FRIEDLIPARTNER AG
GEOTECHNIK ALTLASTEN UMWELT

Nansenstrasse 5
CH-8050 Zürich
Tel +41 44 315 10 10
Fax +41 44 315 10 11
www.friedlipartner.ch
info@friedlipartner.ch

Auftraggeber: Sihltal Zürich Uetliberg Bahn SZU AG, Zürich

BERICHT

Zürich, SZU Linie S10, Triemli – Waldegg, KM 3.3 – 6.3: Beurteilung Verschiebungen Fahrleitungsmasten und Naturgefahren

Projektleitung: Reto Murer
Korreferat: Stefan Keller
Projekt-Nr.: 18.108.1

Zürich, 27. September 2018

INHALTSVERZEICHNIS

1 EINLEITUNG 4
1.1 Ausgangslage 4
1.2 Ziele und Vorgehen 5
1.3 Abgrenzung 5
1.4 Verwendete Unterlagen 5

2 GEOLOGIE UND HYDROLOGIE 7
2.1 Übersicht Topographie Untersuchungsgebiet 7
2.2 Übersicht Geologie 7
2.3 Übersicht Hydrologie 8

3 NATURGEFAHREN 9
3.1 Übersicht Naturgefahren 9
3.2 Permanente Rutschungen 9
3.3 Spontane Rutschungen und Hangmuren 10
3.4 Hangkriechen 11
3.5 Setzungen 11
3.6 Naturgefahrenkarte 11
3.7 Beurteilung Gefährdung der Bahn 11

4 URSACHE DER VERSCHIEBUNGEN 13
4.1 Verschiebungsmessungen 13
4.2 Ursache der Verschiebungen 13
4.3 Beurteilung der einzelnen Messungen 14

5 MASSNAHMEN 19
5.1 Erneuerung der Gleisanlagen 19
5.2 Empfehlungen für die geplanten Massnahmen 19

ANHANG

Anhang 1.1	Gesamtsituation 1:2'000
Anhänge 1.2 – 1.8	Situationen 1:500
Anhang 2	Naturgefahrenkarte
Anhang 3	Intensitätskarte Hangmuren
Anhang 4	Geologische Karte

VERTEILER

- Sihltal Zürich Uetliberg Bahn SZU AG, Herr Lutz Rainero, Wolframplatz 21, 8045 Zürich

1 EINLEITUNG

1.1 Ausgangslage

Auf dem Abschnitt Triemli – Waldegg der Linie S10 der SZU wurden im Jahr 2017 bei Kontrollmessungen an den Fahrleitungsmasten Verschiebungen und Senkungen im mm- bis cm-Bereich gemessen. Projekt

Als Ergänzung zu früheren Untersuchungen im Gleisbereich (Bericht CSD Ingenieure AG [3]) wurden im Sommer 2018 die Ursachen dieser Verschiebungen untersucht. Dazu wurden bestehende Unterlagen ausgewertet und eine Geländebegehung durchgeführt. Die Resultate dieser Untersuchungen sowie Empfehlungen für Massnahmen werden im vorliegenden Bericht dokumentiert.

Grundlage für die ausgeführten Arbeiten ist die Offerte der FRIEDLIPARTNER AG vom 4. Juni 2018 und die Auftragsbestätigung der SZU AG vom 12. Juni 2018. Auftrag

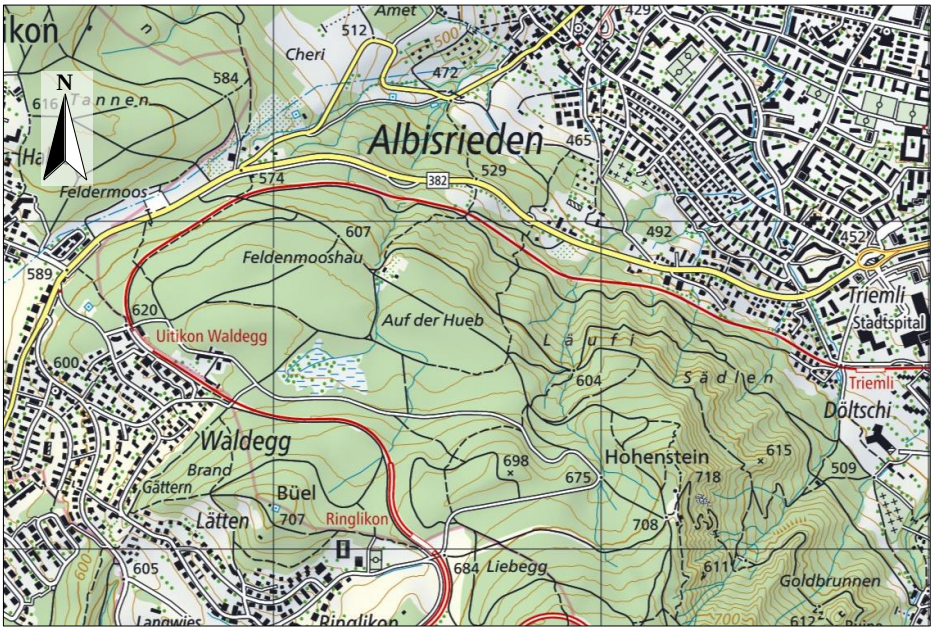


Abbildung 1: Übersichtskarte mit Lage des Streckenabschnittes zwischen den Haltestellen Triemli und Uitikon Waldegg, aus map.geo.admin.ch

1.2 Ziele und Vorgehen

Ziele

Die Ziele der Arbeiten waren:

- Aussagen zu den Ursachen der Verschiebungen der Fahrleitungsmasten
- Dokumentieren von gravitativen Naturgefahren-Prozessen (Hangkriechen, Rutschungen, Vernässungen) entlang der Strecke und im angrenzenden Gelände
- Folgerungen für Bahnbetrieb, Unterhalt etc.

Vorgehen

Folgende Arbeiten wurden durch die FRIEDLIPARTNER AG ausgeführt:

- Auswerten bestehender Untersuchungen und Grundlagen: Akten aus Archiv SZU und FRIEDLIPARNTER AG, Technischer Bericht Naturgefahrenkarte der Stadt Zürich, Geologische Karten, Orthophotos, digitales Terrainmodell
- Geländebegehung am 29. August 2018 berg- und talseitig des Trasses: Kartierung der Phänomene von gravitativen Naturgefahren-Prozessen wie Rutschungen, Hangkriechen und Setzungen sowie hydrologische Phänomene wie Vernässungen
- Dokumentation der Beobachtungen in den Anhängen 1.1 – 1.8 (Darstellung gemäss "Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene" des BAFU, 20.11.2006)
- Verfassen des Berichtes mit Empfehlungen

1.3 Abgrenzung

Abgrenzung

Die Feldbegehung erfolgte beidseitig des Bahntrassees innerhalb eines Streifens mit einem Abstand von rund 5 – 50 m zur Bahn. Aufgrund der Vegetation war das Gelände stellenweise schlecht einsehbar (v.a. verbuschte Böschungen bergseitig der Bahn). Die Wassergefahren (Hochwasser und Murgang) wurden nicht beurteilt. Es wurden nur grössere Nassstellen und Vernässungen erfasst. Die in den Bachrunsen verbreiteten kleineren Vernässungen wurden nicht dokumentiert.

1.4 Verwendete Unterlagen

Projektunterlagen

[1] Situation 1:2'000 SZU Triemli – Ringlikon km 3.3 – 6.8, Bahnplan mit Verschiebungsvektoren der GV, Plan Nr. 1250-1036, 29.03.2017, SZU Abteilung Bau, Zürich

[2] Ausschnitte 1:2'000 aus Bahnplan [1], 29.03.2017, SZU Abteilung Bau, Zürich

Unveröffentlichte Unterlagen

[3] CSD Ingenieure AG (2017) SZU AG Linie S10 Triemli – Waldegg, Geotechnische Untersuchungen von Schotterbett und Unterbau. 17.10.2017, Aarau

[4] Dr. Vollenweider AG (2000) Uetlibergbahn km 4.130, Slope Indicatormessungen. 21.03.2000, Zürich

[5] ETH Zürich (1994) Läuferutsch Unwetter Mai 1994, eine Dokumentation über eine Rutschsanierung mit Holzkasten. Juni 1995, Zürich

[6] FRIEDLIPARTNER AG (2017) SZU-Linie KM 4.1 bis KM 4.2 Triemli – Uitikon-Waldegg, Untersuchung Instabilität. 30.11.2017, Zürich

[7] FRIEDLIPARTNER AG / Friedli Geotechnik AG (1994 – 2001) SZU-Linie KM 4.1 bis KM 4.2, Korrespondenz und Messresultate Rutschung Mai 1994. 1994 – 2001, Zürich

[8] Geotechnisches Büro Dr. A. von Moos (1980) Rutschbewegungen an der Bahnstrecke Triemli – Berghof, km 3.500 – 4.100. Sept. 1980, Zürich

[9] Geotechnisches Büro Dr. A. von Moos (1971) Ergasleitung Triemli – Zürich, Baugrunduntersuchung. Sept. 1971, Zürich

[10] SZU AG (1981 – 1984) Plandossier Sanierung Rutschungen 1, 2 und 3, km 3.500 – 4.100, verschiedene Autoren

Veröffentlichte Unterlagen

[11] Baudirektion Kanton Zürich (2010) Gefahrenkartierung Naturgefahren, Unteres Sihltal, Technischer Bericht. 19.03.2010, Zürich

Karten

[12] Pavoni, N. et al. (1992) Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt 1091, Zürich. Landeshydrologie und -geologie, Bern.

[13] Basiskarten (Landeskarte, Übersichtspläne, Amtliche Vermessung, Orthophotos), Kanton Zürich, GIS-Browser, maps.zh.ch, aktueller Bearbeitungsstand.

[14] Grundwasserkarte (Mittel-/ Hochwasserstand), Kanton Zürich, GIS-Browser, maps.zh.ch, aktueller Bearbeitungsstand.

[15] Naturgefahrenkartierung, Kanton Zürich, GIS-Browser, maps.zh.ch, aktueller Bearbeitungsstand.

2 GEOLOGIE UND HYDROLOGIE

2.1 Übersicht Topographie Untersuchungsgebiet

Untersuchungsgebiet

Der Untersuchungsperimeter umfasst die Bahnstrecke zwischen den Stationen Triemli (KM 3.30) und Uitikon Waldegg (KM 6.25). Die Untersuchungsergebnisse sind in einer Gesamtübersicht (Anhang 1.1) und in Situationen (Anhänge 1.2 bis 1.8) dargestellt.

