institut d'archéologie uni Neuchâtel) und Dr. U. Leuzinger (Univ.-Dozent, Amt und Museum für Archäologie des Kantons Thurgau, Frauenfeld).

Von sieben Holzproben mit ausreichend gut erhaltenen Zellstrukturen hat W.H. Schoch am «Labor für Quartäre Hölzer» in 8135 Langnau die Baumart bestimmt. Dies war zur Rekonstruktion der Klimaentwicklung im hinteren Prättigau notwendig, weil die Entnahme von Bodenproben zu Pollenanalysen aus dem Tunnelvortrieb oder den Sondierbohrungen nicht möglich war. Das Dendrolabor des ADG hat im Mai und Juni 2009 an Querschnittscheiden der Arven von Büel (B-7080/4) bzw. der Föhre aus dem Pilotstollen des Saaser Tunnels (ETH-35637/1, ETH-35638/1) die Jahrringkurven (89 bzw. 57 Ringe) aufgenommen. Martin Schmidhalter vom «Dendrolabor Brig» erstellte zu beiden Jahrringsequenzen auf Anfrage ein Korreferat. In beiden Fällen lagen die Sequenzen ausserhalb von bekannten Jahrringkalendern. Deshalb war es mittels Dendrochronologie nicht möglich, die Alter der Arven bzw. Pinie genauer abzuschätzen als die  $^{14}\text{C}$ -Alter mit 11'200-11'700 bzw. 11'200-11'600 cal BP ergeben hatten (vgl. Fig. 6).



Legende: Tabellenspalten [a]-[j]: Inhaltsverweise in den Text

- ± 2σ, Unsicherheitsbereich
- ..... Älteste Dryas pollenanalytisch bestimmt
- Warmzeiten

- GI-1 Grönland Interstadial (Bølling-Allerød)
- GS-1, 2 Grönland Stadial (Jüngere Dryas / Älteste Dryas)
- ▲▲▲ Berg-, Felsstürze: KW Sarelli Bad Ragaz, Büel Serneus, Oldis Haldenstein, Totalp - Davos Wolfgang - Klosters Selfranga Vild Sargans, Flims, Sennwald-Salez

- 8'200 ev. Event
- DO 0 bis 2 Dansgaard-Öschger-Event
- H 1, 2 Heinrich-Event
- LGM Würm Maximum (Last Glacial Maximum)

Fig. 5: Korrelation von Altersklassen, <sup>14</sup>C-Probenalter, Talbildungsprozessen, Klimadaten, Glazialstadien und Quartärstufen.

<b>Radiocarbonatierung 14C und Baumartbestimmung</b>										
Fossile Holzfunde: A28 Prättigauerstrasse; Tunnel Umfahrung Küblis-Saas, Sunnibergbrücke Serneus, Sondierkampagnen und Ausführung										
Teilprojekt, Ausführung	Fundort Nr./der Bohrung/Tiefe:	Landeskoordinaten, Höhe m ü.M.	W.H. Schoch, 9.01.2017	Labornummer 14C / Schoch&ADG	Alter C14 J. BP conv.	Messfehler ± Jahre	Alter kalibriert cal Jahre BP	Labor	Messmethode	
<b>Sunnibergbrücke Büel Serneus</b> Bau 1998	Widerlager N, Baugrube: 784'100/195'750, 1065m		Zwei Arvenstämme (Pinus cembra), dat.1998	B-7080 / 4	10'010	± 40	11'250 - 11'700	Uni Bern	C14-Aktivität CH4	
	Büel, verschwemmte Moräne auf Bergsturz		Querschnitt kurzer Stamm mit Stockansatz	B-10891/1-6	10'027	± 28	11'350 - 11'710	Uni Bern	C14-Aktivität CH4	
	do.		Jahrringsequenz: 1-6 / 65-75, dat. 2017	B-10891 / 65-75	9'758	± 28	11'170 - 11'240	Uni Bern	C14-Aktivität CH4	
<b>Kameterasse Gruoben - Büel</b>	Kameterasse M65/11.5 m: 783'821/196'036, 1027m		morsche Holzfasern indet., Paläosol	B-5440	5'830	± 150	6'440 - 6'800	Uni Bern	C14-Aktivität CH4	
<b>Tunnel Umfahrung Saas</b>	Basis Saaserrutsch S6/A2.9 m: 781'230/197'569, 995m		Astholz,	B-3638	9'320	± 120	10'200 - 11'100	Uni Bern	C14-Aktivität CH4	
<b>Sondierkampagne 1980 - 1992</b>	Kieslage zwischen Grundmoräne und Saaserrutsch									
	do. S33/58.2 m: 781'647/197'435, 1015m		Astholz, Erlen? indet.	B-5208	9'920	± 50	11'200 - 11'550	Uni Bern	C14-Aktivität CH4	
	do. S32/78.5 m: 781'445/197'622, 1055m		Astholz, Erlen?	B-5206	8'170	± 50	9'010 - 9'250	Uni Bern	C14-Aktivität CH4	
	Basis Saaserrutsch S67/33.3 m: 781'123/197'965, 1010m		Holzfasern	B-5489	9'850	± 50	11'170 - 11'500	Uni Bern	C14-Aktivität CH4	
	do. W62/106.7 m: 781'440/197'950, 1120m		Holzfasern, Konifere? indet.	B-5487	9'880	± 50	11'170 - 11'550	Uni Bern	C14-Aktivität CH4	
	Basis Saaserrutsch W62/115.4 m: do.		Holzfasern, Konifere?	B-5488	9'770	± 50	11'050 - 11'350	Uni Bern	C14-Aktivität CH4	
<b>Bauausführung 2007 bis 2009</b>	Pilotstollen TBM-Vortrieb, Tm 1880, km 2.408		Berg- od. Waldföhre (Pinus mugo/sylvestris),	ETH-35637 / 1	9'940	± 55	11'250 - 11'600	ETH-Zürich	C14-AMS	
	Koord. 781'643/197'856, 1000.00 m ü.M.		hellbeiger Stamm mit Wurzelstock	ETH-35638 / 1	9'830	± 55	11'200 - 11'400	ETH-Zürich	C14-AMS	
<b>Vortriebe Pilotstollen und Tunnel entlang Felsoberfläche, Grund- und Obermoräne</b>	Pilotstollen TBM-Vortrieb, Tm 1985, km 2.513		Weide (Salix sp.) "roter" faseriger Stammsplitter	B-9070 / 3	12'170	± 40	13'900 - 14'150	Uni Bern	C14-Aktivität CH4	
	Koord. 781'715/197'827, 1002.10 m ü.M.									
	Tunnelvortrieb konvent. Tm 380 von S		Wacholder (Juniperus sp.), kupferrote Wurzeln	B-9284	12'260	± 40	13'977 - 14'258	Uni Bern	C14-Aktivität CH4	
	Koord. 781'770/197'760, 1003 m ü.M., km 2.584		Wacholder (Juniperus sp.), dunkelbraune Äste	IHME-3164 / 2.2	12'330	± 70	14'065 - 14'745	rad.carb.lab. Kiev	C14-Aktivität CH4	
	Koord. 781'770/197'760, 1003 m ü.M., km 2.584		Wacholder (Juniperus sp.), kupferrote Wurzeln	IHME-3174 / 2.1	12'490	± 120	14'170 - 15'135	rad.carb.lab. Kiev	C14-Aktivität CH4	
	Koord. 781'770/197'760, 1003 m ü.M., km 2.584		Wacholder (Juniperus sp.), dunkelbraune Äste	IHME-3167 / 2.3	11'780	± 70	13'470 - 13'750	rad.carb.lab. Kiev	C14-Aktivität CH4	
<b>Tunnel Umfahrung Küblis</b>	Stillwassersediment, kreidiger Silt		Holzkohle	B-9854	5'860	± 90	6'448 - 6'891	Uni Bern	C14-Aktivität CH4	
	Koord. 777'170/198'620, 800 m ü.M.									
<b>Bauausführung Voreinschnitt West Dalfazza, 2009</b>	Bachschutt-, Rufeinschnittkegel,		Fichte (Picea abies), ? Lärche: Stammholz,	B-9856 / 5	7'000	± 30	7'782 - 7'933	Uni Bern	C14-Aktivität CH4	
	Koord. 777'175/198'625, 798 m ü.M.		Ast- und Rindenhholz	B-9855	6'230	± 30	7'152 - 7'253	Uni Bern	C14-Aktivität CH4	
<b>Erläuterungen:</b>										
Jahre BP (before present) bezieht sich auf das Jahr 1950. Es gilt: 0 J. BP = 1950 unserer Zeitrechnung.										
Weitere Erläuterungen zur Datierungsmethodik und Kalibrierung siehe Text Kap. 4. - Uni Bern: Radiocarbon-Labor Physik.Inst.; - ETH-Zürich: Lab. Ion Beam Physics; - rad.carb.lab.Kiev: IHME, Acad. Medical Science Ukraine										

Fig. 6: Radiocarbonatierung <sup>14</sup>C und Baumartbestimmung.

## **5 Interpretation der spätpleistozänen und frühholozänen Abschmelzstadien im hinteren Prättigau**

### **5.1 Der talfüllende Landquartgletscher gegen Ende der «Ältesten Dryas»**

Das «Sarganser Stadium» markiert gemäss Fig. 5 im Einzugsgebiet des Alpenrheins das Ende der «Ältesten Dryas». Der Sarganser Stand ist gemäss Zwahlen (2016, 2018) unter Bezugnahme auf Ivy-Ochs (2006) ein Zeitaquivalent zum Ende des «Gschnitz-Stadiums» bei Truns im Gschnitztal (Wipptal, Brenner, Nordtirol A). Die vorliegende Korrelationstabelle Fig. 5 wurde in Anlehnung an diejenige in Zwahlen (2016, Alpenrhein- und Bündnertäler) umgezeichnet und an die Verhältnisse des Prättigaus und Churer Rheintals angepasst.

