



Jahrbuch 2023

Herausgegeben vom
Vorstand der Marburger Geographischen Gesellschaft e. V.
in Verbindung mit dem Dekanat des Fachbereichs Geographie
der Philipps-Universität Marburg

Sonderdruck

Der Inhalt dieses Sonderdrucks oder Teile davon dürfen nicht ohne die schriftliche Genehmigung der Herausgeber vervielfältigt, in Datenbanken gespeichert oder in irgendeiner Form übertragen werden. Sie dürfen ausschließlich zum persönlichen Gebrauch ausgedruckt oder gespeichert werden.

Marburg/Lahn 2024

GRIGUŠOVÁ, PAULINA & MICHAEL RINN

Eiswelten im Westen Kanadas aus glazialhydrologischer und alpinistischer Sicht

Vorbemerkung: Im folgenden Beitrag werden die Eiswelten im Westen Kanadas aus zwei unterschiedlichen Perspektiven betrachtet. Im ersten Teil widmet sich Paulina Grigušová dem Problem des Gletscherschwunds vor dem Hintergrund, dass bis zum Jahr 2100 aufgrund steigender Temperaturen und geringerer Schneefallmengen ein Verlust von bis zu siebenzig Prozent des Gletschereises zu erwarten ist. Unter Verwendung von Luftaufnahmen und Satellitenbildern werden die rezenten Veränderungen in den Gletschern berechnet. In Anlehnung an den IPCC-Klimabericht wird die zukünftige Entwicklung anhand von Landschaftsmodellen und künstlicher Intelligenz für fünf mögliche Zukunftsszenarien prognostiziert.

Im zweiten Teil widmet sich Michael Rinn visuell der kanadischen Gletscherwelt aus alpinistischer Sicht. Als Trainer für Eisklettern, Hochtouren und Leistungsbergsteigen ist er so oft wie möglich in den Bergen unterwegs – in den Alpen oder weltweit. U. a. reiste er zwei Jahre durch die USA und sechs Monate durch Nepal. Weitere Unternehmungen führten ihn nach Kanada, Patagonien, Island, an die steilen Wände des arabischen Hajar-Gebirges im Oman und in das Wadi Rum nach Jordanien. Seine besondere Leidenschaft gilt dem Entdecken neuer Kletterrouten, was er in diesem Beitrag am Beispiel der Erstbesteigung des Monarch Mountain dokumentiert.

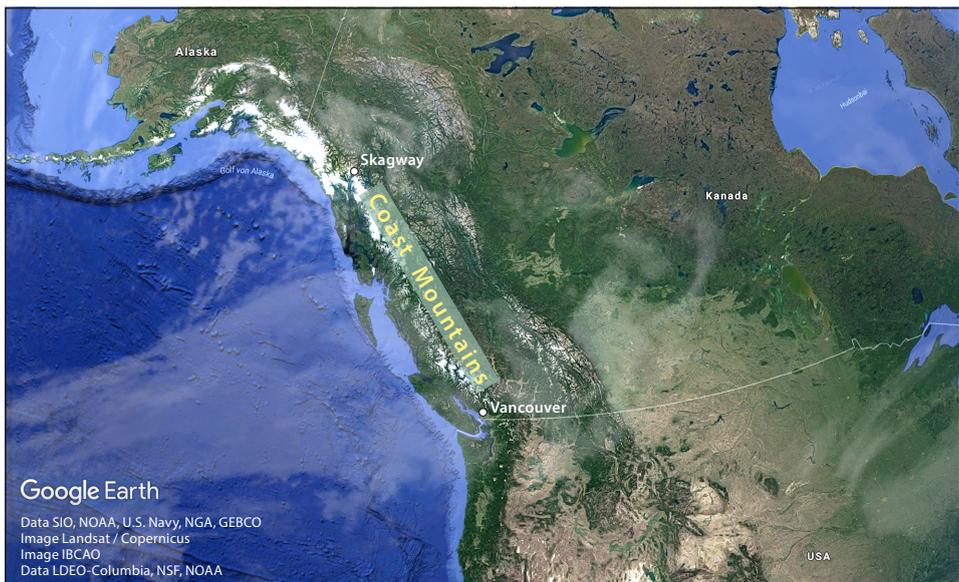


Abb. 1: Die Coast Mountains im Westen Kanadas erstrecken sich über 1600 km zwischen Vancouver (BC) im Süden und Skagway (Alaska) im Norden. Höchster Berg ist der Mount Waddington (4019 m). (Satellitenbild: © Google Earth 18.09.2017)

