



Davos, 15. Dez. 2022

Arbeitsbericht

Weiterentwicklung des operationellen schneehydrologischen Dienstes 2022

Berichtsperiode 1. Jan 2022 bis 31. Dezember 2022

1. Vorbemerkungen

1.1 Inhalt und Zweck des Berichts

Dieser Bericht erfolgt im Rahmen des Vertrages 18.0116.PJ / C877B042F zwischen dem BAFU und der WSL («Vertrag Weiterentwicklung OSHD 2021-2022»). Die Berichterstattung erfolgt vertragsgemäss per Dezember 2022. Der Arbeitsbericht gibt Auskunft über die vereinbarten und vom OSHD geleisteten Weiterentwicklungsarbeiten. Der entsprechende Stundenrapport gemäss Ziffer 3.3 im o.g. Vertrag befindet sich im Anhang des Berichts.

2. Entwicklungsarbeiten

Die folgende Berichterstattung orientiert sich an der Gliederung der zugehörigen Offerte und umfasst jene sieben Arbeitspakete, für die Arbeiten im Jahr 2022 vorgesehen waren.

2.1 Erhöhung der räumlichen Auflösung der OSHD Modelle

Nachdem das neue hochaufgelöste Energiebilanzmodell letzten Winter eingeführt wurde, standen dieses Jahr weitere Optimierungsschritte und eine abschliessende Analyse der Modellkette an. Dabei erforderte die zusätzliche Operationalisierung der beiden Modelle für Wald (siehe 2.4) und Gletscher (siehe 2.6) zusätzliche Massnahmen, um trotz des nochmals höheren Rechenaufwands ähnliche Lieferzeiten gewährleisten zu können. Zu dem Zwecke wurde im Sommer 2022 eine weitere Parallelisierungsebene für den Betrieb des Energiebilanzmodells entwickelt. Während die Prozessierung der COSMO Daten bereits im Jahr 2021 parallelisiert werden konnte, wurden dieses Jahr neben dem eigentlichen Modellcode auch die Input- und Outputroutinen parallelisiert. Nur durch diese Kombination sind wir nun in der Lage, die Schneedecke für alle Landnutzungsklassen (offen, Wald, Gletscher) sogar etwas schneller wie bisher zu modellieren (siehe unten).

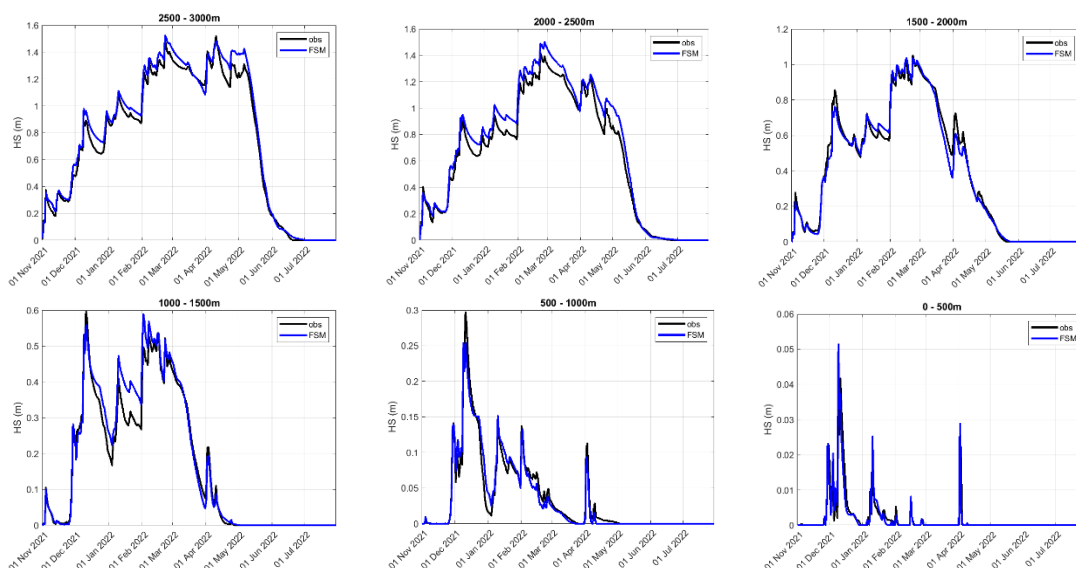


Abbildung 1: Modellierte und gemessene Schneehöhe für sechs Höhenbänder über den gesamten Verlauf des Winter 2021/2022.

Im Zuge unserer abschliessenden Modellanalyse haben wir alle vergangenen Winter, für welche COSMO 1/1E Daten existieren (2015/2016 bis 2021/2022), mit dem neuen Modell nachgerechnet. Hierfür mussten wir auf drei unterschiedliche Sequenzen zurückgreifen. Für die Winter 2015/2016 – 2019/2020 wurden COSMO 1 Daten genutzt, ab dem Winter dann 2020/2021 COSMO 1E Daten verwendet. Da im COSMO 1E seit Herbst 2021 zusätzlich Daten aus dem Bodenmessnetz assimiliert sind, wurde eine zusätzliche Anpassung des Temperatur-Debiasing durchgeführt.

