



Wiederaufstau Lüschersee

Überwachung Testphase Jahr 2024

Bericht-Nr. GR851G-3, 15.04.2025

Angaben zum Dokument

Auftragsnummer:	GR851G	
Projekt/Objekt:	Wiederaufstau Lüschersee	
Standort:	LK 2'746'195 / 1'173'020	Gemeinde: 7428 Tschappina
Bericht:	Überwachung Testphase Jahr 2024	
Berichtsnummer:	GR851G-3	Datum: 15.04.2025
Autor/en:	Andreas Handke	
Korreferat:	Peter Guntli	
Filename:	GR851G-3 Überwachung Testphase 2024 10.03.2025.docx	
Auftraggeber:	Skilift Tschappina-Lüscher-Urmein AG	
Verteiler:	Skilift Tschappina-Lüscher-Urmein AG	

Präambel

Die Angaben und Folgerungen dieses Gutachten beziehen sich ausschliesslich auf das vorliegende Projekt und den zitierten Projektstand. Bedeutende Änderungen des Projekts bedingen eine Neubeurteilung. Wird das Gutachten zudem für andere Zwecke verwendet, wird jede Haftung abgelehnt. Die Haftung wird auch gegenüber anderen Personen als den Auftraggebern vollumfänglich abgelehnt.

Bei den im Bericht gemachten Angaben handelt es sich um eine Interpretation der bis anhin von diesem Grundstück bzw. Standort bekannten Daten und Fakten. Sollten im Laufe der Planung bzw. der Ausführung des Bauvorhabens zusätzliche Informationen gewonnen werden, so müssen die gemachten Modellangaben überprüft und falls notwendig angepasst werden. Aus diesem Grund ist die Begleitung der Projektierungs- und Ausführungsarbeiten durch eine Geologin / einen Geologen sehr zu empfehlen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung, Aufgabestellung	4
2	Ausgeführte Arbeiten	4
3	Überwachungsergebnisse 2024	5
3.1	Geländebewegungen	5
3.2	Seismische Messungen Erdbebendienst ETH	5
3.3	Beweissicherung Haus Bazell, Walder und Burkhardt	5
3.4	Quellen Brandegga und Wana	6
3.5	Niederschlag, Lufttemperaturen	6
3.6	Seefüllstand	6
3.7	Abflussmessungen am Stollenende 10.10.2017 bis 25.09.2021	8
3.8	Wasserentnahmen 2022 - 2024	8
3.9	Abfluss Fischgewässer Sperre 57	8
4	Beurteilung der Ergebnisse	8
4.1	Geländebewegungen und seismische Messungen Erdbebendienst ETH	8
4.2	Beweissicherung Haus Bazell Walder und Burkhardt	10
4.3	Quellen Brandegga und Wana	10
4.4	Niederschlag, Temperaturen	10
4.5	Seefüllstand in Abhängigkeit von Niederschlag, Temperaturen und Wasserentnahmen	10
4.6	Abfluss Fischgewässer Sperre 57	11
5	Schlussfolgerungen nach 3 Jahren Testphase	12

Anhangverzeichnis

Anhang 1:	Betriebskonzept gemäss [3] aktualisiert
Anhang 2:	Sicherheitskonzept gemäss [3]
Anhang 3:	Kontinuierliche Verschiebungsmessungen, Lage der Messstellen HB01 – HB03 und Referenzstation
Anhang 4:	Kontinuierliche Verschiebungsmessungen, kumulierte Verschiebung 07.11.2018 – Mitte Januar 2025
Anhang 5:	Kontinuierliche Messungen der Geschwindigkeit (horizontale Bewegungen): gleitendes Jahresmittel 07.11.2019 – Mitte Januar 2025
Anhang 6:	Kontinuierliche Messungen der Geschwindigkeit (horizontale Bewegungen): gleitendes Monatsmittel 07.11.2018 – Mitte Januar 2025

- Anhang 7: Periodische Verschiebungsmessungen, 22.10.2021 – 11.09.2024 (Messdaten graphisch und tabellarisch)
- Anhang 8: Quellmengen-Messungen Quellen Brandegga und Wana Juli 2022 – Februar 2025
- Anhang 9: Niederschlag und Lufttemperaturen 17.11.2021 – 31.12.2024
- Anhang 10: Wasserstandsmessungen im See (Seefüllstand 01.01.2024 – 31.12.2024, NetQEdge = Wasserstand über Messsonde im Armaturenschacht)
- Anhang 11: Abflussmessungen Stollenausgang 10.10.2017 – 25.09.2021
- Anhang 12: Abflussmessungen Armaturenschacht ab 01.01.2024 – 28.02.2025
- Anhang 13: Abflussmessungen Fischgewässer Sperre 57 ab 24.12.2021 – Ende Januar 2025
- Anhang 14: Standorte der Beobachtungsstellen
- Anhang 15: Seismisches Experiment Heinzenberg und permanente seismische Station HELU am Lüschersee (Bericht ETHZ vom 19.02.2024)

Beilagenverzeichnis

- Beilage 1: Bestandesaufnahme vom 02.11.2021 Liegenschaft Bazell, Brandegg Parzelle 647
- Beilage 2: Bestandesaufnahme vom 02.11.2021 Liegenschaft Walder, Chrüzmatte Parzelle 64
- Beilage 3: Bestandesaufnahme vom 02.11.2021 Liegenschaft Burkhardt, Obergmeindstrasse Parzelle 499

Referenzenverzeichnis

- [1] SC+H Sieber Cassina + Handke AG, Wiederaufstau Lüschersee, Überwachung Testphase Jahr 2022, Bericht GR851G-1 (03.05.2023), Testphase 2023, Bericht GR851G-2 (01.07.2024)
- [2] Amt für Raumentwicklung Graubünden, BAB Bewilligung-Nr. 2018-1202
- [3] SC+H Sieber Cassina + Handke AG, 18.07.2021, Wiederaufstau Lüschersee, Bewilligungsverfahren, Naturgefahrenbericht und Überwachungskonzept
- [4] Hartmann und Monsch, K+D Landschaftsplanung, SC+H, 10.06.2021, Umweltbericht Baubewilligungsverfahren ausserhalb Bauzone,
- [5] Amt für Wald und Naturgefahren/Roland Wyss, 25.03.2019, Heinzenberg Kanton Graubünden, Gefahrenkarte permanente Rutschungen
- [6] SC+H Sieber Cassina + Handke AG, 25.04.2017, Wiederbelegung des Lüschersees, Grobbeurteilung der Machbarkeit aus geologisch/hydrogeologischer Sicht, Bericht GR 851A-1
- [7] Geoportal der kantonalen Verwaltung GR, Interaktive Karten: Naturgefahrenkarte

1 **Einleitung, Aufgabestellung**

Im Rahmen des Bewilligungsverfahrens für den versuchsweisen Wiederaufstau des Lüschersees wurde ein Überwachungskonzept [3] erstellt. Das Konzept ist mit der Baubewilligung [2] genehmigt worden. Es besteht aus einem Betriebskonzept und aus einem Sicherheitskonzept.

Das Betriebskonzept enthält die vorgesehenen Aktivitäten zur Überwachung der Testphase und die zugehörigen Zuständigkeiten (siehe **Anhang 1**).

Das Sicherheitskonzept enthält Aufmerksamkeits-, Alarm- und Grenzwerte für die Beobachtung der Geländeverschiebungen, sowie zugehörige Massnahmen und Zuständigkeiten (siehe **Anhang 2**).

Die Einstau-Bauwerke am oberen Stollenende beim Lüschersee, sowie die Leitungen durch den Stollen wurden im Herbst 2021 fertiggestellt, und der bisherige Abfluss durch den Stollen verschlossen. Somit konnte sich der Lüschersee ab diesem Zeitpunkt wiederaufstauen.

Der Armaturenschacht am unteren Ende des Stollens wurde im Herbst 2022 fertiggestellt, wobei die Abflussmessungen erst per 27.11.2022 und die Messung des Seestandes erst ab 25.04.2023 in Betrieb gehen konnten.

Die Versuchsphase war für drei Jahre nach dem Einstau des Lüschersees vorgesehen, mit Option auf Verlängerung um 2 weitere Jahre, wenn die Überwachungsdaten nicht schlüssig beantwortet werden können.

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse der Aktivitäten zur Überwachung der Testphase für das dritte Versuchsjahr 2024 dokumentiert und beurteilt.

2 **Ausgeführte Arbeiten**

Die Aktivitäten zur Überwachung der Testphase wurden gemäss Anhang 1 ausgeführt.

Die Bewegungsmessungen wurden wie vorgesehen laufend auf die Aufmerksamkeits-, Alarm- und Grenzwerte gemäss Anhang 2 überprüft.

Die vor dem Einstauversuch gemessenen Abflussmessungen am Stollenende wurden am 25.09.2021 infolge des Armaturenschacht-Baus eingestellt. Anstelle dieser Messungen wird der Abfluss seither im Armaturenschacht gemessen.

Die Abflussmessung am Armaturenschacht konnte aufgrund des Bauablaufes erst verspätet, am 27.11.2022 eingerichtet werden. Die Seestandsmessung konnte ebenfalls erst verspätet ab 25.04.2023 in Betrieb gehen.

Die Quellenmessungen sind seit Juli 2022 im Gange. Bisher wurden monatliche Messungen bis im Februar 2025 gemessen.

Zusätzlich wurde im Dezember 2021 eine Abflussmessstelle mit Überfallmessblende und Datenlogger am Lüscherbach bei Sperre 57 eingerichtet, und der Abfluss seit dem 24.12.2021 kontinuierlich aufgezeichnet. Diese Messstelle dient der Überprüfung der Bestimmungen über die Restwassermengen.

Weiterhin wurde im Mai 2022 vom Erdbebendienst ETH eine Messstation eingerichtet, welche die natürlichen Erdbeben registriert. Diese Messstation kann auf allfällige Veränderungen des Untergrundes hindeuten.

Sämtliche vorhandenen Messungen wurden aufbereitet und im vorliegenden Bericht dargestellt und beurteilt.

Die Lage der Beobachtungsstellen ist in **Anhang 14** ersichtlich.

3 **Überwachungsergebnisse 2024**

3.1 **Geländebewegungen**

Die Geländebewegungen werden seit 07.11.2018 an drei Orten kontinuierlich aufgezeichnet (HB01 – HB03). Die Standorte sind in **Anhang 3** ersichtlich.

Zusätzlich werden 7 weitere Standorte seit 22.10.2021 periodisch aufgenommen. Die Standorte 1 – 7 und die Messdaten (tabellarisch und graphisch) sind in **Anhang 7** dargestellt.

3.1.1 **Kontinuierliche Aufzeichnungen**

Seit Messbeginn haben sich alle drei Standorte sehr kontinuierlich ohne grosse Schwankungen rund 27 – 30 cm talwärts verschoben und um rund 7.5 - 10 cm abgesenkt (**Anhang 4**).

Die mittlere **jährliche** Geschwindigkeit der horizontalen Bewegungen (gleitendes Jahresmittel) im Jahr 2024 liegt zwischen rund 42 – 57 mm/Jahr (**Anhang 5**).

Die mittlere **monatliche** Geschwindigkeit der horizontalen Bewegungen (gleitendes Monatsmittel) im Jahr 2024 liegt zwischen rund 15 und 132 mm/Jahr (**Anhang 6**).

3.1.2 **Periodische Aufzeichnungen**

Die beobachteten Punkte weisen seit der Nullmessung vom 22.10.2021 horizontale Verschiebungen bis 16.7 cm und Setzungen bis 5.1 cm auf. Die im **Anhang 7** dargestellten, horizontalen Verschiebungen setzen sich aus den Komponenten dL (+ = Richtung Ost) und dQ (+ = Richtung Nord) zusammen.

3.2 **Seismische Messungen Erdbebendienst ETH**

Der Schweizerische Erdbebendienst an der ETH Zürich hat im Mai 2022 beim Lüschersee eine seismische Station installiert, um im Rahmen eines Nationalfonds-Projekts mögliche Veränderungen der seismischen Antwort zu untersuchen. Sie liegt neben der Messstation HB01, wo die Hangbewegungen kontinuierlich aufgezeichnet werden (Kap. 3.1).

Eine erste Auswertung der Messungen ist in **Anhang 15** dokumentiert.

3.3 **Beweissicherung Haus Bazell, Walder und Burkhardt**

Am 02.11.2021 wurde eine Bestandesaufnahme der obengenannten Häuser durchgeführt. Die Ergebnisse sind in separaten Berichten gemäss **Beilagen 1 - 3** festgehalten. Die nächste Messung war gemäss Betriebskonzept im Herbst 2024 vorgesehen.

Angesichts der beobachteten, geringen Geländeverschiebungen, welche im Rahmen der Gefahrenkarte [5] [6] liegen (siehe Kap. 4.1 und 4.1.2), wurde auf diese Messung verzichtet.

3.4 Quellen Brandegga und Wanna

Der Erguss der beiden Quellen wurde seit Juli 2022 bis im Februar 2025 monatlich gemessen.

Die Ergebnisse per Februar 2025 sind im **Anhang 8** dargestellt.

3.5 Niederschlag, Lufttemperaturen

Der Niederschlag und die Lufttemperaturen wurden seit dem 17.11.2021 gemessen (**Anhang 9**).

Zwischen dem 04.11.2022 und dem 09.01.2023 wurden die Daten nicht über das Internet übertragen, so dass im Anhang 9 eine Datenlücke vorhanden ist. Die Daten können leider nicht mehr verfügbar gemacht werden.

Die Aufzeichnungen im Jahr 2022 sind im Bericht GR851G-1 [1] enthalten. Die Niederschlags-Gesamtmenge betrug 765.89 mm, was etwa 48% des erwarteten Niederschlages entspricht.

Die Aufzeichnungen im Jahr 2023 sind im Bericht GR851G-2 [1] enthalten. Die Niederschlags-Gesamtmenge betrug 1'299 mm, was etwa 80% des erwarteten Niederschlages entspricht.

Der Jahresniederschlag erreichte zwischen Januar 2024 und Dezember 2024 eine Gesamtmenge von 875 mm. Insgesamt entspricht diese Menge etwa 55% des erwarteten mittleren Niederschlages von rund 1'600 mm. Die Niederschläge sind hauptsächlich im ersten Halbjahr 2024, und im zweiten Halbjahr 2024 nur noch sehr spärlich gefallen.

3.6 Seefüllstand

Der Seefüllstand konnte im ersten Jahr des Wiederaufstaus 2022 nicht gemessen werden, weil die Einrichtung dazu noch nicht in Betrieb war (siehe Kap. 2).

Aufgrund unserer visuellen Beobachtungen wurde damals geschätzt, dass der See im Monat Juli 2022 einen maximalen Seestand von ca. 1'926 m.ü.M. erreichte, was einem Wasservolumen von ca. 20'000 m³ entspricht.

Am 25.04.2023 ging die Messeinrichtung in Betrieb. Die Messeinrichtung zeichnet Wasserspiegelhöhen, welche am Armaturenschacht gemessen werden in m ab Armaturenschacht auf (bezeichnet als Höhe NetQEdge). Die Eichung, welche den Zusammenhang zwischen den Wasserspiegelhöhen in m ab Armaturenschacht und den Höhen in m.ü.M. aufzeigen liegt seit 30.04.2024 vor. Die Messhöhe 0 m im Armaturenschacht entspricht dabei einer Meereshöhe von 1'918.68 m.ü.M.

Die Aufzeichnungen im Jahr 2023 sind im Bericht GR851G-2 [1] enthalten. Der Seespiegel erreichte Ende November 2023, aufgrund stärkerer Niederschläge im Sommer und Herbst 2023 einen maximalen Stand von 8.36 m (1'927.04 m.ü.M., Wassermenge entsprechend ca. 29'000 m³).

Die Aufzeichnungen im Jahr 2024 (**Anhang 10**) zeigen einen Frühjahrs-Anstieg bis auf einen maximalen Seestand anfangs Juni 2024 von 12.15 m (1930.83 m.ü.M.). Dies entspricht einer Wassermenge von rund 100'000 m³, womit der See praktisch voll gefüllt war.



Abb. 1 Seefüllstand anfangs Juni 2024

Zwischen 30. Mai und 14. Juni wurden rund 15'000 m³ Wasser entnommen, um zu prüfen, ob der hohe Seespiegel für die im Mai 2024 erhöhten Geländebewegungen verantwortlich ist. Ohne Entnahme wäre der Seespiegel bis auf die Kote rund 1031.3 m.ü.M gestiegen.

Anschliessend sank der Wasserspiegel bis Mitte November 2024 kontinuierlich bis auf eine Höhe von rund 6 m (1'924.68 m.ü.M.), was einer verbleibenden Wassermenge von rund 10'000 m³ entspricht.

Ab Mitte November bis Mitte Dezember wurden rund 12'000 m³ Wasser aus dem See entnommen (**Anhang 12**), so dass der Wasserspiegel dementsprechend auf eine Höhe von 3.70 m (1'922.38 m.ü.M.) sank.

