

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-Geowissenschaftern; Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie
Band:	23 (2018)
Heft:	2
Artikel:	Klimgeschichte 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: 25.01.2026

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, ¹⁴C-Datierungen und Holzartbestimmungen

Peter Zwahlen¹

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, Wurzelstücke, Wurzeln, Äste, vermodertes Holz und Rinde) ausgegraben oder angebohrt. An 20 Proben datierten verschiedene Alterslabors die ¹⁴C-Alter, an 7 Proben davon wurde zudem die Baumart bestimmt.

Untersuchungsresultate: 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 Wurzelstücke 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/Bölling (GS-2/GI-1 oder D01-event um 14'650 cal BP, Rasmussen et al. 2014, siehe Fig. 5) schmolz die Eiszunge des Landquartgletschers im Bölling (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 Bergsturzfächern, 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 überwälzte 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).

¹ 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 ^{14}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 Schanielatobel (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 ¹⁴C-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 Klimgeschichte aufzustellen d.h. das Ende der Würmeiszeit und gleichzeitig die Waldentwicklung ab dem Bølling bis ins Boreal, im Falle des Murgangniederganges bei Dalfazza bis ins Ältere Atlantikum zu skizzieren (Fig. 5).

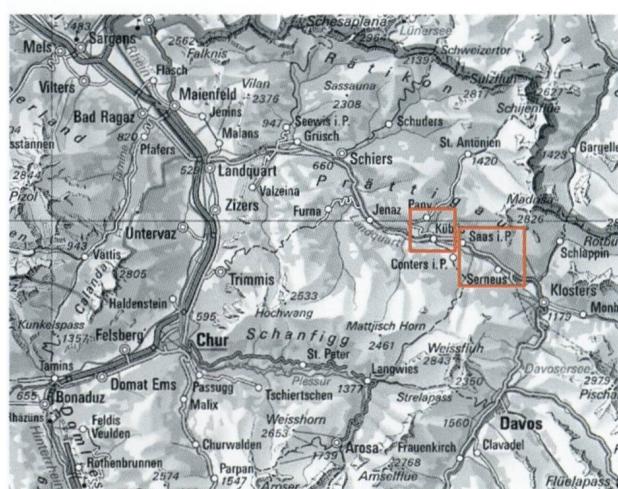
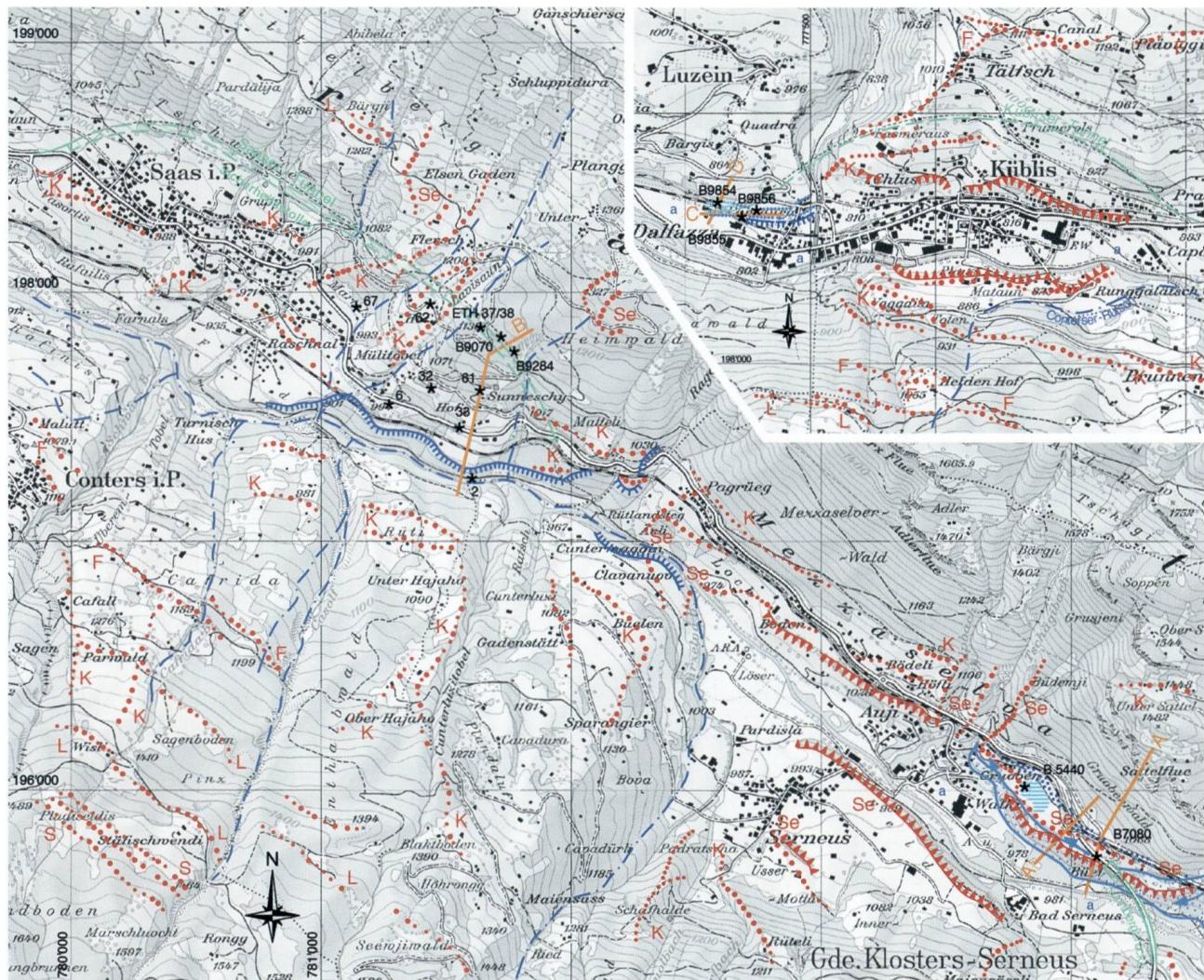
2 Geologische Situation

Das Prättigau ist in die Serien des Prättigau-Flysches eingeschnitten, die vermutlich ab der frühen Kreide (Nanny 1948), sicher ab dem Cénomanien (Steinmann 1994) bis ins Frühtertiär (Yprésien, frühes Eozän) als Turbidite in das frühlalpine, penninische, tiefmarine Subduktionsbecken abgestromt sind. Im hinteren Prättigau betrifft dies die jüngeren Serien «Gyrenspitz-Serie» (Campanien) bis «Ruchberg-Sandstein» (frühes Eozän, Yprésien, Nanny 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 fliessend in die feinkörnig plattigen, kieseligen Sandsteine und schwarzen Phyllite der Oberälpli-Serie über. Im Becken von Serneus lagert die intensiv tektonisierte, von ESE überschobene Gempis-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 mittelstein 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 (Letzeiszeit oder Birrfeld-Glazial, Keller 2010), völlig diskordant die erodierten Felsoberflächen.



LEGENDE

glaziale Morphologien, Pleistozän:

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

Bergsturz

- Reichweite hangseitig unter Se-Moräne
- Sturzmasse
- ← Sturzzunge

Holozän:

- Erosionsböschungen
- Ränder von Grossrutschen
- Umfahrungstunnel Küblis und Saas
- Sunnibergbrücke Umfahrung Klosters
- Murgangablagerung Dalfazza
- a Landquartalluvionen
- Stillwassersedimente

Geologische Profile (A, A', B, C, D)

★ 61 B9070 Fundpunkte 14C-Proben Sonderbohrung Probennummer

Fig. 1: Küblis – Saas – Serneus, Situation 1:25'000. Übersicht Quartärgeologie mit Fundpunkten der ^{14}C – Proben und Projekt A28a.

3 Stratigraphie der holzführenden Lockergesteine

3.1 Glazogene 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 Grobfraktion 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 angerundeten, 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 Grobfraktion Kies und Steine matrixgestützt eingebettet waren.

