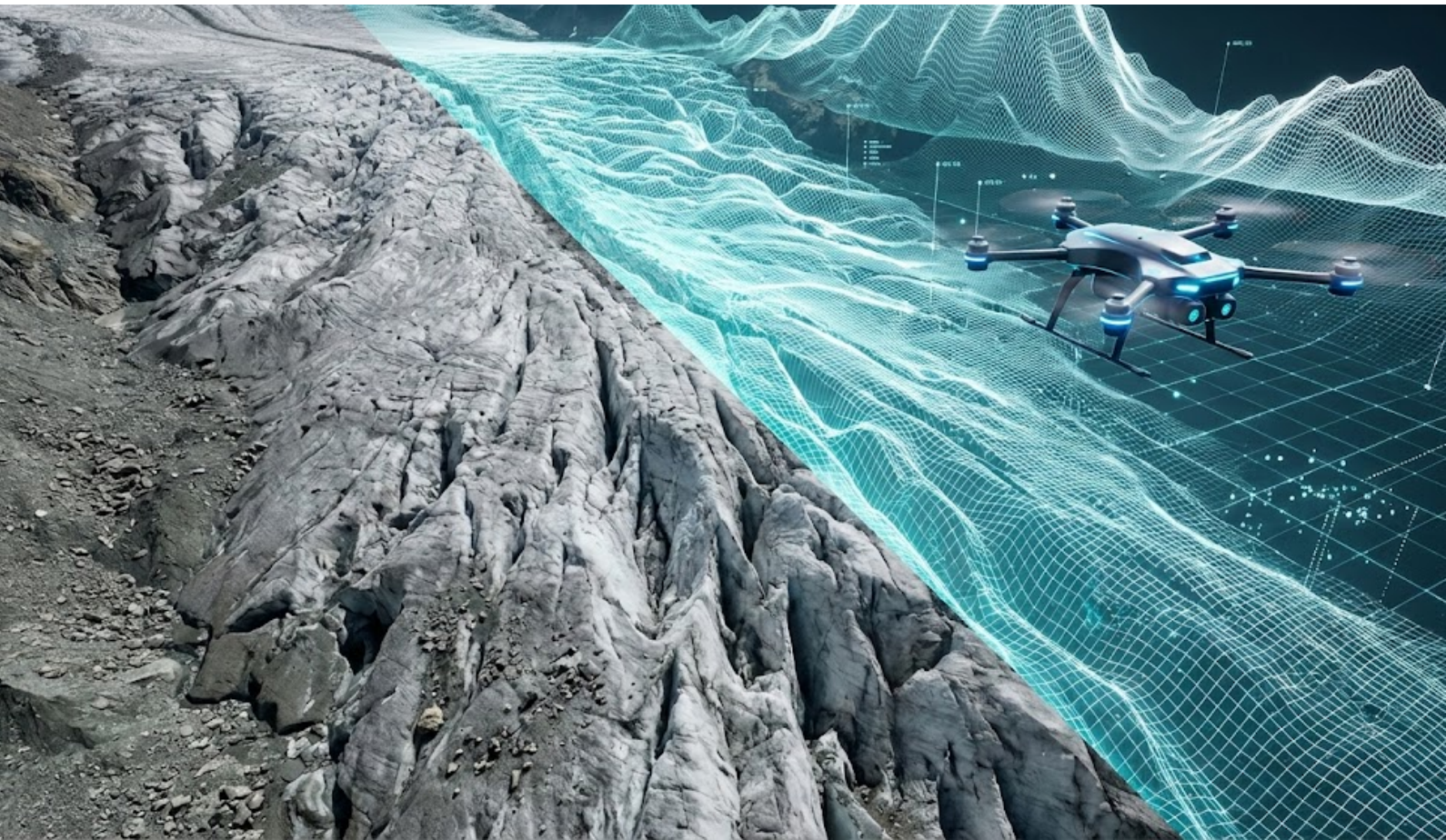




PROJECT ALPINE SHIELD

Glacier Protection System & Microclimate Simulation

25.12.2025

[Alpineshield.ch](https://alpineshield.ch)