Im weiteren Verlauf nahm der Wasserspiegel kontinuierlich ab bis Ende Dezember 2024 auf eine Höhe von rund 3.60 (1'922.28 m.ü.M.). Dies entspricht einer Wassermenge von wenigen 1'000 m³ Wasser im See.

3.7 Abflussmessungen am Stollenende 10.10.2017 bis 25.09.2021

Am Stollenende wurden seit dem 10.10.2017 Abflussmessungen mit einem Messüberfall durchgeführt. Diese Ergebnisse sind in **Anhang 11** dargestellt. Die Messstelle wurde anlässlich der Bauarbeiten für den Armaturenschacht am 25.09.2021 aufgehoben und entfernt.

3.8 Wasserentnahmen 2022 - 2024

Anstelle der Abflussmessungen gemäss Kap. 3.7 werden neu seit dem 27.11.2022 die Wasserentnahmen aus dem Lüschersee dokumentiert.

Im Winter 2022/2023 wurden rund 2'000 m³ aus dem See entnommen.

Im Winter 2023/2024 wurden rund 16'000 m³ entnommen.

Im Jahr 2024 wurden zunächst Ende Mai/anfangs Juni 2024 rund 15'000 m³ entnommen, um zu prüfen, ob der hohe Seespiegel für die im Juni 2024 erhöhten Geländebewegungen verantwortlich ist. Im Winter 2024 wurden zusätzlich rund 12'000 m³ aus dem See entnommen.

Die bisherigen Messungen sind in **Anhang 12** aufgezeichnet.

3.9 Abfluss Fischgewässer Sperre 57

Der Abfluss bei der Sperre 57 wurde seit dem 24.12.2021 gemessen.

Die bisherigen Messungen sind in **Anhang 13** dokumentiert.

4 Beurteilung der Resultate

4.1 Geländebewegungen und seismische Messungen Erdbebendienst ETH

4.1.1 Kontinuierlich aufzeichnende Messstellen

Die **gesamten Bewegungen seit Messbeginn** vom 18.11.2018 betragen 27 – 30 cm horizontal und 7.5 – 10.0 cm vertikal (Anhang 4). Dies entspricht über die gesamte Zeit von 6 Jahren mittleren Jahresverschiebungen von 4.5 – 5.0 cm/Jahr horizontal und 1.0 - 1.7 cm/Jahr vertikal, was ganz im Rahmen der Gefahrenkarte [5] [6] entspricht. Weiterhin ist der Schwellenwert von 5.5 – 5.99 cm/Jahr gemäss [3] nach 3 Jahren Versuchsdauer nicht erreicht.

Die **mittlere jährliche horizontale Geschwindigkeit der Bewegungen im Jahr 2024** liegt zwischen 42 – 57 mm/Jahr (Anhang 5). Diese Verschiebungsgeschwindigkeiten liegen im Rahmen der langjährigen Beobachtungen gemäss Gefahrenkarte ([5],[6]) und liegen – wie schon in den Vorjahren - unterhalb unseres Alarmwertes von 60 mm/Jahr gemäss [3].

Die **mittlere monatliche horizontale Geschwindigkeit der Bewegungen im Jahr 2024** liegt zwischen 15 und 132 mm/Jahr (Anhang 6). Sie liegt – wie schon in Vorjahren - unterhalb unseres Grenzwertes von 200 mm/Jahr, und temporär oberhalb des Aufmerksamkeitswertes von 100 mm/Jahr gemäss [3].

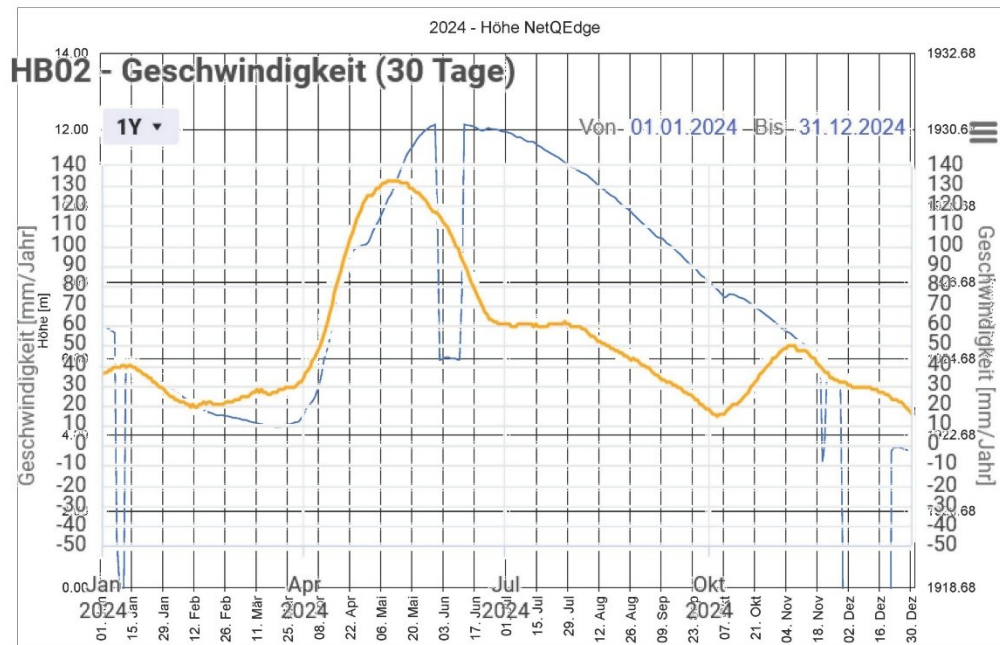


Abb. 2 Seefüllstand (blaue Linie siehe auch Anhang 10) und mittlere monatliche horizontale Geschwindigkeit der Bewegungen (gelbe Linie)

Die mittlere monatliche horizontale Geschwindigkeit der Bewegungen erreichte Mitte Mai 2024 das Maximum von 132 mm/Jahr bei Messstelle HB02 (Obergründ), resp. Ende Mai 2024 das Maximum von 106 mm/Jahr bei Messstelle HB01 (Seebereich). Anschliessend sind die Geschwindigkeiten bis Ende Juni 2024 rasch wieder auf unter 100 mm/Jahr gesunken. Im weiteren Verlauf bis September 2024 sind die Geschwindigkeiten bei beiden Messstellen weiter bis auf 20 – 25 mm/Jahr gesunken (**Abb. 2**).

Zwischen dem 30. Mai und 14. Juni 2024 wurden rund 15'000 m³ Wasser dem See entzogen, um zu prüfen, ob der hohe Seespiegel für die erhöhten Geländebewegungen verantwortlich ist. Der Seespiegel blieb deshalb auf einer Höhe von rund 12 m ab Armaturenschacht resp. 1'930.68 m.ü.M. konstant bis Ende Juni und sank anschliessend bis Ende Juli nur um rund 1 m ab.

Das zeigt, dass die Geländebewegungen schnell abnahmen im Verlauf ab Mitte Mai 2024, währenddem der Seespiegel bis anfangs Juni 2024 noch anstieg und auf höchstem Niveau verblieb bis Ende Juni 2024. Auch die weiteren Abnahmen der Bewegungen stehen nicht im Verhältnis mit der Abnahme des Seewasserstandes bis September 2024.

Wir schliessen daraus, dass der Seespiegel nicht für die Geschwindigkeiten der Geländebewegungen verantwortlich ist. Verantwortlich sind die Niederschläge auf das Einzugsgebiet des Lüschersees, welche in der ersten Jahreshälfte zusammen mit der Schneeschmelze viel Wasser dem Lüschersee zuführten. Ab Juli 2024 waren die Niederschläge nur noch sehr spärlich zu verzeichnen.

4.1.2 Periodisch kontrollierte Messstellen

Sämtliche Messstellen zeigen Verschiebungen seit Messbeginn (22.10.2021) von 125 - 167 mm und liegen damit im Bereich der langjährigen Beobachtungen gemäss Gefahrenkarte [5] [6].

Ein Vergleich der Bewegungen mit dem Seefüllstand zeigt keinen Zusammenhang auf. Insgesamt sind seit dem Einstau des Sees keine Veränderungen des Verhaltens der Rutschung zu erkennen.

Der Bericht über die seismischen Messungen der ETH in Anhang 15 bestätigt den von uns bisher angenommenen Schichtaufbau am Heinzenberg. Es sind keine relevanten Veränderungen der seismischen Antwort seit dem Einstau beobachtet worden.

4.2 Beweissicherung Haus Bazell Walder und Burkhardt

Die Bestandesaufnahme liegt per 02.11.2021 vor.

Die nächste Folgeaufnahme war ursprünglich im Herbst 2024 vorgesehen. Angesichts der beobachteten, geringen Geländeverschiebungen, welche im Rahmen der Gefahrenkarte [5] [6] liegen (siehe Kap. 4.1 und 4.1.2), wurde auf diese Messung verzichtet.

Es wird davon ausgegangen, dass die Gebäude keine aussergewöhnliche Schäden erfuhr.

4.3 Quellen Brandegga und Wanna

Die Quellmessungen bis Februar 2025 zeigen keine Auffälligkeiten. Der geringfügige Rückgang gegen die Winterzeit wird als natürlich betrachtet und deutet auf stabile Quellen hin.

4.4 Niederschlag, Temperaturen

Der Niederschlag und die Temperaturen werden gemessen (siehe Anhang 9), um die Wassermengen im See mit dem Niederschlag, der Verdunstung und der Versickerung zu bilanzieren, und um den Zusammenhang zu den Geländeverschiebungen zu prüfen.

Wie bereits erwähnt, liegen die Niederschläge im Jahr 2024 bei etwa 55% des erwarteten Niederschlages. In der ersten Jahreshälfte waren Niederschläge um 80% des erwarteten Niederschlages gefallen. In der zweiten Jahreshälfte lagen die Niederschläge nur noch bei spärlichen 30% des erwarteten Niederschlages.

4.5 Seefüllstand in Abhängigkeit von Niederschlag, Temperaturen und Wasserentnahmen

Aus den Aufzeichnungen während des Jahres 2024 geht hervor, dass der Seespiegel während der Schneeschmelze rasch angestiegen ist und Ende Mai 2024 sein Maximum erreicht hat. Der See war zu diesem Zeitpunkt voll gefüllt. Der Anteil der Zuflüsse aus dem Einzugsgebiet gegenüber dem Anteil der direkt auf den See fallenden Niederschläge beträgt mindestens 25:1

Anschliessend erfolgte eine kontinuierliche Abnahme des Seespiegels bis Ende November 2024 auf eine Höhe nahe dem Seegrund. Die Abnahme wird auf Versickerung

und Verdunstung zurückgeführt. Niederschläge waren in der Zeit zwischen Juli und Dezember 2024 nur sehr spärlich zu verzeichnen und wirkten sich kaum auf die Abnahme des Seespiegels aus. Die zugehörige Volumenabnahme von rund 90'000 m³ entspricht einer Verdunstungs- und Versickerungsmenge von mindestens 420 l/min gemittelt über die gesamte Zeit der Volumenabnahme. Dabei zeigt sich, dass die Versickerungsmengen bei hohem Wasserstand um 600 l/min und bei tiefem Wasserstand um 300 l/min liegen.

Die berechneten Verdunstungs- und Versickerungsmengen sind damit im Jahr 2024 etwa doppelt so hoch wie seinerzeit in der Machbarkeitsstudie geschätzt [6]. Es kann sein, dass die Durchlässigkeit aufgrund des 100-jahre trockenen Seegrundes erhöht ist und in der Zukunft wieder abnehmen wird.

Die Durchlässigkeit des Seeuntergrundes kann mit diesen Beobachtungen auf einen k-Wert von $1 - 5 \times 10^{-7}$ m/s geschätzt werden. Dies entspricht einer mässig hohen Durchlässigkeit etwa eines feinen siltigen Sandes und ist für einen Speichersee recht hoch.

4.6 Abfluss Fischgewässer Sperre 57

Im Umweltverträglichkeitsbericht vom 10. Juni 2021 [4] wurde in Bezug auf die Restwassermengen im Lüscherbach das folgende festgehalten:

Der Stollen des Lüschersees wird geschlossen und das gesamte Wasser aus dessen Einzugsgebiet kann darin zurückgehalten werden. Die Restwassermengen im Lüscherbach werden dadurch nicht tangiert.

Die Erstfüllung des bestehenden Speichersees kann jeweils zwischen dem 1. März und 31. Juli ab der bestehenden Fassung am Lüscherbach erfolgen. Bedingung dafür ist, dass auf Höhe des Fischgewässers (Sperre 57, 1'560 m.ü.M.) der Abfluss > 60 l/s beträgt.

Die Abflusswerte beim Stollen des Lüschersees aus den Jahren 2018, 2019 und 2020 zeigten Abfluss-Spitzen zwischen 10 und 60 l/s. Dies entspricht auf Höhe des Fischgewässers unter Berücksichtigung des Zwischeneinzugsgebietes Abflüssen zwischen 25 und 150 l/s. Somit wurde bisher davon ausgegangen, dass bei einer entsprechend starken Schneeschmelze genügend Wasser abfließt, damit zwischen dem 1. März und 31. Juli der Speichersee gefüllt werden kann.

Die Abflussmessungen bei der Sperre 57, welche seit dem 24.12.2021 durchgeführt werden, zeigen gegenüber der damaligen Schätzung tiefere Abflussmengen.

In der Zeit zwischen 1. März und 31. Juli wurden die folgenden Abflussmengen beobachtet (Anhang 13):

2022: 5...30 l/s

2023: 5...35 l/s

2024: 10...100 l/s, über 60 l/s 08.04. - 21.04.2024 und 31.05 – 11.06.2024

Somit wäre eine Füllung des bestehenden Speichersees – bei gleichzeitigem Schliessen des Stollens des Lüschersees - im Jahre 2024 nur zwischen dem 08.04 und 21.05.2024 sowie zwischen dem 31.05. und 11.06.2024 möglich gewesen.

Die Abflüsse in den Jahren 2022 und 2023 waren ausserordentlich tief. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei «normalen» Schneemengen im Winter und einem durchschnittlich «nassen» Sommer im Lüscherbach auch zukünftig genügend Wasser zur Füllung des bestehenden Speichersees und gleichzeitig zur Einhaltung der Restwassermenge zur Verfügung stehen sollte.

5 Schlussfolgerungen nach 3 Jahren Testphase

Die Versuchsphase für den Wiederaufstau des Lüschersees war für drei Jahre nach dem Einstau des Lüschersees vorgesehen, mit Option auf Verlängerung um 2 weitere Jahre, wenn die Überwachungsdaten nicht schlüssig beantwortet werden können.

Der Wiederaufstau erfolgte im Herbst 2021, so dass Ende 2024 die vorgesehenen 3 Versuchsjahre erreicht sind.

Das Ziel der Überwachung lag insbesondere in der Kontrolle der Geländebewegungen, wo nach dem Sicherheitskonzept gemäss Anhang 2 [2] die folgenden Grenzwerte der Bewegungs-Geschwindigkeiten festgelegt wurden:

- a. **Einstauversuch** 3 Jahre, Verlängerung auf 5 Jahre, wenn der Schwellenwert nach 3 Jahren Versuchsdauer erreicht ist
- b. **Schwellenwert** nach 3 Jahren Versuchsdauer (Mittelwert über 3 Jahre):
5.5 – 5.99 cm/Jahr
- c. **Alarmwert** Bewegungsanstieg innert eines Jahres (gleitendes Jahresmittel):
6 cm/Jahr
- d. **Aufmerksamkeitswert** Bewegungsanstieg innert eines Monats (gleitendes Monatsmittel):
10 cm/Jahr
- e. **Grenzwert** Bewegungsanstieg innert eines Monats (gleitendes Monatsmittel):
20 cm/Jahr

Der **Schwellenwert** nach 3 Jahren Versuchsdauer wurde nicht erreicht.

Der **Alarmwert** wurde innerhalb der 3 Jahren Versuchsdauer nicht erreicht.

Der **Aufmerksamkeitswert** wurde im Jahr 2024 bei den Messstellen HB01 und HB02 temporär überschritten (10.8 cm/Jahr resp. 13.3 cm/Jahr). Die Beurteilung (Kap. 4.1.1) kommt zum Schluss, dass die damaligen stärkeren Niederschläge in der ersten Jahreshälfte zusammen mit der Schneeschmelze für die Überschreitung des Aufmerksamkeitswertes verantwortlich sind. Der Seespiegel hat nach unserer Beurteilung keinen Einfluss auf die Bewegungsgeschwindigkeiten.

Der **Grenzwert** wurde bei weitem nie erreicht.

Bezüglich der Quellerträge bei den Quellen Brandegga und Wana sind keine Ertragsverminderungen festzustellen.

Wir kommen zum Schluss, dass die dreijährige Versuchsdauer für den Wiederaufstau des Lüschersees ausreicht und keine Verlängerung notwendig ist.