Das Sarganser Stadium des Landquartgletschers, mit seinen typisch dreifach gestaffelten Seitenmoränen, erfüllte das hintere Prättigau noch bis auf Höhenkoten zwischen 1500 und 1600 bzw. bis etwa 600 m über dem heutigen Talboden. Die Gletscherstadien im Prättigau sind nach Kobler (1994), Zwahlen (2005) und Keller et al. (2008) definiert und kartiert. Auf der quartärgeologischen Kartenskizze von Fig. 1 ist das Sarganser Stadium der Stäfischwendi (1500 m ü.M., südlich oberhalb von Conters) noch in der Kartenecke unten links kartiert. Mit der drastischen Klimaerwärmung zu Beginn des Interstadials «Bølling» (DO1-Ereignis) zerfiel der Landquartgletscher über die Stadien von Lunden, Fideris, Küblis und Serneus (falls dies nicht Bildungen von Wiedervorstössen innerhalb der «Jüngeren Dryas» sind) innerhalb weniger Jahrhunderte vermutlich bis ins Talbecken von Serneus (vgl. Fig. 1 und 5) oder sogar zurück bis Klosters.

### **5.2 Grundmoräne im Saaser Tunnel, lokale Wiedervorstösse im «Bølling-Allerød»**

Die ältestest bekannten Ast- oder Wurzelstücke aus dem Prättigau wurden beim Vortrieb Ost des Saaser Tunnels gefunden. Mehrere fingerdicke Strauchresten waren wenige Meter über der Felsoberfläche in die dicht gelagerte, vernässte Grundmoräne des Landquartgletschers (siehe Kap. 3.1) eingepresst. Die sehr gut erhaltenen (rote Färbung, Rindenbast) Holzresten waren über etwa 100 Vortriebsmeter verteilt (Fundpunkte siehe Fig. 1 bis Fig. 3). Die Holzanalysen wiesen zweifelsfrei Ast- und Wurzelstücke von Wacholder und Weiden nach (siehe Anhang 1 Proben 2.1, 2.2, 2.3 und 3) und die <sup>14</sup>C-Datierungen ordnen diesen Holzfunden klar ein Bølling-Alter zu (ein etwas jüngerer Ausreisser dem «Allerød», vgl. die Alterstabellen von Fig. 5 und 6).

Die Interpretation erscheint plausibel, dass Gletschervorstösse zwischen «Bølling» und «Jüngeren Dryas» Schürflinge der alpinen Strauchtundra aus dem Talbecken von Serneus - Klosters in die Grundmoräne eingeschleppt haben. Die Stadien von Küblis, Fideris oder evtl. sogar Lunden (Kobler 1994) können als entsprechende Wiedervorstösse betrachtet werden und müssten demnach alle der Kälteregression der «Jüngeren Dryas» zugeordnet werden. Lunden und Fideris können aber auch als Rückzugsbildungen zwischen Sargans und Klosters im Zeitintervall «Bølling-Allerød» interpretiert werden (vgl. Längsprofil Prättigau - Rheintal der Stadien im Spätwürm, Zwahlen 2005); eindeutige Altersdaten zu dieser Frage fehlen bis heute.

### **5.3 Der Bergsturz Albeina - Büel Serneus in der «Jüngeren Dryas»**

Die auflagernden Arvenstämme von Büel belegen, dass der Bergsturz älter als diese bzw. älter als Präboreal sein muss (siehe Fig. 5). Gemäss der in Kap. 3.2 dargestellten

geologischen Sondierbefunde muss sich die Sturzmasse im Talbecken Klosters-Serneus entlang der rechten Talflanke und der Eiszungung des Landquartgletschers ausgebreitet haben. Die langgezogene Form des Sturzkörpers lässt sich plausibel derart deuten, dass der primäre Sturz in Richtung Klosters Dorf-Chlus nachträglich durch den Landquartgletscher entlang der Talflanke Gruobenstutz-Büel-Gruoben mitgeschleppt und langgezogen wurde. Mit dieser Deutung müsste das Glazialstadium von Serneus gleich alt wie der Bergsturz sein. Dazu kommt die Kaltzeit «Jüngere Dryas» in Frage, allenfalls noch ein früherer Wiedervorstoss innerhalb des «Allerød» oder zu Beginn der «Jüngeren Dryas». Älteste Dryas ist wegen der Wachholder- und Weidenfunde aus den Warmzeiten Bølling-Allerød innerhalb der Grundmoräne im Saaser Tunnel undenkbar (vgl. Fig. 5 und 6).

Mit dem Abschmelzen des Serneuser Stadiums im Verlauf des Präboreals hat sich dann der verschleppte Sturzkörper in die heutige Position direkt auf die Grundmoräne gesetzt. In diesem Sinn kann der Sturzkörper von Büel - Gruoben als Kamesterrasse bezüglich des Serneuser Standes betrachtet werden, im vorliegenden Fall bestehend aus randglazialen Sturzmassen und weniger aus fluviatilen Schottern.

#### **5.4 Lokale glazigene Schotterabsätze aus den rechten Talflanken im Präboreal**

In lokale Obermoränen und fluviatile Abschwemmungen vermutlich von seitlichen Hängegletschern (Egesen im weitesten Sinne) eingebettet waren die Arven von Büel und die Kiefer (*Pinus* sp.) aus dem Saaser Tunnel. Aus Schottern unter der Basis des Saaser Rutsches stammen zudem nicht näher bestimmte faserige Holzsplitter, die vermutlich ebenfalls von Kiefern weggebrochen sind. Diese vier Proben datieren einen ziemlich engen Altersbereich innerhalb des Präboreals (siehe Korrelationstabelle Fig. 5 und die Proben 1 und 4 im Anhang 5).

#### **5.5 Saaser- und Conterser Rutsche: Destabilisierung der Flyschflanken ab «Präboreal» bis «Boreal»**

Der Saaser Rutsch ist ein Phänomen der destabilisierten rechten Flyschflanke bestehend vorwiegend aus den jüngsten phyllitreichen Flyschserien Eggberg, Oberälpli und Ruchberg. Die Rutschmassen sind im Detail in Kap. 3.3 beschrieben. Nach den Holzfunden (siehe Fig. 5, Spalte f und Anhang 1) beurteilt, begann der Saaser Rutsch im Präboreal in den tieferen Talhängen Koniferenwälder, u. A. *Pinus* zu überfahren und in die Basisschichten einzuwalzen. Bis ins jüngere Boreal ist die Rutschaktivität entlang der Basis weiter verfolgbar, jetzt aber durch eingewalzte biegsame Äste, vermutlich von Birken, Weiden und/oder Erlen, also Gehölzen, die auch heute die Deformationen eines vernässten Rutschhangs tolerieren. Der Saaser Rutsch ist heute noch aktiv aber nachweislich (Inklinometermessungen in mehreren Sondierbohrungen, siehe BTG (1982-1992, Teilbericht 4) nur noch in seinen obersten 40 Metern (siehe Fig. 2) und typischerweise in kohärenten, oberflächlich oft kartierbaren Rutschschollen (Noverraz 1998, Zwahlen 2005).

Vom Conterser Rutsch (Noverraz 1998) im linken Talhang, ebenfalls einem typischen phyllitreichen Flyschrutsch, sind keine fossilen Holzfunde bekannt. Angesichts der symmetrischen Hanglage und des dynamischen Gleichgewichts am gemeinsamen Rutschfuss (siehe Kap. 3.3) nehmen wir an, dass dessen Rutschgeschichte ähnlich verlaufen ist wie gegenüber im Saaser Rutsch.

Bei Profilkonstruktionen durch die Rutsche (Fig. 2 und Noverraz 1998) erstaunen die schwach geneigten Basisflächen. Bei entsprechenden Rutschmodellierungen (Stand sicherheitsnachweise) müssen erhebliche Porenwasserdrucke in die Modellrechnung eingeführt werden, damit die Massen überhaupt instabil werden. Aus solchen Modell-

eigenschaften lässt sich umgekehrt schliessen, dass hohe Wasserdrucke die Rutsche überhaupt ausgelöst haben. Denkbar sind z.B. tiefgreifende Auftauprozesse im Permafrost in primär versackten Karmulden (Ragoz - Zastia - Saaser Calanda) im Verlauf der holozänen Klimaerwärmungen vom Präboreal ins Boreal.

### 5.6 Murgangereignisse im «Atlantikum» bzw. «neolithischen Optimum»

Die jüngsten Holzdatierungen (Fig. 5, Spalten e und g) belegen das Atlantikum bzw. das klimatische Optimum im Neolithikum. Grossstämmige Fichten und nicht näher bestimmte Koniferenreste sind in Murgänge und/oder Rüfenschutt oder Schwemmschichten eingelagert, bei Dalfazza sogar als Holzkohle in schneckenführende Seekreide (ehemals kleiner Tümpel, siehe Fig. 4).

### 5.7 Gletscherdynamik

Anhand der Korrelationstabelle Fig. 5 lassen sich die Dynamik der Eiszerfälle (Gletscherückzüge) innerhalb einzelner Stadialintervalle bzw. definierter Glazialstadien oder einzelner Wiedervorstösse abschätzen:

Der Eiszerfall am Übergang «Älteste Dryas-Bølling» ist extrem. Im Profil B (Saaser Tunnel, Fig.2) beträgt die entsprechende Schmelzmächtigkeit des Eises ca. 600 m, im Profil A (Büel-Serneus,  $\Delta H$  Sargans - Serneus) ca. 500 m.

Die Rückzüge sind sowohl zeitlich als auch durch deutliche Stadien gut fassbar. Die Vorstösse zwischen Klosters und Küblis sind bezüglich der Stadien schlecht definierbar, die Vorstosseschwindigkeiten daher als vage Abschätzungen zu betrachten.

