

# Schnee

Die Entwicklungen in Südtirol und  
den Alpen und wie sie sich auswirken

Michael Matiu



# Schnee

Schnee prägt die Winterlandschaft, versorgt Menschen, Ökosysteme und Landwirtschaft mit Wasser, schafft Arbeitsplätze. Der Klimawandel jedoch bedroht den Schnee. Welche Veränderungen sind in Südtirol und in den Alpen schon eingetreten? Welche sind für die Zukunft zu erwarten – und wie werden sie sich auswirken?

**Autor:** Michael Matiu, Forscher am Institut für Erdbeobachtung von Eurac Research  
Mit der Unterstützung von Giacomo Bertoldi, Claudia Notarnicola und Marc Zebisch



Die filigrane Schönheit der Schneekristalle entsteht auf ihrer Reise durch die Atmosphäre – die Umgebungsbedingungen bestimmen die endgültige Form. (Foto: Bresson Thomas)

## Was ist Schnee?

Schnee ist die häufigste Form festen Niederschlags. Er besteht aus Eiskristallen, die sich in der Atmosphäre bilden, dort wachsen und noch weiterwachsen, während sie auf die Erde fallen. Die endgültige Größe und Form der Kristalle hängt von atmosphärischen Bedingungen ab, insbesondere von Temperatur, Feuchtigkeit und Wind.

Am Boden akkumuliert der Schnee und bildet die Schneedecke. Abhängig von den Umgebungsbedingungen, etwa von der Temperatur, die ein Schmelzen und erneutes Einfrieren bewirken kann, oder vom Wind, der den Schnee transportiert, oder auch von zukünftigen Schneefällen, die die Schneedecke komprimieren können, verändert sich Textur, Größe und Form der Schneekörner. Im Lauf des Winters entsteht so in der Schneedecke eine komplexe, vielschichtige Struktur, die die Wetterbedingungen jedes einzelnen Schneefalls und der Zeit danach widerspiegelt.



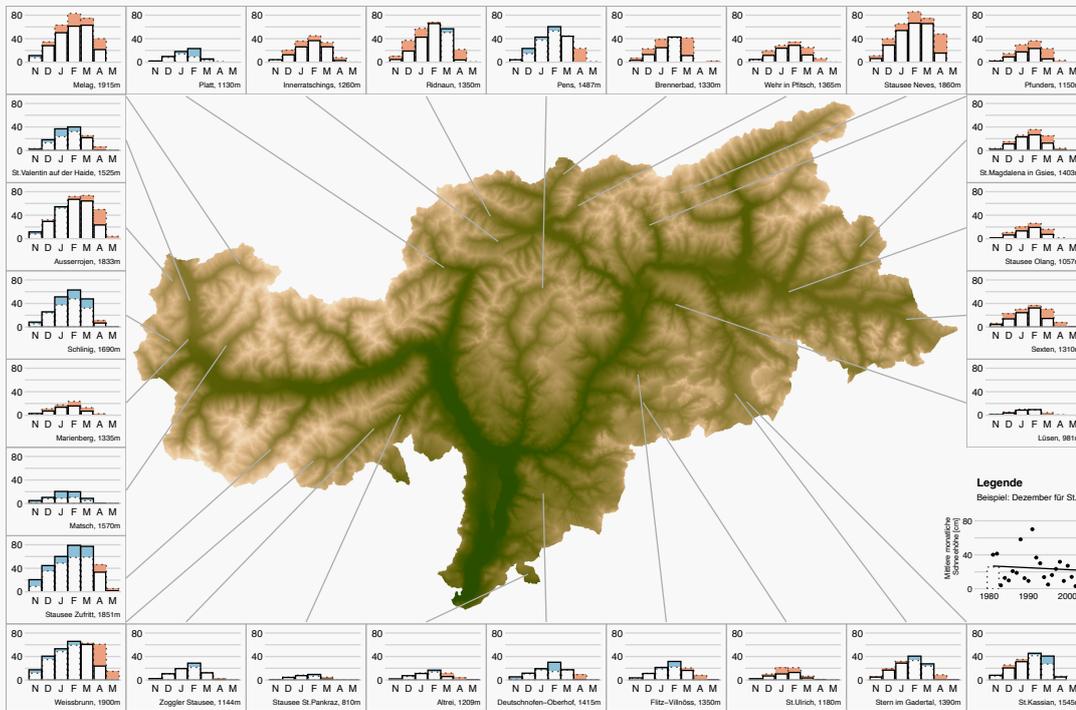
Die Schneedecke ist eine komplexe Struktur, ihre Schichten erzählen die Geschichte des Winters vom ersten bis zum jüngsten Schneefall. (Foto: David Newman)

