

# Schneewasseräquivalent-Bestimmung mit langen GNSS-Basislinien und mittels PPP



Abb. 1: Versuchsfeld in Laret (Studemann 2021)

## Ausgangslage

Das Schneewasseräquivalent (SWE) repräsentiert das in der Schneedecke gespeicherte Wasser in Millimetern. Es dient zur Vorhersage der zu erwartenden Schmelzwassermenge im Frühjahr und zur Prognostizierung von Hochwasserereignissen.

Die SWE-Bestimmung mit GNSS geschieht mit der GNSS-Refraktometrie. Bisher erfolgt die Auswertung mit einer sehr kurzen Basislinie zu der Referenzstation direkt vor Ort.

Die Daten der Wintersaison 2021/22 werden mit langen GNSS-Basislinien und mittels Precise Point Positioning (PPP) ausgewertet und analysiert. Ausserdem findet ein Vergleich zwischen dem GNSS-SWE und den Referenzmessungen statt.

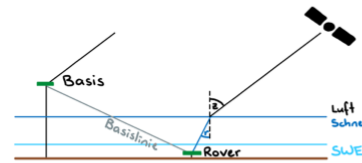


Abb. 2: Schematischer Aufbau der Messstation (nach Steiner et al. 2022)

## GNSS-Refraktometrie

Das GNSS-Signal wird von einer GNSS-Antenne (Rover), die auf dem Boden unter dem Schnee angebracht ist, empfangen. Durch den über der Antenne liegenden Schnee wird das Signal abgelenkt, was man als Refraktion des Signals bezeichnet.

In der Nähe wird eine zweite GNSS-Antenne als Referenzstation (Basis) so montiert, dass sich diese immer über dem Schnee befindet.

Die Verzögerungen der Troposphäre und der Ionosphäre sowie die Abweichung der Bahn- und die Uhrenfehler werden bei der differenziellen Auswertung der GNSS-Daten eliminiert. (Steiner et al. 2022)

## Leica Infinity

Die SWE-Auswertung mit Leica Infinity funktioniert und die Ergebnisse sind plausibel.

Die besten Ergebnisse werden mit den beiden Referenzstationen Ardez und Samedan erreicht. Die Länge der Basislinie hat einen grossen Einfluss auf die Auswertung, wie auch der Höhenunterschied zwischen den Stationen. Da bei der Basis FHNW eine grosse Distanz und ein grosser Höhenunterschied vorliegen, weisen die Ergebnisse dieser Station ein grösseres Rauschen auf. Auch im Vergleich zu der kurzen Basislinie der Referenzstation in Laret, sind die Resultate die Leica Infinity liefert, gut.

Der grösste Nachteil an der Software zeigt sich darin, dass keine Batch-Prozessierung möglich ist.

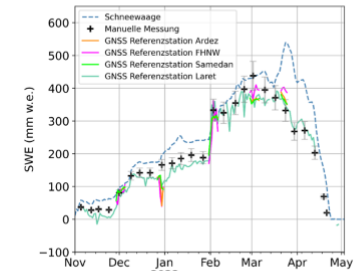


Abb. 4: SWE der Wintersaison 2021/22 aller Basisstationen (Leica Infinity) und der Basisstation Laret (RTKLIB)

12. Juni 2023 Autorin: Sara Siegenthaler, Examinator: Prof. Dr. David Grimm, Expertin: Dr. Ladina Steiner

© IGEO FHNW

12. Juni 2023 Autorin: Sara Siegenthaler, Examinator: Prof. Dr. David Grimm, Expertin: Dr. Ladina Steiner

© IGEO FHNW

12. Juni 2023 Autorin: Sara Siegenthaler, Examinator: Prof. Dr. David Grimm, Expertin: Dr. Ladina Steiner

© IGEO FHNW

## Online PPP-Dienst NRCAN

Der Onlinedienst ist sehr einfach zu bedienen und es müssen lediglich die GNSS Observation Files hochgeladen werden.

Die SWE-Ergebnisse weisen Differenzen zu den Referenzmessungen auf (siehe Abb. 6).

Die Korrelationsplots (Abb. 7 & 8) weisen eine starke Korrelation zwischen 0.85 und 0.93 auf. Die Steigung der linearen Regression ist etwa 0.5.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein weiterer Faktor in die SWE-Bestimmung mit PPP eingeführt werden müsste.

