G228/8940

ARCHIV

Dr. R. Krähenbühl
BauGrundRisk

081 250 63 84
baugrundrisk@bluewin.ch

H417a Schinstrasse

Rutschhang Cugnieler-, Caselertobel

Geologischer Bericht 05. Dezember 2007 070202-1

Auftraggeber: **Tiefbauamt Graubünden**
Abteilung Kunstbauten
Sägenstrasse 78
7000 Chur



Verteiler: Auftraggeber (3 Exemplare)
TBA Strassenbaulabor
TBA Abteilung Strassenbau
Dr. Vollenweider AG, Zürich

Beilagen:

1.1	Kartenausschnitt mit Sondierstandorten
2.1 – 2.2	Aufzeichnung Sondierbohrungen 30 und 31
2.3	Übersicht der Sondierbohrungen
3.1 – 3.2	Auswertung Inklinometermessungen
3.3	Übersicht geodätische Messungen
4.1 – 4.9	Diagramme Inklinometermessungen (Stump ForaTec)
5.1 – 5.3	Geologische Profil D-D, A-A, E-E

Inhaltsverzeichnis

Grundlagen 2
1. Zusammenfassung 3
2. Ausgangslage 3
2.1. Problemstellung und Auftrag 3
3. Untersuchungen 4
4. Geologische Situation 4
5. Ergebnisse 4
5.1. Baugrund Cugnielertobel 4
5.2. Deformationsmessungen 5
5.3. Niederschläge 7
5.4. Unsicherheiten 8
6. Folgerungen 9
6.1. Rutschung Cugnielertobel 9
6.2. Geologisches Baugrundmodell Gesamtrutsch 10
6.3. Rutschentwicklung 10
7. Empfehlung 11

Grundlagen

[1] Untersuchungsbericht A417a/287 vom 22.12.2000, Geologischer Bericht, Tiefbauamt Graubünden, Strassenbaulabor

[2] Untersuchungsbericht H417a/317 vom 23.06.2006, Geologische Kartierung, Tiefbauamt Graubünden, Strassenbaulabor

[3] Geodätische Deformationsmessungen Traversa - Passmal, Bericht 417a.3429.23 vom Juli 2005, Schneider Ingenieure AG

[4] Geodätische Verschiebungsmessungen Sondierbohrungen, Bohrkampagnen 2001 bis 2003, Messungen vom Dezember 2003, Schneider Ingenieure AG

[5] Geodätische Verschiebungsmessungen Sondierbohrungen, Bohrkampagnen 2001 bis 2003, Messungen vom 8. bis 10.7.2004, Schneider Ingenieure AG

[6] Inklinometermessungen vom 21.08.2007 und 30.11.2007, Stump ForaTec AG, Abteilung Messtechnik

[7] Geotechnische Studie zur Instandsetzung der Rutschbereiche, Bericht 2254/2 vom 31.01.2003, Dr. Vollenweider AG

[8] Projektbasis Sicherung Muldenrutsch, Entwurf 22.06.2007, Dr. Vollenweider AG

[9] Niederschlagsbulletin Station Thusis, 2002 – 2007, MeteoSchweiz

[10] Geologische Untersuchungen Rutschung Freihof – Caselertobel, Rüegg, 23.09.2002

1. Zusammenfassung

Die zusätzlichen Sondierungen im Cugnielertobel und die Auswertung der Deformationsmessungen der Zeitspanne 2001 – 2007 haben folgende, neue Erkenntnisse gebracht:

- Das geologische und kinematische Baugrundmodell von 2006 hat sich bestätigt [2].
- Die untiefen, im cm-Bereich sich verschiebenden Rutschgenerationen weisen Gleitfugen oberhalb 15 m u.T. und die tiefgründigen, im mm-Bereich kriechenden solche unterhalb 15 m u.T auf.
- In den letzten 5 Jahren mit unterdurchschnittlichen Niederschlägen bewegte sich das Rutschgebiet zwischen Freihof und Passmal mit 10 – 20 mm/Jahr (2003 – 2007). Darin weisen kritische Zonen im Cugnielertobel I und im Muldenrutsch erhöhte, lokal stark variable Geschwindigkeiten von 20 – 40 mm/Jahr auf (Faktor 2 erhöht).
- Die räumliche Ausdehnung der untiefen Rutschung im Muldenrutsch muss gegenüber [2] hangaufwärts und jene im Cugnielertobel I nach NW erweitert werden.
- Die ausgeprägte Abhängigkeit der untiefen Rutschungen zur Jahresmenge der Niederschläge bestätigt sich. Wo die nassen Jahre 2001/2002 noch mitgemessen wurden, betragen die stark variablen Geschwindigkeiten 40 – 500 mm/Jahr.
- Das Risiko künftiger Folgejahre mit überdurchschnittlichen Niederschlägen ist stark angestiegen. Erfahrungsgemäss werden unmittelbar nach deren Eintreten grosse Deformationen und lokale Versackungen die Kantonsstrasse erneut beschädigen (Muldenrutsch, Cugnielertobel I).

2. Ausgangslage

2.1. Problemstellung und Auftrag

Im Rutschhang des Schins wird die Kantonsstrasse über mehrere Etappen Instand gesetzt. Zwischen Freihof und Passmal sind bei der Caselertobel- und der Caselertobelhangbrücke die Ankerverstärkungen ausgeführt. Für den westlich anschliessenden Muldenrutsch liegt das Sicherungsprojekt vor [7, 8]. Im Bereich des Cugnielertobels I sind die geologischen Randbedingungen noch unklar [2]. Als Grundlage für das geotechnische Bauprojekt soll das geologische Baugrundmodell anhand weiterer Sondierbohrungen verifiziert werden. Die Firma BauGrundRisk erhielt vom Tiefbauamt Graubünden den Auftrag, die Bauleitung, Aufnahme und Auswertung der Sondierbohrungen, die Aktualisierung des geologischen Baugrundmodells, die Auswertung der verschiedenen Deformationsmessungen und eine Prognose für die weitere Rutschentwicklung vorzunehmen.

Aus dem Bericht [2] sind folgende konkreten Fragen offen:

1. Wurde die tiefgründige, sekundäre Rutschung im Cugnielertobel I von den am Hangfuss liegenden, tertiären Rutschungen beeinflusst und verfügt sie über Verschiebungsgeschwindigkeiten > 20 mm/Jahr?
2. Wie gross ist im Cugnielertobel I die Verschiebungsaktivität oberhalb der RhB?

3. Untersuchungen

Es wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Ausführung von 2 Kernbohrungen SB 30 und SB 31 mit Inklinometerrohren auf Tiefen von 34 m bzw. 40 m u.T. im Cugnielertobel I (Beilagen 1, 2.1 – 2.2)
- Auswertung der Inklinometermessungen vom 21.08. und 30.11.2007 [6]
- Auswertung der jüngsten geodätischen Vermessungen [3-5]
- Überprüfung der Veränderungen und des geologischen Baugrundmodells im Gelände
- Aktualisierung des geologischen Baugrundmodells mit Prognose der Rutschentwicklung

4. Geologische Situation

- Die geologische Situation ist in verschiedenen geologischen Berichten detailliert beschrieben [1,2].
- Dem Bericht [1] ist die Chronologie der zwischen 1967 und 1999 erfolgten Rutschereignissen und den getroffenen Massnahmen zu entnehmen.
- Die Gliederung des Hangrutsches in die verschiedenen Teilrutsche und das kinematische Modell sind in [2] aufgezeigt.

Der Rutschhang zwischen Freihof und Passmal kann als eine 2 – 3 km² grosse, nacheinzeitliche Felssackungsmasse der Bündnerschiefer umschrieben werden. Von diesem primären Ereignis sind heute unter 1'000 m ü.M. mehrere Terrassen mit hohen Felsversätzen zurück geblieben [2].

Die nachfolgende Flussübertiefung durch die Albula hat in dieser Sackung eine Grossrutschung auslöst. Mit der fortschreitenden Erosion der Albula und der Beginnenden der Seitenbäche beider Cugnieler- und des Caselertobels wurde diese > 20 m tiefe Rutschmasse in weitere Rutschsegmente unterteilt (Beilage 1). Diese sekundären Ereignisse sind im Gelände als markante, vollständig verwachsene Geländerippen und einem im Wuchs ungestörten Wald erkennbar.

Als jüngste Rutschelemente der anhaltenden Übertiefung bildeten sich die < 20 m tiefen, aktiven Rutschungen aus, die mit Verschiebungsgeschwindigkeiten von einigen cm/Jahr den Kunstbauten und der Strasse unzulässige Deformationen zufügen. Aufgerissene Grasnarben, Versätze an Geländekanten mit ausbrechendem Gesteinsmaterial und verkippte Bäume sind Zeugen dieses tertiären Ereignisses [2].

5. Ergebnisse

5.1. Baugrund Cugnielertobel

Um den Baugrund und die Verschiebungshorizonte in einem auch oberhalb der Strasse ausreichend genauen geologischen Profil erfassen zu können, wurden oberhalb der Kantonsstrasse des Cugnielertobels I und unter dem Waldweg auf ~ 940 m ü.M. die Sondierbohrungen SB 30 bzw. SB 31 abgeteuft (Beilage 1).

Da der Felsen als unterste Ausbisslinie der Rutschungen im Cugnielertobel auf Kote 790 m ü.M. ansteht und im Profil unter der Strasse mit der SB 14 eine Inklinometermesstelle vorhanden ist, wurde auf eine weitere Bohrung verzichtet.

Von der Baugrundzusammensetzung her kamen gegenüber [2] keine neuen Elemente hinzu.

Der Überblick ergibt folgendes Ergebnis:

Nr.	OK Terrain	Endtiefe	Stärke Felsschutt	OK Moräne	OK Fels	Wasser-zutritte
	[m] ü.M	[m]				
SB 30	846.286	34.0	24.5	24.5	32.0	-
SB 31	937.203	40.0	40.0	-	-	-

Detailbefund (Beilagen 2.1 und 2.2):

- Der Felsschutt der Rutschmasse besteht aus wechselnd tonig, siltigen Kiessanden mit variablem Stein- und Blockanteil in mässig dichter, ab > 5 m u.T. dichter Lagerung. Über weite Strecken konnten kompakte Bohrkerne gewonnen werden.
- Die in der SB 30 vorgefundene, siltig-kiesige Moräne ist anhand des Farbumschlags von grau und grauschwarz des Felsschutts zu beige der ungestörten Moräne, und anhand der kristallinen Komponenten deutlich bzw. eindeutig erkennbar.
- Erstaunlich ist der von Klüften und schieferungstrennenden Phyllitlagen vollkommen freie Kern von 1 m Länge im Bündnerschieferfels. Hier handelt es sich um die vom Gletscher ausgeräumte Talsohle aus kompakten Sandkalken (Beilage 2.1).
- Deutliche Wasserzutritte wurden weder in dem schlecht durchlässigen Bünderschieferschutt, noch an der wasserstauenden Moräne oder an der Felsoberfläche vorgefunden.
- In der SB 31 wurden ~ 17 m u.T. in leicht laminierten, tonig-siltigen Sanden Anzeichen für einen Rutschhorizont gefunden. Dieser muss sich jedoch mit den Inklinometermessungen noch bestätigen.

5.2. Deformationsmessungen

Aufgrund der anhaltenden Deformationen an den Kunstbauten und den periodisch wiederkehrenden, lokalen Versackungen der Kantonsstrasse erlebte der Abschnitt Traversa – Passmal eine lange Geschichte der Vermessung [3]. Sie geht bis ins Jahr 1963 zurück.

Die ersten Sondierbohrungen mit Inklinometern wurden 1987 ausgeführt. Da diese infolge der Geländeverschiebungen nach einer gewissen Zeit abscherten, wurden in den Jahren 1995, 2001 und 2002 - 2004 zerstörte Rohre wieder ersetzt oder an anderen Standorten neue eingerichtet. Mit Ausnahme der SB 8 sind alle Inklinometer die vor 2002 versetzt wurden zerstört (Beilage 2.3).

4.2.1 Inklinometermessungen

Die Aufzeichnungen der Inklinometermessungen vom 21.08. und 30.11.2007 liegen in den Beilagen 4.1 bis 4.9 vor.

In der Auswertung der Messdaten wurden die Verschiebungsbeträge und –Richtungen erfasst, wobei jene an der unmittelbaren Oberfläche < 1 m nicht berücksichtigt wurden. Dies, damit beim Vergleich verschiedener Messpunkte die Verschiebungsgeschwindigkeiten nicht durch Oberflächeneffekte zu stark verfälscht werden.

Bei der SB 10 wurde aufgrund widersprüchlicher Daten von älteren Messungen bei der Messfirma ein partieller Datenschift veranlasst.

In der Beilage 3.1 sind die Verschiebungsrichtungen und Geschwindigkeiten der Messstellen dargestellt und beim Auftreten verschiedener Rutschhorizonte denselben zugeordnet. Der Betrag der Auslenkung der dargestellten „Verschiebungsdreiecke" visualisiert unterschiedliche Geschwindigkeiten und Gleittiefen. Wo in verschiedenen Rutschhorizonten eindeutig unterschiedliche Verschiebungsrichtungen festgestellt werden konnten, wurden diese separat dargestellt. Beim Vergleich der Daten ist zu berücksichtigen, dass nicht alle Messstellen während derselben Messperiode gemessen werden konnten.

In der Beilage 3.2 sind zusätzlich die Grenzen der verschiedenen Rutschungen aus [2] angegeben. Entsprechend der Inklinometerergebnisse und der Überprüfungen im Feld wurden die untiefen Rutschgrenzen im Cugnielertobel I und im Muldenrutsch nach NW bzw. S angepasst.

Die Ergebnisse für die Periode 2001 – 2007 sind nachfolgend zusammengefasst.

Geschwindigkeiten:

- Geschwindigkeiten von > 5 mm/Jahr treten ausschliesslich in Gleitzonen oberhalb 15 m u.T. auf.
- Erfasste Gleitzonen zwischen 17 m und 38 m u.T. weisen geringe Geschwindigkeiten von < 1 mm/Jahr bis 3 mm/Jahr auf (Hangkriechen).
- In der Zeitspanne 21.12.2001 bis 20.08.2007 wurden die grössten Geschwindigkeiten jeweils im Zentrum des Muldenrutsches mit 3 - 13 mm/Jahr oberhalb der Kantonsstrasse und mit 5 – 48 mm/Jahr unterhalb festgestellt. Die Streuung ist gross.
- Im Zentrum des Cugnielertobelrutsches I betragen die grössten Geschwindigkeiten 22 mm/Jahr.

Verschiebungsrichtungen:

- Die Verschiebungsrichtungen der untiefen Gleitzonen < 15 m u.T. folgen fast ausschliesslich der Fallinie des Hanges.
- Jene der tiefen Gleitzonen > 15 m u.T. zeigen überwiegend eine Verschiebungsrichtung nach NNE. Dies stimmt mit der geomorphologischen Hauptrichtung der sekundären Rutschungen überein (Beilage 3.2).
- Wo markante Abweichungen der Verschiebungsrichtungen zu den erwähnten auftreten, sind die Inklinometerdaten oft noch wenig ausgeprägt oder es besteht ein Interpretationsspielraum in der Datenauswertung (Datenshift), was die Unsicherheiten erhöht.

4.2.2 Geodäsie

Die Ergebnisse der Verschiebungsmessungen der vollständigen, geodätischen Vermessung inklusiv der Standorte der Sondierbohrungen der Periode Mai 2001 bis 11./13.05.2005 sind unter Angabe der Verschiebungsgeschwindigkeiten und der –Richtungen in der Beilage 3.3 dargestellt (ausgewählte Messpunkte).

Im Vergleich zu den Deformationsmessungen der Inklinometer ist zu beachten, dass sie nicht über die gleichen Zeitperioden gemessen wurden.

Die wesentlichen Ergebnisse sind:

- Alle Verschiebungsgeschwindigkeiten sind grösser als jene ermittelt mit den Inklinometermessungen. Hierfür tragen folgende Faktoren bei: Im Gegensatz zu den Inklinometern wurden in der Geodäsie 7 Monate des niederschlagsreichen Jahres 2001 sowie das ganze 2002 mitgemessen. Zusätzlich kommen oberflächliche Verschiebung oberhalb 1 m u.T. sowie jene Verschiebungen von Inklinometern, deren Tiefe nicht bis unter die tiefste, aktive Gleitzone reichen, hinzu.
- Die grössten Verschiebungsbeträge zeigt die Geodäsie im Zentrum des Muldenrutsches und des Cugnielertobels I, was mit dem qualitativen Ergebnis der Inklinometer übereinstimmt.
- Die Verschiebungsrichtungen stimmen fast durchwegs mit der Fallrichtung des Hanges überein.
- Am Rande der Rutschungen betragen die Geschwindigkeiten 10 – 20 mm/Jahr. Einzig beim Übergang zu der Caselertobelhangbrücke sind sie um Faktor ~ 3 höher.
- Im Zentrum der Rutschungen streuen die Geschwindigkeiten auf Höhe der Kantonsstrasse von 45 - 90 mm/Jahr. Die höchsten Werte werden bei den Sondierbohrungen im Muldenrutsch unterhalb der Kantonsstrasse mit Werten von 300 – 500 mm/Jahr erreicht. Hier handelt es sich um Messperioden von 8 – 16 Monate des niederschlagreichen Jahres 2002.