## 6 Klimaabhängige Entwicklung der Gehölzassoziation

Aus den artbestimmten Gehölzen (vgl. Fig. 5 und Anhang 1) lässt sich eine klimatisch bedingte Abfolge von Waldassoziationen ableiten.

### 6.1 Klimastufe «Bølling-Allerød»

Innerhalb der Klimazonen «Bølling-Allerød» (bis frühes Allerød) wurden ausschliesslich Wacholder (*Juniperus* sp.) und Weiden (*Salix* sp.) festgestellt. Gemäss Burga & Per-

Stadial	angenommene Dauer [Jahre]	Glazialstadien	Distanz [km]	Zerfalls- bzw. Aufbaugeschwindigkeit [m/Jahr]
<b>Rückzug</b>				
Älteste Dryas	2000	Feldkirch - Sargans	25	12.5
Älteste Dryas - Bølling	1000	Sargans - Klosters	40	40
<b>Vorstoss</b>				
Allerød - Jüngere Dryas	1500	Klosters Serneus - Küblis / Fideris	6.7	4.5
Jüngere Dryas - Präboreal	1000	Klosters - Saaser Tunnel	3	3.0

ret (1998) sind dies Anzeiger der typischen alpinen Strauch- und Zwergstrauchtundra. Diese konnte sich bereits im frühen «Bølling» zumindest in den Talhängen von Serneus oder sogar Klosters etablieren.

## 6.2 Klimastufe «Präboreal»

Nach dem Klimazusammenbruch während der «Jüngeren Dryas», in der sich in den Hanglagen vermutlich nochmals eine alpine Tundra oder Strauchtundra ausbreitete (nicht nachgewiesen), etablierten sich mit der Klimaerwärmung zu Beginn des Holozän (Präboreal) hochstämmige Föhrenwälder (*pinus sp.*) mit Arven (*pinus cembra*) und vermutlich Birken. Auch diese Gehölzassoziation ist gemäss Burga & Perret (1998) in den internen Alpentälern im Präboreal zu erwarten.

## 6.3 Klimastufe «Präboreal - Boreal»

In diese Klimastufen fallen die Holzfunde entlang der Basis des Saaser Rutsches. Aufgrund von visuellen Beurteilungen könnte es sich um Holzreste von Koniferen sowie Weiden, Erlen oder Birken handeln, die noch heute typische Strauchvegetationen auf mobilen Rutschhängen bilden. Die in Sondierbohrungen geborgenen Holzreste konnten nicht genauer artbestimmt werden.

## 6.4 Klimastufe «Atlantikum» bzw. «neolithisches Optimum»

In den Murgangablagerungen von Küblis-Dalfazza («Atlantikum») sind erstmals Fichten (*picea abies*) nachweisbar (siehe Anhang 1). Zu dieser Zeit sind die Talhänge im Prättigau und den Seitentälern (Schanie-latobel) offenbar mit hochstämmigen Fichtenwäldern, vermutlich zusammen mit Föhren, Lärchen und Birken bestockt gewesen, also einem ähnlichen Waldtyp wie heute.

# 7 Kritische Zusammenfassung und Quervergleiche

## 7.1 Glaubwürdigkeit der Grundlagendaten und des geologischen Modells

Dank der langjährigen geologisch-geotechnischen Sondierkampagnen und Baubegleitung zum Projekt A28a Prättigauerstrasse des Tiefbauamtes Graubünden können die geologischen Darstellungen in Kap. 2 als sehr gut und mehrfach abgesichert gelten (BTG 1980-1992, BTG 1986-2006, BTG. 2004-2009, BTG 2009-2010, BTG 2012, Geologengemeinschaft BTG 1997 und 2007). Das dabei entwickelte geologische Talmodell erwies sich bis zum Bauabschluss als robust und praktisch widerspruchsfrei.

Die artbestimmten und <sup>14</sup>C-datierten fossilen Holzfunde stammen zwar zwischen Küblis und Klosters weit zerstreut aus dem ganzen «hinteren Prättigau» aber es stand damit eine Probendichte zur Verfügung, wie kaum jemals in einem internen Alpental. Die beigezogenen Speziallabors erstellen in ihrem Fachgebiet seit Jahrzehnten hochqualifizierte Analysen und Expertenberichte. Die Resultate (vgl. die Tabellen der Fig. 5 und 6) waren innerhalb der ausgewiesenen Fehlerbereiche kohärent mit den Geologiebefunden interpretierbar. Die daraus abgeleitete Talgeschichte des hinteren Prättigaus im Spätpleistozän und Frühholozän ist daher argumentativ robust fundiert und präsentiert sich widerspruchsfrei und vertrauenswürdig.

Die etwa 20 <sup>14</sup>C-datierten Holzfunde, wovon 7 spezifisch artbestimmt wurden, stellen verglichen mit Pollenanalysen, für die Interpretation der Klimageschichte einen statistisch mageren Beleg dar. Für pollenanalytisch brauchbare Probennahmen fehlten während der geotechnischen Sondierkampagnen die Zeit und das Interesse und unter dem Bau- und Vortriebsbetrieb sind entsprechende Beprobungen praktisch unmöglich.

Die Bergung von fossilen Hölzern waren nur deshalb möglich, weil die Ingenieurgeologen der Büros für Technische Geologie (BTG) in Chur und Sargans bereits seit der 1970er Jahre darauf achteten und die Funde auch archivierten und im eigenen Interesse datieren liessen. Im Fall des Projektes A28a gelang es, auch Bauingenieure der Bauleitung (Tiefbauamt Graubünden) und der Unternehmungen darauf aufmerksam und erdwissenschaftlich interessiert zu machen.

## **7.2 Konflikt mit bisherigen Korrelationen zur Klimageschichte in den Zentralalpen**

Dem Autor ist es bewusst, dass die vorliegenden Resultate und Interpretationen, so auch diejenigen in Zwahlen (2008 und 2016), teilweise den gängigen Auffassungen zur spätglazialen Erdgeschichte widersprechen. So wird im Rheineinzugsgebiet neu etwa das sog. «Gschnitz-Stadium» gegenüber den nicht belegten Annahmen von Maisch (1981 und 1992) oder Kobler (1994) von Klosters weit externer nach Sargans verlegt. Die Kälteregression der «Jüngeren Dryas» erhält mit den vorliegenden Daten ein viel grösseres Gewicht. Wenn das oder die Stadien von Klosters Serneus und Selfranga nachweislich Bildungen der «Jüngeren Dryas» aber nicht Egesenvorstösse sind, dann verbleibt für die weit internen gelegenen Stadien «Daun» und «Clavadel» gemäss Maisch (1981 und 1992) innerhalb der «Ältesten Dryas» oder im ausgehenden Hochglazial schlicht kein Zeitfenster. «Clavadel» und «Daun» müssen daher auch Bildungen der «Jüngeren Dryas» oder des «Präboreals» sein, dies in engem Kontext zu den Egesen-Vorstössen. Diese Interpretation stützt sich auf die vorliegenden Altersdaten und Holzartbestimmungen. Auf eine Analyse gemäss der sog. Schneegrenzdepression-Abschätzungen wurde aus Gründen von wissenschaftlichem Misstrauen gegenüber dem Verfahren verzichtet. Die obigen Schlussfolgerungen wurden vollständig unabhängig zu Reitner (2016) aus den

vorliegenden Daten abgeleitet. Die Befunde und Erkenntnisse aus dem Prättigau decken sich jedoch verblüffend mit denjenigen von Reitner (2016) aus der Region Lienz im Osttirol.

Mit den obigen Diskrepanzen stellt sich grundsätzlich die Frage, inwiefern die in den Alpentälern des Brennerpasses (Tirol) definierten Stadien und deren Nomenklatur unbedarft in die Zentralalpen übernommen werden dürfen. Die Hypothese drängt sich auf, dass der Nähe des Prättigaus und des ganzen Rheineinzugsgebietes zum «Engadiner Eisdom» gemäss Schlüchter (2009) und die relativ starken Jahresniederschläge für die Zuordnungen der Stadien möglicherweise ein viel stärkeres Gewicht zukommt (vgl. Zwahlen 2016). Jedenfalls sollten, zumindest bis vermehrt Altersdaten zur Verfügung stehen, die lokalen morphologischen Gletscherstadien in den Tälern der schweizerischen und benachbarten Zentralalpen nur noch mit entsprechenden Lokalnamen, wie sie z.B. die Korrelationstabelle Fig. 5 enthält, angesprochen werden.

## **7.3 Korrelationsunsicherheiten der Stadien im Inntal und Oberengadin**

Besonders gravierend sind die Korrelationsunsicherheiten im Inntal: Das Zungenbecken von Susana bei Cinuoschel (sog. Clavadel-Stadium im Oberengadin) ist gemäss Maisch (1981) an einer Tongyttja auf «Jüngere Dryas» datiert. Da Gyttjaprobe tendenziell zu hohe  $^{14}\text{C}$ -Alter liefern (eingeschwemmtes «totes»  $^{12}\text{C}$ ) kann für Susana ebenso mit Präboreal gerechnet werden, eine Annahme die durch Pollenanalysen mit starker Föhren-Arven-Dominanz im selben Moorprofil gestützt wird. Wo sich das Pendant zum Gschnitz-Stadium befindet ist bis heute unbekannt: bei Zernez? (eher unwahrscheinlich); irgendwo im tieferen Unterengadin? hier sind nur hangparallele Randmoränen bekannt, die evtl. korrelierbar mit Lunden oder Sargans sind, jedoch keine Stirnmo-

nen oder Zungenbecken; im tirolischen Oberinntal? oder sogar erst bei der Einmündung des Ötztals?