Teil 1: Die glazialhydrologische Sicht (PAULINA GRIGUŠOVÁ)

In der folgenden Studie wurde das HBV-Hydrologiemodell angewendet, um den Gletscherrückgang des kanadischen Küstengebirges anhand von Klimaszenarien zu berechnen, wie sie in einem Bericht des *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* vom 9. August 2021 veröffentlicht wurden. Hintergrund der Studie ist, dass im Durchschnitt der letzten 50 bis 70 Jahre die Gletscher weltweit an Masse verloren haben. Dabei scheint sich die Geschwindigkeit des Massenschwunds in den letzten zehn Jahren zu beschleunigen. Der Bericht des UN-Klimapanel basiert auf den physikalischen Aspekten des Klimawandels und entwickelt fünf mögliche Szenarien für die Zukunft. Diese Szenarien sind das Ergebnis komplexer Berechnungen, die davon abhängen, wie schnell die Menschheit die Emissionen von Treibhausgasen eindämmen wird (vgl. Abb. 2).

- **Szenario 1 – Am optimistischsten: 1,5° C bis 2050:** Dieses ist das optimistischste Szenario des IPCC und beschreibt eine Welt, in der die globalen CO₂-Emissionen um das Jahr 2050 auf netto null gesenkt werden. Dieses erste Szenario ist das einzige, welches das Ziel des Pariser Abkommens erfüllt.
- **Szenario 2 – Nächstbestes: 1,8° C bis 2100:** Im nächstbesten Szenario werden die globalen CO₂-Emissionen drastisch gesenkt, aber langsamer, und erreichen nach 2050 netto null. Die Zunahme der Temperatur um etwa 1,8° C stabilisiert sich jedoch bis zum Ende des Jahrhunderts.
- **Szenario 3 – Durchschnittlich: 2,7° C bis 2100:** Dies ist ein „durchschnittliches“ Szenario. Die CO₂-Emissionen bleiben in etwa auf dem aktuellen Niveau, bevor sie Mitte des Jahrhunderts zu sinken beginnen, erreichen jedoch bis 2100 nicht netto null. Die Temperaturen steigen bis zum Ende des Jahrhunderts um 2,7° C.

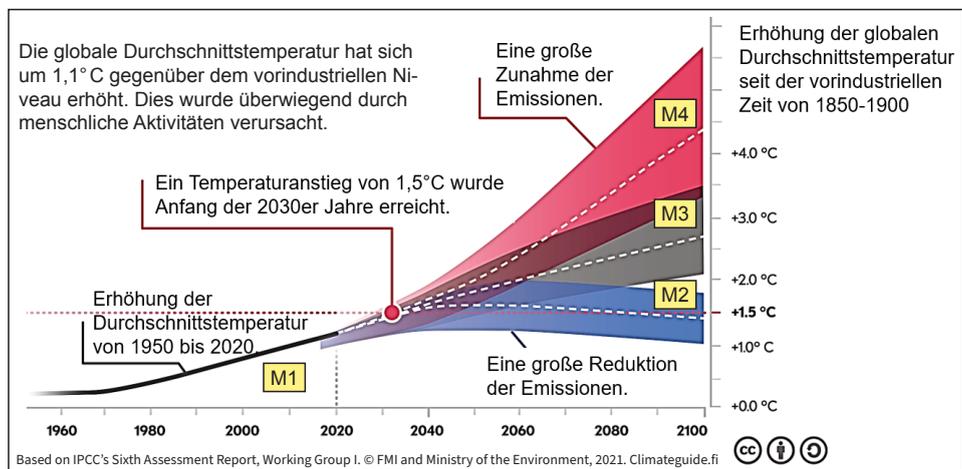


Abb. 2: Die IPCC-Szenarien M1 bis M4 repräsentieren vier unterschiedliche klimatische Rahmenbedingungen, die für die Modellierung zu Grunde gelegt wurden

