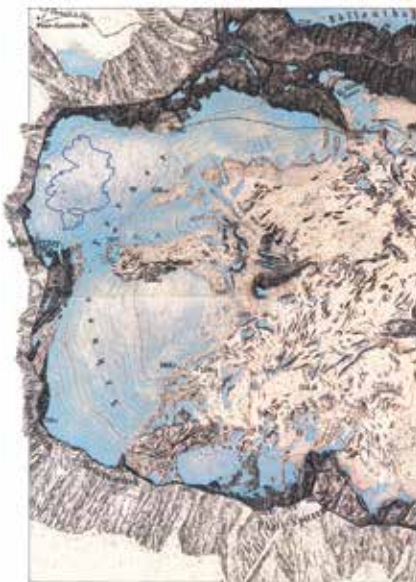


Die letzten Gletscher in Bayern

Nur noch eine Frage der Zeit: Bereits im Herbst 2022 verlor der Südliche Schneeferner auf der Zugspitze seinen Status als Gletscher. In wenigen Jahren werden auch **die übrigen vier Gletscher** der bayerischen Alpen verschwunden sein, selbst bei einem sofortigen Stopp der Treibhausgas-Emissionen.

Von **Wilfried Hagg**

Die erste genaue Landesvermessung fand in Bayern im 19. Jahrhundert statt: Für den Topographischen Atlas wurde das Königreich von 1812 bis 1867 durch Triangulation, also durch Messung von Strecken und Winkeln in Dreiecksnetzen, aufgenommen. Die auf diese Weise entstandenen Karten enthielten noch keine Höhenlinien, sondern nur sehr vereinzelte, punktuelle Höheninformationen. An der Zugspitze wurde nur wenig später das Verfahren der Photogrammetrie oder Bildmessung angewandt, bei dem eine exakte dreidimensionale geometrische Rekonstruktion von Objekten aus Fotografien erfolgt. Dazu führte Sebastian Finsterwalder, selbst ein Pionier dieser Methode und korrespondierendes Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, zwei Sommer lang Aufnahmen im Wettersteingebirge durch. Die daraus entstandene Karte zeigt den Schneeferner auf dem Zugspitzplatt, den damals mit Abstand größten Gletscher in Bayern (Abb. rechts).



Ausschnitt des Kartenblattes „Zugspitze“ von Finsterwalder und Jäger aus dem Jahr 1892. Der dunkelblaue Umriss links oben zeigt die Größe des Nördlichen Schneeferners im Jahr 2023.

Fünf Gletscher in Bayern

Kurz nach der Aufnahme trennte sich der Schneeferner in einen nördlichen und südlichen Teil, sodass es mit dem Höllentalferner, der am rechten oberen Kartenrand noch erkennbar ist, zur Jahrhundertwende drei Gletscher im Wettersteingebirge gab. Zusammen mit dem Watzmangletscher und dem Blaueis in den Berchtesgadener Alpen existierten fünf Gletscher auf dem Territorium des Königreichs. Für die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts ist nur wenig über die Ausdehnung der bayerischen Gletscher bekannt. Erst im Jahr 1949 führte Richard

Die verbliebenen bayerischen Gletscher werden bald vollständig abschmelzen.



Schmelzwasser auf dem Zugspitzplatt im Juli 2022. Früher war hier auch im Sommer das Skifahren möglich, heute gibt es nur noch Winterbetrieb.

Finsterwalder, Sohn von Sebastian und späterer Mitbegründer der Kommission für Glaziologie an der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, eine Neuvermessung durch. In den 1960er Jahren begann dann eine regelmäßige Beobachtung der Gletscher in Abständen von zehn Jahren durch diese Kommission. Die Messmethode blieb vorerst die Photogrammetrie, ergänzt durch Luftbilder. Von 2005 bis 2007 wurde der bis dahin entstandene Datensatz vom Verfasser im Rahmen eines DFG-Projekts digitalisiert sowie homogenisiert und steht seitdem im Internet zur Verfügung (bayerische-gletscher.de).