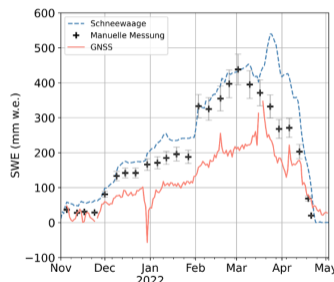


Abb. 6: SWE der Wintersaison 2021/22 mit dem online PPP Dienst von NRCAN

12. Juni 2023 Autorin: Sara Siegenthaler, Examinator: Prof. Dr. David Grimm, Expertin: Dr. Ladina Steiner

© IGEO FHNW

## RTKLIB

Die PPP-Auswertungen der open-source Software RTKLIB liefern keine verwendbaren Ergebnisse. Die Auswertung erfolgte mit verschiedenen Einstellungen, aber diese führen allesamt zu schlechten Ergebnissen.

Auch wenn die SWE-Bestimmung mit RTKLIB nicht funktioniert, konnten doch wichtige Erkenntnisse für die weiteren Untersuchungen und Forschungen gewonnen werden.

Die mögliche Batchprozessierung macht die Software sehr spannend. Ausserdem funktioniert die automatische Auswertung der kurzen Basislinie sehr gut damit.

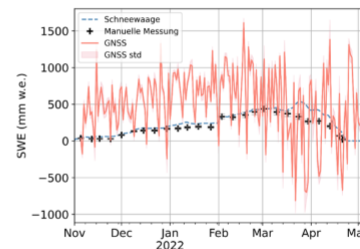


Abb. 9: SWE der Wintersaison 2021/22 mit RTKLIB, Frequenzen L1 & L2, alle Satellitensysteme, 'Ion-Free LC' und 'Saastamoinen' Modell

12. Juni 2023 Autorin: Sara Siegenthaler, Examinator: Prof. Dr. David Grimm, Expertin: Dr. Ladina Steiner

© IGEO FHNW

## Fazit

- Die SWE-Bestimmung mit langen GNSS-Basislinien und der Software Leica Infinity funktioniert.
- Die PPP-Prozessierung mit Onlinedienst von NRCAN funktioniert. Die Ergebnisse der SWE-Auswertung weisen darauf hin, dass ein weiterer Faktor in die Berechnung eingeführt werden müsste.
- Für die SWE-Bestimmung ist RTKLIB das falsche Tool. Es können weitere open-source Programme für die SWE-Bestimmung getestet werden.
- Lange GNSS-Basislinien ermöglichen die Bestimmung des SWE ohne eigene Referenzstation vor Ort. Dafür stützt man sich auf externe Referenzstationen wie z.B. AGNES-Stationen.
- Die Möglichkeit der SWE-Auswertung mittels PPP würde die gesamte Bestimmung unabhängig von Referenzstationen gestalten. Somit liesse sich das SWE komplett autonom mit GNSS bestimmen.

12. Juni 2023 Autorin: Sara Siegenthaler, Examinator: Prof. Dr. David Grimm, Expertin: Dr. Ladina Steiner

© IGEO FHNW

# Ausgangslage

Das Schneewasseräquivalent (SWE) repräsentiert das in der Schneedecke gespeicherte Wasser in Millimetern. Es dient zur Vorhersage der zu erwartenden Schmelzwassermenge im Frühjahr und zur Prognostizierung von Hochwasserereignissen.

Die SWE-Bestimmung mit GNSS geschieht mit der GNSS-Refraktometrie. Bisher erfolgt die Auswertung mit einer sehr kurzen Basislinie zu der Referenzstation direkt vor Ort.

Die Daten der Wintersaison 2021/22 werden mit langen GNSS-Basislinien und mittels Precise Point Positioning (PPP) ausgewertet und analysiert. Ausserdem findet ein Vergleich zwischen dem GNSS-SWE und den Referenzmessungen statt.



Abb. 1: Versuchsfeld in Laret (Studemann 2021)

# GNSS-Refraktometrie

Das GNSS-Signal wird von einer GNSS-Antenne (Rover), die auf dem Boden unter dem Schnee angebracht ist, empfangen. Durch den über der Antenne liegenden Schnee wird das Signal abgelenkt, was man als Refraktion des Signals bezeichnet.

In der Nähe wird eine zweite GNSS-Antenne als Referenzstation (Basis) so montiert, dass sich diese immer über dem Schnee befindet.