Sachbearbeitung:

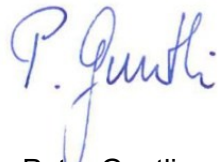
- Andreas Handke, dipl. natw. ETH/Geologe
- Niccolo Hartmann, Dr. sc. ETH Zürich, Umwelt-Naturwissenschaften (Kap. 4.6)

7000 Chur, den 15.04.2025

SC+H Sieber Cassina + Handke AG



Andreas Handke



Peter Guntli

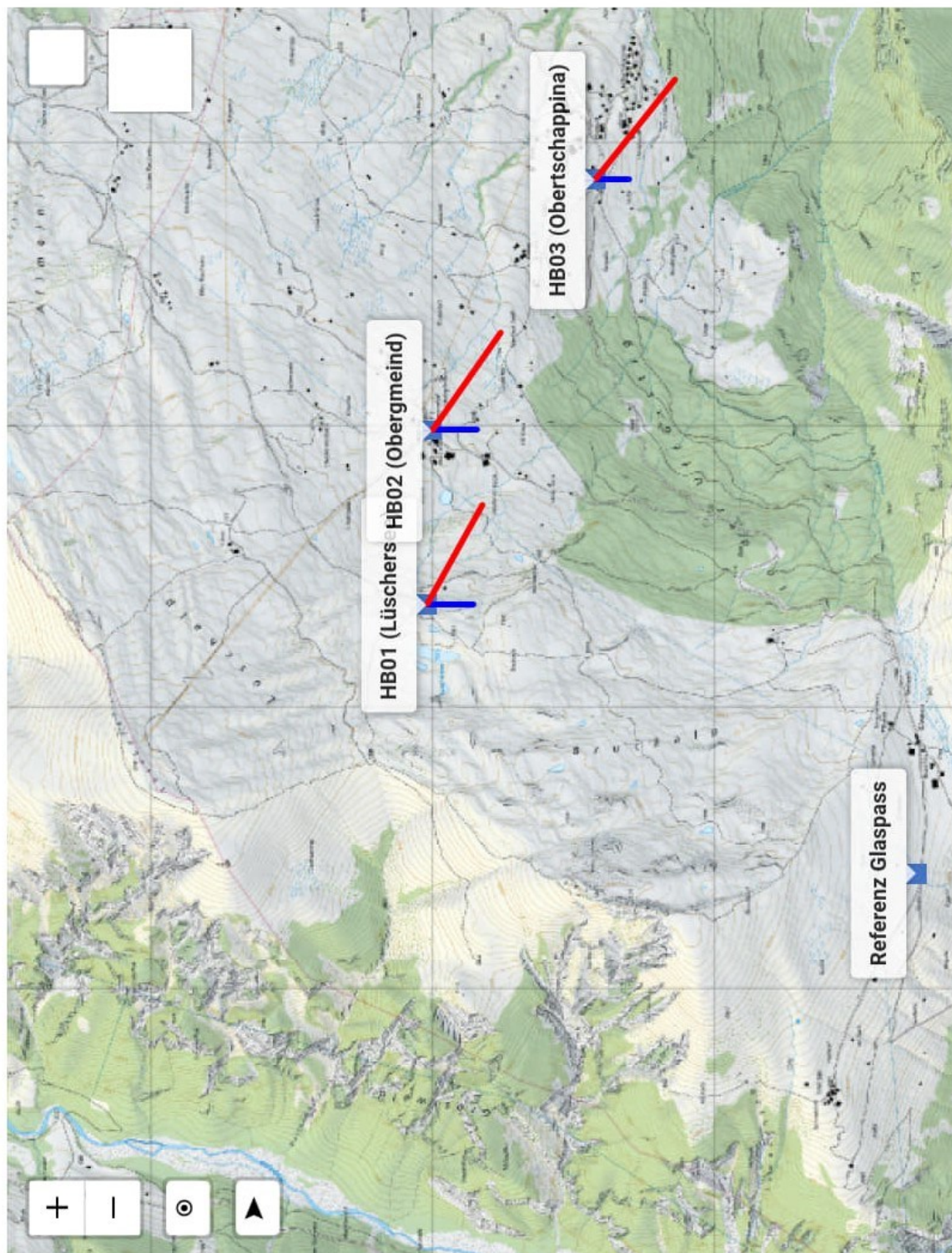
Anhang 1: Betriebskonzept gemäss [3] aktualisiert

	Massnahmen vor dem Aufstauversuch	Termin	Zuständigkeit	erledigt
1	kontinuierliche tägliche Bewegungsmessungen an den Standorten HB01 HB02 HB03	ab November 2017	Grünenfelder	ab 07.11.2018
2	Installation und Nullmessung an 7 weiteren Beobachtungspunkten für periodische	Sommer 2021	Grünenfelder	22.10.2021
3	Installation und kontinuierliche Seestandsmessung	Sommer 2021	Standfest	25.04.2023
4	kontinuierliche Abflussmessungen Stollenende mit Messquerschnitt	seit Oktober 2017	SC+H	10.10.2017-25.09.2021
5	Installation und kontinuierliche Abflussmessung im Armaturenschacht (Ersatz von	Sommer 2021	Standfest	27.11.2022
6	Messung mit Messquerschnitt am Stollenende)			
	Installation und kontinuierliche Wettermessung (Niederschlag, Verdunstung)	Sommer 2021	Standfest	17.11.2021 ohne Verdunstung
7	Abflussmessungen Lüscherbach nach Bedarf	seit August 2019	SC+H	ab 24.12.2021 Sperre 57
8	Installation und kontinuierliche Quellüberwachung	Sommer 2021	SC+H	monatliche Messung seit Juli 2022
9	Zustandsaufnahmen Liegenschaften Einsprecher	Sommer 2021	Grünenfelder	02.11.2021
	Massnahmen während dem Aufstauversuch			
1	Weiterführung kontinuierliche tägliche Bewegungsmessungen an den Standorten HB01 HB02 HB03	bis Versuchsende	Grünenfelder	bis Mitte Januar 2025
2	Weiterführung periodische Bewegungsmessungen an 7 weiteren Beobachtungspunkten (vierteljährlich im ersten Versuchsjahr, danach jährlich, bei unvorhergesehenem Bewegungsanstieg wieder häufiger))	+2 Jahre	Grünenfelder	19.05.2022, 23.08.2022, 28.11.2022, 11.09.2024
3	Weiterführung kontinuierliche Seestandsmessung	bis Versuchsende	SC+H	bis 31.12.2024, ohne Verdunstung
5	Weiterführung kontinuierliche Abflussmessung im Armaturenschacht (Ersatz von Messung mit Messquerschnitt am Stollenende)		SC+H	bis 28.02.2025
6	Weiterführung kontinuierliche Wettermessung (Niederschlag, Verdunstung)		SC+H	bis 31.12.2024, ohne Verdunstung
7	Weiterführung Abflussmessungen Lüscherbach nach Bedarf		SC+H	bis 28.02.2025 Sperre 57
8	Weiterführung kontinuierliche Quellüberwachung		SC+H	bis Februar 2025
9	Weiterführung Zustandsaufnahmen Liegenschaften Einsprecher	nach 3 und 5 Jahren	Grünenfelder	kein Bedarf
10	Überwachung Zustand Lüscherbachgerinne nach Notablass und nach Hochwasserereignissen		SC+H	kein Bedarf

Anhang 2: Sicherheitskonzept gemäss [3]

Einstauversuch 3 Jahre		Verlängerung Einstauversuch auf 5 Jahre, wenn der Schwellenwert nach 3 Jahren Versuchsdauer erreicht ist
Beobachtungswerte		
Grenzwert Bewegungsanstieg innert eines Monats		20 cm/Jahr
Aufmerksamkeitwert Bewegungsanstieg innert eines Monats		10 cm/Jahr
Alarmwert Bewegungsanstieg innert eines Jahres		6 cm/Jahr
Schwellenwert Bewegungsanstieg nach 3 Jahren Versuchsdauer		5.5 - 5.99 cm/Jahr
Aktion	Zuständigkeit	Massnahmen
System bestimmt gleitende Mittel jeden Tag (30 Tage, 365 Tage)	Grünenfelder: Systembetrieb	
System meldet Beobachtungswert-Überschreitung	SC+H: Entgegennahme Bobachtungswert-Überschreitung und Situations-/Massnahmenanalyse	Situations-/Massnahmenanalyse
	Skilifte Tschappina-Lüscher-Urmein: Entgegennahme Bobachtungswert-Überschreitung	Information an Amt für Wald und Naturgefahren Information an Gemeinde
Massnahmenbeschluss	SC+H: Beschlussantrag Skilifte Tschappina-Lüscher-Urmein: Beschlussfassung: Amt für Wald und Naturgefahren: Anhörung	Betriebsanpassungen Reduktion Wasserspiegelhöhe vollständige Entleerung des Sees Abbruch des Versuches Rückbau der Versuchseinrichtungen
Durchführung der Massnahmen	Skilifte Tschappina-Lüscher-Urmein SC+H	gemäss Massnahmenbeschluss
Wirkungskontrolle	SC+H Skilifte Tschappina-Lüscher-Urmein	Weiterführung des Versuches Massnahmenverschärfung Weiterführung der Bewegungsmessungen Information an Amt für Wald und Naturgefahren Information an Gemeinde

Anhang 3: Kontinuierliche Verschiebungsmessungen, Lage der Messstellen HB01 – HB03 und Referenzstation

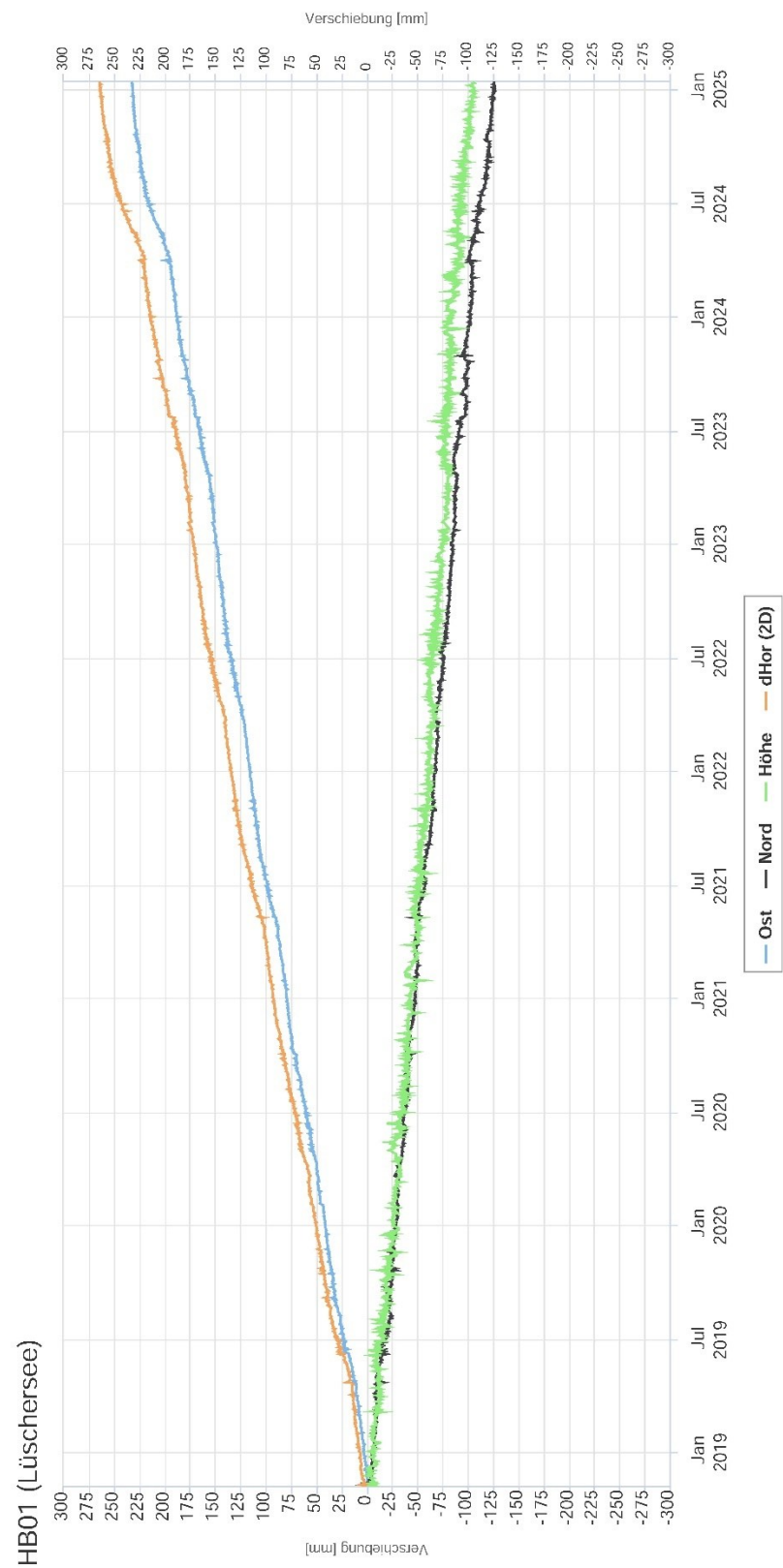


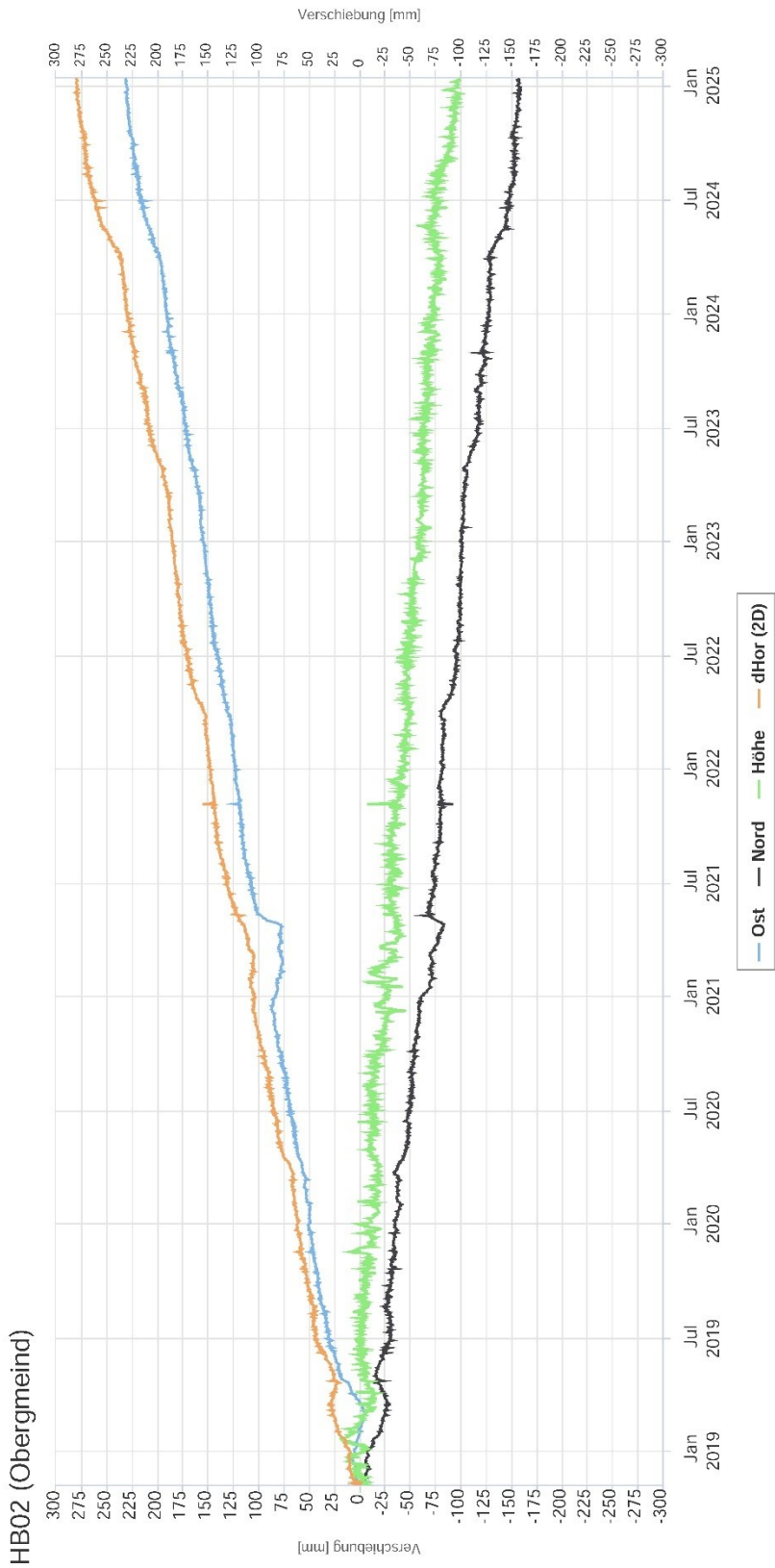
Rote Linien = Verschiebungsvektoren horizontal aus Komponenten dL ($\pm$ =Richtung Ost) und dQ ($\pm$ = Richtung Nord) der Datentabelle Anhang 7