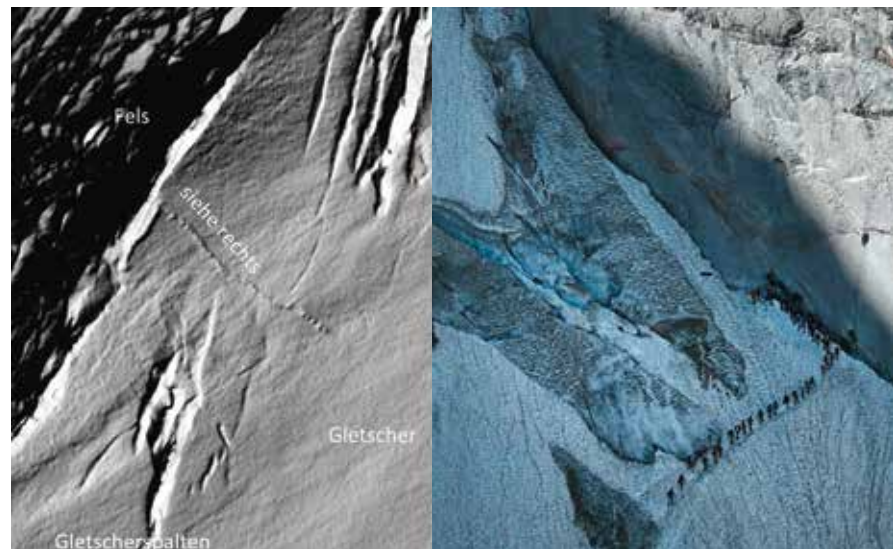
Einsatz neuester Technologien

Danach wurde wegen des immer dramatischeren Gletscherrückgangs das Beobachtungsraaster auf etwa fünf Jahre verkürzt, und es gab seitdem vier weitere Messkampagnen (2009, 2014, 2018, 2023). Hierbei wurden ganz neue Messmethoden angewandt, die von der Abtastung mit Laserstrahlen bis zu hochgenauer Satellitenpositionierung mittels GPS-Empfängern reichen. Die für die Vermessung kleiner Gletscher wichtigsten technischen Neuerungen waren die Entwicklung von digitaler Photogrammetrie sowie von unbemannten Flugobjekten. Durch die Digitalisierung können zeitraubende analoge Auswertungsschritte nun automatisiert ablaufen, was beispielsweise die Zuweisung von Passpunkten in den Bildern massiv beschleunigt. Der Einsatz von kameratragenden Drohnen macht es möglich,

Durch die Digitalisierung können zeitraubende analoge Auswertungsschritte nun automatisiert ablaufen.

schnell und kostengünstig hochauflöste Luftbilder anzufertigen. Sie ermöglichen Vermessungsprodukte in nicht gekanntem Detailgrad. Während früher die Erstellung eines Höhenlinienplans mehrere Wochen in Anspruch nahm, kann heute die Geländearbeit in Form der Befliegung zusammen mit der nachfolgenden Auswertung theoretisch an einem einzigen Tag stattfinden. Das Endprodukt ist ein digitales Geländemodell, also ein Rasterbild, bei dem jedes Pixel Lagekoordinaten und einen Höhenwert besitzt. Dieses Modell lässt sich beliebig visualisieren, zum Beispiel als perspektivische 3D-Ansicht oder als Schummerung, bei der durch Beleuchtung mit einer imaginären Lichtquelle eine Schattierung erzeugt wird. Die Vermessung der bayerischen Gletscher im Jahr 2023 wurde auf der Basis von Drohnenbefliegungen durchgeführt. Hierbei sind Höhenmodelle mit einer Rastergröße von nur wenigen Zentimetern entstanden.

Digitales Höhenmodell des Höllentalferners von 2023 (links, Ausschnitt, dargestellt als Schummerung) und Drohnenaufnahme vom Einstieg zum Klettersteig (rechts).