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

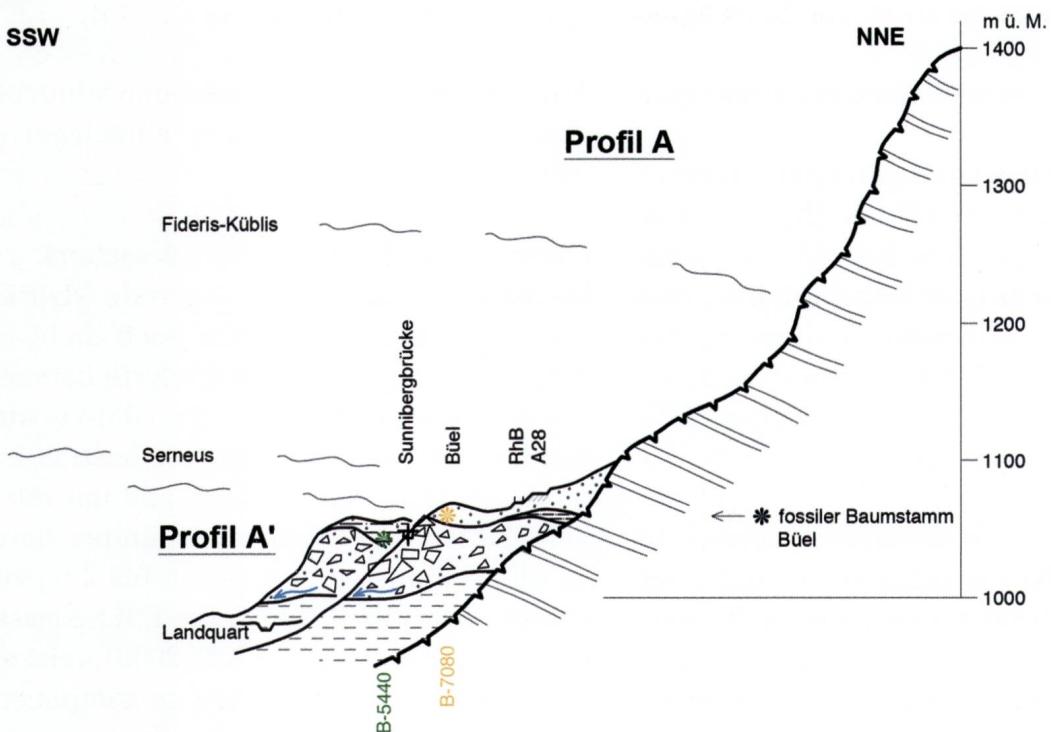
Obermoräne des Landquartgletschers:

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 Grobfraktion. Die Komponenten bestehen aus dunklen, kantigen bis angerundeten, 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 Gebirgwasser 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.

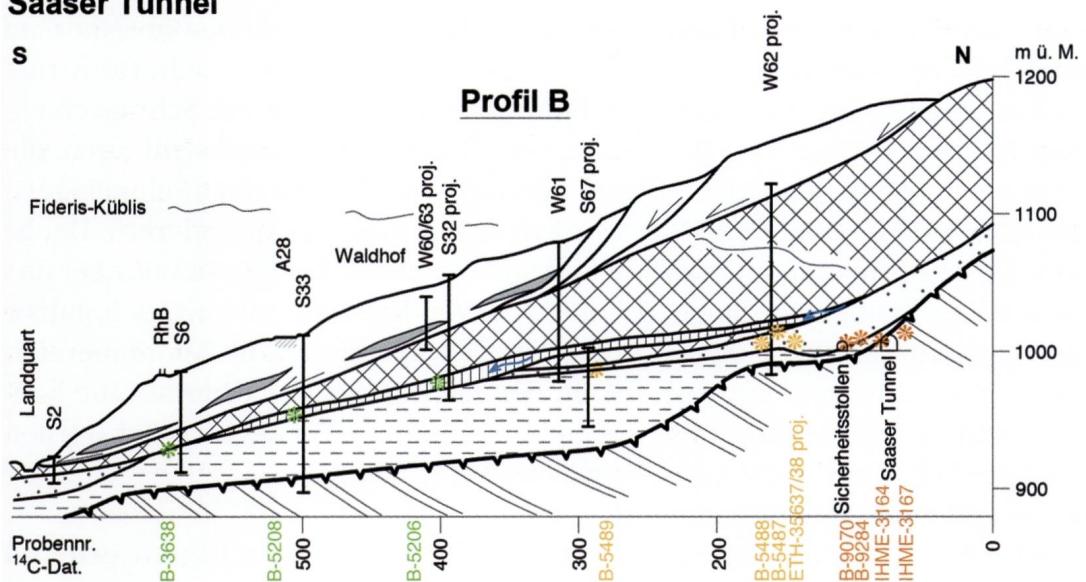
Büel

SSW



Saaser Tunnel

S



Legende:

[diagonal lines pattern]	Obermoräne, z.T. mit Sander, Schwemmschichten	[triangular pattern]	Sturzmassen Büel
[diagonal lines pattern]	Fels, Prättigau-Flysch		fossiles Holz
—	Felsoberfläche		Atlantikum
[dashed pattern]	Grundmoräne		Boreal - Präboreal
~~~~~	Fideris-Küblis: Eisoberfläche des Stadiums		jüngere Dryas - Präboreal
[diagonal lines pattern]	Rutschmasse Saas aktiv mit Gips- und Rauhwackeschürflingen		Bölling - Allerød
[diagonal lines pattern]	Rutschmasse Saas inaktiv		
	Basis: Moränenkies, Blöcke mit Hangwasser	←	

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:

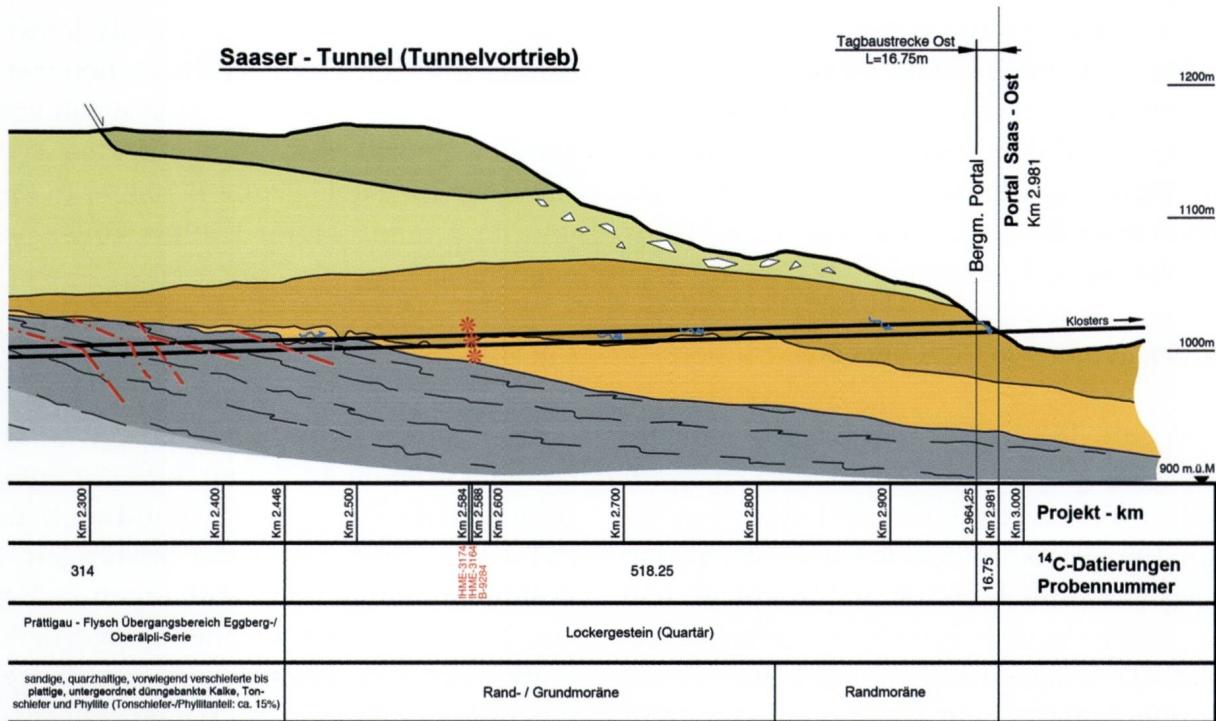
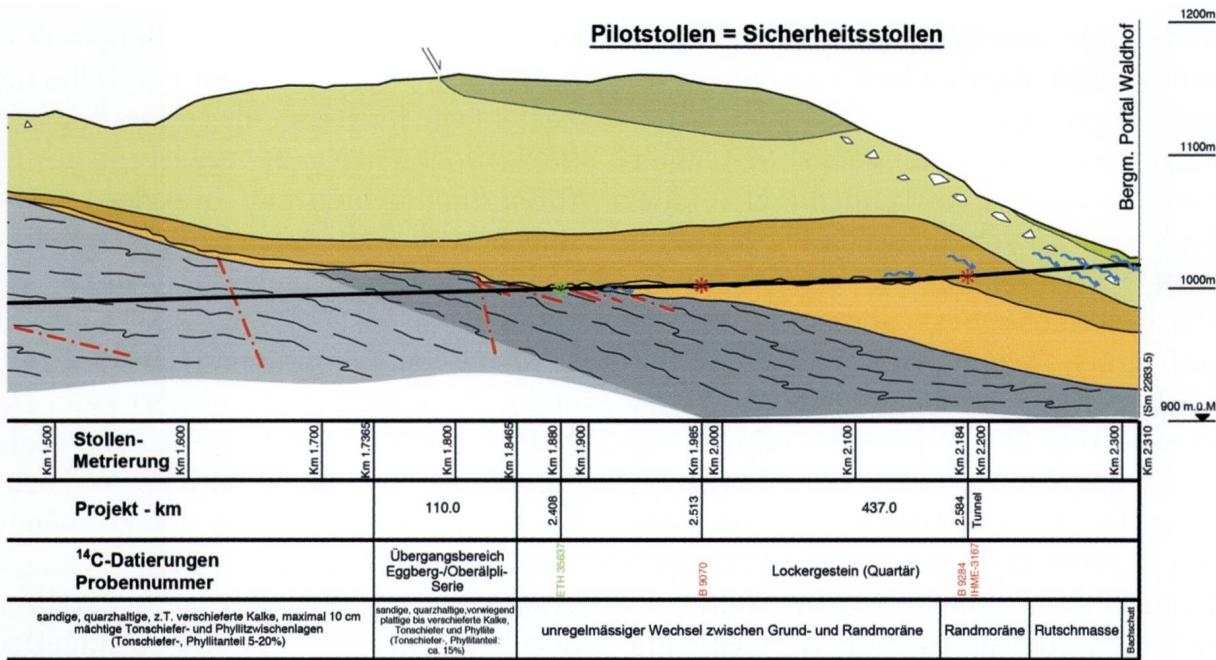
Die Bergsturzmasse lagert überall auf typischer Grundmoräne des Landquartgletschers (Beschreibung siehe Kap. 3.1), dies bis an die bergseitig ausgekolkte Felsoberfläche der Talflanke. Die Bergsturzmasse der gesamten Talterrasse kann auf  $5 \times 10^6 \text{ m}^3 \pm 10\%$  geschätzt werden, was gemäss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

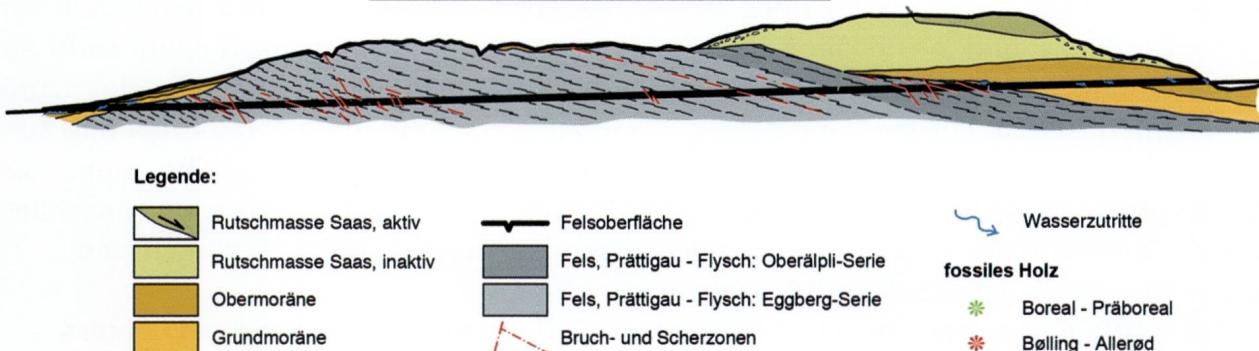
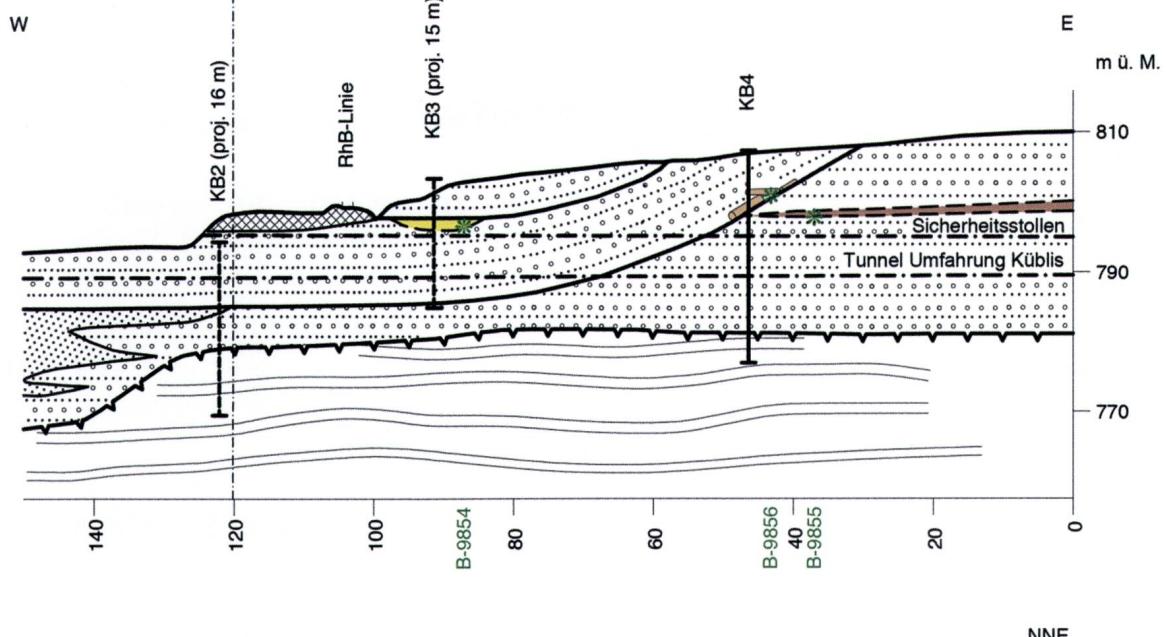
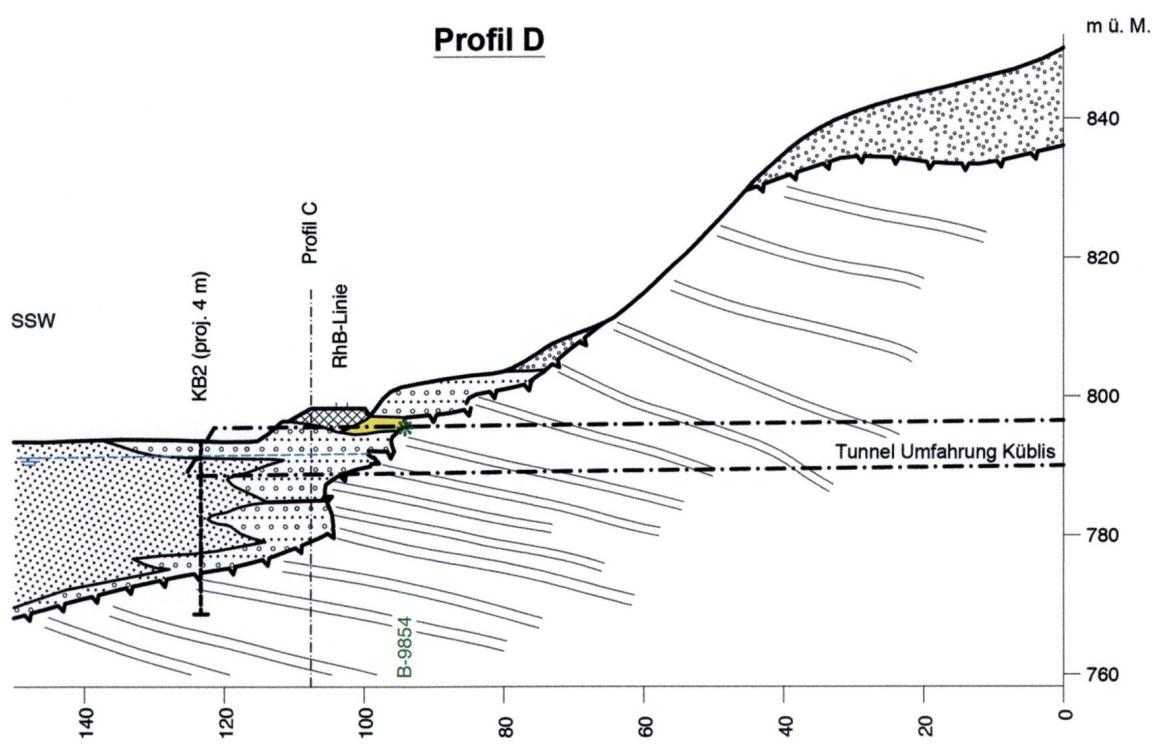


Fig. 3: Geologische Längsprofile Saaser Tunnel Ost, Heimwald - Waldhof, Aufnahmeprofil Baubegleitung Saaser Tunnel, Aufnahmeprofil Sicherheitsstollen.

### Profil C



### Profil D



#### Legende:

	alluviale Schotter der Landquart		Prättigau-Flysch
	Stillwassersedimente		Grundwasserspiegel
	Rüfen- / Bachschutt		Baumstämme an Basis Murgang
	Moräne nur auf Talschulter (z.T. Hangschutt)		Astholz, viel Rinde in siltigem Sand, schwarz, organisch reduziert
	Felsoberfläche	*	fossiles Holz, datiert (Atlantikum)

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 zum mindest auf den ersten Blick nicht mehr erkennbar. In der schwarzen, phyllitischen Matrix (Phyllit-Lagen der Eggberg- und Oberälpli-Serien) chaotisch eingewalzt lagern die gröberen 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 Rauhwackeschuppen und selten Gneise. Die hellen Karbonate entstammen dem Sulzfluh-Kalk oder den Jurakalken der Falknis-Decke (Sturzschutt aus der Saaser Calanda). Die rostig schiefrigen Sandsteine sowie Gips und Rauhwacke können der Sulzfluh-Decke zugewiesen werden, etwa den Couches Rouges (vgl. Allemand 2002), dem Verrucano-Buntsandstein bzw. der Permotrias (vgl. Häfner 1924), Rauhwacke und Gips der jüngeren Trias, (vgl. Allemand 2002). Gneisartige Komponenten der Kies und Steinfraktion stellen vermutlich in den Rutsch eingeschuppte Relikte aus höher gelegenen Talmoränen dar. Zusammengefasst können die Rutschmassen als äusserst unreife (unsortiert, Komponenten vorwiegend kantig), matrixgestützte 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 