Die einspurige Bahnstrecke verläuft im Nordabhang des Uetliberges und überwindet auf den 3 km einen Höhenunterschied von rund 140 m. Das Bahntrassee weist stellenweise Geländeanschnitte und bei Bachrunsen Dammschüttungen auf. Abgesehen von Rutschungssanierungen und Bachdurchlässen (Zementröhren oder gemauerte Durchlässe) fehlen Kunstbauten.

2.2 Übersicht Geologie

Geologie

Die untersuchte Strecke kann gemäss geologischer Karte [12], vgl. Anhang 4, und Feldbefund wie folgt unterteilt werden (Kilometrierung vgl. Anhang 1.1):

- KM 3.30 – 3.50 (Triemli):
  Feinkörniger Uetliberglehm (Mächtigkeit > 10 m) über Fels / Moräne,
  inaktive Rutschung
- KM 3.50 – 5.00 (Triemli – Berghof):
  Feinkörniger Gehängelehm (Mächtigkeit in der Regel in < 10 m) über Fels,
  substabile[1], permanente Rutschungen und Hangkriechen
- KM 5.00 – 6.25 (Berghof – Waldegg):
  Gemischtkörnige Moräne und feinkörniger Gehängelehm über Fels,
  allgemein *ruhig*, nur *punktuell Rutschungen* und Hangkriechen

Oberflächenschichten

Auf den obersten 1 – 2 m sind in der Regel feinkörnige Gehänge- und Schwemmlehme, Bachschuttablagerungen und Bodenbildungen sowie entlang der Bahn Auffüllungen und Dammschüttungen vorhanden (teilweise auf Anhängen 1.1 – 1.8 eingezeichnet, violette Flächen).

Feinkörniger Untergrund

Im Gleisbereich besteht der anstehende Untergrund in der Regel aus setzungsempfindlichem, tonigem Silt (OK Untergrund gemäss Bericht CSD [3] rund 0.65 – 1.00 m ab Schwellenoberkante).

Felsaufschlüsse

Der substabile bis unverrutschte Felsuntergrund aus Gesteinen der Molasse (Sandsteine und Mergel) ist zwischen KM 3.70 und 4.20 ausserhalb des Bahnbereiches an wenigen Stellen aufgeschlossen.

[1] Verschiebungsgeschwindigkeit < 2 cm / Jahr, gemäss BAFU / PLANAT

2.3 Übersicht Hydrologie

Quellen und Hangwasserspiegel

An den Abhängen des Uetliberges existieren diverse gefasste Quellen, welche Fels- und Lockergesteinsgrundwasser nutzen [14]. Aufgrund der schlechten Durchlässigkeit des überwiegend feinkörnigen Untergrundes liegt der Hangwasserspiegel in der Regel nahe an der Terrainoberfläche. Die Sickerfähigkeit des feinkörnigen Untergrundes ist eingeschränkt, was Vernässungen begünstigt.

3 NATURGEFAHREN

3.1 Übersicht Naturgefahren

Massenbewegungen

Die Bahnlinie quert zwischen KM 3.50 und KM 5.00 die Rutschgebiete am Nordabhang des Uetliberges. Weiter westlich (KM 5.00 – 6.25) ist das Gelände flacher und weitgehend unverrutscht.

Entlang des untersuchten Bahnabschnittes treten folgende Massenbewegungs-Prozesse auf:

- Permanente Rutschung (kontinuierlich auftretende Rutschbewegung auf einer Gleitfläche)
- Spontane Rutschung (unter Ausbildung einer Gleitfläche plötzlich und schnell abgleitende Rutschung, häufig durch Starkregen ausgelöst)
- Hangmuren (wasserreiche und flüssige Spontanrutschung, ausgelöst durch Starkregen)
- Hangkriechen (bruchlose, langsame Verformung des Untergrundes)
- Setzungen (Vertikalbewegung, in der Regel infolge Konsolidation des Untergrundes)

3.2 Permanente Rutschungen

KM 3.50 – KM 5.00: permanente Rutschungen

Die permanenten Rutschungen zwischen KM 3.50 und ca. KM 5.00 weisen einen Tiefgang in der Grössenordnung von <10 m auf (mittelgründige Rutschungen). Die basale Gleitfläche liegt in der Regel im Bereich der Felsoberfläche [4][6] – [10].

Das Rutschgebiet kann in Teilrutschungen in den Geländemulden (entspricht etwa den gelben Flächen auf Anhang 1.1) und in stabilere Geländerippen gegliedert werden (weisse Flächen in Anhang 1.1).

Die Verschiebungsgeschwindigkeiten dürften grösstenteils im substabilen Bereich liegen (< 2 cm / Jahr für gelbe Flächen auf Anhang 1.1) [4][7]. In den 1980er-Jahren wurden bei KM 3.85 und 3.95 Geschwindigkeiten von 3.5 – 10 cm / Jahr gemessen [10]. Diese Abschnitte wurden zwischenzeitlich jedoch mit Hangsicherungen stabilisiert.

Das Gelände auf dem Abschnitt KM 5.00 – 6.25 weist ein geringes Gefälle auf. Abgesehen von einer mutmasslichen Rutschung bei KM 5.52 wurden keine Rutschungen festgestellt.

Witterungsabhängigkeit

Langanhaltende nasse Witterung kann zu einer Beschleunigung von permanenten Rutschungen führen. Die Beschleunigungen treten, im Gegensatz zur Spontanrutschung, langsam (über Wochen bis Monate) auf und sind deshalb rechtzeitig erkennbar.

Die Abgrenzung der permanenten Rutschungen erfolgte anhand der Geländeaufnahme sowie aufgrund geologischer und topografischer Karten. Die Rutschphänomene sind im Gelände wenig ausgeprägt resp. im überbauten Gelände nicht mehr erkennbar.

Abgrenzung im Gelände

Dokumentierte Rutschereignisse:

Dokumentierte Ereignisse

- KM 3.58 – KM 3.63: "Rutschgebiet 3" 1980er-Jahre, mit Ribbert-Verbau (talseitig Gleis) stabilisiert [8][10]
- KM 3.82 – KM 3.85: "Rutschgebiet 2" 1980er-Jahre, mit rückverankerter Pfahlwand (talseitig Gleis) gesichert [8][10]
- KM 3.93 – KM 4.01: "Rutschgebiet 1" 1980er-Jahre, mit rückverankerter Pfahlwand (talseitig Gleis) gesichert [8][10]
- KM 4.10 – KM 4.15: 1990er-Jahre, mit Ribbert-Verbau (talseitig Gleis) stabilisiert [4][6][7]

3.3 Spontane Rutschungen und Hangmuren

Spontane Rutschungen und Hangmuren ereignen sich bevorzugt im Bereich von permanenten Rutschungen (gelbe Flächen in Anhang 1.1) und aus Steilböschungen (gelb gestreifte Bereiche in Anhang 1.1).

Verbreitungsbereich

Gemäss technischem Bericht der Gefahrenkarte [11] muss bei geeigneten Untergrundverhältnissen ab einer kritischen Hangneigung von 23° mit dem Anreissen von Hangmuren gerechnet werden.

Auslöser sind typischerweise Starkniederschläge (Gewitter) und längere Nässeperioden. Im Gegensatz zu permanenten Rutschungen treten Spontanrutschungen und Hangmuren häufig abrupt und ohne Voranzeichen auf.

Witterungsabhängigkeit

Potentielle Gebiete mit Spontanrutschungen und Hangmuren wurden im Gelände gutachterlich, u.a. anhand der Geländeneigung, ausgeschieden. In Anhang 3 ist die Intensitätskarte für Hangmuren dargestellt [15]. Potentielle Flächen mit Hangmuren (Szenario 100-jährliches Ereignis) sind darauf grün dargestellt[2].

Abgrenzung im Gelände

Dokumentierte Rutschereignisse:

Dokumentierte Ereignisse

- KM 4.10 – KM 4.15: 1994, Spontanrutschung aus Steilböschung, Verschüttung Gleis, mit Holzkasten saniert [5]
- KM 4.28 – KM 3.00: Wahrscheinlich Spontanrutschung aus Steilböschung, Gabionenverbau bergseitig Gleis (Feldbefund, keine Unterlagen vorhanden)

[2] Eine Hangmure mit einer Auftretenswahrscheinlichkeit von 100 Jahren sollte nicht über die grünen Flächen hinaus reichen. Die grünen Flächen in der Intensitätskarte wurden anhand einer Modellierung festgelegt und können deshalb vom Feldbefund abweichen.

3.4 Hangkriechen

Hangkriechen

Hangkriechen mit Verschiebungsgeschwindigkeiten von typischerweise wenigen mm / Jahr tritt bevorzugt im Bereich von permanenten Rutschungen (gelbe Flächen in Anhang 1.1) auf und wurde nicht als separate Naturgefahr ausgeschieden.

Ein ungenügend tragfähiger, durch den Bahnbetrieb dynamisch oder statisch beanspruchter Untergrund neigt ebenfalls zu Kriechbewegungen (vgl. Abschnitt 4.2.2).

3.5 Setzungen

Setzungen

Bei einer Konsolidierung des Untergrundes überwiegt die vertikale Setzung gegenüber der Lageverschiebung. Setzungen zählen nicht zu den Naturgefahren und treten im Bahnbau vor allem im Zusammenhang mit ungenügend tragfähigem Untergrund auf. Auf das Setzungsverhalten wird im Abschnitt 4.2.2 eingegangen.

3.6 Naturgefahrenkarte

Naturgefahrenkarte

In Anhang 2 ist ein Ausschnitt aus der Naturgefahrenkarte dargestellt [15]. Sie deckt vor allem Siedlungsgebiete und deshalb nur Teile der Bahnstrecke ab (Triemli bis KM 4.38 sowie Haltestelle Uitikon-Waldegg).

Folgende Gefährdungen auf der Gefahrenkarte sind auf Massenbewegungen zurückzuführen:

- KM 3.30 – KM 4.38 KM: geringe Gefährdung (gelb) durch permanente Rutschung
- KM 3.58 – KM 4.38 KM: bereichsweise geringe Gefährdung (gelb) und mittlere Gefährdung (blau) durch Hangmuren
- KM 6.00 – KM 6.25 (Station Waldegg): keine Gefährdung

Die Gefährdung des Abschnittes KM 4.38 – ca. KM 5.00 sowie ca. KM 5.50 – KM 5.55 wird als gering (substabile oder inaktive permanente Rutschung) eingestuft. Die übrigen Abschnitte weisen keine Gefährdung durch Massenbewegungen auf.

