

2.4.2 Teilprojekt Glaziologie - Veränderung der Eisreserve in der Zukunft

1. Einleitung

Das Schmelzwasser der Gletscher liefert in den alpinen Kopfeinzugsgebieten im Sommer einen verlässlichen Beitrag zum Abfluss. Mit dem Rückschmelzen der Gletscherfläche und dem Aufbrauchen der Eisreserven nimmt dieser in einem wärmer werdenden Klima ab.

Die Beobachtungen des Gletscherrückgangs im Verlauf des letzten Jahrhunderts mit einem globalen Temperaturanstieg von 0.8K zeigen die beeindruckende Dynamik des Prozesses, der sich auf der Basis von Wechselwirkungen mit Rückkopplungen besonders in den letzten beiden Dekaden stetig beschleunigte. Er wird in DANUBIA durch ein glaziologisches Teilmodell im Rahmen der Behandlung der Landoberflächenprozesse sehr detailliert berechnet, so dass auch die zukünftigen Ausmaße der Vergletscherung und der Abflussspende unter den Vorgaben diverser Klimaszenarien untersucht werden können. Die hier exemplarisch wiedergegebenen Resultate einer Modellierung auf der Basis des gemäßigten Klimatrends *IPCC regional* und der Klimavariante *Baseline* (siehe Kapitel S1) bestätigen Abschätzungen, nach denen die Eisreserven in den Ostalpen bereits in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts nahezu vollständig verschwunden sein könnten.

2. Modellbeschreibung

Alpine Gletscher sind Objekte, die durch folgende drei Hauptprozesse ihre Gestalt verändern:

- **Akkumulation** von Schnee,
- **Ablation** von Schnee und Eis, sowie dem
- **Fließen des Eisstroms** ins Tal.

Die ersten beiden Prozesse finden nahezu ausschließlich an der Gletscheroberfläche statt, während die Eisbewegung im Eiskörper stattfindet und dessen Form je nach Intensität verändert. Die Hauptquelle für die Akkumulation ist der Schneefall, dessen Anteil am lokalen Niederschlag P von der Bedingung einer ausreichend tiefen Lufttemperatur T nahe der Oberfläche abhängt. Wegen der generellen Abnahme von T mit der Höhe nimmt der Schneefall nach oben hin zu. Lokal findet Akkumulation auch durch Lawinen oder Schneeverwehungen statt.

Für die Ablation ist der wichtigste Prozess die Schmelze. Das Schmelzwasser wird dem Abfluss zugeführt. Schmelze findet dann statt, wenn die Schnee- oder Eisoberfläche auf 0°C erwärmt wird und darüber hinaus Energie zum Aufbringen der Schmelzwärme verfügbar ist. Letztere Bedingung ist gleichbedeutend mit einer positiven Energiebilanz der Oberfläche. Deren Komponenten sind die kurz- und langwellige Strahlung (z.B. Globalstrahlung G) und die turbulenten Wärmeströme zwischen der Atmosphäre und der Oberfläche.

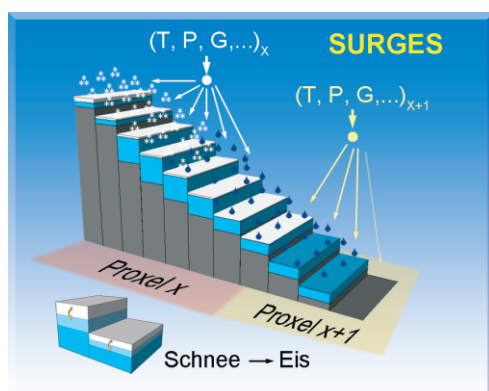


Abbildung 2.4.2.1: Schema der Funktion des subskaligen Gletscherteilmodells *Surges* und dessen Einbettung in DANUBIA.

Sowohl die Berechnung der Schneeakkumulation als auch der Schnee- und Eisschmelze erfolgt auf den Gletscherflächen mit dem Gletscherteilmodell *Surges* (Subscale Regional Glacier Extension Simulator). Durch die starke Abhängigkeit der Parameter vom Relief und die daraus resultierende Nichtlinearität sowie die zu ungenaue Verortung der Gletscherflächen auf dem DANUBIA-Raster, erfolgte die Implementierung der Modellalgorithmen auf der Subskala. Dazu werden die Eiskörper auf den Rastereinheiten durch ein Stufenmodell angenähert, das aus Flächen-, Höhen- und Eisdickenverteilungen abgeleitet wurde. Die Erstellung dieses Basisdatensatzes wird in der Beschreibung zur Karte 1.8 näher erläutert.