Die bayerischen Gletscherflächen

Die Tabelle zeigt die Entwicklung der Gletscherflächen in Bayern (in ha) seit Ende des 19. Jahrhunderts. Der Südliche Schneeferner verlor 2022 seinen Status als Gletscher.

	Ende 19. Jhdt	1959	1979 –1981	1999 –2000	2018	2023
Nördlicher Schneeferner	104	36,4	40,9	36	16,1	13
Südlicher Schneeferner	86	19,4	31,4	11,6	1,8	--
Höllentalferner	>30	25,7	30,2	25,7	16,7	14,1
Blaueis	16	13,1	16,4	12,3	5,2	4,2
Watzmangletscher	28	10	24	18,1	4,8	4,7
Summe	>260	104,6	142,9	103,6	44,6	36

Fotos: W. Hagg; Tabelle: BAdW



Bei dieser hohen Auflösung pausen sich sogar Bergsteiger als kleine „Erhebungen“ durch, wie an der Warteschlange vor der Schlüsselstelle auf dem Höllentalferner eindrücklich zu erkennen ist (Abb. S. 24).

Rasante Beschleunigung der Gletscherschmelze

Zur Zeit der ersten genauen Vermessungen am Ende des 19. Jahrhunderts waren die bayerischen Gletscher insgesamt noch über 260 ha groß; eine genaue Zahl gibt es nicht, weil der Höllentalferner damals noch nicht erfasst wurde (Tab. S. 24). Zum Zeitpunkt der Gründung der BAdW-Kommission für Glaziologie im Jahr 1962 waren noch etwa 100 ha übrig. Aber die Gletscher stießen in den kommenden zwei Jahrzehnten noch einmal vor und erreichten um 1980 eine Gesamtfläche von über 140 ha. Gletschervorstöße waren in dieser Zeit auf vielen Gletschern in den Alpen und weltweit zu beobachten. Heute weiß man, dass der Grund in der damals starken Luftverschmutzung zu finden ist: Die trübe Atmosphäre ließ weniger Sonnenlicht zur Erdoberfläche passieren, was sich durch eine Abkühlung

Oben: Der Nördliche Schneeferner, nur noch mit wenig Schnee bedeckt (Juli 2022); unten: Blick auf den Gletscher vom Zugspitzgrat aus, um 1900 und 2022.



der bodennahen Luftschichten bemerkbar machte. Dieses Phänomen wird als globale Verdunkelung bezeichnet. Als die Gesetze und Maßnahmen zur Luftreinhaltung ab den 1980er Jahren griffen, schritt in der klaren Atmosphäre die Erwärmung und damit auch der Gletscherschwund mit schnellen Schritten voran.

Zur Jahrtausendwende war der zuvor erfolgte Flächenzuwachs wieder verloren, und in den folgenden fast zwei Jahrzehnten bis 2018 hat sich die Fläche mehr als halbiert (Tab. S. 24). Im Jahr 2022 haben Radarmessungen auf dem Südlichen Schneeferner ergeben, dass aufgrund mangelnder Dicke hier keine Eisbewegung mehr zu erwarten ist und deswegen nur noch von Toteis gesprochen werden kann. Damit hat sich die Anzahl der Gletscher in Bayern von fünf auf vier verringert. Diese hatten im Jahr 2023 eine Gesamtfläche von 36 ha – das sind knapp 20 % weniger als bei der Messkampagne fünf Jahre zuvor.

Die Gletscher schmelzen aber nicht nur mit stärkeren Intensitäten, auch die Dauer der jährlichen Schmelzperiode hat sich verlängert.

Ursachen des Gletscherschwundes

Ursache des Gletscherschwundes sind vor allem die längeren und intensiveren Schmelzperioden. In einem stabilen Klima besteht ein Gleichgewicht zwischen Massengewinn und Massenverlust. Der Gewinn erfolgt dabei in den oberen Gletscherbereichen, wo winterliche Schneefälle die sommerliche Schmelze überwiegen. In den niedrigeren Bereichen ist es andersherum, hier dominieren Massenverluste. Auf der Zugspitze kennt man die meteorologischen Bedingungen sehr genau, hier steht seit 1900 eine der ältesten Bergwetterwarten des Alpenraums. Während des Beobachtungszeitraums ist hier das Jahresmittel der Lufttemperatur um fast 2,3 °C angestiegen, das entspricht

Das Blaueis im Hochkalter ist der nördlichste Gletscher der Alpen. Der noch verbliebene Gletscherrest zeigt seine Schichten wie Jahresringe.