Porenwasserdrucke 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. Nachgewiesenermassen (Inklinometerdeformationen in den Sondierbohrungen) sind heute im Rutschhang recht konstant nur die obersten 40 m aktiv. In den Bohrkernen lassen sich die aktiven Rutschanteile von den ruhig gelegten kaum unterscheiden. Im Landquartenschnitt stossen der Saaser und der Conterer Rutsch frontal aufeinander. Man erhält den Eindruck, als ob sich heute ein dynamisches Gleichgewicht zwischen Stirnerosion und nachstossenden Rutschmassen eingependelt habe.

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

Die Hangprofile von Fig. 4C/D weisen auf mindestens drei Murgangereignisse innerhalb des Atlantikums hin (klimatische Warmzeiten, vgl. Fig. 5). Die Muren bestehen mehrheitlich aus schlecht sortiertem Bachschutt 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 Seekreide 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 deutlich jünger als das Fichtenholz in den Muren 1 und 2 (Fig. 5).

### **3.5 Gotschna-Rutsch**

Für das Quartär des hinteren Prättigaus bildet der Gotschna-Rutsch eine auffällige Rutsch- und Bergsturzmasse in der linken Talflanke SW von Klosters. Dieser Grossrutsch ist immer noch aktiv und gibt fortwährend geotechnische Probleme für alle bestehenden Infrastrukturbauten, insbesondere die Umfahrungsbauten der RhB (Verinalinie) und A28a (Gotschnatunnel). Da

der Gotschnarutsch ausserhalb des hier behandelten Untersuchungsgebietes liegt, fassen wir an dieser Stelle die wichtigsten Untersuchungsresultate aus BTG (1987-1988, Vereinalinie RhB), BTG Arbeitsgemeinschaft Lardelli & Baugeologie 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 Trümmergesteinen 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, Ptychenkalk, Flysch und Ophiolithe als Serpentinit) 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 Deformations-schäden an Gebäuden, Brücken, Tunnels, Strassen, Bahnen 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-Föhren-Wälder 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 Jüngeres 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 -schlitten. 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.

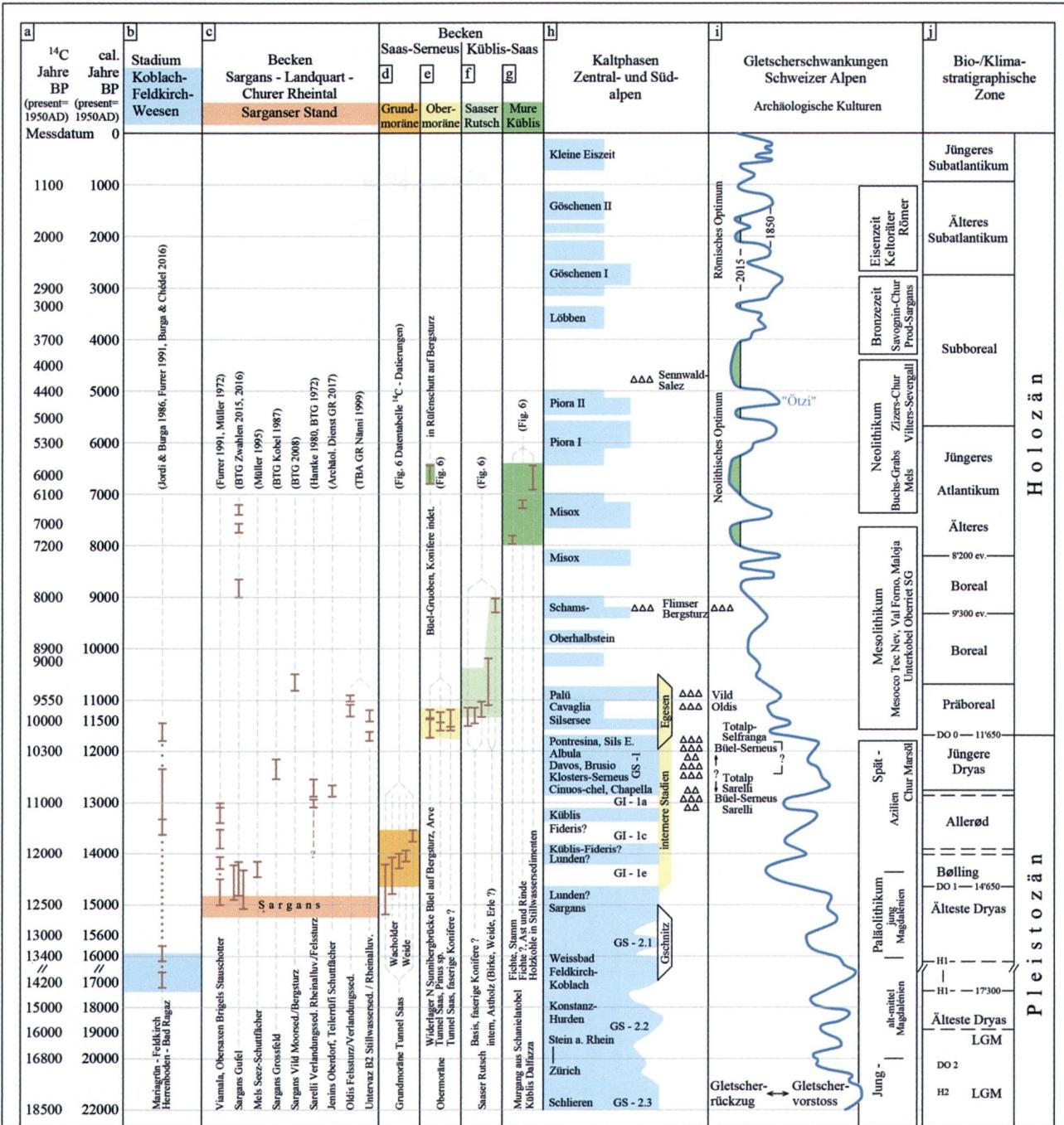
Die  $^{14}\text{C}$ -Datierungen der fossilen Hölzer sind in Fig. 6 tabellarisch in Reihenfolge der Fundpositionen von Büel-Serneus - Saaser Tunnel - Küblis Dalfazza aufgelistet. Aus der Tabelle sind zudem die Archivnummern der  $^{14}\text{C}$ -Labors, des Labors für Quartäre Hölzer (siehe Anhang 1) 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 Querschnittscheiben 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

GI-1	Grönland Interstadial (Bølling-Allerød)	8200 ev.	Event