Die gefundenen Alter im Oberengadin (Silvaplana bis Maloja, 1800 bis 1860 m ü.M.) werden ebenfalls noch kontrovers diskutiert. Einerseits belegen mehrere Holzfunde aus Sedimentbohrungen im Silvaplana- und Silser See ziemlich eindeutig den Sedimentationsbeginn innerhalb der Stadiale «Jüngere Dryas» bis «Präboreal» (Gobet et al 2003, Donau 2014). Andererseits wurden in verlandeten Mooren und einem ehemaligen See am Maloja Pass auch Alter des «Allerød» bis in die «Älteste Dryas» gemessen (Ilyashuk et al. 2009). Dabei ist zu berücksichtigen, dass alle Alter >«Allerød» ausnahmslos in Tongyttja gemessen wurden, was heutige AnalytikerInnen misstrauisch macht (siehe oben und Kap. 8). Andererseits sei wieder auf die Resultate der vorliegenden Arbeit verwiesen, wonach sich im zentralalpiner Talbeken von Klosters-Serneus (ca. 1000 bis 1200 m ü.M.) eine Strauchtundra des temperierten «Bølling» etablieren konnte.

## **8 Ausblick auf weitergehende Forschungsarbeiten**

Aus den bisherigen Befunden, Interpretationen und Diskussionen lassen sich etliche offene Fragen ableiten.

### **8.1 Offene Fragen der Interpretation von $^{14}\text{C}$ -Altersdaten**

Die Analysemethodik und deren physikalische Grundlage werden hier nicht angezweifelt. Bei zunehmenden Datenmengen und Vergleichsmöglichkeiten stellen sich jedoch vermehrt Fragen angesichts von erstaunlich bis unwahrscheinlich hohen Altern (> Bølling) oder offensichtlich stratigraphisch inversen Altersabfolgen in Hochtälern. Dazu seien die palynologischen Arbeiten von Heitz (1975) und mit ihm dessen For-

schungsleiter Prof. H. Zoller, Gobet et al. (2004) und mit ihr Prof. W. Tinner, Paläökologe am Botanischen Institut der Uni Bern, Ilyashuk et al. (2009) oder z.B. im Alpenrheintal bei Feldkirch Burga (2016) mit einem Alter im Hochglazial! erwähnt. Dabei werden vermehrt Vermutungen angestellt, inwiefern der verwitterte Fels (saures Kristallin versus basische Serpentine versus Karbonate), fremde Windeinträge in alpine Böden (Tongyttja, Lössgyttja, Dy), die oft arm an Makroorganika sind, oder die Einschwemmung von gelöstem C aus Karbonatgesteinen (sog. totes  $^{12}\text{C}$ , welches das gemessene Alter erhöht) die Messwerte verfälschen könnten. Altersdaten aus Gytjtjaprobe stehen damit unter Generalverdacht für überhöhte Alter.

Die Beantwortung dieser Fragen betrifft die Grundlagenforschung, die interdisziplinär zwischen Analytikphysikern und den anwendenden Feldforschern der Erdwissenschaften, Paläobotanik und Archäologie erfolgen muss.

### **8.2 Korrelationsunsicherheiten zwischen Glazialstadien in verschiedenen Alpentälern**

Die Klärung dieser Unsicherheiten bedarf noch intensiver Feldaufnahmen wie geomorphologischer Kartierungen, stratigraphischer Profilaufnahmen, gezielter Probebohrungen und Aufsammeln von Zufallsfunden fossiler Hölzer, Erratikern (Datierung kosmogener Nuklide) oder Lössproben (Lumineszenzdatierung) in Baugruben oder frischen Erosionsböschungen. Ziel ist es, durch ein dichteres Netz von Fundpunkten datierter und stratigraphisch korrelierbarer Proben die regionalen und paläoklimatischen Zusammenhänge aufzuklären (vgl. Diskussion in Kap. 7.2 und 7.3).

### 8.3 Modellanalysen zur Eiszerfall- und Vorstössdynamik

Dies betrifft wieder die Grundlagenforschung und verfolgt ähnliche Ziele wie die Klimaphysik.

Bereits aus der vorliegenden Arbeit (vgl. Kap. 5.7 Tab 1) ist unschwer erkennbar, wie rasch das Würm-Eis im Spätpleistozän (Bølling) abschmolz und sich in die Alpentäler zurückzog. Umgekehrt verhalten sich die langsameren Vorstösse innerhalb von «Jüngerer Dryas und Präboreal» ebenfalls erstaunlich dynamisch. Diesbezüglich zeigt sich, dass sog. «Rückzüge» und «Wiedervorstösse» in den Alpentälern, insbesondere nach dem Sarganser Stadium noch kaum verstanden sind (siehe Stadien von Lunden (-Chur?), Fideris, Küblis, Seneus, Klosters-Selfranga und internere). Dem Kälteeinbruch im Stadial der «Jüngeren Dryas» kommt diesbezüglich vermutlich eine wesentlich grössere Bedeutung zu als bisher angenommen.

Möglicherweise erlauben die vorliegenden Daten, neuartige Modellanalysen zu Klimadynamik und Eisabbau bzw. -aufbau zu entwickeln. Vermutlich könnten die neu interpretierten Daten zudem Anlass geben, die ungenauen Altersdatierungen mittels kosmisch generierter Nuklide und/oder Lumineszenzmethoden sowie die Abschätzungen der Schneegrenzendepression genauer zu kalibrieren bzw. zu eichen. Angesprochen dazu seien Klima-, Strahlenphysiker und Modellingenieure etwa am Oeschger-Zentrum für Klimaforschung (OCCR) der Universität Bern.

#### Verdankungen

Die Grundlagepläne und -daten zur vorliegenden Arbeit wurden von 1980 bis 2010 anlässlich der Projektierung und der Baubegleitung des Projektes A28a Prättigauerstrasse im Auftrag des Tiefbauamtes Graubünden an den beiden Büros für Technische Geologie AG (BTG) in Chur und Sargans erarbeitet

(siehe nicht publizierte BTG-Berichte im Literaturverzeichnis). Das Tiefbauamt (Ch. Nänni) gab die benutzten Daten zur vorliegenden Publikation grosszügig frei. Die Berichtsauszüge, insbesondere die Digitalisierung der Pläne und Karten, die Figuren und Profile sowie die Literatursuche an Bibliotheken und im Internet wurden am BTG AG in Sargans durch die Geologin Flurina Brunold, die Zeichnerin Vivianne Lareida und die Sekretärin Daniela Schwitter redigiert. Das BTG hat dem Verfasser Peter Zwahlen die unverzichtbare Infrastruktur zur Verfügung gestellt.

Mit Planlieferungen, Datierungen und wissenschaftlichen Beratungen haben die Swisstopo, die Radiocarbonlabors des Physikalischen Instituts der Universität Bern, der Ion Beam Physics an der ETH, des conventional radiocarbon dating in Kiev, das Labor für quartäre Hölzer, W.H. Schoch und der Archäologische Dienst Graubünden (ADG) wesentlich zum Gelingen der vorliegenden Arbeit beigetragen. Die im Literaturverzeichnis erwähnten Autoren wissenschaftlicher Arbeiten ermöglichten wertvolle Diskussionen, wovon Markus Forrer, Daniel Figi, beides Arbeitskollegen und Geologen vom BTG, sowie Mathias Seifert vom ADG, Prof. Willy Tinner und Dr. Erika Gobet von der Paläoökologie (Plant Sciences) an der Universität Bern bereit waren, Korreferate für die jeweiligen Fachgebiete zu übernehmen.

#### Literaturverzeichnis

##### *Geologische Karten*

- Büro für Technische Geologie AG Sargans BTG, Zwahlen, P. & Brunold, F. 2012: Geocover 1:25'000 der Atlasblätter Schiers, Serneus, Schesaplana, Sulzfluh: Überarbeitung von Zwahlen, P. (2004), Felsformationen kompilatorisch ergänzt. - Originale Aufzeichnung 1:25'000 und PDF, archiviert bei der Landesgeologie swisstopo, BTG-Auftrag Nr. 5430
- Arbenz, P. (Red.), Cadisch, J. & Leupold, W. 1929: Geologische Karte von Mittelbünden, Spez. Karte 94 B, Blatt Davos, 1:25'000. Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz N.F. Lief. II, Schweiz. Geol. Kommission
- Häfner, W. 1926: Geologische Karte des Südöstlichen Rätikon 1: 25'000. Spez. Karte 111, Beitr. z. geol. Karte der Schweiz NF. 54, geol. Komm. der Schweiz. Natf. Ges.
- Nänni, P. 1948: Geologische Übersichtskarte der Prätigauschiefer zwischen Rätikon und Plessur und Geologische Profile 1:75'000: in Nänni P. (1948)
- Noverraz, F. 1996: Glissement de Conters-Gottnahang (Grisons), carte et profils géologiques 1:10'000. PNR31 - Versinclin, EPF Lausanne DGC/ISRF, Octobre 1996
- Schlüchter, C. (Kompilation) & Burkhalter, R. (Redaktion) 2009: Die Schweiz während des letzzeitlichen Maximums (LGM), 1:500'000. Bundesamt für Landestopografie swisstopo

Zwahlen, P. 2004: Geologische Karte des Quartärs im Prättigau, Blätter 1:25'000 Schiers, Serneus, Schesaplana, Sulzfluh und Teile der Blätter Davos und Arosa. - Originale Autorenaufzeichnung 1:12'500, archiviert bei der Landesgeologie swisstopo

### Literatur

Allemann F. 2002: Erläuterungen zur Geologischen Karte des Fürstentums Liechtenstein 1:25'000. Regierung des Fürstentums Liechtenstein

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* 20(5) 711-721, sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav.

Burga, C.A & Perret, R. 1998: Vegetation und Klima der Schweiz seit dem jüngeren Eiszeitalter. Ott Verlag, Thun.

