



Seilbahnen Schweiz
Remontées Mécaniques Suisses
Funivie Svizzere
Pendicularas Svizras

Wassermanagement von Skigebieten

Projektabschlussbericht 2025



Rolf Weingartner
Prof., Dr. phil.-nat.
ecosfera gmbh

international water affairs

Klaus Lanz
Dr. phil.-nat.
international water affairs

Inhalt

| | |
|--|-----------|
| BERICHTERSTATTUNG | 3 |
| AUF EINEN BLICK | 4 |
| KURZFASSUNG | 6 |
| 1 EINLEITUNG | 17 |
| 1.1 Ausgangslage und Zielsetzung | 17 |
| 1.2 Aufbau und Inhalt des Schlussberichts | 18 |
| 2 ECKPFEILER EINES NACHHALTIGEN WASSERMANAGEMENTS VON SKIGEBIETEN | 18 |
| 2.1 Methodische Grundlagen | 18 |
| 2.2 Wasserdargebot (verfügbares Wasser) | 20 |
| 2.2.1 Analyse der heutigen Situation | 20 |
| 2.2.2 Analyse der zukünftigen Entwicklungen | 22 |
| 2.3 Erntefaktor und nutzbares Wasser | 25 |
| 2.4 Infrastruktur (zugängliches Wasser) | 28 |
| 2.5 Wasserbedarf (benötigtes Wasser) | 29 |
| 2.6 Synthese | 30 |
| 3 ERKENNTNISSE DER FALLSTUDIE BIVIO | 33 |
| 3.1 Kurzporträt Bivio | 33 |
| 3.2 Wasserdargebot (verfügbares Wasser) | 33 |
| 3.3 Erntefaktor und nutzbares Wasser | 34 |
| 3.4 Infrastruktur (zugängliches Wasser) | 36 |
| 3.5 Wasserbedarf (benötigtes Wasser) | 36 |
| 3.6 Abschliessende Beurteilung Bivio | 37 |
| 4 ERKENNTNISSE DER FALLSTUDIE BELALP | 41 |
| 4.1 Kurzporträt Belalp | 41 |
| 4.2 Wasserdargebot (verfügbares Wasser) | 41 |
| 4.3 Erntefaktor und nutzbares Wasser | 42 |
| 4.4 Infrastruktur (zugängliches Wasser) | 43 |
| 4.5 Wasserbedarf (benötigtes Wasser) | 43 |
| 4.6 Abschliessende Beurteilung Belalp | 43 |
| ANHANG | 49 |

Berichterstattung zum Projekt Wassermanagement von Skigebieten

Die Berichterstattung zum Projekt **Wassermanagement von Skigebieten** gliedert sich in drei Teile:

1. Schlussbericht

Der vorliegende Schlussbericht fasst die zentralen Ergebnisse und Erkenntnisse des Gesamtprojekts zusammen. Zudem wird ein mögliches methodisches Vorgehen zur Analyse der heutigen und zukünftigen Wassersituation in Skigebieten skizziert. Der Schlussbericht basiert auf den Untersuchungen in den beiden Fallstudiengebieten Bivio und Belalp.

2. Fachbericht Bivio

Das Skigebiet Bivio wurde im Rahmen des Projekts als erstes untersucht. Der Fokus lag auf der Entwicklung und Erprobung einer geeigneten Methodik zur systematischen Analyse der Wasserverfügbarkeit und des Wasserbedarfs. Entsprechend ausführlich fällt der Fachbericht zu Bivio aus; er dokumentiert detailliert die Herangehensweise und Methodik und dient als Grundlage für weitere Untersuchungen (Weingartner, Schwanbeck und Lanz 2025b).

3. Fachbericht Belalp

Die Analysen im Skigebiet Belalp bauen auf den Erkenntnissen und Erfahrungen aus Bivio auf. Ziel war es, die entwickelte Methodik unter veränderten Rahmenbedingungen anzuwenden und zu überprüfen. Der Bericht zu Belalp versteht sich somit als **Proof of Concept** und ist entsprechend fokussiert auf die Resultate. Für die ausführliche methodische Herleitung wird auf den Fachbericht Bivio verwiesen; der Fachbericht Belalp ist praxisorientiert und ergebniszentriert aufgebaut (Weingartner, Schwanbeck und Lanz 2025a).

Der vorliegende Bericht zeigt auf, wie Skigebiete systematisch prüfen können, ob und in welcher Form ihr Wasserbedarf für die technische Beschneiung langfristig und nachhaltig gedeckt werden kann.

Eine solide Datengrundlage zur heutigen Wasserverfügbarkeit und zum Wasserverbrauch ist dabei entscheidend – je besser die Datenlage, desto belastbarer sind die Ergebnisse. Eine enge Zusammenarbeit mit anderen Wassernutzungen (z. B. Trinkwasserversorgung, Landwirtschaft) sowie die Berücksichtigung ökologischer Anforderungen an die Gewässer bilden zentrale Voraussetzungen für eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung im Bereich der Beschneiung. Konsensorientierte Lösungen sind gefragt.

Aus Sicht der Nutzbarkeit des Wassers für die technische Beschneiung spielt die Lufttemperatur eine entscheidende Rolle, da sie – zusammen mit der relativen Luftfeuchtigkeit – bestimmt, ob das verfügbare Wasser überhaupt für die Beschneiung nutzbar ist. In dieser Studie wurde zu diesem Zweck der sogenannte **Erntefaktor** entwickelt: Er gibt an, wie viele Stunden innerhalb eines Zeitfenters eine technische Beschneiung möglich ist – also welcher Anteil des verfügbaren Wassers nutzbar ist (Kriterium: Feuchtkugeltemperatur muss gleich oder tiefer als -2°C sein).

Für die künftige Entwicklung der klimatischen Bedingungen liefern die aktuellen schweizerischen Klimaszenarien (CH2018 bzw. CH2025 (ab Ende 2025)) sowie darauf basierende hydrologische Informationen eine gute Grundlage. Sie ermöglichen belastbare Aussagen zu Temperatur, Niederschlag und – in vielen Fällen – auch zu Abflüssen in Fließgewässern. Schwieriger wird die Einschätzung jedoch, wenn auch Quellschüttungen und das Grundwasser miteinzubeziehen sind.

Die in dieser Studie erarbeitete Vorgehensweise erlaubt es, die künftig nutzbaren Wassermengen für die technische Beschneiung einzugrenzen, zu bewerten und quantitativ abzuschätzen. Damit kann auch beurteilt werden, ob bei einem möglichen Ausbau der Beschneiungsinfrastruktur das dafür notwendige zusätzliche Wasser überhaupt vorhanden ist.



Die Ergebnisse und Empfehlungen der vorliegenden Studie stützen sich auf zwei vertiefte Fallstudien in **Bivio** und **Belalp**. Die beiden Skigebiete unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht, liegen aber beide auf über 1800 m ü. M. Die Fallstudien:

- belegen, dass sich bei guter Datenlage und in enger Kooperation mit den relevanten Akteursgruppen (Wasserversorger, Energieversorger, Landwirtschaft, Gemeinden) fundierte Aussagen zur künftigen Wasser- verfügbarkeit ableiten lassen,
- zeigen die grundlegenden Unterschiede zwischen Skigebieten mit und ohne Beschneiungsspeicher auf,
- verdeutlichen, dass die technische Beschneiung mengenmäßig zu den kleineren Wassernutzungen gehört,
- unterstreichen, dass es ortsspezifische, massgeschneiderte Lösungen braucht, um die künftigen Herausforderungen im Wasserbereich erfolgreich zu bewältigen.

Die Fallstudien illustrieren, dass eine gezielte Anpassung an die Folgen des Klimawandels möglich und wirkungsvoll ist. Was für andere Bereiche der Wasserbewirtschaftung gilt, trifft in gleicher Weise auch auf den Schneesport zu:

**Wasser wird vor allem dann zum Problem,
wenn man nichts unternimmt.**

Kurzfassung

Mit den heute verfügbaren Methoden ist es möglich, eine fundierte Einschätzung der zukünftigen Wassersituation eines Skigebiets vorzunehmen. Voraussetzung dafür sind Transparenz, die Offenlegung der verfügbaren Daten sowie die Bereitschaft zum Dialog mit den übrigen Stakeholdern.

Im Vergleich mit anderen Wassernutzungen fällt der Wasserbedarf der technischen Beschneiung mengenmässig gering aus. Der Wasserverbrauch in der Schweiz beträgt jährlich rund 2100 Mio. m³ (ohne Berücksichtigung der Wasserkraft). Den grössten Anteil beansprucht die öffentliche Trinkwasserversorgung mit rund 1000 Mio. m³ pro Jahr, was etwa 47% des gesamten Verbrauchs entspricht. Dieses Wasser wird einerseits in den Haushalten (560 Mio. km³), andererseits durch Industrie und Gewerbe (440 Mio. m³) genutzt. Die Schweizer Landwirtschaft benötigt jährlich rund 400 Mio. m³, was einem Anteil am Gesamt-wasserverbrauch von rund 20% entspricht. Ein weiterer bedeutender Verbraucher ist der Dienstleistungssektor mit einem Anteil von 23%. Die restlichen 10% entfallen auf den Tourismus inkl. technischer Beschneiung und den Bausektor. Der jährliche Wasserbedarf der technischen Beschneiung in der Schweiz beträgt 20 bis 25 Mio. m³ (Weingartner und Josi 2024), was rund 1% des Gesamtverbrauchs entspricht.

Dabei ist aber zu beachten, dass sich dieser Bedarf auf wenige kurze Zeitfenster im November und Dezember und auf relativ kleine Gebiete konzentriert. Kurzfristig und lokal ist der Wasserbedarf daher sehr gross und kann die vorhandenen Wasserressourcen erheblich beanspruchen. Um tragfähige Lösungen zu erarbeiten, ist daher ein Dialog mit allen übrigen Wassernutzungen unerlässlich. Für die Entwicklung solcher Lösungen können sich Skigebiete bei ihren Analysen an den vier Formen des Wassers orientieren:

- verfügbares Wasser
- nutzbares Wasser
- zugängliches Wasser
- benötigtes Wasser

KURZFASSUNG

Eine Untersuchung, die sich konsequent an diesen vier Formen des Wassers ausrichtet, liefert die wesentlichen Erkenntnisse zur Beurteilung der heutigen und zukünftigen Situation. Sie ermöglicht zudem, geplante Erweiterungen eines Skigebiets wasserbezogen einzuordnen und zu beurteilen.



Anlass der Untersuchung

Die technische Beschneiung von Pisten und Loipen in den Skigebieten der Schweiz ist regelmässig Gegenstand von Presseberichten und öffentlicher Debatte. Mitunter wird dabei der Wasserbedarf für die Beschneiung kritisch bewertet und falsch eingeschätzt. So herrscht vielfach der Eindruck vor, dass den natürlichen Gewässern enorme Wassermengen entnommen würden.

Der Alpenbogen ist gegenüber der klimatischen Erwärmung besonders exponiert und spürt deren Folgen überproportional. Entsprechend sind Bergbahnunternehmen gefordert, ihr Geschäftsmodell bei Bedarf anzupassen und den Winterbetrieb aufgrund abnehmender Schneesicherheit mithilfe der technischen Beschneiung zu sichern. Die Beschaffung des dafür nötigen zusätzlichen Wassers ist in Anbetracht der öffentlichen Debatte konfliktträchtig. Um kontroverse Debatten zu vermeiden, wird der Wasserbedarf für die Beschneiung von den meisten Bergbahnunternehmen nur zurückhaltend kommuniziert.

Seilbahnen Schweiz wollte daher den Wasserfragen im Zusammenhang mit der technischen Beschneiung auf den Grund gehen. Ziel war es, Grundlagen zu schaffen, die Skigebiete bei der Auseinandersetzung mit den heutigen und zukünftigen Herausforderungen im Bereich Wasser unterstützen. Die Erkenntnisse sollen es ermöglichen, tragfähige und standortspezifische Lösungen zu entwickeln. Dies soll die Planungssicherheit verbessern, Konflikten mit anderen Wassernutzungen vorbeugen und die Kommunikation mit der Öffentlichkeit erleichtern.

Die Autoren des Berichts wurden von Seilbahnen Schweiz beauftragt, die heutige und künftig zu erwartende Wassersituation in zwei ausgewählten Skigebieten (Bivio (GR), Belalp (VS)) vertieft zu analysieren. Dafür wurde eine Methodik entwickelt, mit der sich der zukünftige Wasserbedarf für die technische Beschneiung – unter Berücksichtigung der Klimaerwärmung – systematisch den lokal verfügbaren Wasserressourcen gegenüberstellen lässt. Diese Methodik steht nun auch anderen Bergbahnunternehmen zur Verfügung. Sie ermöglicht es, das Beschneiungssystem frühzeitig an veränderte Rahmenbedingungen anzupassen und in das regionale Wassermanagement zu integrieren. So ist es möglich, die Wassernutzung der technischen Beschneiung nachhaltig zu gestalten und Nutzungskonflikte zu vermeiden.

Kernfragen

Folgende Kernfragen standen im Mittelpunkt der Untersuchung:

- Welche Wasserressourcen stehen in den Skigebieten aktuell zur Verfügung und reichen diese für die heutige Beschneiung aus?
- Wie ändern sich die Wasserverfügbarkeit und der Wasserbedarf angesichts steigender Temperaturen und unter Berücksichtigung allfälliger Ausbaupläne der Pisteninfrastruktur in der Zukunft?
- Wie kann sich das Bergbahnunternehmen darauf ausrichten?
- Wie können Synergien mit anderen Wassernutzungen genutzt und Konflikte vermieden werden?