3.7 Beurteilung Gefährdung der Bahn

Permanente Rutschungen

Permanente Rutschungen mit hohen Rutschgeschwindigkeiten führten zu Beginn der 1980er-Jahren zu Schäden an den Bahnanlagen. Die entsprechenden Stellen wurden erfolgreich saniert. Der Bahnbetrieb wird aktuell durch permanente Rutschungen kaum beeinträchtigt oder gefährdet.

Witterungsabhängige Beschleunigungen von permanenten Rutschungen sind in der Regel rechtzeitig erkennbar und stellen deshalb keine unmittelbare Gefahr für den Bahnbetrieb dar.

Hangmuren

Der Bahnbetrieb ist, wie Ereignisse in der Vergangenheit gezeigt haben, in erster Linie durch Spontanrutschungen und Hangmuren gefährdet. Diese Ereignisse sind direkt witterungsabhängig und normalerweise nicht vorhersehbar. Sie können bis in den Gleisbereich vordringen (Verschüttung) oder Teile der Gleisanlagen beeinträchtigen (Ausbruch von Hangmuren und Spontanrutschungen talseitig der Bahn).

Da während der letzten Jahrzehnte nur einzelne Ereignisse (mit mutmasslich geringer Intensität) auftraten, wird die Gefährdung durch Hangmuren und Spontanrutschungen als tragbar eingestuft[3].

[3] Gutachterliche Einschätzung, es wurde keine Risikobetrachtung durchgeführt.

4 URSACHE DER VERSCHIEBUNGEN

4.1 Verschiebungsmessungen

Messungen an Fahrleitungsmasten

Einzelne Fahrleitungsmasten wurden Ende der 1990er-Jahre mit Messbolzen versehen. Die Bolzen befinden sich rund 0.5 m über dem Mastfundament und dienen als Fixpunkte für die Gleisvermessung. Bei einer geodätischen Nachkontrolle der Fixpunkte wurden im Jahr 2017 Verschiebungen festgestellt. Diese sind in Anhang 1.1 als Setzung und Verschiebungsvektor (Angaben in mm) aufgeführt. Die Messgenauigkeit ist nicht bekannt.

Die totalen Setzungen liegen zwischen +11 mm (Hebung) und -63 mm. Die Lagerverschiebungen erreichen maximal 56 mm. Die jährlichen Verschiebungen dürften somit im Bereich von wenigen mm liegen (bei einem angenommenen Messintervall von rund 20 Jahren).

4.2 Ursache der Verschiebungen

Gemäss Feldbefund sind die Verschiebungen der Messbolzen auf folgende Ursachen (oder eine Kombination davon) zurückzuführen:

4.2.1 Rutschbewegungen im Untergrund

"Echte" Rutschung

In der Rutschmasse fundierte Masten "schwimmen" auf dieser mit. Die Lagerverschiebung beträgt dann in der Regel ein Mehrfaches der Setzung.

4.2.2 Plastische Verformungen und Kriechen infolge Bahnbetrieb

Kriechen

Setzungsempfindliche Schichten können infolge dynamischer Schwingungsanregung und wechselnder Belastung durch den Bahnbetrieb verdichtet werden. Die Verdichtung kann sowohl zu Setzungen als auch zu Kriechbewegungen im Untergrund führen (seitliches "Ausquetschen" von Dammschüttungen).

Ein Beispiel für das seitliche Ausquetschen sind die 1999 bei KM 4.13 mit einem Inklinometer gemessenen Deformationen, vgl. Abbildung 2: Die Deformationen traten vor allem zwischen der Terrain- und Felsoberfläche auf (Ausbauchung der gestrichelten Linie auf Abb. 2). Vergleichbare Deformationen wurden an anderer Stelle bei SBB-Bahndammschüttungen beobachtet[4].

[4] Typischerweise in alten, mit einfachen Mitteln geschütteten Dämme und Anschüttungen aus tonig-siltigem Material.

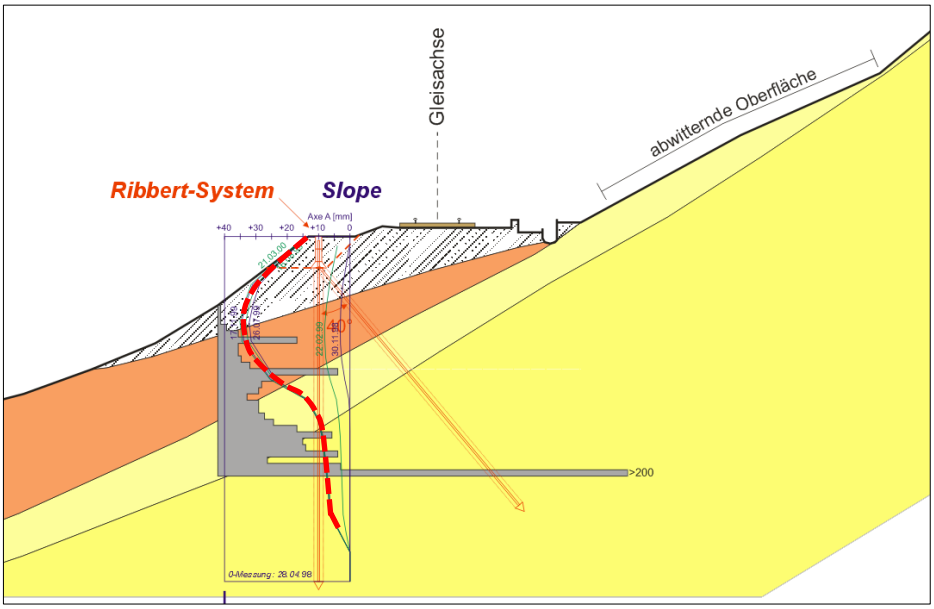


Abbildung 2: Geländeschnitt bei KM 4.13: Verschiebung (rote Linie), Rammprofil und Untergrund (grau: Dammschüttung, orange: Gehängelehm, hellgelb: Fels verwittert, gelb: Fels), aus: Friedli Geotechnik AG [7], modifiziert

4.2.3 Ungenügende Einbindung Mastfundament im Untergrund

Ungenügende Einbindung

Eine ungenügende Einbindung der Mastfundamente in (nicht ausreichend tragfähigem) Untergrund begünstigt das Verkippen der Masten. Dies betrifft vor allem Masten am Kopf von hohen Dammschüttungen und Anschüttungen.

4.3 Beurteilung der einzelnen Messungen

Im Folgenden wird auf die einzelnen Messungen und Gleisabschnitte eingegangen:

Beurteilung der Masten

- Mast 2 / KM 3.52: Mast schwimmt in permanenter ***Rutschung*** mit
- Mast 14 / KM 3.90: unbekannte Ursache, evtl. Mitschwimmen in permanenter *Rutschung*
- Mast 17 / KM 3.99: ***plastische Verformung / Setzung*** der Dammschüttung (KM 3.95 – KM 4.00)
- Mast 9 / KM 4.35: Mast liegt auf Anschüttung auf Böschungskrone, Fundament ist teilweise freigelegt, wahrscheinlich ***ungenügende Einbindung*** oder ***Setzung*** der Anschüttung (Abbildung 7)
- Mast 18 / KM 4.62: unbekannte Ursache (ruhiges Gelände ohne Rutschung)
- Masten 1 und 3, KM 4.80: ***plastische Verformung / Setzung*** der Dammschüttung (KM 4.77 – KM 4.84)
- Masten 8 und 9, KM 4.95: Masten liegen auf Anschüttung auf Böschungskrone, Schüttung relativ mächtig (Auffüllung von Bachgräben), ***Setzung*** der Anschüttung

- Mast 26 / KM 5.52 : Mast und Gleis liegen im Bereich einer (aufgefüllten?) leichten Geländesenke (evtl. Ausläufer einer alten Rutschung). Der Entwässerungsgraben neben dem Gleis weist deutliche Setzungen auf (Abbildungen 8 und 9) . ***Setzungen*** infolge ***ungenügend tragfähigem Untergrund*** / Auffüllung (sowohl Mast- als auch Gleisbereich)
- Mast 27 / KM 5.56: Mast liegt auf Anschüttung auf Böschungskrone, wahrscheinlich ***Setzung*** der Anschüttung
- Masten 20 und 21, KM 6.10: Masten liegen auf Dammschüttung auf Böschungskrone, ***plastische Verformung / Setzung*** der Dammschüttung (KM 6.04 – KM 6.23)

Beurteilung der Gleisabschnitte

- Abschnitt KM 3.58 – KM 3.68: talseitige Böschung (unterhalb Ribbert-Verbau) mit ***Setzungsanzeichen*** (Abbildung 4)
- Abschnitt KM 4.12 – KM 4.18: talseitige Böschung (unterhalb Ribbert-Verbau) mit ***Setzungsanzeichen*** (Abbildung 5)
- Abschnitt KM 4.31 – KM 4.45: talseitige Böschung (unterhalb Ribbert-Verbau) mit ***Setzungsanzeichen***
- Abschnitt KM 5.50 – KM 5.53: ***Setzungen*** infolge ***ungenügend tragfähigem Untergrund*** / Auffüllung (Abbildungen 8 und 9)

Abbildung 3: KM 3.58, Mast 4 (links), Blick in Fahrtrichtung Waldegg: Bankett mit Ribbert-Verbau

Abbildung 4: KM 3.58, Höhe Mast 4, Ribbert-Verbau mit Setzungsanzeichen in Böschung (rote Ellipse)

Abbildung 5: KM 4.13, Blick in Fahrtrichtung Waldegg, links Schacht mit Inklinometer, Mauer auf Ribbert-Verbau

Abbildung 6: KM 4.28, Mast 6, Blick in Fahrtrichtung Waldegg, Gabionenverbau

Abbildung 7: KM 4.35, Mast 9, Ribbert-Verbau, Mastfuss mit Setzungsanzeichen in Böschung (ca. 10 cm Setzung)

Abbildung 8: KM 5.52, Mast 26, Blick in Fahrtrichtung Triemli, Gleisentwässerung mit Setzungen (rote Ellipse)

Abbildung 9: KM 5.52, Mast 26, Blick in Fahrtrichtung Waldegg, Gleisentwässerung mit Setzungen (rote Ellipse)

5 MASSNAHMEN

5.1 Erneuerung der Gleisanlagen

Erneuerung Gleisanlagen

Auf der Strecke Triemli – Waldegg ist eine Erneuerung der Gleisanlagen (Ober- und Unterbausanierung) vorgesehen.