Die Verzögerungen der Troposphäre und der Ionosphäre sowie die Abweichung der Bahndaten und die Uhrenfehler werden bei der differentiellen Auswertung der GNSS-Daten eliminiert. (Steiner et al. 2022)

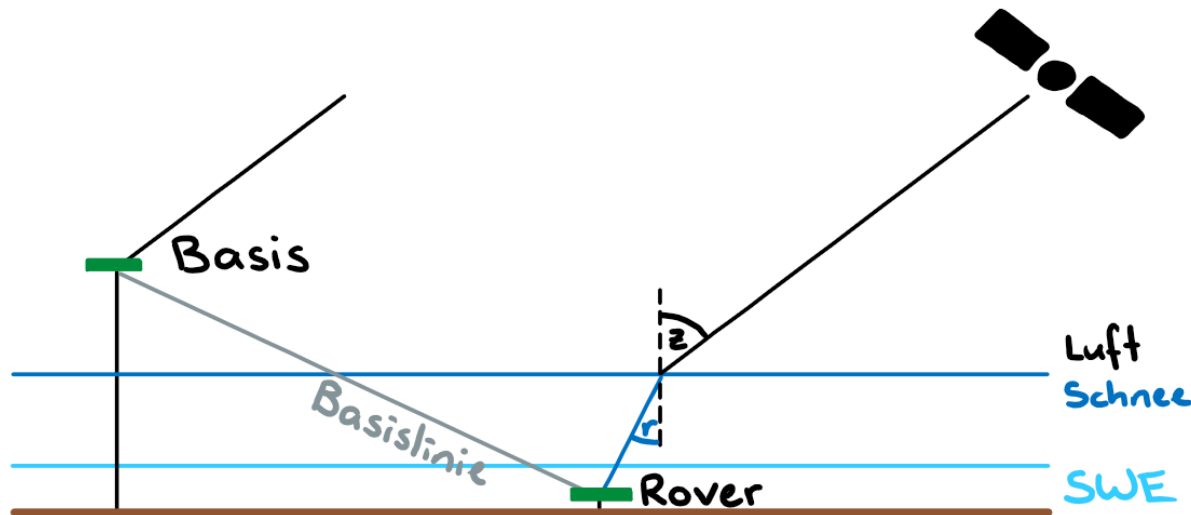


Abb. 2: Schematischer Aufbau der Messstation (nach Steiner et al. 2022)

# Versuchsfeld in Laret

Die Daten der Wintersaison 2021/22 stammen von dem Versuchsfeld des Schweizerischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) in Laret bei Davos (GR). Der Aufbau der Messstation ist in der Abb. 3 ersichtlich.

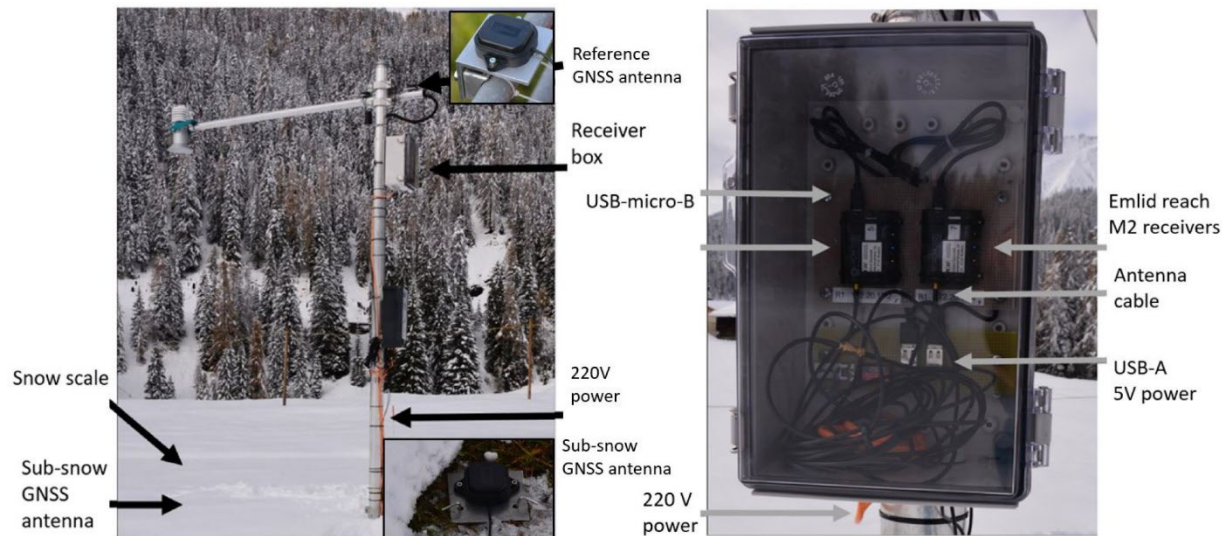


Abb. 3: Aufbau der GNSS-Antennen im Versuchsfeld Laret (Steiner et al. 2022)

Die kostengünstige Messanlage besteht aus zwei Emlid Reach M2 Empfängern und zwei u-blox ANN-MB-00 Antennen.

Die Referenzantenne befindet sich auf einem 2.8 m hohen Pfosten. Die Aufzeichnungen der Schneewaage und die manuellen Messungen geschehen in einem Umkreis von 5 m zur GNSS-Messstation. (Steiner et al. 2022)



# Leica Infinity

Die SWE-Auswertung mit Leica Infinity funktioniert und die Ergebnisse sind plausibel.