Subskalige Extrapolation:

Die Abbildung 2.4.2.1 veranschaulicht die Extrapolation der durch das Rahmenprogramm auf der

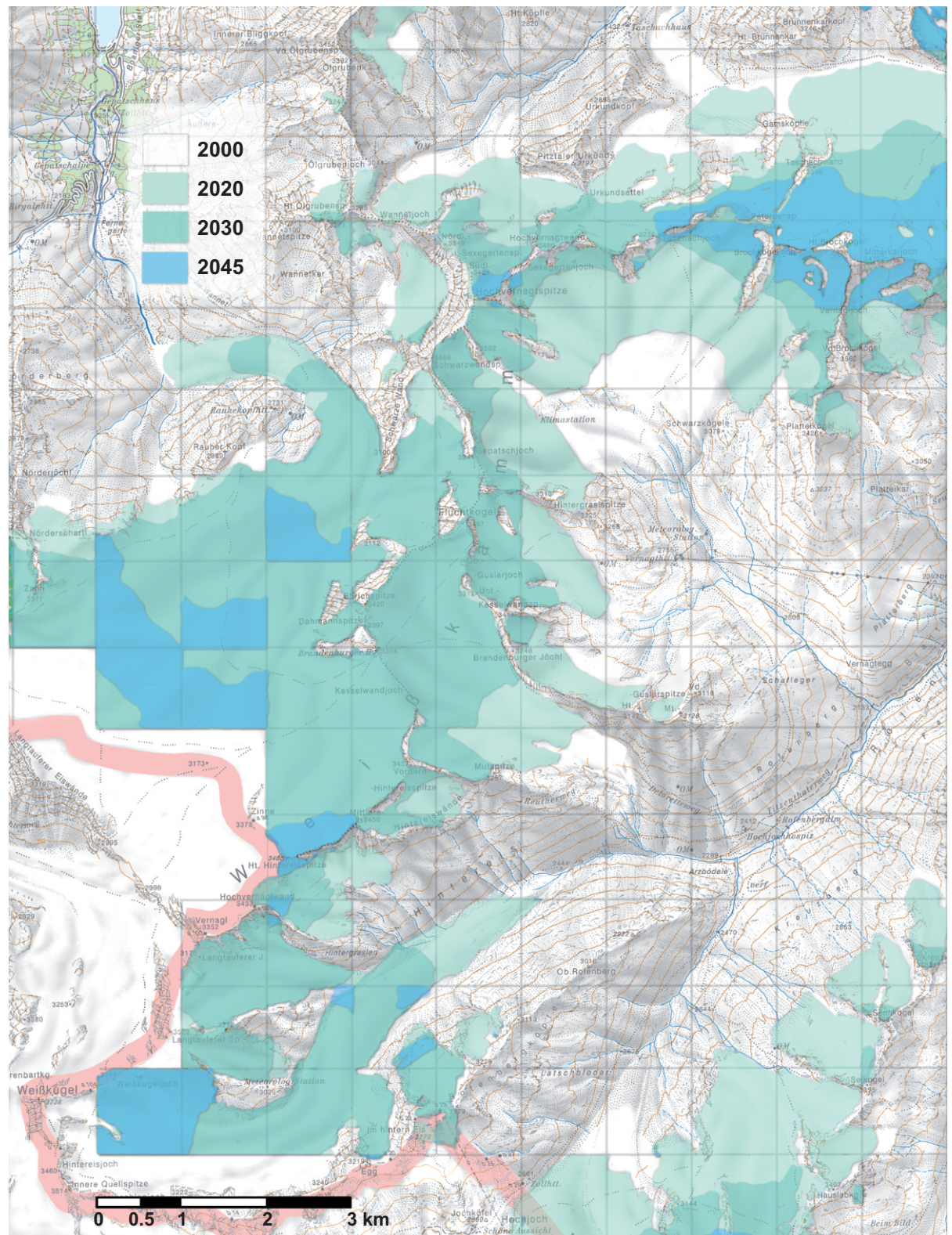


Abbildung 2.4.2.2: Detaillierte Ausschnittkarte der Veränderung von Gletscherflächen im Ötztal unter dem Klimatrend *IPCC regional* und der Klimavariante *Baseline* (Quellen: Karte 1:50.000 des Hydrologischen Atlas Österreichs L3 (2007) B4.3. Autoren Kuhn & Lambrecht; Schichtlinienpläne 50 m aus den Daten des Österreichischen Gletscherinventars; Modelldaten *Surges* mit Ergebnissen aus dem statistischen Klima-antriebs-Generator).