Wasser für die Beschneiung

Ausgangspunkt jeder fundierten Analyse der Wassersituation eines Skigebiets ist die systematische Untersuchung des verfügbaren Wasserdargebots. Dieses beschreibt aus hydrologischer Sicht, welche Wassermengen heute und künftig für die technische Beschneiung zur Verfügung stehen. Dabei sind auch rechtliche Vorgaben – insbesondere im Zusammenhang mit Restwassermengen – sowie die Ansprüche anderer Wassernutzungen zu berücksichtigen.

Das verfügbare Wasser kann jedoch nur dann für die Beschneiung genutzt werden, wenn die Feuchtkugeltemperatur (FKT), die sich aus Lufttemperatur und relativer Feuchte ergibt, eine Schneeproduktion zulässt. Nur wenn gilt:

$$\text{FKT} \leq -2^\circ\text{C}$$

kann das verfügbare Wasser tatsächlich zur Schneerzeugung eingesetzt werden. Zur Bestimmung dieses nutzbaren Anteils dient der sogenannte Erntefaktor. Er beschreibt für einen definierten Zeitraum – beispielsweise den Monat November – den Anteil der Zeit, in dem die meteorologischen Bedingungen eine Beschneiung ermöglichen. Ist dies in der Hälfte eines Zeitfensters (beispielsweise November) der Fall (Erntefaktor: 0.5), so kann auch die Hälfte des verfügbaren Wassers genutzt werden. Die Beziehung zwischen verfügbarem und nutzbarem Wasser lässt sich somit wie folgt formulieren:

$$\text{Nutzbares Wasser} = \text{Erntefaktor} \cdot \text{Verfügbares Wasser}$$

Ob das nutzbare Wasserdangebot tatsächlich für die Schneeproduktion eingesetzt werden kann, hängt zusätzlich von der Beschneiungsinfrastruktur eines Skigebiets ab. Die Infrastruktur – Pumpleistung, Speicherkapazität, Rohrleitungen – bestimmt, ob, in welchem Ausmass und wo das nutzbare Wasser effektiv in Schnee umgewandelt werden kann (zugängliches Wasser).

Der abschliessende Schritt in der Analyse der Wassersituation eines Skigebiets besteht im Abgleich des nutzbaren bzw. zugänglichen Wassers mit dem tatsächlichen Wasserbedarf. Letzterer umfasst die Wassermenge, die für die technische Beschneiung heute und in Zukunft erforderlich ist.

Mit der entwickelten Methodik kann dieser Abgleich für verschiedene Zeitpunkte – etwa für die nahe oder mittlere Zukunft – vorgenommen werden. Dabei lassen sich unterschiedliche Klimaszenarien, Höhenlagen sowie geplante Ausbaustufen eines Skigebiets systematisch berücksichtigen.

Nachhaltiges Wassermanagement als Ziel

Mit der für den vorliegenden Bericht erarbeiteten Methodik stehen den Bergbahnunternehmen nun Grundlagen für die Analyse ihrer Wassersituation zur Verfügung mit dem Ziel, ein nachhaltiges Wassermanagement zu schaffen.

Nachhaltiges Wassermanagement bedeutet, das benötigte Wasser mit dem zugänglichen Wasser in Einklang zu bringen – heute und in Zukunft. Dabei sind zwei zentrale Randbedingungen zu berücksichtigen: Zum einen die Veränderungen des verfügbaren und des nutzbaren Wassers infolge des Klimawandels, zum anderen der Ausgleich zwischen dem Wasserbedarf der technischen Beschneiung und den übrigen Nutzungen wie Trinkwasserversorgung, Landwirtschaft oder den Anforderungen aquatischer Ökosysteme.

Ablauf der Analyse

Im Folgenden wird das vorgeschlagene Vorgehen zur Beurteilung der heutigen und zukünftigen Wassersituation skizzenhaft zusammengefasst.

| | Benötigte Daten und Informationen | Vorgehen | Datenquellen |
|--|--|--|--|
| Wasserdargebot (verfügbares Wasser) | Heute Welche Wassermengen sind in Bächen, Flüssen und aus Quellen verfügbar? Bestehen Beschneiungsspeicher? Welche Restwasserbestimmungen sind einzuhalten? Welches ist der Wasserbedarf der anderen Wassernutzungen und des aquatischen Ökosystems? | Systematische und mit den anderen Wassernutzungen koordinierte Sammlung und Auswertung bestehender Informationen mit dem Ziel, ein gemeinsames Verständnis für die aktuelle Wassersituation zu erhalten. | Hydrologischer Atlas der Schweiz, kantonale und nationale Daten, lokale Daten (Gemeinden, Wasserversorger, Wasserkraftunternehmen, Bergbahnen) |
| | Zukunft Welche Veränderungen in der Wasser- verfügbarkeit sind zu erwarten? | Übertragen und Anwenden bestehender Abflussprojektionen auf das Untersuchungsgebiet. | Hydrologischer Atlas der Schweiz |
| Erntefaktor und nutzbares Wasser | Heute Zur Berechnung des sog. Erntefaktors werden hochaufgelöste Daten (Stundenwerte) der Lufttemperatur und der relativen Feuchte benötigt. Auf der Basis des Erntefaktors kann das nutzbare Wasser berechnet werden. | Berechnung der Feuchtkugeltemperatur (FKT) und Bestimmung des Anteils der Stunden pro Zeiteinheit (z.B. Monat) mit FKT unterhalb eines Schwellenwerts, der besagt, ob eine technische Beschneiung möglich ist. | IMIS (SLF), MeteoSchweiz, räumlich hochauflöste Klimaanalysen |
| | Zukunft Szenarien zur Veränderung von Lufttemperatur und Feuchte | Gute Datengrundlage für Temperatur; nur spärliche Informationen zur Entwicklung der Feuchte – Annahmen nötig. | CH2018-/CH2025-Szenarien, Webatlas, Hydrologischer Atlas der Schweiz |

| | Benötigte Daten und Informationen | Vorgehen | Datenquellen |
|--|--|--------------------------------|---|
| Infrastruktur (zugängliches Wasser) | Heute Genügt die Beschneiungsinfrastruktur, das nutzbare Wasser effizient im Raum zu verteilen? | SWOT-Analyse der Infrastruktur | Informationen des Skigebiets |
| | Zukunft Welche Anpassungen sind nötig, um die Beschneiung sicherzustellen? Sind Speicher erforderlich und könnten diese auch den Wasserbedarf anderer Nutzender decken? | Infrastrukturplanung | Informationen des Skigebiets, ggf. unter Einbezug anderer Stakeholder |
| Wasserbedarf (benötigtes Wasser) | Heute Welcher Wasserbedarf besteht bei der technischen Beschneiung? Wie gross sind die Schwankungen des Bedarfs von Jahr zu Jahr? Konnte der Wasserbedarf bisher immer gedeckt werden? | SWOT-Analyse der Infrastruktur | Informationen des Skigebiets |
| | Zukunft Welche Auswirkungen haben allfällige Ausbaupläne auf den Wasserbedarf? | Infrastrukturplanung | Informationen des Skigebiets |

Von den Bergbahnen zur Analyse benötigte Informationen

Ausgangspunkt jeder verlässlichen Analyse des Wassermanagements von Bergbahnunternehmen sind Daten und Fakten zum bestehenden Beschneiungssystem sowie möglichen Ausbauvorhaben. Gemäss den obigen Tabellen sind dafür folgende Angaben der Bergbahnunternehmen unentbehrlich.

Für eine fundierte und verlässliche Analyse und Zukunftsprognose notwendige Angaben

Beschneiung

- Wasserbezugsmöglichkeiten (Grundwasser, Trinkwasser, Quellen, Bäche) – bewilligte und ggf. potenzielle zusätzliche Entnahmemengen
- Pisten: Fläche (inkl. Trassen), Höhenlage, beschneiter Anteil, gewünschte Schneehöhe
- Ggf. Ausbaupläne mit zukünftiger zusätzlicher Fläche
- Wassereinsatz: Gesamtmenge, Menge pro Hektare, Beschneiungszeitraum, Beschneiungskapazität (Liter pro Sekunde)
- Speicher (Beschneigungsspeicher, Mitnutzung anderer Speicherseen)

Andere Wassernutzungen im Gebiet

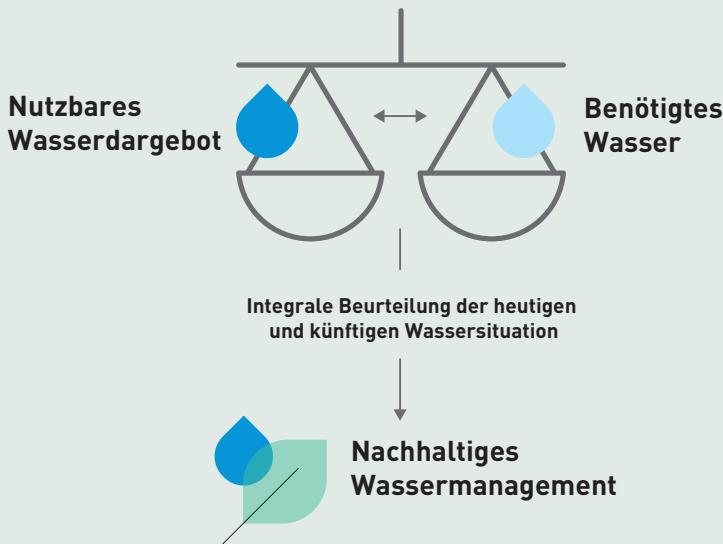
- Weitere Wassernutzungen in der Region mit Zugriff auf dieselben Ressourcen (z.B. Trinkwasser, Bewässerung, Wasserkraft)
- Wasserbedarf für Ökologie und Landschaftswasserhaushalt

Überblicksdarstellung technisches System

- Ein Grundverständnis des Beschneiungssystems ist notwendig für eine aussagekräftige Analyse.
-

Synthese

Die folgende Grafik macht deutlich, wie die verschiedenen Analysebausteine zusammengeführt werden, um eine fundierte Gesamtbeurteilung zu ermöglichen und die Grundlage für ein nachhaltiges Wassermanagement zu legen.



Vergleich der Skigebiete Bivio und Belalp

In der folgenden Tabelle werden basierend auf der oben entwickelten Methodik die beiden Skigebiete Bivio und Belalp einander gegenübergestellt und beurteilt.



| Kriterium | Bivio | Belalp |
|--|---|--|
| Geographische Lage des Skigebiets | Kanton Graubünden. 1800 bis 2600 m ü.M. | Kanton Wallis. 2000 bis 3100 m ü.M. |
| Mittlere Temperaturen | Nov.: -4.6 °C, Dez.: -6.4 °C (auf 2430 m ü.M.) | Nov.: -2.7 °C, Dez.: -5.5 °C (auf 2550 m ü.M.) |
| Pistenlänge, davon technisch beschneit | 27 km, rund 10 % | 44.8 km, rund 25 % |
| Betriebsgesellschaft | Bivio Sportanlagen AG | Bergbahnen Belalp AG |
| Speichersee vorhanden; Nutzvolumen | Nein | Ja, 100000 m ³ |
| Natürliches Zuflussgebiet | Valletta: 10.5 km ² ; Julia: 46.8 km ² | Sehr klein, da das Skigebiet im obersten Teil eines Einzugsgebiets liegt |
| Wasserbezug | Bachfassung Valletta (30 l/s), Quellüberlauf der Trinkwasserversorgung (20 l/s), Fassung Julia (60 l/s, konzessioniert, aber nicht genutzt). Total: 110 l/s | Speichersee Hohbiel, gefüllt im Sommerhalbjahr vor allem durch Schneeschmelze (100000 m ³). Zusätzliches Dargebot (80000 m ³) zusammengesetzt aus den winterlichen Zuflüssen zum Speichersee, dem Wasser aus der Suone Riederi und Quellwasser |
| Datenlage | Sehr gut | Minimal |
| Kooperation der Akteure | Sehr gut | Nur teilweise vernetzt |
| Verfügbares Wasser heute | 50000 m ³ . Genügend Wasser verfügbar; konzessionierte Menge liegt weit über dem Bedarf | 150000–200000 m ³ . Reicht gerade zur Deckung des heutigen Bedarfs |
| Verfügbares Wasser nahe Zukunft, RCP 8.5 | Nov.: unter 5%; Dez.: um +16 % | Nov.: unverändert; Dez.: +5 bis +10 % |

| Kriterium | Bivio | Belalp |
|---|---|--|
| Verfügbares Wasser mittlere Zukunft, RCP 8.5 | Nov.: um +12%; Dez.: um +28% | Nov.: unverändert; Dez.: +5 bis +10% |
| Mediane Erntefaktoren heute | Nov.: 0,50; Dez.: nahezu 1 | Nov.: 0,70; Dez.: 0,90 |
| Mediane Erntefaktoren nahe Zukunft, RCP 8.5 | Nov.: 0,30; Dez.: 0,90 | Nov.: 0,64; Dez.: 0,78 |
| Mediane Erntefaktoren mittlere Zukunft, RCP 8.5 | Nov.: 0,10; Dez.: 0,70 | Nov.: 0,56; Dez.: 0,85 |
| Zugängliches Wasser | Bestehende Infrastruktur: max. 30 l/s beschneibar | Infrastruktur optimal auf heutigen Betrieb ausgelegt |
| Benötigtes Wasser heute | 25000–30000 m ³ | 180 000–200 000 m ³ |
| Benötigtes Wasser, Ausbau | 36 000–67 000 m ³ | 360 000–400 000 m ³ |
| Spezifischer Wasserverbrauch | 4150 m ³ /(ha·Jahr) | 4800 m ³ /(ha·Jahr) |
| Beurteilung der Situation | Gute Voraussetzungen für nachhaltige Beschneiung. Speichersee nicht nötig; gezielte Investitionen in Infrastruktur erforderlich | Beschneiung auch künftig möglich. In tieferen Lagen seltener günstige Zeitfenster. Ausbau nur mit zusätzlichem Speicher realisierbar |

