

**Zeitschrift für  
Gletscherkunde  
und Glazialgeologie**

Herausgegeben von  
MICHAEL KUHN

BAND 40 (2005/2006)

ISSN 0044-2836



UNIVERSITÄTSVERLAG WAGNER · INNSBRUCK

1907 wurde von Eduard Brückner in Wien der erste Band der *Zeitschrift für Gletscherkunde, für Eiszeitforschung und Geschichte des Klimas* fertig gestellt. Mit dem 16. Band übernahm 1928 Raimund von Klebelsberg in Innsbruck die Herausgabe der Zeitschrift, deren 28. Band 1942 erschien. Nach dem Zweiten Weltkrieg gab Klebelsberg die neue *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* im Universitätsverlag Wagner in Innsbruck heraus. Der erste Band erschien 1950. 1970 übernahmen Herfried Hoinkes und Hans Kinzl die Herausgeberschaft, von 1979 bis 2001 Gernot Patzelt und Michael Kuhn.

In 1907 this Journal was founded by Eduard Brückner as *Zeitschrift für Gletscherkunde, für Eiszeitforschung und Geschichte des Klimas*. Raimund von Klebelsberg followed as editor in 1928, he started *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* anew with Vol.1 in 1950, followed by Hans Kinzl and Herfried Hoinkes in 1970 and by Gernot Patzelt and Michael Kuhn from 1979 to 2001.

Herausgeber	Michael Kuhn	Editor
Schriftleitung	Angelika Neuner & Mercedes Blaas	Executive editors

Wissenschaftlicher Beirat		Editorial advisory board
---------------------------	--	--------------------------

Jon Ove Hagen, Oslo  
Ole Humlum, Longyearbyen  
Peter Jansson, Stockholm  
Georg Kaser, Innsbruck  
Vladimir Kotlyakov, Moskva  
Heinz Miller, Bremerhaven  
Koni Steffen, Boulder

ISSN 0044-2836

Figure on front page: “Vue prise de la Voute nommée le Chapeau, du Glacier des Bois, et des Aiguilles. du Charmoz.”; signed down in the middle “fait par Jn. Ante. Linck.”; coloured contour etching; 36.2 x 48.7 cm; Bibliothèque publique et universitaire de Genève, 37 M Nr. 1964/181; Photograph by H. J. Zumbühl.

Copyright © 2007 by Universitätsverlag Wagner, A-6020 Innsbruck

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

Herstellung: Grasl Druck & Neue Medien, A-2540 Bad Vöslau

**Fluctuations of the “Mer de Glace”  
(Mont Blanc area, France) AD 1500–2050:  
an interdisciplinary approach  
using new historical data and neural network  
simulations**

**Gletscherschwankungen des “Mer de Glace”  
(Mont Blanc-Gebiet, Frankreich) AD 1500–2050:  
ein interdisziplinärer Ansatz,  
basierend auf neuen historischen Daten und neuronalen  
Netzen**

S. U. NUSSBAUMER / H. J. ZUMBÜHL / D. STEINER

“Il n’y a dans les Alpes rien de constant que leur variété.”

*Horace-Bénédict de Saussure (1740–1799)*

“Entre les quatre ou cinq cents glaciers que l’on compte dans la chaîne des Alpes, il seroit difficile d’en trouver un plus intéressant que celui des Bois [Mer de Glace]. [...] les glaces descendent, pareilles à un grand fleuve dont les ondes auroient été suspendues tout d’un coup par une force inconnue. [...] L’arcade de glace qui se forme à l’embouchure du glacier [...] est une des principales merveilles de la vallée de Chamonix. [...] Rien n’est plus frappant que le contraste des morceaux de glace écroulés, d’une blancheur pareille à celle de la neige, avec la couleur transparente du plus beau bleu foncé et d’aigue-marine de cette grotte enchantée.”