Die nachgerechneten Modelldaten wurden einerseits gegen Daten des Schneemessnetzes validiert. Bereits im letzten Jahr konnten wir zeigen, dass wir im Vergleich zum Vorgängermodell (JIM) mit dem neuen Modell in allen Höhenstufen entweder gleich gute oder verbesserte Ergebnisse erzielen können. Dabei konnten oberhalb von 2000m sogar bedeutende Verbesserungen erzielt werden. Auf die laufende Saison hin wurde das Modell mittels Parameteranpassungen noch weiter optimiert. Die spezifische Auswertung für den Winter 2021/2022 (erstes vollständiges Jahr mit COSMO1E Daten) und sechs Höhenbänder ist in Abb. 1 gezeigt. Die Validierungsergebnisse zeigen, dass wir in allen Höhenlagen und für den gesamten Verlauf des Winters eine gute Modellperformance erzielen konnten. Gleiches trifft auch für sämtliche andere analysierten Jahre zu.

Zusätzlich wurden für die Modellanalyse Sentinel-2 Fernerkundungsdaten hinzugezogen, dies vor allem, um nebst der Schneehöhe auch den Schneebedeckungsgrad und die Schneelagengrenze validieren zu können (Abbildung 2). Das gezeigte Beispiel stammt aus der aktuellen Saison und zeigt eine sehr gute Übereinstimmung zwischen beobachteter und modellierter und Schneebedeckung.

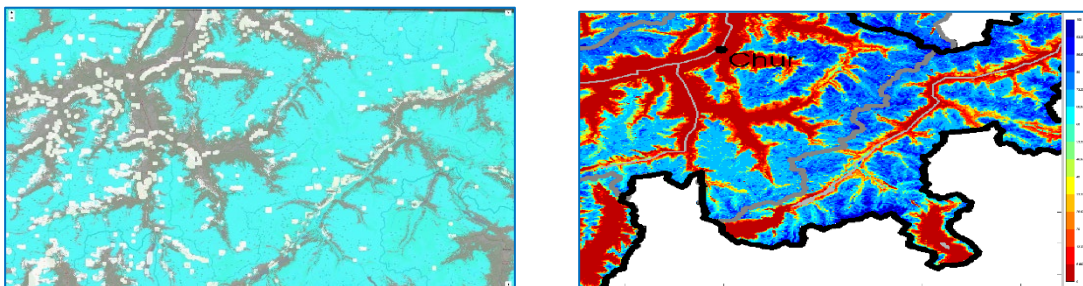


Abbildung 2: Vergleich zwischen beobachteter Schneebedeckung (zyan=Schnee, grau=kein Schnee, weiss=Wolken) aus Satellitendaten links und modelliertem Schneebedeckungsgrad (rot=0%, dunkelblau=100%) rechts, jeweils am 27.11.2022 für die Südostschweiz.

Die Lieferzeiten für die täglichen automatischen Datenupdates ans BAFU liegen aktuell bei

- 0-UTC Lauf: 5:30 MEZ (letztes Jahr 5:50 MEZ)
- 6-UTC Lauf: 10:30 MEZ (letztes Jahr 10:40 MEZ)
- 12-UTC Lauf: 16:35 MEZ (letztes Jahr 16:45 MEZ)

und liegen damit trotz des grösseren Datenumsatzes und Rechenaufwandes sogar 10 Minuten vor denen im vergangenen Jahr.

2.2 Erweiterung des OSHD Modellperimeters

Der OSHD hat in den letzten Jahren sukzessive sämtliche hydrologisch relevanten Gebietsanteile aus dem grenznahen Ausland in den heutigen Modellperimeter integriert. Ausstehend war bisher lediglich die Integration der Beobachtungsdaten aus den beiden französischen Gebieten (Doubs, Rhone), was wir schliesslich diesen Sommer umsetzen konnten. Inzwischen haben wir operationellen Zugriff auf Schneemessdaten von 16 Stationen der Météo France aus der betreffenden Region (Abbildung 3) eingerichtet. Auch wurden sämtliche historische Daten dieser Stationen der vergangenen 24 Jahre (1998-2022) aufwändig plausibilisiert, anschliessend in unsere Datenbestände integriert, und dann für die Neuberechnung unserer Referenzklimatologie verwendet.

