

# Zusammenfassung

Historische Quellen zu europäischen Gletschern sind reichlich vorhanden und belegen einzigartig das Gletscherverhalten in den vergangenen Jahrhunderten. Die Auswertung dieser Quellen ermöglicht es, Gletscherschwankungen von der Kleinen Eiszeit bis in die Gegenwart zu rekonstruieren. Für einige Gletscher können Rekonstruktionen mit einer dekadischen oder beinahe jährlichen Auflösung erreicht werden. Die Interpretation von Gletscherschwankungen bezüglich Klimaparametern (vor allem Temperatur- und Niederschlagssignalen) offenbart einen wertvollen Einblick ins Klima und dessen Dynamik während und seit der Kleinen Eiszeit.

Innerhalb der vorliegenden Dissertation wurden bisher unausgewertete historische Quellen interpretiert und neue, lange Gletscherrekonstruktionen für die Westalpen und Südnorwegen erstellt. Diese beiden Regionen sind ausserordentlich gut dokumentiert. Gletscherschwankungen im 16. bis 18. Jahrhundert sind eindrücklich belegt durch Bauern, die aufgrund der Vorstösse in ihrer Existenz bedroht waren, oder durch Kirchenabgeordnete, die die einschneidenden Veränderungen aus unabhängiger Sicht beurteilten. Diese frühen schriftlichen Quellen werden im 18. und 19. Jahrhundert durch zahlreiche Bildquellen (Zeichnungen, Gemälde, Stiche, Karten, seit der Mitte des 19. Jahrhunderts auch Fotografien) ergänzt. Ziel dieser Dissertation ist es, mit Hilfe dieser einzigartigen Datenlage das Gletscherverhalten in den Alpen und in Südnorwegen räumlich und zeitlich hochaufgelöst über die letzten Jahrhunderte aufzuzeigen.

## Historische Gletscherrekonstruktionen für die Westalpen und Südnorwegen

Neue Gletscherrekonstruktionen für das *Mer de Glace* (bis AD 1570) und den *Glacier des Bossons* (bis AD 1580) im französischen Mont Blanc-Gebiet zeigen einen im ausgehenden 16. Jahrhundert beginnenden dramatischen Gletschervorstoss. Fruchtbare Land und zwei Weiler im Vorfeld des *Mer de Glace* wurden durch die Gletschervorstösse anfangs des 17. Jahrhunderts zerstört. Das *Mer de Glace* erreicht um 1643/1644 Jahren seine grösste Ausdehnung der Kleinen Eiszeit, der *Glacier des Bossons* hingegen um 1818. Beide Gletscher zeigen historisch belegte Maxima um 1600–1610, 1643/1644, 1685, 1710–1720, 1777/1778, 1818/1821, 1852/1854, 1892/1895.

Mit den ersten Wissenschaftlern und Reisenden, die seit der Mitte des 18. Jahrhunderts durch die Alpen reisten, werden Bildquellen zahlreicher. Die quellenkritische Analyse dieser Dokumente ermöglicht eine genaue Nachzeichnung der Position der Gletscherzungen zu jener Zeit. Sowohl *Mer de Glace* als auch *Glacier des Bossons* dienten als begehrte Objekte für die pionierhaften Studien von Horace-Bénédict de Saussure Ende des 18. Jahrhunderts und James David Forbes in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Von ca. 1790 bis 1820 entstanden eine Vielzahl von Zeichnungen und Gemälden von Jean-Antoine Linck, um 1823 fotografisch genaue Zeichnungen von Samuel Birmann.

Sie belegen die eindrücklichen Vorstösse um 1820, welche zur zweitgrössten (*Glacier des Bossons*: grössten) Gletscherausdehnung der Kleinen Eiszeit führten. Die detaillierten Studien von Eugène Viollet-le-Duc von 1868–1875 stellen einen Meilenstein hinsichtlich grafisch-topografischer Darstellung des Mont Blanc-Gebiets dar und geben ein eindeutiges Bild vom massiven Gletscherrückgang seit den 1860er Jahren respektive dem Ende der Kleinen Eiszeit.

Historische Quellen sind auch für skandinavische Gletscher erhältlich, wenngleich in geringerer Anzahl als für die Alpen. Viele dieser Quellen wurden bislang kaum systematisch ausgewertet. Für den *Jostedalbreen* und *Folgefonna*, zwei Eiskappen in Südnorwegen, wurden rund 400 hauptsächlich Bilddokumente ausgewertet.