*Samuel Birmann (1793–1847) in “Souvenirs de la vallée de Chamonix”, 1826*



Masterpiece of glacier and landscape representation showing the Mer de Glace in 1799 seen from le Chapeau by Jean-Antoine Linck. Note the perfect scenery with foreground and background. The picture must have been taken from the cave-like position where the old Chapeau had been (“Vue prise de la voûte nommée le Chapeau, du glacier des Bois et des Aiguilles du Charmoz”; signed down right “J.-A. Linck 99”; oil on canvas; 39 x 50 cm. © Musées d’Art et d’Histoire de Chambéry).



Recent view from le Chapeau  
(Photograph by S. U. Nussbaumer, 7.10.2005).

## **Part II:**

# **The application of a neural network to the length record of the Mer de Glace**

### *Summary*

A new suitable statistical approach to simulating glacier variations is the application of a neural network model, especially in combination with high-resolution climate data. In the present study, a non-linear back-propagation neural network model is successfully applied to simulate glacier variations of the Mer de Glace (Mont Blanc area, France), using multi-proxy reconstructions of seasonal temperature and precipitation back to 1500.

The neural network model is trained with high-resolution climate data (input data) and glacier length variations of the Mer de Glace (output data; cf. Part I of this issue). In the absence of glacier length data before 1570, the application of a neural network model yields plausible qualitative reconstructions of glacier fluctuations for the 16th century (glacier maximum around 1565, minima around 1552 and 1575).

In addition, future glacier length variations of the Mer de Glace are simulated using two climate scenarios. The first scenario assumes no changes in mean climate, the second scenario embodies higher temperature and changing precipitation values. Confronting current climate change, the more likely scenario 2 shows a continuous and remarkable retreat of the Mer de Glace until the end of the simulation period in 2042. The prediction for scenario 1 indicates a glacier front position in 2042 around that of the present-day. For both scenarios, the simulation period ranges from 1900 to 2042, showing a very good accordance between the simulated curve and the measured glacier front values for the 20th century. The glacier responses significantly distinguish between the two scenarios, showing the key role of glaciers for the detection of climate changes.

Moreover, the utilization of the neural network model as a sensitivity analysis tool suggests that the Mer de Glace is more influenced by temperature than precipitation, in contrast to the Unterer Grindelwaldgletscher (Bernese Alps, Switzerland). Finally, this non-linear neural network approach is a new contribution to the various investigations of the complex glacier-climate system, which allows finding explanations for several glacier advances and retreats. Even though the relationship between glacier length and climate parameters is not easy to determine, clear statements concerning glacier reaction to climate variables are possible.

*Zusammenfassung Teil II:*  
**Anwendung von neuronalen Netzen  
auf die Längenänderungen des Mer de Glace**

Ein neuer statistischer Ansatz für die Simulation von Gletscherschwankungen ist die Anwendung von neuronalen Netzen in Kombination mit hochaufgelösten Klimadaten. In der vorliegenden Studie wurde ein nichtlineares “back-propagation neural network”-Modell erfolgreich auf das Mer de Glace (Mont Blanc-Gebiet, Frankreich) angewandt unter Verwendung von multi-proxy Rekonstruktionen von saisonal aufgelösten Temperatur- und Niederschlagsdaten bis ins Jahr 1500 zurück.

Das neuronale Netz wird mit hochaufgelösten Klimadaten (Inputdaten) und Gletscherlängenänderungen des Mer de Glace (Outputdaten; vgl. Teil I) trainiert. Aufgrund des Fehlens von Gletscherlängendaten vor 1570 liefert das angewandte Gletschermodell basierend auf neuronalen Netzwerken plausible qualitative Rekonstruktionen für Gletscherschwankungen im 16. Jahrhundert (Gletschermaximum um 1565, -minima um 1552 und 1575).