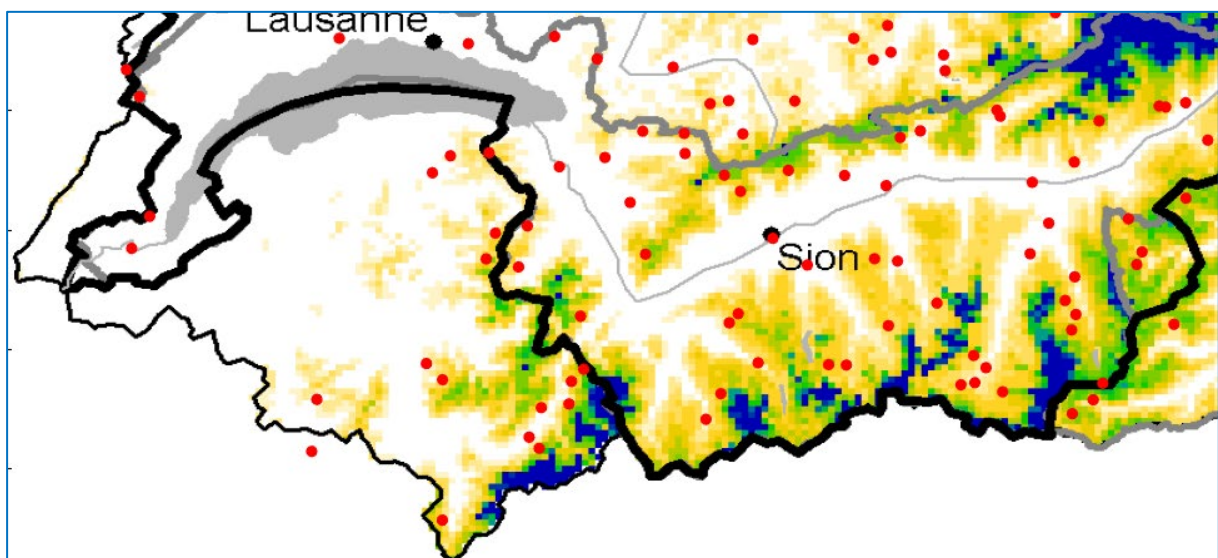


Abbildung 3: Kartenausschnitt des OSHD Modellperimeters mit Koordinaten sämtlicher Schneestationen von denen aktuell Daten für die Assimilation ins Modell operationellen zur Verfügung stehen.

2.4 Verbesserte Berücksichtigung von Schnee-Wald-Prozessen

Auch wenn wir letztes Jahr bereits eine Betaversion des neuen Wald-Modells in Betrieb nehmen konnten, lag ein Grossteil der inhaltlichen Arbeit noch vor uns. Zunächst mussten detaillierte Karten zu wichtigen Waldstrukturparametern auf Basis von verfügbaren Fernerkundungsdaten erstellt werden. Als Grundlagen dienten dazu vor allem Daten von Lasergestützten Messflügen der Toposwiss, sowie hochaufgelöste Satellitendaten der ESA. Beispiele solcher Strukturparameter sind in Abbildung 4 zu sehen. Die extrem hohe räumliche Auflösung dieser Daten wurde nötig um das Abschattungsverhalten je nach Waldstruktur realistisch in unseren Modellen wiedergeben zu können. Dazu kam ein selbstentwickeltes Strahlungstransfermodell zum Einsatz, welches in aufwändigen Simulationen für jeden Modelapixel der OSHD-Domain und für jede Stunde im Jahr die potenzielle Abschattung der Bodenoberfläche durch den lokalen Baumbestand berechnet, separat für direktes und diffuses Sonnenlicht. Auf diese vorberechneten Datensätze greift nun das operationelle Wald-Schnee Modell zurück und verwendet diese je nach Bewölkung, Tag und Stunde, um die im

Wald an der Schneeoberfläche einfallende Kurz- und Langwellenstrahlung bestimmen zu können.