- **Szenario 4 – Gefährlich: 3,6° C bis 2100:** In diesem Szenario steigen die Emissionen und Temperaturen stetig an. Die CO₂-Emissionen verdoppeln sich bis 2100 in etwa gegenüber den aktuellen Werten. Bis zum Ende des Jahrhunderts sind die durchschnittlichen Temperaturen um 3,6° C gestiegen.
- **Szenario 5 – Um jeden Preis zu vermeiden: 4,4° C bis 2100:** Dies ist eine Zukunft, die um jeden Preis vermieden werden sollte. Die aktuellen CO₂-Emissionsniveaus verdoppeln sich bis 2050 in etwa. Bis 2100 liegt die durchschnittliche globale Temperatur um schreckliche 4,4° C höher.

Das HBV-Hydrologiemodell (*Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning-Modell*) ist eine Computersimulation zur Analyse des Abflusses und des Gletscherrückgangs. Es handelt sich um ein konzeptionelles Einzugsgebietsmodell, das relativ wenige Modellparameter und einen minimalen Bedarf an Forcierungseingaben aufweist, normalerweise die Tagesstemperatur und den täglichen Niederschlag. Zuerst wird der Schnee berechnet, nachdem eine Schwellenschmelztemperatur (TT, normalerweise 0° C) und ein Parameter CMELT definiert wurden, der den äquivalenten geschmolzenen Schnee für die Temperaturdifferenz widerspiegelt. Das Ergebnis wird in einen flüssigen Teil (Oberflächenabfluss) und einen infiltrierenden Teil (Versickerung) unterteilt. Zweitens wird die Bodenfeuchtigkeit berechnet, nachdem ein Anfangswert und die Feldkapazität (FC) definiert wurden. Die dritte Berechnung der tatsächlichen Evapotranspiration (ETPa) erfolgt anhand eines externen Modells (z. B. Penman) zur Ermittlung der potenziellen ETP und der anschließenden Anpassung des Ergebnisses an die Temperaturen und den permanenten Welkepunkt (PWP) des betreffenden Einzugsgebiets. Der Anstieg der ETP in Abhängigkeit von der Temperatur wird mit dem Parameter C beschrieben.

Das Modell besteht darin, das Einzugsgebiet als zwei Speicher (S1 und S2) zu betrachten, die durch einen Perkulationsstrom miteinander verbunden sind. Der Zufluss zum ersten Speicher wird als Oberflächenabfluss berechnet, der von den anfänglichen Niederschlägen nach Berechnung der Infiltration und der Evapotranspiration übrigbleibt. Der Abfluss aus dem ersten Speicher ist in zwei getrennte Flüsse (Q1 und Q2) unterteilt: Q1 stellt den Oberflächenabfluss dar, der nach einer bestimmten, vom Benutzer zu definierenden Schwelle L ausgelöst wird. Q2 beschreibt den Zwischenabfluss. Eine Konstante K1 wird verwendet, um die Abflüsse als Funktion des Speichers S1 zu finden. Um die Perkulationsrate zu berücksichtigen, wird eine Konstante Kd verwendet. Der Abfluss aus dem zweiten Speicher S2 wird als Grundwasserflussfunktion (Q3) einer Konstanten K2 und der Speicherung in S2 betrachtet. Der aus einem bestimmten Regenereignis erzeugte Gesamtabfluss ergibt die Summe der 3 Flüsse. Das Ergebnis des Modells wird später mit den tatsächlich gemessenen Durchflusswerten verglichen. Dabei wird der *Nash-Sutcliffe model efficiency-Koeffizient* (NSE) verwendet, um das Modell durch Ändern der verschiedenen Parameter zu kalibrieren. Das Modell hat insgesamt 9 Parameter: TT, C_{melt}, FC, C, PWP, L, K1, K2, Kd.

HBV wurde in vielen Ländern weltweit zur Modellierung von Oberflächenabflüssen eingesetzt, darunter in Brasilien, China, Iran, Mosambik, Schweden, der Schweiz und Simbabwe.