5.3. Niederschläge

Nach der niederschlagsreichen Periode 1999 - 2002 folgten in den Jahren 2003 – 2006 durchwegs solche mit, verglichen zum 30-jährigen Mittel, deutlich geringeren Jahresniederschlägen. In den Jahren 2003 und 2005 wurden mit ~ 30 % tieferen Werte die niedrigsten der letzten 18 Jahre erreicht. Gemäss der bis im Oktober vorliegenden Statistik wird auch das Jahr 2007 unterdurchschnittlich ausfallen. Gemäss nachfolgendem Diagramm bestätigt sich die Niederschlagsabhängigkeit der Verschiebungsgeschwindigkeiten deutlich [7] (Fig. 1).

In den Jahren vor 1999 war von 1993 – 1998 eine Periode von 5 Jahren mit ebenfalls unterdurchschnittlichen Niederschlägen. Dementsprechend waren die Verschiebungen gering. Die dreijährige Periode 1990 – 1992 mit 5 – 15 % mehr Niederschlägen führte zu keinen aussergewöhnlichen Problemen an der Kantonsstrasse. Das vorletzte Ereignis mit erheblichen Schwierigkeiten und versackten Strassenteilen im Muldenrutsch war 1987.

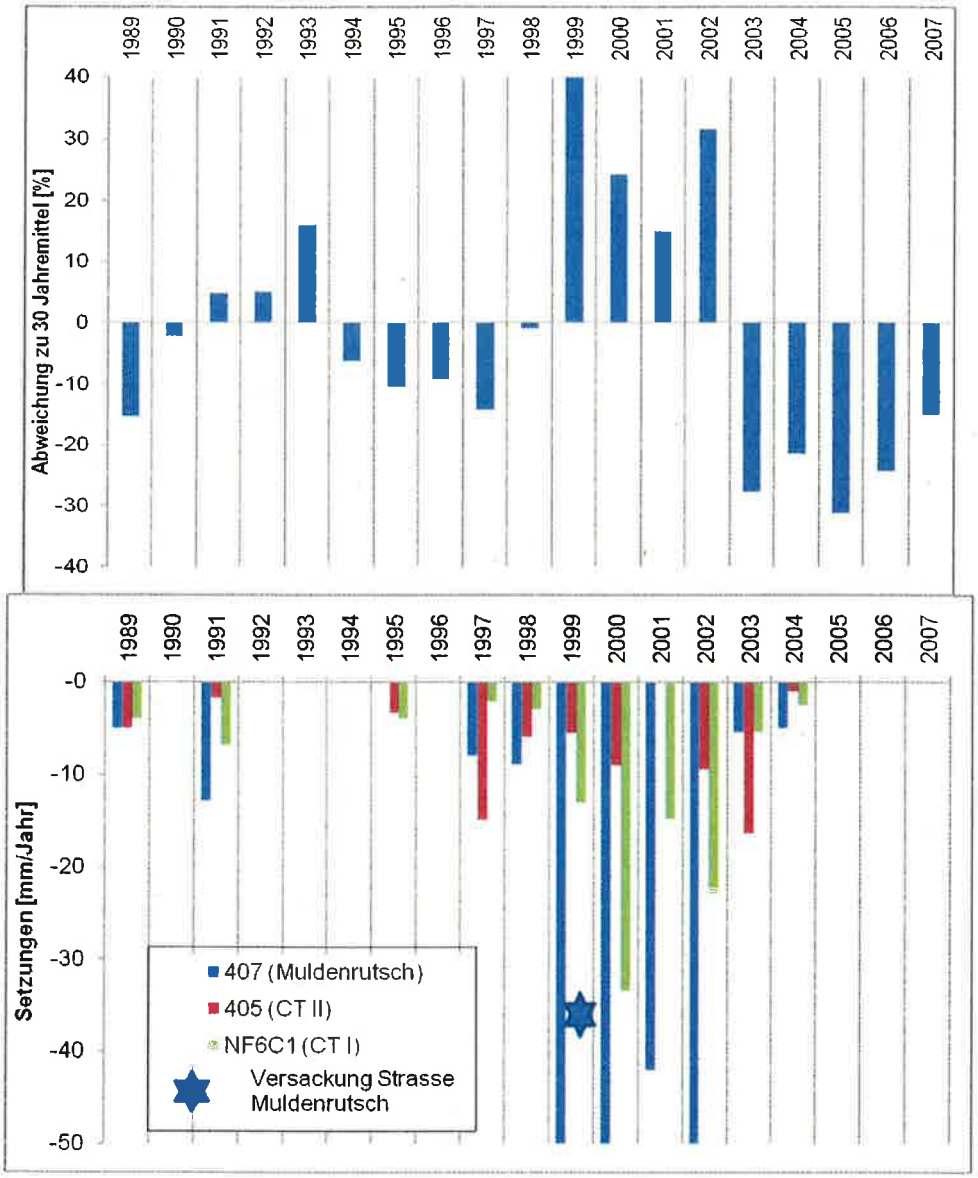


Fig. 1: Diagramm mit Abweichung der Jahresniederschläge vom 30-jährigen Mittel in [%] (oben, Station Thusis). Setzungsgeschwindigkeiten dieser Zeitperiode von ausgewählten Messpunkten im Muldenrutsch und in den Cugnielertobel II (CT II) und I (CT I) mit Zeitpunktangabe der versackten Strasse im Muldenrutsch (unten).

5.4. Unsicherheiten

- Im vorliegenden Fall liegen die grössten Unsicherheiten nicht in den erhobenen Messdaten, sondern im Datenvergleich. Dies aufgrund eines heterogenen Datensets mit verschiedene Messzeiten, Messperioden, Bohrtiefen, Höhenlagen, Standorten, etc. Diesen Faktoren ist bei der Beurteilung der Daten und deren Weiterverwendung entsprechende Beachtung zu schenken.
- Während die Tiefenlage der verschiedenen Rutschgenerationen deutlich zum Vorschein kommt, ist die räumliche Ausdehnung der jüngsten, tertiären Rutschungen schwieriger zu definieren, da sie geomorphologisch nicht immer eindeutig zu Tage tritt. Bis die Inklinometermessungen der SB 31 deutliche Ergebnisse zeigen, bestehen im Cugnielertobel I diesbezüglich weiterhin Unsicherheiten.

6. Folgerungen

Die zusätzlichen Sondierungen im Cugnielertobel I und die über eine maximale Zeitspanne von 6 und 4.5 Jahren gemessenen Inklinometer- bzw. geodätischen Messungen haben das in [2] erhobene, geologische und kinematische Baugrundmodell grundsätzlich bestätigt.

Aufgrund der jüngsten Messungen kommt deutlich zum Vorschein, dass alle sekundären Rutschungen Gleitfugen > 15 m u.T. und alle tertiären solchen < 15 m u.T. aufweisen.

Nachstehend werden folgende Bezeichnungen verwendet:

Sekundäre Rutschungen	=	tiefgründige Rutschungen (> 15 m u.T.);
Tertiäre Rutschungen	=	untiefe Rutschungen (< 15 m u.T.).

6.1. Rutschung Cugnielertobel

Die Instabilitäten im Abschnitt der beiden Cugnielertobel können wie folgt beurteilt werden.

Cugnielertobel II:

- Im Cugnielertobel II treten innerhalb des Abschnitts Freihof – Passmal die geringsten Verschiebungsgeschwindigkeiten von < 13 mm/Jahr an der Oberfläche (2001 – 2005) und < 6 mm/Jahr während der „reinen Trockenperiode" 2003 – 2007 auf (Beilagen 3.3, 3.2). Die hierfür massgeblich verantwortlichen, untiefen Rutschungen beschränken sich auf die Bachflanken des Bacheinschnitts.
- Die mit 25 - 27 m u.T. tiefgründigen Rutschungen erfassen mit Verschiebungen von < 3 mm/Jahr das gesamte Cugnielertoebl (Beilage 3.2).

Cugnielertobel I:

- Es zeigt sich, dass die Grenze der in Tiefen von 4 – 17 m u.T. mit 10 – 22 mm/Jahr sich verschiebenden, untiefen Rutschung nach NW weiter erstreckt werden muss, als was in [2] angenommen wurden (Beilage 3.2). Klare Anzeichen von aufgerissenen Grasnarben fehlen. Angesichts der mit ~ 17 m u.T. tiefsten gefundenen, untiefen Gleitzone sowie den vielen, markanten, älteren Nackentälchen erscheint es durchaus plausibel, dass in dem nicht sehr steilen Gelände die Risse nicht bis an die Oberfläche durchschlagen.
- Die Auswertung der Sonderergebnisse und geomorphologische Kriterien, wie lokal auftretende, markante, schmale Geländerinnen oberhalb der Kantonsstrasse sprechen dafür, dass westlich des Cugnielertobels I noch eine ältere Bachrinne auftritt (Beilage 5.3). Die Seismik in [10] weist auf diese hin.
- Das in [2] aufgeführte Profil A-A musste aufgrund der jüngsten Sondier- und Messergebnisse angepasst werden (Beilage 5.2). Die tieferen, mit < 1 mm/Jahr schwach bewegten Gleitzonen zeichnen sich höher als bisher angenommen ab und liegen auf Höhe der Kantonsstrasse zwischen 18 m und 22 m u.T (Beilage 5.2).
- Gemäss den Profilen A-A und D-D der Beilagen 5.2, 5.3 beisst die aktive, untiefe Rutschmass oberhalb der Kote ~ 790 m aus. Die Rutschung gliedert sich in verschiedene Rutschschollen, welche bei Rutschaktivitäten progressiv hangaufwärts aktiviert und in der nächst folgenden, unteren Scholle wieder gestaucht werden (Dominoeffekt).

6.2. Geologisches Baugrundmodell Gesamtrutsch

Das geologische Baugrundmodell ist aus dem Längenprofil der Beilage 5.3 ersichtlich und hat sich gegenüber [2] bestätigt.

Neu kommen folgende Aspekte hinzu:

- Die heutige Gleittiefe der ersten, tiefen Grossrutschung (2a) zwischen Freihof und Caselertobel liegt höher als jene der später meist übertieften Teilrutschungen (2b, Beilage 5.3). Wo Segmente der Grossrutschung 2a innerhalb von jüngeren Teilrutschen 2b zu liegen kommen, sind diese heute nicht mehr aktiv.
- Die oberste SB 10 des Muldenrutsches verfügt bei ~ 4 m u.T. über eine untiefe Gleitfuge. Die geodätische Verschiebungsgeschwindigkeit von 20 mm/Jahr ist gleich wie andere Punkte entlang der Kantonsstrasse (Beilage 3.3). Zusammen mit den neu gefundenen, aktiven Anrissen oberhalb von Kote 900 m muss die Ausdehnung des untiefen Rutsches bis hinauf zur Forststrasse erweitert werden (Beilage 3.2).
- Die Möglichkeit einer Aktivierung von tiefgründigen Rutschschollen durch die vom Fuss her aktiven, untiefen Rutschungen scheint sich nicht zu bestätigen. Lediglich an den übersteilen Randbereichen, wo die Abrisse der tiefgründigen und untiefen Rutschungen nahe aneinander stossen, ist eine Beeinflussung nach wie vor denkbar [2] (Muldenrutsch). Diese Hypothese konnte trotz der hohen Sondierungsdichte entlang der Strasse bisher nicht eindeutig nachgewiesen werden.
- Es wird deutlich, dass die tiefgründig kriechenden Rutschungen das ganze Gebiet, das Trasse und die Kunstbauten erfassen (Schachtfundationen CTHB bis 13 m u.T.), und in Hinblick auf Sicherungsmassnahmen kaum relevant sind, dies möglicherweise mit Ausnahme der östlichen und westlichen Übergangstellen zu den stabilen Grenzgebieten (Freihof, Ostflanke Caselertobel; „stabil" im Sinne von [1] mit geodätischen bestimmten Verschiebungen von < 5 mm/Jahr).
- Im Bereich des Caselertobels sind die tiefgründigen Rutschungen mit überwiegend Gleitfugen oberhalb von 25 m u.T., der ersten Rutschgeneration 2a zuzuordnen (Beilage 5.3).

6.3. Rutschentwicklung

Wie die räumliche und zeitliche Entwicklung der verschiedenen Rutschungen künftig zu erwarten ist, bleibt eine zentrale Frage.

Generell:

- Die Grundgeschwindigkeit der tiefgründigen Rutschungen kann unabhängig der Niederschläge bei < 5 mm/Jahr angenommen werden. Aufgrund der grossen Rutschmasse und damit hohen Trägheit sind sie nur einer geringen Niederschlagsabhängigkeit ausgesetzt (Annahme maximale Erhöhung um Faktor 2 zu „Trockenjahren").
- Die Verschiebungsaktivitäten der untiefen Rutschungen mit Gleitfugen > 15 m u.T. sind stark niederschlagsabhängig und können in nassen Jahren Geschwindigkeiten bis Faktor 4 über jenen von durchschnittlichen Jahren annehmen [2].
- Die innerhalb einer untiefen Rutschung durch Fussentlastung, Rutschverschiebung und Stauchung, dominoartig sich verändernden Rutschschollen führen dazu, dass die verschiedenen Rutschungen im Abschnitt Freihof – Passmal lokal über unterschiedliche Sta-

bilitätsreserven verfügen. Jene Rutschschollen mit niedrigen Reserven werden sich in niederschlagsreichen Jahren erheblich stärker verschieben als solche mit höheren.

Muldenrutsch:

- Von diesem Gesichtspunkt aus scheint der aktivste aller Rutschungen, der Muldenrutsch, gegenwärtig am kritischsten zu sein. Unterhalb 800 m verfügt er über einen übersteilen Stauchwulst [1]. Kommt dieser zum Versagen, wird voraussichtlich der gesamte, oberhalb liegende, untiefe Rutsch aktiviert.
- Die Erfahrung der letzten Jahrzehnte hat gezeigt, dass es nach mehrjährigen „Trockenperioden" bereits im ersten Jahr von deutlich überdurchschnittlichen Niederschlägen zu Ereignissen von unakzeptablen Deformationen kam (~ 20 % über 30-jährigem Mittel; Kollaps der Fahrbahn [1]). Dies erforderte jeweils bauliche Interventionen. Hierbei scheinen insbesondere die Herbstniederschläge bedeutend zu sein. Da seit Ende 2002 durchwegs niederschlagsarme Jahre waren, steigt die Wahrscheinlichkeit von Folgejahren mit überdurchschnittlichen Jahresniederschlägen stark an. Ab deren Eintreten muss mit massiven Schäden an der Strasse insbesondere im Muldenrutsch gerechnet werden.

Cugnielertobel I:

- Der aktive Rutsch des Cugnielertobels I scheint im Verglich zum Muldenrutsch trotz der in den letzten Jahren im Bereich der Kantonsstrasse grossen, sichtbaren Verschiebungen, weniger kritisch zu sein. Die Verschiebungsgeschwindigkeiten der „trockenen" Jahre 2003 – 2007 sind zwar in derselben Grössenordnung wie jene des Muldenrutsches, die räumliche Ausdehnung von stärker bewegten Teilen ist geringer und scheint sich auf die Rinne im Bereich SB 11 zu beschränken. Und die am Rutschfuss gebildeten Stauchwülste [2] sind weniger ausgeprägt und verfügen möglicherweise noch über eine erhöhte Stabilitätsreserve.
- Aufgrund des heutigen Kenntnisstandes ist nach wie vor nicht mit einem Kollaps der gesamten, untiefen Rutschmasse und mit einer massiven Gefährdung der RhB zu rechnen. Viel eher ist lokal, niederschlagsbedingt mit erhöhten Verschiebungen zu rechnen (Rinne bei SB 11). Allenfalls werden aus dem aufgesteilten Fussbereich einzelne Schollen in das Cugnielertobel rutschen. Oder auf Höhe der Kantonsstrasse treten erneut lokale Versackungen und unzulässige Deformationen ähnlich der vergangenen Jahre auf.