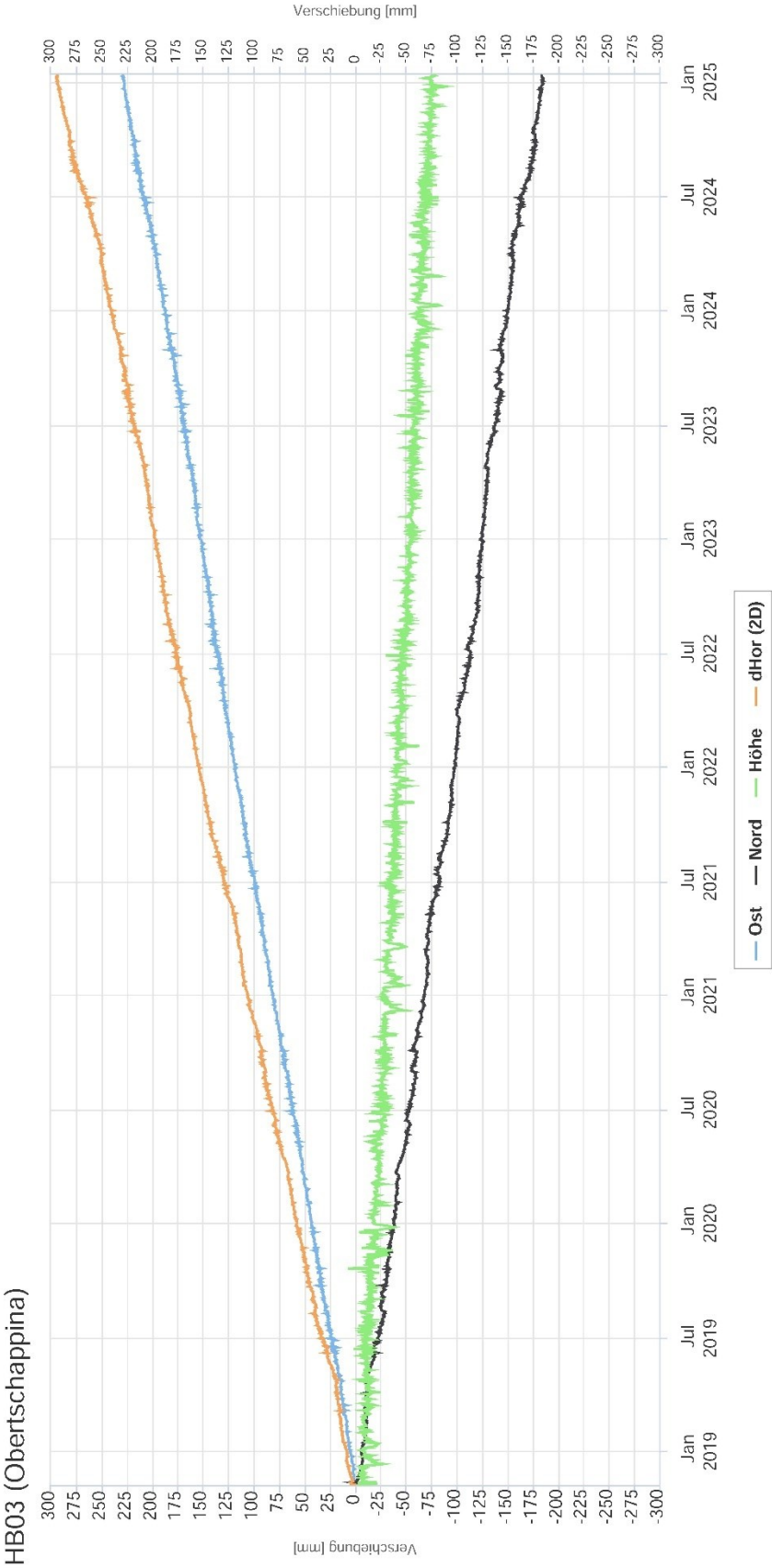
Blaue Linien = Verschiebungsvektoren vertikal aus Komponenten dH der Datentabelle Anhang 7

07.11.2018 – Mitte Januar 2025 (nicht massstäblich)

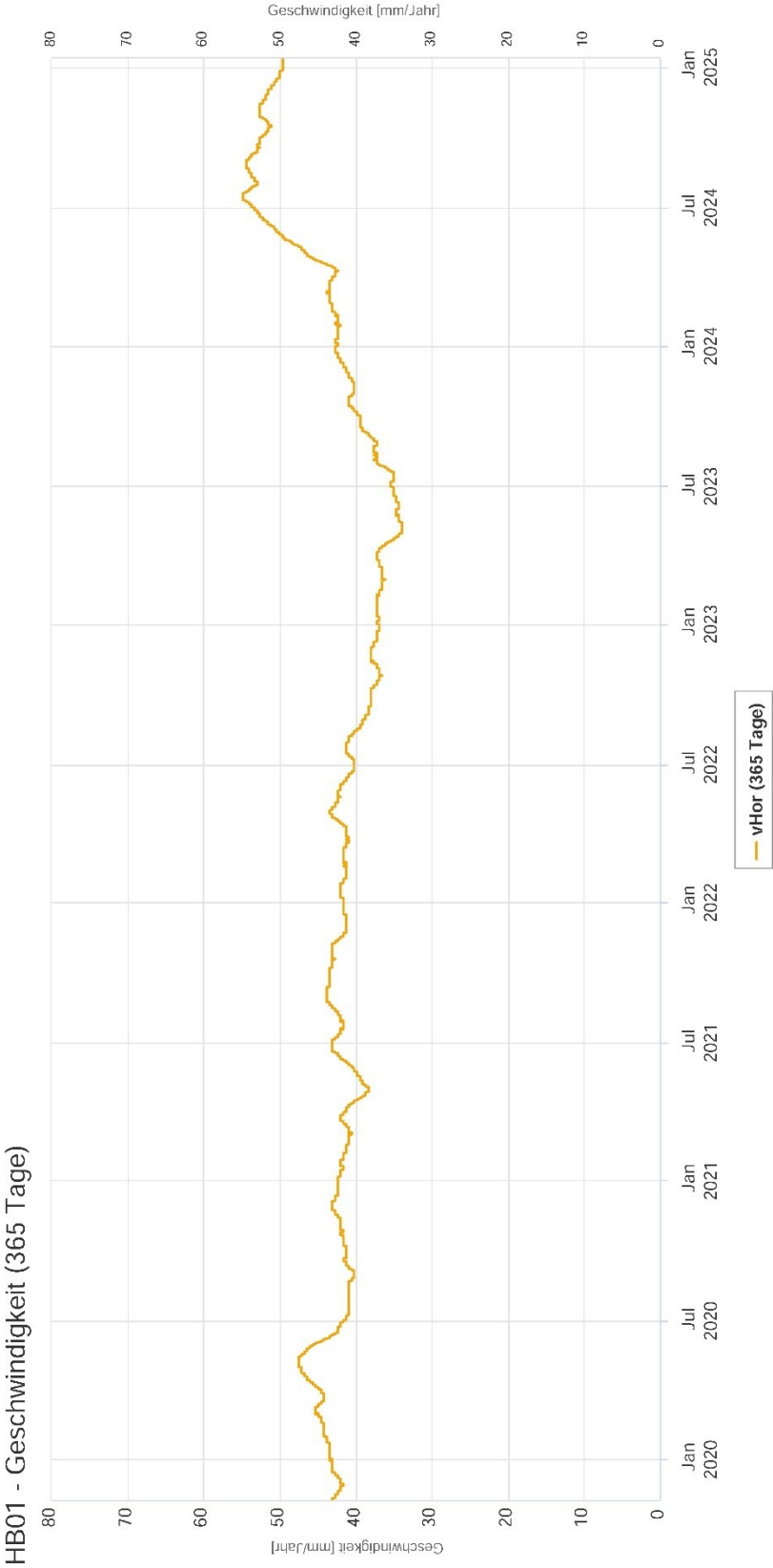
Anhang 4: Kontinuierliche Verschiebungsmessungen, kumulierte Verschiebung 07.11.2018 –
Mitte Januar 2025

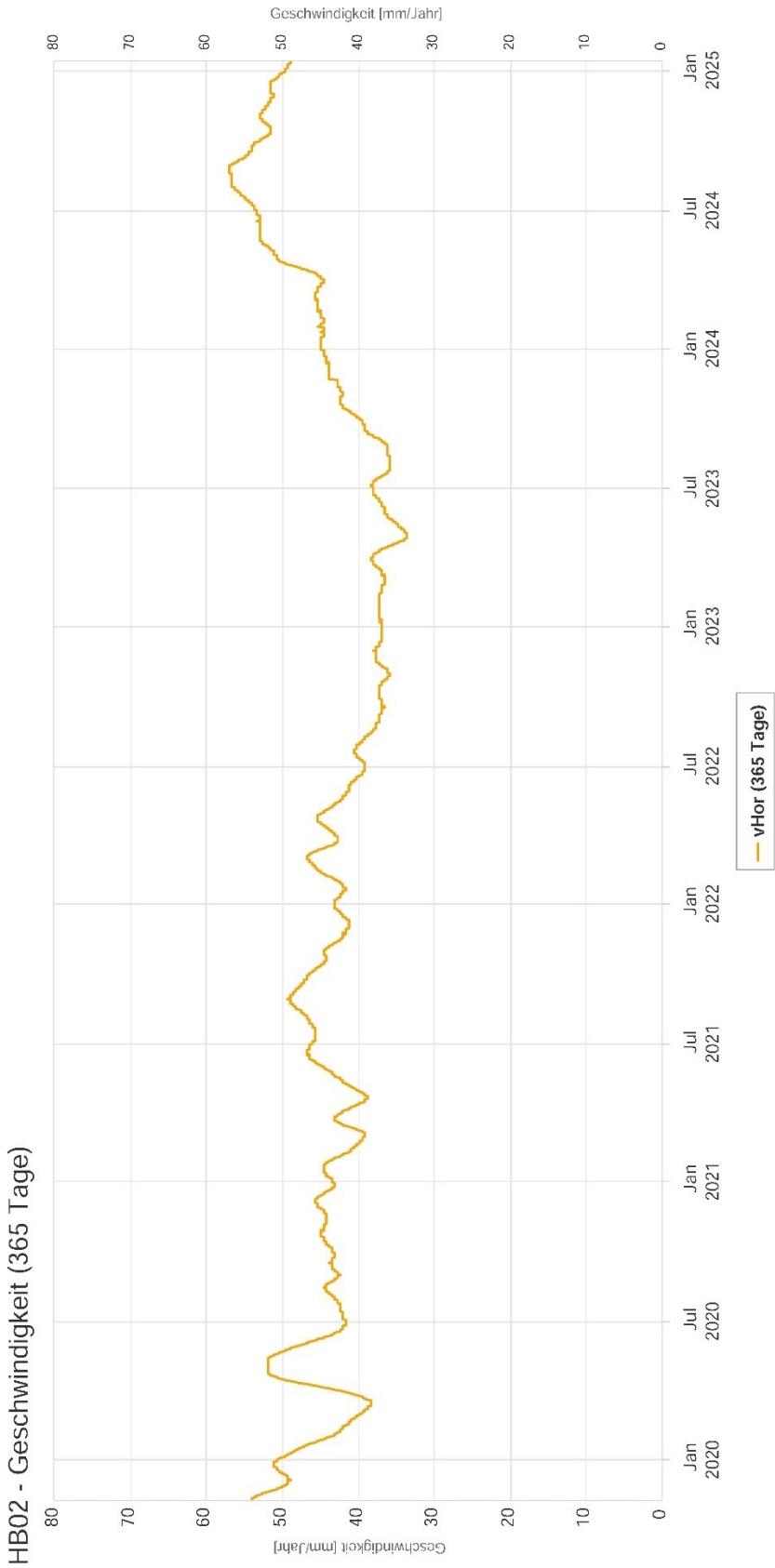


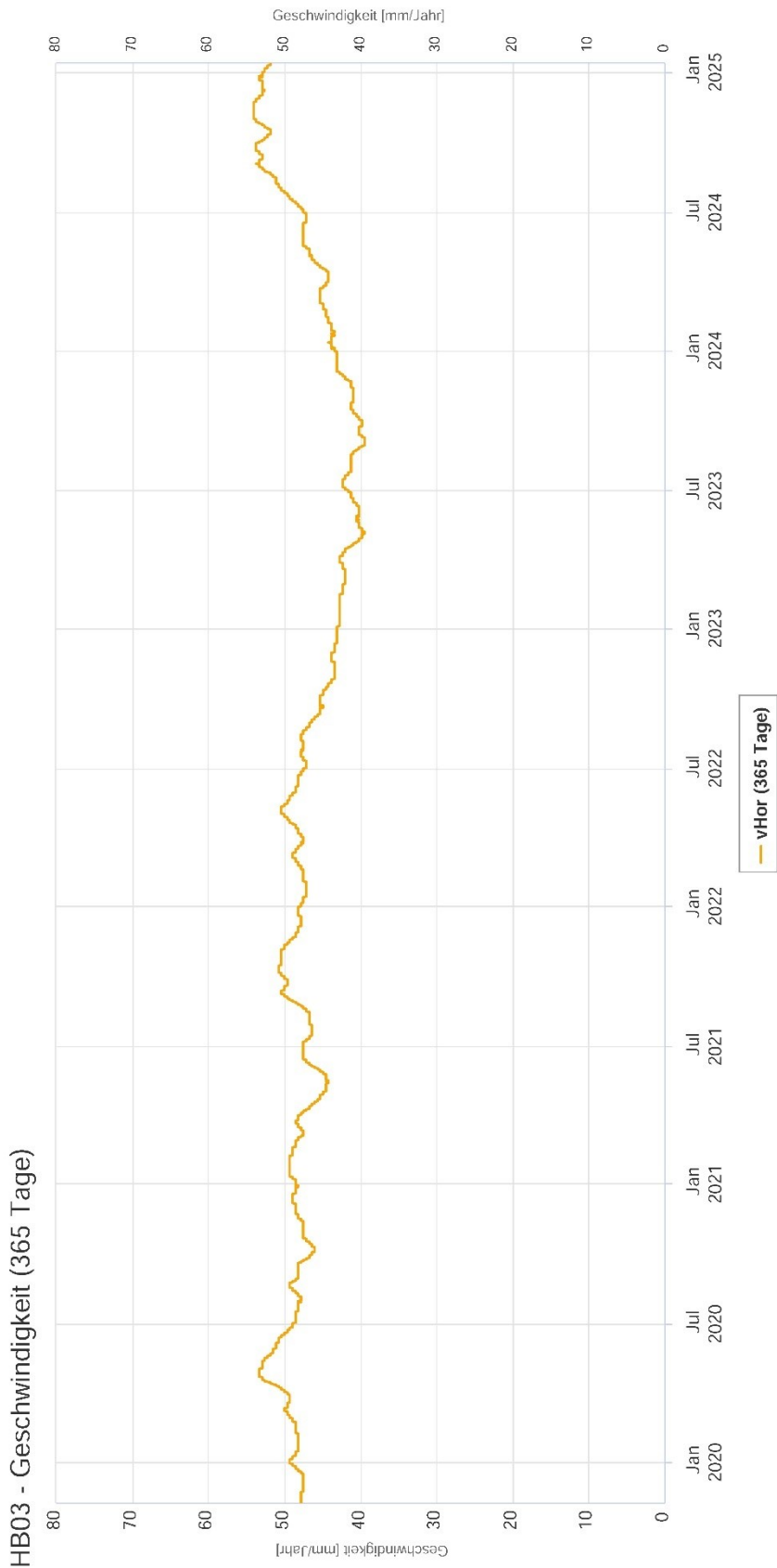




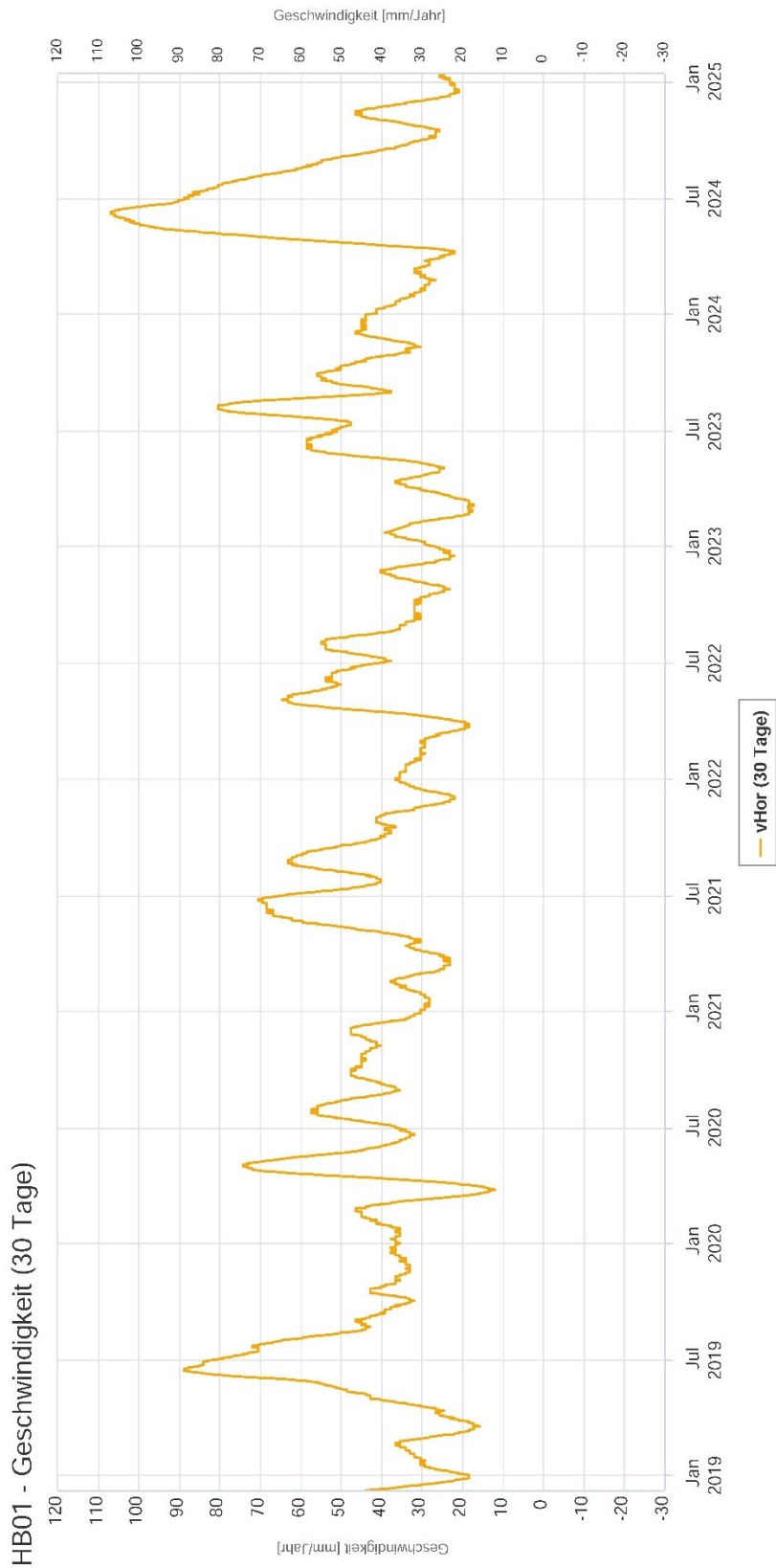
Anhang 5: Kontinuierliche Messungen der Geschwindigkeit (horizontale Bewegungen): gleiten-
des Jahresmittel 07.11.2019 – Mitte Januar 2025