## Wann schneit es?

Schnee benötigt für seine Entstehung Feuchtigkeit und kalte Temperaturen in der Atmosphäre, und er erreicht den Boden nur, wenn die Lufttemperatur an der Erdoberfläche unter  $0^{\circ}\text{C}$  ist. Nur in Ausnahmefällen kann der Schnee den Boden auch erreichen, wenn die Temperatur bis zu  $+5^{\circ}\text{C}$  beträgt. Südtirols komplexe Topografie hat großen Einfluss auf das lokale Wetter. Mit zunehmender Höhe sinkt die Temperatur meist. Da die Berge die Strömungen der Luftmassen beeinflussen, kann es auf der dem Wind zugewandten Bergflanke in höheren Lagen zu vermehrten Niederschlägen kommen. Auf der windabgewandten Seite sind die Luftmassen trockener, die Gebiete dort sind also eher niederschlags- und somit schneearm. Manche Gebiete, etwa der Vinschgau, liegen so, dass sie von den Luftmassen kaum Feuchtigkeit abbekommen. Insgesamt ergibt dies eine komplexe räumliche und zeitliche Verteilung der Schneedecke in Südtirol, wobei prinzipiell in zunehmender Höhe mehr Schnee zu erwarten ist.

## Wie wird die Schneedecke gemessen?

Wissenschaftliche Messungen der Schneedecke werden relativ simpel mittels einer Messstange zur Längenbestimmung durchgeführt, wobei die Höhe des Schneefalls (Neuschnee, Höhe relativ zu einer schneefreien Fläche) und die Schneehöhe (Höhe der gesamten Schneedecke relativ zum Boden) gemessen werden. Aufzeichnungen gibt es zum Teil schon sehr lange, in Turin zum Beispiel seit 1787, in Rovereto seit 1882. In Südtirol hingegen finden umfangreiche manuelle Messungen seit 1980 statt. In letzter Zeit wurden zudem bis in höhere Lagen automatische Sensoren installiert, doch sind die Datenreihen hier für klimatologische Auswertungen noch zu kurz. Seit einigen Jahrzehnten ermöglichen Satelliten, die schneebedeckte Fläche, die Schneedauer oder den Schneetyp (feucht/trocken) zu bestimmen; diese Methode hat den Vorteil, dass der gesamte Höhengradient abgedeckt wird, doch sind auch bei Satellitendaten die Zeitreihen noch relativ kurz. Aus hydrologischer Sicht ist die Menge des im Schnee gespeicherten Wassers eine wichtige Kennzahl, das sogenannte Schneewasseräquivalent. Es manuell zu messen ist allerdings sehr arbeitsaufwendig, und eine automatische Messung ist teuer. Das Schneewasseräquivalent wird deshalb nicht so häufig gemessen wie die Schneehöhe oder die Höhe des Schneefalls.