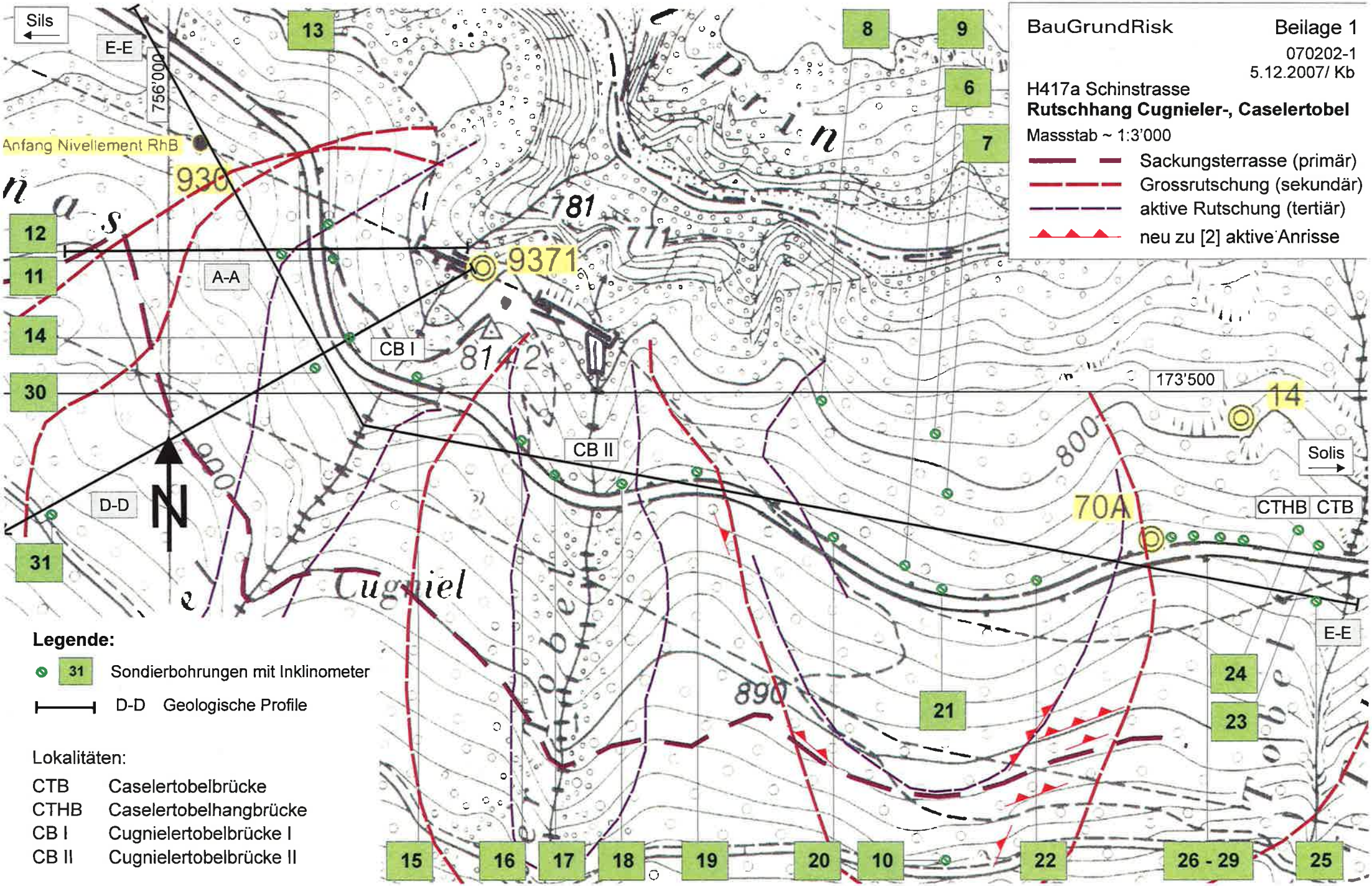
7. Empfehlung

- Da nach der langen „Trockenperiode" die Wahrscheinlichkeit von Folgejahren mit überdurchschnittlichen Niederschlägen erheblich gestiegen ist, empfehlen wir das Sicherungsprojekt des Muldenrutsches rasch umzusetzen.

BauGrundRisk

Dr. Ruedi Krähenbühl

Situation mit Standort der Sondierbohrungen



BauGrundRisk

Beilage 1

070202-1
5.12.2007/ Kb

H417a Schinstrasse
Rutschhang Cugnieler-, Caselertobel
Massstab ~ 1:3'000

- Sackungsterrasse (primär)
- Grossrutschung (sekundär)
- aktive Rutschung (tertiär)
- neu zu [2] aktive Anrisse

Legende:

- 31 Sondierbohrungen mit Inklinometer
- D-D Geologische Profile

Lokalitäten:

CTB	Caselertobelbrücke
CTHB	Caselertobelhangbrücke
CB I	Cugnielertobelbrücke I
CB II	Cugnielertobelbrücke II

BauGrundRisk

Sennensteinstrasse 5, 7000 Chur
081 250 63 84 / baugrundrisk@bluewin.ch

H417a Cugnieler-, Caselertobel					Sondierbohrung SB 30		Beilage	2.1
Projekt:	H417a Schinstrasse				Bericht	070202-1	Chur, 26.11.2007	
Bauherr	Tiefbauamt Graubünden				**Ausführung**		**Aufnahme**	
Koordinate:	756'096.068 / 173'461.824				Datum:	14. - 24.06.2007	05.07.2007	
Höhe:	~ 846.29	m ü.M.			Firma:	Otto Bohr AG	BauGrundRisk	
Einbau:	Piezometer	∅:	-	Zoll	Bohrmeister:	Dos Santos	Dr. R. Krähenbühl	
	Inklinometer	∅:	84	mm	Bohrart:	Kernbohrung	∅: 168	121 mm

Tiefe [m]	Signatur	Stärke [m]	Aufzeichnung Bohrprofil	Geologie	Wasser	Einbau
0.0	**Mst.:**	1:100	Beschreibung Bohrgut	(DS: Deckschicht)		
0.2		0.2	Humus, weich, braun (Mst.: 1:50)			
0.6		0.4	siltiger Kiessand mit einzelnen Steinen und Wurzelresten, locker, grau (Mst.: 1:50)	**DS**		
2.1		1.5	Block, Phyllitschiefer, schwarz-grau, hart			
4.0		1.9	wechselnd tonig, siltiger Kiessand mit wenig Steinen, locker, schwarz-grau			
4.3		0.3	Block, Sandkalk, grau, hart (Mst.: 1:50)			
8.0		3.7	wechselnd tonig, siltiger Kiessand mit wenig Steinen, mässig dicht, grau-schwarz	**Rutschmasse**	keine Wasserzutritte	Einbau: Inklinometer d = 84 mm von 0 - 34 m
10.0		2.0	tonig - siltige Kiessande mit wenig Steinen, mässig dicht, grau-schwarz, nass			
12.3		2.3	leicht tonig, siltiger Kiessand mit reichlich Steinen und einzelnen Blöcken, $ø_{max.}$ 25 cm, (kantengerundet), mässig dicht, grau-beige , z.T. nass			
18.3		6.0	wechselnd tonig, siltiger Kiessand mit reichlich Steinen und einzelnen Blöcken, $ø_{max.}$ 30 cm, (kantengerundet), dicht, grau			



8.80 – 9.90 m

BauGrundRisk

Sennensteinstrasse 5, 7000 Chur
081 250 63 84 / baugrundrisk@bluewin.ch

H417a Cugnieler-, Caselertobel	**Sondierbohrung SB 30**	**Beilage**	**2.1**
Projekt: H417a Schinstrasse	Bericht 070202-1	Chur, 26.11.2007	

Tiefe [m]	Signatur	Stärke [m]	Aufzeichnung Bohrprofil	Geologie	Wasser	Einbau
0.0	**Mst.:**	1:100	Beschreibung Bohrgut	(DS: Deckschicht)		
19.7		1.4	leicht tonig, siltiger Kiessand mit reichlich Steinen, dicht, beige	**Rutschmasse**	keine Wasserzutritte	Einbau: Inklinometer d = 84 mm von 0 - 34 m
24.5		4.8	wechselnd tonig, siltiger Kiessand mit reichlich Steinen, dicht, grau, von 19.70 - 20.00 nass			
32.0		7.5	siltiger Kiessand mit reichlich Steinen (Dolomit, Gneis, Juliergranit), kompakt, dicht, beige, von 31.50 - 32.00 nass	**Moräne**		
32.3		0.3	Fels, Phyllitschiefer zerbrochen, hart, grau-schwarz (1:50)	**Fels**		
34.0		1.7	Fels, Sandkalke, ungeklüftet, max. Bohrkernlänge 1.0 m am Stück, hart, grau			



33.1 – 34.0 m

BauGrundRisk

Sennensteinstrasse 5, 7000 Chur
081 250 63 84 / baugrundrisk@bluewin.ch

H417a Cugnieler-, Caselertobel					Sondierbohrung SB 31		Beilage			2.2
Projekt:	H417a Schinstrasse				Bericht	070202-1	Chur, 26.11.2007			
Bauherr	Tiefbauamt Graubünden				**Ausführung**		**Aufnahme**			
Koordinate:	755'923.862 / 173'371.621				Datum:	14. - 24.06.2007	25.07.2007			
Höhe:	~ 937.20	m ü.M.			Firma:	Otto Bohr AG	BauGrundRisk			
Einbau:	Piezometer	∅:	-	Zoll	Bohrmeister:	Dos Santos	Dr. R. Krähenbühl			
	Inklinometer	∅:	84	mm	Bohrart:	Kernbohrung	∅:	178	131	mm

Tiefe [m]	Signatur	Stärke [m]	Aufzeichnung Bohrprofil	Geologie	Wasser	Einbau
0.0	**Mst.:**	**1:100**	Beschreibung Bohrgut	(DS: Deckschicht)		
0.2		0.2	Humus, weich, braun (Mst.: 1:50)	**DS**		
1.7		1.5	leicht tonig, siltiger Kiessand mit wenig Steinen, einzelnen Blöcken, $ø_{max.}$ 25 cm, locker bis mässig dicht, beige	**Rutschmasse**	keine Wasserzutritte	Einbau: Inklinometer d = 84 mm von 0 - 40 m
2.0		0.3	Block, grau, hart (Mst.: 1:50)			
5.0		3.0	leicht tonig, siltiger Kiessand mit viel Steinen, reichlich Blöcken, $ø_{max.}$ 25 cm, mässig dicht, grau, beige			
11.8		6.8	leicht tonig, siltiger Kiessand mit viel Steinen, reichlich Blöcken, $ø_{max.}$ 40 cm, mässig dicht, grau			
12.9		1.1	leicht tonig, siltiger Kiessand mit viel Steinen, reichlich Blöcken, $ø_{max.}$ 20 cm, dicht, beige			
14.5		1.6	leicht tonig, siltiger Kiessand mit viel Steinen, reichlich Blöcken, $ø_{max.}$ 20 cm, dicht, grau, beige			
15.5		1.0	Block, Sandkalk, hellgrau, hart			
16.4		0.9	leicht tonig, siltiger Kiessand mit viel Steinen, reichlich Blöcken, $ø_{max.}$ 20 cm, dicht, grau			



5.00 – 5.65m



11.0– 12.0 m

BauGrundRisk

Sennensteinstrasse 5, 7000 Chur
081 250 63 84 / baugrundrisk@bluewin.ch

H417a Cugnieler-, Caselertobel	**Sondierbohrung SB 31**	**Beilage**	**2.2**
Projekt: H417a Schinstrasse	Bericht 070202-1	Chur, 26.11.2007	

Tiefe [m]	Signatur	Stärke [m]	Aufzeichnung Bohrprofil	Geologie	Wasser	Einbau
0.0	**Mst.:**	1:100	Beschreibung Bohrgut	(DS: Deckschicht)		
17.5		1.1	tonig - siltiger Sand mit wenig Kies, Steinen (laminiert), dicht, beige, schwarz (Rutschhorizont?)	**Rutschmasse**	keine Wasserzutritte	Einbau: Inklinometer d = 84 mm von 0 - 40 m
20.0		2.5	Wechsellagerung von siltigen und tonig-siltigen Kiessanden mit reichlich Steinen, dicht, beige, schwarz			
20.4		0.4	Block, Sandkalk, hart, hellgrau (Mst.: 1:50)			
21.1		0.7	siltiger Feinsand mit wenig Steinen, dicht, schwarz			
33.2		12.1	wechselnd tonig, siltiger Kiessand mit viel Steinen und reichlich Blöcken, $ø_{max.}$ 30 cm, dicht, schwarz			
33.5		0.3	siltiger Sand mit reichlich Steinen, dicht, schwarz (1:50)			
33.7		0.2	Block, Phyllitschiefer, hart, grau-schwarz (Mst.: 1:50)			
40.0		6.3	wechselnd tonig, siltiger Kiessand mit viel Steinen und einzelnen Blöcken, kompakt, dicht, grau			



17.35 – 17.80m



26.90 – 27.8 m



39.00 – 39.50 m

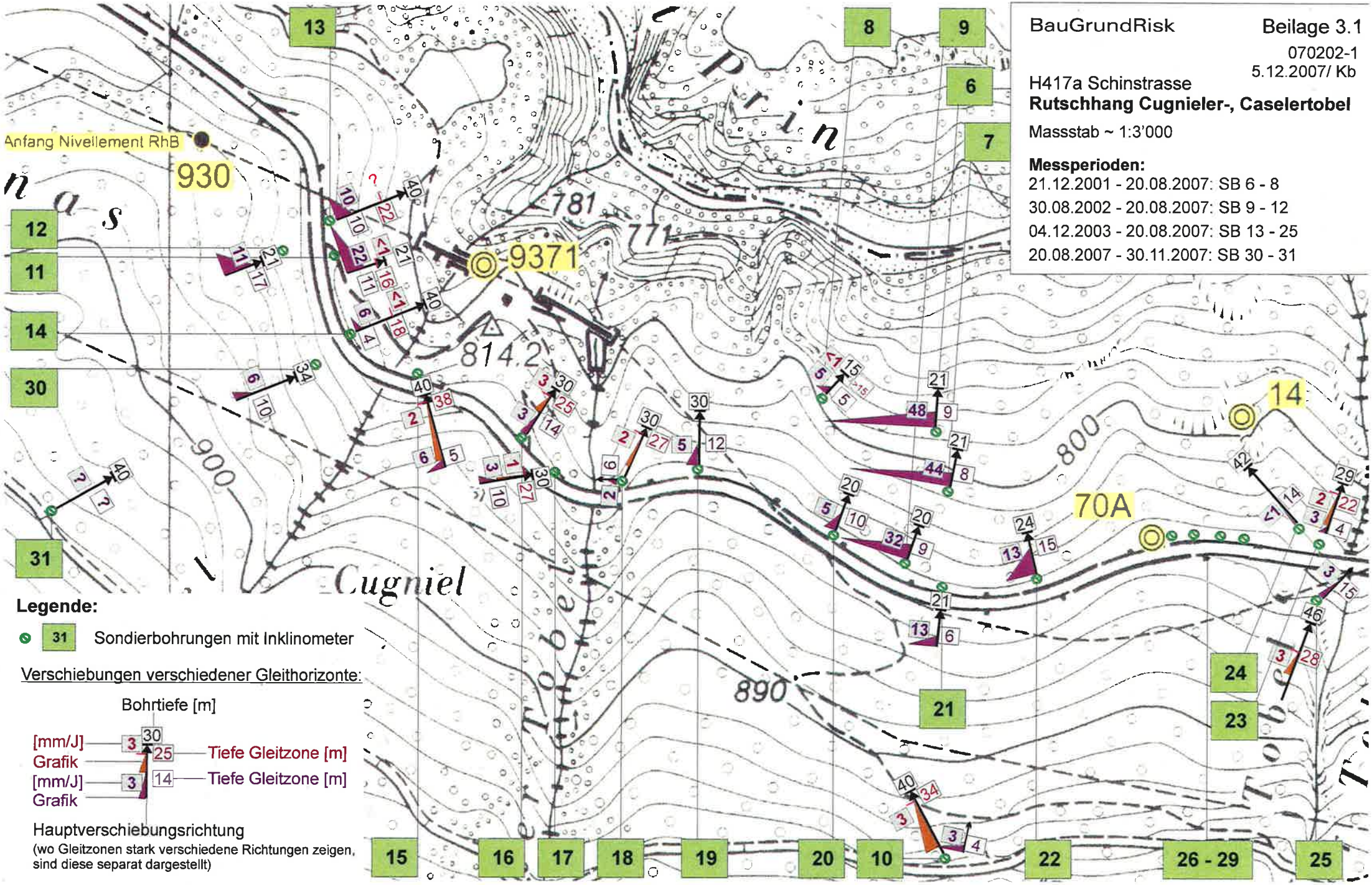
Übersicht der Sondierbohrungen

H417a
Schinstrasse
Abschnitt Freihof-Passmal
Situation Inklinometerrohre

erstellt: **Stump ForaTec AG**
aktualisiert BauGrundRisk
Stand: 04.12.2007

Bohrung	Art	Tiefe [m]	Nullmessung	Bemerkung
SB1/1987		64.0		abgeschert
SB2/1987		60.0		Piezorohr
SB3/1987		49.0		abgeschert
SB4/1995		48.0		abgeschert
SB5/1995		65.0		abgeschert
SB6/2001	Kernbohrung	21.8	21.12.2001	abgeschert
SB7/2001	Kernbohrung	21.0	21.12.2001	abgeschert
SB8/2001	Kernbohrung	15.3	21.12.2001	
SB9/2001	Imlochhammer	20.0	30.08.2002	abgeschert
SB10/2002	Imlochhammer	40.0	30.08.2002	
SB11/2002	Imlochhammer	20.0	30.08.2002	
SB12/2002	Imlochhammer	20.0	30.08.2002	
SB13/2003	Imlochhammer	40.0	Nov 03	
SB14/2003	Imlochhammer	40.0	Nov 03	
SB15/2003	Imlochhammer	40.0	Nov 03	
SB16/2003	Imlochhammer	30.0	Nov 03	
SB17/2003	Imlochhammer	30.0	Nov 03	
SB18/2003	Imlochhammer	30.0	Nov 03	
SB19/2003	Imlochhammer	30.0	Nov 03	
SB20/2003	Imlochhammer	20.0	Nov 03	
SB21/2003	Imlochhammer	20.0	Nov 03	
SB22/2003	Imlochhammer	25.0	Nov 03	
SB23/2003	Imlochhammer	38.0	Nov 03	
SB24/2003	Imlochhammer	40.0	Nov 03	
SB25/2003	Imlochhammer	45.0	Nov 03	
SB26/2004 (I1)	Imlochhammer	48.3	13.09.2004	
SB27/2004 (I2)	Imlochhammer	25.4	13.09.2004	
SB28/2005 (I3)	Imlochhammer	49.9	24.11.2004	
SB29/2005 (I4)	Imlochhammer	24.8	24.11.2004	
SB30/ 2007	Kernbohrung	34.0	20.08.2007	
SB31/ 2007	Kernbohrung	40.0	20.08.2007	