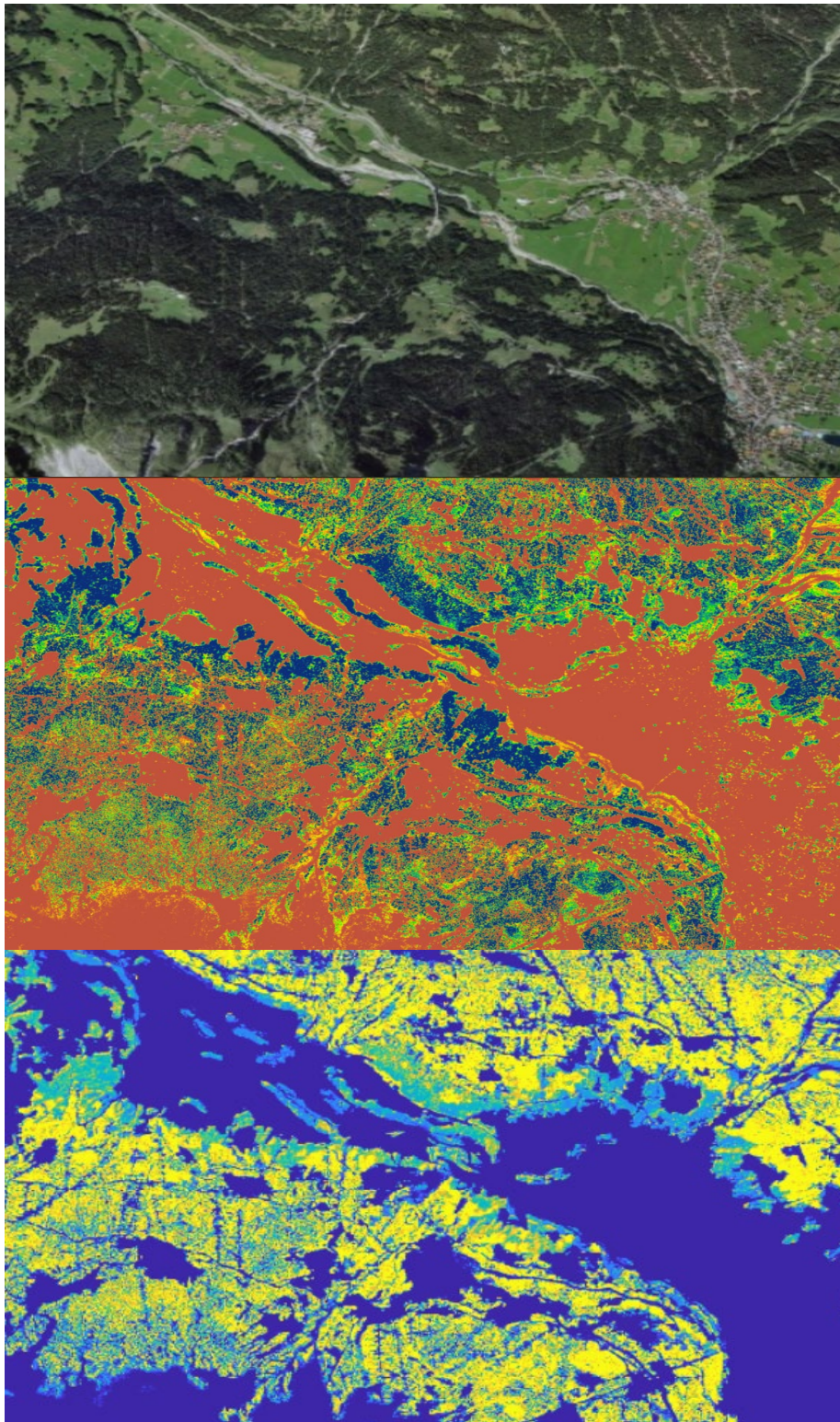


Abbildung 4: Kartenausschnitt von Klosters und Umgebung, oben: Luftbild, Mitte: aus Fernerkundungsdaten bestimmte Baumhöhen, unten: aus Fernerkundungsdaten bestimmte lokale Bestandsdichten.

Abschliessend wurde das Wald-Schnee Modell einer Reihe von Tests unterzogen, unter anderem Sensitivitätstests bei denen die Differenzen von Simulationen im und ausserhalb vom Wald analysiert wurden (siehe Abbildung 5). Zu solchen Differenzen haben wir in den vergangenen Jahren viele Messdaten gesammelt. Entsprechend existieren fundierte Erfahrungswerte, welche wir einsetzen konnten, um das Modell optimal einzustellen. Die Übernahme des neuen Modells in den operationellen Betrieb stellte angesichts der grossen Datenmengen und des gestiegenen Rechenaufwands eine weitere Herausforderung dar (siehe 2.1). Diese konnte aber gemeistert werden, so dass heute die Lieferzeiten der automatischen Datenlieferungen ans BAFU sogar unter denen vom letzten Jahr liegen.

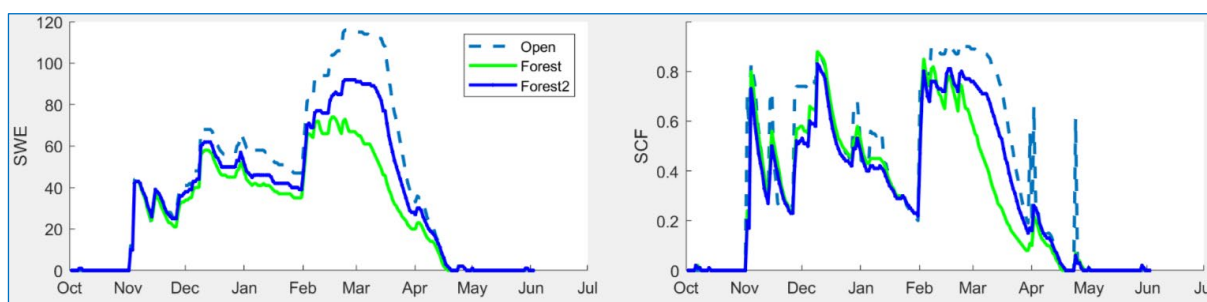


Abbildung 5: Beispiel von vergleichenden Simulationen von offenen Flächen die unterschiedlich durch die Abschattung aufgrund umstehender Bäume betroffen sind, links Schneewasseräquivalent (mm), und rechts Schneebedeckungsgrad (-).