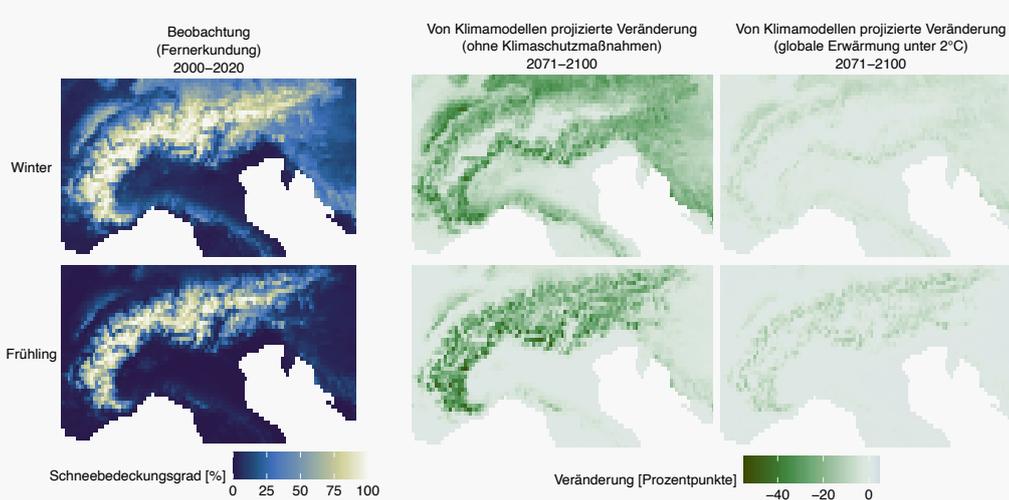
Trendanalyse der Schneehöhen an allen Messstationen mit mehr oder weniger vollständigen Datenreihen über die vergangenen vier Jahrzehnte (1981-2020). Die Änderungen in der Schneehöhe wurden mit einer linearen Regressionsanalyse der mittleren monatlichen Schneehöhe abhängig vom Jahr bestimmt. In rot negative Trends, in Blau positive Trends.

## Haben sich die Schneehöhen in Südtirol verändert?

In den vergangenen 40 Jahren sind die Schneehöhen an den meisten Messstationen in Südtirol zurückgegangen, allerdings mit Unterschieden je nach Monat, Höhe und Lage. An den 28 Standorten, die mehr oder weniger komplette Zeitreihen von 1981 bis 2020 aufweisen, gibt es im Winter (Dezember bis März) hauptsächlich unterhalb von 1500m Rückgänge, während sich zwischen 1500 und 2000m Ab- und Zunahmen die Waage halten. Zudem sind räumliche Muster zu beobachten, wonach die Rückgänge hauptsächlich im Norden und Osten erfolgten, die meisten Zunahmen dagegen im Süden und Westen. Zum Beispiel ist in Schlinig, im Westen des Landes, auf 1690m, die mittlere Schneehöhe im Februar von 48cm auf 63cm gestiegen, während am Stausee Neves im Nordosten, auf 1860m, die Schneehöhe von 86cm auf 66cm zurückging. Am Ende der Schneesaison, also je nach Höhe zwischen April und Mai, wurden keine Zunahmen beobachtet. An den meisten Standorten verschwand der Schnee im Mittel im letzten Monat der Schneesaison sogar. Im April liegt jetzt unterhalb von etwa 1500m im Schnitt kein Schnee mehr, während vor 40 Jahren an manchen Orten 7 bis 24cm üblich waren, etwa in Sexten oder Pens. Die größte Einschränkung dieser Ergebnisse ist, dass sie ausschließlich auf Messungen unterhalb von 2000m beruhen, da es oberhalb dieser Höhe in Südtirol keine langfristigen Beobachtungen gibt.