Auswertung Inklinometermessungen 21.12.2001 bis 21.08.2007



BauGrundRisk

Beilage 3.1

070202-1
5.12.2007/ Kb

H417a Schinstrasse
Rutschhang Cugnieler-, Caselertobel

Massstab ~ 1:3'000

Messperioden:
21.12.2001 - 20.08.2007: SB 6 - 8
30.08.2002 - 20.08.2007: SB 9 - 12
04.12.2003 - 20.08.2007: SB 13 - 25
20.08.2007 - 30.11.2007: SB 30 - 31

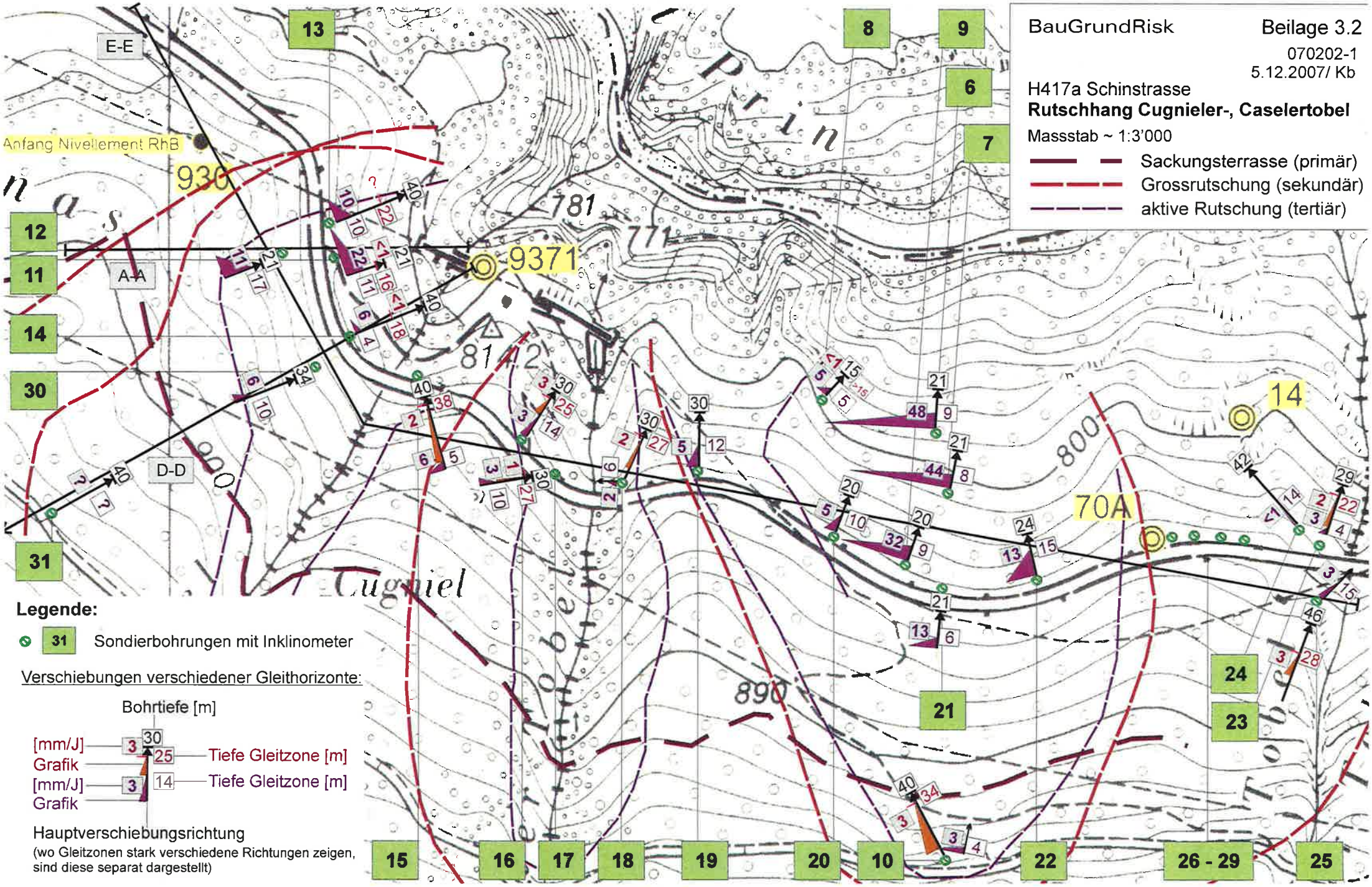
Legende:

31 Sondierbohrungen mit Inklinometer

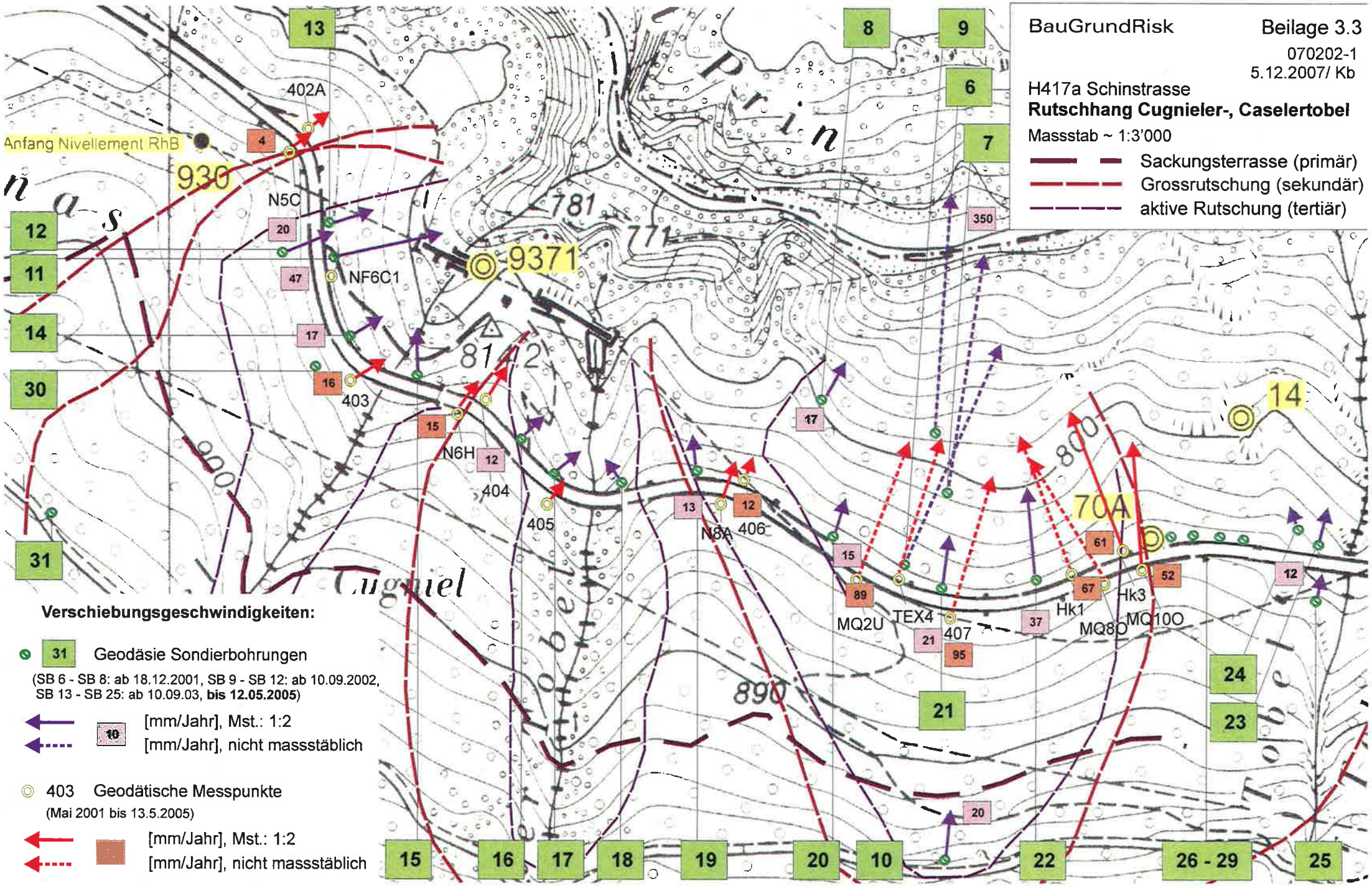
Verschiebungen verschiedener Gleithorizonte:

Hauptverschiebungsrichtung
(wo Gleitzonen stark verschiedene Richtungen zeigen, sind diese separat dargestellt)

Inklinometermessungen 21.12.2001 bis 21.08.2007

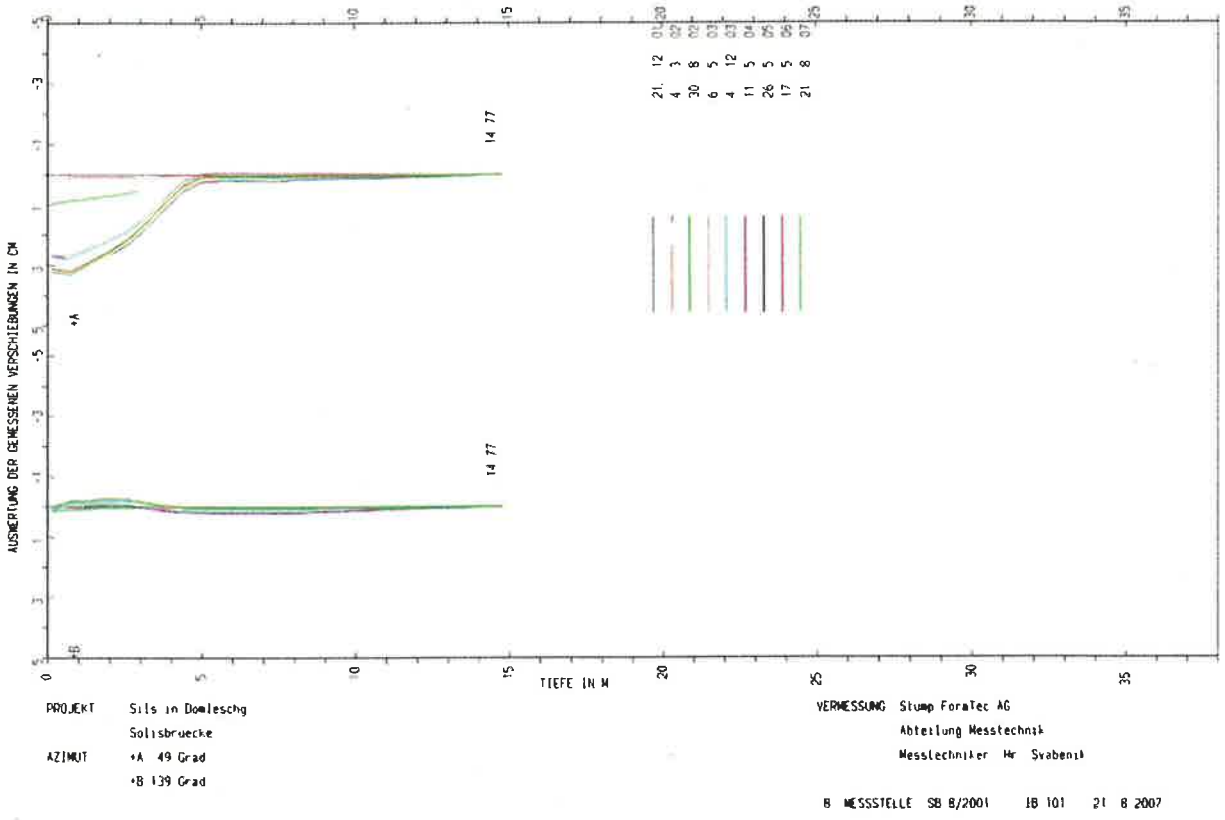


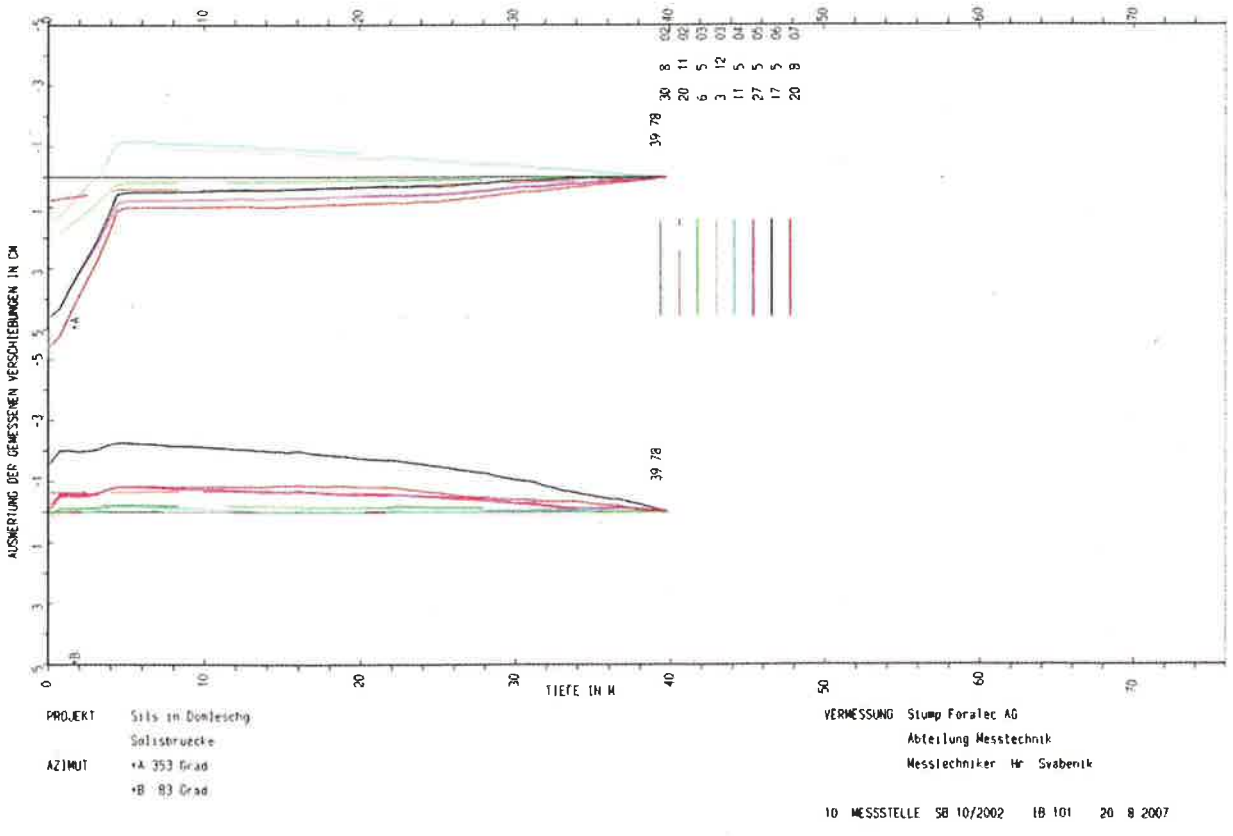
Geodätische Messungen 18.12.2001 bis 13.05.2005