Dabei sind hinsichtlich Massenbewegungen folgende Grundsätze zu beachten:

- Rutsch- und Kriechbewegungen werden massgeblich durch den Wasserhaushalt im Untergrund beeinflusst. In Rutschgebieten ist grundsätzlich der Wassereintrag in den Untergrund im Bereich der Gleisanlagen zu minimieren.
- Mit untiefen Entwässerungsmassnahmen (bergseitiger Drainagegraben, Planie / Planum mit ausreichend Quergefälle, etc.) und einer Verbesserung der Tragfähigkeit des Planums können vor allem oberflächennahe Deformationen günstig beeinflusst werden.
- Permanente, mittel- bis tiefgründige Rutschprozesse (Tiefgang von einigen Metern) werden in der Regel durch eine Ober- und Unterbausanierung wenig beeinflusst: Die Bahninfrastruktur "schwimmt" auf der Rutschung mit.

5.2 Empfehlungen für die geplanten Massnahmen

Unterhalt

Die permanenten Rutschungen zwischen KM 3.90 und ca. KM 5.00 weisen geringe Verschiebungsgeschwindigkeiten im mm-Bereich pro Jahr auf. Bereiche mit Beschleunigungen wurden bereits in den 1980er-Jahren erfolgreich saniert. Die sich über die Jahre aufsummierenden Verschiebungen sind im laufenden Unterhalt bei Bedarf zu korrigieren (Gleisstopfen, Richten Fahrstromanlage etc.).

Verbesserung Tragfähigkeit Planum

Die Unterbausanierung ist u.a. auf die häufig ungenügende Tragfähigkeit des Planums abzustimmen (vgl. Empfehlungen zur Verbesserung der Tragfähigkeit im Bericht CSD [3]).

Untergrundverbesserung

Bei ausgeprägten Deformationen und Setzungen im Gleisbereich ist ein (bereichsweiser) Ersatz des setzungsempfindlichen Untergrundes oder eine Verbesserung des Untergrundes (Einbau von Geogittern etc.) zu prüfen. Bei Ersatz der Fahrleitungen sind die Fundamente in ausreichend tragfähigen Schichten zu fundieren.

Geltungsbereich

Das im vorliegenden Bericht beschriebene geologische Modell basiert auf punktuellen Sondierungen. Es handelt sich um eine vorläufige Interpretation der Baugrundverhältnisse, die während der Ausführung laufend zu überprüfen ist. Die aufgeführten baulichen Massnahmen sind projektbezogen umzusetzen und, falls erforderlich, an die angetroffenen Verhältnisse anzupassen.

Alle Arbeiten der FRIEDLIPARTNER AG wurden unter Einhaltung der Sorgfaltspflicht ausgeführt. Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen im vorliegenden Bericht beruhen auf dem derzeitigen Kenntnisstand. Die FRIEDLIPARTNER AG übernimmt keine Haftung für die Folgen aus unbekannten oder verschwiegenen Tatsachen. Die Ergebnisse gelten nur für das untersuchte Objekt und können nicht unüberprüft auf andere Objekte oder andere Verhältnisse übertragen werden.

Der vorliegende Bericht ist für den Auftraggeber und zu dessen ausschliesslicher Nutzung bestimmt. Er ist vertraulich und darf ohne Zustimmung des Auftraggebers weder kopiert noch an Dritte weitergegeben werden. Eine allfällige Haftung gegenüber Dritten, welche sich auf den vorliegenden Bericht berufen, wird ausdrücklich abgelehnt.

Zürich, 27. September 2018

Reto Murer
dipl. Natw. ETH Geologe CHGeol

Bereichsleiter Geologie

Stefan Keller
Dipl. Bauing. ETH/SIA

Geschäftsleiterin

P:\2018\18.108 Zürich SZU Strecke Triemli-Waldegg Deformationen\12 Berichte FP\18.108 Bericht 2018-09-27.docx

ANHANG

Anhang 1.1	Gesamtsituation 1:2'000
Anhänge 1.2 – 1.8	Situationen 1:500
Anhang 2	Naturgefahrenkarte
Anhang 3	Intensitätskarte Hangmuren
Anhang 4	Geologische Karte

ANHANG 1.1

Gesamtsituation 1:2'000

Anhang 1

FRIEDLIPARTNER AG
GEOTECHNIK ALTLASTEN UMWELT

Situation

Projektbezeichnung:
SZU Linie S10
Triemli-Waldegg, KM 3.3 - 6.3
Zürich

Mst: 1:2000

Format: 594 x 1470 mm

Projekt-Nr.: 16.108.1
Beurteilung Naturgefahren

Erstellt: ab
Datum: 25.09.18

Plangrundlage: Basler&Hofmann, Zürich
SZU Triemli-Bingelkon, Situation, 1:2000
vom 29.03.2017

Geprüft: nm
Datum: 25.09.18

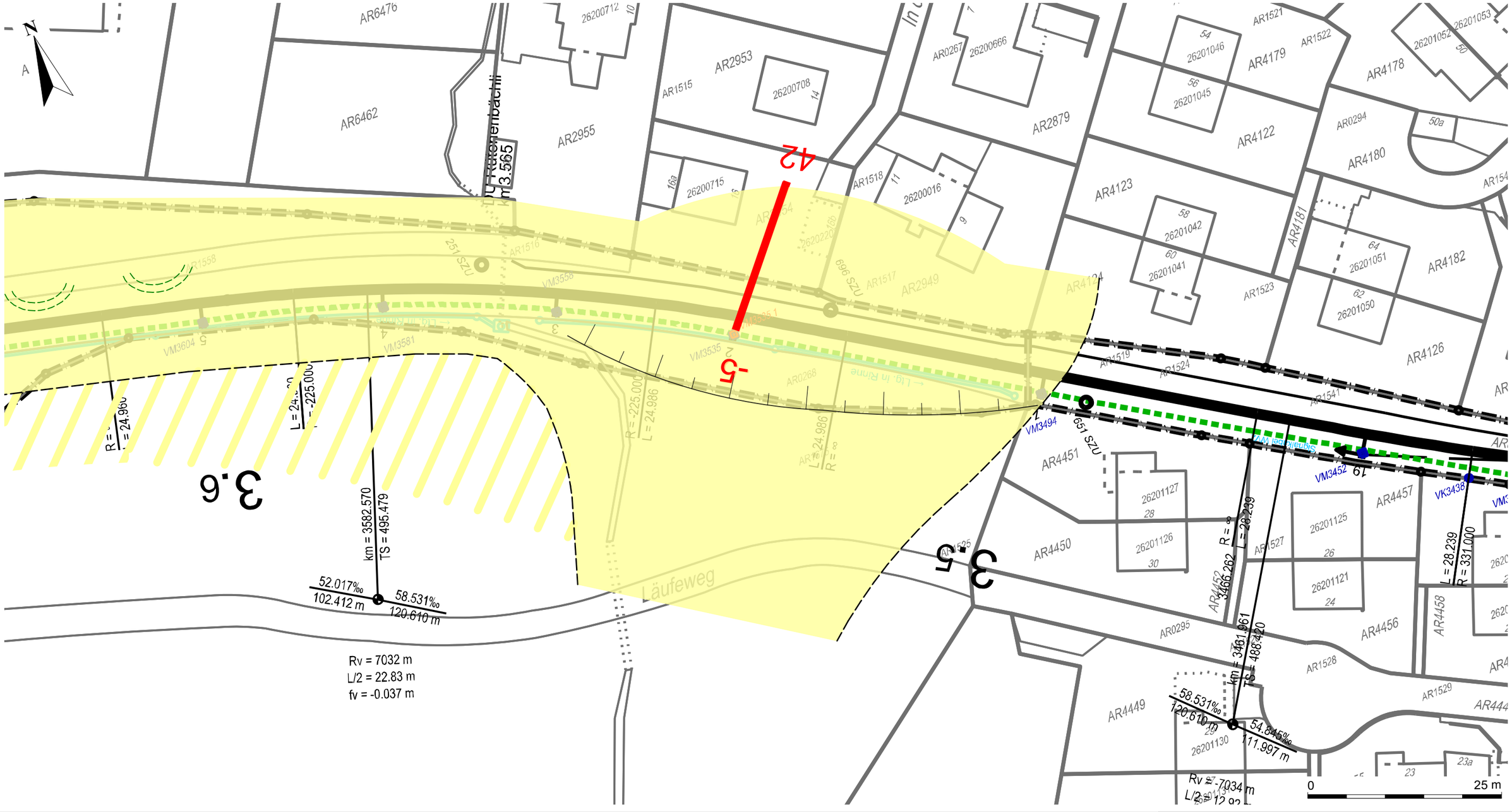
Legende

- Rutschung, substabil (<2cm / Jahr), Begrenzung unklar
- potentielles Ablösegebiet für Hangmuren (spontane, flachgründige Rutschungen)
- Rutschungsannlas (vermutet) oder ausgeprägte Erosionskante
- Zugriss (in Forststrasse, oberhalb KM 3.70)
- Setzung im Bereich Gleis / Entwässerungsrinne bei KM 5.52 / Mast 26
- Verschiebung Höhe (Periode Ende 1990er-Jahr bis 2017, Negativwert = Setzung in mm)
- Verschiebung Lage (mit Verschiebungsvektor, Periode Ende 1990er-Jahr bis 2017, in mm)
- Dammschüttung oder Anschüttung
- künstliche Böschung
- Stützbauwerk (KM 3.85 und 4.00; rückverankerte Pfahlwand, KM 4.28; Gabionen)