Burga, C.A & Chédel M. 2016: Spät- und nacheiszeitliche Floren- und Vegetationsgeschichte der Region Feldkirch - St. Galler Rheintal am Beispiel des Pollenprofils von Mariagrün. *BAUHINIA* 26/2016 / 1-22 / bot-ges.unibas.ch/bauhinia26.htm.

Dansgaard, W., & Öschger, H. 2010: in <https://web.viu.ca/earle/geol-412/Dansgaard-Oeschger-cycles.pdf>

Dapples, F., Oswald, D., Raetzo, H., Lardelli, T. & Zwahlen, P. 2003: New records of Holocene landslide activity in the Western and Eastern Swiss Alps. *Eclogae geol. Helv.* 96/1, pp 1-9

Donau, F. 2014: Holocene sediment budget and sediment dynamics of Lake Sils in the Upper Engadin. Master Thesis, ETH Zürich, Department of Earth Sciences

Gobet, E., Tinner, W., Hochuli, P.A., van Leeuwen, J.F.N. & Ammann, B. 2003: Middle to Late Holocene vegetation history of the Upper Engadine (Swiss Alps). *Veget Hist Archaeobot* 12:143-163, Springer Verlag 2003

Heim, A. 1932: Bergsturz und Menschenleben. Vierteljahrsschrift der Naturf. Ges. Zürich, Fretz & Wasmuth Verlag AG Zürich.

Heitz, Ch. 1975: Vegetationsentwicklung und Waldgrenzschwankungen des Spät- und Postglazials im Oberhalbstein (Graubünden / Schweiz) mit besonderer Berücksichtigung der Fichteneinwanderung. *Beitr Geobot Landesaufnahme der Schweiz*: 55

Ilyashuk, B., Gobet, E., Heri, O., Lotter, A.F., van Leeuwen, J.F.N., van der Knaap, W.O., Ilyashuk, E., Oberli, F. & Ammann B. 2009: Lateglacial environmental and climatic changes at the Maloja Pass, Central Swiss Alps, as recorded by chironomids and pollen. *Quaternary Science Reviews* 28 (2009) 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.

Keller, O. & Krayss, E. 2008: Zur letzteiszeitlichen Vergletscherung im Prättigau. *Berichte der St.Gallischen Naturw. Ges.* 91. Band, S. 55-75

Keller, O. & Krayss, E. 2010: Mittel- und spätpleistozäne Stratigraphie und Morphogenese in Schlüsselregionen der Nordschweiz. *E&G Quaternary Science Journal*, Vol. 59, Nr. 1-2/2010/82-119

Kobler, E. 1994: Die späteiszeitlichen Gletscherstände im Prättigau. *Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubünden* 107, 45-128

Maisch, M. 1992: Die Gletscher Graubündens. Geographisches Institut der Universität Zürich

Maisch, M. 1981: Glazialmorphologische und gletschergeschichtliche Untersuchungen im Gebiet zwischen Landwasser- und Albulatal (Kt. Graubünden Schweiz). Geographisches Institut der Universität Zürich, Dissertation

Nänny, P. 1948: Zur Geologie der Prättigauschiefer zwischen Rätikon und Plessur. Diss. Zürich, Druck Gebr. Fretz AG, Zürich

Noverraz, F. et al. 1998: Glissement de Conters et du Gotschnahang (Grisons) in: *Grands glissements de versants et climat - VERSINCLIM*, pp 155 - 178. Rapport Final PNR 31, vdf, Hochschulverlag AG, ETH Zürich

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

van Raden, U.J., Colombaroli, D., Gilli, A., Schwander, J., Bernasconi, S.M., van Leeuwen, J.F.N., Leuenberger, M. & Eicher, U. 2013: High-resolution late-glacial chronology for the Gerzensee lake record (Switzerland):  $\delta^{18}O$  correlation between a Gerzenseeestack and NGRIP. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 391: 13-24 2013

Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A. & Beck, W et al. 2013: IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0-50,000 Years cal BP. *Int-Cal 13* Vol. 55, Issue 4, Jan. 2013, [https://doi.org/10.2458/azu\\_js\\_rc.55.16947](https://doi.org/10.2458/azu_js_rc.55.16947), published online: 09 February 2016

Reitner, J.M., Ivy-Ochs, S. & Drescher-Schneider, R. et al. 2016: Reconsidering the current stratigraphy of the Alpine Lateglacial: Implications of the sedimentary and morphological record of the Lienz area (Tyrol/Austria). *E&G Quaternary Science Journal*, Vol. 65, Nr. 2, 2016.

Steinmann, M. 1994: Ein Beckenmodell für das Nordpenninikum der Ostschweiz. *Jahrbuch der Geol. Bundesanstalt Wien*, Band 137/4 S. 675-721

Stuiver, M., Reimer, P.J. & Reimer R. 1999: CALIB Radiocarbon Calibration. HTML version 4.2, Execute at Queen's University, [www.calib.org](http://www.calib.org).

VSS Schweizerischer Verband der Strassenfachleute 2008: Geotechnische Erkundung und Untersuchung. Bodenklassifizierung nach USCS. Schweizer Norm SN 670 004-2b-NA, VSS Zürich 2008

- Zwahlen, P. & Kobler E. 2005: Geologische Karte des Quartärs im Prättigau, Blatt Schiers, Text zu den Erläuterungen. Dez. 2004 / Dez. 2005 archiviert bei der Landesgeologie swisstopo
- Zwahlen, P. 2008: Geologische Karte des Quartärs im Prättigau (Graubünden Schweiz). *Geographica Helvetica* Heft 3, 193 - 205
- Zwahlen, P. 2012: Entstehung der Naturlandschaft in: Zeiten und Räume, Frühzeit bis 1350, Geschichte des Kantons Schwyz, Band 1. Historischer Verein des Kantons Schwyz, CHRONOS.
- Zwahlen, P. 2016: Würmeiszeit und die Rückzugsstadien im Alpenrheintal. *GeoTirol* 2016, Annual Meeting DGGV 25 -28 September 2016 Universität Innsbruck. Posterpräsentation.
- Zwahlen, P. 2018: Würmeiszeit und die Rückzugsstadien im Alpenrheintal, Korrelation von 14C-Datierungen aus Bohrprofilen mit Glazialstadien und -schwankungen, Klimaphasen, archäologischen Kulturen und Biozonen. *CHGEOL Newsletter* 16.01.2018 [digital].
- Nicht publizierte Geologisch-Geotechnische Berichte im Archiv des BTG Sargans*
- BTG Büro für Technische Geologie, Dr. T. Lardelli & Dr. Th. Locher 1987-1988: Vereinalinie RhB, Berichte 3733 zu Geologische Untersuchungen Zugwaldtunnel 1987 und Submissionsbericht 1988. Archiv BTG Büro für Technische Geologie AG Sargans
- BTG Büro für Technische Geologie, Dr. T. Lardelli 1980-1992: A28a Prättigauerstrasse, geologisch-geotechnische Teilberichte Nr. 3076- 1 bis 14 zum Auflageprojekt 1992. Archiv BTG Büro für Technische Geologie AG Sargans
- BTG Büro für Technische Geologie, Arbeitsgemeinschaft BTG Dr. T. Lardelli & Baugeologie AG Chur 1986-2006: A28a Prättigauerstrasse, Umfahrung Klosters, Gotschnatunnel. Geologisch-geotechnische Teilberichte Nr. 3076- 22 bis 25. Sondierberichte und Auflageprojekt 1986-1997, Baubegleitung 2003-2005, Schlussdokumentation 2006. Archiv BTG Büro für Technische Geologie AG Sargans
- BTG Büro für Technische Geologie Chur, Dr. T. Lardelli. 1982 - 1992: A28 Prättigauerstrasse Umfahrungen Küblis, Saas, Klosters, Auflageprojekt Dalvazza - Klosters. Geologische Berichte Nr. 3076, mit Sondierbohrungen, Seismik, Karten und Profilen. Tiefbauamt Graubünden und BTG Sargans
- Teilgebiete 1 & 2: Umfahrung Küblis, Varianten Nord und Süd, Bericht Nr. 3076-1&2, 1992
  - Teilgebiet 3: Saaser Stutz, Bericht Nr. 3076-13.3, 1992
  - Teilgebiet 4: Saaser Tunnel, Bericht Nr. 3076-13.4, 1992
  - Teilgebiet 5: Halbanschluss Saas - Anschluss Pagrüeg, Bericht Nr. 3076-13.5, 1992
  - Teilgebiet 6: Ausführungsprojekt 1994 Schüttung Groben - Büel, Geol. Bericht 3076-14
- BTG Chur Dr. E. Dedual (1988): Rutschgebiet Saas-Waldhof, Rüti, Bericht Nr. 3076-8
- BTG Büro für Technische Geologie Chur, Dr. T. Lardelli. 1996 - 2008: A28 Prättigauerstrasse Umfahrungen Küblis, Saas, Klosters, Auflageprojekt Dalvazza - Klosters. Geologische Dokumentation Nr. 3076-25, Schlussdokumentation mit Untersuchungsberichten, Bauaufnahmen.
- Tiefbauamt Graubünden und BTG Sargans
  - Baubegleitung: Trasseebau A28 Saasalpbach - Sunnibergbrücke, Geologie Dokumentation Auftr. Nr. 3076-25, 2006
- Geologengemeinschaft Locher und Kobel Sargans, Keller F. & Mohr H. 1995: Zugwaldtunnel, TBM-Vortrieb, Los T4a, Geologischer Schlussbericht, Bericht Nr. 3733-36 vom 31.03.1995. Rhätische Bahn, Vereinalinie, Archiv BTG Büro für Technische Geologie AG
- Geologengemeinschaft Dr. M. Kobel + Partner AG / Dr. von Moos AG 2004-2009: Schweizerische Nationalstrasse A28, Umfahrung Saas. Baubegleitung, Originalaufnahmen. Geologisch-geotechnische Teilberichte Nr. 4950- 1 bis 4. Archiv BTG Büro für Technische Geologie AG Sargans
- Geologengemeinschaft Dr. M. Kobel + Partner AG / Dr. von Moos AG 2009-2010: Nationalstrasse A28, Umfahrung Küblis, Auftragsnr. 5172. Geologie Baubegleitung Voreinschnitt Dalvazza und Prada (2009) und Querung Schanielatobel (2009-2010): Geologie, Hydrogeologie, Geotechnik, Teilberichte. Tiefbauamt Graubünden und Archiv BTG Sargans
- Geologengemeinschaft Dr. M. Kobel + Partner AG / Dr. von Moos AG, Forrer, M. 2012: Schweizerische Nationalstrasse A28, Umfahrung Saas. Geologie Bauausführung. Geologie, Hydrogeologie, Geotechnik. Schlussbericht Tunnel 4950-5, Schlussbericht Sicherheitsstollen 4950- 6 vom 29.02.2012. Tiefbauamt Graubünden und Archiv BTG Büro für Technische Geologie AG Sargans
- Geologengemeinschaft Dr. M. Kobel + Partner AG / Dr. von Moos AG, Forrer, M. 2012: A28 Umfahrung Saas, Geologie Bauausführung. Tunnel, Geologie, Hydrogeologie, Geotechnik, Schlussbericht Nr. 4950-6. Tiefbauamt Graubünden und Archiv BTG Sargans
- Geologengemeinschaft Gotschnatunnel Büro für Technische Geologie AG/Baugeologie Chur, Dr. T. Lardelli & R. Mürger 1997: A28 Umfahrung Klosters Abschnitt Gotschnatunnel, Bauprojekt Geologie, Geologischer Bericht Nr. 28a.3352.005, Geologisch-Geotechnisches Längenprofil 1:5000 Beilage 1. Tiefbauamt Graubünden und Archiv BTG Sargans
- Geologengemeinschaft Gotschnatunnel Büro für Technische Geologie AG/Baugeologie Chur, Dr. T. Lardelli & R. Mürger 2007: A28 Umfahrung Klosters, Geologische Dokumentation, Pläne des ausgeführten Werkes. Geologischer Befund Gotschnatunnel und Aussenanlagen. Bericht Nr. 28a.3380.001, Auftrag Nr. 3076.100. Tiefbauamt Graubünden und Archiv BTG Sargans