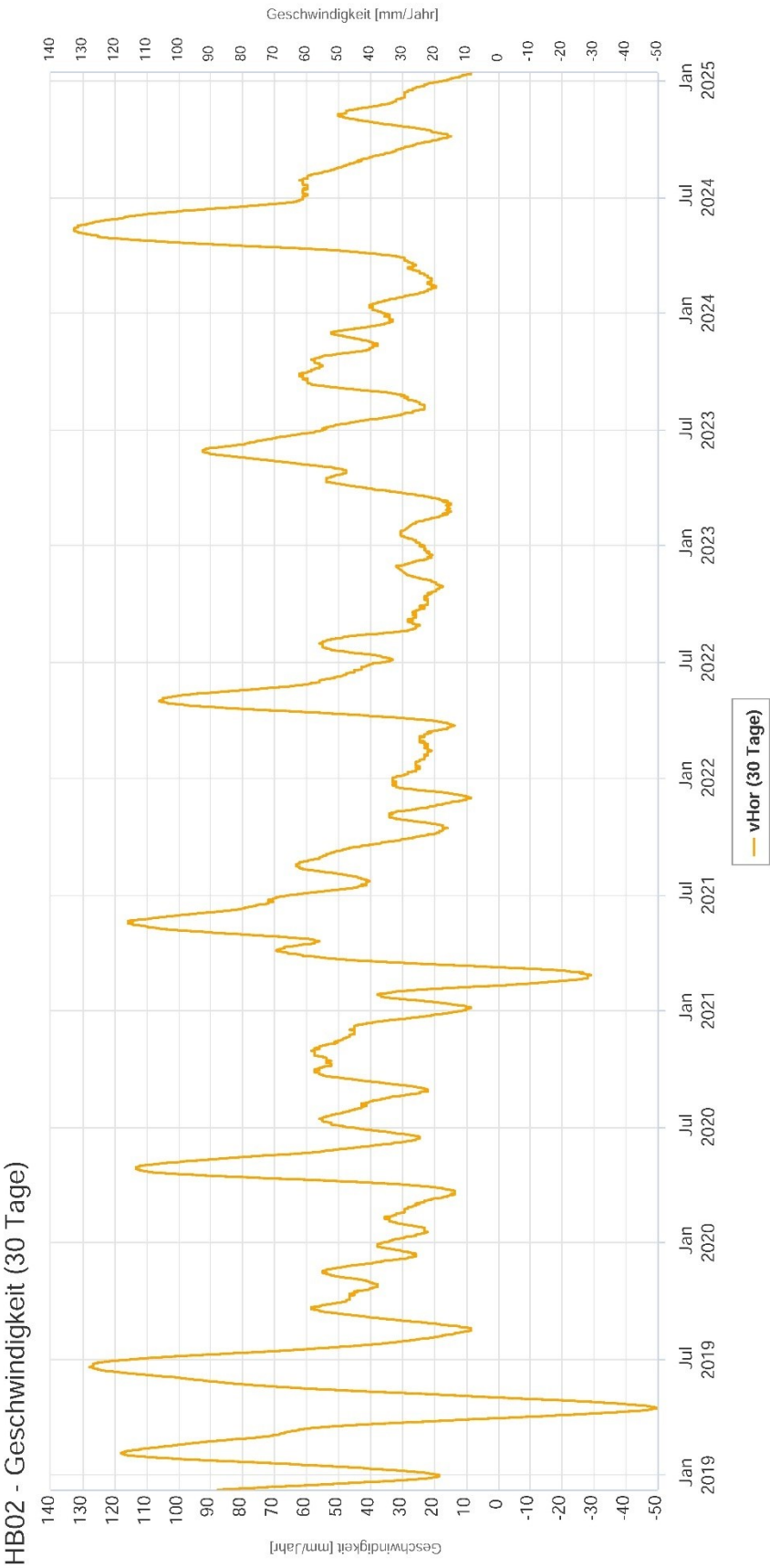


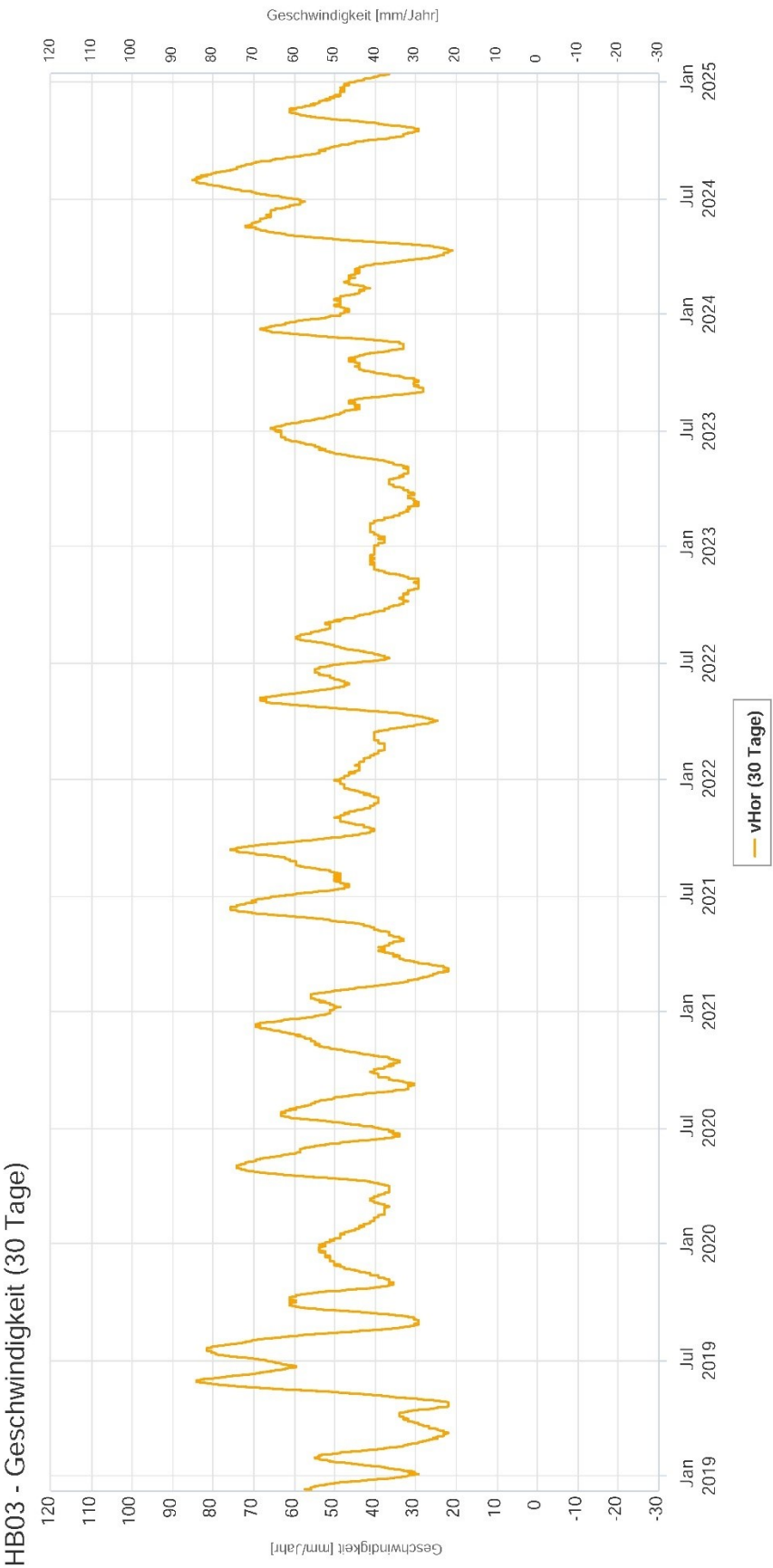




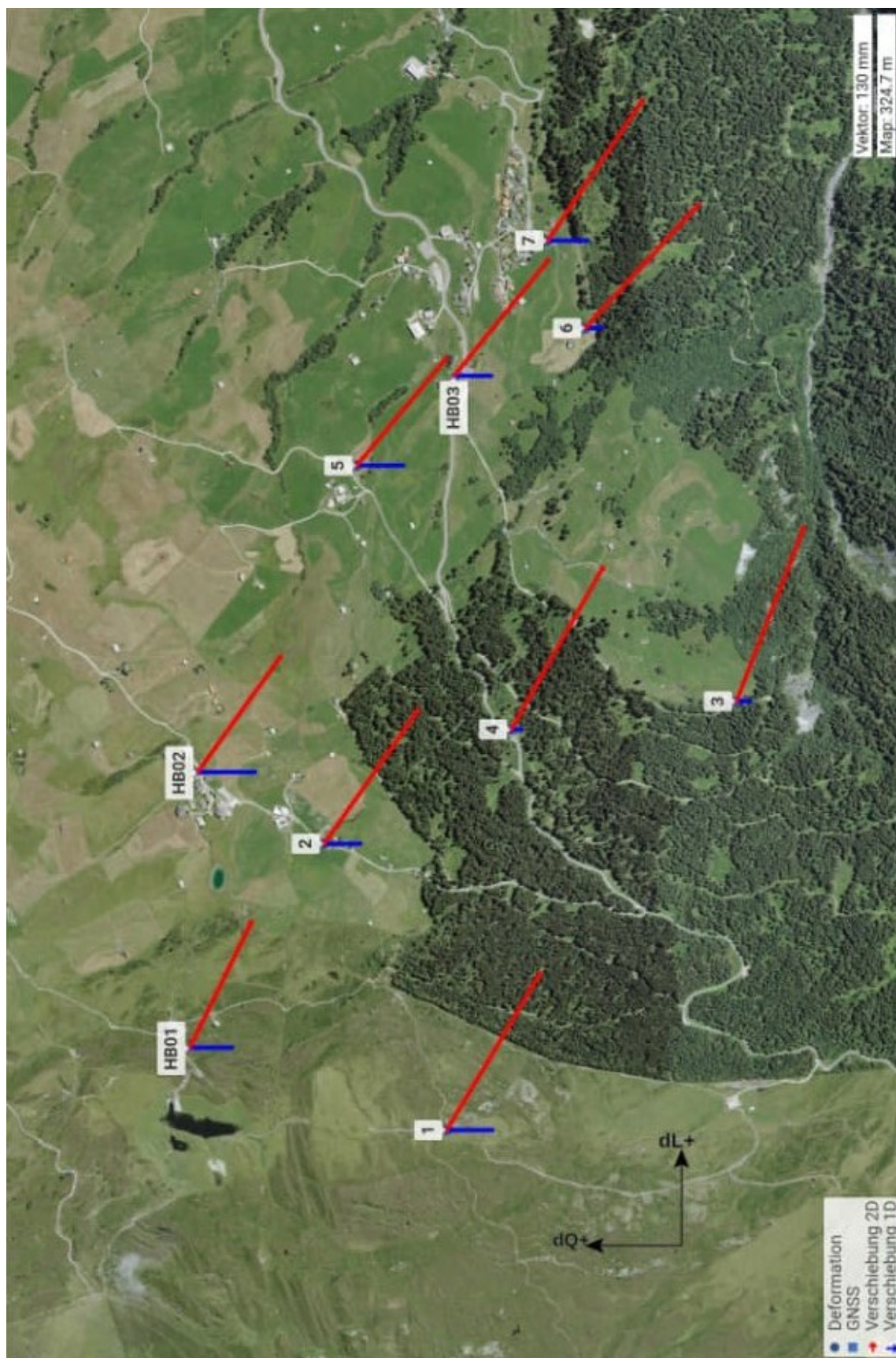
Anhang 6: Kontinuierliche Messungen der Geschwindigkeit (horizontale Bewegungen):
gleitendes Monatsmittel 07.11.2018 – Mitte Januar 2025







Anhang 7: Periodische Verschiebungsmessungen, 22.10.2021 – 11.09.2024 (Messdaten graphisch und tabellarisch)



Differenzen

Einheit der Differenzen [mm]
Abweichungen in der Summenbildung der Differenzen können aufgrund von Rundungen im 1mm-Bereich vorkommen.

	Nullmessung	Verschiebungen				Verschiebungen								Verschiebungen				Verschiebungen												
		23.08.2022				28.11.2022								09.08.2023				11.09.2024												
		zur ersten				zur vorherigen				zur ersten				zur vorherigen				zur ersten												
		dL	dQ	dH	d2D	dL	dQ	dH	d2D	dL	dQ	dH	d2D	dL	dQ	dH	d2D	dL	dQ	dH	d2D									
1		22.10.2021	27	-9	-31	28	11	-2	-1	11	38	-11	-32	40	19	-12	-2	22	57	-23	-34	61	84	-61	-7	104	141	-84	-41	164
2		22.10.2021	38	-14	3	40	8	-26	-30	27	46	-40	-27	61	14	1	7	14	60	-39	-20	72	60	-45	-12	75	120	-84	-32	146
3		22.10.2021	30	2	13	30	45	-52	-34	69	75	-50	-21	90	16	29	13	33	91	-21	-8	93	65	-39	-4	76	156	-60	-12	167
4		22.10.2021	33	-15	21	36	-11	4	-33	12	22	-11	-12	25	30	-28	-10	41	52	-39	-22	65	94	-43	13	103	146	-82	-9	167
5		22.10.2021	32	-21	4	38	3	-13	-38	13	35	-34	-34	49	16	-8	16	18	51	-42	-18	66	45	-38	-24	59	96	-80	-42	125
6		22.10.2021	35	-14	-2	38	8	-29	-27	30	43	-43	-29	61	17	-7	14	18	60	-50	-15	78	51	-51	0	72	111	-101	-15	150
7		22.10.2021	57	-14	-5	59	0	-8	-20	8	57	-22	-25	61	17	-30	10	34	74	-52	-15	90	52	-33	-21	62	126	-85	-36	152
HB01		22.10.2021	29	-14	-8	32	7	-6	-9	9	36	-20	-17	41	23	-14	-6	27	59	-34	-23	68	54	-21	-15	58	113	-55	-38	126
HB02		22.10.2021	26	-18	-21	32	8	-4	1	8	34	-22	-20	40	22	-16	-14	28	56	-38	-34	68	48	-36	-17	60	104	-74	-51	128
HB03		22.10.2021	28	-24	-10	37	9	-7	-5	11	37	-31	-14	48	23	-17	-8	29	60	-48	-23	77	44	-36	-10	57	104	-84	-33	134

Anhang 8: Quellmengen-Messungen Quellen Brandegga und Wanna
Juli 2022 – Februar 2025