info@alpineshield.ch

Fabian Boni - FHNW BSC Data Science

Bastian Büeler - FHNW BSC Business Artificial Intelligence

Inhaltsverzeichnis

1. Überblick	2
1.1. Management Summary	2
1.2. Methodik: Der "Digital Twin" Ansatz	3
2. Ökonomische Analyse & Ergebnisse	4
2.1. Business Case & Unit Economics	4
2.2. Sensitivitäts-Analyse (Skalierung)	4
3. Technologie & Mission Control	5
3.1. Operative Umsetzung: Das Hybride System	5
3.2. Unser Anliegen & Nächste Schritte	6

1. Überblick

1.1. Management Summary

Der Rückgang der alpinen Gletscher stellt nicht nur ein ökologisches, sondern ein massives ökonomisches Risiko für die Schweizer Tourismus- und Energiewirtschaft dar. Bestehende Lösungen (z.B. Vlies-Abdeckungen) sind operativ ineffizient, teuer und nicht skalierbar.

Alpine Shield entwickelt ein **hybrides Interventions-System**, das Data Science (Detektion), Business AI (Ökonomie) und Robotik (Ausführung) vereint. Unser Ansatz "*Precision Climate Control*" ersetzt statische Abdeckungen durch eine dynamische Matrix-Strategie:

1. **Surface Shield (Klarer Himmel):** Präzise Applikation von biologisch abbaubarem Schuttschaum zur direkten Albedo-Erhöhung.
2. **Cloud Brightening (Bewölkung):** Atmosphärische Injektion von Salzaerosolen, um die Reflektivität der Wolken zu verstärken (Twomey-Effekt).

Multisektoraler Anwendungsbereich: Die Technologie ist als skalierbare Plattform konzipiert, deren Einsatz über den reinen Gletscherschutz hinausgeht:

- **Wintertourismus:** Aktiver Schutz der Schneedecke in Skigebieten zur Saisonverlängerung und Reduktion technischer Beschneungskosten.
- **Landwirtschaft:** Schutz sensibler Ernten (z.B. Weinbau, Obst) vor Hitzestress und Extremwetter durch gezielte Modulation der lokalen Sonneneinstrahlung.
- **Wasserwirtschaft:** Erhalt der Gletscher als strategische Süßwasserreservoirs für die Energieproduktion im Sommer.

1.2. Methodik: Der "Digital Twin" Ansatz

Anstatt physische Tests durchzuführen, haben wir zunächst einen digitalen Zwilling des Morteratschgletschers entwickelt, um die Effizienz unserer Strategie zu validieren.

- **Datenbasis:** Wir nutzen multispektrale Satellitendaten (Sentinel-2, Band 3 & NDSI), um den Zustand der Gletscheroberfläche zu klassifizieren.
- **Stochastische Simulation:** Ein Python-basiertes Modell simuliert die thermische Wirkung einer Albedo-Erhöhung (von $\alpha=0.1$ auf $\alpha=0.9$) unter Berücksichtigung realer Wetterdaten (Strahlung, Temperatur, Wind) des Sommers 2023.
- **Algorithmische Steuerung:** Ein "Priority-First"-Algorithmus identifiziert kritische Absorptions-Hotspots (dunkles Eis) und berechnet die optimale Verteilung der Schutzschicht.

Real-Shape Simulation: Morteratschgletscher, Coverage: 15.0%



Abb 1: Simulations-Output für den Morteratschgletscher. Gezeigt ist die algorithmische Verteilung der Schutzschicht (Weiss) auf den 15% dunkelsten Zonen (Coverage 0.15).

2. Ökonomische Analyse & Ergebnisse

2.1. Business Case & Unit Economics

Ein Gletscherschutz-System ist nur dann nachhaltig, wenn es ökonomisch tragfähig ist. Unsere Analyse vergleicht die operativen Kosten eines autonomen Drohnenschwarms mit den Substitutionskosten für technische Beschneieung (ca. CHF 8.00/m³), die aktuell zur Massenbilanz-Erhaltung nötig wären.