Inklinometermessungen vom 21.08. und 30.11.2007

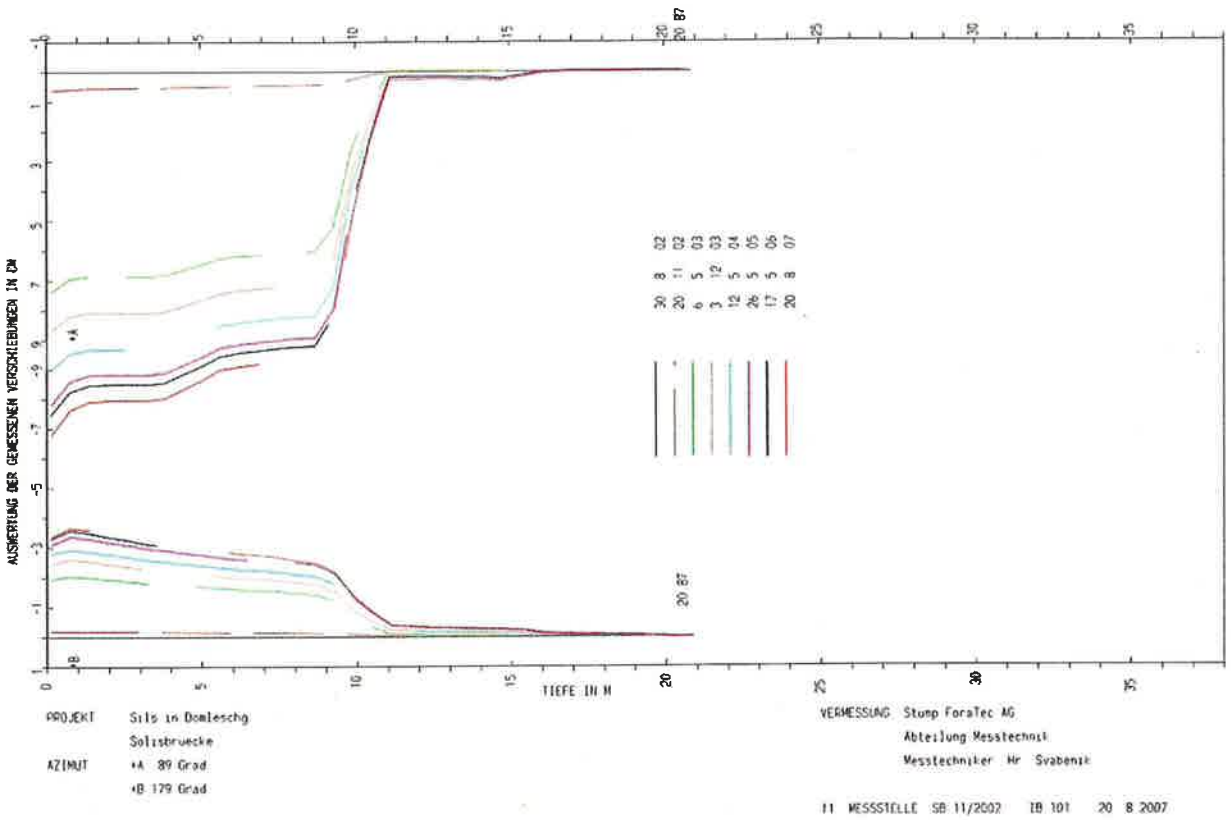
SB 8, SB 10 Muldenrutsch

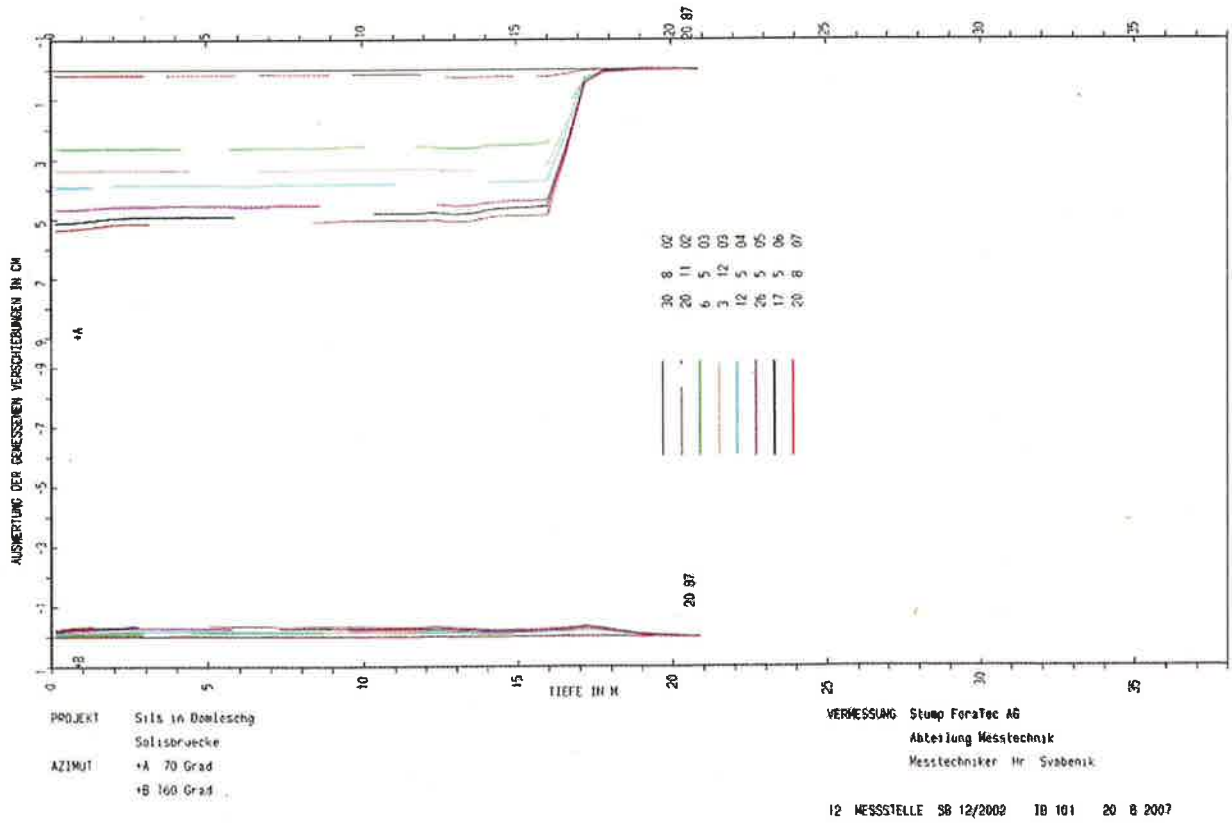




Inklinometermessungen vom 21.08. und 30.11.2007

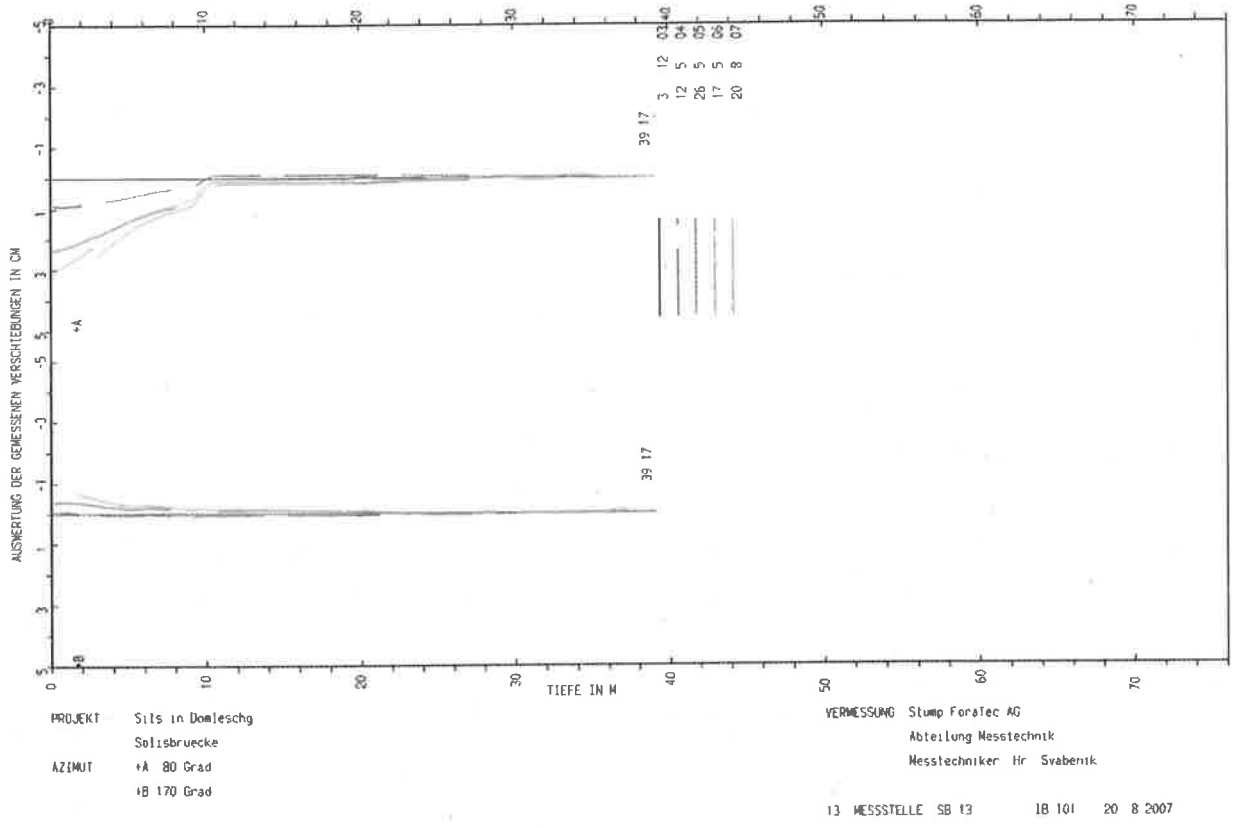
SB 11, SB 12 Cugnielertobel I

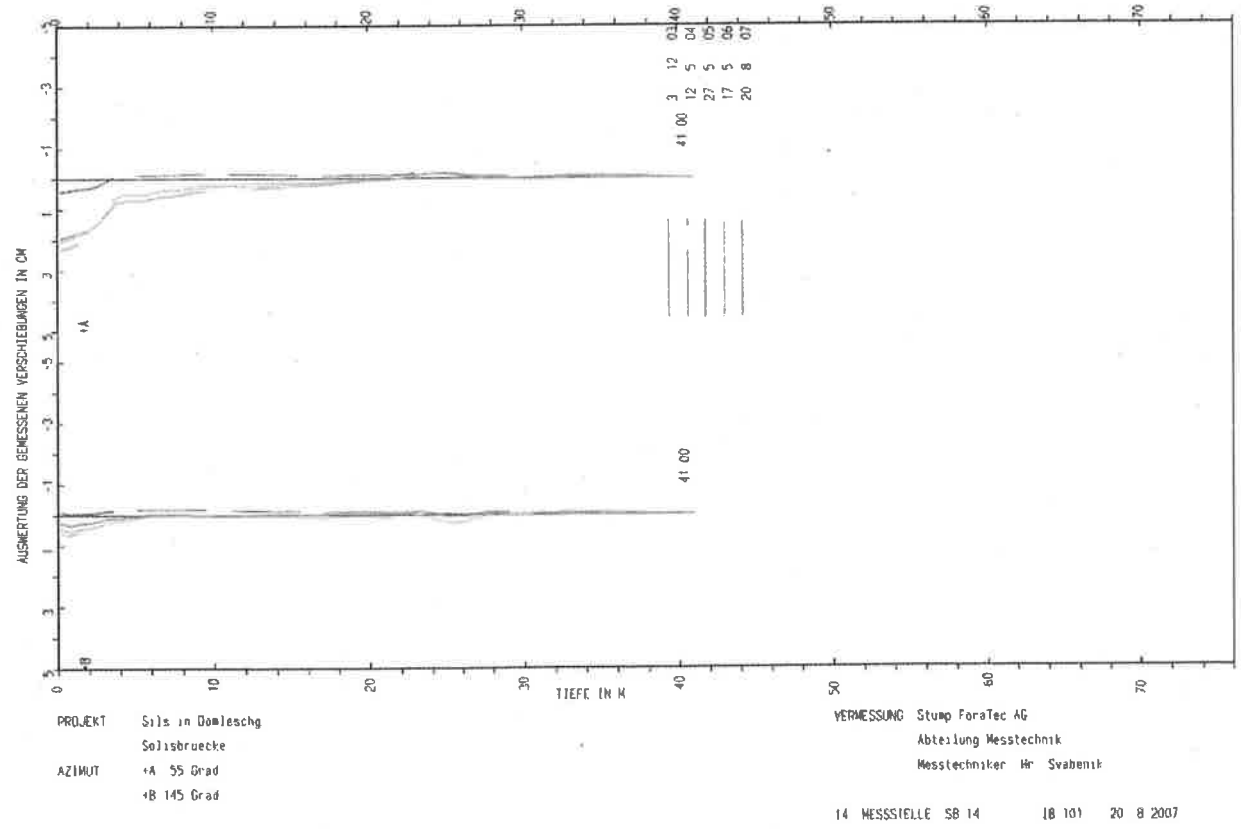




Inklinometermessungen vom 21.08. und 30.11.2007

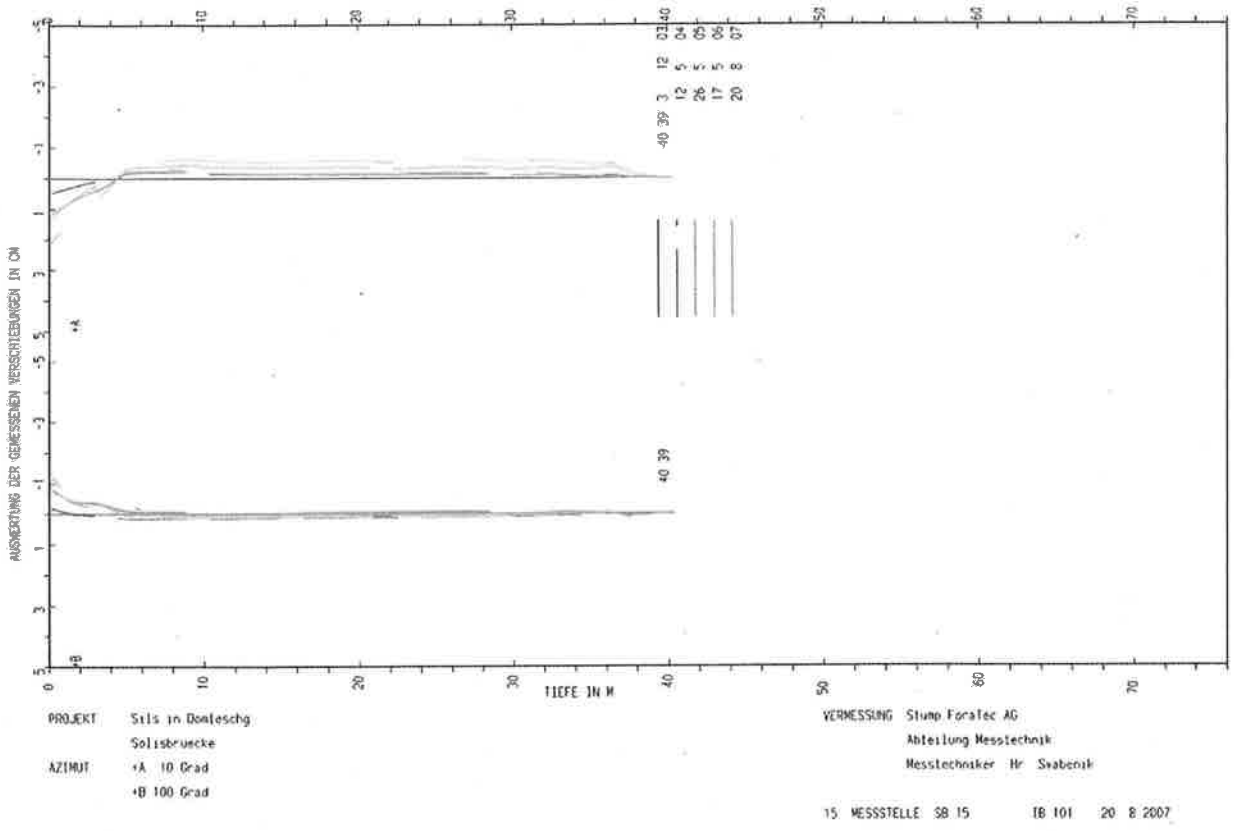
SB 13, SB 14 Cugnielertobel I

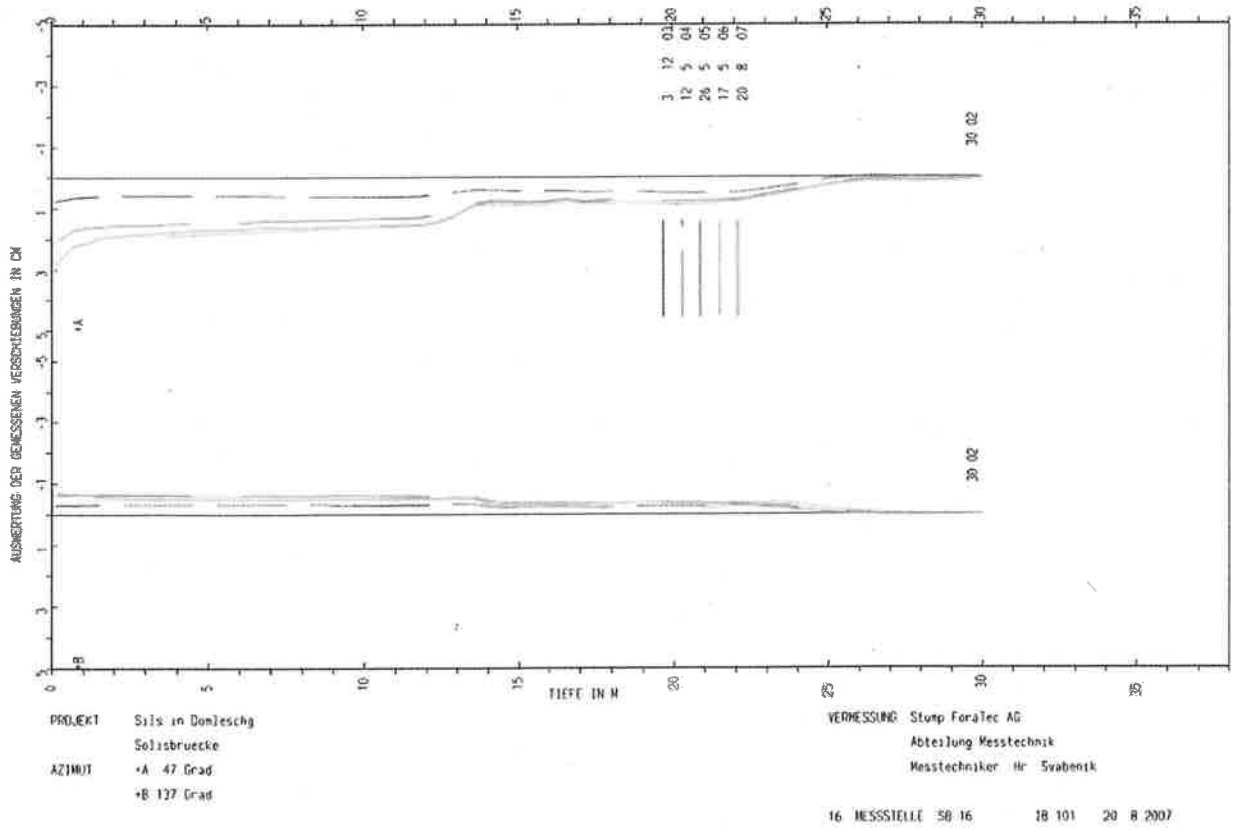




Inklinometermessungen vom 21.08. und 30.11.2007