0 100 m

ANHÄNGE 1.2 – 1.8

Situationen 1:500



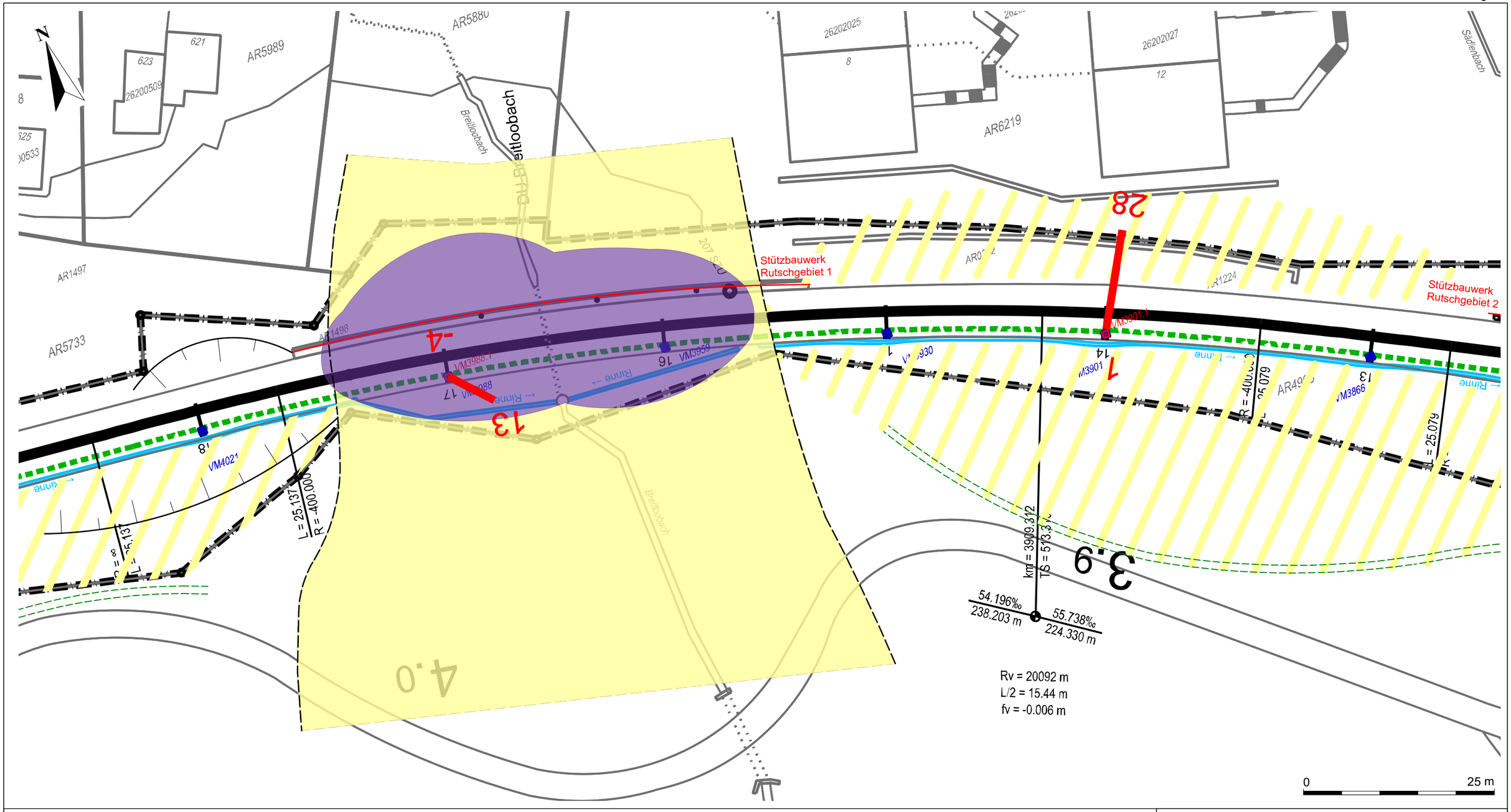
Legende

- Rutschung, substabil (<2cm / Jahr), Begrenzung unklar
- potentielles Ablösegebiet für Hangmuren (spontane, flachgründige Rutschungen)
- Rutschungsanriss (vermutet) oder ausgeprägte Erosionskante
- Zugriss (in Forststrasse, oberhalb KM 3.70)
- Setzung im Bereich Gleis / Entwässerungsrinne bei KM 5.52 / Mast 26
- -37 / 51 Verschiebung Höhe (Periode Ende 1990er-Jahr bis 2017, Negativwert = Setzung in mm)
- Verschiebung Lage (mit Verschiebungsvektor, Periode Ende 1990er-Jahr bis 2017, in mm)
- Dammschüttung oder Anschüttung
- künstliche Böschung
- Stützbauwerk (KM 3.85 und 4.00: rückverankerte Pfahlwand, KM 4.28: Gabionen)

FRIEDLIPARTNER AG
GEOTECHNIK ALTLASTEN UMWELT

Situation

Projektadresse: **SZU Linie S10** **Triemli-Waldegg KM 3.3 - 6.3** **Zürich**	Mst: 1:500 Format: A3
Projekt-Nr.: 18.108.1 **Beurteilung Naturgefahren**	Erstellt: eb Datum: 25.09.18
Plangrundlage: Basler&Hofmann, Zürich SZU Triemli-Ringlikon, Situation, 1:2000 vom 29.03.2017	Geprüft: rem Datum: 25.09.18



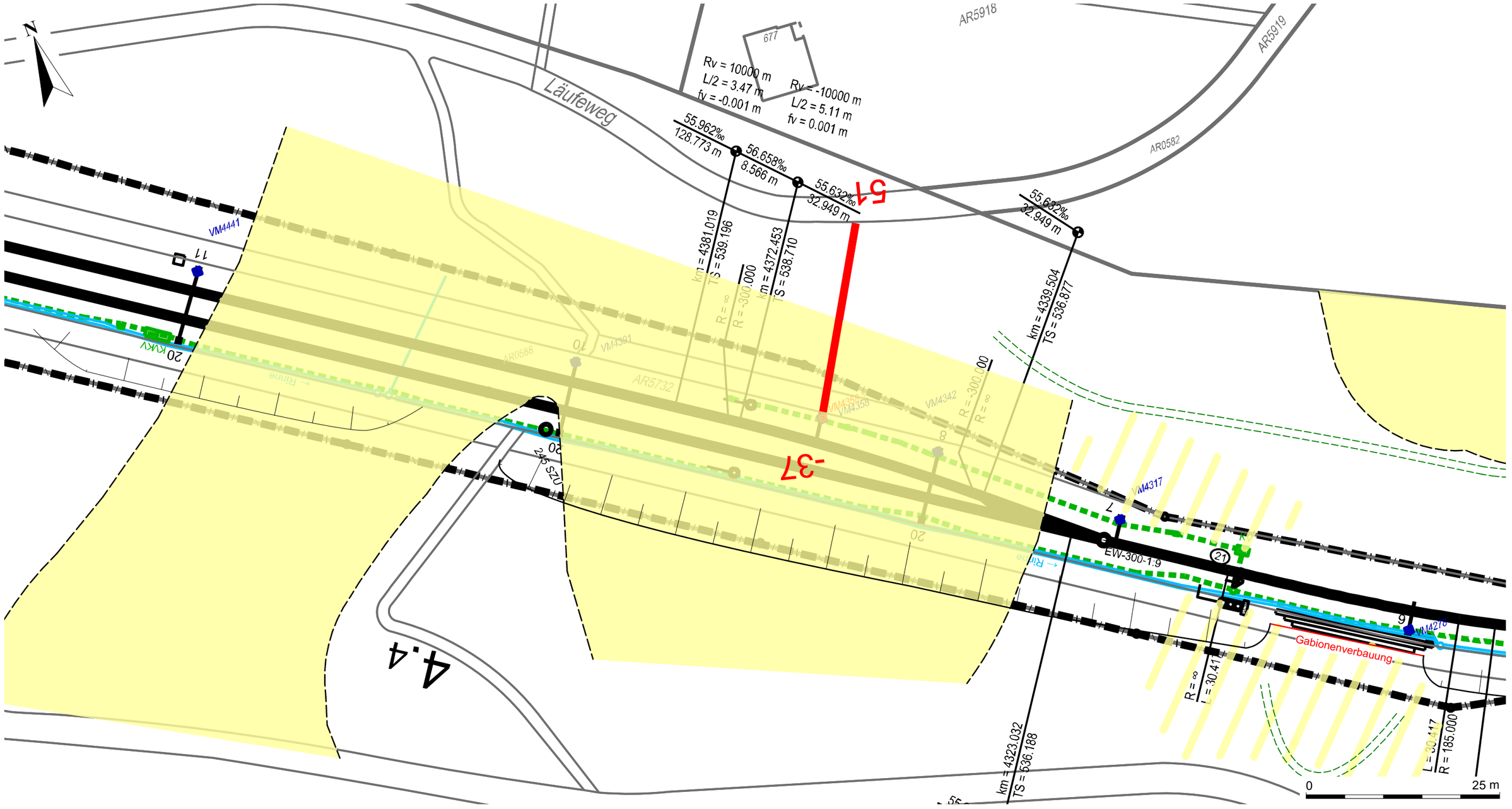
Legende

- Rutschung, substabil (<2cm / Jahr), Begrenzung unklar
- potentielles Ablösegebiet für Hangmuren (spontane, flachgründige Rutschungen)
- Rutschungsanriss (vermutet) oder ausgeprägte Erosionskante
- Zugriss (in Forststrasse, oberhalb KM 3.70)
- Setzung im Bereich Gleis / Entwässerungsrinne bei KM 5.52 / Mast 26
- -37 / 51 Verschiebung Höhe (Periode Ende 1990er-Jahr bis 2017, Negativwert = Setzung in mm) / Verschiebung Lage (mit Verschiebungsvektor, Periode Ende 1990er-Jahr bis 2017, in mm)
- Dammschüttung oder Anschüttung
- künstliche Böschung
- Stützbauwerk (KM 3.85 und 4.00: rückverankerte Pfahlwand, KM 4.28: Gabionen)

FRIEDLIPARTNER AG
GEOTECHNIK ALTLASTEN UMWELT

Situation

Projektadresse: **SZU Linie S10** **Triemli-Waldegg KM 3.3 - 6.3** **Zürich**	Mst: 1:500 Format: A3
Projekt-Nr.: 18.108.1 **Beurteilung Naturgefahren**	Erstellt: eb Datum: 25.09.18
Plangrundlage: Basler&Hofmann, Zürich SZU Triemli-Ringlikon, Situation, 1:2000 vom 29.03.2017	Geprüft: rem Datum: 25.09.18