Vergleich der Rahmenbedingungen der technischen Beschneiung in Bivio und Belalp

Anmerkungen

Nahe Zukunft: Zeitraum 2020–2049

Mittlere Zukunft: Zeitraum 2045–2074

RCP8.5: Emissionsszenario einer Welt, in der kein konsequenter Klimaschutz betrieben wird. Es ist das schlimmste Szenario unter den drei bei solchen Studien meist verwendeten Szenarien (RCP2.6: mit Klimaschutz; RCP4.5: mit begrenztem Klimaschutz). Es handelt sich also um eine eher pessimistische Einschätzung. Allerdings befinden wir uns aktuell auf einem Emissionspfad, der zwischen RCP4.5 und RCP8.5 liegt, sodass das Szenario RCP8.5 nicht als unrealistisch anzusehen ist.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Die Klimaerwärmung stellt Skigebiete in der Schweiz vor erhebliche Herausforderungen. Die natürlich gebildeten Schneemengen nehmen ab, wodurch das für die Branche wichtige Weihnachtsgeschäft zunehmend unsicher wird. Entsprechend ist der Anteil der technisch beschneiten Pistenflächen deutlich angestiegen: von 1 % um 1990 auf 20 % um 2005 und schliesslich auf 54 % im Jahr 2024. Heute sind rund 13000 ha Pistenflächen technisch beschneit (Seilbahnen Schweiz 2024). Von den Betreibenden der Skigebiete wird diese Entwicklung als «unverzichtbar» und «überlebenswichtig» bezeichnet (Abegg 2023).

Im Lichte der Klimaerwärmung und der zunehmenden Bedeutung der technischen Beschneiung wird Wasser immer mehr zu einer Schlüsselressource für den Wintertourismus. Damit stellt sich die Frage, ob das heutige und zukünftige Wasserdargebot, also das verfügbare Wasser, ausreicht, um die technische Beschneiung zu gewährleisten. Durch die steigenden Temperaturen verkürzen sich zudem die Zeitfenster mit günstigen Bedingungen für die technische Schneeproduktion. Es müssen grosse Wassermengen innerhalb kurzer Zeit verfügbar sein.

Seilbahnen Schweiz hat vor diesem Hintergrund das Projekt **Wassermanagement von Skigebieten** lanciert. Es untersucht die zentrale Frage, ob heute und in Zukunft ausreichend Wasser für die technische Beschneiung zur Verfügung steht. Zwei Teilfragen stehen dabei im Mittelpunkt:

- Führt die Klimaerwärmung zusammen mit dem wachsenden Wasserbedarf der Skigebiete zu Nutzungskonflikten – entweder mit anderen Wassernutzungen oder mit ökologischen Anforderungen?
- Mit welchen Ansätzen und Strategien können diese Herausforderungen bewältigt und Konflikte vermieden werden?

1.2 Aufbau und Inhalt des Schlussberichts

Das Projekt **Wassermanagement von Skigebieten** verfolgt das Ziel, aufzuzeigen, wie der Wasserbedarf der Skigebiete langfristig, nachhaltig und unter Berücksichtigung sämtlicher Wassernutzungen gedeckt werden kann. Um die Wasserfrage praxisnah zu analysieren, wurden zwei konkrete Fallbeispiele untersucht. Dabei wurden sowohl die derzeitige Situation als auch die zukünftigen klimatischen Entwicklungen und die Ausbaupläne der Skigebiete berücksichtigt. Als Fallbeispiele dienten die Skigebiete Bivio und Belalp, die auf Grundlage einer Umfrage von Seilbahnen Schweiz ausgewählt wurden.

Im vorliegenden Bericht sind einerseits die wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse dieser Fallstudien zusammengestellt. Andererseits werden sie im einleitenden Teil zu übergeordneten Gesamtaussagen verdichtet. Diese Gesamtaussagen sollen die Seilbahnunternehmen dabei unterstützen, ein nachhaltiges Wassermanagement aufzubauen. Die dafür notwendigen Eckpfeiler werden im folgenden Kapitel beschrieben.

2 Eckpfeiler eines nachhaltigen Wassermanagements von Skigebieten

2.1 Methodische Grundlagen

Ziel eines nachhaltigen Wassermanagements ist es, den Wasserbedarf langfristig, umweltverträglich und unter Berücksichtigung der Bedürfnisse aller Wassernutzungen abzusichern. Das Vorgehen ist integral und umfassend angelegt. Im vorliegenden Fall liegt der Schwerpunkt zwar auf dem Schneesport, doch werden auch die übrigen Wassernutzungen stets mitgedacht.

Wie [Abbildung 1](#) zeigt, müssen vier Aspekte des Wassers berücksichtigt werden, um die aktuelle und zukünftige Situation fundiert zu beurteilen und tragfähige Optionen für eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung zu entwickeln.

2 ECKPFEILER EINES NACHHALTIGEN WASSERMANAGEMENTS VON SKIGEBIETEN



Abb. 1: Elemente der Analyse

1. Das **verfügbare Dargebot** beschreibt, welche Wassermengen heute und künftig für die technische Beschneiung vorhanden sind. In der Fachliteratur wird dabei vom Wasserdargebot gesprochen.
2. Im Zeitraum, in dem die technische Beschneiung üblicherweise eingesetzt wird – meist November und Dezember – ist das verfügbare Wasser jedoch nur nutzbar, wenn die Temperatur und Feuchtebedingungen die Schneeproduktion zulassen oder, salopp gesagt, die meteorologischen Bedingungen eine «Ernte» des Wassers ermöglichen. Zur Beschreibung dieses Zusammenhangs und zur Bestimmung des **nutzbaren Wasserdargebots** wurde der sogenannte «Erntefaktor» entwickelt.
3. Ob das nutzbare Wasserdargebot aber auch tatsächlich für die Schneeproduktion eingesetzt werden kann, hängt von der Beschneiungsinfrastruktur eines Skigebiets ab. Sie bestimmt, ob, in welchem Ausmass und wo das nutzbare Wasser zugänglich ist (→ **zugängliches Wasser**).
4. Schliesslich muss der tatsächliche **Wasserbedarf**, also die Menge des für die technische Beschneiung benötigten Wassers bekannt sein, aktuell und zukünftig, abhängig von den Ausbauplänen des Skigebiets.

Ein nachhaltiges Wassermanagement bringt das benötigte Wasser mit dem verfügbaren, nutzbaren und zugänglichen Wasser in Einklang. Dabei sind zwei zentrale Rahmenbedingungen explizit zu berücksichtigen: zum einen die Veränderungen des verfügbaren und nutzbaren Wassers infolge des Klimawandels, zum anderen der Ausgleich zwischen dem Wasserbedarf der technischen Beschneiung und den übrigen Nutzungen wie Trinkwasserversorgung, Landwirtschaft oder den Anforderungen aquatischer Ökosysteme.

Die Entwicklung eines solchen Wassermanagements erfordert eine ganzheitliche Systemanalyse. Hierfür ist es wichtig, auch die historische Entwicklung des Skigebiets (räumlich und zeitlich) sowie die finanziellen, organisatorischen und rechtlichen Rahmenbedingungen zu kennen.

2.2 Wasserdargebot (verfügbares Wasser)

2.2.1 Analyse der heutigen Situation

Beim verfügbaren Wasser wird zwischen Wasser aus Oberflächengewässern – also aus Bächen, Flüssen und in einzelnen Fällen auch natürlichen Seen – sowie Wasser aus dem Grundwasser beziehungsweise aus Quellen unterschieden. In Bivio und Belalp stammen mehr als 80% des Wassers für die technische Beschneiung aus Oberflächengewässern. Der Unterschied ist aber, dass es in Bivio keinen Speicher gibt, wo das Wasser zwischengespeichert werden kann.

Quantitative Daten bilden den Schlüssel zu einer genauen Erfassung der heutigen Verhältnisse. Je besser es gelingt, das heute in einer Region verfügbare Wasser zu erfassen, desto zuverlässiger lassen sich zukünftige Entwicklungen abschätzen. Verschiedene Untersuchungen belegen jedoch, dass die Wasserverfügbarkeit auf lokaler bis regionaler Ebene oftmals ungenügend dokumentiert ist. Die Gründe dafür sind vielfältig:

- Keine Messungen vorhanden
- Räumlich und/oder zeitlich nur wenige Messpunkte, deren Repräsentativität nicht gesichert oder unklar ist
- Vorhandene Messungen sind nicht systematisch dokumentiert oder abgelegt, was den Zugang zu den Daten erschwert oder aufwändig macht
- Vorhandene Messungen haben zu kurze Zeitreihen und / oder eine unzureichende zeitliche Auflösung

Der erste und entscheidende Schritt zur Sicherstellung des Wassers für die technische Beschneiung ist also eine verlässliche Datenerhebung. Denn je länger die Messreihen sind, desto wertvoller sind sie. Sie ermöglichen Einblicke in die Jahr-zu-Jahr-Variabilität des verfügbaren Wassers sowie in die Wasserverfügbarkeit während ausgesprochen trockener Jahre. Die Vergangenheit – insbesondere die Trockenjahre in der Messreihe – bietet immer auch eine gute Annäherung (Proxy) an künftige Entwicklungen.

Aus Sicht der Datenverfügbarkeit unterscheiden sich die beiden Gebiete der Fallstudien deutlich: In Bivio liegen zahlreiche Daten vor. Der grosse Aufwand bestand darin, diese Daten, die an verschiedenen Orten und in unterschiedlichen Formaten gespeichert waren, zusammenzuführen und in ein vergleichbares Format zu überführen. Die umfangreiche Unterstützung der Fachpersonen vor Ort erleichterte diesen zeitaufwändigen Arbeitsschritt erheblich.

Auf der Belalp hingegen war die Datenlage insgesamt eher dürftig. Zwar lagen Daten zu den Quellschüttungen vor, diese erlaubten jedoch nur eine grobe Abschätzung mittlerer Verhältnisse. Mithilfe von gemessenen Quellen im westlich anschliessenden Nachbartal (Mund-Quelle im Gredetschtal) wurde versucht, diese Daten zu ergänzen und insbesondere die Saisonalität der Quellschüttungen abzuschätzen.

Daten zu den Abflüssen in den Oberflächengewässern lagen auf der Belalp nicht vor. Damit war es unmöglich, ein vertrauenswürdiges hydrologisches Modell zu entwickeln, mit dem das Abflussverhalten simuliert werden könnte. Hydrologische Analysen zeigten, dass Abflussdaten aus einem nahe gelegenen Einzugsgebiet – der Saltina ob Brig – genutzt werden können, um eine erste Abschätzung der verfügbaren Wasserressourcen zu ermöglichen.

Ein grundlegendes Prinzip bei der Datenerhebung ist die Transparenz, also das Offenlegen und Bereitstellen der Daten. Hier bestehen nach wie vor erhebliche Defizite. Wie wichtig die Erhebung und die Transparenz von Daten generell sind, macht der vorliegende Bericht deutlich. Das Bewusstsein dafür gilt es in Zukunft noch zu schärfen. Nur mit einer gemeinsamen und transparenten Datenbasis – nicht nur für das verfügbare Wasser, sondern auch für das nutzbare und das benötigte Wasser – ist es möglich, den Wasserbedarf langfristig abzusichern.

2.2.2 Analyse der zukünftigen Entwicklungen

Wir können davon ausgehen, dass sich der Abfluss im Alpenraum in Zukunft verändern wird. Dafür ist in erster Linie die Temperaturzunahme verantwortlich, die sich mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit fortsetzen wird. Die Temperaturerhöhung hat im Wesentlichen zwei Effekte auf das Abflussgeschehen. Mit einer Erwärmung von 1°C steigt die Nullgradgrenze um etwa 200 Höhenmeter, sodass im Winterhalbjahr in immer höheren Lagen Regen anstelle von Schnee fällt. Dieser Niederschlag fliesst direkt ab, was zu einer Zunahme des winterlichen Abflusses führt. Gleichzeitig zeigen alle Klimamodelle, dass der Niederschlag im Winter weiter zunehmen wird (Climate Services (NCCS) 2018). Im Frühling führt die temperaturbedingt früher einsetzende Schneeschmelze, zusammen mit der Niederschlagszunahme, zu einer Erhöhung des Abflusses. Die Abnahme der Sommerabflüsse ist substanziell und ebenfalls temperaturbedingt: Die Schneeschmelzabflüsse enden früher als bisher, gleichzeitig nimmt die Verdunstung zu und «entzieht» dem Abfluss Wasser. Zusätzlich geht der Sommerniederschlag zurück. Der markante Rückgang der Abflüsse setzt sich auch in den Herbstmonaten fort.

In einer gesamtschweizerischen Analyse hat Mülchi u. a. (2021) die Auswirkungen des Klimawandels auf das Abflussgeschehen untersucht. Die Abbildung 2 wurde dieser Studie entnommen. Sie zeigt, wie sich die mittleren monatlichen Abflüsse bis Ende des Jahrhunderts gegenüber der Referenzperiode (1981–2010) verändern werden, und zwar unter den beiden Emissionsszenarien RCP2.6 (mit Klimaschutz) und RCP8.5 (ohne Klimaschutz). Deutlich wird dabei das «Wechselspiel» zwischen der Abnahme der Sommerabflüsse und der Zunahme der Winterabflüsse zum Ausdruck gebracht.