Die Ergebnisse der Studie werden anhand von 4 Modelldurchläufen verglichen:

- M1 – Jahre 2000 bis 2020
- M2 – Jahre 2020 bis 2100, Integration des Szenarios 1 des IPCC-Berichts
- M3 – Jahre 2020 bis 2100, Integration des Szenarios 3 des IPCC-Berichts
- M4 – Jahre 2020 bis 2100, Applikation des Szenarios 5 des IPCC-Berichts

Die Anwendung des Szenarios M1 führt zu weiteren Jahrzehnten negativer Massenbilanzen, was in den folgenden Dekaden zu einem weiteren Rückzug des Gletschers führt. Die Massenbilanzen nähern sich dann allmählich null an. Der Gletscher erreicht ein Gleichgewicht mit dem aktuellen Klima (wobei die Netto-Massenbilanzen um null schwanken) nach etwa 90 Jahren Simulation. Laut des Modelldurchlaufs M2 verringert sich die Gletscherbedeckung um 20 % der aktuellen Gletscherfläche. Unter der Annahme, dass sich das Klima nicht weiter ändert (Modelldurchlauf M3), könnte die Gletscherbedeckung um fast ein Drittel schrumpfen. Die Massenbilanzen bleiben bei Modelldurchlauf M4 negativ, wobei die Gletscherbedeckung des Beckens um 38,5 % reduziert wird (Abb. 3).

Die Gletscherrückgänge in allen Szenarien führen zu einem Rückgang des jährlichen Abflusses. Dabei ist der Rückgang des Abflusses in den Sommermonaten am stärksten. Im Fall von Modell M2 wird der anfängliche Rückgang des Flusses von einer asymptotischen Annäherung an einen Gleichgewichtsabfluss von ca. 27 m³/s mit einer Unsicherheit von +0,5 bis -1 m³/s gekennzeichnet, was einer Reduzierung von 35 % gegenüber den aktuellen 41 m³/s entspricht. Für M3 und M4 wird der mittlere Abfluss bis 2095 auf etwa 25 m³/s weiter reduziert. Die Ergebnisse für Szenario M4 spiegeln die Auswirkung einer Änderung des Temperaturanstiegs bis zur Mitte des

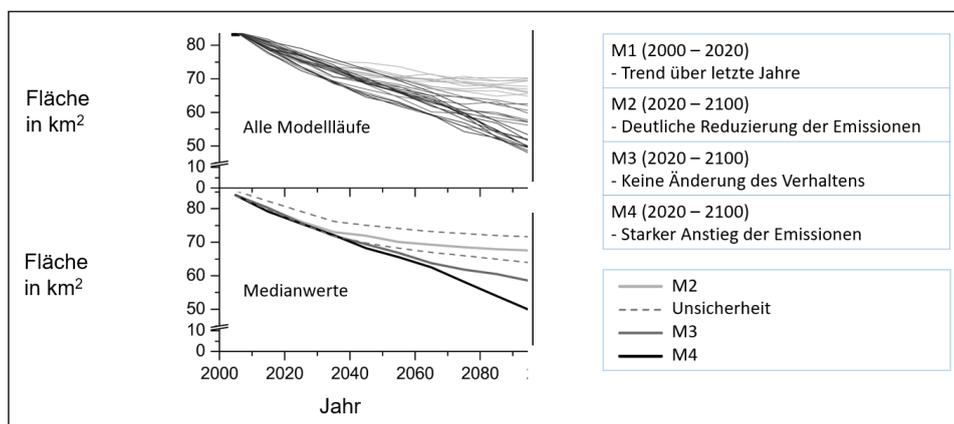


Abb. 3: Modellierung der Gletscherfläche (nach STAHL et al. 2008)