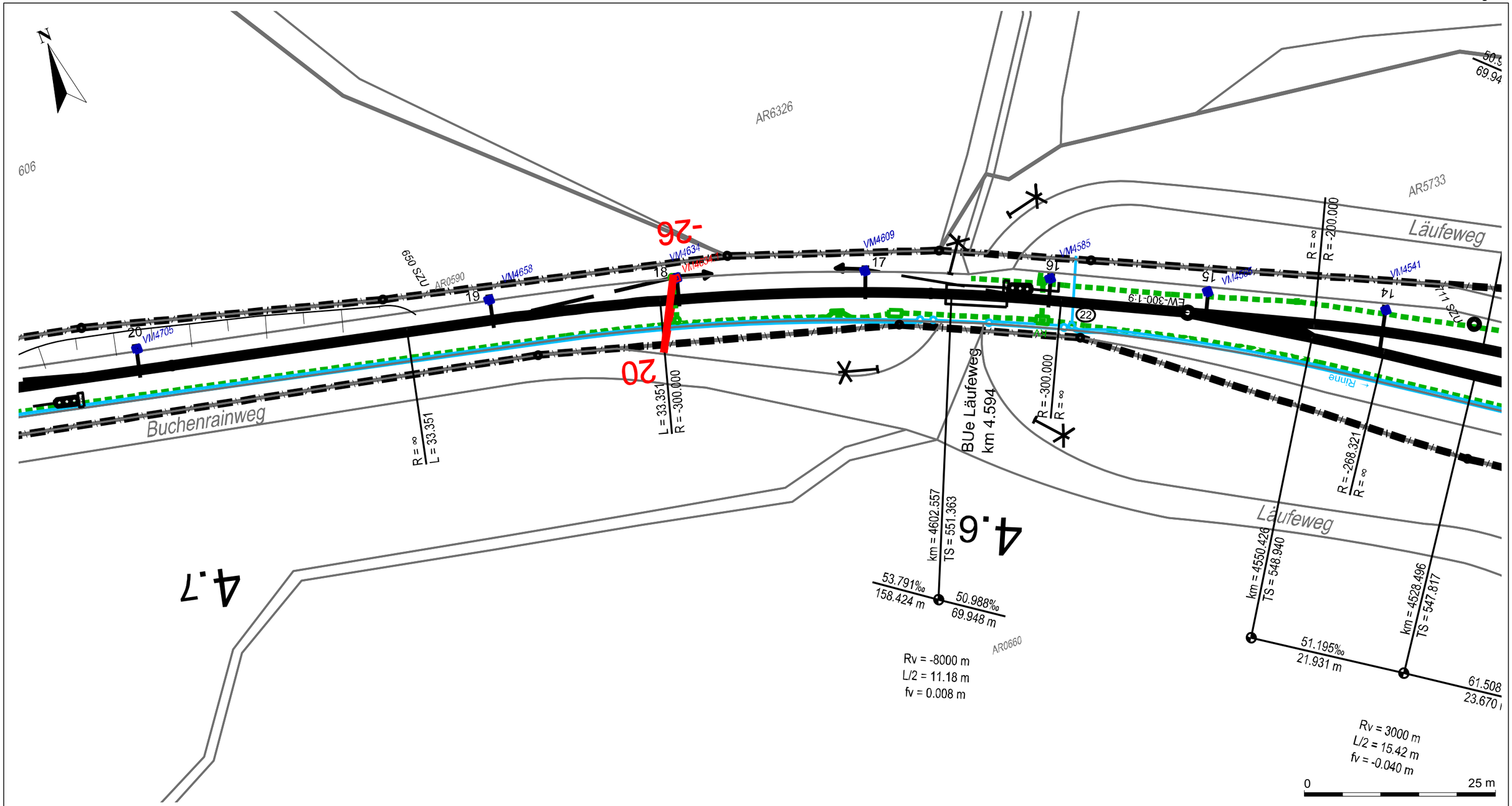
Legende

- Rutschung, substabil (<2cm / Jahr), Begrenzung unklar
- potentielles Ablösegebiet für Hangmuren (spontane, flachgründige Rutschungen)
- Rutschungsanriss (vermutet) oder ausgeprägte Erosionskante
- Zugriss (in Forststrasse, oberhalb KM 3.70)
- Setzung im Bereich Gleis / Entwässerungsrinne bei KM 5.52 / Mast 26
- -37 Verschiebung Höhe (Periode Ende 1990er-Jahr bis 2017, Negativwert = Setzung in mm)
- 51 Verschiebung Lage (mit Verschiebungsvektor, Periode Ende 1990er-Jahr bis 2017, in mm)
- Dammschüttung oder Anschüttung
- künstliche Böschung
- Stützbauwerk (KM 3.85 und 4.00: rückverankerte Pfahlwand, KM 4.28: Gabionen)

FRIEDLIPARTNER AG
GEOTECHNIK ALTLASTEN UMWELT

Situation

Projektadresse: **SZU Linie S10** **Triemli-Waldegg KM 3.3 - 6.3** **Zürich**	Mst: 1:500 Format: A3
Projekt-Nr.: 18.108.1 **Beurteilung Naturgefahren**	Erstellt: eb Datum: 25.09.18
Plangrundlage: Basler&Hofmann, Zürich SZU Triemli-Ringlikon, Situation, 1:2000 vom 29.03.2017	Geprüft: rem Datum: 25.09.18



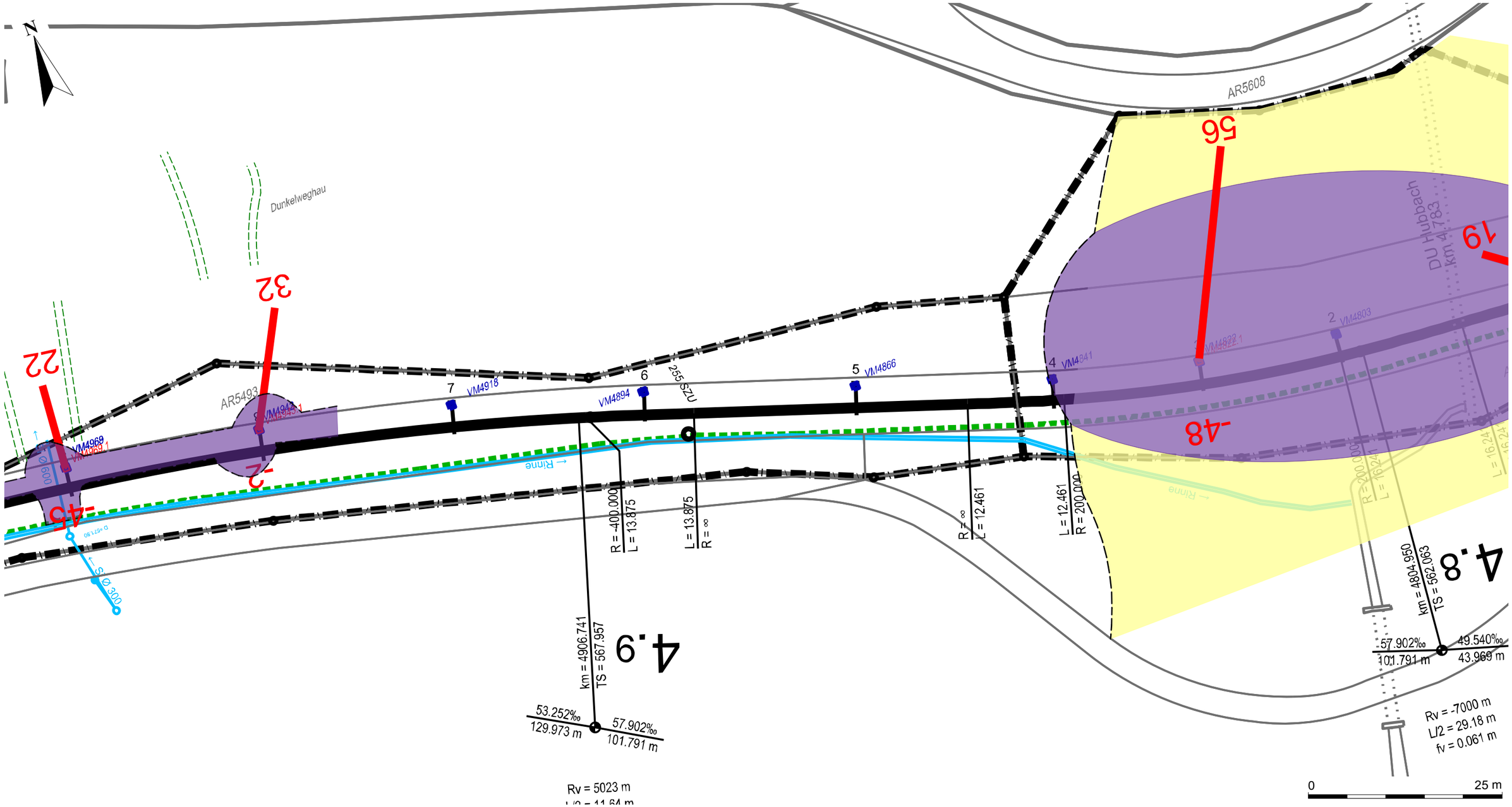
Legende

- Rutschung, substabil (<2cm / Jahr), Begrenzung unklar
- potentielles Ablösegebiet für Hangmuren (spontane, flachgründige Rutschungen)
- Rutschungsanriss (vermutet) oder ausgeprägte Erosionskante
- Zugriss (in Forststrasse, oberhalb KM 3.70)
- Setzung im Bereich Gleis / Entwässerungsrinne bei KM 5.52 / Mast 26
- -37 Verschiebung Höhe (Periode Ende 1990er-Jahr bis 2017, Negativwert = Setzung in mm)
- 51 Verschiebung Lage (mit Verschiebungsvektor, Periode Ende 1990er-Jahr bis 2017, in mm)
- Dammschüttung oder Anschüttung
- künstliche Böschung
- Stützbauwerk (KM 3.85 und 4.00: rückverankerte Pfahlwand, KM 4.28: Gabionen)

FRIEDLIPARTNER AG
GEOTECHNIK ALTLASTEN UMWELT

Situation

Projektadresse: **SZU Linie S10** **Triemli-Waldegg KM 3.3 - 6.3** **Zürich**	Mst: 1:500 Format: A3
Projekt-Nr.: 18.108.1 **Beurteilung Naturgefahren**	Erstellt: eb Datum: 25.09.18
Plangrundlage: Basler&Hofmann, Zürich SZU Triemli-Ringlikon, Situation, 1:2000 vom 29.03.2017	Geprüft: rem Datum: 25.09.18