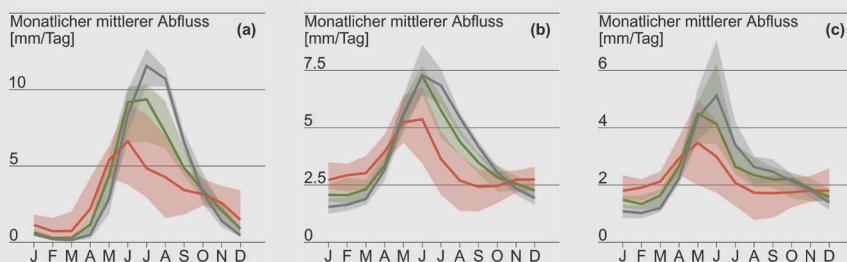


Abb. 2: Die Veränderung der mittleren monatlichen Abflüsse in den Einzugsgebieten von Roseg-bach (a), Kander (b) und Plessur (c). Die dick ausgezogenen Linien zeigen den Median aller Modelle für die Referenzperiode (grau), für 2085 unter RCP2.6 (grün) und für 2085 unter RCP8.5 (rot). Der schattierte Bereich zeigt die gesamte Bandbreite aller Modelle (aus: Mülchi u. a. (2021))

Im Weiteren verdeutlicht die [Abbildung 2](#) die Rolle der Emissionsszenarien bei der Veränderung der Abflussverhältnisse. Im Allgemeinen wird zwischen drei Szenarien unterschieden:

RCP2.6 – Konsequenter Klimaschutz

Klimaschutzmassnahmen werden ergriffen. Mit einer umgehend eingeleiteten Senkung der Emissionen wird der Anstieg der Treibhausgase in der Atmosphäre bis in etwa 20 Jahren gestoppt. Damit lassen sich die Ziele des Pariser Klimaabkommens von 2016 erreichen.

RCP4.5 – Begrenzter Klimaschutz

Der Ausstoss von Treibhausgasemissionen wird zwar eingedämmt, aber der Gehalt in der Atmosphäre steigt noch weitere 50 Jahre. Das Zwei-Grad-Ziel wird verfehlt.

RCP8.5 – Kein Klimaschutz

Es werden keine Klimaschutzmassnahmen ergriffen. Die Treibhausgasemissionen nehmen stetig zu.

Die Auswirkungen auf die Abflussveränderungen sind erheblich (vgl. Mülchi u. a. 2021). Dabei ist zu beachten, dass die aktuelle globale Entwicklung am ehesten einem Emissionspfad zwischen RCP4.5 und RCP8.5 entspricht. Wenn wir uns im Folgenden auf das Szenario RCP8.5 konzentrieren, grenzen wir damit sozusagen den oberen Rand einer möglichen Entwicklung ab.

Zur Darstellung der Grössenordnungen der zu erwartenden Abflussveränderungen im Alpenraum haben wir aus der Studie von Mülchi u. a. (2021) jene Einzugsgebiete ausgewählt und ausgewertet, die im Alpenraum liegen (vgl. [Abbildung 3](#)). Als Zielzeithorizont wurde die Periode 2045–2074 (mittlere Zukunft) gewählt. Die Ergebnisse sind in der Abbildung dargestellt.

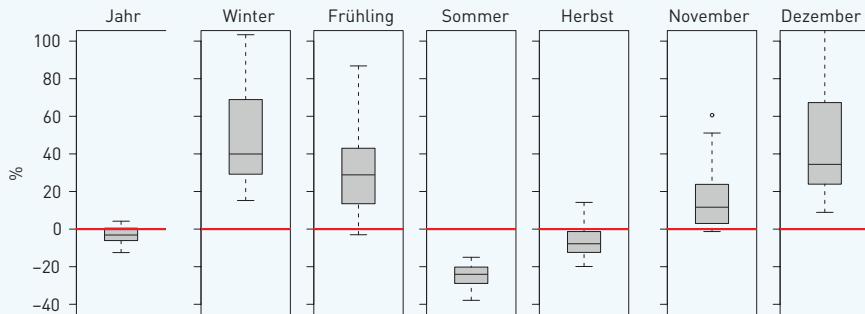


Abb. 3: Spannbreite (Boxplots)¹ der prozentualen Veränderungen der monatlichen Abflüsse in der mittleren Zukunft (2045–2074) gegenüber der Referenzperiode 1991–2010 unter RCP8.5, basierend auf 19 alpinen Einzugsgebieten (Datengrundlage: Mülchi u. a. 2021)

Aus Sicht des für die technische Beschneiung verfügbaren Wassers lassen sich aus [Abbildung 3](#) folgende Punkte ableiten:

1. In den für die technische Beschneiung besonders relevanten Monaten November und Dezember ist beim verfügbaren Wasser gegenüber der aktuellen Situation mit einer Entspannung zu rechnen. Im Mittel wird in diesen Monaten mehr Wasser zur Verfügung stehen als heute.
2. Verfügen Skigebiete über Beschneiungsspeicher, so steht im Frühjahr mehr Wasser aus der Schneeschmelze zur Verfügung, um diese zu füllen. Dies ist umso bedeutender, als im Sommer und Herbst wegen der früheren Schneeschmelze die Zuflussmengen zu den Speichern stark abnehmen werden.

Schwierig ist es, diese Ergebnisse auf das Verhalten des Grundwassers beziehungsweise von Quellen zu übertragen, da das Speichervolumen und die Verweilzeit im Untergrund diese Muster modifizieren können. Entscheidend ist, welche Auswirkungen die zunehmenden sommerlichen Trockenheiten auf die Quellschüttung haben werden.

Zudem ist generell zu beachten, dass mit der Klimaerwärmung auch die Wassertemperaturen zunehmen werden, was bei der Beschneiung eventuell eine Kühlung des Wassers erforderlich machen wird.

¹ Ein Boxplot ist eine grafische Darstellung, die die Verteilung einer numerischen Variable auf einen Blick zeigt. Die schwarze horizontale Linie zeigt den Mittelwert. In der grauen Box liegen 50% der Werte.

2.3 Erntefaktor und nutzbares Wasser

Zur Herleitung des effektiv nutzbaren Wassers wurde im Rahmen dieser Untersuchung der sogenannte Erntefaktor entwickelt. Dieser beschreibt den Anteil des hydrologisch verfügbaren Wassers, der für die Beschneiung genutzt werden kann. Dies ist nur während jener Zeitfenster möglich, in denen eine Feuchtkugeltemperatur $\leq -2^{\circ}\text{C}$ vorliegt. Die Temperatur des Beschneiungswassers selbst wird dabei nicht berücksichtigt.

Vor dem Hintergrund der Klimaerwärmung ist der Erntefaktor von zentraler Bedeutung. Zur Berechnung wird der Anteil der Stunden pro Zeiteinheit (Tag, Monat) bestimmt, an denen die Feuchtkugeltemperatur bei $\leq -2^{\circ}\text{C}$ liegt. Der Wertebereich des Erntefaktors reicht von 0 (verfügbares Wasser kann nicht für die Schneeproduktion genutzt werden) bis 1 (alles verfügbare Wasser kann genutzt werden).

Multipliziert man den Erntefaktor mit dem verfügbaren Wasser, ergibt sich das für die technische Beschneiung nutzbare Wasservolumen:

$$V_{\text{nutz}} = \varepsilon \cdot V_{\text{verf}}$$

Legende

V_{nutz} Nutzbares Wasservolumen

ε Erntefaktor (Wertebereich zwischen 0 und 1)

V_{verf} Verfügbares Wasservolumen

Die Datenlage zur Bestimmung des Erntefaktors ist gut bis sehr gut. Mit den sogenannten IMIS-Stationen des SLF (WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF 2025) existiert ein dichtes Netz von Messstationen, die für die Berechnung der Feuchtkugeltemperatur benötigten Kenngrößen (Lufttemperatur und relative Luftfeuchte) in hoher zeitlicher Auflösung seit etwa 2000 erfassen (Abbildung 4). Dies gilt sowohl für die Wind- als auch für die Schneehöhenstationen.

2 ECKPFEILER EINES NACHHALTIGEN WASSERMANAGEMENTS VON SKIGEBIETEN



Abb. 4: Messnetz der IMIS-Stationen (aus: WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF (2025))

Natürgemäss hängt der Erntefaktor von der Meereshöhe ab. Zur Bestimmung des Erntefaktors für einen bestimmten Höhenbereich im Skigebiet müssen daher die Feuchtkugeltemperaturen der Messstationen (die sich nur auf die Höhe der Station beziehen), auf andere Höhenstufen umgerechnet werden. Ein Beispiel dazu zeigt die Abbildung 5.

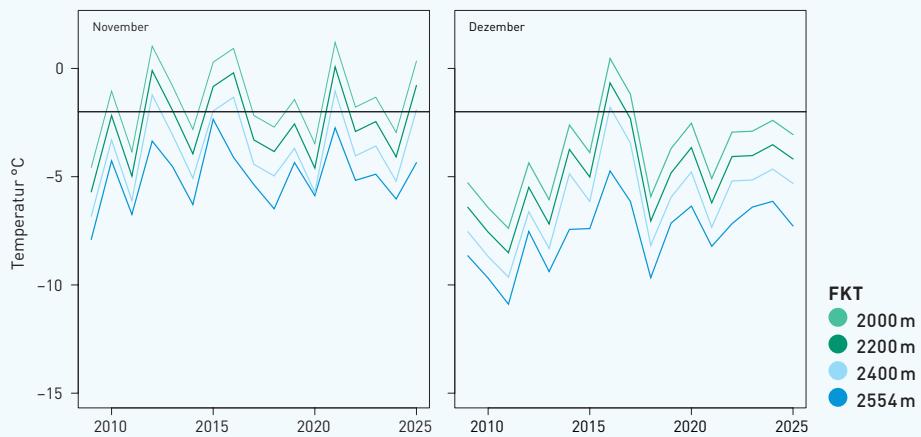


Abb. 5: Von der auf 2554 m ü. M. gelegenen Station BEL 2 umgerechnete mittlere monatliche Feuchtkugeltemperaturen (FKT) für die verschiedenen Höhenstufen des Skigebiets Belalp.

Zur Umrechnung der Feuchtkugeltemperatur wurde ein pragmatisches Vorgehen gewählt: Jeder Temperaturwert wurde mit einem Gradienten von -0.6°C pro 100m Höhenzunahme bzw. 0.6°C pro 100m Höhenabnahme auf die entsprechende Höhe extrapoliert.² Die Veränderung der relativen Luftfeuchte ist schwierig abzuschätzen und bleibt deshalb bei der Umrechnung unberücksichtigt. Aus der so abgeleiteten Zeitreihe für eine bestimmte Höhe konnte dann die Feuchtkugeltemperatur bestimmt werden.

Ähnlich pragmatisch kann auch bei der Abschätzung des Einflusses der Klimaänderung vorgegangen werden: Die Ausgangswerte des Referenzzustands werden jeweils um 0.5°C erhöht. Daraus lassen sich die Erntefaktoren bei erhöhter mittlerer Lufttemperatur abschätzen (als Beispiel siehe Abbildung 8 für das Skigebiet Bivio). Mit einer solchen Sensitivitätsanalyse lässt sich nicht nur die Temperatursensitivität des Erntefaktors erkennen. Kennt man zudem den erwarteten mittleren Temperaturanstieg, kann der Erntefaktor spezifisch abgeschätzt werden (als Beispiel siehe Tabelle 3 für das Skigebiet Bivio).

² 0.6°C pro 100 Höhenmeter entspricht dem mittleren vertikalen Temperaturgradient in der freien Atmosphäre.

2.4 Infrastruktur (zugängliches Wasser)

Der technische Ausbaugrad eines Skigebiets bestimmt, welche Wassermengen in welcher Zeit an welchen Pisten zugänglich sind, also «verschneit» werden können. Er variiert von Skigebiet zu Skigebiet stark und soll hier nicht weiter thematisiert werden.

Ein entscheidender Aspekt ist, ob das nutzbare Wasser nur direkt einem Gewässer entnommen werden kann oder ob es gespeichert vorliegt. In Bivio muss das nutzbare Oberflächen- und Quellwasser direkt genutzt werden, da kein Zwischenspeicher (Beschneigungsspeicher) vorhanden ist. Die Zugänglichkeit ist durch die Pumpenleistung beschränkt (30 l/s).

Mit Wasserspeichern (Beschneigungsspeicher, natürliche Seen, Stauseen, Multifunktionsspeicher) wird die Verfügbarkeit, Nutzbarkeit und Zugänglichkeit des Wassers entscheidend verändert. Kann das zwischen Schneeschmelze und Herbst anfallende Wasser gespeichert werden, erhöht dies die Verfügbarkeit erheblich. Das Wasser kann dann in grossen Mengen genutzt werden, wenn die Rahmenbedingungen für die Beschneiung besonders günstig sind (z. B. sehr tiefe Feuchtkugeltemperaturen). Werden solche Speicher in grosser Höhe oberhalb oder im oberen Höhenbereich eines Skigebiets gebaut, ist ihr Wasser unter Nutzung der Schwerkraft sehr gut zugänglich. Je höher allerdings ein Speicher liegt, umso kleiner ist sein natürliches Zuflussgebiet, so dass in solchen Situationen zur Befüllung oftmals Wasser aus tiefer liegenden Vorkommen hochgepumpt werden muss.