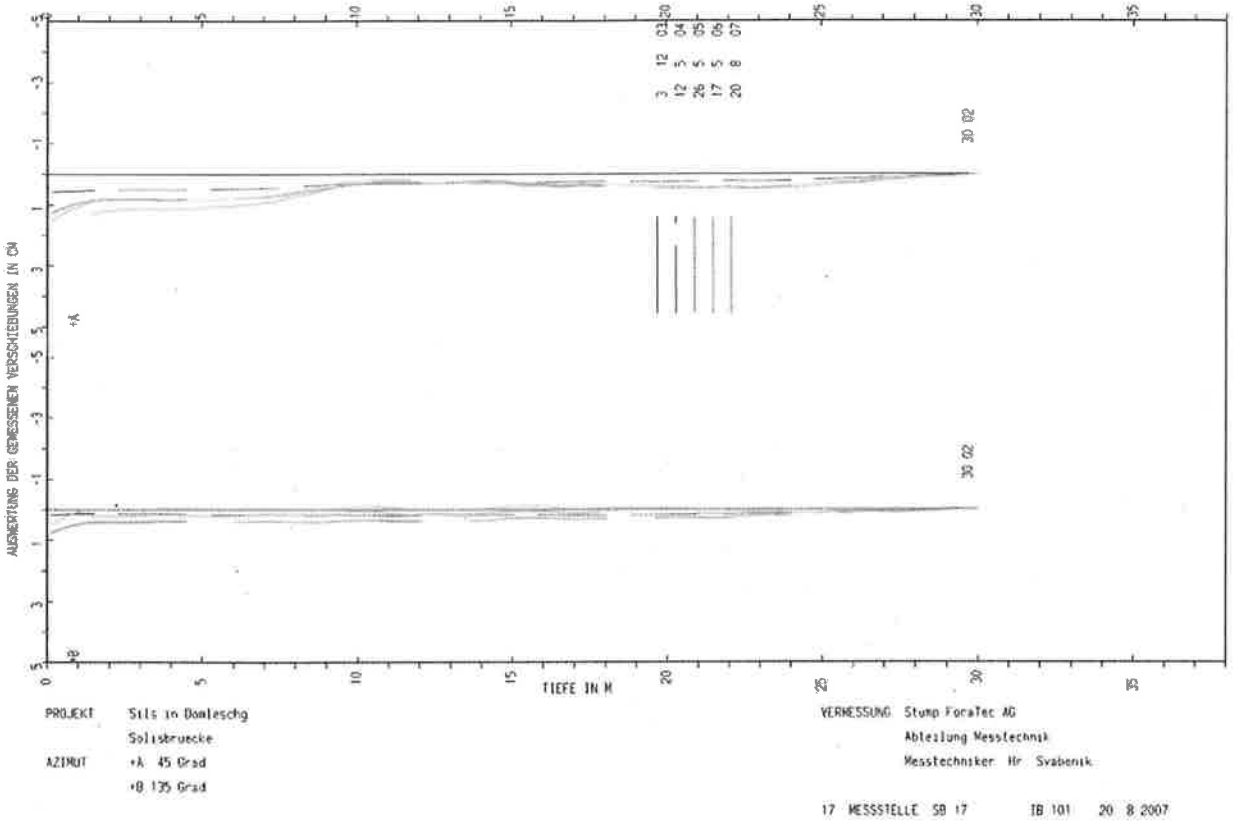
SB 15, SB 16 Cugniel

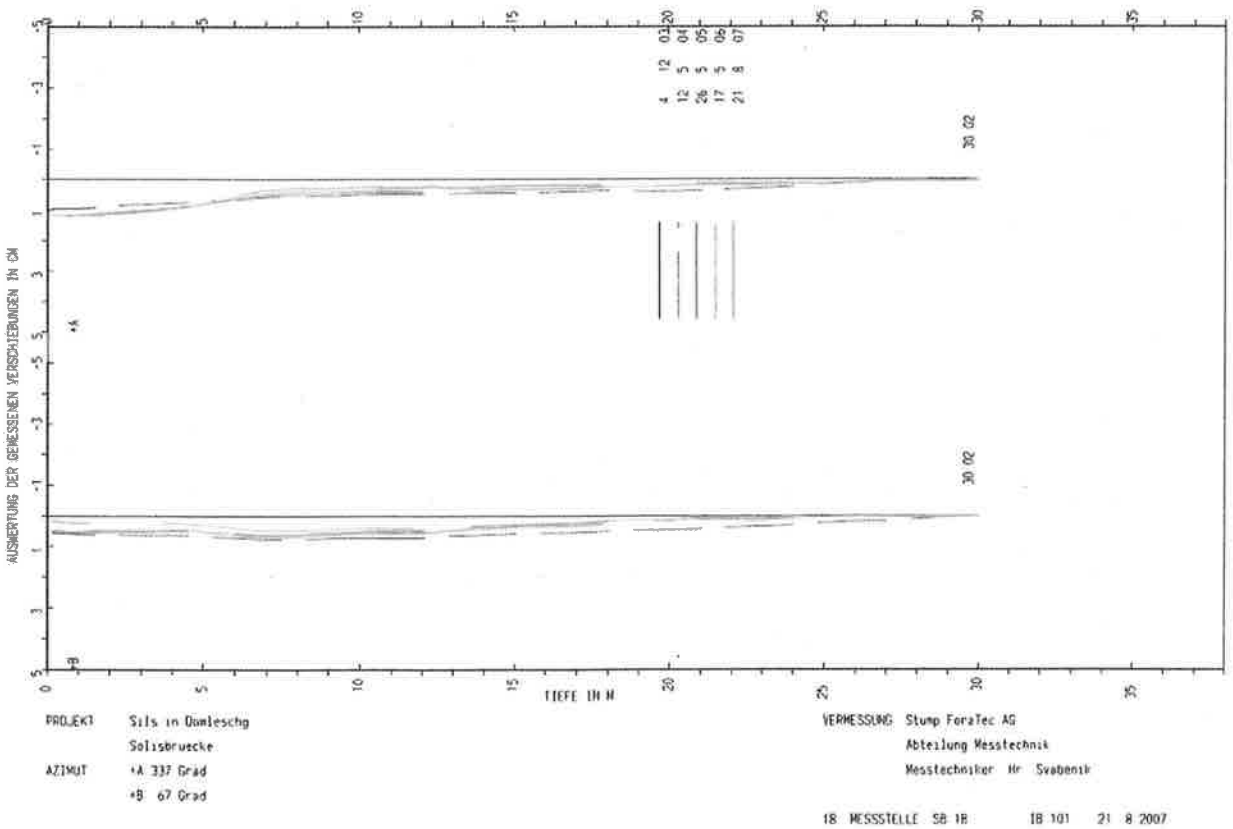




Inklinometermessungen vom 21.08. und 30.11.2007

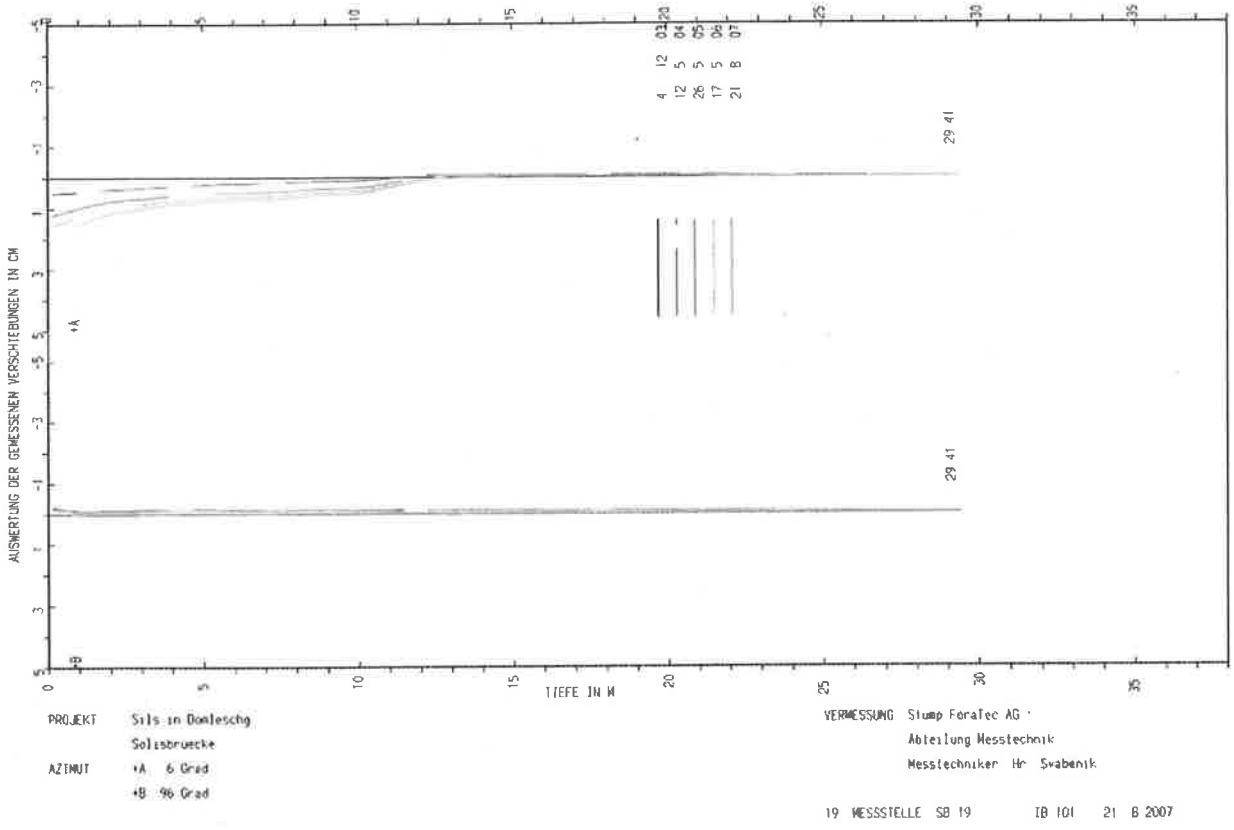
SB 17, SB 18 Cugnielertobel II

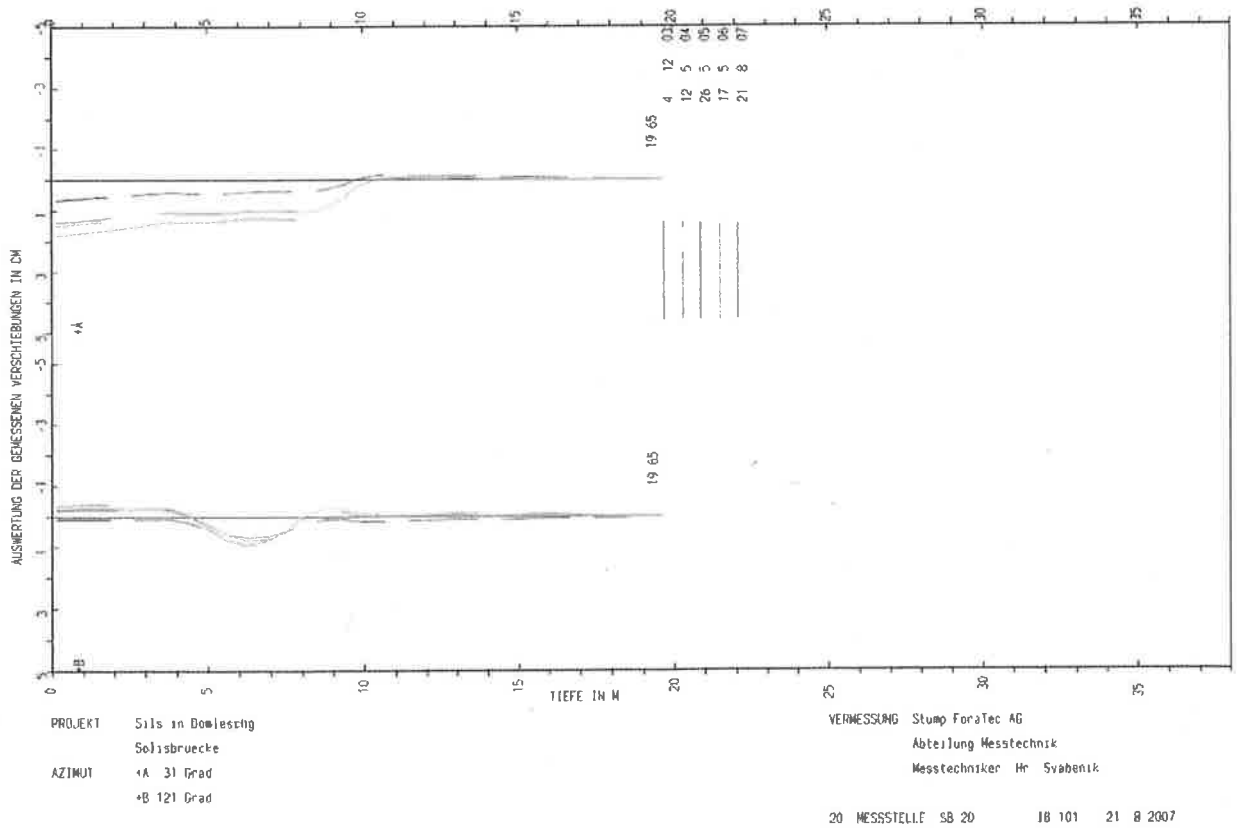




Inklinometermessungen vom 21.08. und 30.11.2007

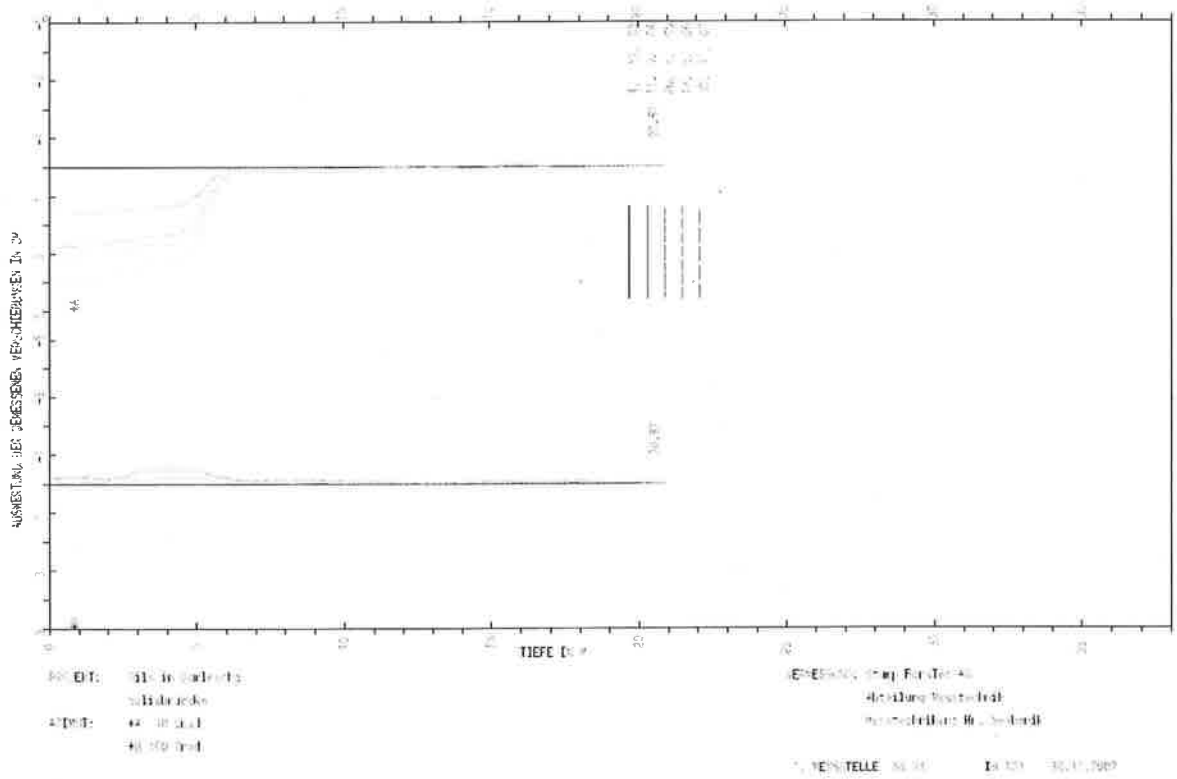
SB 19, SB 20 Muldenrutsch

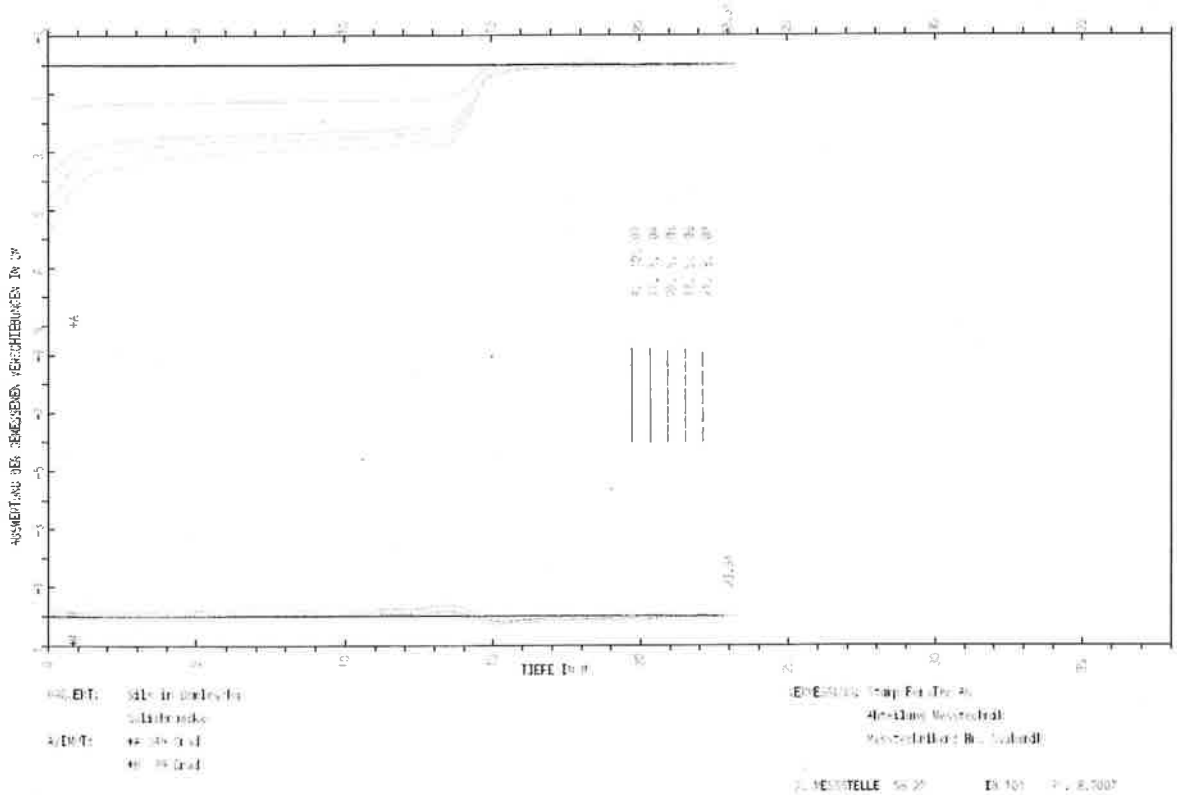




Inklinometermessungen vom 21.08. und 30.11.2007