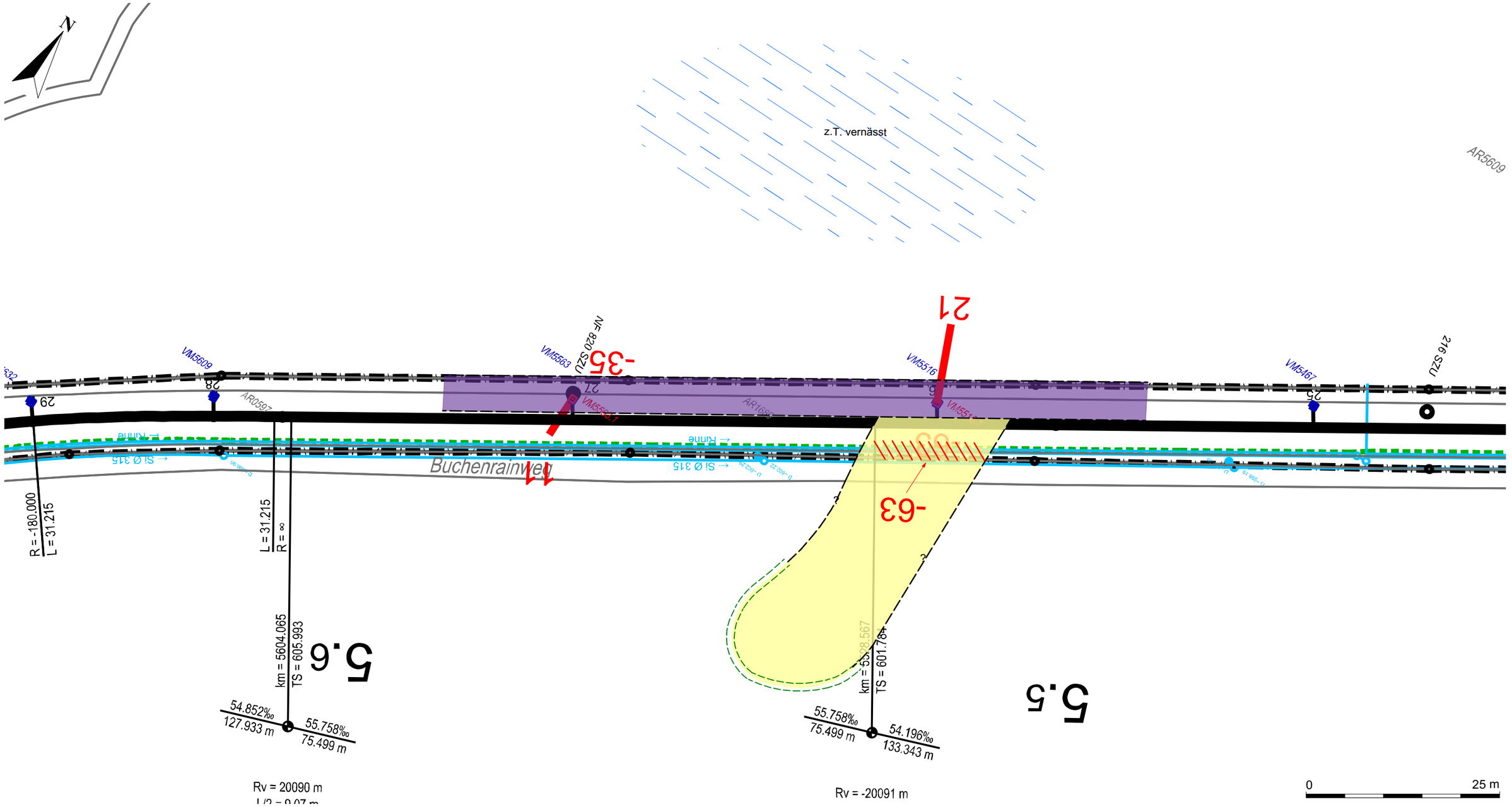
Legende

- Rutschung, substabil (<2cm / Jahr), Begrenzung unklar
- potentielles Ablösegebiet für Hangmuren (spontane, flachgründige Rutschungen)
- Rutschungsanriss (vermutet) oder ausgeprägte Erosionskante
- Zugriss (in Forststrasse, oberhalb KM 3.70)
- Setzung im Bereich Gleis / Entwässerungsrinne bei KM 5.52 / Mast 26
- -37 Verschiebung Höhe (Periode Ende 1990er-Jahr bis 2017, Negativwert = Setzung in mm)
- 51 Verschiebung Lage (mit Verschiebungsvektor, Periode Ende 1990er-Jahr bis 2017, in mm)
- Dammschüttung oder Anschüttung
- künstliche Böschung
- Stützbauwerk (KM 3.85 und 4.00: rückverankerte Pfahlwand, KM 4.28: Gabionen)

FRIEDLIPARTNER AG
GEOTECHNIK ALTLASTEN UMWELT

Situation

Projektadresse: **SZU Linie S10** **Triemli-Waldegg KM 3.3 - 6.3** **Zürich**	Mst: 1:500 Format: A3
Projekt-Nr.: 18.108.1 **Beurteilung Naturgefahren**	Erstellt: eb Datum: 25.09.18
Plangrundlage: Basler&Hofmann, Zürich SZU Triemli-Ringlikon, Situation, 1:2000 vom 29.03.2017	Geprüft: rem Datum: 25.09.18



Legende

- Rutschung, substabil (<2cm / Jahr), Begrenzung unklar
- potentielles Ablösegebiet für Hangmuren (spontane, flachgründige Rutschungen)
- Rutschungsanriss (vermutet) oder ausgeprägte Erosionskante
- Zugriss (in Forststrasse, oberhalb KM 3.70)
- Setzung im Bereich Gleis / Entwässerungsrinne bei KM 5.52 / Mast 26
- -37 Verschiebung Höhe (Periode Ende 1990er-Jahr bis 2017, Negativwert = Setzung in mm)
- 51 Verschiebung Lage (mit Verschiebungsvektor, Periode Ende 1990er-Jahr bis 2017, in mm)
- Dammschüttung oder Anschüttung
- künstliche Böschung
- Stützbauwerk (KM 3.85 und 4.00: rückverankerte Pfahlwand, KM 4.28: Gabionen)

FRIEDLIPARTNER AG
GEOTECHNIK ALTLASTEN UMWELT

Situation

Projektadresse: **SZU Linie S10** **Triemli-Waldegg KM 3.3 - 6.3** **Zürich**	Mst: 1:500 Format: A3
Projekt-Nr.: 18.108.1 **Beurteilung Naturgefahren**	Erstellt: eb Datum: 25.09.18
Plangrundlage: Basler&Hofmann, Zürich SZU Triemli-Ringlikon, Situation, 1:2000 vom 29.03.2017	Geprüft: rem Datum: 25.09.18

Legende

- Rutschung, substabil (<2cm / Jahr), Begrenzung unklar
- potentielles Ablösegebiet für Hangmuren (spontane, flachgründige Rutschungen)
- Rutschungsanriss (vermutet) oder ausgeprägte Erosionskante
- Zugriss (in Forststrasse, oberhalb KM 3.70)
- Setzung im Bereich Gleis / Entwässerungsrinne bei KM 5.52 / Mast 26
- -37 / 51 Verschiebung Lage (mit Verschiebungsvektor, Periode Ende 1990er-Jahr bis 2017, in mm)
- Verschiebung Höhe (Periode Ende 1990er-Jahr bis 2017, Negativwert = Setzung in mm)
- Dammschüttung oder Anschüttung
- künstliche Böschung
- Stützbauwerk (KM 3.85 und 4.00: rückverankerte Pfahlwand, KM 4.28: Gabionen)

FRIEDLIPARTNER AG
GEOTECHNIK ALTLASTEN UMWELT

Situation

Projektadresse: **SZU Linie S10** **Triemli-Waldegg KM 3.3 - 6.3** **Zürich**	Mst: 1:500 Format: A3
Projekt-Nr.: 18.108.1 **Beurteilung Naturgefahren**	Erstellt: eb Datum: 25.09.18
Plangrundlage: Basler&Hofmann, Zürich SZU Triemli-Ringlikon, Situation, 1:2000 vom 29.03.2017	Geprüft: rem Datum: 25.09.18

ANHANG 2

Naturgefahrenkarte

Kanton Zürich
http://maps.zh.ch

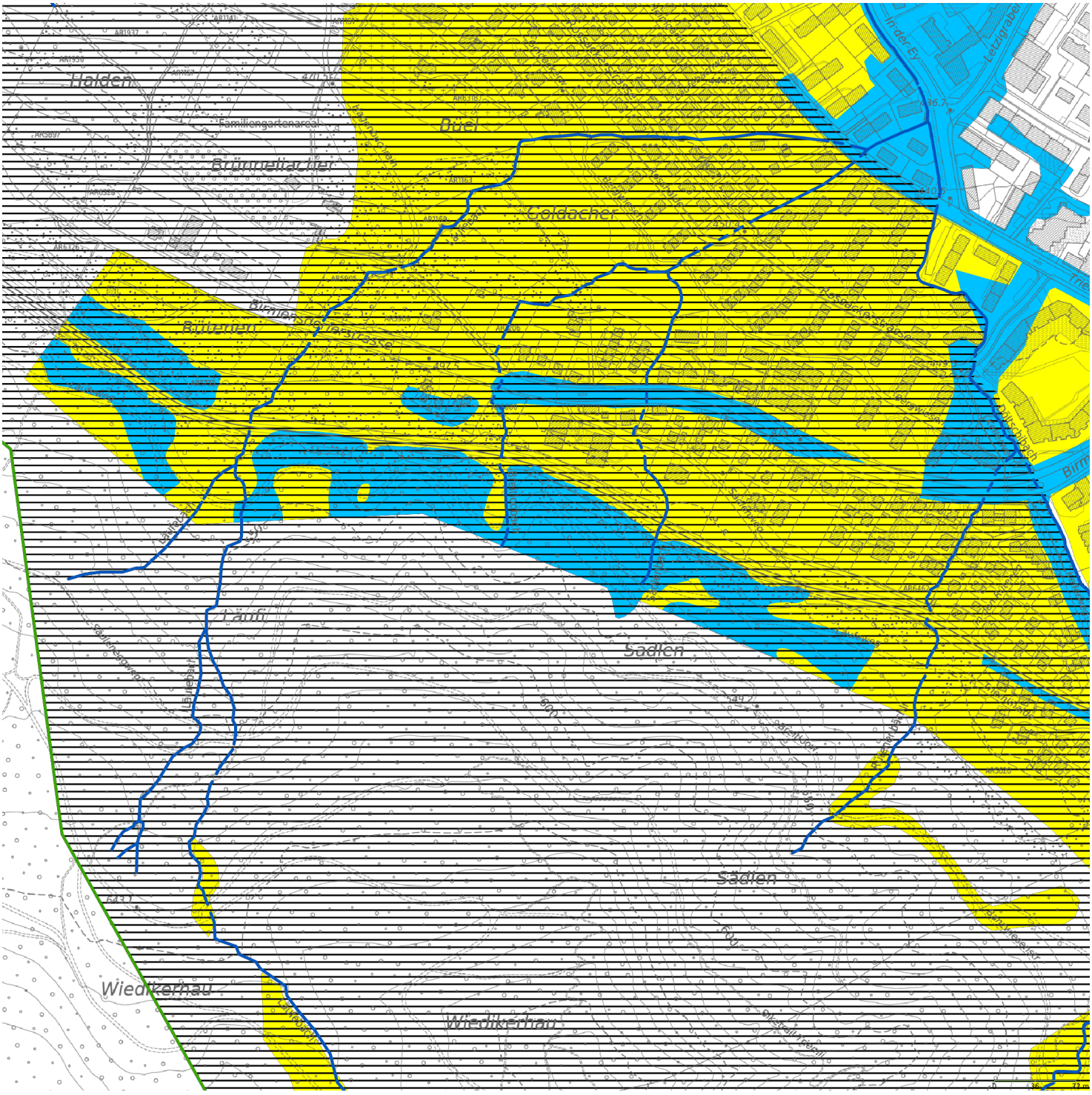
Naturgefahrenkartierung

GIS-ZH / GIS-Browser

Synoptische Gefahrenkarte

Gemeinde: Zürich

Zentrum: [2679191.93,1246717.54]
Massstab 1:5000



© GIS-ZH, Kanton Zürich

20.09.2018 13:41:51

Diese Karte stellt einen Zusammenzug von amtlichen Daten verschiedener Stellen dar. Keine Garantie für Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität. Rechtsverbindliche Auskünfte erteilen allein die zuständigen Behörden.