Die besten Ergebnisse werden mit den beiden Referenzstationen Ardez und Samedan erreicht. Die Länge der Basislinie hat einen grossen Einfluss auf die Auswertung, wie auch der Höhenunterschied zwischen den Stationen. Da bei der Basis FHNW eine grosse Distanz und ein grosser Höhenunterschied vorliegen, weisen die Ergebnisse dieser Station ein grösseres Rauschen auf. Auch im Vergleich zu der kurzen Basislinie der Referenzstation in Laret, sind die Resultate die Leica Infinity liefert, gut.

Der grösste Nachteil an der Software zeigt sich darin, dass keine Batch-Prozessierung möglich ist.

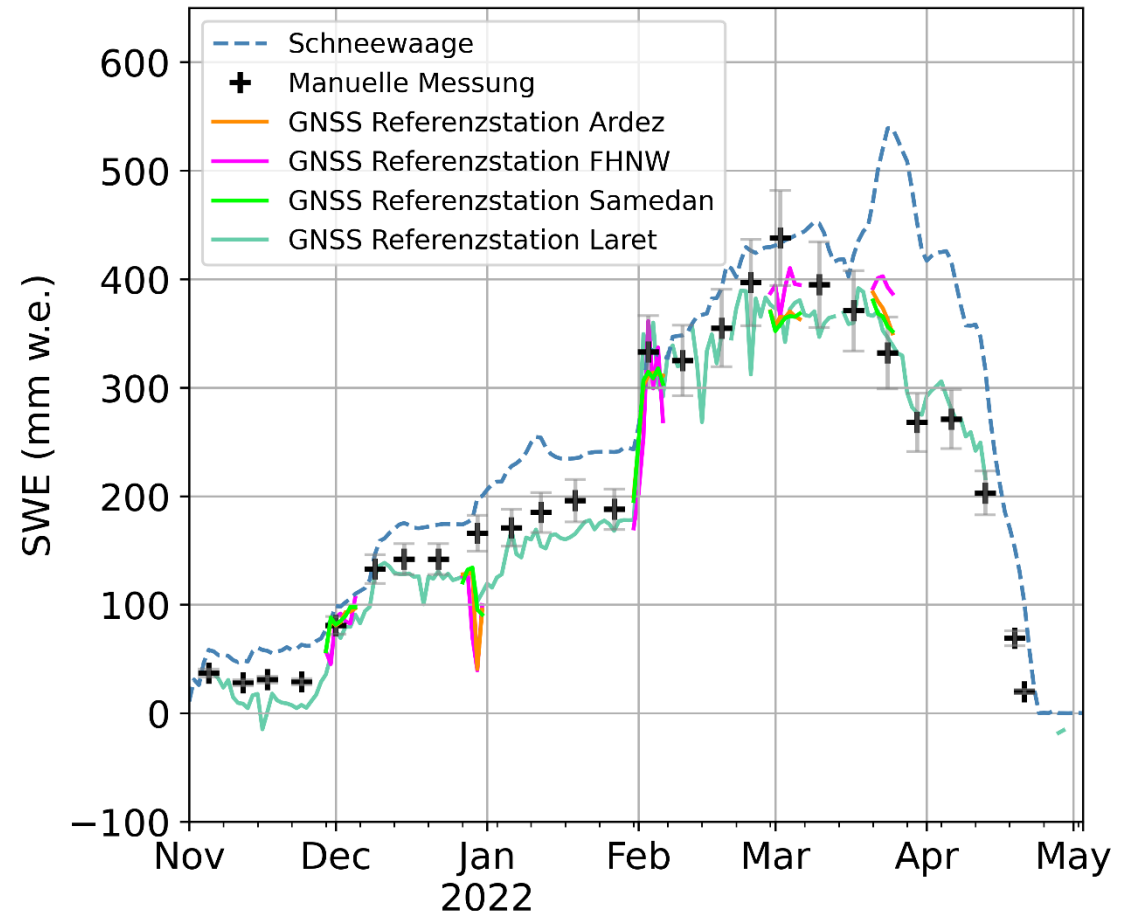


Abb. 4: SWE der Wintersaison 2021/22 aller Basisstationen (Leica Infinity) und der Basisstation Laret (RTKLIB)

# Leica Infinity

Die Abb. 5 zeigt die Differenzen der SWE-Bestimmung der langen Basislinien (Leica Infinity) und der kurzen Basislinie der Referenzstation in Laret (RTKLIB).

Die Resultate der Stationen in Ardez und in Samedan sind sehr ähnlich. Die Basis FHNW weist die grössten Abweichungen auf.