2.6 Verbesserte Berücksichtigung von Schnee auf Gletschern

Teile der Schweiz sind von Eis bedeckt, wobei durch die kürzliche Integration von französischen Einzugsgebietsanteilen sogar noch weitere Gletscherflächen zum OSHD Modellperimeter hinzukamen. Bisher wurden diese Gletscherflächen in den OSHD Simulationen nicht speziell behandelt. Ziel war es daher im Jahr 2022 jene spezifischen Eigenschaften der Gletscherflächen in den Simulationen zu berücksichtigen welche die Energiebilanz des Schnees sowie die Schneeakkumulationsraten auf den Gletschern wesentlich beeinflussen.

In einem ersten Schritt wurden die Gletscherflächen auf Grundlage der neuen Arealstatistik 2021 (räumliche Auflösung 100 m) als eigene Landnutzungsklasse integriert (siehe Abbildung 6). Für Gletscher wurden jene Parameter angepasst welche einen wesentlichen Einfluss auf die Energiebilanz des Schnees haben sowie Parameter welche die thermischen Randbedingungen zwischen Eis und Schnee beeinflussen. Da sich die saisonale Schneedecke nicht auf Boden/Gestein aufbaut, sondern auf Eis oder Firn wurde die thermische Randbedingung für Gletscher insofern geändert, als dass die Oberflächentemperatur nicht über die Schmelztemperatur von 0°C steigen kann. Zudem wurde die Wärmeleitfähigkeit an jene für Eis angepasst. Dies hat zur Folge, dass vor allem erste Schneefälle im Frühwinter auf eine deutlich kühlere Oberfläche akkumuliert werden, was in etwas grössere Schneemengen im Frühwinter resultiert.

In einem weiteren Schritt wurden auf Grundlage vergleichbarer Schneemodellierung auf Gletschern die Werte für die Rauigkeitslänge der Oberfläche und Albedo für die Landnutzungsklasse Gletscher angepasst. Hierbei wird für die Albedo und Rauigkeitslänge zwischen schneefreien und schneebedeckten Flächen unterschieden. Bei schneefreien Gletscherflächen wird zudem die teilweise Bedeckung durch Firn mitberücksichtigt. Für Schnee auf Gletschern wird die standardmässige Albedo Parametrisierung von Schnee genutzt. Für schneefreie Gletscherflächen jedoch (unter Berücksichtigung des Firns) wurde eine deutlich geringere Albedo eingeführt. Auch für die Rauigkeitslänge gibt es wesentliche Unterschiede zwischen schneefreien und schneebedeckten Gletschern. Schneefreie Gletscheroberflächen weisen im Vergleich zu Schnee im freien Gelände eine hohe Rauigkeitslänge auf. Da Gletscheroberflächen in der Regel wenig Relief aufweisen, ist die Rauigkeitslänge für Schnee auf Gletschern im Vergleich zu Schnee im freien Gelände daher deutlich kleiner. Vor allem die geringere Oberflächenrauigkeit des Schnees auf Gletscher und der damit verbundenen Verminderung der turbulenten Wärmeflüsse führt neben der thermischen Randbedingungen für Eis zu etwas grösseren Schneemengen auf Gletschern.

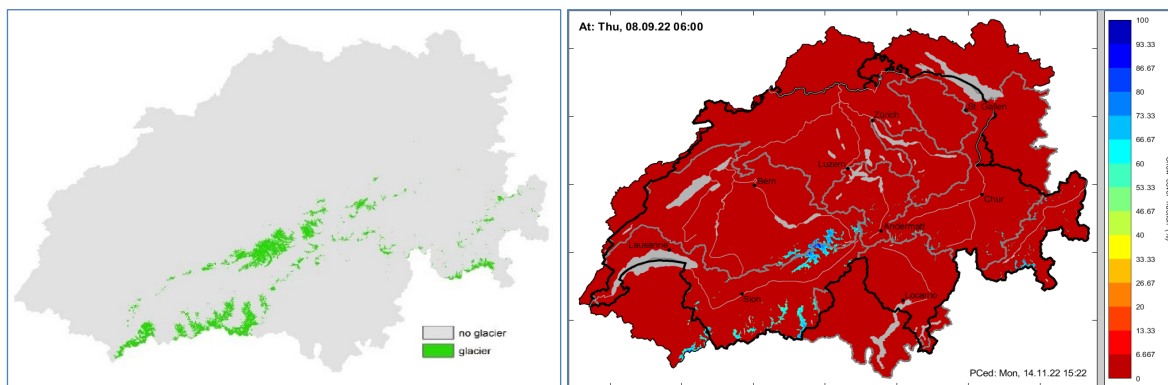


Abbildung 6: Modelpixel die Gletscherflächen enthalten (links), sowie die Schneebedeckungskarte nach dem ersten Schneefall der Saison 2022/23, die zeigt, dass die Gletscheroberflächen als einzige den Schnee halten können, während der Neuschnee anderenorts wegschmilzt.