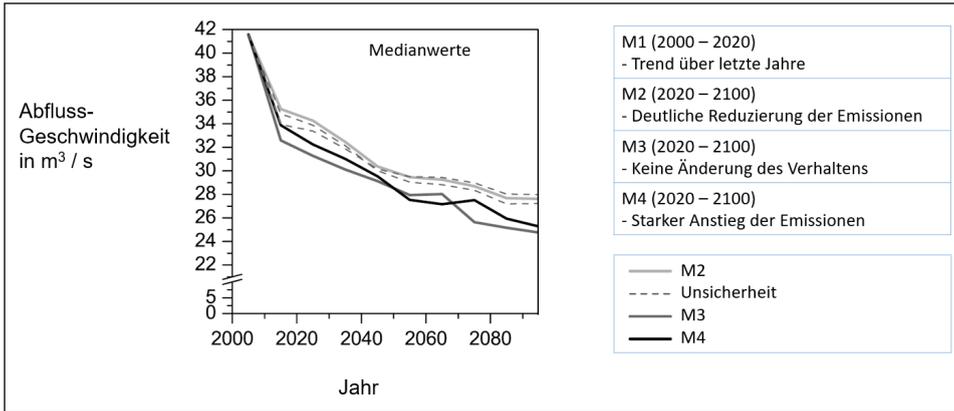


Abb. 4: Modellierung der Abflussgeschwindigkeit (nach STAHL et al. 2008)

Jahrhunderts wider, wenn die Massenbilanzen noch negativer sind und ein relativer Anstieg der Schmelze den Rückgang der Gletscherfläche nur teilweise ausgleicht. Der Unterschied in den Abflusstrends zwischen M2 und M3/M4 in anderen Monaten zeigt, dass steigende Temperaturen auch zu einer längeren Schmelzseason mit einem früheren Beginn und längerer Dauer der Eisschmelze führen, was den Rückgang des jährlichen Abflusses im Vergleich zu M1 mäßigt, aber den Gletscherrückzug verstärkt (Abb. 4).

Literatur

IPCC's Sixth Assessment Report, Working group I, © FMI and Ministry of the Environment 2021. Climateguide.fi. Online: <https://www.climateguide.fi/articles/infographics-based-on-the-ipccs-6th-assessment-report-part-1-illustrate-the-physical-science-basis-of-climate-change> (zuletzt 16.2.2024).

STAHL, K. et al. (2008): Coupled modelling of glacier and streamflow response to future climate scenarios. In: *Water Resources Research* 44(2). doi: 10.1029/2007WR005956.

Teil 2: Die alpinistische Sicht (MICHAEL RINN)

Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts spielte das Bergsteigen in der westkanadischen Hochgebirgswelt praktisch keine Rolle. Auch heute noch ist der moderne Alpinismus hier weit davon entfernt, alle möglichen Ziele erschlossen zu haben. Vor diesem Hintergrund war es im Jahre 2017 Ziel einer deutsch-schottischen Expedition, im abgelegenen Monarch Icefield in den Eiswelten der Coast Mountains, die sich entlang des Pazifiks über 1600 km zwischen Vancouver im Süden und Skagway (Alaska) im Norden erstrecken und die im Mount Waddington (4019 m) und dem Mount Tiedemann (3838 m) ihre höchsten Gipfel aufweisen, eine Erstbegehung am Monarch Mountain (3572 m) zu versuchen, der bis dahin höchsten undurchstiegenen Felswand in einer der atemberaubendsten Hochgebirglandschaften im Westen des Landes (vgl. Abb. 1).



Abb. 5: Die Erstbegehung „Game of Thrones“ schaffte es 2018 in die Endauswahl für den *Piolet d’Or*, die bedeutendste internationale Auszeichnung für außergewöhnlich innovative Leistungen im modernen Alpinismus. (Quellen Abb. 5–13: © Archiv M. Rinn & S. Richardson)