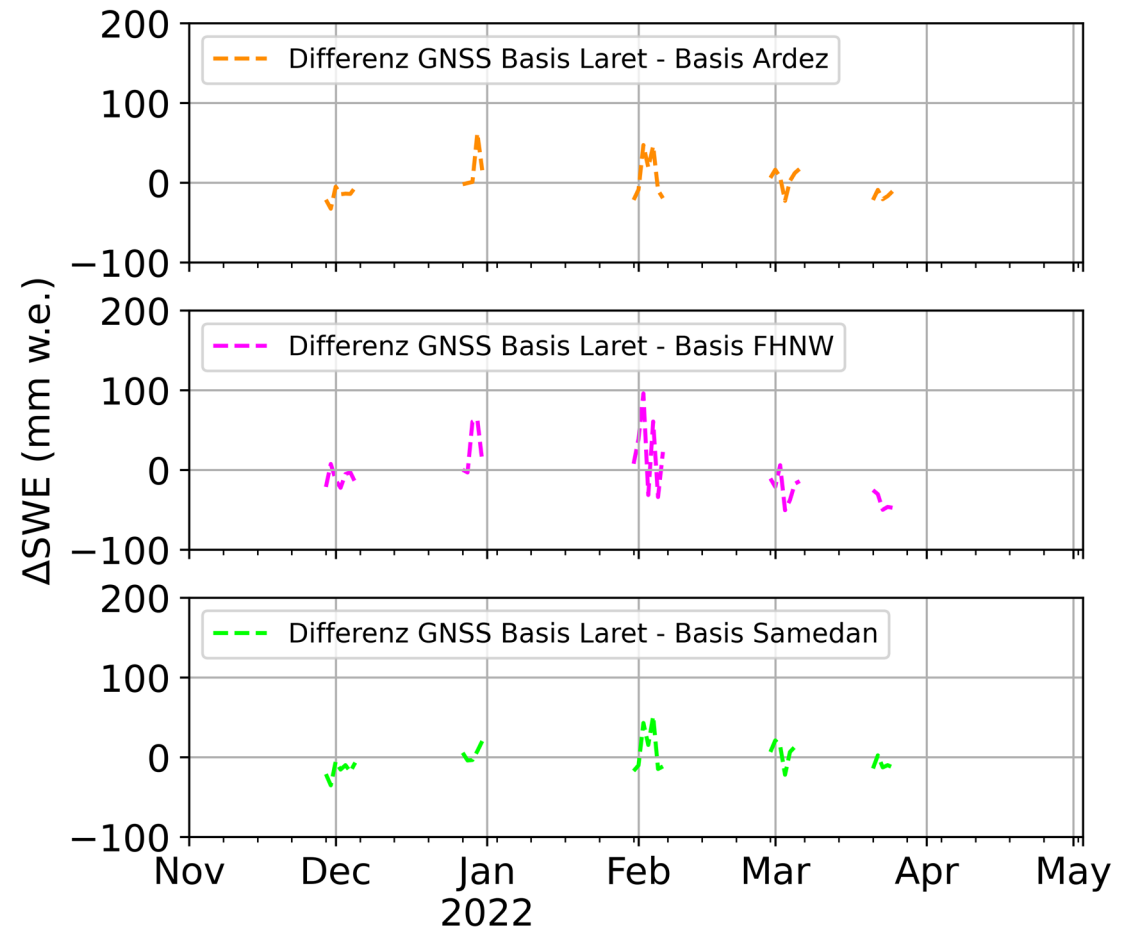


Abb. 5: Differenzen der GNSS-Bestimmungen zur Basis in Laret

# Online PPP-Dienst NRCAN

Der Onlinedienst ist sehr einfach zu bedienen und es müssen lediglich die GNSS Observation Files hochgeladen werden.

Die SWE-Ergebnisse weisen Differenzen zu den Referenzmessungen auf (siehe Abb. 6).

Die Korrelationsplots (Abb. 7 & 8) weisen eine starke Korrelation zwischen 0.85 und 0.93 auf. Die Steigung der linearen Regression ist etwa 0.5.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein weiterer Faktor in die SWE-Bestimmung mit PPP eingeführt werden müsste.