## Anhang 1

**Holzartenbestimmungen:** Auszug des Laborberichtes vom 9.01.2017

Labor für quartäre Hölzer, W. H. Schoch,  
Unterrütistrasse 17, CH - 8135 Langnau,  
e-mail: holz.schoch@pop.agri.ch

Prättigauerstrasse Umfahrungen Küblis-  
Saas-Klosters Serneus  
6 Holzproben, Holzartenbestimmungen

### *Objekt*

Während des Vortriebes des Saasertunnels (Prättigauerstrasse GR) 2005 bis 2009 wurden von den Ingenieurgeologen Holzproben geborgen. Die Proben sind alle <sup>14</sup>C-datiert und umfassen die Alter Bölling bis Präboreal. Geologisch waren sie in die Grundmoräne des Landquartgletschers (Bölling - Alleröd), die Obermoränen von Lokalgletschern (jüngere Dryas - Präboreal) oder die Rutschmassen des Saaser-Rutsches (Präboreal - Boreal) eingelagert.

Da keine Sedimentproben (Tunnelbaustelle!) vorliegen, an denen Pollenanalysen durchgeführt werden könnten, ist die Artbestimmung der Hölzer wichtig. Die Gehölzarten sind wichtige Klimaindikatoren für den spätpleistozänen Übergang von der inneralpinen Eiszeit in das warme Holozän.

### *Bestimmung*

Von den Holzproben wurde die Art mikroskopisch bestimmt. Dazu wurden für die Bestimmung Handschnitte hergestellt, jeweils Quer-, Radial- und Tangentialschnitt. Diese Proben wurden im Durchlichtmikroskop (Olympus BX-60, Objektive UMPlanFL 5x, 10x, 20x und 50x) betrachtet und die signifikanten Merkmale der Arten erkannt.

Für die fotografische Dokumentation mussten entsprechende Schnitte mit dem Mikrotom angefertigt werden. Dies ist bei biologisch abgebauten Hölzern aufwändig, da die Stabilität des Holzes sehr gering ist, die

Schnitte deshalb sehr leicht zerfallen. Aus diesem Grund sind die Schnitte nicht eingefärbt worden.

### *Resultate*

Bei den Angaben der <sup>14</sup>C-Daten handelt es sich um die kalibrierten Daten, Jahre BP.

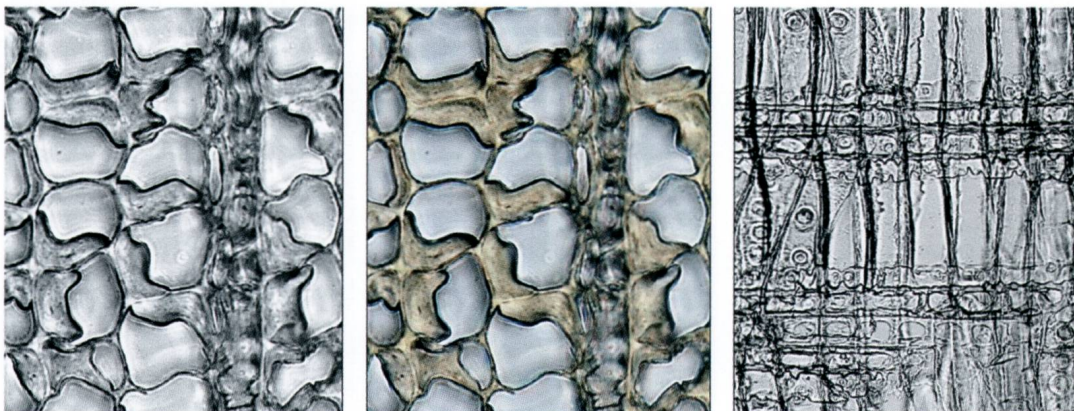
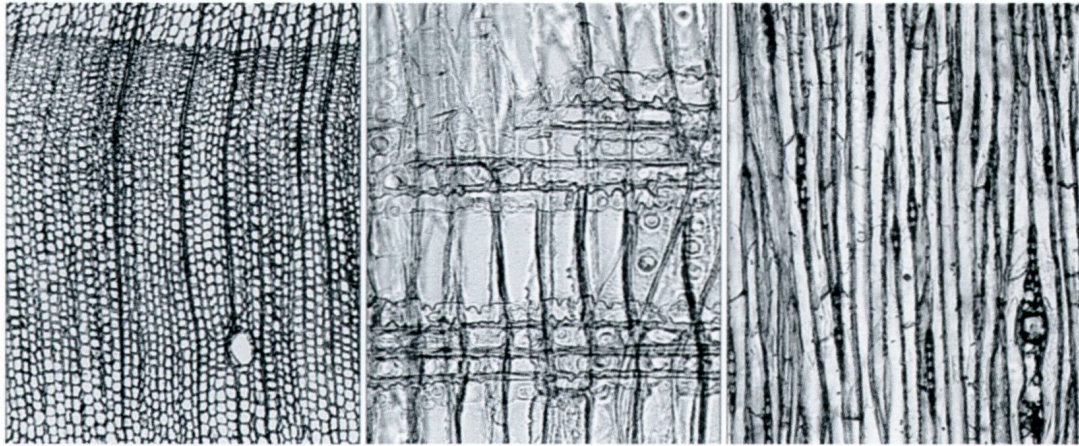
Die Fotos der Dünnschnitte sind die Dokumentation der vorliegenden Hölzer. Auf den ausgewählten Bildern sind alle für eine Bestimmung notwendigen Merkmale sichtbar, zusätzlich sind wichtige Bestimmungsmerkmale oder besondere Details in stärkerer Vergrößerung angefügt.

## Probe 1

Pilotstollen, TBM-Vortrieb, Tm 1880, km 2.408. Koord. 781'634/197'856, 1000.00 m ü.M.  
Stamm mit Wurzelstock, <sup>14</sup>C 11'620-11'250, 11'400-11'170

### *Pinus mugo/sylvestris*, **Berg- oder Waldföhre**

Die beiden Arten können holzanatomisch nicht differenziert werden.