## Wie ist die Situation im restlichen Alpenraum?

Die in Südtirol beobachteten Änderungen sind repräsentativ für den südlichen Teil der Alpen. Die Alpen unterliegen drei klimatischen Einflusszonen: dem Atlantischen Ozean, dem Mittelmeer und dem Europäischen Kontinent. Als markanteste Klimagrenze trennt der Alpenhauptkamm den Norden vom Süden, während von West nach Ost der Einfluss des ozeanischen Klimas ab- und der des kontinentalen Klimas zunimmt. Dies hat sowohl Auswirkungen auf die Temperatur als auch auf den Niederschlag: Im Winter gibt es im Süden im Mittel ein Drittel weniger Niederschlag als im Norden, was ungefähr 20-30% weniger Schnee entspricht. Eine aktuelle Analyse von mehr als 800 Stationen in den Alpen hat gezeigt, dass im Zeitraum 1971 bis 2019 die Schneedecke an den meisten Stationen unterhalb von 2000m abgenommen hat. Zudem sind die Schneehöhen im Süden stärker zurückgegangen als im Norden. Oberhalb von 2000m gab es vor allem im Süden je nach Standort eine hohe Bandbreite an Änderungen, von starken Rückgängen bis zu starken Zunahmen. Allerdings wird nur an wenigen Standorten oberhalb von 2000m langfristig Schnee gemessen, somit sind dazu keine allgemeinen alpenweiten Aussagen möglich. Im Herbst und Frühjahr sind die Schneehöhen allerdings in allen Regionen und Höhenlagen zurückgegangen.



Durchschnittliche mit Schnee bedeckte Fläche (Schneebedeckungsgrad) im Winter (Dezember bis Februar) und Frühling (März bis Mai) für die Gegenwart (2000-2020) und projizierte Veränderungen in der Zukunft (2071-2100). Für den Zeitraum 2000-2020 wurden Satellitenbilder ausgewertet, die Darstellung der zukünftigen Entwicklung beruht auf regionalen Klimamodellen, die mit Satellitenbeobachtungen kalibriert wurden. Die Karten haben eine horizontale Auflösung von ungefähr 12km, was der Auflösung der aktuellen Generation regionaler Klimamodelle entspricht.

## Welche Auswirkungen hat der Klimawandel auf den Schnee?

Wird der Klimawandel nicht gebremst, steigen die Temperaturen mit Sicherheit weiter an und Niederschlagsmuster könnten sich ändern. In der Folge könnte in den Alpen möglicherweise im Winter mehr Niederschlag fallen. Wegen der höheren Temperaturen wird es im Herbst und Frühling weniger Schnee geben. Für niedrige Höhenlagen wird dies auch im Winter zutreffen, da der Niederschlag bei wärmeren Temperaturen hier als Regen statt als Schnee fallen wird. In hohen Lagen könnte in der Mitte des Winters wegen der höheren Niederschläge zwar mehr Schnee fallen, aber aufgrund der ansteigenden Temperaturen würde sich die Schneesaison insgesamt verkürzen: Im Herbst würde der Schnee später kommen, im Frühling würde er früher und schneller schmelzen. Die gesamten Schneemengen werden auf regionaler Ebene zu allen Jahreszeiten signifikant abnehmen, vor allem aber im Frühling. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts könnte die Schneedecke eine Höhenverschiebung von 500 bis 1000m erfahren. Das heißt, im Jahr 2100 könnten die Schneeverhältnisse auf 2000m den aktuellen auf 1000 bis 1500m entsprechen. Sollten die Klimaziele eingehalten, sprich die globale Erwärmung unter 2°C gehalten werden, könnte diese Höhenverschiebung noch auf 250 bis 500m begrenzt werden.



Schneemassen wird es auch künftig immer wieder geben, trotz insgesamt abnehmender Schneemengen: Durch den Klimawandel könnten starke Schneefälle sogar extremer werden.  
(Foto: Adobe Stock/Andreas Buchwald)

## Wie passen extreme Schneefälle in dieses Bild?

Besonders extreme Schneefälle gibt es in Südtirol unter ganz bestimmten Wetterlagen, bei denen sehr feuchte Luft aus dem Mittelmeerraum einströmt, wie es zum Beispiel im November 2019 oder Dezember 2020 der Fall war. Im Zuge des Klimawandels erhöhen sich sowohl die Luft-, als auch die Wassertemperaturen, wodurch die Luft mehr Feuchtigkeit aufnehmen kann; Niederschläge, ob als Regen oder Schnee, können damit intensiver werden. Im November 2019 kam dazu eine atmosphärische Blockierung, die eine Änderung der Wetterlage verhinderte – die Folge waren gleich mehrere starke Schneefälle hintereinander. Durch den Klimawandel ist verstärkt mit atmosphärischer Blockierung zu rechnen, dazu kommen die höheren Luft- und Wassertemperaturen: Es ist somit wahrscheinlich, dass