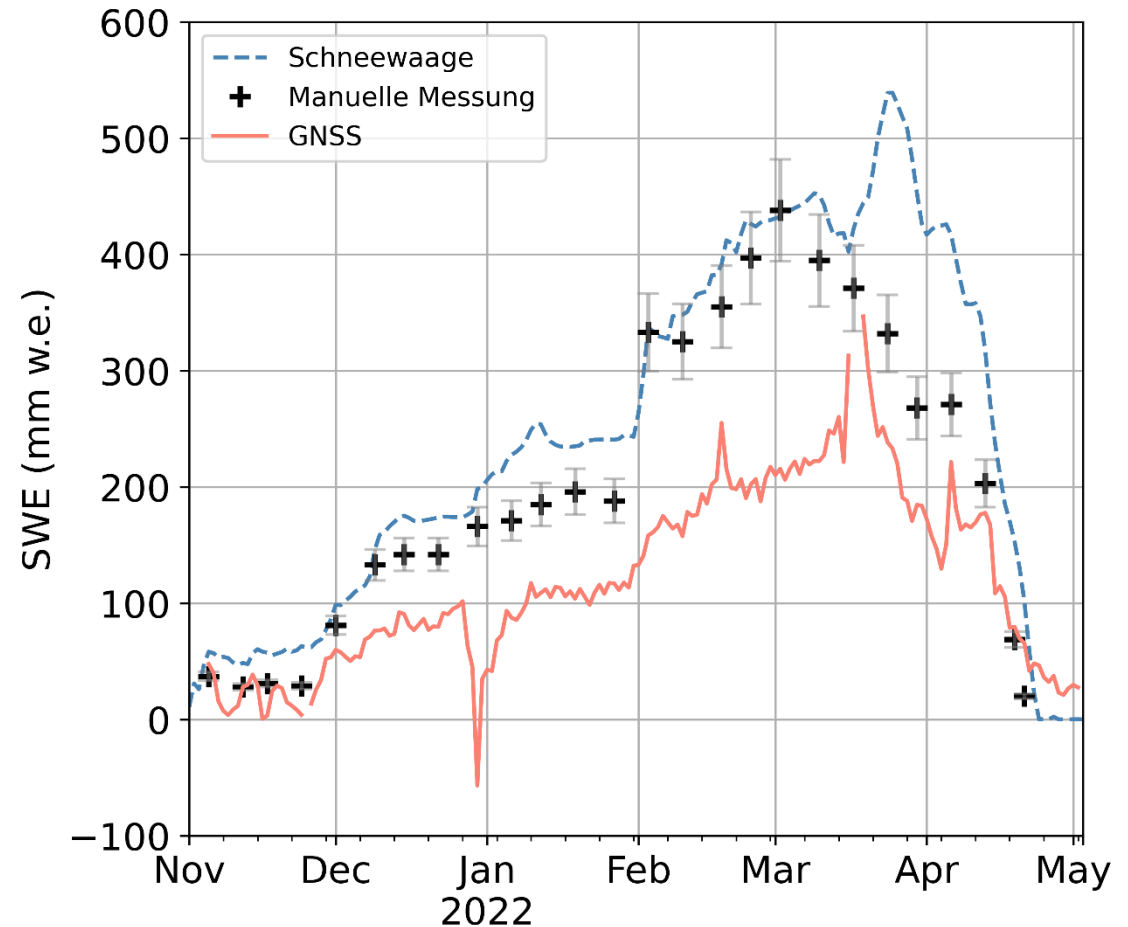


Abb. 6: SWE der Wintersaison 2021/22 mit dem online PPP-Dienst von NRCAN

# Online PPP-Dienst NRCAN

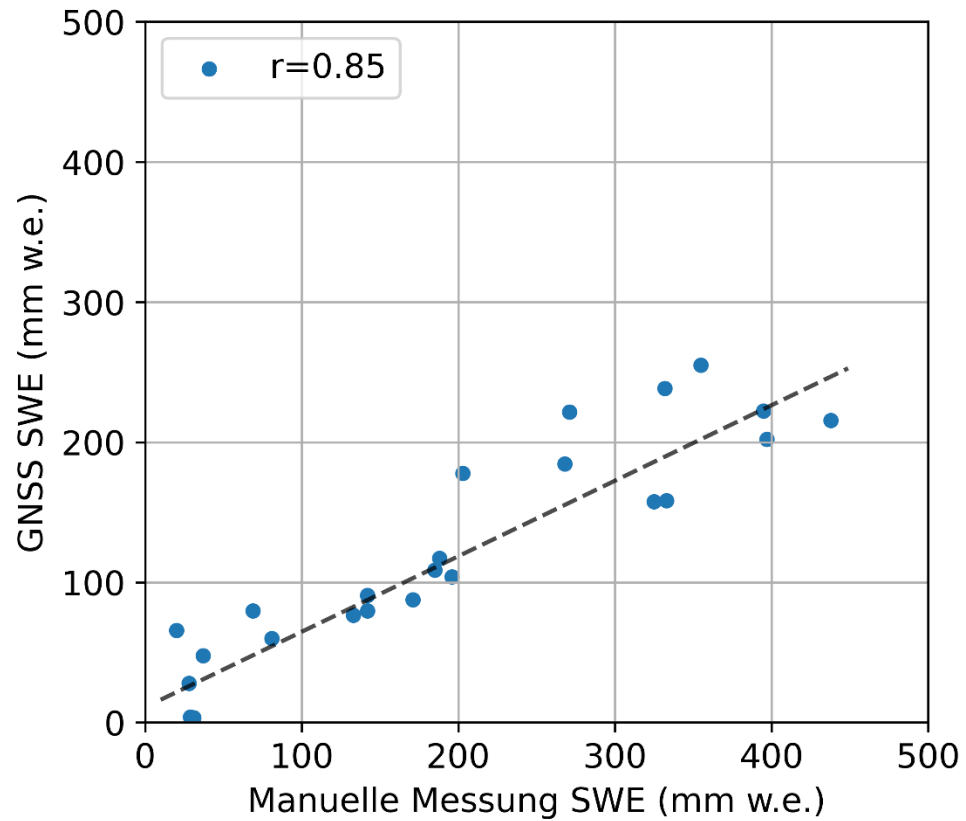


Abb. 7: Korrelationsplot manuelle Messungen mit dem Korrelationskoeffizienten "r"

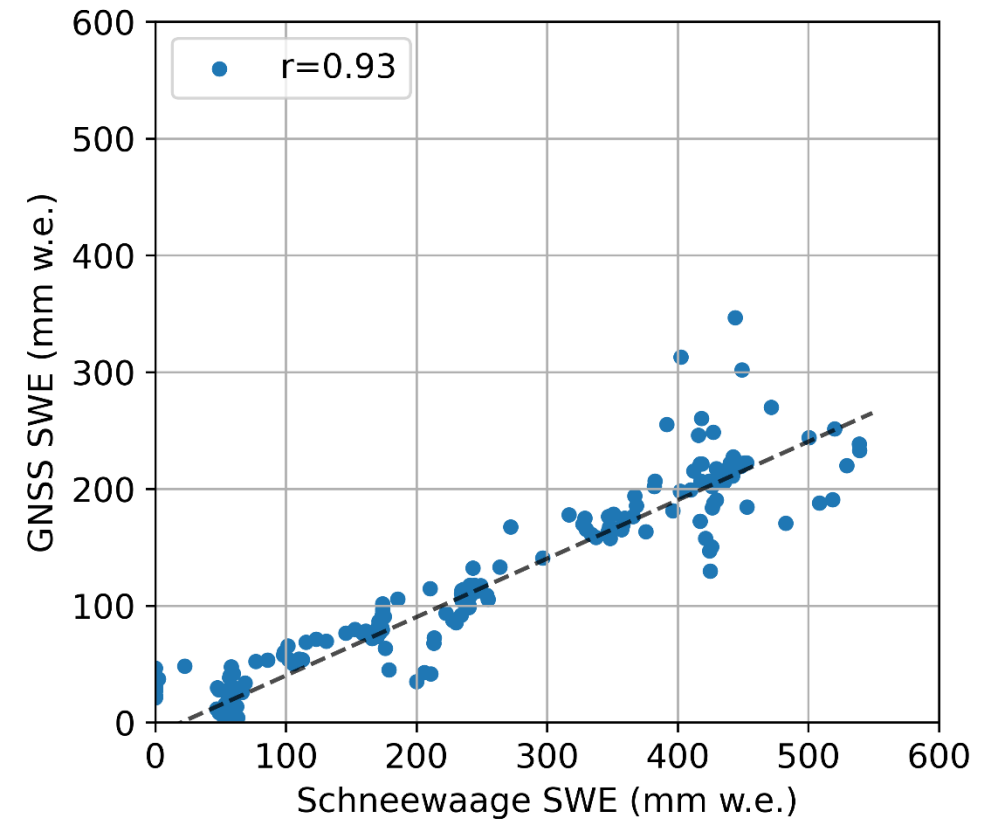


Abb. 8: Korrelationsplot Schneewaage mit dem Korrelationskoeffizienten "r"



# RTKLIB

Die PPP-Auswertungen der open-source Software RTKLIB liefern keine verwendbaren Ergebnisse. Die Auswertung erfolgte mit verschiedenen Einstellungen, aber diese führen allesamt zu schlechten Ergebnissen.

Auch wenn die SWE-Bestimmung mit RTKLIB nicht funktioniert, konnten doch wichtige Erkenntnisse für die weiteren Untersuchungen und Forschungen gewonnen werden.

Die mögliche Batchprozessierung macht die Software sehr spannend. Ausserdem funktioniert die automatische Auswertung der kurzen Basislinie sehr gut damit.