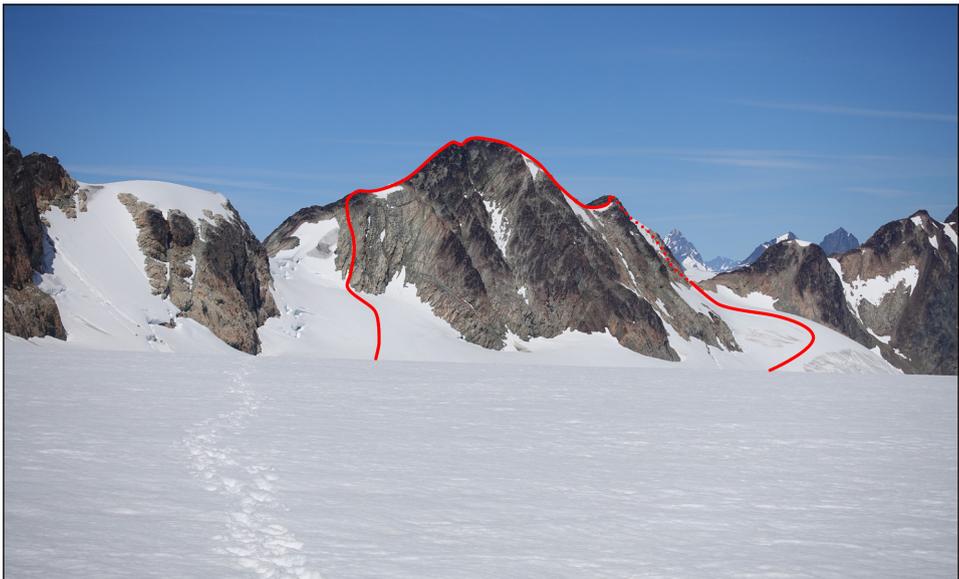


Abb. 6: Erste Überschreitung des Page Mountain Extender, 2625 m: Nord-Süd-Traverse, Schwierigkeit PD, 5.4, 1000 m Kletterstrecke, 30.7.2017. Die Klettertour diente der Akklimatisierung zu Beginn der Expedition.



Abb. 7: Unterwegs bei der *Eingehtour* auf der Nord-Süd-Traverse des Page Mountain Extender. Im Hintergrund rechts der Sugar Loaf, links davon der Empire Way Glacier. Der Grat erinnert an den Biancograt auf den Piz Bernina (4048 m) in den Ostalpen.

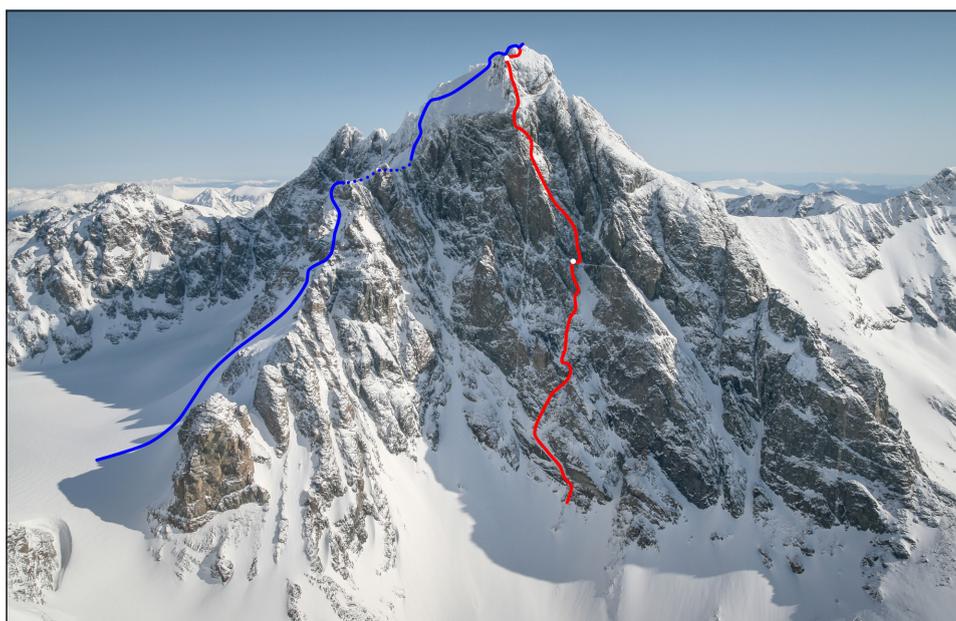


Abb. 8: Kletterstrecke am Monarch Mountain, 3572 m: Route „Game of Thrones“ (Erstbegehung), Schwierigkeit ED2, 5.10a, 1540 m Kletterdistanz, 1250 m Höhenunterschied, 32 Seillängen + 400 m am laufenden Seil, 4.-6.8.2017 (Aufstieg rot, Biwakplätze weiß, Abstieg blau).