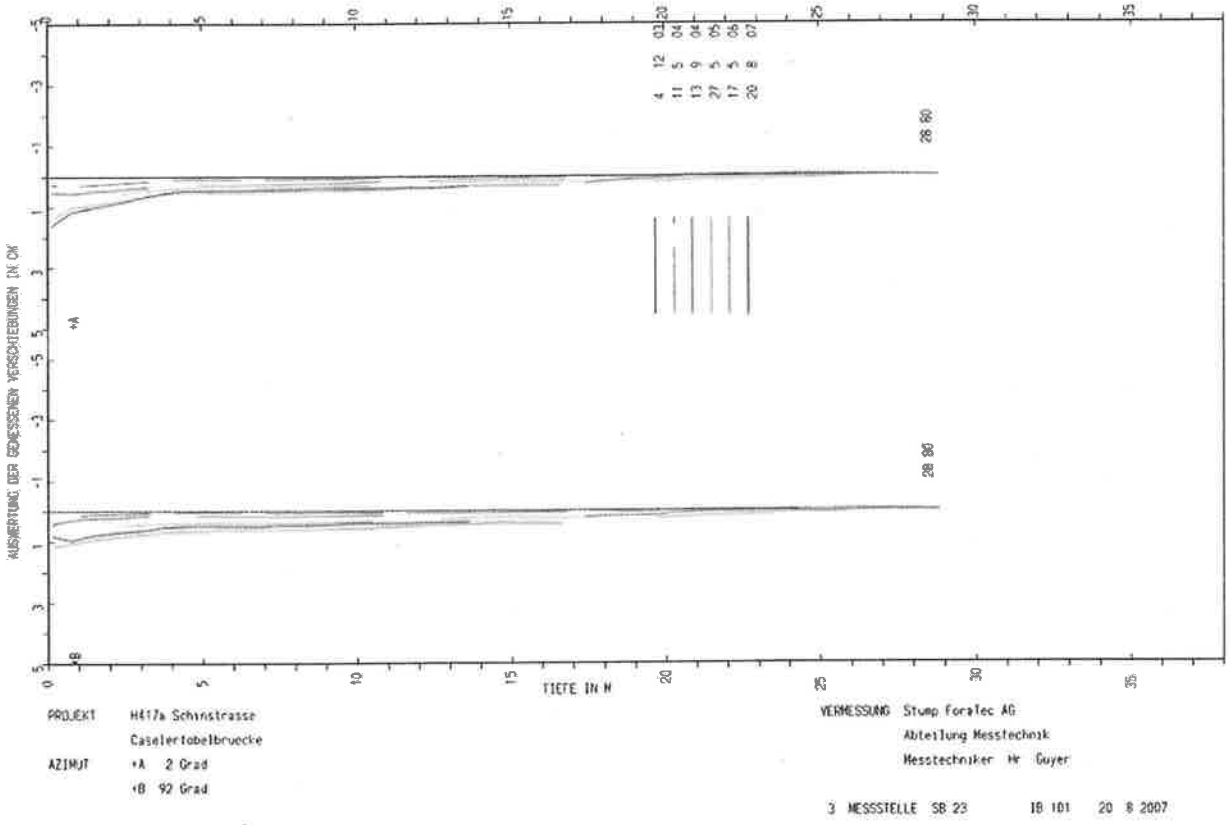
SB 21, SB 22 Muldenrutsch





Inklinometermessungen vom 21.08. und 30.11.2007

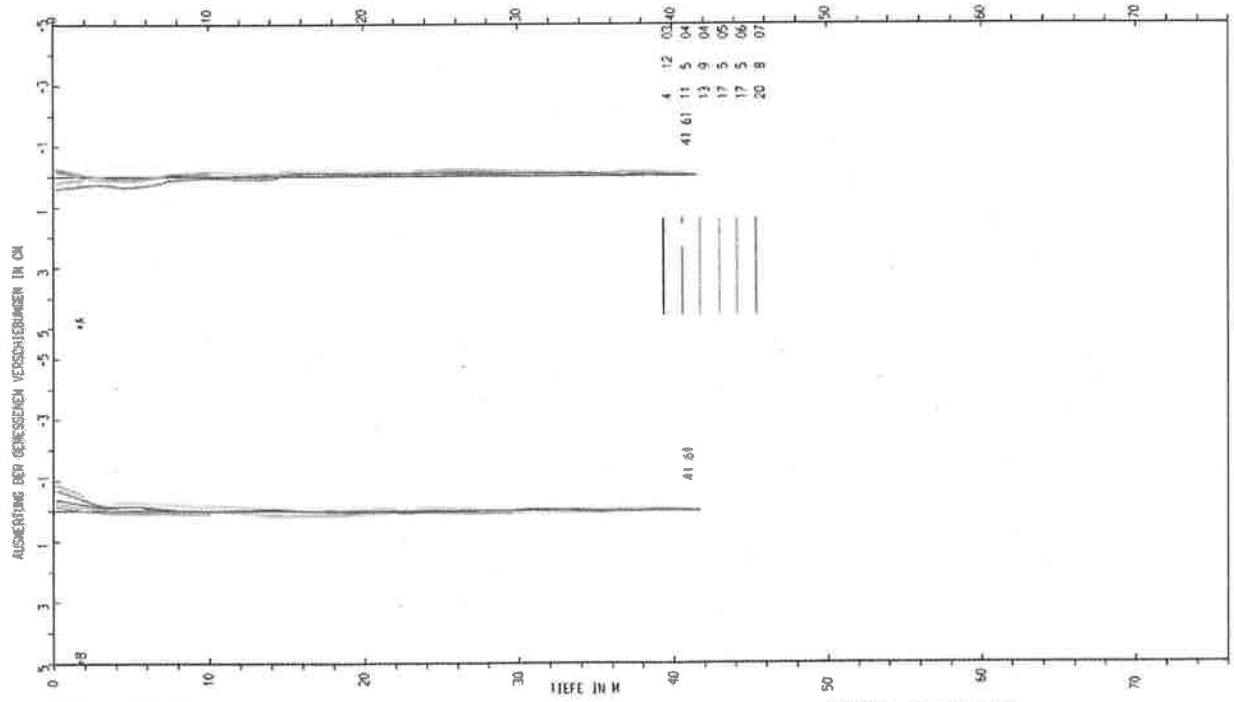
SB 23, SB 24 Caselertobel



PROJEKT H417a Schinstrasse
Caselertobelbruecke
AZIMUT +A 2 Grad
+B 92 Grad

VERMESSUNG Stump Foratec AG
Abteilung Messtechnik
Messtechniker Hr Guyer

3 MESSSTELLE SB 23 IB 101 20 8 2007



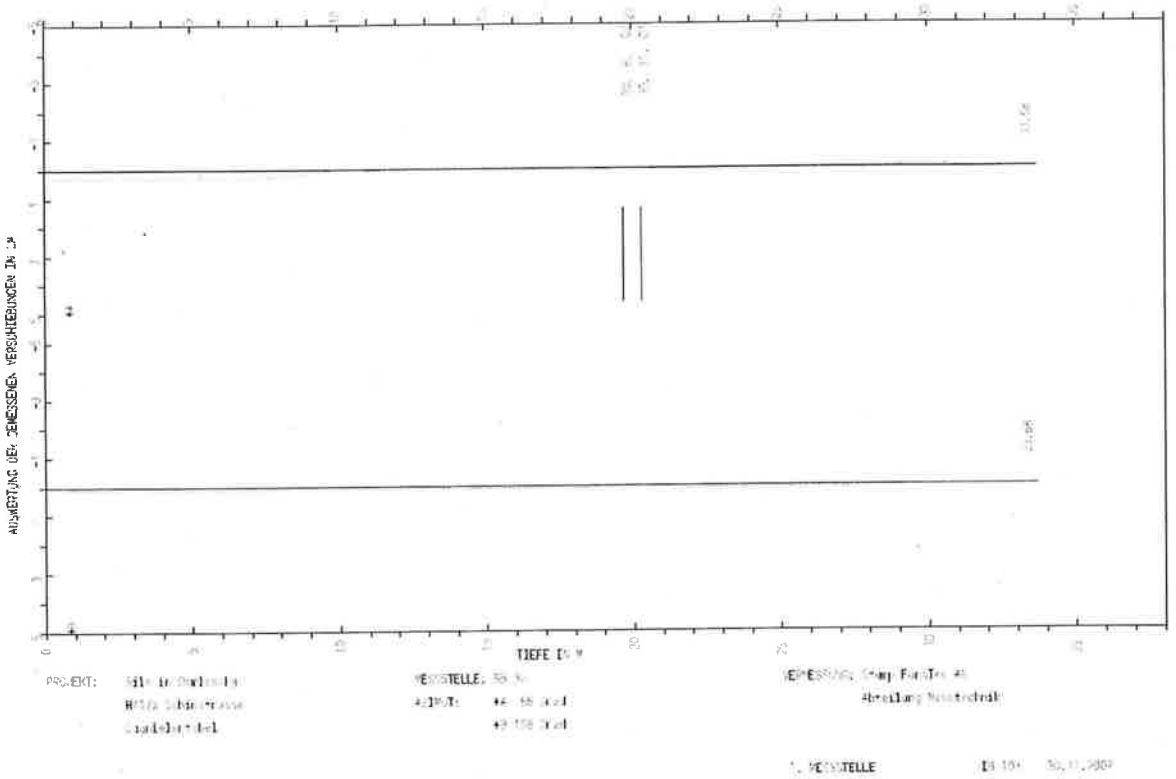
PROJEKT H417a Schinstrasse
Caselertobelbruecke
AZIMUT +A ca 30 Grad
+B ca 120 Grad
(Eisen in der Naehe)