2.8 Vorstudie zur Umstellung der OSHD-Modelle auf Ensemble-Vorhersagen

Ziel dieses Arbeitspakets war es einerseits die technischen Voraussetzungen zu schaffen, um Ensemblesimulationen durchführen zu können, und andererseits mögliche Präsentationsformen für aktuellen Produkte des OSHD zu erarbeiten.

Als erste Hürde stellte sich zunächst heraus, dass Ensemblemodellläufe in Kombination mit der unter 2.1 beschriebenen Parallelisierung enorme RAM Ressourcen erfordern, die zunächst nicht verfügbar waren. Nachdem das Problem gelöst werden konnte, stellte sich die Frage nach der Generierung von Ensemble Members. Als drei Alternativen haben wir Strukturen geschaffen, die es uns ermöglicht mit folgenden Ensembles zu rechnen: a) den originalen COSMO 1E/2E Ensembles, b) eigenen COSMO Ensembles durch Addition von statistischem Noise, c) Modellparameter Ensembles (vgl. Abbildung 7). Auf Basis der originalen COSMO 1E Ensembles wurden mehrere interessante Situationen der vergangenen zwei Winter

nachgerechnet, um damit eine realistische Datengrundlage für die nachfolgenden Überlegungen zu möglichen Präsentationsformen zu erschaffen.

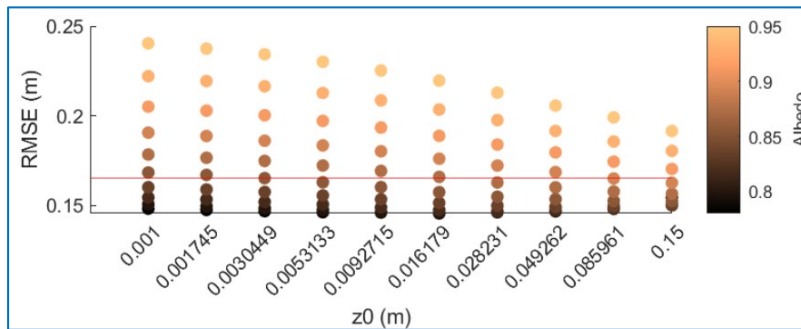


Abbildung 7: Anwendung eines 2-dimensionalen Modellparameter Ensembles (10×10), hier in Bezug auf die zwei Modellparameter Neuschneealbedo und Rauigkeitslänge (z_0) der Schneeoberfläche.