Abb. 9: Unser Basecamp hatten wir drei Wochen lang auf dem Gletscher des Monarch Icefield am Fuße des Monarch Mountain aufgeschlagen.

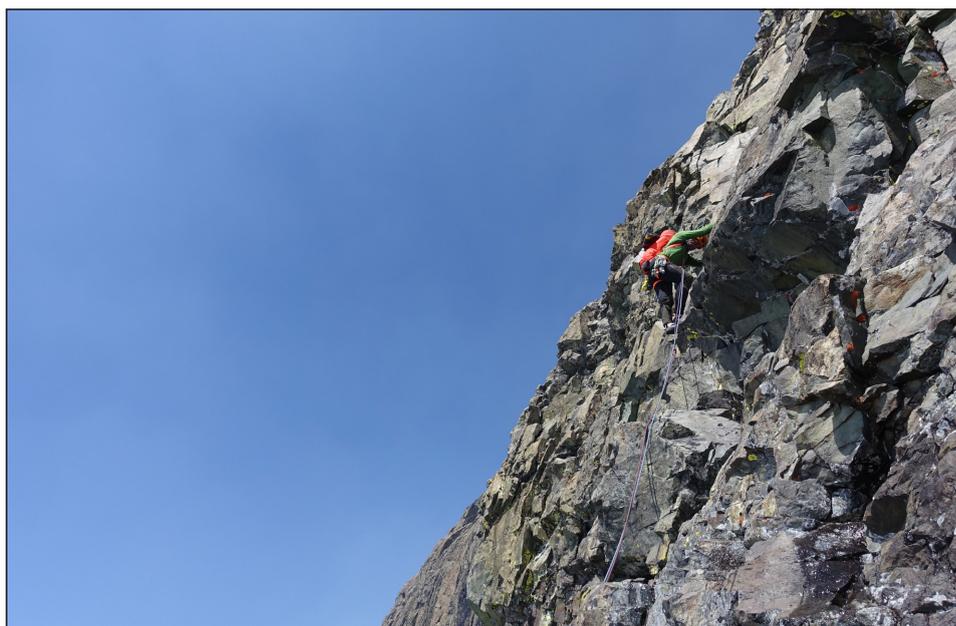


Abb. 10: Monarch Mountain – Ernsthaftige Kletterei am 2. Tag. Der obere Teil des zentralen Pfeilers bietet zwar besten Fels, verlangt aber eine komplizierte Absicherung. Das Gebirge in dieser Region ähnelt sehr stark dem Mont Blanc-Massiv vor 250 Jahren.



Abb. 11: Das zweite Biwak knapp unterhalb des Gipfels des Monarch Mountain auf etwa 3300 m. Eine anstrengende lange Nacht steht uns bevor.



Abb. 12: Der Sonne entgegen – auf den letzten Metern zum Gipfel.



Abb. 13: Am frühen Morgen des 6. August 2017 erreichen wir den Gipfel des Monarch Mountain.

Das Erreichen des Gipfels (bei strahlendem Sonnenschein) war ein überwältigender Moment. Die ganze Vorbereitung, unsere Träume und auch ein bisschen Abenteuerlust hatten uns bis zum Gipfel geführt. Bis hier oben haben wir uns gegenseitig unser Vertrauen geschenkt, waren zuversichtlich und haben uns gegenseitig motiviert. Es war ein einzigartiger Moment, und es lag viel Energie und Glück in der Luft. Damals wusste ich es noch nicht, aber im Nachhinein war dieser Moment – auf dem Monarch Mountain – etwas, das ich in meinem ganzen Bergsteigerleben gesucht habe. Zusammen haben wir unsere Grenzen erfahren und ein Stück weit verschoben. Und genau das ist es, was wir in den Bergen suchen.

Autor/-in:

Dr. Paulina Grigušová
Fachbereich Geographie
der Philipps-Universität
Deutschhausstraße 12
35032 Marburg
E-Mail:
paulina.grigusova@staff.uni-marburg.de

Michael Rinn
Fachbereich Psychologie und Sportwissenschaft
der Justus-Liebig-Universität
Kugelberg 62
35394 Gießen
E-Mail: michael.rinn@sport.uni-giessen.de
Internet: www.vertikale-welten.de