Seine schattige Lage lässt das Eis des Blaeisgletschers bläulich schimmern. Sedimente bedecken einen Teil der Oberfläche; Aufnahme von Oktober 2023.

1,8 °C pro 100 Jahren. Die für die Schmelze relevanten Temperaturen im Sommer (Juni bis August) stiegen sogar mit einer Rate von 2,4 °C pro 100 Jahre. Betrachtet man nur die Phase des beschleunigten Gletscherschwunds seit 1980, so zeigt sich im Sommer ein linearer Trend von unglaublichen 6 °C pro 100 Jahre.

Die Gletscher schmelzen aber nicht nur mit stärkerer Intensität, auch die Dauer der jährlichen Schmelzperiode hat sich verlängert. Während in der ersten klimatologischen Messperiode (1900–1930) das Thermometer auf der Zugspitze durchschnittlich nur an 131 Tagen im Jahr über 0 °C stieg, war dies im aktuellen Zeitraum (1991–2020) an 161 Tagen im Jahr der Fall. Die Schmelzperiode verlängerte sich also seit Beginn der Messreihe um einen ganzen Monat. Diese enormen Veränderungen haben zur Folge, dass die bayerischen Gletscher in der Regel gar keine Bereiche mehr haben, auf denen

Massengewinne auftreten. Sie weisen stattdessen auf der gesamten Fläche Massenverluste auf. Hiervon ausgenommen ist nur der Höllentalferner, der dank einer starken Schneezufuhr durch Lawinen in den oberen Bereichen zumindest noch in manchen Jahren einen Massenüberschuss erfährt. Insgesamt überwiegen aber auch hier seit den 1980er Jahren die Massendefizite auf der Gletscherzunge, und die Gesamtbilanz ist negativ.


Bayern künftig ohne Gletscher

Die verbliebenen bayerischen Gletscher werden bald vollständig abschmelzen. Selbst ein sofortiger Stopp der Treibhausgasemissionen könnte ihr Verschwinden nicht verhindern, denn im heutigen Klima können sie keinen Gleichgewichtszustand mehr erreichen. Seit dem Jahr 2022, als große Saharastaubeinträge den Schnee dunkler färbten und deswegen

besonders schnell verschwinden ließen, hat der Gletscherschwund nochmal an Fahrt aufgenommen. Die beiden Jahre danach, 2023 und 2024, waren global die beiden wärmsten seit Aufzeichnungsbeginn. Die Klimaentwicklung macht es wahrscheinlich, dass wir in diesem Jahrzehnt noch weitere Gletscher in Bayern verlieren werden.

Prof. Dr. Wilfried Hagg

ist Professor an der Fakultät für Geoinformation der Hochschule München. Seine Forschungsgebiete sind die Glaziologie, Hydrologie und physische Geografie der Hochgebirge. Er ist Co-Autor des Bayerischen Gletscherberichts, den das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz und die BAdW zuletzt 2021 veröffentlicht haben.



Die Klimaentwicklung macht es wahrscheinlich, dass wir in diesem Jahrzehnt noch weitere Gletscher in Bayern verlieren werden.

Eine Besonderheit in Bayern ist die Eiskapelle unterhalb der Watzmann-Ostwand am Königssee. Das ganzjährige Eisfeld, hier in einer Aufnahme von November 2023, hat seinen Status als Gletscher schon lange verloren, da es keine Fließbewegung mehr gibt. Allerdings sorgen Lawinen im Winter für frischen Schnee. Das Ausschmelzen im Spätsommer bringt spektakuläre Höhlengebilde hervor.