Generell erhöhen Speicher die Flexibilität bei der technischen Beschneiung. Es erstaunt daher nicht, dass in den letzten Jahren eine Vielzahl solcher Speicher gebaut wurde. Eine umfassende Analyse von Beschneigungsspeichern stammt von Thomas Kissling, Rolf Weingartner, Günther Vogt (2023). Sie beleuchtet die Speicher aus unterschiedlichen Blickwinkeln und bildet eine ausgezeichnete Grundlage für Fragen im Zusammenhang mit der Planung, dem Bau, dem Unterhalt und der multifunktionalen Nutzung von Beschneigungsspeichern. Künftig wird die Bedeutung von Speichern zunehmen, da deren Wasser flexibel und gleichzeitig für unterschiedliche Zwecke genutzt werden kann (Multifunktionsspeicher).

2.5 Wasserbedarf (benötigtes Wasser)

Das für die technische Beschneiung erforderliche Wasservolumen ergibt sich aus der beschneiten Pistenfläche (in Hektar) und dem spezifischen Wasserbedarf (in Kubikmetern pro Hektar). Diese Kennwerte sind in der Regel bekannt und bilden die Grundlage für eine belastbare Abschätzung des zukünftigen Verbrauchs. Für das Skigebiet Bivio liegen detaillierte Informationen vor, die einen vertieften Einblick in den Wasserbedarf ermöglichen (Abbildung 6). Demgegenüber ist für die Belalp lediglich der langjährige Mittelwert des jährlichen Wasserverbrauchs dokumentiert, aber weder der tagesgenaue Wassereinsatz noch die Veränderungen des Wasserverbrauchs von Jahr zu Jahr waren verfügbar.

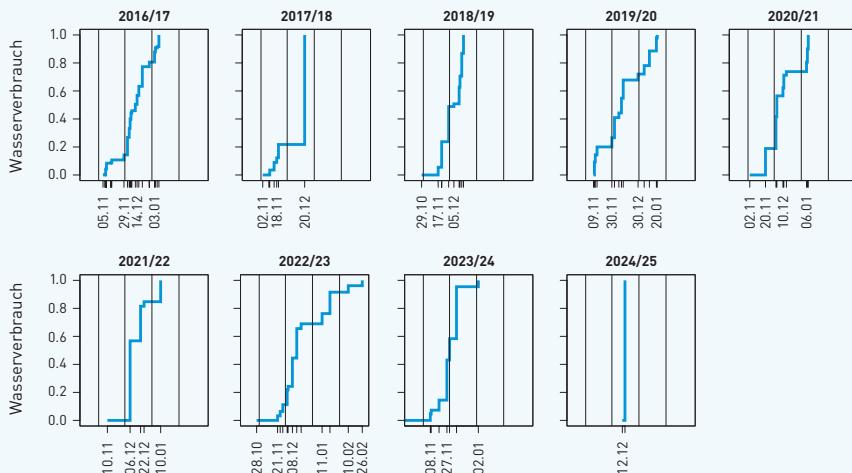


Abb. 6: Saisonale Profile des relativen Wasserverbrauchs der technischen Beschneiung in Bivio, 1.0: Gesamtverbrauch.

Dank der messtechnisch hochwertigen Ausstattung der neueren Beschneiungsanlagen liegen heute in den meisten Skigebieten präzise Daten zum Wasserverbrauch vor. Diese Informationen erlauben eine differenzierte Betrachtung und ermöglichen es, auf Basis der Ausbaupläne die künftig benötigten Wassermengen abzuschätzen. Dabei kann auch die Jahr-zu-Jahr-Variabilität berücksichtigt werden, um eine realitätsnahe und nachhaltige Planung sicherzustellen.

2.6 Synthese

Die breite Auslegeordnung, in der die relevanten Formen des Wassers – verfügbares, nutzbares, zugängliches und benötigtes Wasser – im Detail betrachtet werden (vgl. [Abbildung 1](#)), bildet die Grundlage für eine abschliessende Beurteilung der aktuellen und zukünftigen technischen Beschneiung sowie für die darauf aufbauende Ausarbeitung von Lösungsoptionen. Im Kern werden dabei die Wasserverfügbarkeit und die benötigte Wassermenge einander gegenübergestellt, sodass eine abschliessende Beurteilung der Wassersituation bei der technischen Beschneiung möglich ist.

[Verfügbares Wasser · Erntefaktor <-> Benötigtes Wasser](#)

In diesem Vergleich lassen sich der Zeitrahmen (heute, Zukunft) und der Ausbaugrad der technischen Beschneiung (heute, Ausbaupläne) variieren. Die Gegenüberstellung von nutzbarem und benötigtem Wasser zeigt auf, in welchem Ausmass der Wasserbedarf der technischen Beschneiung durch das nutzbare Wasser potenziell gedeckt werden kann. [Kapitel 3.6](#) illustriert am Beispiel der Fallstudie Bivio das Potenzial dieser Gegenüberstellung. Sie ermöglicht eine grundsätzliche quantitative Beurteilung der heutigen Situation und zugleich eine Bewertung möglicher Ausbaupläne.

Schliesslich wird in [Kapitel 4.6](#) am Beispiel der Fallstudie Belalp exemplarisch aufgezeigt, welche Optionen sich aus dieser wasserwirtschaftlichen Beurteilung ergeben. In diesem Fall spielt der Bau eines neuen Speichers eine zentrale Rolle. Ohne einen solchen Speicher sind dem Ausbau der technischen Beschneiung im Skigebiet Belalp aus Wassersicht enge Grenzen gesetzt.

Im Gegensatz zu Bivio steht die technische Beschneiung in Belalp in Konkurrenz zu anderen Nutzungen. In dieser Fallstudie wurden daher auch die anderen Nutzungen im Chelchbach-Einzugsgebiet explizit in die Analysen einbezogen, um Zielkonflikte zu erkennen und auf der Grundlage eines nachhaltigen Wassermanagements zu lösen.

Im Rahmen der Gesamtbilanzierung (geoformer igp AG und ecosfera 2025) wurde für jeden Monat eine wasserwirtschaftliche Bilanz des Chelchbach-Einzugsgebiets erstellt, das heisst, das nutzbare Wasser wurde monatsweise dem benötigten Wasser gegenübergestellt. Dabei wurden sowohl der heutige und zukünftige Bedarf als auch die zukünftige Entwicklung des Wasserdargebots berücksichtigt. [Abbildung 7](#) zeigt dazu ein Beispiel. Der Vergleich der Mittelwerte des Wasserdargebots und des Bedarfs ermöglicht eine Einschätzung der jeweiligen wasserwirtschaftlichen Situation.

Auf Seiten des Wasserdargebots im Chelchbach-Einzugsgebiet (verfügbares Wasser) ist erkennbar, dass sich dieses im Mai mit der Klimaänderung erhöhen wird. Ein wichtiger Grund ist die früher einsetzende Schneeschmelze. In der Abbildung sind auch die heutigen typischen Schwankungen des Wasserdargebots um den langjährigen Mittelwert erfasst. Im Mai ist die technische Beschneiung auf der Seite des Wasserbedarfs – nach dem ökologischen Wasserbedarf und vor der Bewässerung – aktuell die Nutzerin mit dem zweitgrössten Bedarf. Dies hängt damit zusammen, dass während der Schneeschmelze Wasser benötigt wird, um den Beschneigungsspeicher zu füllen. Der zukünftige Bedarf ist gegenüber heute (Referenz) höher, da ein Ausbau der technischen Beschneiung und damit verbunden ein Ausbau der Speichervolumina mitberücksichtigt ist.

Insgesamt stellt sich die heutige wie auch die zukünftige mittlere Wassersituation im Monat Mai als günstig dar. Das langjährige mittlere Wasserdargebot übersteigt in allen betrachteten Perioden den Bedarf. Aus der heutigen Situation, für die zeitlich hochauflöste Daten vorliegen, lässt sich jedoch ableiten, dass es in einzelnen Jahren zu Engpässen kommt. Grund dafür sind die mehr oder weniger grossen Abweichungen der einzeljährlichen Werte von langjährigen Mittelwert. Solche Schwankungen sind auch in den zukünftigen Zeiträumen zu erwarten.

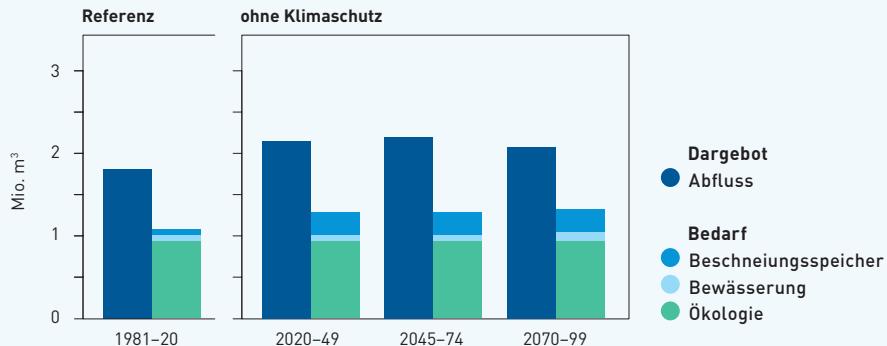


Abb. 7: Mittleres Wasserdargebot und mittlerer Wasserbedarf im Chelchbach-Einzugsgebiet für den Monat Mai in der Referenzperiode 1981–2020 sowie in der nahen, mittleren und fernen Zukunft unter einem Emissionsszenario ohne Klimaschutz (RCP 8.5). Das Wasserdargebot entspricht dem Abfluss des Chelchbachs. Der Wasserbedarf umfasst die Entnahmen für die Suonenbewässerung, die ökologisch erforderliche Wassermenge sowie den Bedarf für die technische Beschneiung. Im Mai wird Wasser benötigt, um den bestehenden Speicher Hohbiel bzw. – nach einem Ausbau – die zukünftigen Speicher zu füllen.

3 Erkenntnisse der Fallstudie Bivio

3.1 Kurzporträt Bivio

Bivio liegt im Oberhalbstein (Surses) auf rund 1800 m ü. M. Das Skigebiet von Bivio ist relativ hoch gelegen. Es erstreckt sich zwischen rund 1800 und 2600 m ü. M. Kernstück sind drei Skilifte, die rund 27 km Pisten erschliessen. Klimatisch liegt Bivio in einer Gunstregion mit vergleichsweise viel Sonnenschein und für alpine Verhältnisse eher kleinen Jahresniederschlägen. Aus Sicht der technischen Beschneiung sind die tiefen Lufttemperaturen hervorzuheben mit aktuellen Mittelwerten von -3°C im November und -5.6°C im Dezember.

3.2 Wasserdargebot (verfügbares Wasser)

Für die technische Beschneiung in Bivio stehen drei Wasserressourcen zur Verfügung: Wasserentnahmen aus dem Bach Valletta (Einzugsgebietsfläche bis zur Entnahmestelle: 10.5 km^2), dem Fluss Julia (47 km^2) sowie aus der Trinkwasserversorgung von Bivio. Das Skigebiet verfügt über eine Konzessionsmenge von insgesamt 110 Liter pro Sekunde. Bei der Bestimmung des in den beiden Fliessgewässern für die Beschneiung verfügbaren Wassers ist die Restwassermenge nach Artikel 31 des Gewässerschutzgesetzes (Gewässerschutzgesetz 2024) zu berücksichtigen.³ Auch nach Abzug dieser Restwassermengen liegt der tatsächlich verfügbare Abfluss in der Regel über der konzessionierten Entnahmemenge. Das Trinkwasser stammt aus dem Überlauf der Trinkwasserversorgung (im Folgenden als Rons bezeichnet) und steht somit nicht in direkter Konkurrenz zum Wasserbedarf der Bevölkerung. Wegen der grossen verfügbaren Mengen ist dies auch für die Zukunft nicht zu erwarten. Das für die Beschneiung genutzte Wasser wird normalerweise in einer Turbine zur Stromerzeugung genutzt. Daher muss während der technischen Beschneiung die Stromproduktion vorübergehend reduziert werden. Dieser Zielkonflikt ist jedoch aufgrund der wenigen Stunden pro Jahr, in denen dies erforderlich ist, von untergeordneter Bedeutung. Wie eine Analyse der Trinkwasserdaten zeigt, treten im System der Trinkwasserversorgung erhebliche Verluste auf, vermutlich durch Leckagen. Aktuell besteht also in Bivio ein sehr grosses Potential an verfügbarem Wasser. Es wird sich in Zukunft in den Monaten November und Dezember sogar noch erhöhen. Folgende

³ Art. 31 GSchG regelt, wie die Restwassermenge in einem Fliessgewässer zu bemessen ist.

3 ERKENNTNISSE DER FALLSTUDIE BIVIO

Grössenordnungen der klimabedingten mittleren Abflussveränderungen sind zu erwarten (Mülchi u. a. (2021) und Freudiger, Vis und Seibert (2021)):

- **Abfluss November**

- Nahe Zukunft (2020–2049): Zunahme unter 5%
- Mittlere Zukunft (2045–2074): Zunahmen um 12%

- **Abfluss Dezember**

- Nahe Zukunft (2020–2049): Zunahmen um 16%
- Mittlere Zukunft (2045–2074): Zunahmen um 28%

3.3 Erntefaktor und nutzbares Wasser

Liegt die Feuchtkugeltemperatur unter -2°C , kann das verfügbare Wasser für die technische Beschneiung genutzt werden. Trenduntersuchungen (auf der Basis von Stundenwerten) im Zeitraum 1998–2024 zeigen zwar eine signifikante Zunahme der Feuchtkugeltemperatur für Bivio in den Monaten November und Dezember. Dennoch liegen die Werte bisher immer noch unter dem Schwellenwert von -2°C .