GS-1, 2	Grönland Stadial (Jüngere Dryas / Älteste Dryas)	DO 0 bis 2	Dansgaard-Öschger-Event
△△△	Berg-, Felsstürze: KW Sarelli Bad Ragaz, Büel Serneus, Oldis Haldenstein, Totalp - Davos Wolfgang - Klosters Selfranga Vild Sargans, Flims, Sennwald-Salez	H 1, 2	Heinrich-Event
		LGM	Würm Maximum (Last Glacial Maximum)
		DO 2	
		H2	LGM

Fig. 5: Korrelation von Altersklassen,  $^{14}\text{C}$ -Probenalter, Talbildungsprozessen, Klimadaten, Glazialstadien und Quartärstufen.

Radiocarbonatierung 14C und Baumartbestimmung									
Fossile Holzfunde; A28 Pättigauerstrasse; Tunnel Umfahrung Küblis-Saas; Sunnibergbrücke Serneus; Sondierkampagnen und Ausführung									
Teilprojekt, Ausführung	Fundort Nr. der Bohrung/Tiefe: Landeskordinaten, Höhe m ü.M.	Holzart: det. lab. Für Quantäre Hölzer, W.H. Schoch, 9.01.2017	Labornummer	Alter C14 J. 14C/Schoch&ADG BP conv.	Messfehler ± Jahre	Alter calibrirt cal Jahre BP	Labor	Messmethode	
Sunnibergbrücke Büel Serneus Bau 1998	Widerlager N, Baugruble: 784/100/197'750, 1065m Büel, verschwemmte Moräne auf Bergsturz do.	Zwei Arvenstämmme ( <i>Pinus cembra</i> ), dat. 1998 Querschnitt kurzer Stamm mit Stockansatz Jahringsequenz 1-6 / 65-75, dat. 2017	B-7080 / 4 B-10891/1-6 B-10891/ 65-75	10'010 10'027 9'758	± 40 ± 28 ± 28	11'250 - 11'700 11'350 - 11'710 11'170 - 11'240	Uni Bern Uni Bern Uni Bern	C14-Aktivität Ch4 C14-Aktivität Ch4 C14-Aktivität Ch4	
Kamstellrasse Gruoben - Büel	Kamstellrasse 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	
Tunnel Umfahrung Saas Sondierkampagne 1980 - 1992	Basis Saasserrutsch S6/42.9 m: 781/230/197'569, 995m Kieslage zwischen Grundmoräne und Saasserrutsch do. S3/58.2 m: 781/64/197'435, 1015m do. S3/278.5 m: 781/445/197'622, 1055m Basis Saasserrutsch S6/33.3 m: 781/123/197'965, 1010m do. W6/2/106.7 m: 781/440/197'950, 1120m Basis Saasserrutsch W6/2/115.4 m: do.	Astholtz, Astholtz, Erlen? indet. Astholtz, Erlen? Holzfaser Holzfaser, Konifere? indet. Holzfaser, Konifere?	B-3638 B-5208 B-5206 B-5489 B-5487 B-5488	9'320 9'920 8'170 9'850 9'880 9'770	± 120	10'200 - 11'100	Uni Bern	C14-Aktivität Ch4	
Bauausführung 2009	Pilotstollen TBM-Vortrieb, Tm 1980, km 2.408 Koord. 781'643/197'856, 1000.00 m ü.M. Pilotstollen TBM-Vortrieb, Tm 1985, km 2.513 Vortriebe Pilotstollen und Tunnel entlang Felsoberfläche, Grund- und Obermoräne	Berg- od. Waldföhre ( <i>Pinus mugo/sylvestris</i> ), hellbeiger Stamm mit Wurzelstock Weide ( <i>Salix sp.</i> ) "rote" faseriger Stammsplitter Koord. 781'715/197'827, 1002.10 m ü.M. Tunnelvortrieb konvent. Tm 380 von 5	ETH-35637 / 1 ETH-35638 / 1 ETH-9070 / 3	9'940 9'830 12'170	± 55 ± 55 ± 40	11'250 - 11'600 11'200 - 11'400 13'900 - 14'150	ETH-Zürich ETH-Zürich Uni Bern	C14-AMS C14-AMS C14-Aktivität Ch4	