Anatomische Merkmale:

Biologischer Abbau, Querschnitt, kollabierte Sekundärwände im Spätholz, losgelöst von der Primärwand

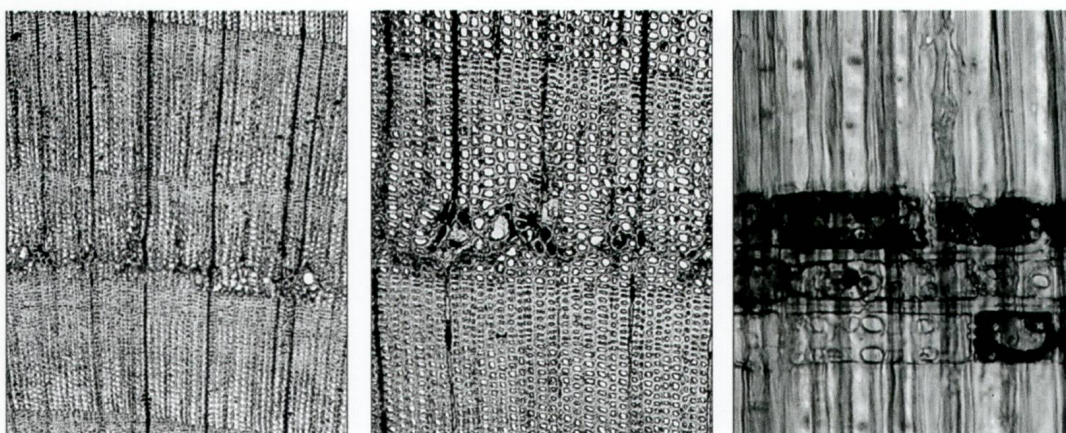
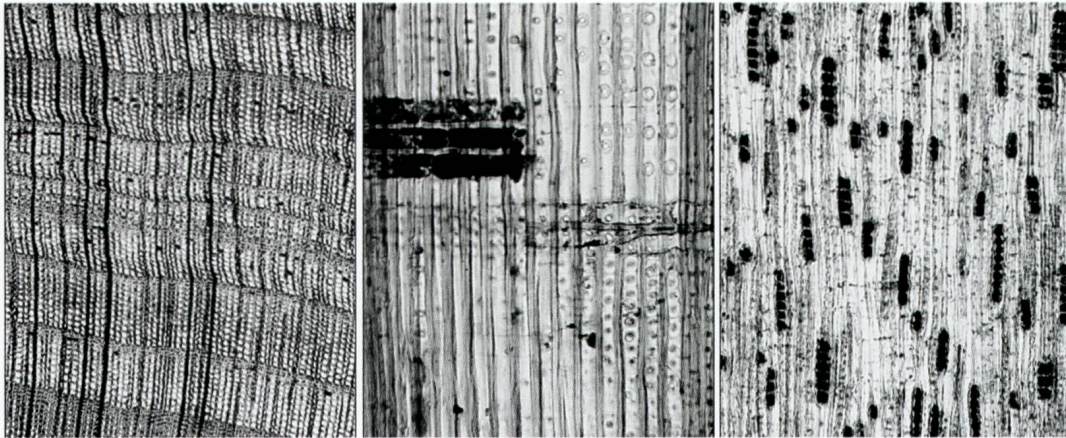
Markstrahlen im Radialschnitt, Grosse Tüpfel und Markstrahltracheiden mit Zackenwände

### Proben 2.1 und 2.3

Saaser Tunnel km 2.584, Koord. 781'770/197'760, 1003. m ü.M.

Aststücke dunkelbraun <sup>14</sup>C (2.1) 14'065-14'745, <sup>14</sup>C (2.3) 13'470-13'750

*Juniperus sp.*, Wacholder



Anatomische Merkmale:

Wachstumsanomalie, Querschnitt, Kambiumverletzung, im Frühholz, mechanisch oder durch Spätfrost?

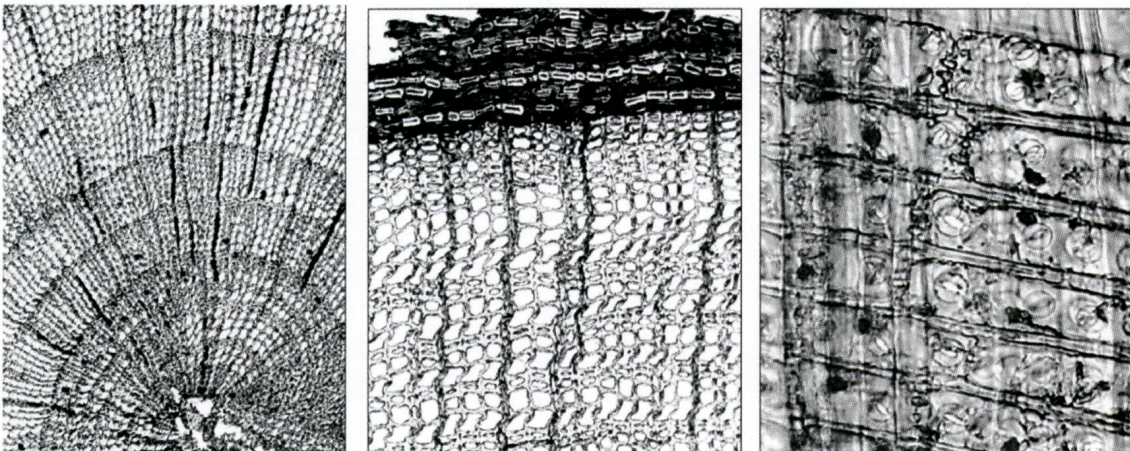
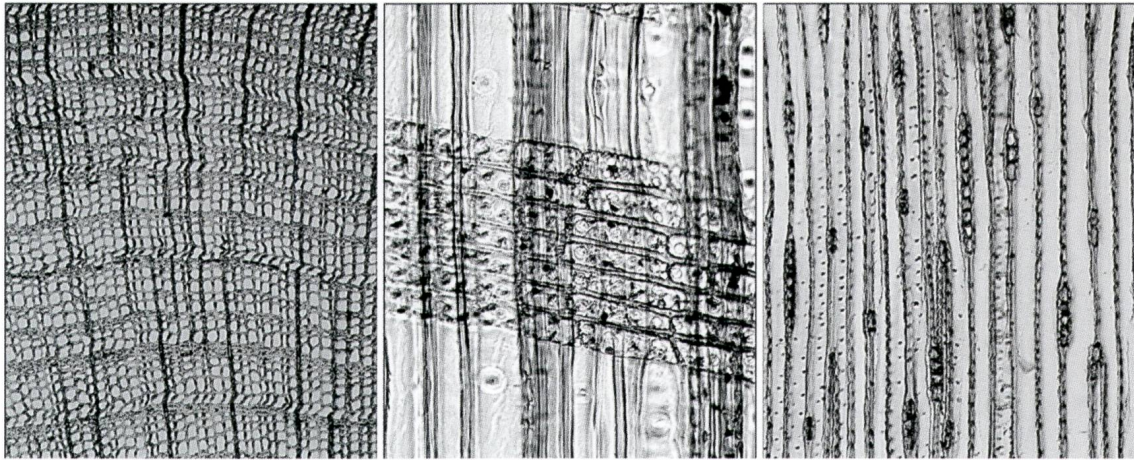
Markstrahl im Radialschnitt, für Wacholder typische Tüpfelform

## Probe 2.2

Koord. 781'770/197'760, 1003. m ü.M. km 2.584 und Tm 380 von Süd.

Wurzel kupferrot mit Bastrinde, <sup>14</sup>C 14'170-15'135 und 13'977-14'258

*Juniperus sp.*, Wacholder



Anatomische Merkmale:

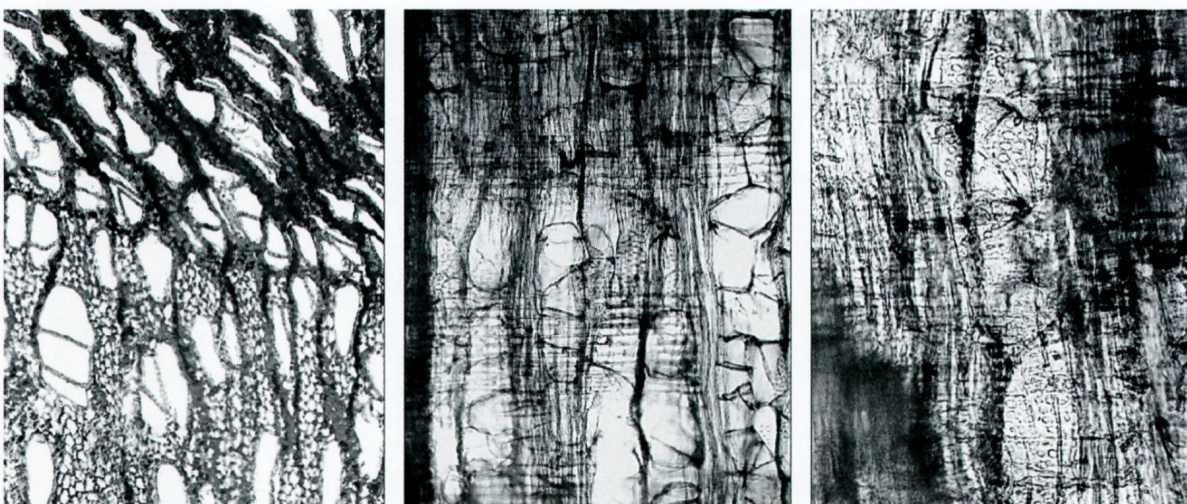
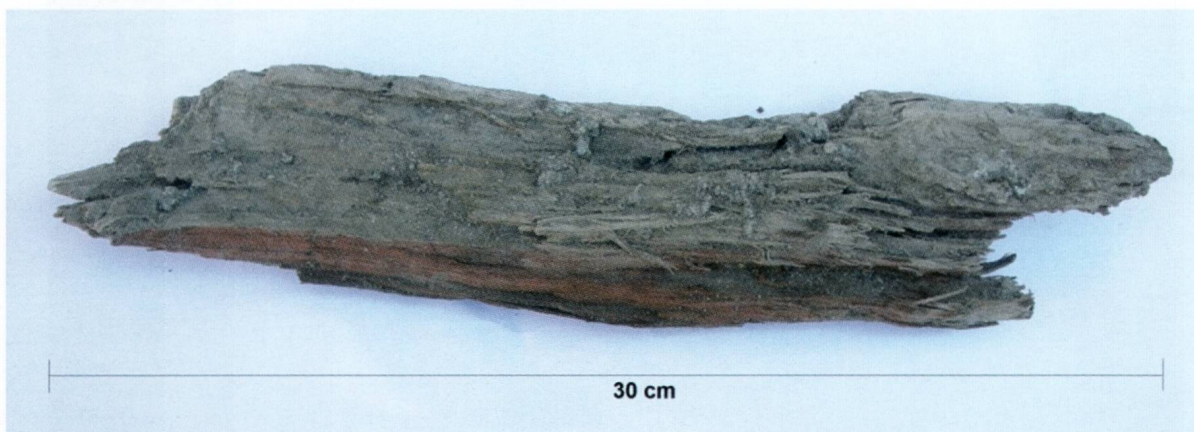
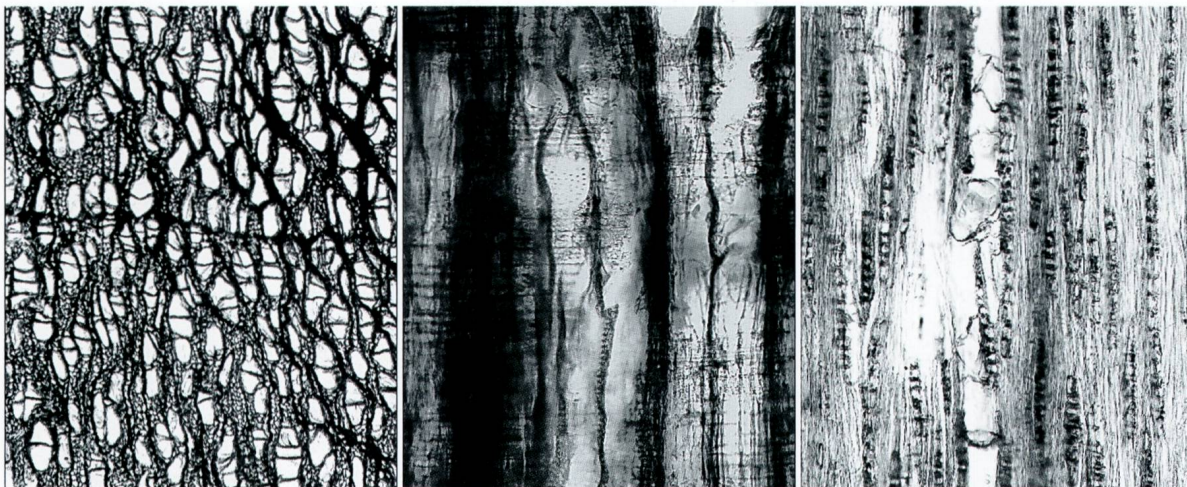
Wurzel, fehlendes Mark. Querschnitt, schmale Jahrringe, mit Rindenrest.