Die Sensitivität des Erntefaktors auf die Klimaerwärmung zeigt [Abbildung 8](#). Auffällig sind die Abnahme des Erntefaktors mit zunehmender Temperatur und die Unterschiede zwischen November und Dezember. Im November sind die Auswirkungen der Klimaerwärmung zudem weitaus grösser. So nimmt der Erntefaktor beispielsweise bei einer Temperaturerhöhung von 3°C von rund 0.47 (Median der Referenzperiode) auf unter 0.1 ab. Während unter heutigen Bedingungen eine technische Beschneiung also während 47% der Novemberstunden möglich ist, würden bei einer Temperaturerhöhung um 3°C nur noch während knapp 10% der Novemberstunden Beschneiungsbedingungen herrschen. Das wären noch weniger als 72 Stunden im Vergleich zu den heutigen 338 Stunden.

Um in Bivio die benötigte Schneemenge zu erzeugen, geht man von rund 100 bis 120 Beschneiungsstunden aus. Im November muss man daher die Gunststunden in Zukunft effizient nutzen. Dafür muss die Beschneiungsinfrastruktur grosse Wassermengen in kurzer Zeit zu den Schneeezeugern transportieren können. Das erfordert eine hohe kurzfristige Wasserverfügbarkeit sowie eine entsprechende Infrastruktur.⁴ Auch im Dezember nimmt der Erntefaktor mit der Klimaerwärmung ab, der Medianwert liegt aber auch bei einer Erwärmung von $+3^{\circ}\text{C}$ noch deutlich über 0.5.

⁴ Zur Einordnung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse in den Kontext der Klimaerwärmung bzw. der Emissionsszenarien sei auf das Schlusskapitel verwiesen.

3 ERKENNTNISSE DER FALLSTUDIE BIVIO

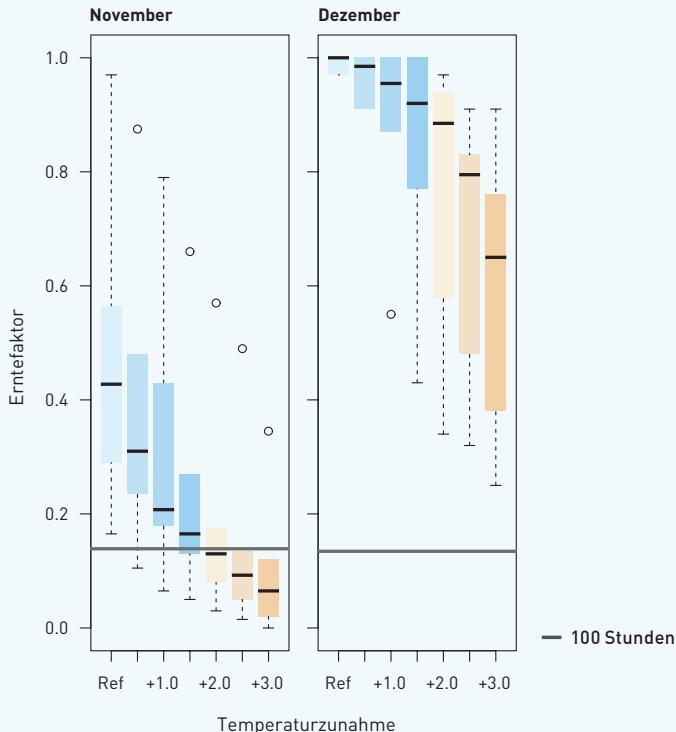


Abb. 8: Verteilung der Erntefaktoren (Boxplots) für die Periode 2015 bis 2020 im Skigebiet Bivio in der Referenzperiode (REF) sowie unter Annahme einer Temperaturerhöhung von 0.5 bis 3°C. Der Erntefaktor schwankt zwischen 0 und 1. Ein Erntefaktor von 1 bedeutet, dass alles Wasser, das in einem Monat verfügbar ist, auch tatsächlich für die technische Beschneiung genutzt werden kann. Die schwarze horizontale Linie in den Säulen zeigt den Medianwert des Erntefaktors. Die Länge der farbigen Säule entspricht dem Interquartilsabstand, in dem die zentralen 50% der Werte liegen. Die gestrichelten Linien decken den restlichen Streubereich der Daten ab. Die Punkte markieren extreme Werte weit ausserhalb dieses Bereichs. In Bivio kann mit einer Beschneiungsdauer von 100 Stunden genügend technischer Schnee produziert werden. Um diesen Stundenwert zu erreichen, muss der Erntefaktor im November mindestens 0.138 und im Dezember mindestens 0.134 betragen. Die 100 Stunden sind in der Grafik als horizontale Linie eingezeichnet.

Lesebeispiel für November:

Bei einer Temperaturerhöhung um +1.0 °C (3. Säule) beträgt der mediane Erntefaktor 0.21; die zentralen 50% der Werte liegen zwischen 0.18 und 0.37. In den allermeisten Jahren ist es möglich, mehr als 100 Stunden zu beschneien.

3.4 Infrastruktur (zugängliches Wasser)

Aktuell ist in Bivio die für die technische Beschneiung zugängliche Wassermenge durch die Kapazität der Beschneiungspumpe auf maximal 30 Liter pro Sekunde begrenzt. Das heutige System ist lediglich auf die Nutzung des Wassers der Valletta in Kombination mit dem Überlauf der Trinkwasserversorgung ausgelegt. Um das gesamte Potenzial des nutzbaren Wassers auszuschöpfen, insbesondere um auch das Wasser der Julia nutzen zu können, müsste die Infrastruktur stark ausgebaut werden. Von unschätzbarem Vorteil ist dabei, dass in Bivio kein Speicher benötigt wird, da genügend Wasser direkt nutzbar ist bzw. direkt verfügbar gemacht werden kann.

3.5 Wasserbedarf (benötigtes Wasser)

Der jährliche Wasserbedarf für die technische Beschneiung liegt nach Angaben der Bergbahnen Bivio heute im Bereich von 25 000 bis 30 000 m³. Mit einem mittleren spezifischen Verbrauch von 4150 m³ pro Hektare weist Bivio im Vergleich zu anderen Skigebieten einen hohen spezifischen Verbrauch auf. Angestrebt wird eine Zielschneehöhe von 50cm. Ein Grund für den hohen spezifischen Verbrauch sind die Windverluste, die nach Marco Pontiggia, dem Verantwortlichen für die technische Beschneiung, bis zu 40% des Wasserverbrauchs ausmachen.

Bivio besitzt konkrete Ausbaupläne für die Beschneiung seines Skigebiets mit exakt definierten Beschneiungsflächen. Anhand dieser Flächen konnte der für jede Ausbaustufe potenziell benötigte Gesamtwaterbedarf auf Basis des heutigen spezifischen Wasserbedarfs berechnet werden.

| Stufe | Fläche [ha] | Wasserbedarf [m ³] |
|----------|-------------|--------------------------------|
| Heute | 6.44 | 26 384 |
| Ausbau 3 | 8.88 | 36 380 |
| Ausbau 4 | 11.30 | 46 295 |
| Ausbau 5 | 16.55 | 67 804 |

Tab. 1: Ausbaupläne und Wasserbedarf für die technische Beschneiung. Die Bezeichnung der Ausbaustufen folgt der von den Sportanlagen Bivio AG gewählten Terminologie.

3.6 Abschliessende Beurteilung Bivio

Die Gegenüberstellung der Wasserverfügbarkeit und des Wasserbedarfs erlaubt eine abschliessende Beurteilung der Wassersituation bei der technischen Beschneiung und bildet die Grundlage für die Ausarbeitung von Optionen zur Schaffung eines nachhaltigen Wassermanagements. Dazu wird das nutzbare Wasser dem benötigten Wasser gegenübergestellt.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Wassersituation am 24. Dezember, also zu Beginn der Hochsaison. Dargestellt ist das bis zu diesem Zeitpunkt kumuliert nutzbare Wasserdargebot (vgl. Spalte Dargebot), differenziert einerseits nach den verschiedenen Wasserherkünften und deren Kombinationen und andererseits nach dem heutigen Zustand (+0 °C) sowie verschiedenen zukünftigen Klimazuständen in Abhängigkeit vom Ausmass der Erwärmung. Das nutzbare Wasser wird mit dem Wasserbedarf unterschiedlicher Ausbaustufen verglichen (vgl. Spalten Ausbau). Dabei entspricht der Ausbau 2 dem heutigen Ausbauzustand. Das Dargebot wird in der Tabelle in Prozent des Wasserbedarfs ausgedrückt. Ein Wert von über 100 % zeigt an, dass das nutzbare Wasser den Bedarf übersteigt. Zur besseren Lesbarkeit und Interpretation sind die Resultate entsprechend farblich unterlegt. Dabei wird u.a. berücksichtigt, dass bei einem nur kleinen mittleren Überangebot noch keine günstige Bedingungen für die technische Beschneiung bestehen. In der Tabelle nicht berücksichtigt ist der Aspekt des verfügbaren Wassers, also ob die technische Infrastruktur genügt, um das nutzbare Wasser zu den Beschneiungsanlagen zu führen.

Die Tabelle zeigt also die Ergebnisse einer Sensitivitätsanalyse mit veränderten mittleren Temperaturen und unterschiedlichen Ausbaustufen der Pistenbeschneiung. Aufgrund der heutigen Kenntnisse gehen wir in Bivio von folgender mittleren Erwärmung aus:

- Nahe Zukunft (2020–2049): +1 °C
- Mittlere Zukunft (2045–2074): +2 °C
- Ferne Zukunft (2070–2099): +3 °C

Mit diesen Werten lässt sich der Inhalt der **Tabelle 2** noch treffender einordnen. Im Folgenden wird der Inhalt der **Tabelle 2** aus der Sicht des nutzbaren Wassers der verschiedenen Herkünfte interpretiert.

3 ERKENNTNISSE DER FALLSTUDIE BIVIO

| Szenario | Dargebot | Ausbau | | | |
|---------------------------------|----------|--------|-------|-------|-------|
| | | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Valletta +0°C | 63407 | 140.0 | 74.0 | 37.0 | -6.0 |
| Valletta +0.5°C | 58230 | 121.0 | 60.0 | 26.0 | -14.0 |
| Valletta +1.0°C | 52900 | 101.0 | 45.0 | 14.0 | -22.0 |
| Valletta +1.5°C | 49089 | 86.0 | 35.0 | 6.0 | -28.0 |
| Valletta +2.0°C | 45227 | 71.0 | 24.0 | -2.0 | -33.0 |
| Valletta +2.5°C | 42151 | 60.0 | 16.0 | -9.0 | -38.0 |
| Valletta +3.0°C | 39010 | 48.0 | 7.0 | -16.0 | -42.0 |
| Valletta und Rons +0°C | 112829 | 328.0 | 210.0 | 144.0 | 66.0 |
| Valletta und Rons +0.5°C | 103256 | 291.0 | 184.0 | 123.0 | 52.0 |
| Valletta und Rons +1.0°C | 93728 | 255.0 | 158.0 | 102.0 | 38.0 |
| Valletta und Rons +1.5°C | 86550 | 228.0 | 138.0 | 87.0 | 28.0 |
| Valletta und Rons +2.0°C | 79562 | 202.0 | 119.0 | 72.0 | 17.0 |
| Valletta und Rons +2.5°C | 73758 | 180.0 | 103.0 | 59.0 | 9.0 |
| Valletta und Rons +3.0°C | 67949 | 158.0 | 87.0 | 47.0 | 0.0 |
| Valletta und Julia +0°C | 170070 | 545.0 | 367.0 | 267.0 | 151.0 |
| Valletta und Julia +0.5°C | 154950 | 487.0 | 326.0 | 235.0 | 129.0 |
| Valletta und Julia +1.0°C | 140435 | 432.0 | 286.0 | 203.0 | 107.0 |
| Valletta und Julia +1.5°C | 128883 | 388.0 | 254.0 | 178.0 | 90.0 |
| Valletta und Julia +2.0°C | 118117 | 348.0 | 225.0 | 155.0 | 74.0 |
| Valletta und Julia +2.5°C | 108743 | 312.0 | 199.0 | 135.0 | 60.0 |
| Valletta und Julia +3.0°C | 98582 | 274.0 | 171.0 | 113.0 | 45.0 |
| Valletta, Rons und Julia +0°C | 267252 | 913.0 | 635.0 | 477.0 | 294.0 |
| Valletta, Rons und Julia +0.5°C | 243492 | 823.0 | 569.0 | 426.0 | 259.0 |
| Valletta, Rons und Julia +1.0°C | 220683 | 736.0 | 507.0 | 377.0 | 225.0 |
| Valletta, Rons und Julia +1.5°C | 202530 | 668.0 | 457.0 | 337.0 | 199.0 |
| Valletta, Rons und Julia +2.0°C | 185613 | 604.0 | 410.0 | 301.0 | 174.0 |
| Valletta, Rons und Julia +2.5°C | 170882 | 548.0 | 370.0 | 269.0 | 152.0 |
| Valletta, Rons und Julia +3.0°C | 154915 | 487.0 | 326.0 | 235.0 | 128.0 |

Bedingungen ...