Tunnel Umfahrung Küblis	Bauausführung Vereinschnitt West Dalfazza, 2009	Wachholder ( <i>Juniperus sp.</i> ), kupferrote Wurzeln Wachholder ( <i>Juniperus sp.</i> ), dunkelbraune Äste Wachholder ( <i>Juniperus sp.</i> ), kupferrote Wurzeln Wachholder ( <i>Juniperus sp.</i> ), dunkelbraune Äste Holzkohle Stillwassersediment, kreidiger Silt Koord. 777'170/198'620, 800 m ü.M. Bachschutt, Rüffenschartkegel, Koord. 777'175/198'625, 798 m ü.M.	B-9284 IHME-3164 / 2.2 IHME-3174 / 2.1 IHME-3167 / 2.3 B-9834 B-9860	12'260 12'330 12'490 11'780 13'470 - 13'750 6'448 - 6'891	± 40 ± 70 ± 120 ± 70 ± 70 ± 90	13'977 - 14'258 14'065 - 14'745 14'170 - 15'135 13'470 - 13'750 Uni Bern	Uni Bern rad.carb.lab. Kiev rad.carb.lab. Kiev ad.carb.lab. Kiev C14-Aktivität Ch4	C14-Aktivität Ch4 C14-Aktivität Ch4 C14-Aktivität Ch4 C14-Aktivität Ch4 C14-Aktivität Ch4	

Erläuterungen:  
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 14C und Baumartbestimmung.

## **5 Interpretation der spätpleistozänen und fröhholozänen 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 «Bölling» (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 «Bölling-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 ¹⁴C-Datierungen ordnen diesen Holzfunden klar ein Bölling-Alter zu (ein etwas jüngerer Ausreisser dem «Allerød», vgl. die Alterstabellen von Fig. 5 und 6).

Die Interpretation erscheint plausibel, dass Gletschervorstösse zwischen «Bölling» 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 «Bölling-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 Eiszunge 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-Gruuben mitgeschleppt und lang gezogen 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 - Gruuben 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 (Gletscherrückzüge) 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 Vorstossgeschwindigkeiten 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 Zwergsstrauchtundra. 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 (*pinus abies*) nachweisbar (siehe Anhang 1). Zu dieser Zeit sind die Talhänge im Prättigau und den Seitentälern (Schanientobel) 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  $^{14}\text{C}$ -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 Speziallabora 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  $^{14}\text{C}$ -datierten Holzfunde, wovon 7 spezifisch artbestimmt wurden, stellen verglichen mit Pollenanalysen, für die Interpretation der Klimgeschichte 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 interner 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 unbedarf in die Zentralalpen übernommen werden dürfen. Die Hypothese drängt sich auf, dass der Nähe des Prättigaus und des ganzen Rheineinzugsgebietes zum «Engadiner Eisdome» 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 Gyttjaproben 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 Stirnmorä-