Zusätzlich werden zwei Klimaszenarien verwendet, um zukünftige Gletscherschwankungen des Mer de Glace zu simulieren. Gemäss Szenario 1, welches von gleichbleibendem Klima ausgeht, findet das Mer de Glace ein quasi Gleichgewicht mit einer Lage der Gletscherzunge um 2042 ähnlich wie heute. Szenario 2 berücksichtigt die gegenwärtige Klimaänderung (höhere Temperaturen, veränderte Niederschlagswerte) und zeigt einen fortgesetzten und starken Gletscherrückgang an. Bei beiden Szenarien wird von 1900 bis 2042 simuliert, wobei die simulierten Gletscherschwankungen für das 20. Jahrhundert sehr gut mit den gemessenen Längendaten übereinstimmen. Die Reaktionen des Gletschers gemäss den beiden Szenarien unterscheiden sich signifikant, was die Schlüsselrolle der Gletscher für das Erkennen von Klimaänderungen bestätigt.

Das Modell ermöglicht schliesslich auch eine Sensitivitätsanalyse des Mer de Glace bezüglich Temperatur- und Niederschlagsparametern. Dabei wird gezeigt, dass das Mer de Glace im Vergleich zum Unteren Grindelwaldgletscher (Berner Alpen, Schweiz) stärker auf Temperatur statt Niederschlag reagiert. Dieser nichtlineare statistische Ansatz stellt einen weiteren Beitrag zu den Untersuchungen des komplexen Gletscher-Klima-Systems dar und ermöglicht Erklärungen für einzelne Gletscherschwankungen. Obwohl der Einfluss von Klimaparametern auf die Gletscherlänge kompliziert und schwierig zu bestimmen ist, sind klare Aussagen bezüglich der Reaktion eines Gletschers auf sich ändernde Klimaparameter möglich.

*Résumé de la deuxième partie:*  
**Application d'un réseau neuronal  
aux variations de longueur de la Mer de Glace**

Un nouveau procédé statistique pour simuler des variations de glacier est l'application d'un réseau neuronal, surtout en combinaison avec des données de climat à haute résolution. Dans ce travail, un réseau neuronal "back-propagation" non-linéaire est appliqué avec succès à la Mer de Glace (région du Mont Blanc, France) en utilisant des reconstructions "multi-proxy" de données de température et de précipitations, dissoutes selon la saison, reconstructions qui remontent jusqu'à l'année 1500.

Le modèle est "entraîné" avec des données de climat à haute résolution (input) et des changements de longueur de la Mer de Glace (output; cf. première partie). En raison du manque de données avant 1570, l'application du réseau neuronal nous donne des reconstructions plausibles pour les fluctuations du glacier au 16ème siècle (maximum de glacier vers 1565, minima vers 1552 et 1575).

En outre, deux scénarios de climat sont appliqués pour simuler les fluctuations du glacier dans le futur. Selon le scénario 1, qui présuppose un climat constant, la Mer de Glace finit par trouver une sorte d'équilibre avec une position de la langue du glacier vers 2042 qui est à peu près la même qu'aujourd'hui. Le scénario 2 prend en considération le réchauffement actuel du climat et présage un recul continu et remarquable du glacier. Dans les deux scénarios, les simulations s'étendent de 1900 jusqu'à 2042, et on constate que les fluctuations de glacier simulées durant le 20ème siècle correspondent très bien aux données de longueur mesurées. Suivant l'un ou l'autre scénario, le glacier réagit différemment, et cela d'une façon significative. Cela confirme le rôle clé des glaciers en considération de la reconnaissance des changements de climat.

Enfin, en appliquant le réseau neuronal pour faire une analyse de sensibilité du glacier, il s'avère que la Mer de Glace, mise en comparaison avec l'Unterer Grindelwaldgletscher (Alpes bernoises, Suisse), réagit plus fortement à la température qu'aux précipitations. Ce procédé se basant sur un réseau neuronal non-linéaire est une nouvelle contribution aux investigations concernant le système glaciers-climat, et il permet de trouver des explications quant aux fluctuations de glacier. Bien que l'influence de paramètres de climat sur la longueur de glacier soit compliquée et difficile à déterminer, des énonciations claires sont possibles quant à la façon dont un glacier réagit à des paramètres de climat changeant.