- sehr günstig: Das nutzbare Wasser kann den Bedarf stets decken.
- eher günstig: Das nutzbare Wasser ist im Allgemeinen ausreichend, kann aber in Einzeljahren kritisch werden.
- kritisch: Das nutzbare Wasser liegt bereits in einem mittleren Jahr im Bereich des Bedarfs.
- ungenügend: Die benötigte Wassermenge ist in der Regel grösser als das verfügbare Wasser.

Tab. 2: Situation 24. Dezember. Dargebot in m³; restliche Spalten %-Werte.

Lesebeispiel: In der aktuellen Situation (Valletta +0°C, Ausbau 2) genügt das Wasser der Valletta (63407 m³) bei weitem (●), um den Wasserbedarf der technischen Beschneiung zu decken.

Valletta

Die heutige Situation wird durch die Kombination Valletta +0 °C/Ausbau 2 beschrieben. Das nutzbare Wasser genügt heute bei weitem, um den Bedarf der technischen Beschneiung zu decken. Würde auf einen weiteren Ausbau der technischen Beschneiung verzichtet, könnte die Beschneiung trotz der Klimaerwärmung aufrechterhalten werden, in der nahen Zukunft mit einem stets genügenden Angebot an nutzbarem Wasser. Auch in der mittleren und fernen Zukunft ist die Menge an nutzbarem Wasser im Mittel grösser als der Wasserbedarf der technischen Beschneiung. Es sind aber einzelne kritische Jahre zu erwarten. Ein weiterer Ausbau der Beschneiung im Skigebiet, der allein auf der Nutzung des Wassers der Valletta beruht, ist nur beschränkt möglich. Immerhin ist für die nahe Zukunft noch genügend Wasser vorhanden, um einen Weiterausbau auf Stufe 3 zu ermöglichen.

Valletta und Rons

In dieser Kombination wird das Wasser aus der Valletta und dem Überlauf der Trinkwasserversorgung (Rons) eingesetzt. [Tabelle 2](#) zeigt, dass bereits diese gegenüber heute moderate Erweiterung des Wasserdargebots ausreicht, um die technische Beschneiung zumindest mittelfristig auch bei einem weiteren Ausbau der beschneiten Flächen abzusichern. Die Kombination von Valletta und Rons ist dabei nicht nur aus technischer Sicht die naheliegendste, sondern auch die strategisch sinnvollste Lösung. In dieser Kombination wird in mittlerer Zukunft genügend nutzbares Wasser vorhanden sein, um einen Ausbau der Stufe 3 und weitgehend auch der Stufe 4 zu ermöglichen. Allerdings – und das wurde hier nicht im Detail angeschaut – müsste die Situation bei einem stark zunehmenden Trinkwasserbedarf neu beurteilt werden.

Valletta und Julia

In dieser Kombination ist auch langfristig genügend nutzbares Wasser verfügbar. Obwohl diese Kombination langfristig ausreichend Wasser liefert, ist aufgrund der bestehenden technischen Einbindung des Trinkwassers Rons die nachfolgende Variante vorzuziehen.

Valletta, Rons und Julia

Die untersten Zeilen der Tabelle (Valletta, Rons und Julia) beschreiben die Situation, wenn das Skigebiet auf die gesamte konzessionierte Wassermenge zugreifen würde. Bemerkenswert ist, dass alle Zellen im Bereich ● «sehr günstig» liegen. Mit anderen Worten: Mit den Entnahmen aus der Valletta und der Julia sowie dem Trinkwasser in Rons ist die Zukunft des Skigebiets Bivio auch vor dem Hintergrund der Klimaerwärmung langfristig gesichert – vorausgesetzt, die entsprechenden infrastrukturellen Anpassungen werden vorgenommen.

Beurteilung

In Bivio bestehen heute wie künftig sehr gute Voraussetzungen sowie die nötige Flexibilität, um die technische Beschneiung im Rahmen eines nachhaltigen Wassermanagements sicherzustellen. Notwendig sind jedoch gezielte Investitionen in die Beschneiungsinfrastruktur, damit das nutzbare Wasser optimal für die Beschneiung zugänglich ist, also eingesetzt werden kann. Konkret geht es darum, das Leitungssystem so auszubauen, dass grössere Wassermengen ins Skigebiet geleitet werden können. Ein Beschneiungsspeicher wird hingegen nicht benötigt.

4 Erkenntnisse der Fallstudie Belalp

4.1 Kurzporträt Belalp

Das Skigebiet Belalp liegt in der Gemeinde Naters im Kanton Wallis in einem Höhenbereich von 2000 bis 3100 m ü.M. Der heute für die Beschneiung relevante Bereich umfasst die Höhenzone zwischen 2000 bis 2600 m ü.M.

4.2 Wasserdargebot (verfügbares Wasser)

Der Speichersee Hohbiel, der 2010 fertiggestellt wurde, bildet das zentrale Element zur Bereitstellung von Wasser für die technische Beschneiung. Er besitzt ein Speichervolumen von knapp 100 000 m³ und wird durch natürliche Zuflüsse gespeist. Im Mittel ist er bereits Anfang Juni vollständig gefüllt. Das zugehörige Einzugsgebiet umfasst etwa 0.65 km². Zusätzlich zum Wasser aus dem Speicher steht für die Beschneiung Quellwasser aus der Trinkwasserversorgung Belalp und Oberflächenwasser aus der Suone Riederi zur Verfügung. Dieses zusätzliche Volumen beträgt nach Angaben der Belalp Bahnen 50 000 m³, davon stammen rund 40 000 m³ aus der Riederi. Somit stammt das verfügbare Wasser zur Hauptsache aus Oberflächengewässern. Aufgrund der Klimaänderung sind folgende Entwicklungen zu erwarten.

- **Speichersee Hohbiel:** Die Füllung im Zuge der Schneeschmelze wird auch in Zukunft gewährleistet sein.
- **Zuflüsse Hohbiel und Abfluss Riederi:** In der relevanten Periode von Mitte November bis Weihnachten werden die Abflüsse
 - im November im Mittel leicht abnehmen (im tiefen einstelligen Prozentbereich) und
 - im Dezember im Mittel bis Mitte Jahrhundert um 5 bis 10%, gegen Ende des Jahrhunderts bis 10% zunehmen.
- **Quellwasser:** Beim Quellwasserdargebot ist keine gegenüber heute signifikante Veränderung zu erwarten. Aufgrund der starken Interaktion zwischen Oberflächengewässern und Quellwasser kann davon ausgegangen werden, dass sich die Veränderungen bei den Oberflächengewässern in gedämpfter Form auch beim Quellwasser zeigen werden.

4.3 Erntefaktor und nutzbares Wasser

In unmittelbarer Nähe der Station Hohbiel befindet sich die SLF-Station BEL2. Auf Basis ihrer Messwerte wurde der Erntefaktor für das Skigebiet Belalp berechnet. Die Ergebnisse sind in [Tabelle 3](#) zusammengestellt. Die Tabelle zeigt, wie sich die monatlichen Erntefaktoren in Zukunft unter den verschiedenen Emissionsszenarien verändern werden. Sie belegt, dass die Erntefaktoren auch Ende des Jahrhunderts noch hinreichend gross und damit nicht limitierend sein werden. Diese Aussage gilt jedoch streng genommen nur für den Höhenbereich von 2500–2600 m ü. M. Der Erntefaktor im Höhenbereich um 2000 m, also am unteren Rand des Skigebiets, liegt im November und Dezember rund 30 Prozentpunkte tiefer als auf 2500–2600 m ü. M. Im kritischen Monat November werden in der mittleren Zukunft trotzdem noch rund 150 bis 200 Stunden mit günstigen Beschneiungsbedingungen auftreten.

| Monat | qq | RF26 | NZ26 | MZ26 | FZ26 | RF45 | NZ45 | MZ45 | FZ45 | RF85 | NZ85 | MZ85 | FZ85 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 11 | 0.10 | 52 | 44 | 41 | 49 | 53 | 50 | 41 | 38 | 52 | 44 | 34 | 26 |
| 11 | 0.25 | 62 | 50 | 51 | 55 | 62 | 58 | 50 | 46 | 62 | 53 | 44 | 35 |
| 11 | 0.50 | 70 | 66 | 63 | 66 | 70 | 69 | 63 | 59 | 70 | 64 | 56 | 46 |
| 11 | 0.75 | 78 | 78 | 75 | 77 | 78 | 76 | 75 | 70 | 80 | 74 | 66 | 56 |
| 11 | 0.90 | 85 | 86 | 87 | 84 | 88 | 86 | 84 | 78 | 88 | 84 | 73 | 62 |
| 12 | 0.10 | 82 | 71 | 71 | 66 | 74 | 70 | 63 | 60 | 76 | 68 | 60 | 48 |
| 12 | 0.25 | 85 | 79 | 76 | 80 | 82 | 76 | 74 | 70 | 82 | 76 | 69 | 58 |
| 12 | 0.50 | 91 | 86 | 86 | 86 | 89 | 84 | 82 | 80 | 90 | 85 | 78 | 68 |
| 12 | 0.75 | 95 | 94 | 91 | 93 | 95 | 90 | 89 | 88 | 94 | 90 | 86 | 77 |
| 12 | 0.90 | 99 | 98 | 96 | 97 | 98 | 94 | 95 | 93 | 97 | 96 | 90 | 81 |

Tab. 3: Monatliche Erntefaktoren im Skigebiet Belalp in der Periode 2008–2024: Mittlerer prozentualer Anteil der möglichen Beschneiungsstunden (Feuchtkugeltemperatur $\leq -2^{\circ}\text{C}$) auf Höhe der SLF-Station BEL2 auf rund 2554 m.ü.M. Legende: qq: Quantile der Monatswerte (0.5: Medianwert), RF: Referenzperiode; NZ, MZ, FZ: nahe (2020–2049), mittlere (2045–2074), ferne Zukunft (2070–2099); 26, 45, 85: Emissionsszenario RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5. Lesebeispiel: NZ26: Die Spalte zeigt die Werte für die nahe Zukunft und das Emissionsszenario RCP2.6. Im November [11] beträgt der mediane Erntefaktor (qq 0.50) 70. Die Referenzperiode wurde bei jedem Emissionsszenario eigenständig und unabhängig modelliert, sodass kleinere Abweichungen möglich sind.

4.4 Infrastruktur (zugängliches Wasser)

Die bestehende Infrastruktur im Skigebiet Belalp ist optimal auf das nutzbare Wasser zugeschnitten. Aufgrund der grossen Höhenlage und der damit verbundenen kleinen Fläche der Zuflussgebiete reicht das im November und Dezember verfügbare Wasser allerdings nicht aus, um den Bedarf der technischen Beschneiung direkt zu decken. Deshalb ist eine Speicherung von Wasser nötig, die bereits ab der Schneeschmelze erfolgen muss. Diese erfolgt heute durch den bestehenden Speichersee Hohbiel, dessen Ausbaumöglichkeiten allerdings stark eingeschränkt sind, sowohl landschaftlich als auch technisch und gesetzlich. Bei einer Erhöhung des Speichervolumens auf über $100\,000\text{ m}^3$ würde der See unter die Talsperrenverordnung fallen, was mit weit höheren Auflagen verbunden wäre. Selbst wenn in Zukunft mehr nutzbares Wasser zur Verfügung stünde, könnten diese Mengen aufgrund der eingeschränkten Möglichkeiten zur Schaffung von zusätzlichem Speicherraum kaum ausreichend genutzt werden.

4.5 Wasserbedarf (benötigtes Wasser)

Nach Angaben der Belalp Bahnen AG beträgt der aktuelle Wasserverbrauch für die Beschneiung rund $186\,000\text{ m}^3$ pro Saison. Dieser Bedarf fällt in der Zeit zwischen etwa Mitte November und Weihnachten an, um für die Weihnachtsferien optimale Pistenverhältnisse gewährleisten zu können. Weitere Angaben zur Differenzierung dieses Verbrauchs – etwa zur Jahr-zu-Jahr-Variabilität – liegen nicht vor. Das Wasser wird zur Beschneiung von ca. 39 ha Pistenfläche eingesetzt. Daraus ergibt sich ein plausibler spezifischer Wasserverbrauch von rund $4\,800\text{ m}^3$ pro Hektar. Leider liegen keine konkreten Ausbaupläne der technischen Beschneiung vor. Es besteht laut Belalp Bahnen AG aber der grundsätzliche Wunsch, in Zukunft rund 40% der Pistenfläche technisch beschneien zu können. Im Vergleich zur heutigen Situation würde dies einer Verdopplung der beschneiten Flächen und damit des Wasserverbrauchs entsprechen.

4.6 Abschliessende Beurteilung Belalp

Aktuell sind das Wasserdargebot und der Wasserbedarf der technischen Beschneiung so austariert, dass keine Engpässe zu erwarten sind und bisher auch nicht eingetreten sind. Allerdings ist das Ausbaupotential aus der Sicht des Wasserdargebots stark limitiert, und zwar aus den folgenden Gründen:

1. Der bestehende Beschneiungsspeicher mit einem Volumen von $100\,000\text{ m}^3$ bildet das zentrale Element der heutigen Infrastruktur. Das Speichervolumen ist allerdings zu klein und genügt nicht für die Beschneiung zusätzlicher Flächen im Rahmen einen allfälligen Weiterausbau.
2. Die Abflussmengen im Zuflussgebiet des bestehenden Speichersees und im Einzugsgebiet der Wasserfassung Riederi werden sich in der für die Beschneiung relevanten Zeitperiode im November und Dezember gegenüber heute nur unwesentlich verändern (siehe [Kapitel 4.2](#)).
3. Die bestehende Trinkwasserversorgung stösst bereits heute im Winter an ihre Kapazitätsgrenzen (mündliche Mitteilung Diego Wellig, Gemeinderat Naters). Die Nutzung von (zusätzlichem) Trinkwasser für die technische Beschneiung ist daher weder nachhaltig noch langfristig tragbar.