Legende: Synoptische Gefahrenkarte

- erhebliche Gefährdung (Verbotsbereich)
- mittlere Gefährdung (Gebotsbereich)
- geringe Gefährdung (Hinweisbereich)
- Restgefährdung (Hinweisbereich)
- Weiss im Untersuchungsperimeter = keine oder vernachlässigbare Gefährdung

Legende: Weitere Signaturen

- Untersuchungsperimeter
- noch ohne Gefahrenkarte
- ausserhalb Untersuchungsgebiet
- zur Zeit in Revision
- öffentliche Oberflächengewässer offen
- öffentliche Oberflächengewässer eingedolt
- Gemeindegrenzen

© GIS-ZH, Kanton Zürich

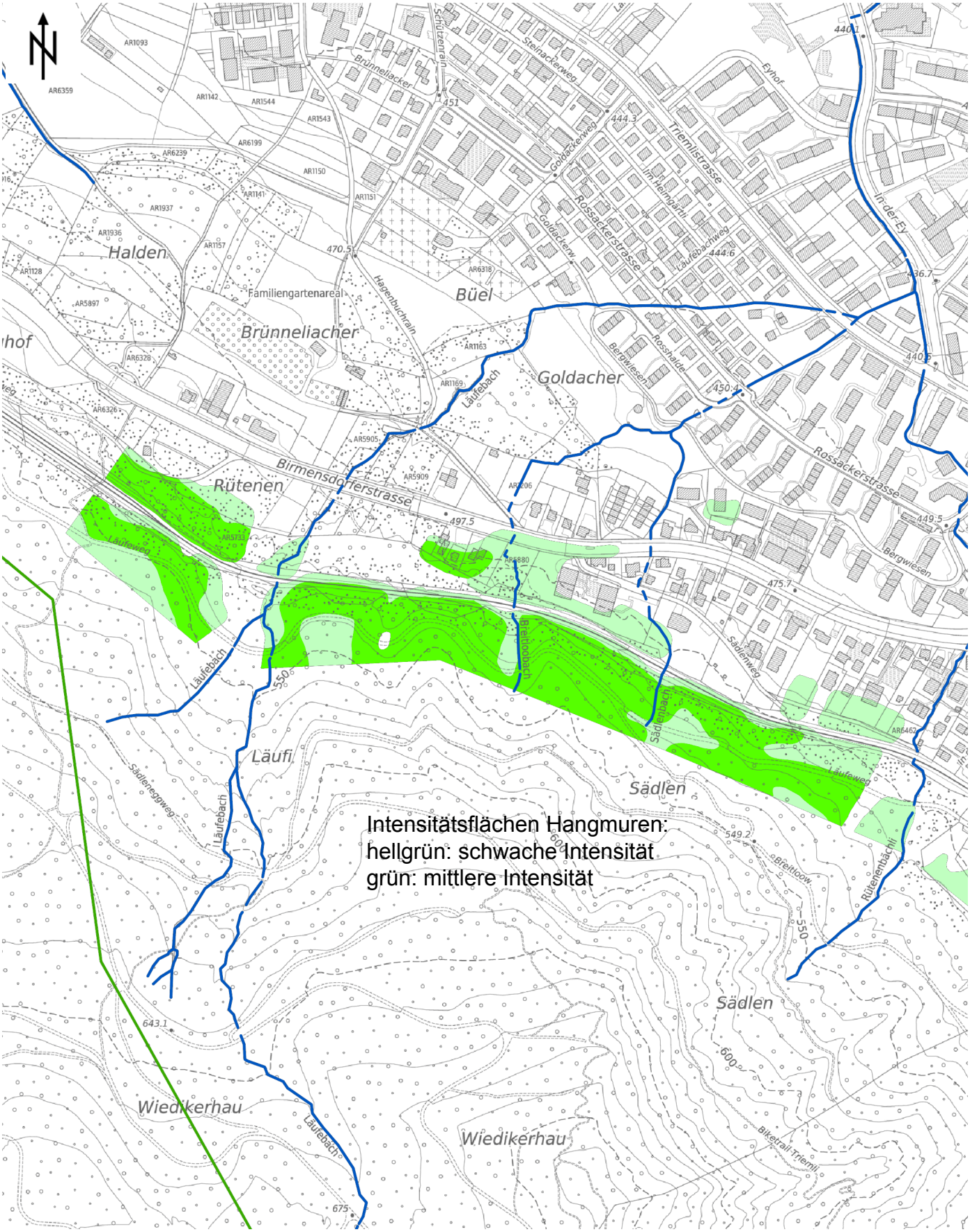
ANHANG 3

Intensitätskarte Hangmuren

Kanton Zürich
GIS-Browser (http://maps.zh.ch)

Naturgefahrenkarten

Intensitätskarte
Hangmuren (100 Jahre)



© GIS-ZH, Kanton Zürich, 20.09.2018 13:48:50

Diese Karte stellt einen Zusammenzug von amtlichen Daten verschiedener Stellen dar. Keine Garantie für Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität. Rechtsverbindliche Auskünfte erteilen allein die zuständigen Behörden.

Massstab 1:5000

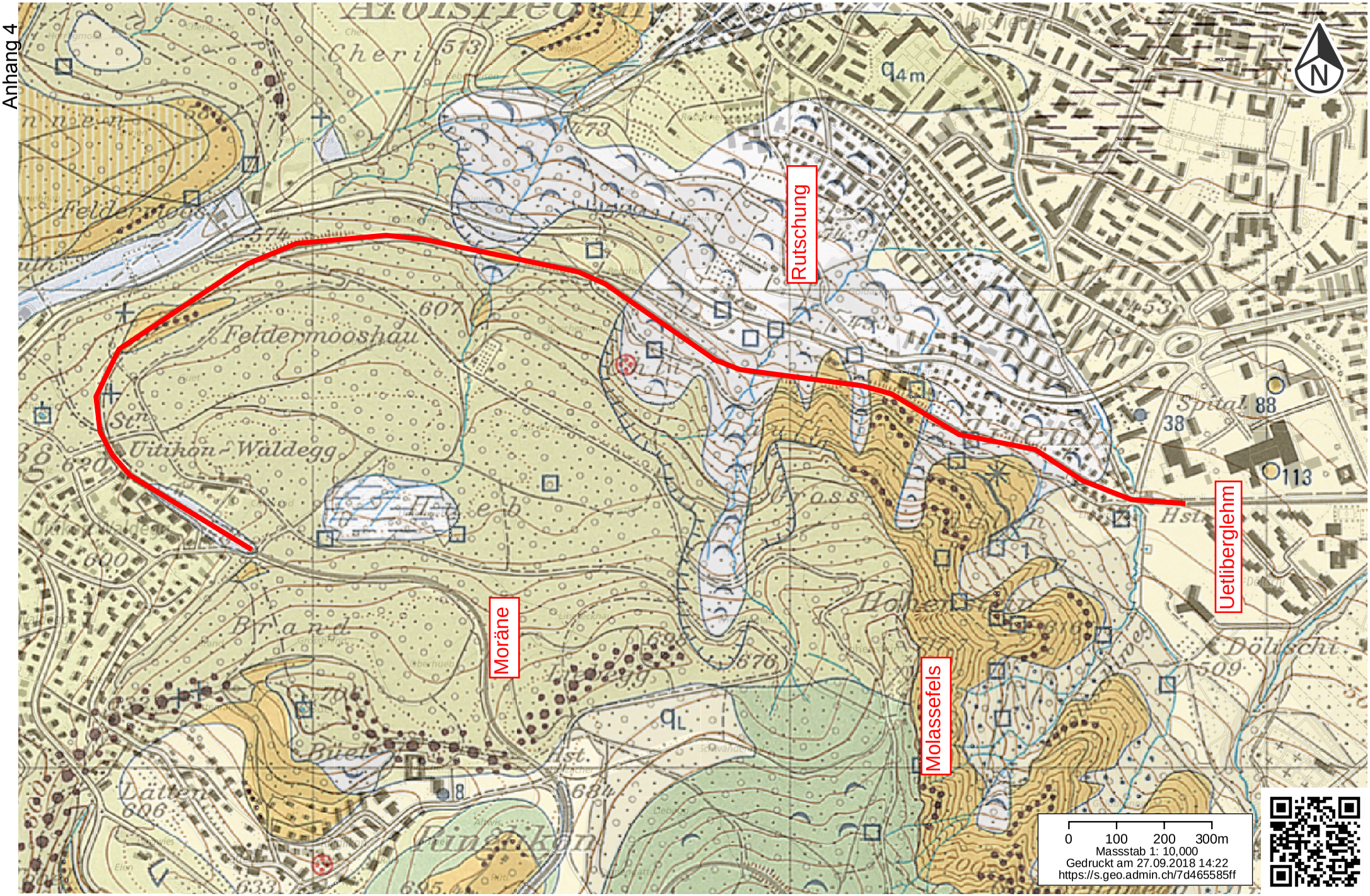
0 50 100 150m

Zentrum: [2679124.46,1246788.97]

ANHANG 4

Geologische Karte

Anhang 4



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
In collaboration with the cantons

www.geo.admin.ch ist ein Portal zur Einsicht von geolokalisierten Informationen, Daten und Diensten, die von öffentlichen Einrichtungen zur Verfügung gestellt werden
Haftung: Obwohl die Bundesbehörden mit aller Sorgfalt auf die Richtigkeit der veröffentlichten Informationen achten, kann hinsichtlich der inhaltlichen Richtigkeit, Genauigkeit, Aktualität, Zuverlässigkeit und Vollständigkeit dieser Informationen keine Gewährleistung übernommen werden.Copyright, Bundesbehörden der Schweizerischen Eidgenossenschaft. http://www.disclaimer.admin.ch
© swisstopo