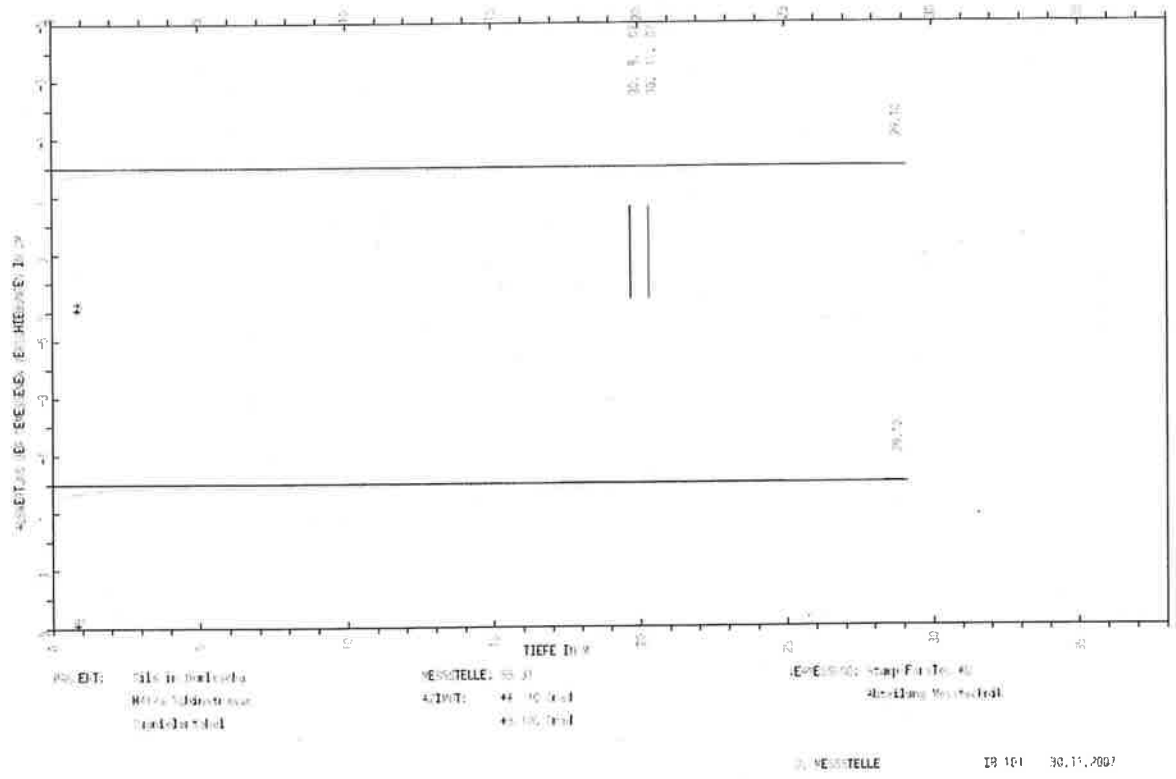
VERMESSUNG Stump Foratec AG
Abteilung Messtechnik
Messtechniker Hr Guyer

4 MESSSTELLE SB 24 IB 101 20 8 2007

Inklinometermessungen vom 21.08. und 30.11.2007

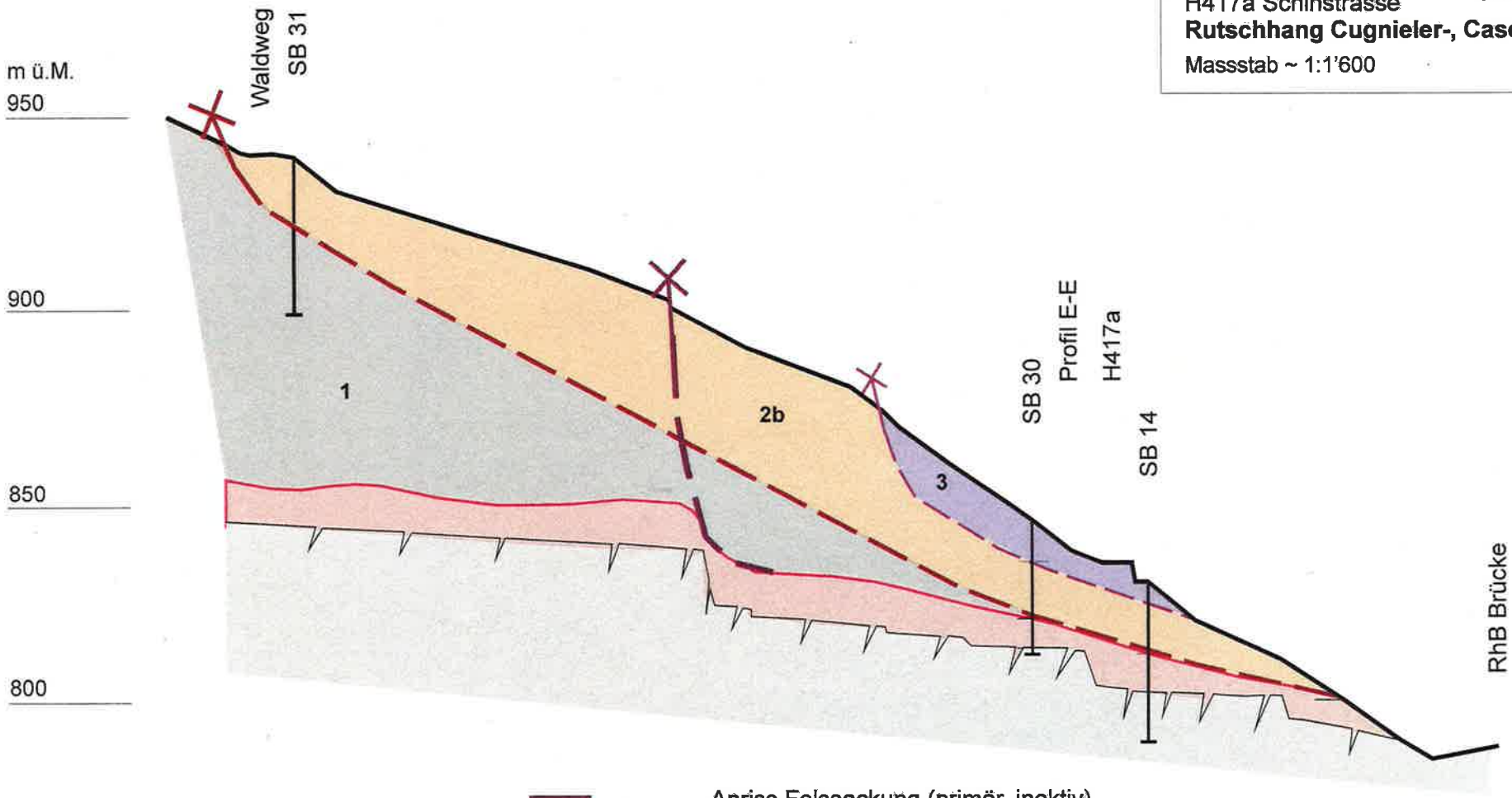
SB 30, SB 31 Cugnielertobel I





Schematisches geologisches Profil D-D

BauGrundRisk | Beilage 5.1
070202-1
5.12.2007/ Kb
H417a Schinstrasse
Rutschhang Cugnieler-, Caselertobel
Massstab ~ 1:1'600



Anriss Felssackung (primär, inaktiv)

Felssackungsmasse (primär, inaktiv)

aktive Rutschmasse (tertiär, kleinräumig, aktiv, cm/Jahr, niederschlagsabhängig)

Moräne

2b Rutschmasse (sekundär, tiefgründig, wenig aktiv, wenige mm/Jahr, Seitenbachübertiefung)

Fels (Bündnerschiefer)

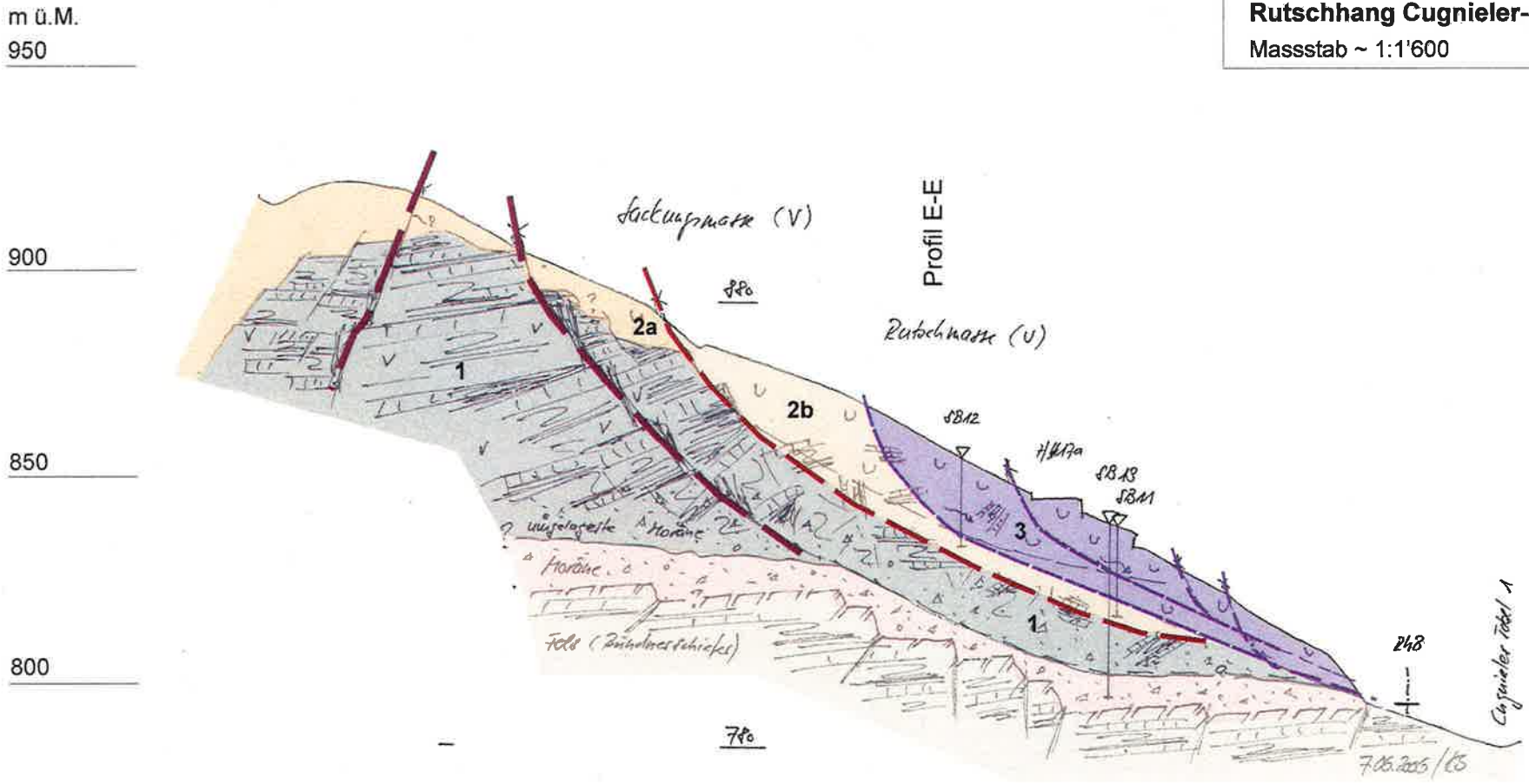
2a Rutschmasse (sekundär, grossräumig, z.T. aktiv, wenige mm/Jahr, Albulaübertiefung)

Schematisches geologisches Profil A-A

BauGrundRisk | Beilage 5.2

070202-1
5.12.2007/ Kb

H417a Schinstrasse
Rutschhang Cugnieler-, Caselertobel
Massstab ~ 1:1'600



Anriss Felssackung (primär, inaktiv)

Felssackungsmasse (primär, inaktiv)

aktive Rutschmasse (tertiär, kleinräumig, aktiv, cm/Jahr, niederschlagsabhängig)

Moräne

2b Rutschmasse (sekundär, tiefgründig, wenig aktiv, wenige mm/Jahr, Seitenbachübertiefung)

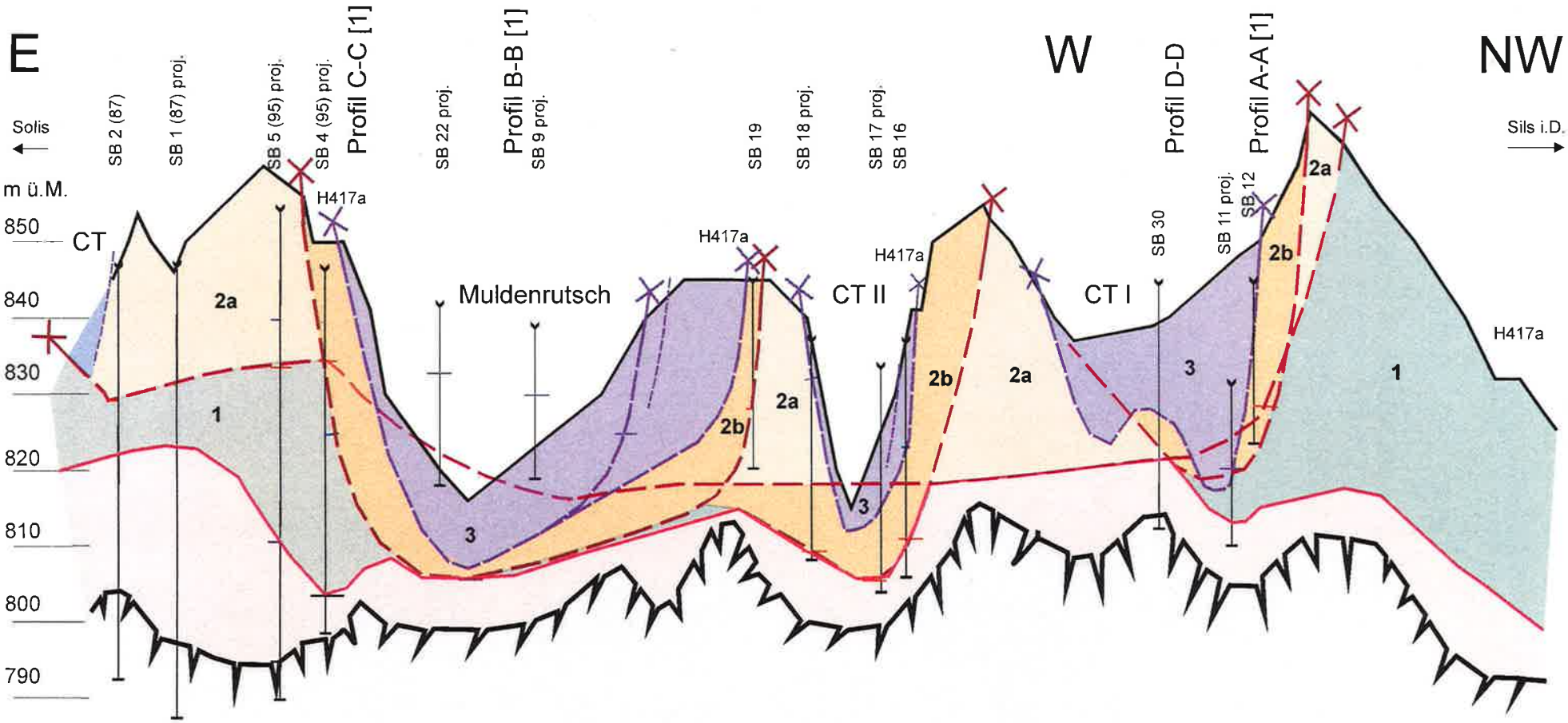
Fels (Bündnerschiefer)

2a Rutschmasse (sekundär, grossräumig, z.T. aktiv, wenige mm/Jahr, Albulaübertiefung)

Schematisches geologisches Längenprofil E-E

(Profilspur s. Beilage 1; CT: Caselertobel, CT I, CT II: Cugnielertobel I und II)

BauGrundRisk | Beilage 5.3
070202-1
5.12.2007/ Kb
H417a Schinstrasse
Rutschhang Cugnieler-, Caselertobel
Massstab ~ 1:4'000, 5-fach überhöht



1	Felssackungsmasse (primär, inaktiv)	3	aktive Rutschmasse (tertiär, kleinräumig, aktiv, cm/Jahr, niederschlagsabhängig)
	Moräne	2b	Rutschmasse (sekundär, tiefgründig, wenig aktiv, wenige mm/Jahr, Seitenbachübertiefung)
	Fels (Bündnerschiefer)	2a	Rutschmasse (sekundär, grossräumig, z.T. aktiv, wenige mm/Jahr, Albulaübertiefung)