Gemeinde Naters plant resilientes Wassersystem

Das Einzugsgebiet des Chelchbachs bildet das wasserwirtschaftliche Rückgrat der Gemeinde Naters. Es liefert das Trinkwasser, versorgt die Bewässerungswiesen und stellt die Wasserquelle für die technische Beschneiung im Skigebiet Belalp dar. In einer Studie (geoformer igt AG und ecosfera (2025)) wurde untersucht, wie im Chelchbach ein nachhaltiges Wassermengenmanagement etabliert werden kann, um die Resilienz des Einzugsgebiets zu stärken. Resilient ist ein Einzugsgebiet, wenn seine hydrologischen Funktionen trotz vielfältiger Belastungen und Störungen – wie Klimawandel und häufigere extreme Ereignisse (Trockenheiten, Hochwasser) – dauerhaft erhalten bleiben. Für die Resilienzförderung sind vernetzte aquatische Lebensräume und naturnahe Gewässerläufe von zentraler Bedeutung. Ein resilenter Chelchbach ist zudem die Grundlage für eine langfristig gesicherte, qualitativ hochwertige Wasserversorgung von Bevölkerung und Landwirtschaft.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Wassersituation aktuell als günstig zu beurteilen ist. Das Dargebot übersteigt generell die Nachfrage. Mittel- bis langfristig allerdings wird im Sommer häufig nicht mehr jederzeit genügend Wasser zur Verfügung stehen.

Um zukünftig genügend Wasser für die Beschneiung zur Verfügung zu haben, gleichzeitig aber die Resilienz des Einzugsgebiets, seiner Gewässer und der Landschaft zu erhalten, sind gezielte Massnahmen erforderlich. Eine wichtige Massnahme dabei ist die Schaffung von zusätzlichen Wasserspeichern, um Wasser aus abflussreichen Monaten für Trockenzeiten zwischenspeichern.

Eine tragfähige Weiterentwicklung der technischen Beschneiung im Skigebiet Belalp wäre deshalb nur durch die Schaffung zusätzlichen Speicherraums möglich. Der Spielraum auf der Belalp bzw. im Einzugsgebiet des Chelchbachs ist allerdings beschränkt: Einerseits gibt es nur wenige geeignete Standorte für zusätzliche Speicher, andererseits müssten diese und die erforderliche Infrastruktur landschaftsverträglich gestaltet werden. Zusätzlich ist eine enge Abstimmung mit den anderen Wassernutzungen in der Frage notwendig, ob ein Speicher multifunktional genutzt werden könnte, was die planerische Komplexität bei der Standortwahl weiter erhöht.

Schliesslich stellt sich die Frage der Kosten. Thomas Kissling, Rolf Weingartner, Günther Vogt (2023) zeigen in einer Studie, dass bei Beschneigungsspeichern die mittleren Baukosten für die Schaffung einer Speicherkapazität von 1 m^3 rund CHF 50.– betragen. In Kap. 4.5 wurde der zukünftige Wasserbedarf der Beschneiung auf $400\,000\text{ m}^3$ beziffert. Davon können $130\,000\text{ m}^3$ über den bestehenden Speicher Hohbiel⁵ abgedeckt werden, sodass ein Bedarf an zusätzlichem Speicherraum in der Grössenordnung von $270\,000\text{ m}^3$ besteht. In diesem Fall wäre mit reinen Baukosten um CHF 15 Mio.⁶ zu rechnen.

Angesichts dieser komplexen Ausgangslage ist eine Weiterentwicklung der technischen Beschneiung der Belalp Bahnen AG allein mit gebietsinternen Massnahmen nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich. Deshalb rücken gebietsexterne Massnahmen in den Vordergrund.

Bei den gebietsexternen Massnahmen steht der geplante Oberaletschsee im Fokus, für den Möglichkeiten einer multifunktionalen Nutzung im Rahmen einer wasserwirtschaftlichen Gesamtplanung des Chelchbach-Einzugsgebiets untersucht wurden (geoformer igrp AG und ecosfera (2025), siehe [Seite 44](#)). Diese Gesamtbetrachtung zeigt Optionen auf, wie unter Einbezug aller Nutzungen ein resilientes Gesamtsystem geschaffen werden kann. In diesem Zusammenhang wurde auch geprüft, ob und welchen Beitrag das Wasser des neu entstehenden Oberaletschsees zur Beschneiung im Skigebiet Belalp leisten könnte. Angeacht ist, das Wasser im Freispiegelgefälle durch einen Tunnel bis zum Aletschbord zu leiten. Von dort wird es in die Kraftwerkzentrale zur Stromerzeugung

⁵ Speichervolumen plus winterliche Zuflüsse

⁶ gerundet

4 ERKENNTNISSE DER FALLSTUDIE BELALP

geführt und kann bei Bedarf auch zur Deckung des Wasserbedarfs im Chelchbach-Einzugsgebiet und somit auch für die technische Beschneiung genutzt werden. Die Analysen von geoformer igr AG und ecosfera (2025) zeigen, dass sich der Wasserbedarf aller Nutzungen im Chelchbach im tiefen einstelligen Bereich der im entstehenden Oberaletschsee verfügbaren Wassermengen bewegt.

Aus Sicht der technischen Beschneiung würde ein Wasserbezug aus dem Oberaletschsee grosse Vorteile bieten:

1. Es wäre kein zusätzlicher Speicherraum auf der Belalp nötig, da in den Beschneiungszeiten im November und Dezember jederzeit genügend Wasser bezogen werden könnte (d.h. hohe Flexibilität beim Wasserbezug).
2. Das Wasser aus dem Oberaletschsee kann gut in die bestehende Leitungsinfrastruktur eingespeist und für die technische Beschneiung genutzt werden.
3. Die niedrige Temperatur des Wassers aus dem Oberaletschsee, der durch «Gletscherwasser» gefüllt wird, ist günstig für die Beschneiung.
4. Der Wasserbezug für die technische Beschneiung kann von der Trinkwasserversorgung abgekoppelt werden. Auf diese Weise lassen sich Nutzungs-konflikte vermeiden.

Dieser Ansatz besitzt aus wasserwirtschaftlicher Sicht zudem den Vorteil, dass die technische Beschneiung zu einem integralen Teil der Bewirtschaftung der Wasserressourcen im Chelchbach-Einzugsgebiet wird. Dies erleichtert es auch, die finanziellen Aspekte des Wasserbezugs zu regeln, also einen Bepreisungsansatz auszuarbeiten, der die Rahmenbedingungen der verschiedenen Nutzungen vergleichend miteinbezieht.

Belalp – Projekt Oberaletsch

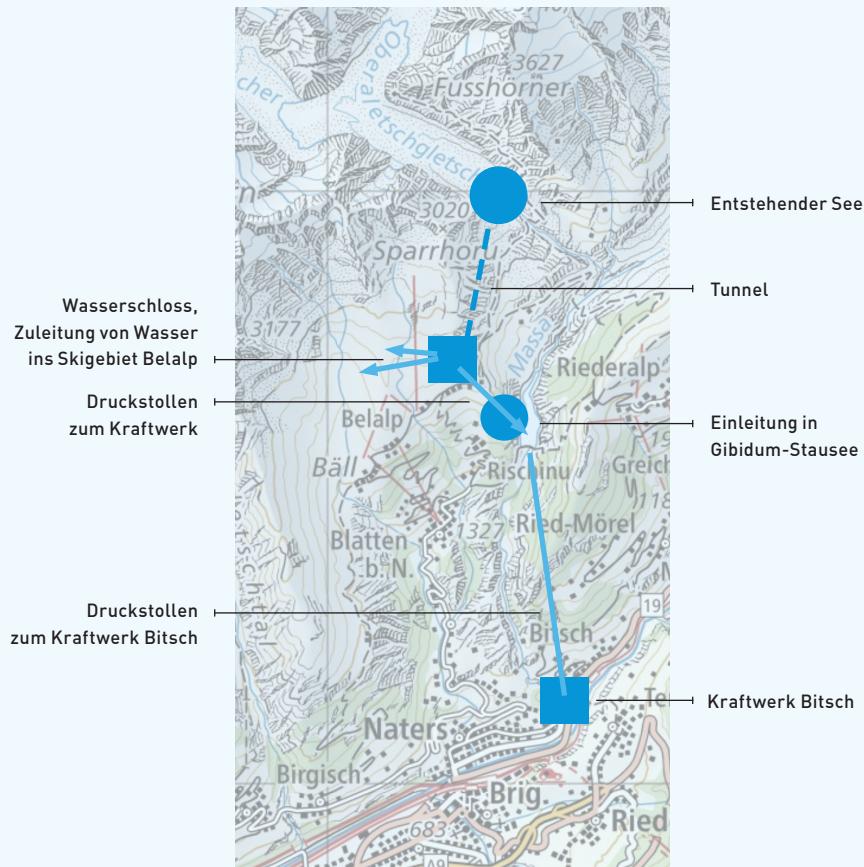


Abb. 9: Das geplante Projekt Oberaletsch der Gemeinde Naters. Dieses Projekt ist eines der vom Runden Tisch von BR Sommaruga vorgeschlagenen Wasserkraftprojekte.

Beurteilung

Die technische Beschneiung im Skigebiet Belalp wird im heutigen Umfang auch unter den Klimabedingungen der nächsten Jahrzehnte möglich bleiben. Es steht weiterhin genügend Wasser zur Verfügung. Allerdings wird es in den tiefer gelegenen Bereichen des Skigebiets (um 2000 m ü. M.) ab der mittleren Zukunft zunehmend weniger Zeitfenster geben, in denen eine Beschneiung überhaupt noch möglich ist.

Ein namhafter Ausbau der Beschneiung ist mit der auf der Belalp direkt verfügbaren Wassermenge nicht realisierbar. Voraussetzung dafür wäre der Bau von Speichern, die im Sommerhalbjahr gefüllt werden und das Wasser im November und Dezember bereithalten. Solche Speicher ermöglichen zudem eine rasche und bedarfsgerechte Wasserabgabe, was entscheidend ist, um die künftig kürzeren Beschneiungsfenster optimal zu nutzen.

Literatur

- Abegg, Bruno (2023).** «Beschneiung: Erfolgsgeschichte oder Auslaufmodell?» Unveröffentlichtes Manuskript, erstellt im Rahmen des Projekts Beschneiungsspeicher.
- Gewässerschutzgesetz (2024).** Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG). Stand: 1. Januar 2024.
www.fedlex.admin.ch
- Climate Services (NCCS), National Centre for (2018).** Schweizer Klimaszenarien. Zugriff am 19. Februar 2025. www.nccs.admin.ch
- Freudiger, Daphné, Marc Vis und Jan Seibert (2021).** Mittlere Abflüsse vergletscherter Einzugsgebiete. Aufruf am 31.05.2025.
hydromapscc.ch
- geoformer ipp AG und ecosfera (2025).** Wasser im Einzugsgebiet des Chelchbachs, Gemeinde Naters: Grundlagenanalyse, Beurteilung der Resilienz und Optionen für Massnahmen. Techn. Ber. Version 1.0. Auftraggeberin: FMV SA, Rue de la Dixence 9, 1951 Sion. Sebastiansplatz 1, CH-3900 Brig-Glis: geoformer ipp AG.
- Mülchi, Regula u. a. (2021).** Mittlere Abflüsse mesoskaliger Einzugsgebiete. Aufruf am 31.05.2025. hydromapscc.ch
- Seilbahnen Schweiz (2024).** Fakten & Zahlen zur Schweizer Seilbahnbranche 2024. Remontées Mécaniques Suisse, Funivie Svizzere, Pendicularas Svizras.
www.seilbahnen.org
- Thomas Kissling, Rolf Weingartner, Günther Vogt (2023).** Studie Alpine Beschneiungsspeicher. Zugriff am 7. Juni 2025. www.vogt-la.com
- Weingartner, Rolf und Pascale Josi (2024).** *Beschneiungsspeicher aus der Sicht und in der Beurteilung der Skigebiete.* Techn. Ber. ETH Zürich, Departement Architektur, Institut für Landschaft und Urbane Studien, Professur Günther Vogt. www.vogt-la.com
- Weingartner, Rolf, Jan Schwanbeck und Klaus Lanz (2025a).** *Beschneiung Belalp: Analyse der Wassersituation.* Techn. Ber. Erstellt im Auftrag von Seilbahnen Schweiz, ecosfera gmbh.
- (2025b).** *Beschneiung Bivio: Analyse der Wassersituation.* Techn. Ber. Erstellt im Auftrag von Seilbahnen Schweiz, ecosfera gmbh.
- WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF (2025).** *Beschreibung automatische Stationen.* Zugriff am 7. Juni 2025. www.slf.ch

Impressum

Herausgeber

Seilbahnen Schweiz (SBS)
Giacomettistrasse 1
3006 Bern
info@seilbahnen.org
www.seilbahnen.org

© Seilbahnen Schweiz (SBS), Bern
November 2025

Autoren

Rolf Weingartner, Prof. Dr. phil.-nat.,
ecosfera gmbh
Klaus Lanz, Dr. phil.-nat.,
international water affairs

Projektleitung

Laura Wyss, SBS
Benedicta Aregger, SBS

Gestaltung

de-stefano.ch

Bilder

© S. 5, 15: Bivio Sportanlagen AG;
Belalp Bahnen AG & Blatten-Belalp
Tourismus AG,

Unterstützt durch:



BKW

snowstainability