Messungen durch Stefan Föhn und Sabine , Obergmeind

Skilifte Tschappina-Lüschersee				Quellenmessungen während Versuchsphase Wiederaufstau Lüschersee	
Jahr		2022	Quelle Brandegga	Quelle Wanna	Witterung
Monat	Tag		l/min	l/min	
Juli	25		200	75	sonnig, heiss
August	23		171	60	wechselnd bewölkt
September	27		150	60	sonnig, warm
Oktober	20		133	55	bewölkt, kühl
November	11		120	50	Schleierwolken, warm
Dezember	16		150	50	Schleierwolken, kalt

Jahr		2023	Quelle Brandegga	Quelle Wanna	Witterung
Monat	Tag		l/min	l/min	
Januar	14		120	50	bewölkt, warm
Februar	19		120	55	wolkenlos, warm
März	21		120		wolkenlos, warm
April	22		133		
Mai	12		133		
Juni	21		120		
Juli	17		133		
August	19		133		
September	12		133		
Oktober	15		109		
November	24		133		
Dezember	18		133		

Jahr		2024	Quelle Brandegga	Quelle Wanna	Witterung
Monat	Tag		l/min	l/min	
Januar	18		120		Schneefall
Februar	23		120		windig, kalt
März	15		120		mild
April	26		150		kalt
Mai	10		150		nass, regnerisch
Juni	5		überläuft		

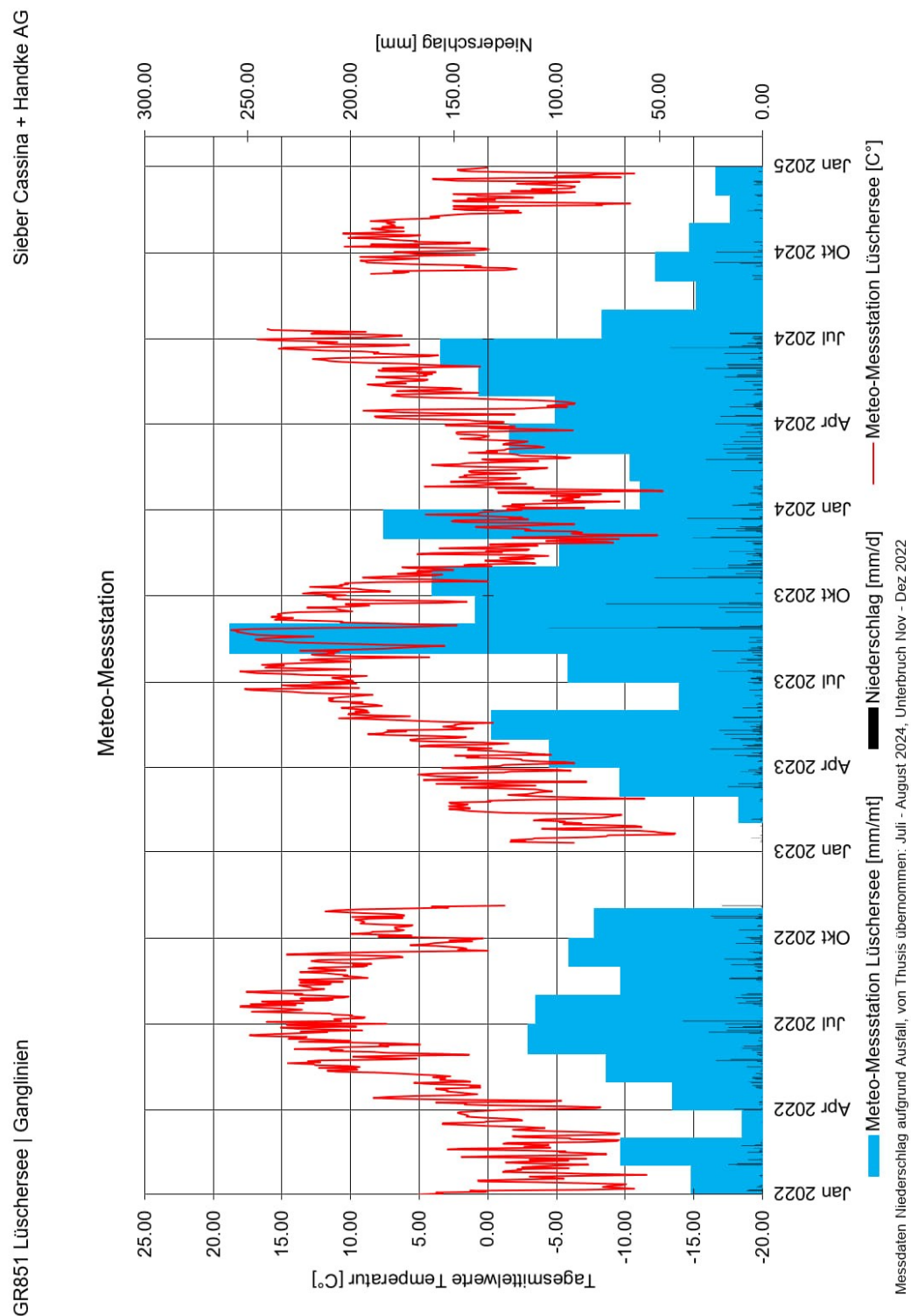
Messungen ausgeführt durch Herrn Stephan Föhn, Obergmeind

Skillifte Tschappina-Lüsch-Urmein				Quellenmessungen während Versuchsphase Wiederaufstau Lüschersee	
Juli		13	200	nass, Gewitter	
August		9	171	sonnig, warm	
September		20	133	Schneefall, Temperatursturz	
Oktober		11	120	Regen	
November		22	120	Schneefall	
Dezember		17	120		

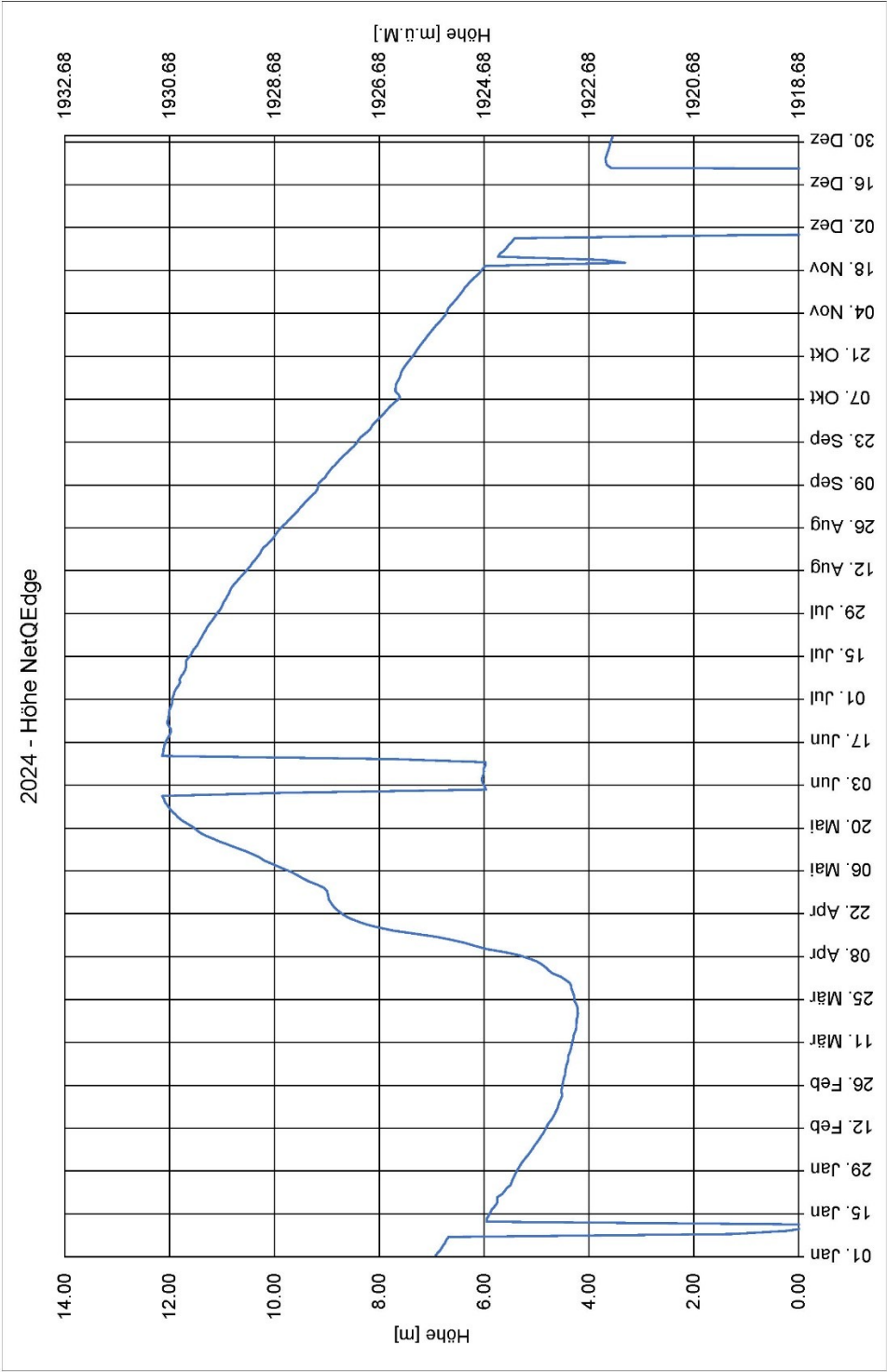
Jahr	2025	Quelle Brandegga	Quelle Wanna	Witterung	
Monat	Tag	l/min	l/min		
Januar	10	120			
Februar	13	120			
März					
April					
Mai					
Juni					
Juli					
August					
September					
Oktober					
November					
Dezember					

Messungen ausgeführt durch Herrn Stephan Föhn, Obergründ

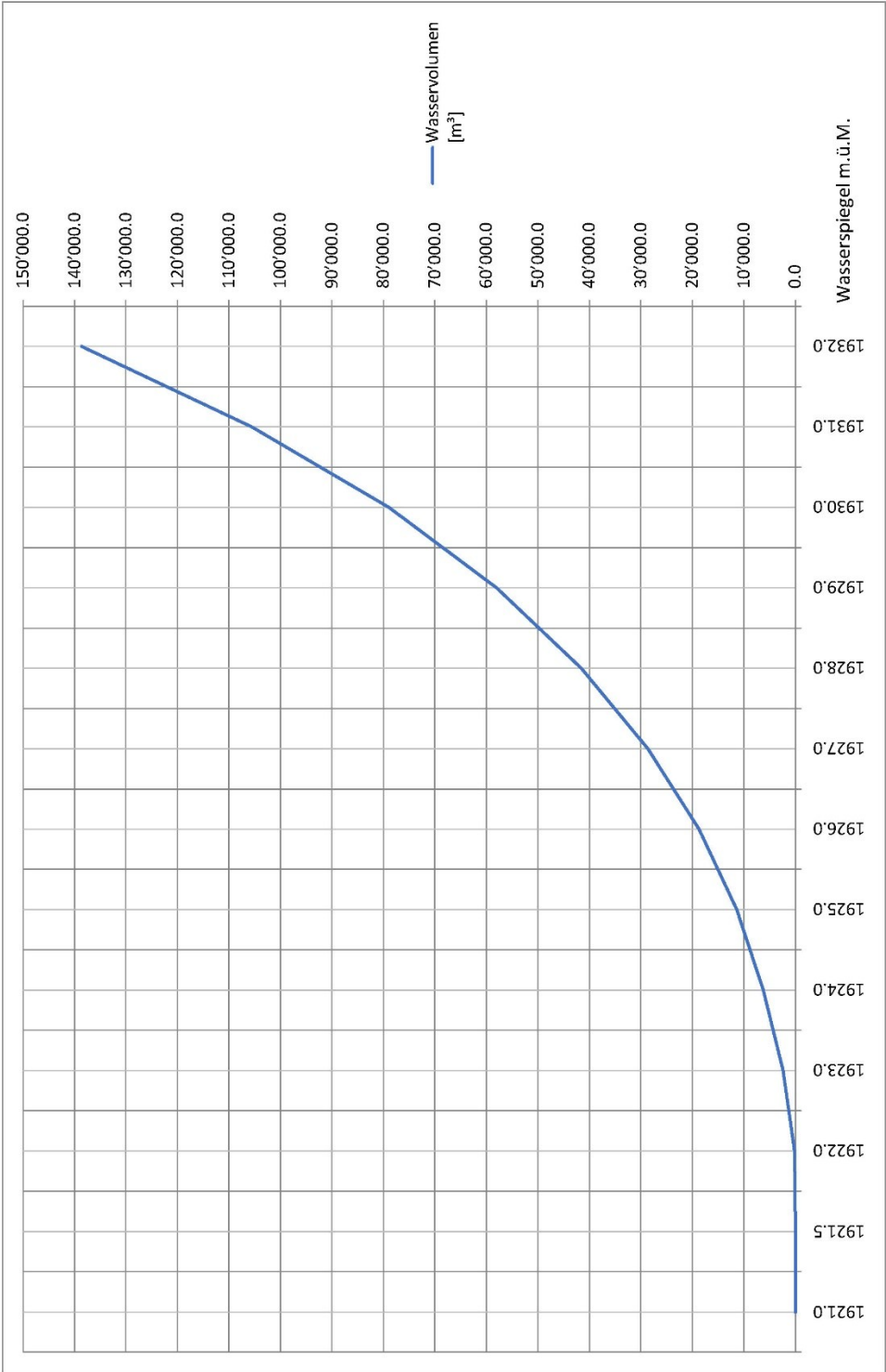
Anhang 9: Niederschlag und Lufttemperaturen 17.11.2021 – 31.12.2024



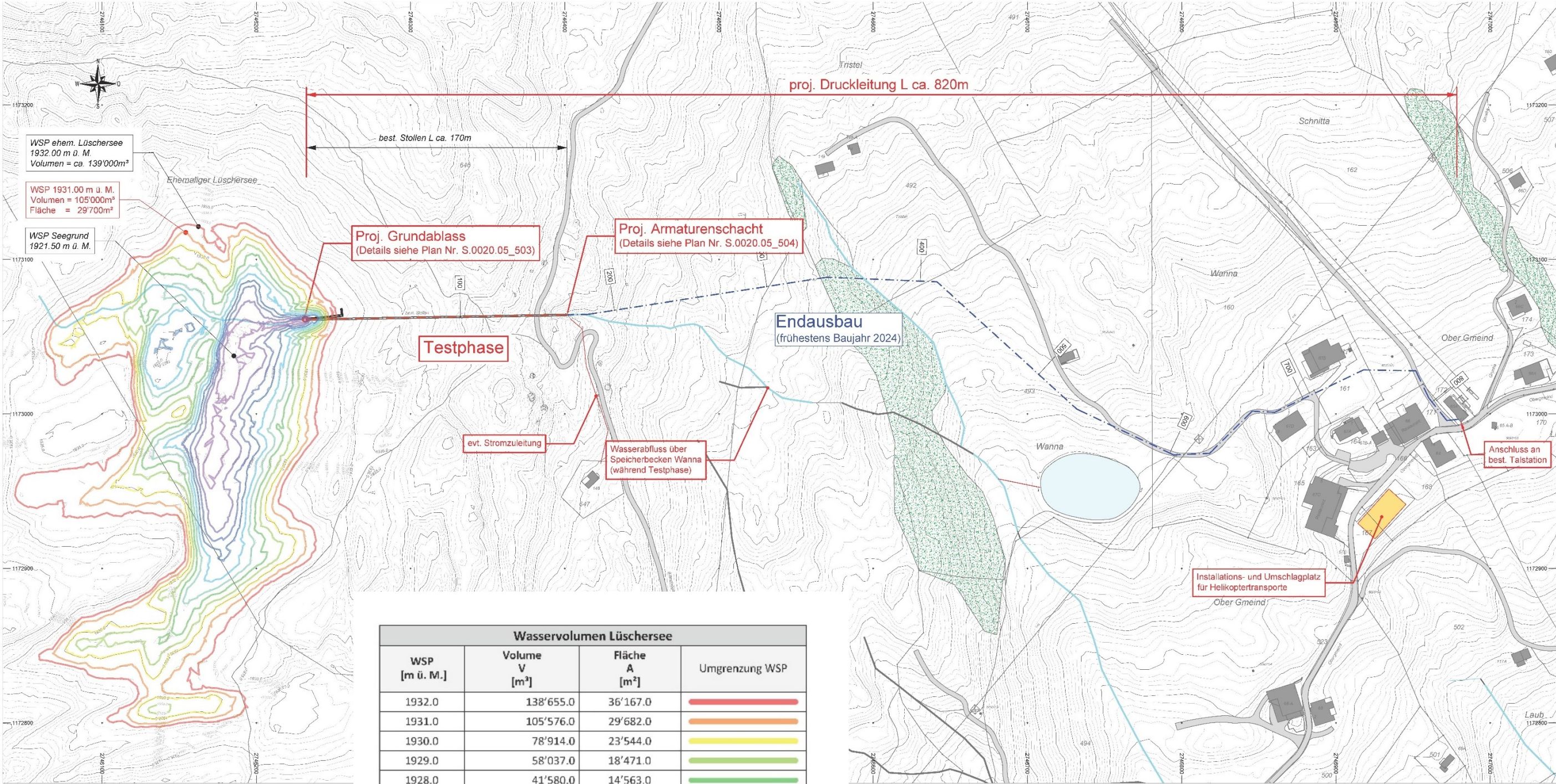
Anhang 10: Wasserstandsmessungen im See (Seefüllstand 01.01.2024 – 31.12.2024,
NetQEdge = Wasserstand über Messsonde im Armaturenschacht)