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

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 Silvaplaner- 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 zentralalpinen Talbuchen 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, Paläökologie 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 Serpentinite 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 Gyttjaproben 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 Vorstossdynamik**

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 Præboreal» 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 «Jüngerer Dryas» kommt diesbezüglich vermutlich eine wesentlich grössere Bedeutung zu als bisher angenommen.

Möglicherweise erlauben die vorliegenden Daten, neuartige Modellanalysen zu Klimodynamik 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 Schneegrenzenderession 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, beider Arbeitskollegen und Geologen vom BTG, sowie Mathias Seifert vom ADG, Prof. Willy Tinner und Dr. Erika Gobet von der Paläökologie (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 komplimentisch 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. IL, 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.
- Näny, P. 1948: Geologische Übersichtskarte der Prättigauschiefer zwischen Rätikon und Plessur und Geologische Profile 1:75'000: in Näny P. (1948)
- Noverraz, F. 1996: Glissement de Conters-Gotschnahang (Grisons), carte et profiles géologiques 1:10'000. PNR31 - Versinclim, EPF Lausanne DGC/ISRF, Octobre 1996
- Schlüchter, C. (Kompilation) & Burkhalter, R. (Redaktion) 2009: Die Schweiz während des letzteiszeitlichen 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., & Öeschger, 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 Fichten-einwanderung. Beitr Gebot 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
- Nänni, 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):  $\delta^{18}\text{O}$  correlation between a Gerzenseestack 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: Trassebau 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 Dalfazza 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. Münger 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. Münger 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 Saaser Tunnels (Prättigauerstrasse GR) 2005 bis 2009 wurden von den Ingenieurgeologen Holzproben geborgen. Die Proben sind alle  $^{14}\text{C}$ -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 Rutschmaschen des Saaser-Rutsches (Präboreal - Boreal) eingelagert.