dieses Ereignis auch auf Grund des Klimawandels so extrem war. Zukünftig wird es im Mittel zwar weniger Schnee geben, Schneextreme sind aber dennoch zu erwarten. Bezüglich Wahrscheinlichkeit und Schwere künftiger Extreme lassen sich jedoch mit der heutigen Generation von Klimamodellen keine sicheren Aussagen treffen, da diese Modelle in komplexer Topografie wie in Südtirol nur Aussagen zum mittleren Klima ermöglichen. Somit bleibt offen, ob die damit zusammenhängenden Risiken wie Baumstürze, Blackouts, Erdbeben und Lawinenabgänge in Zukunft abnehmen. Weniger Schneefall bedeutet nicht zwingend ein geringeres Lawinenrisiko, da die Prozesse der Lawinenauslösung komplex sind und erhöhte Temperaturen die Schneestabilisierung sogar beschleunigen könnten.

## Wie wichtig ist der natürliche Schnee für den Skitourismus?

Der Wintertourismus benötigt Schnee für den Skisport. Allerdings ist er in Südtirol mittlerweile nicht mehr von natürlichem Schnee abhängig, da rund 90% der Skigebietsflächen mit Beschneigungsanlagen ausgestattet sind. Stattdessen braucht man vielmehr günstige Wetterbedingungen, um Schnee produzieren zu können, was wiederum einen hohen Verbrauch an Wasser und Energie zur Folge hat. In den Wintern 2007 bis 2016 haben die Schneekanonen in Südtirol pro Saison zwischen 5 und 10 Milliarden Liter Wasser und gemeinsam mit den Aufstiegsanlagen 90 bis 170 Millionen kWh Strom verbraucht, was 6 bis 12% des jährlichen Trinkwasserverbrauchs sowie 2,9 bis 5,4% des jährlichen Stromverbrauchs in Südtirol entspricht. Sollte es in Zukunft weniger Schnee geben, werden diese Zahlen weiter ansteigen. Die schon heute sehr kontroverse Diskussion rund um den Wintertourismus – in der einerseits die negativen Folgen für Umwelt und Landschaft ins Feld geführt werden, andererseits die positiven Auswirkungen für die lokale Wirtschaft und für die Bevölkerung in abgelegenen Tälern – wird sich dadurch wahrscheinlich noch verschärfen.



Fällt der Schnee nicht vom Himmel, kommt er aus der Kanone: 90% der Pistenflächen Südtirols können beschneit werden. Der Wasser- und Energieverbrauch ist aber hoch. (Foto: Adobe Stock/Sonja Birkelbach)

## Welche Folgen hat der Klimawandel für die Skigebiete?

Die wichtigste Zeit für den Wintertourismus ist generell die Wintermitte und besonders die Weihnachtszeit. Bei unzureichendem natürlichem Schnee ist also die Frage, ob vor Weihnachten genügend technischer Schnee produziert werden kann. Dies hängt von günstigen Wetterbedingungen ab – die mit den erhöhten Temperaturen durch den Klimawandel seltener werden –, von der Leistung der Schneekanonen – die wahrscheinlich durch technologischen Fortschritt zunehmen wird –, und schließlich von der Verfügbarkeit von Energie und Wasser.