Markstrahl im Radialschnitt, typische Tüpfel, tangentielle Trennwände mit Knötchen

### Probe 3

Pilotstollen, TBM-Vortrieb, Tm 1985, km 2.513. Koord. 781'715/197'827,  
1002.10 m ü.M., roter Stammsplitter, <sup>14</sup>C 13'900-14'150

*Salix sp., Weide*



Anatomische Merkmale:

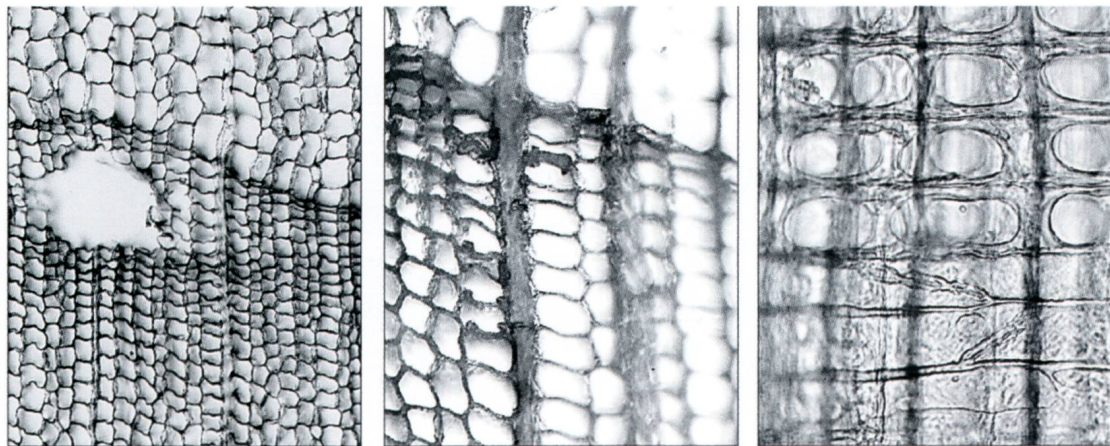
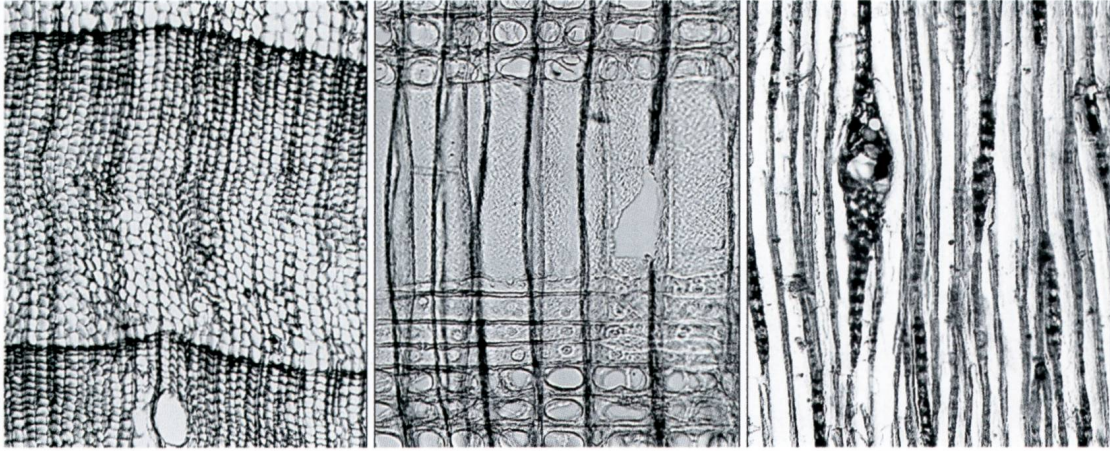
Biologischer Abbau, partiell gepresst, Querschnitt.

Radialschnitt, Thyllen in den Tracheen. Markstrahlen heterogen, extrem grosse Tüpfel in den Kreuzungsfeldern Tracheen/Markstrahlen

#### Probe 4

Widerlager Sunnibergbrücke N, Baugrube Büel, verschwemmte Moräne auf Bergsturz, Koord. 784'100/195'750, 1065 m ü.M. Zwei Stammstücke, einer mit Stockansatz, Ø ca. 60 cm, l ca. 5 m, Splintholz, <sup>14</sup>C 11'250-11'950

#### *Pinus cembra*, Arve



#### Anatomische Merkmale:

Querschnitt, Harzkanal in Jahrringgrenze, wenig Spätholz. Biologischer Abbau, kollabierte Sekundärwände im Spätholz.

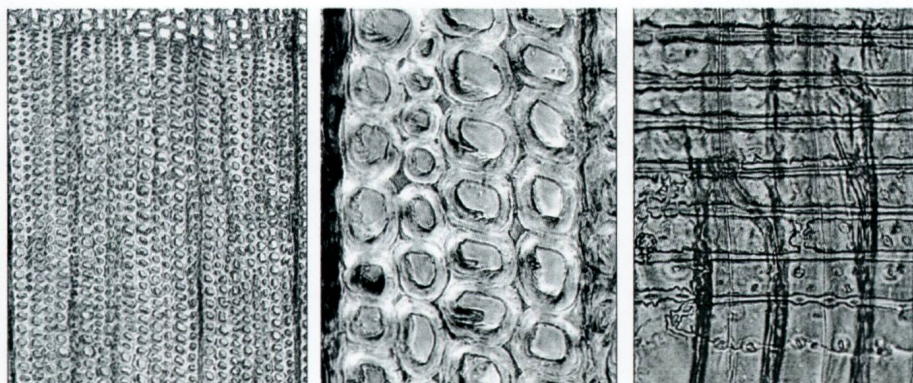
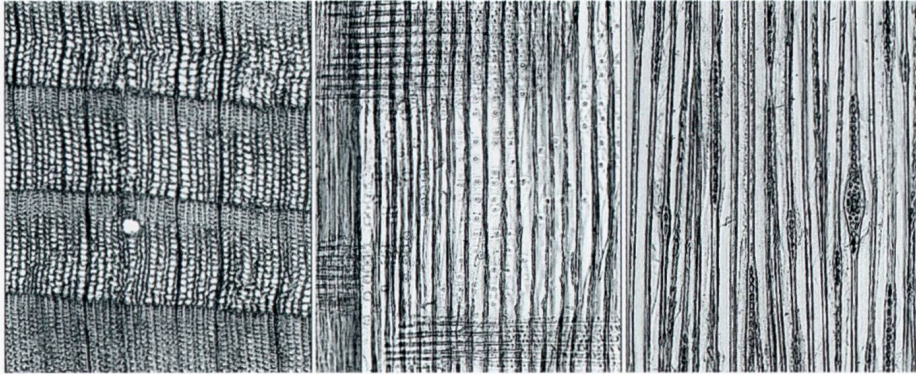
Markstrahl im Radialschnitt, grosse Tüpfel, Markstrahltracheiden mit glatten Wänden

## Probe 5

Rüfenschutt-, Murgangkegel Dalfazza, Koord. 777'175/198'625, 798 m ü.M., Stamm-, Ast- und Rindenholz, <sup>14</sup>C 7'782-7'933 und 7'152- 7'253

### *Picea abies*, Fichte

Fichte und Lärche können holzanatomisch nicht mit Sicherheit unterschieden werden. In dieser Probe deuten die Merkmale eher auf Fichte hin, Lärche kann aber nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.



Anatomische Merkmale:

Querschnitt. Astholz mit Druckholz, vergrößert sind die Interzellularräume zwischen den rundlichen Zellen erkennbar.

Radialschnitt, Markstrahl mit deutlich unterschiedlichen Markstrahltracheiden (unterste zwei Reihen)