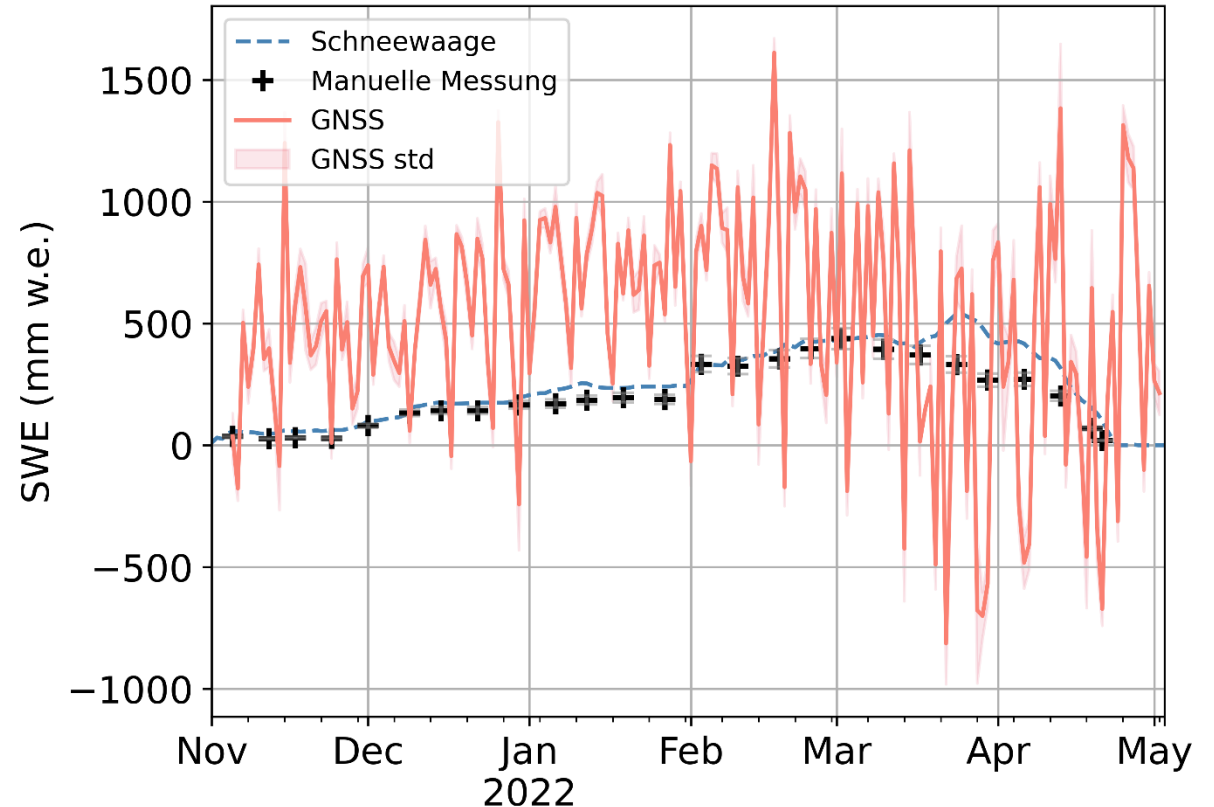


Abb. 9: SWE der Wintersaison 2021/22 mit RTKLIB, Frequenzen L1 & L2, alle Satellitensysteme, "Iono-Free LC" und "Saastamoinen" Modell

# Fazit

- Die SWE-Bestimmung mit langen GNSS-Basislinien und der Software Leica Infinity funktioniert.
- Die PPP-Prozessierung mit Onlinedienst von NRCAN funktioniert. Die Ergebnisse der SWE-Auswertung weisen darauf hin, dass ein weiterer Faktor in die Berechnung eingeführt werden müsste.
- Für die SWE-Bestimmung ist RTKLIB das falsche Tool. Es können weitere open-source Programme für die SWE-Bestimmung getestet werden.
- Lange GNSS-Basislinien ermöglichen die Bestimmung des SWE ohne eigene Referenzstation vor Ort. Dafür stützt man sich auf externe Referenzstationen wie z.B. AGNES-Stationen.
- Die Möglichkeit der SWE-Auswertung mittels PPP würde die gesamte Bestimmung unabhängig von Referenzstationen gestalten. Somit liesse sich das SWE komplett autonom mit GNSS bestimmen.

# Literatur

Steiner, Ladina; Studemann, Géraldine; Grimm, David Eugen; Marty, Christoph und Leinss, Silvan (2022): *(Near) Real-Time Snow Water Equivalent Observation Using GNSS Refractometry and RTKLIB*. In: *Sensors* 22/18 (September). S. 6918. doi:10.3390/s22186918.

Studemann, Géraldine (2021): *Fotos vom Versuchsfeld Laret*.