Welche Folgen der Klimawandel für die Skigebiete haben wird, lässt sich nicht mit einfachen Klimawandelindikatoren wie Temperaturindizes beantworten, da das Klima und der Schnee im komplexen hochalpinen Gelände eine hohe Variabilität besitzen. Für genauere Einblicke bräuchte es explizite Schneemodellierungsstudien, die lokale klimatische und topografische Effekte berücksichtigen. Solche Studien existieren bislang für Südtirol nicht. Nach aktuellem Wissensstand wird die Skisaison in der Länge, wie wir sie heute kennen, zukünftig wohl nicht mehr garantiert werden können. Zudem bedrohen die aktuellen klimatischen Entwicklungen die Wirtschaftlichkeit tiefer gelegener Skigebiete, unter anderem wegen des steigenden Strom- und Wasserverbrauchs, wie ihn Studien für Österreich und die Schweiz prognostizieren. Kosten-Nutzen-Analysen vor dem Hintergrund des zu erwartenden Klimas sollten einem ganzheitlichen Ansatz folgen und neben finanziellen Aspekten auch ökologische Faktoren einschließlich Energie und Wasser berücksichtigen, sowie nicht-finanzielle Vorteile für die lokale ländliche Bevölkerung (beispielsweise bessere Infrastruktur, mehr und länger geöffnete Geschäfte und Bars). Bei Entscheidungen für oder gegen Investitionen wäre deshalb nicht nur wissenschaftliche Beratung, sondern auch eine Mitsprache der lokalen Bevölkerung wünschenswert.

## **Wie wirken sich die Veränderungen bei Schneefall und Schneebedeckung auf den Wasserhaushalt aus?**

Schnee ist ein wichtiger Wasserspeicher, der im Winter aufgefüllt wird, wenn die Vegetation kaum Wasser benötigt, und das Wasser im Frühling und Sommer freigibt, wenn Vegetation und Landwirtschaft den höchsten Bedarf haben. Gibt es nun weniger Schnee, der auch noch früher schmilzt, dann kann es zu Trockenheit im Frühling und Sommer kommen, sowohl in Südtirol als auch flussabwärts. Die trockenen Bedingungen könnten sich verschlimmern, da durch die erhöhten Temperaturen die Verdunstung zunimmt, trockene Böden sich stärker aufheizen, und es dadurch noch wärmer wird. Zusätzlich angetrieben wird dieser sich selbst verstärkende Rückkopplungseffekt durch Wassermangel, weil der Bedarf der Vegetation insgesamt sowie für künstliche Bewässerung in der Landwirtschaft zunimmt. Wassermanager müssen damit rechnen, dass im Frühling und Sommer weniger Wasser verfügbar ist, und sollten auf ein integriertes Management setzen, das alle betroffenen Parteien im Einzugsgebiet berücksichtigt. Für die Etsch würde das zum Beispiel bedeuten, dass im Gebiet vom Reschenpass bis zur Adria die Bedürfnisse der Haushalte, Landwirtschaft, Ökologie und Stromproduktion ausbalanciert werden müssten, um Wassernutzungskonflikte zu vermeiden.

## **Welche Rolle spielen der Schnee und die Klimaänderungen für die Gletscher?**

Gletscher sind beständige Gebilde aus kompaktem Eis, entstanden aus Schnee. Sie entstehen, oft über Jahrhunderte, solange die Akkumulation von Schnee höher ist als die Ablation, also mehr Schnee angehäuft wird, als durch Schmelzen, Verdunstung, Sublimation (direkter Übergang von fest zu gasförmig), Winderosion und Gletscherabbruch verloren geht. Zurzeit schrumpfen die Gletscher rapide, da die Akkumulation geringer als die Ablation ist. Dies liegt hauptsächlich an den erhöhten Temperaturen im Sommer, die das Schmelzen fördern; der geringere Schneefall während des restlichen Jahres spielt dabei eine kleinere Rolle. Gletscher dienen als Trinkwasserspeicher und tragen signifikant zum Wasserzyklus und Flussablauf in vielen Teilen der Welt bei. In Südtirol hingegen ist das Wasser aus der Schneeschmelze wichtiger, Gletscherwasser betrifft nur einige wenige Einzugsgebiete, beispielsweise Sulden, Martell und das Ahrntal. Selbst wenn die internationale Klimapolitik es schafft, die globale Erwärmung unter 2°C zu halten, wird in Südtirol im Jahr 2100 nur etwa ein Viertel der heutigen Gletschermasse übrig sein, da Gletscher sehr langsam auf Klimaschwankungen reagieren. Sollten die Klimaziele nicht eingehalten werden, sind bis zum Jahr 2100 voraussichtlich alle Südtiroler Gletscher verschwunden.