Ergebnis der Simulation (Szenario: 15% Coverage):

- **Investition (OpEx):** CHF 1.87 Mio. (Material, Energie, Drohnen-Wartung).
- **Konservierter Wert (Value):** CHF 17.97 Mio. (Äquivalent an technischem Schnee).
- **Effizienz:** Das System erzielt einen **ROI von > 800%**.

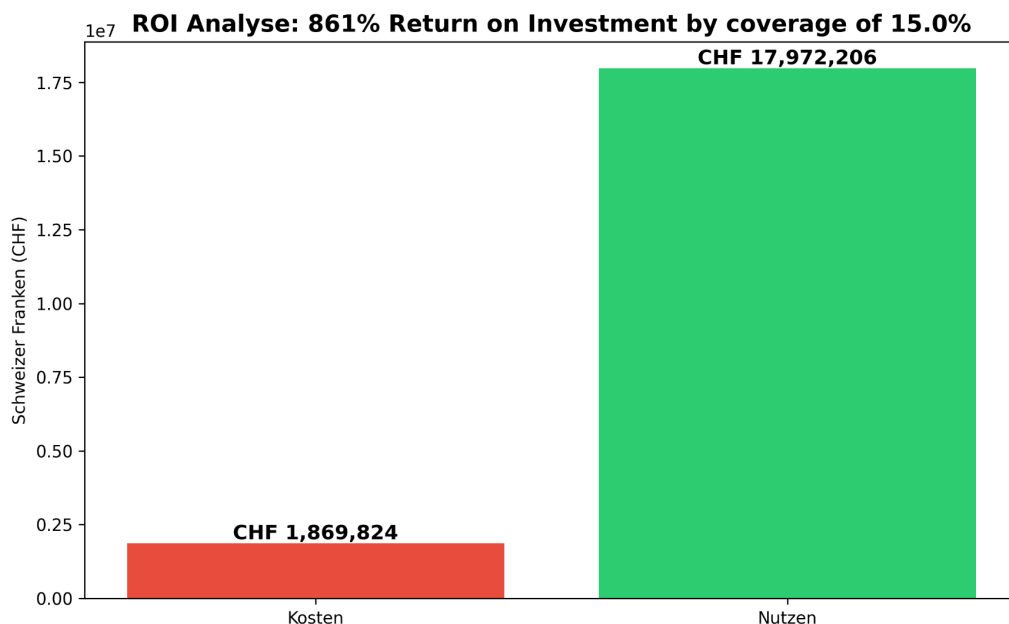


Abb 2: Kosten-Nutzen-Analyse basierend auf konservativen Marktpreisen für technische Beschneieung. Nicht inkludiert sind strategische Werte wie der Schutz von Liftfundamenten (Asset Protection).

2.2. Sensitivitäts-Analyse (Skalierung)

Wir haben untersucht, wie sich eine Ausweitung der Schutzfläche auf die Grenzkosten auswirkt. Der Vergleich zwischen 15% und 45% Abdeckung zeigt klassische "Diminishing Returns": Während der absolute Profit bei 45% steigt (+40 Mio. CHF), ist die Kapitaleffizienz bei der gezielten Hotspot-Behandlung (15%) am höchsten. Dies bestätigt unseren "Precision-First"-Ansatz.

3. Technologie & Mission Control

3.1. Operative Umsetzung: Das Hybride System

Alpine Shield setzt nicht auf eine einzige Lösung, sondern auf eine adaptive Matrix-Strategie, die in Echtzeit auf Wetteränderungen reagiert.

Die Entscheidungslogik (Mission Control): Unser Backend (FastAPI) verarbeitet Live-Telemetrie-Daten und wählt autonom den effektivsten Modus:

1. **Surface Shield (Klarer Himmel):** Ausbringung von biologisch abbaubarem Zellulose-Schaum auf dem Boden.
2. **Cloud Brightening (Bewölkung):** Injektion von Salzaerosolen in die atmosphärische Grenzschicht (Twomey-Effekt), um die Wolken-Albedo zu erhöhen.
3. **Standby:** Automatische Deaktivierung bei ineffizienten Bedingungen ($< 0^{\circ}\text{C}$ oder Nacht).