Für die Gletscher im Jostedalen ist der Hauptvorstoss der Kleinen Eiszeit in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts sehr gut belegt. Damals waren grosse Schäden zu verzeichnen, als der am besten dokumentierte *Nigardsbreen* Kulturland und Höfe zerstörte. Die zeitgenössischen Berichte von Matthias Foss, dem Vikar in Jostedal, erlauben es, den Gletschervorstoss genau zu quantifizieren (Maximum um 1748). Der nachfolgende Rückzug der Gletscher rund um den *Jostedalbreen*, nur von geringen Zwischenvorstössen unterbrochen, ist durch die diversen Besuche von Wissenschaftlern, Künstlern und Reisenden seit den 1820er Jahren dokumentiert, beispielsweise durch die Maler Johannes Flintoe (1822) und Johan Christian Dahl (1839).

Beim *Folgefonna* sind insbesondere die Schwankungen des *Buerbreen* dank neu entdeckten Fotografien sehr genau rekonstruierbar. Sie zeigen den grössten Gletschervorstoss der Kleinen Eiszeit in den späten 1870er Jahren. Ein zweites Maximum wurde um 1890 erreicht. Diese Erkenntnisse stehen im Gegensatz zu den Gletschern des *Jostedalbreen*, welche alle um 1750 ihre grösste Ausdehnung während der Kleinen Eiszeit erreichten.

## **Anwendung von neuronalen Netzen auf das *Mer de Glace***

Die oben genannten zeitlich hochaufgelösten Gletscherrekonstruktionen bergen ein grosses Potential für die weitere klimatische Interpretation. Werden sie mit unabhängig erstellten Rekonstruktionen für Temperatur und Niederschlag in Verbindung gebracht, ermöglicht dies ein besseres Prozessverständnis der Klimadynamik in Europa, insbesondere in den Alpen und in Skandinavien. Am Beispiel der Längenänderungskurve des *Mer de Glace* wurde ein neuartiger, nicht-linearer statistischer Ansatz basierend auf neuronalen Netzwerken erfolgreich angewandt. Gletscherschwankungen des *Mer de Glace* für die Kleine Eiszeit und die nahe Zukunft wurden simuliert. Die Studie ermöglichte zudem, die Sensitivität des *Mer de Glace* auf sich ändernde Klimaparameter (Temperatur und Niederschlag) zu untersuchen. Im Gegensatz zum *Unteren Grindelwaldgletscher* ist das *Mer de Glace* stärker von der Temperatur als vom Niederschlag beeinflusst.

## **Asynchrones Gletscherverhalten in den Alpen und in Skandinavien**

Schlussendlich interessiert die Frage, was die unterschiedlichen Temperatur- und Niederschlagsmuster bedingt, welche für die Gletscherschwankungen verantwortlich sind. Die zeitlich hochaufgelösten Rekonstruktionen (je acht Gletscher in den Alpen und in Südnorwegen), welche hier präsentiert werden und alle auf historischen Quellen basieren, zeigen ein verblüffend asynchrones Gletscherverhalten während der Kleinen Eiszeit und im 20. Jahrhundert. Das Maximum der skandinavischen

Gletscher wurde um 1750 erreicht (Ausnahme *Folgefonna*: Ende 19. Jahrhundert), während die Alpengletscher um 1600/1640 und 1820/1850 kulminierten.

Veränderungen in der grossräumigen atmosphärischen Zirkulation über dem Nordatlantik und Europa sowie Eurasien führen zu einer unterschiedlichen Temperatur- und Niederschlagsverteilung, welche letztlich für das unterschiedliche Gletscherverhalten verantwortlich ist. Auch Veränderungen der Meeresoberflächentemperaturen können wichtig sein auf der niederfrequenten Skala. Der grosse Gletschervorstoss in Südnorwegen Ende des 20. Jahrhunderts lässt sich eindeutig auf verstärkte Winterniederschläge zurückführen. Diese sind mit der Nordatlantischen Oszillation (NAO) stark korreliert, wohingegen in den Alpen andere grossräumige Zirkulationsmuster von Bedeutung scheinen. Weitere Untersuchungen werden hier eine Antwort liefern.