## **Was kann man angesichts dieser Veränderungen tun?**

Das Wichtigste ist, die Treibhausgasemissionen zu verringern, um die klimatischen Veränderungen so gering wie möglich zu halten. Gleichzeitig sollten Vorbereitungen getroffen werden, um sich an die neuen Verhältnisse anzupassen. So wie der Klimawandel nicht an Ländergrenzen Halt macht und es eines global abgestimmten Handelns bedarf, so halten sich auch Schnee und Wasser nicht an menschengemachte Grenzen. Ein abgestimmtes Handeln aller Beteiligten, regionen- und sektorenübergreifend, führt zu weitsichtigeren Entscheidungen und dient dem individuellen und gesellschaftlichen Wohl effizienter und nachhaltiger als Alleingänge.

## Weniger Schnee, veränderte Hydrologie: Maßnahmen zur Anpassung

Maßnahme	⊕ Vorteile	⊖ Nachteile	Verbesserungsmöglichkeiten
Technischer Schnee	⊕ Wintersport unabhängig von natürlichem Schneefall	⊖ hoher Energieaufwand ⊖ hoher Wasserverbrauch	(*) Wasser effizienter nutzen (*) Wetter- und Schneemodellvorhersagen nutzen, um Ressourcen effizienter einzusetzen; das EU-Projekt PRO-SNOW entwickelt zu diesem Zweck ein Tool ( <a href="http://prosnow.org">http://prosnow.org</a> )
<i>Snowfarming</i> (das Anlegen von Schneedepots; gelagert wird Schnee aus der vorigen Saison)	⊕ Schnee steht pünktlich zu Beginn der Skisaison zur Verfügung ⊕ es ist weniger Beschneigung im Herbst nötig	⊖ man benötigt einen geeigneten Lagerplatz ⊖ die gelagerte Schneemenge reicht manchmal nicht aus ⊖ da meist technischer Schnee gelagert wird, sind Energieaufwand und Wasserverbrauch hoch ⊖ die Verteilung des gelagerten Schnees ist sehr arbeitsintensiv	
Wasserspeicherbecken und Staudämme	⊕ Wasser steht zur Verfügung, wenn es gebraucht wird ⊕ man muss den Flüssen nicht im Winter Wasser entnehmen, wenn sie ohnehin wenig führen ⊕ grüne Stromproduktion ⊕ steigert die Resilienz der Landwirtschaft gegenüber Dürren und ermöglicht, das frühere Schmelzwasser abzufangen	⊖ Auswirkungen auf die Fluss- und Landschaftsökologie, im Flusseinzugsgebiet lebende Pflanzen- und Fischarten verändern sich ⊖ Langzeitfolgen sind unvorhersehbar ⊖ es ist schwierig, geeignete Standorte im alpinen Gelände zu finden ⊖ der Bau erfordert invasive Erschließung natürlicher alpiner Landschaft ⊖ Der Bau neuer Staudämme ist in Südtirol geologisch und politisch kaum umsetzbar ⊖ Regionale oder nationale Alleingänge bergen Konfliktpotenzial ⊖ große Staudämme haben einen großen CO <sub>2</sub> -Fußabdruck, sowohl beim Bau, als auch nach der Flutung, wenn überflutetes organisches Material abgebaut wird	(*) Wasser in der Landwirtschaft effizienter nutzen. Bei der Bewässerung gibt es große Verbesserungspotenziale (*) Staudämme nicht nur zur Stromerzeugung, sondern auch für das Management von Flut und Dürre nutzen

*Redaktion:*  
Barbara Baumgartner,  
Valentina Bergonzi  
*Illustration:*  
Oscar Diodoro  
*Grafik:*  
Elisabeth Aster

Dieses Projekt wurde durch das EU- Forschungs- und Innovationsprogramm Horizon 2020 unter dem Marie Skłodowska-Curie Fördervertrag Nr. 795310 gefördert.