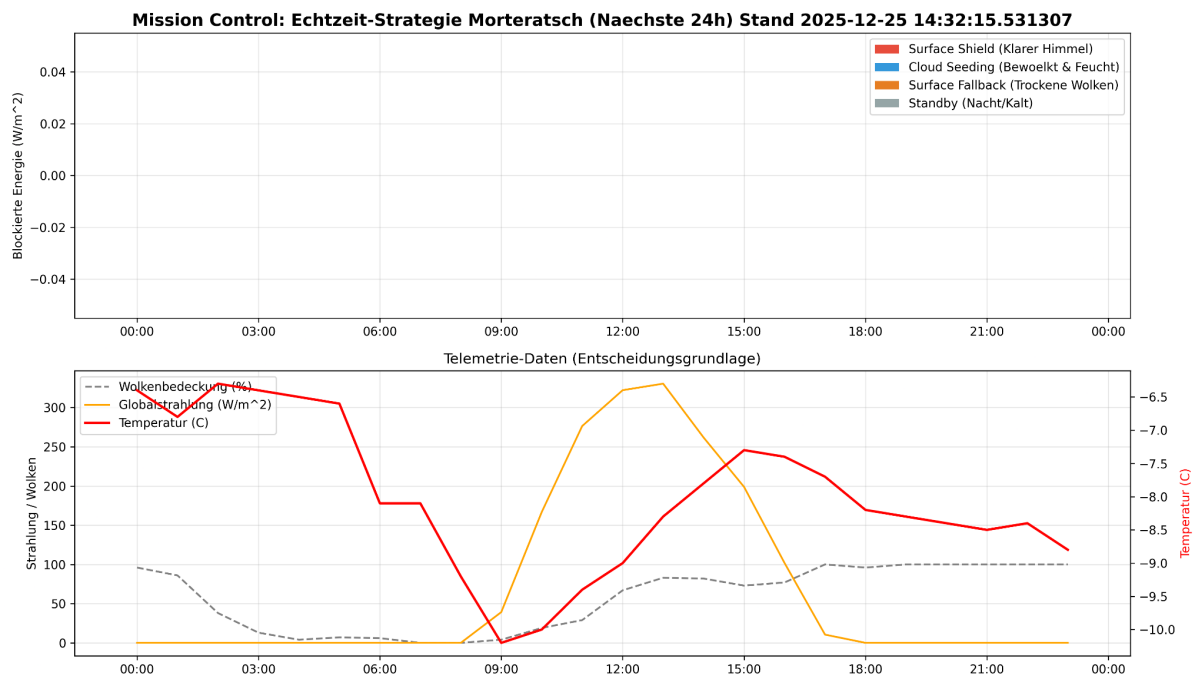


Abb 3: Exemplarische 24h-Entscheidungssequenz der Mission Control Software basierend auf realen Wetterdaten.

3.2. Unser Anliegen & Nächste Schritte

Wir haben den "Proof of Concept" auf Simulationsebene erbracht. Die Ergebnisse zeigen, dass eine technische Lösung physikalisch wirksam und ökonomisch hochattraktiv ist.

Als interdisziplinäres Team suchen wir nun den Dialog mit der Forschung, um:

1. Die glaziologischen Parameter unseres Modells zu validieren.
2. Mögliche Pilot-Standorte für kleine Feldversuche zu diskutieren.
3. Expertise im Bereich der atmosphärischen Physik einzubinden.

Team & Kontakt

Fabian Boni *BSc Data Science, FHNW Fokus: Simulation, Sensor-Fusion & MRV*

Bastian Büeler *BSc Business Artificial Intelligence, FHNW Fokus: Strategy, Operations & Unit Economics*

Kontakt: info@alpineshield.ch