Da keine Sedimentproben (Tunnelbaustelle!) vorliegen, an denen Pollenanalysen durchgeführt werden könnten, ist die Artbestimmung der Hölzer wichtig. Die Gehölzearten 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  $^{14}\text{C}$ -Daten handelt es sich um die kalibrierten Daten, Jahre BP.

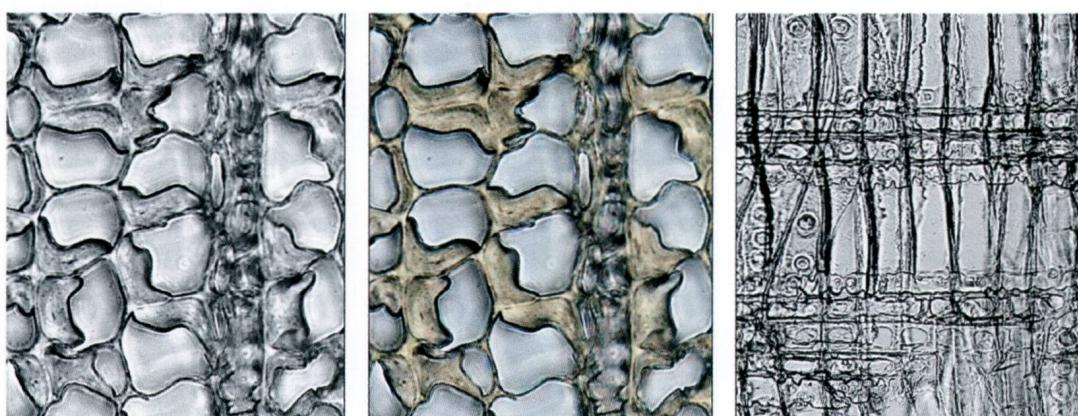
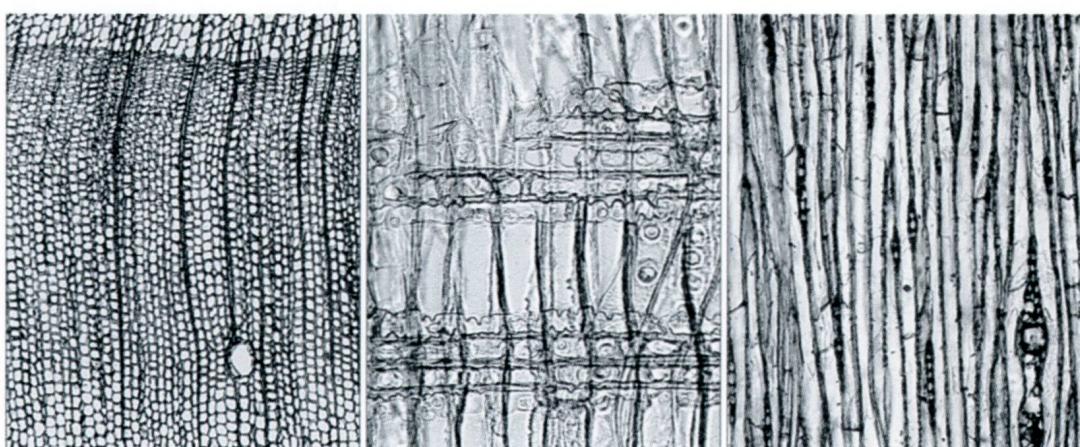
Die Fotos der Dünnschnitte sind die Dokumentation der vorliegenden Hölzer. Auf den ausgewählten Bildern sind alle für eine Bestimmung notwendigen Merkmale sichtbar, zusätzlich sind wichtige Bestimmungsmerkmale oder besondere Details in stärkerer Vergrösserung angefügt.

## Probe 1

Pilotstollen, TBM-Vortrieb, Tm 1880, km 2.408. Koord. 781°634/197°856, 1000.00 m ü.M.  
Stamm mit Wurzelstock,  $^{14}\text{C}$  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

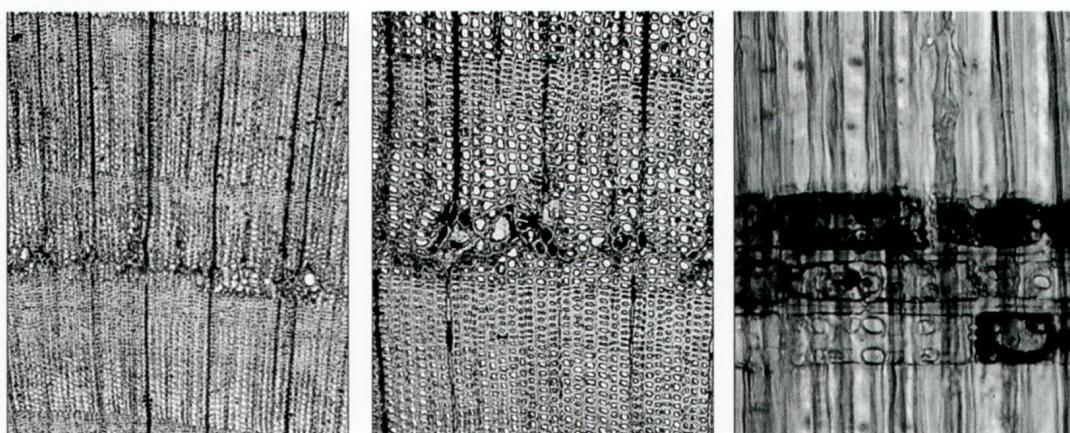
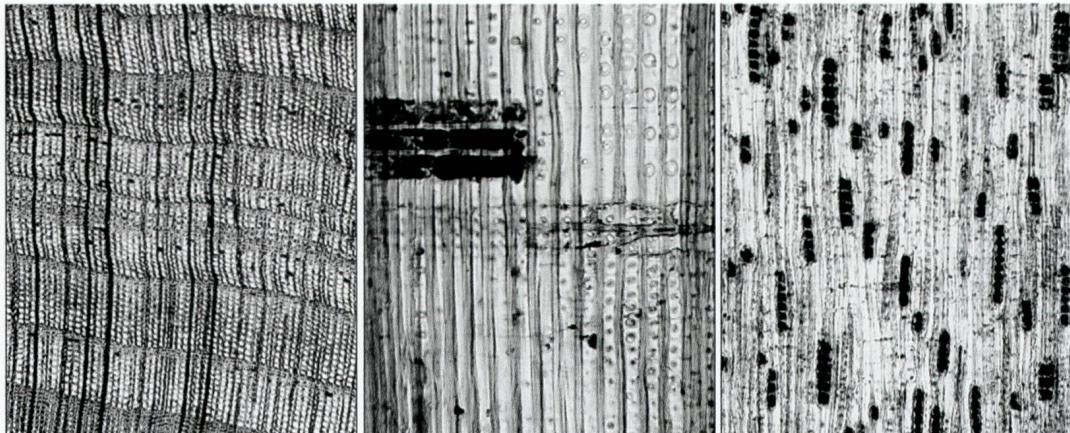
Markstrahlen im Radialschnitt, Grosse Tüpfel und Markstrahltracheiden mit Zackenwände

## Proben 2.1 und 2.3

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

Aststücke dunkelbraun  $^{14}\text{C}$  (2.1) 14'065-14'745,  $^{14}\text{C}$  (2.3) 13'470-13'750

*Juniperus sp., Wacholder*



Anatomische Merkmale:

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

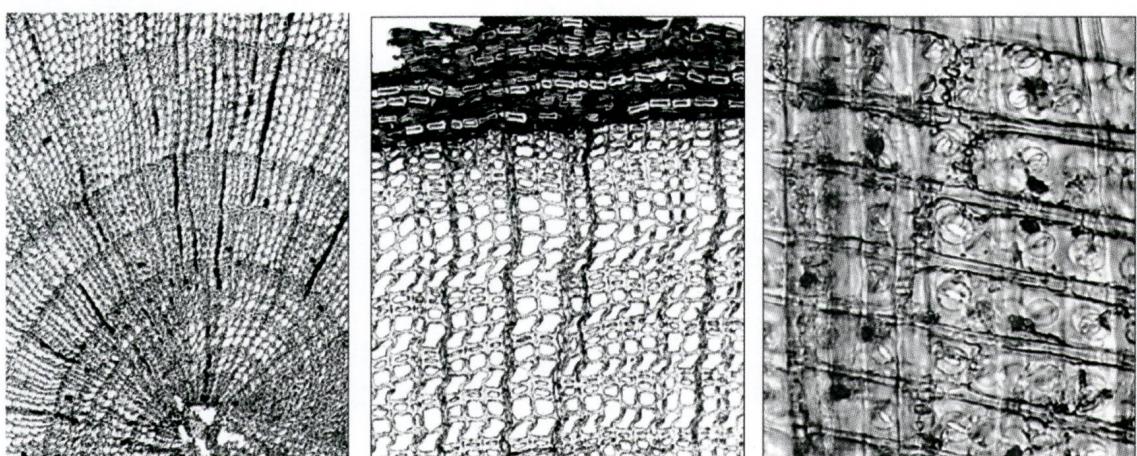
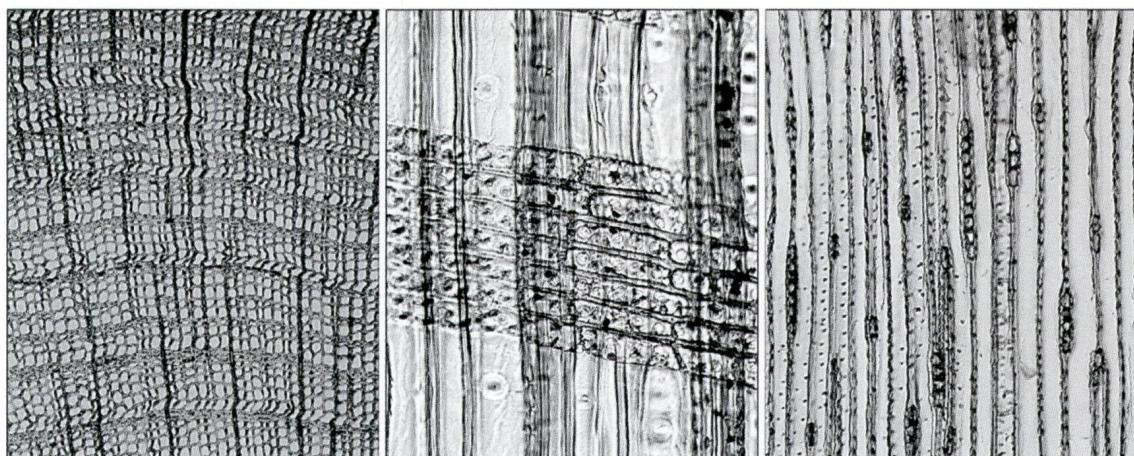
Markstrahl im Radialschnitt, für Wacholder typische Tüpfelform

## Probe 2.2

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

Wurzel kupferrot mit Bastrinde,  $^{14}\text{C}$  14°170-15°135 und 13°977-14°258

*Juniperus sp., Wacholder*



Anatomische Merkmale:

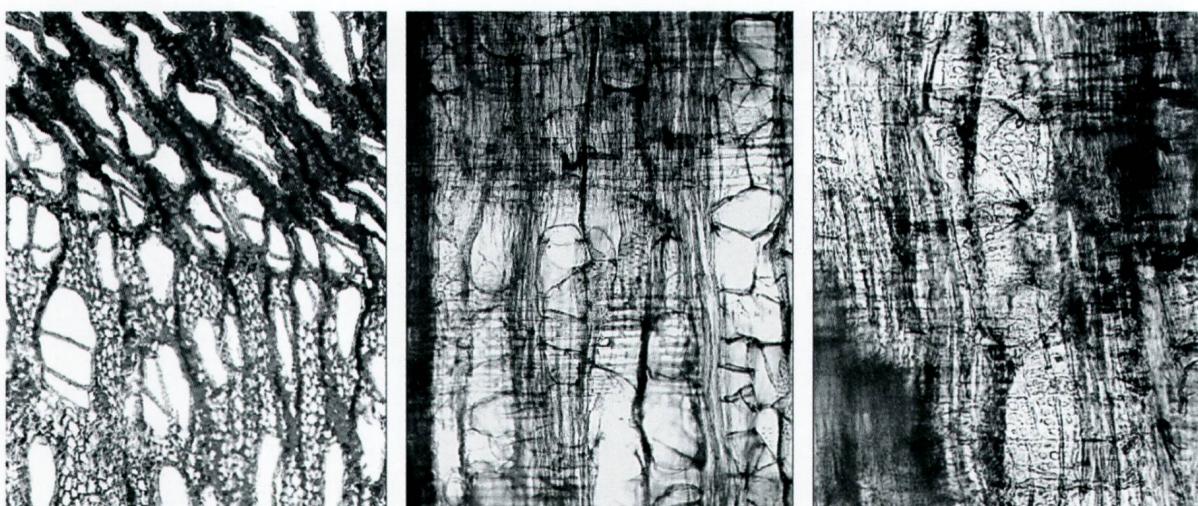
Wurzel, fehlendes Mark. Querschnitt, schmale Jahrringe, mit Rindenrest.

Markstrahl im Radialschnitt, typische Tüpfel, tangentiale 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,  $^{14}\text{C}$  13'900-14'150

*Salix sp.*, Weide



Anatomische Merkmale:

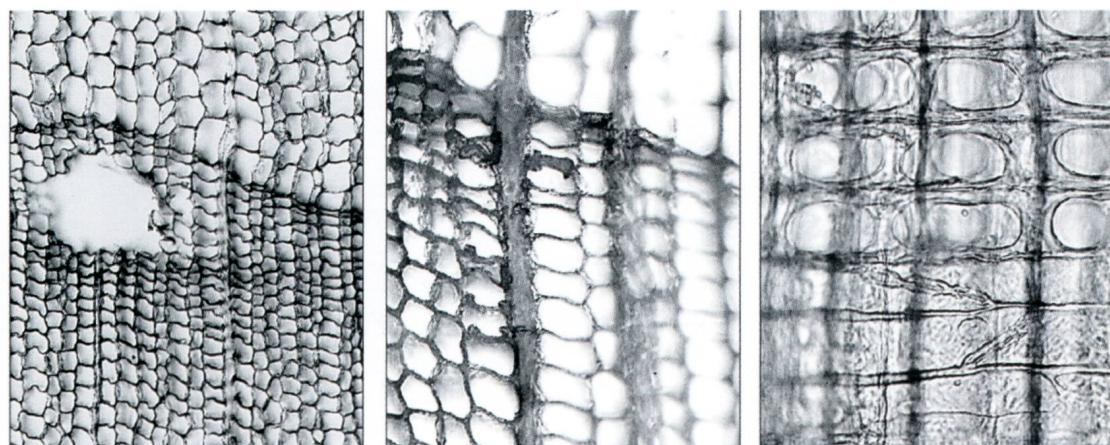
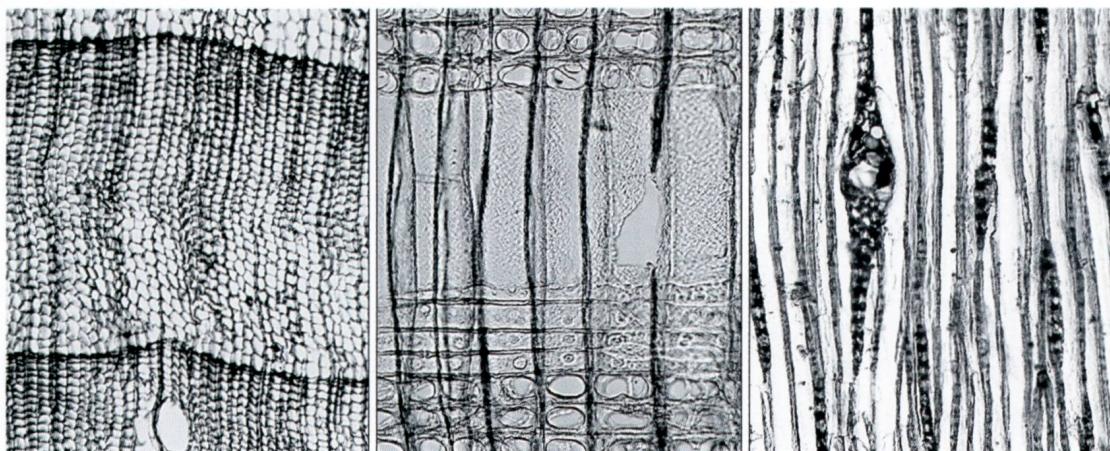
Biologischer Abbau, partiell gepresst, Querschnitt.

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,  $^{14}\text{C}$  11'250-11'950

*Pinus cembra, Arve*



Anatomische Merkmale:

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

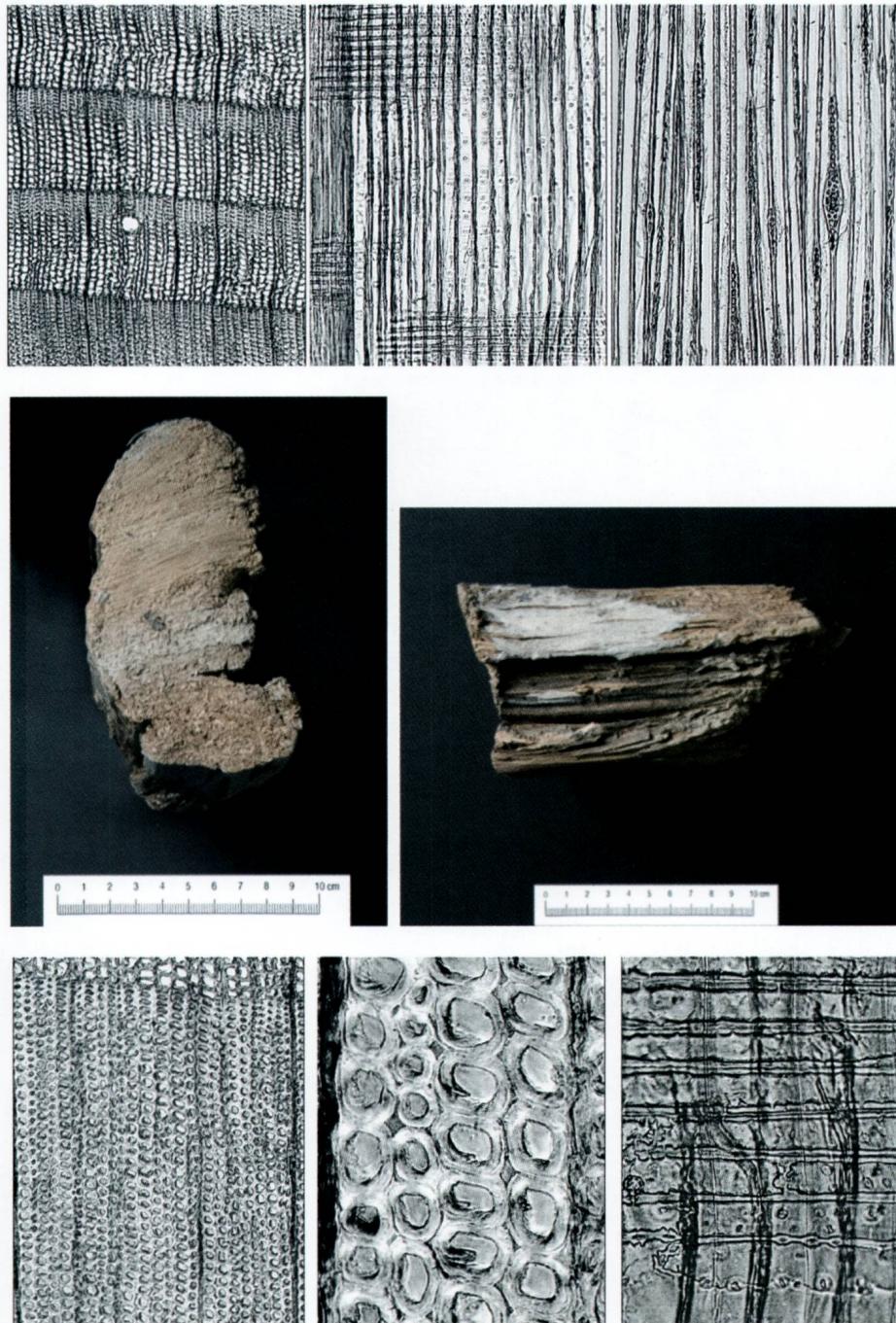
Markstrahl im Radialschnitt, grosse Tüpfel, Markstrahltracheiden mit glatten Wänden

## Probe 5

Rüfenschutt-, Murgangkegel Dalfazza, Koord. 777°175/198°625, 798 m ü.M., Stamm-, Ast- und Rindenholz,  $^{14}\text{C}$  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)