Proxelskala bereitgestellten meteorologischen Grundgrößen entsprechend ihrer Höhenabhängigkeit. Die Akkumulation und Ablation wird anschließend individuell für jede einzelne Stufe mit den dem Problem angepassten Parametrisierungen berechnet. Daher kann innerhalb einer $1 \times 1 \text{ km}^2$ Einheit gleichzeitig Schneefall in den oberen Regionen und Regen bzw. Schmelze in tieferen Lagen berechnet werden. Die potentielle Unterscheidung von Schnee- und Eisoberflächen ist ebenfalls von Bedeutung, da die Eisschmelze wegen der niedrigeren Albedo bis zu 4fach effizienter ist als die Schneeschmelze.

Massenänderung und Flächenänderung:

Überdauert die Schneedecke auf einer Stufe ein Haushaltsjahr, dann wandelt sie sich teilweise in Eis um, das dem Eiskörper zugeschlagen wird. Schneefreie Stufen dagegen können vollständig abschmelzen und den Untergrund freigeben. Dadurch wird die Gletscherfläche reduziert. Schmilzt innerhalb eines hydrologischen Jahres mehr Eis ab als sich bildet, ist die Massenbilanz des Gletschers insgesamt negativ.

In Abhängigkeit von den klimatischen Randbedingungen ist die Massenbilanz der obersten Stufen in der Regel positiv, die der untersten Stufen Jahr für Jahr negativ. Die Eisbewegung sorgt teilweise für einen Ausgleich, indem Eis von den höheren Stufen den tiefer gelegenen zugeschlagen wird. Ist die Gesamtbilanz des Gletschers negativ, verlangsamt dieser Prozess die Flächenabnahme, erhöht dabei aber den Massenverlust. Ist die Massenbilanz des Gletschers dagegen positiv, führt dieser Mechanismus zum Gletschervorstoß.

Surges bildet diesen Mechanismus mit einem empirischen Umverteilungsparameter nach. Da je-

doch der Antrieb der Eisbewegung durch die Schwerkraft erfolgt, verliert dieser in Perioden mit kontinuierlichen Massenverlusten immer mehr an Bedeutung. Damit steigt der beobachtete Flächenrückgang überproportional zum Massenverlust.

3. Darstellung der Ergebnisse

Auf der Karte 2.4.2 ist analog zur Karte 1.8 die mittlere verfügbare Eismasse pro Proxel in der Einheit mm Wasseräquivalent für den Klimatrend *IPCC regional* und die Klimavariante *Baseline* in den Modelljahren 2030 und 2060 dargestellt. Unter diesen Bedingungen schwinden die Eisreserven sehr drastisch. Nach 50 Modelljahren sind die Alpen im Einzugsgebiet nahezu eisfrei.

Zu beachten ist jedoch, dass es sich hier nicht um eine „Prognose“ des Gletscherstands für einen Termin handelt, sondern um eine Fallstudie zum Gletscherverhalten ausgehend vom tatsächlichen Gletscherstand 2000 unter einem bislang nicht erlebten Klimaszenario. Abbildung 2.4.2.2 zeigt die Veränderung der Gletscherflächen im Detail für einen Ausschnitt des Ötztals auf der Basis von Schichtlinienplänen. Sie verdeutlicht einerseits, dass sich die relativ grobe subskalige Auflösung nur beschränkt zur realistischen Modellierung des zeitlichen Ablaufs der Veränderung einzelner Gletscherflächen eignet. Andererseits vermittelt sie einen Eindruck der Dynamik des zukünftigen Rückgangs der Gletscher unter den Bedingungen einer regelmäßigen Länge der Ablationsperiode und Ausmaßen des Eisgebietes, wie sie mit Ausnahme des Jahres 2003 noch nie zuvor beobachtet wurden.