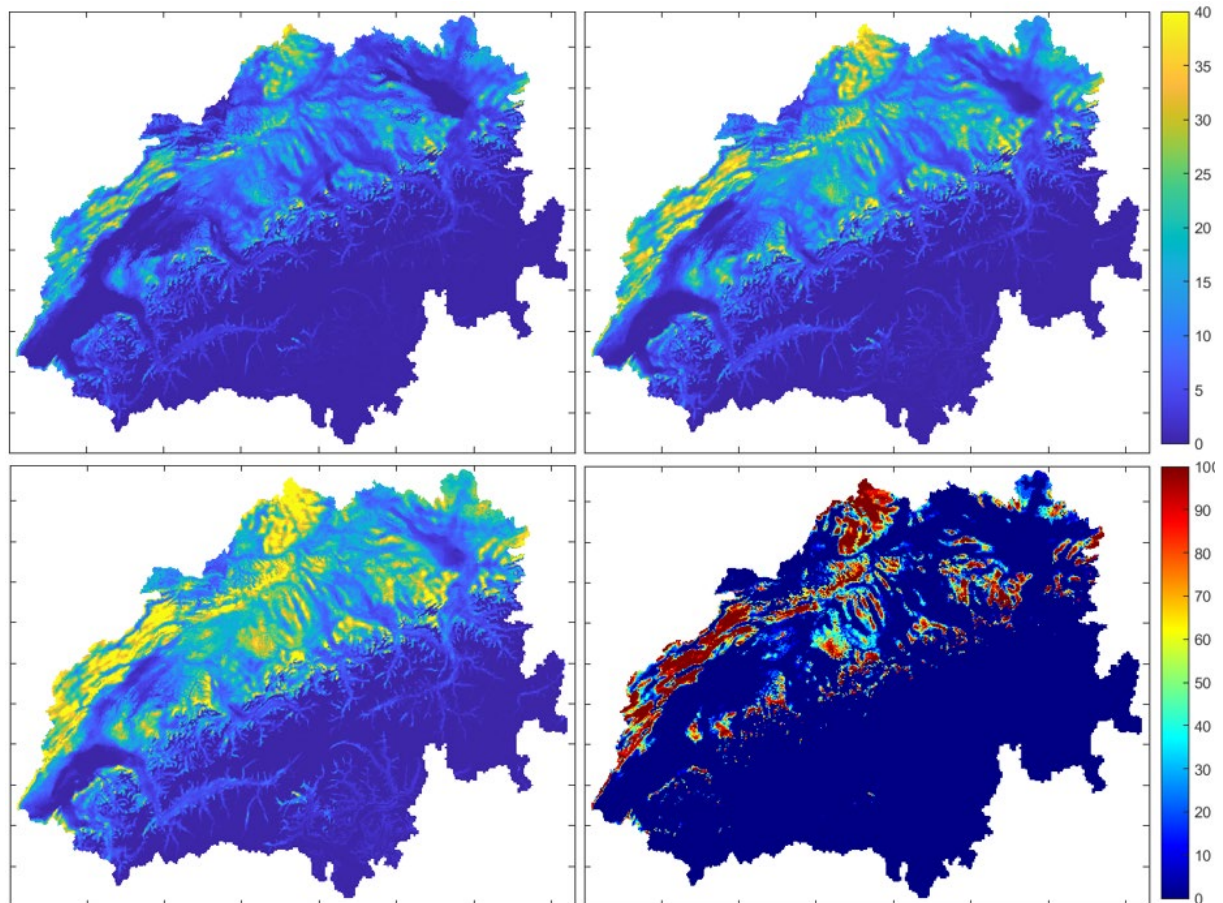


Abbildung 8: Pixelbasierte Auswertung zum Schneeschmelzabfluss am Tag des Rain-on Snow Events vom 28. Januar 2021, basierend auf parallelen Simulationen zu den einzelnen COSMO 1E Ensemble Members: Minimalabfluss (oben links), Mittlerer Abfluss (oben rechts), Maximalabfluss (unten links), Wahrscheinlichkeit eines Abflusses von über 20 mm (unten rechts).

Die einzelnen Simulationen basierend auf den unterschiedlichen Ensemble Membern zu einem Event wie dem des Rain-on Snow Events vom 28. Januar 2021 stellten sich als erstaunlich ähnlich heraus. Dies liegt sicher teilweise an dem ungenügenden Spread der aktuellen COSMO 1E Ensemble selbst. Einzelne ausgewählte Ensemble Member zu präsentieren, scheint also weniger geeignet. Daher wurden für Abbildung 8 pixelspezifische Auswertungen zu Minimal-, Mittel-, Maximalwerten, sowie die Übertrittswahrscheinlichkeit eines bestimmten Wertes zusammengestellt. Einzig bei Starkschneefällen mag sich eine Einzeldarstellung von Ensemble Membern lohnen, wie am Beispiel eines Starkschneefalls im Dezember 2020 in Abbildung 9 gezeigt wird.