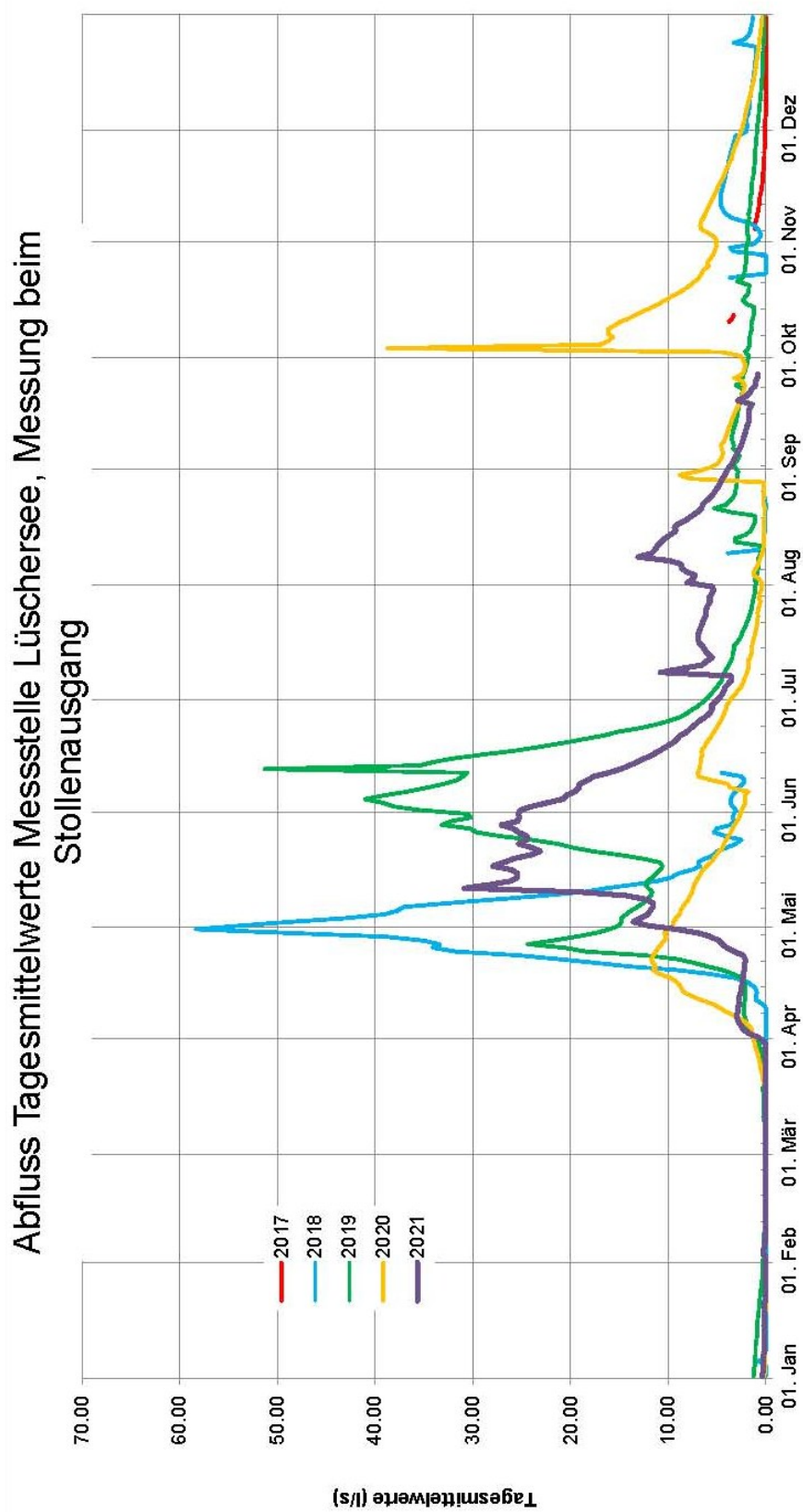
Anhang 10 (Teil 2): Zusammenhang Wasserspiegelhöhe und Wasservolumen im See



Anhang 10 (Teil 3): Berechnung Wasservolumen, Auszug aus Plan Standfest AG Nr. S.0020.05_521 vom 02.01.2024

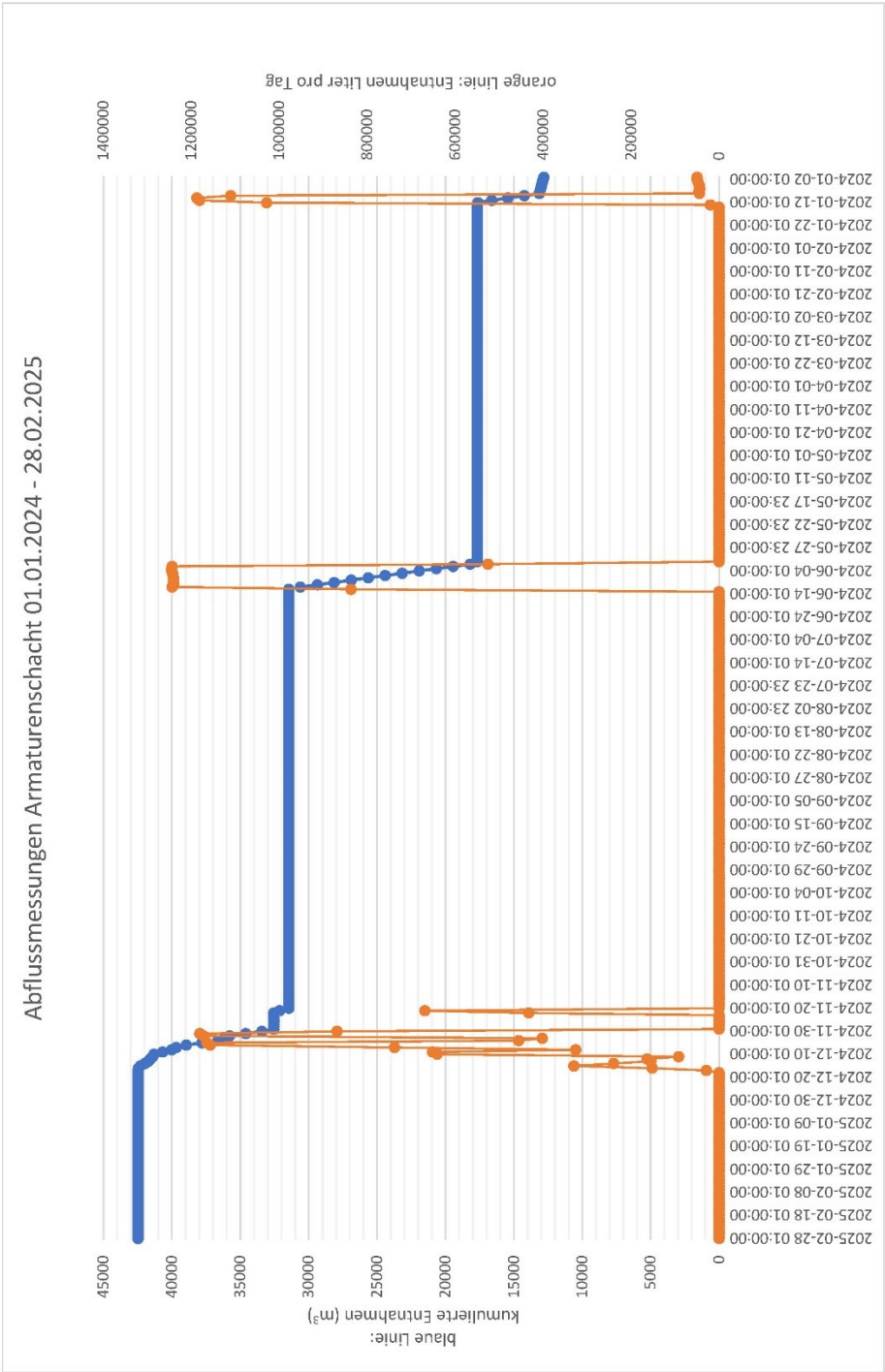


Anhang 11: Abflussmessungen Stollenausgang 10.10.2017 – 25.09.2021



Anhang 12: Abflussmessungen Armaturenschacht ab 01.01.2024 – 28.02.2025

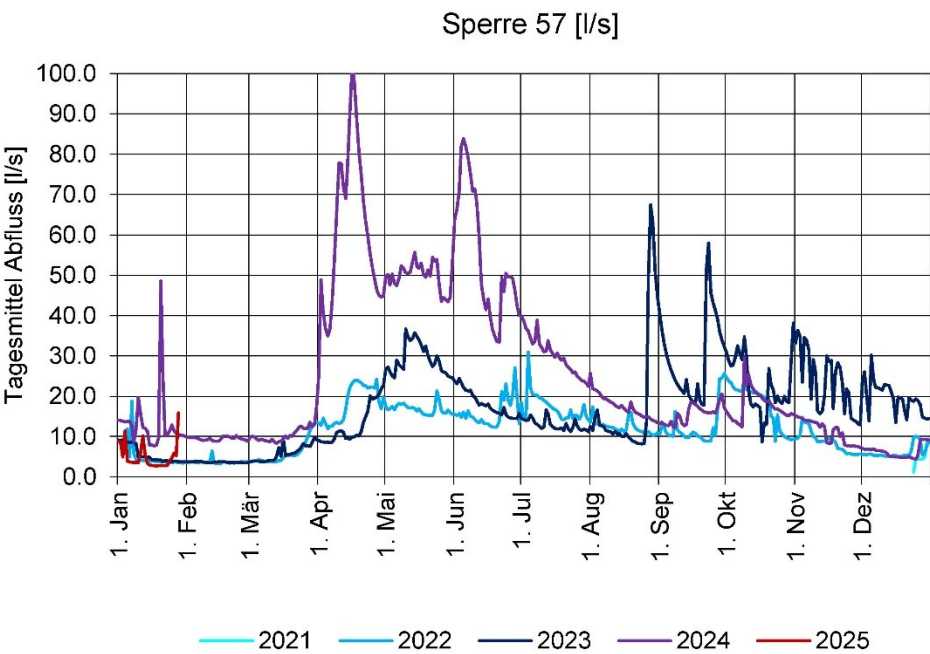
orange: Entnahmen (l pro Tag), blau: kumulierte Entnahmen (m³)



Anhang 13: Abflussmessungen Fischgewässer Sperre 57 ab 24.12.2021 – Ende Januar 2025

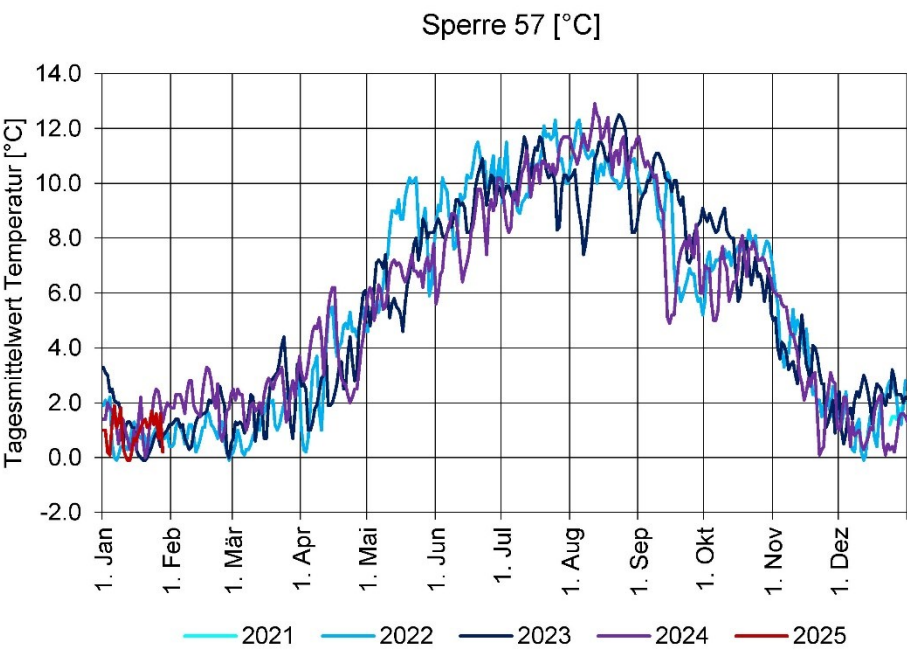
GR851 Lüschersee | Ganglinien

Sieber Cassina + Handke AG

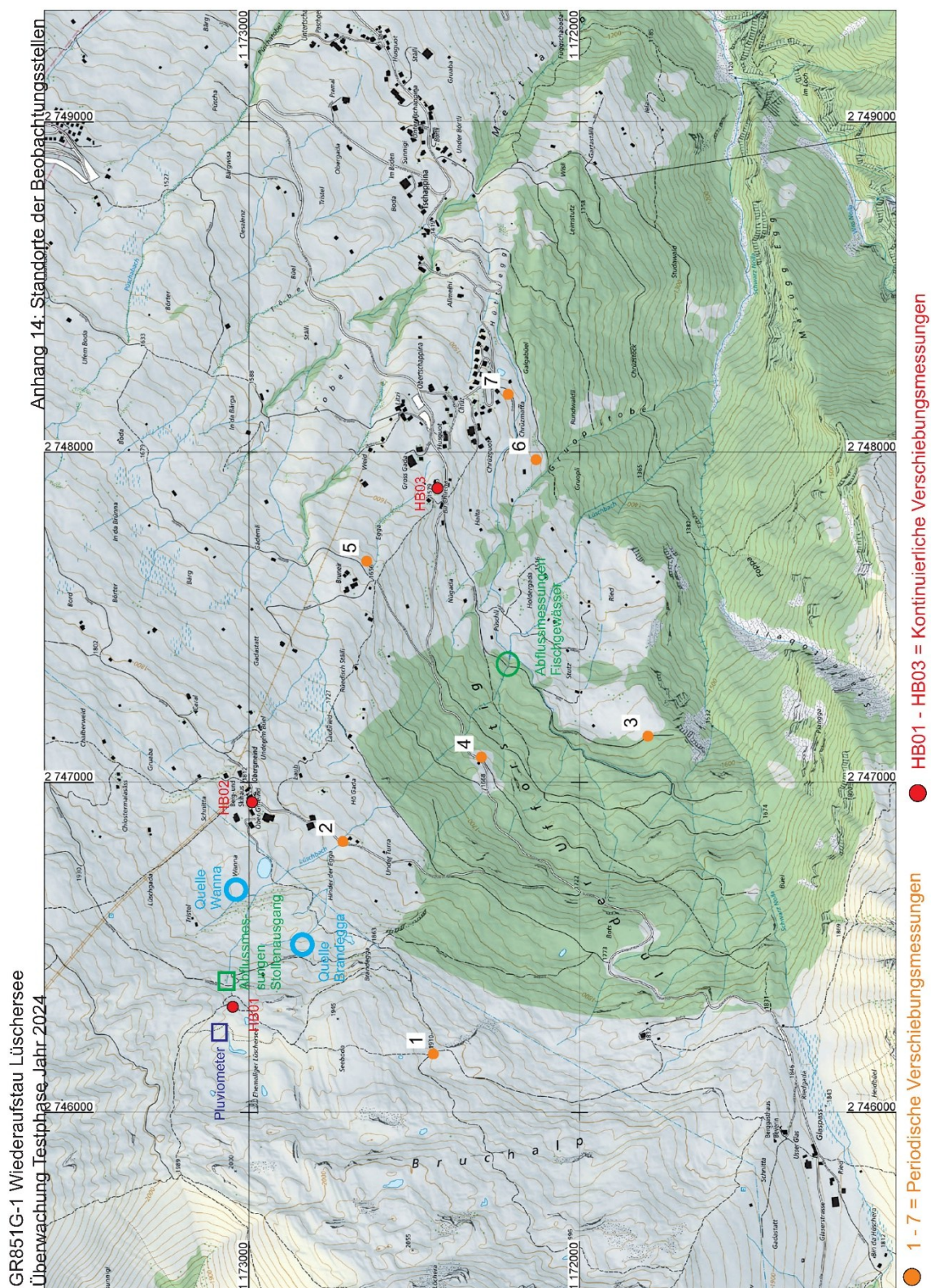


GR851 Lüschersee | Ganglinien

Sieber Cassina + Handke AG



Anhang 14: Standorte der Beobachtungsstellen



Anhang 15: Seismisches Experiment Heinzenberg und permanente seismische Station HELU am Lüschersee (Bericht ETHZ vom 19.02.2024)

Seismisches Experiment Heinzenberg und permanente seismische Station HELU am Lüschersee

Franziska Glueer & Donat Fäh 19.02.2024

Schweizerischer Erdbebendienst ETH Zürich

Ein grosses seismisches Experiment wurde im 2019 am Heinzenberg gemeinsam von ETH Zürich und Universität Liege durchgeführt. Dabei wurden aktive und passive seismische Messungen an vier verschiedenen Standorten (Bischolapass, Alp Lüscher, Obergmeind, Lüschersee) kombiniert (Abbildung 1). Ziel dieser Messungen war die genaue Charakterisierung des Untergrunds in den untersuchten Bereichen. Im Juni 2022 wurde zusätzlich die permanente Station HELU am Lüschersee installiert, die seitdem konstant die Bodenunruhe und Erdbebenwellen aufzeichnet. Bisherige Untersuchungen am Heinzenberg stützten sich auf die Messung von Oberflächenverformungen (TPS, GNSS) und geologischen Aufschlüssen. Mittels Analyse der natürlichen Bodenunruhe und Hammerschlag-Seismik konnte nun ein Eindruck des Untergrunds gewonnen werden. Dies umfasst die Bestimmung der Grundfrequenz (abhängig vom schwingenden Volumen der oberflächennahen Schichten), die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Oberflächenwellen (abhängig von geotechnischen Gesteinseigenschaften), und die Veränderung der Scherwellengeschwindigkeiten in der Tiefe, was auf geologische Grenzflächen hindeutet.

Die Daten der Experimente an den verschiedenen Standorten wurden mittels geomorphologischer Analyse, H/V Berechnung, Polarisationsanalyse, Referenzverstärkungsberechnung (SRSR), verschiedene Oberflächenwellenanalysen (3CFK, MASW), Refraktionstomographie und Inversionsmethoden untersucht. Die seismischen Experimente am Heinzenberg, liefern Tiefen- und Geschwindigkeitsinformationen für jede Schicht (Tabelle 1). Die Ergebnisse wurden für jeden Standort individuell interpretiert und in ein schematisches Profil des Heinzenbergs integriert (Abbildung 2). Die Analyse sowohl passiver als auch aktiver seismischer Experimente lieferte Erkenntnisse über die geophysikalischen Eigenschaften des Heinzenberg-Gebiets. Die Untersuchung offenbarte das Vorhandensein einer oberflächlich verwitterten Sedimentmasse in den ersten paar Metern, gefolgt von sedimentären Ablagerungen, die bis zu 20 m Tiefe reichen. Diese Strukturen weisen verschiedene Scherwellengeschwindigkeiten auf, die im Allgemeinen unter 900 m/s liegen, sowie P-Wellengeschwindigkeiten von weniger als 1600 m/s. Unterhalb der obersten Schicht befindet sich die Gesteinsmasse der tief liegenden gravitativen Hangverformung (DSGSD). Diese erstreckt sich in Tiefen von 30 – 50 m beim Bischolapass (HEI100/HEI200), bis zu 70 m am ehemaligen Lüschersee (HEI500) und Obergmeind (HEI400) und zwischen 90 – 110 m an der Alp Lüscher (HEI300). Die Scherwellengeschwindigkeiten für die DSGSD liegen zwischen 700 m/s und 1150 m/s. Die intakte Gesteinsmasse unterhalb der Erdrutschmasse weist Scherwellengeschwindigkeiten von mehr als 1300 m/s und P-Wellengeschwindigkeiten von mehr als 2400 m/s auf. Die detaillierte Analyse der Messungen ist in Glueer et al (2024) publiziert.

Die Station HELU wurde im Juni 2022 installiert und ist seit dann kontinuierlich in Betrieb. Abbildung 3 zeigt die Amplifikation von Erdbebenwellen an der Station im Verhältnis zum Schweizer Referenzfels. Man sieht eine leichte Verstärkung zwischen 0.4 Hz bis 1.1 Hz, und zwischen 4 Hz und 6 Hz. Aus der kontinuierlichen Aufzeichnung der Bodenunruhe der Station HELU können mögliche langfristige Veränderung der Grundfrequenzen, Polarisierungen und Verstärkungen sichtbar werden und auf eine eventuelle Veränderung des Untergrunds aufgrund des Auffüllens des Lüschersees hindeuten. Eine kontinuierliche Analyse der Bodenunruhe wird im 2024 implementiert.

Referenz:

Glueer, F., Mreyen, A.-S., Cauchie, L., Havenith, H.-B., Bergamo, P., Halló, M., & Fäh, D. (2024). Integrating Seismic Methods for Characterizing and Monitoring Landslides: A Case Study of the Heinzenberg Deep-Seated Gravitational Slope Deformation (Switzerland). *Geosciences*, 14(2), 28. doi: <https://doi.org/10.3390/geosciences14020028>

Tab. 1: Übersicht über die Ergebnisse der passiven seismischen Experimente am Heinzenberg mit seismischen Scher- und P-Wellengeschwindigkeiten sowie Tiefen unter der Oberfläche der verschiedenen Schichten. Zahlen, die mit * markiert sind, repräsentieren das gesamte Array HEI300, das sich 20 m über dem inneren Array von HEI300 befindet.

data from inversion vs/vp [m/s] and depth d [m]		HEI100 <i>Bischolapass</i>	HEI200 <i>Bischolapass</i>	HEI300 <i>Alp Lüs</i>	HEI400 <i>Obergmeind</i>	HEI500 <i>former Lake Lüs</i>
<i>shallow superficial rock and sedimentary fillings</i>	vs	< 900	< 800	< 500	< 850	< 400
	vp	< 1600	< 1600	< 1000	< 1400	< 1000
	d	5 - 10	5 - 15	15 - 20*	5 - 20	5 - 20
<i>rock mass of DSGSD</i>	vs	900 - 1150	800 - 950	700 - 900	800 - 1050	750 - 900
	vp	1600 - 2300	1600 - 2450	1600 - 2300	1500 - 2200	1550 - 2000
	d	30 - 40	40 - 50	90 - 110*	90 - 110	60 - 70
<i>intact bedrock</i>	vs	> 1500	> 1500	> 1300	> 1300	> 1575
	vp	> 3000	> 3000	> 2400	> 2600	> 3200
	d	> 30	> 40	> 90*	> 90	> 60

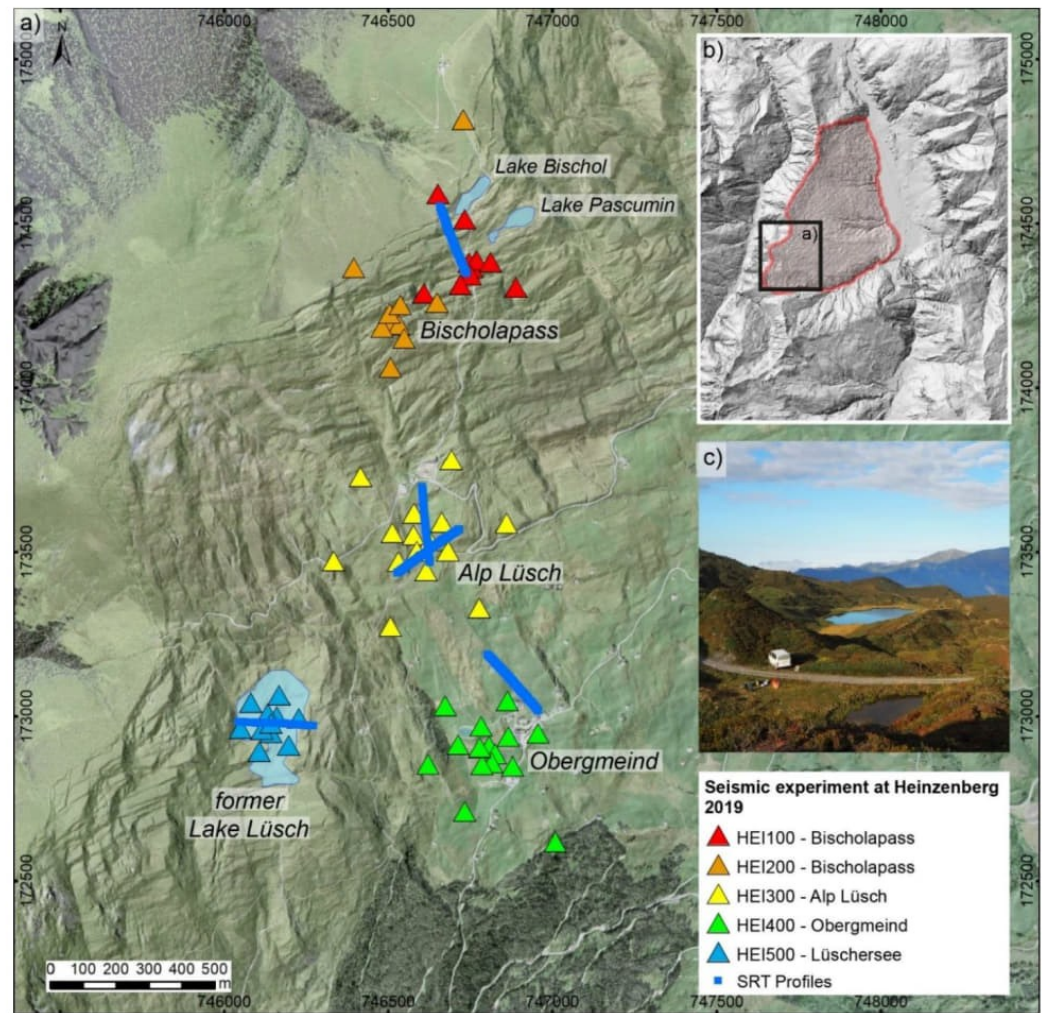


Abb. 1: Installation und Array-Aufbau des seismischen Experiments am Heinzenberg. a) die fünf SRT-Profil (blaue Linien) und der passive seismische Array-Messungen am südöstlichen Heinzenberg; b) Höhenmodell der Umgebung des Heinzenbergs mit dem rot markierten Bergsturzgebiet und dem unter a) hervorgehobenen Bereich; c) Bild des Pascumin-Sees mit Blick nach Süden (aus Glueer et al., 2024)

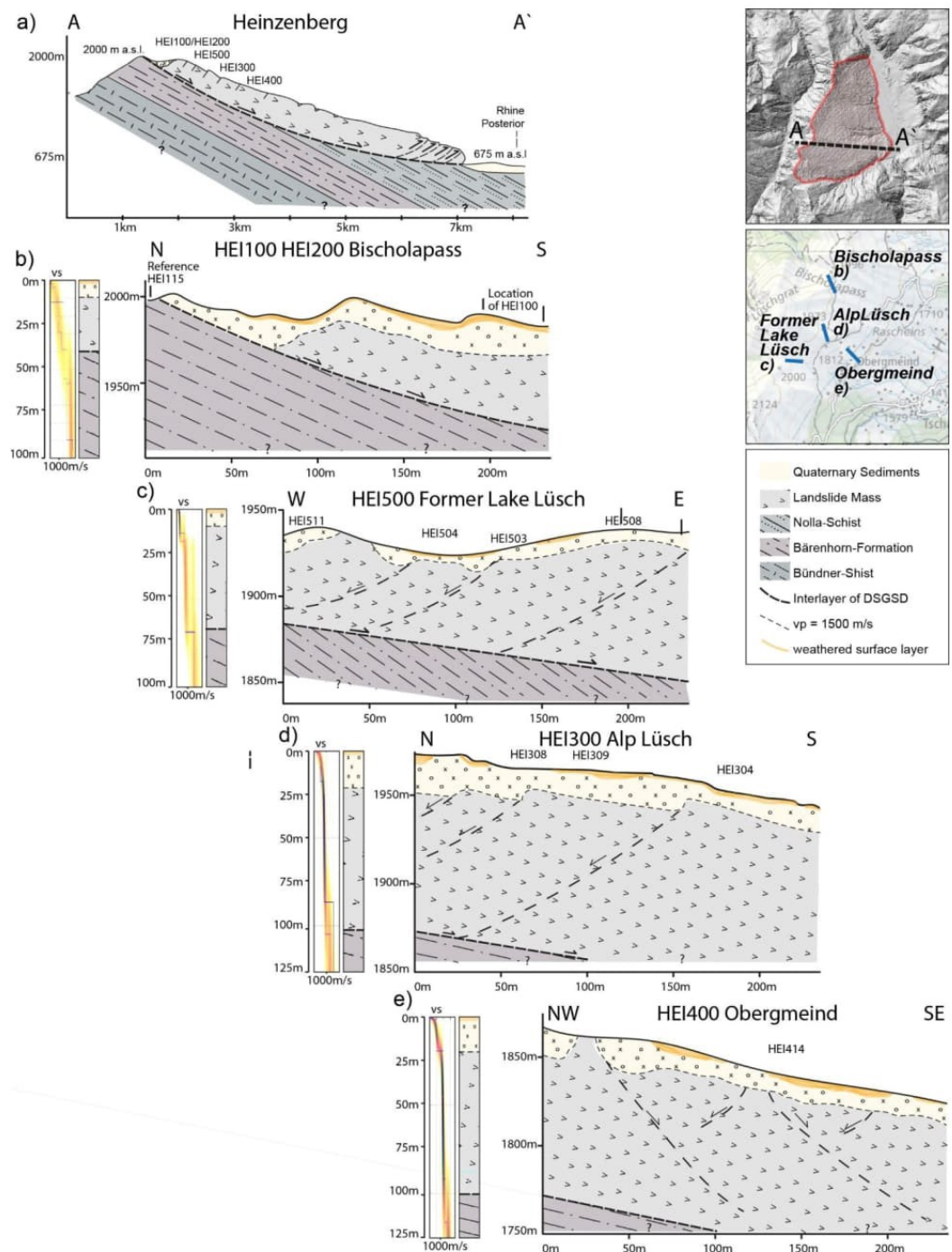


Abbildung 2. Interpretation der Ergebnisse des seismischen Experiments am Heinzenberg; a) Schematisches Profil des Heinzenberg DSGSD mit der Lage der passiven seismischen Arrays (HEI100 bis HEI500); b) Geologisches Profil des Bischolapass (HEI100, HEI200) mit einem typischen doppelkammartigen Grat und sedimentärer Füllung; b)-e) Detaillierte Profile in Richtung der SRT-Schnitte, die alle Daten kombinieren, links davon je ein Geschwindigkeits- und ein geologisches Profil. Eingefügte Legenden repräsentieren die Lage des Profils A – A' innerhalb des Heinzenbergs (oben), die Lage der detaillierten Profile b) - e) (Mitte) und die Legende der gezeichneten Profile (unten; aus Glueer et al., 2024).

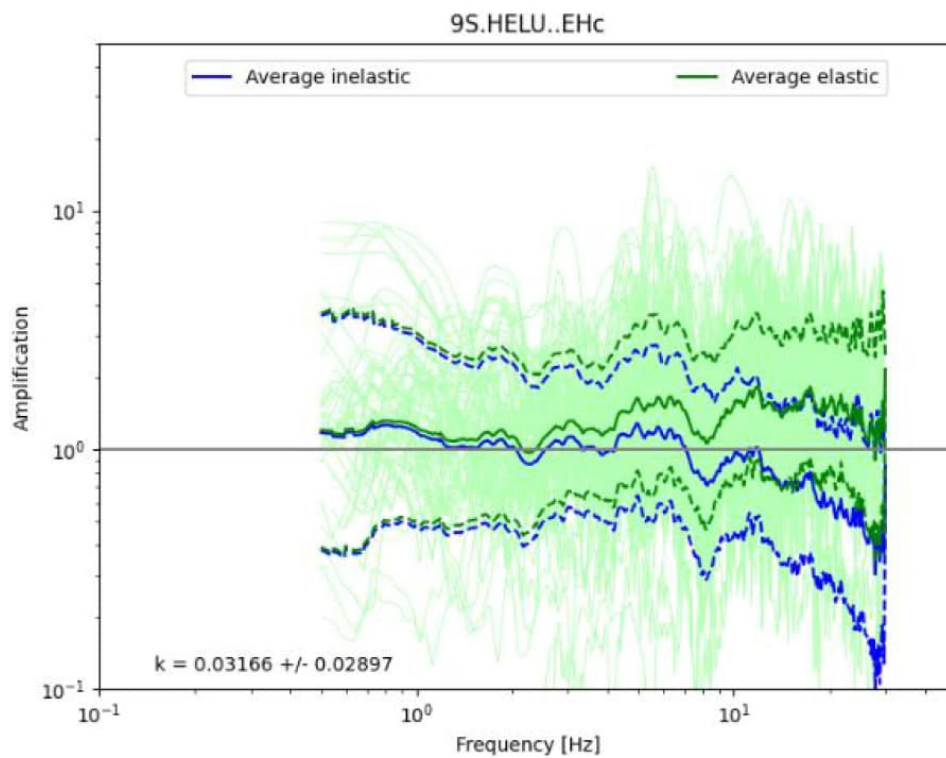


Abbildung 3. Amplifikation der Station HELU im Verhältnis zum Schweizer Referenzfels. Man sieht einen leichten peak zwischen 0.4 Hz bis 1.1 Hz, um 5 Hz und um 6 Hz. Generell sind die Werte sehr klein (kaum Amplifikation).