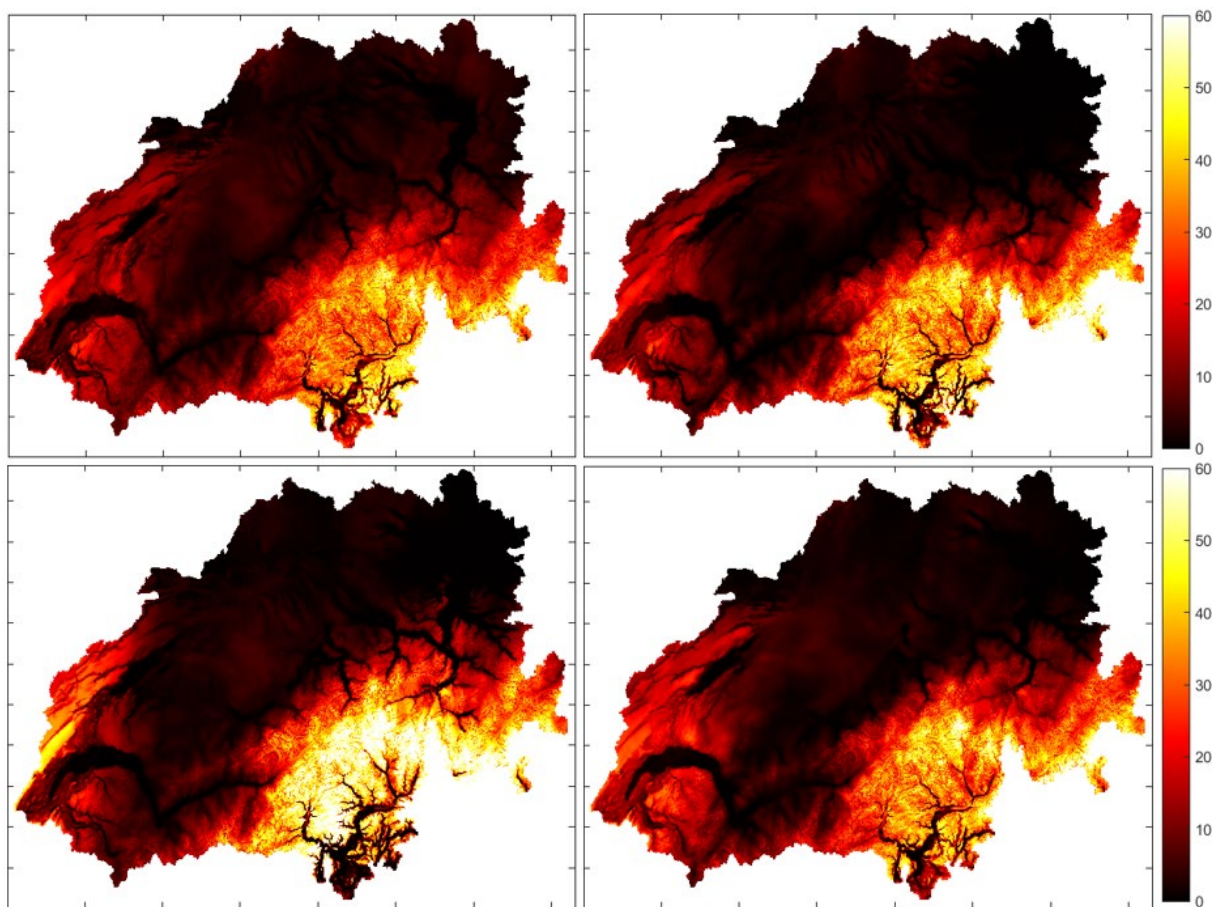


Abbildung 9: Unterschiedliche Schneefallraten (mm/Tag) einzelner Ensemble Member am Tag eines starken Schneefalls vom 4. Dezember 2020

2.3 / 2.9 Reserve

Sowohl in Bezug auf die Ergänzung der bestehenden OSHD Produkte (2.3) als auch auf die Unterstützung bei modelltechnischen Fragestellungen (2.9) wurden dieses Jahr keine Wünsche an uns herangetragen. Diese Punkte waren als Reserve nach Bedarf formuliert und lagen im Umfang bei lediglich 2.7% des Gesamtauftrags.

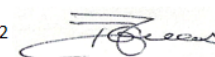
Anhang 1: OSHD Leistungsnachweis

Nachweis über erbrachte Weiterentwicklungsleistungen des OSHD im 2022

Kategorie	Tarifstufe	Eingesetzte Mitarbeiter/Innen												
Projektleitung	Stufe 1	Tobias Jonas												
ältere erfahrene Wissenschaftler/in	Stufe 2	Tobias Jonas, Rebecca Mott, Jan Magnusson												
erfahrene Wissenschaftler/in	Stufe 3	Louis Queno, Giulia Mazzotti, Clare Webster, Bertrand Cluzet												
Position im Vertrag	Tarifstufe	Jan 22	Feb 22	Mär 22	Apr 22	Mai 22	Jun 22	Jul 22	Aug 22	Sep 22	Okt 22	Nov 22	Dez 22	Total
1.) Prozessmanagement	Stufe 1									2	4	4	12	22
	Stufe 2													
	Stufe 3													
2.1) Erhöhung der räumlichen Auflösung der OSHD Modelle	Stufe 1													
	Stufe 2							40	40	24	8			112
	Stufe 3							64	40	32	24			160
2.2) Erweiterung des OSHD Modellperimeters	Stufe 1								20	20				40
	Stufe 2				20				40	56	48			164
	Stufe 3									56	24			80
2.3) Erweiterung / Ergänzung der bestehenden OSHD Produkte	Stufe 1													
	Stufe 2													
	Stufe 3													
2.4) Verbesserte Berücksichtigung in Schnee-Wald-Prozessen	Stufe 1													
	Stufe 2							4	4	4				12
	Stufe 3	32	48	48	48	48	48	48	48	48	48	24		488
2.6) Verbesserte Berücksichtigung von Schnee auf Gletschern	Stufe 1													
	Stufe 2							20	40					60
	Stufe 3							20	56	20				96
2.8) Vorstudie zur Umstellung der OSHD-Modelle auf Ensemble-Vorhersagen	Stufe 1												8	8
	Stufe 2												16	16
	Stufe 3				8	8	16	8		16	8	24		88
2.9) Unterstützung bei modelltechnische Fragestellungen	Stufe 1													
	Stufe 2													
	Stufe 3													
Total Positionen 2.1) - 2.9)	Stufe 1								20	22	4	4	20	70
	Stufe 2				20			64	124	84	56		16	364
	Stufe 3	32	48	48	56	56	64	140	144	172	104	48		912
	Total	32	48	48	76	56	64	204	288	278	164	52	36	1346

Leitung OSHD

15.12.2022



(Datum / Unterschrift)

Tabelle 1: Stundenrapport aufgeschlüsselt nach Monaten, Tarifstufe und Position gemäss Anforderungen des Vertrages