



Doctoral Thesis

Vulnerability of mountain destinations towards socio-demographic and climatic changes

Author(s):

Willibald, Fabian

Publication Date:

2020

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000472759> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS ETH NO. 27228

VULNERABILITY OF MOUNTAIN DESTINATIONS TOWARDS SOCIO-DEMOGRAPHIC AND CLIMATIC CHANGES

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by
FABIAN MAXIMILIAN WILLIBALD
M. Sc. Environmental Systems and Sustainability – Monitoring, Modelling and
Management, Ludwig-Maximilians-Universität München

born on 06.07.1990
citizen of Germany

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Adrienne Grêt-Regamey
Prof. Dr. Ralf Ludwig
Prof. Dr. Michael Lehning

2020

Summary

Mountain regions are characterized by a high surface roughness, compressed topographies, diverse landscapes, and rich biological and cultural diversity. These factors promote a tight coupling and dynamic interactions between ecosystems and humans. Consequently, a wide range of ecosystem services are concentrated in mountain regions, fostering human well-being. Because of their high complexity, mountain social-ecological-technical systems are very sensitive to anthropogenic and environmental changes.

Recreation is an important cultural ecosystem service. The economic prosperity of many mountain regions is dependent on revenues from recreational activities, and the most dynamic changes that can be observed in alpine regions are often related to such cultural ecosystem services. The most prominent drivers on the demand side of recreational activities are globalization, population growth, demographic changes, and wealth. Simultaneously, the environmental systems that provide the supply for recreation are affected by severe factors, such as land-use change and climate change. Because cultural ecosystem services are vital elements for human well-being, it is important to understand the interactions among the socio-demographic, technological, and ecological components that influence the supply of and demand for recreation in mountain regions.

A detailed survey of the research field identified important research gaps. These research gaps were addressed by the following research questions:

- (1) *What are the drivers of demand for outdoor recreation day trips?*
- (2) *How might the demand for outdoor recreation day trips change under future technological and socio-demographic scenarios?*
- (3) *How do internal climate variability and climate change impact snow conditions in the Swiss Alps?*
- (4) *What is the vulnerability of winter tourism to internal climate variability and climate change?*

These research questions were addressed in four research articles during this Doctoral project. Papers I and II focused on change in the demand for outdoor recreation, while Papers III and IV assessed changes in the supply of adequate environmental conditions that support winter outdoor recreation demand.

In **Paper I**, the drivers of demand for outdoor recreation day trips were identified. Various regression models, namely Generalized Linear Models and Machine Learning algorithms, such as Random Forest and Gradient Boosting, as well as different variable importance measures for each regression model, were used to determine the importance of landscape characteristics and accessibility in explaining outdoor recreation day trips. The overall pattern of variable importance between the various regression models remains constant across different measures. The three most important variables for explaining outdoor recreation day trips are population density, the number of land use counts, and the length of ski slopes per municipality.

In **Paper II**, a set of Generalized Linear Models was used to predict demand for outdoor recreation day trips under a future population distribution scenario. The model setup allowed the identification of potential hot, and coldspots for outdoor recreation demand under the given population scenario for 2030.

A thorough understanding of the changes in the drivers of recreation demand can support long-term planning and management in regions where outdoor recreation places pressure on the landscape and transport system. The knowledge gained in Papers I and II therefore support planning authorities and affected regions in adapting to population change.

After identifying the drivers of demand for outdoor recreation and predicting future recreation demand, the research focus shifted to the supply side of cultural ecosystem services, namely winter outdoor recreation. Snow is a vital resource for tourism, and also for agriculture and the energy sector. Thus far, changes in the mean state of the climate and their effects on snow have most commonly been investigated. However, internal climate variability is also an important source of uncertainty. Therefore, **Paper III** investigates uncertainties in future snow cover, which are attributed to internal climate variability and climate change. To do so, climate model data from a new single-model large ensemble with 50 members was used as driver for the physically based snow model SNOWPACK at eight locations across the Swiss Alps. By applying a Mann-Kendall test, under RCP8.5, the chance that there will be no significantly negative trend in future mean snow depths over a period of 50 years was estimated at between 10 % and 60 %. These results show that for all economies that are directly dependent on snow, future climate impact assessments are subject to important uncertainties, and internal climate variability is a dominant source of this uncertainty.

Paper IV investigates the combined vulnerability of winter tourism to internal climate variability and climate change. The same single-model large ensemble as was used in Paper III was also used for a probabilistic assessment of the vulnerability of ski tourism to internal climate variability in a future climate by analyzing select tourism-related snow indicators for natural and technical snow conditions. A significant overall decrease in snow reliability in the future was found. It was shown that sensitivity to internal climate variability differs among tourism-related snow indicators and that certain indicators are more vulnerable to internal climate variability than others. Furthermore, it was shown that technical snow production is an appropriate adaptation strategy with which to tackle the risks from climate change and internal climate variability. However, at low elevations, the technique will reach its limits in counteracting global warming by the middle of the century.

The knowledge gained in Papers III and IV can help winter tourism destinations and local decision makers in the identification of vulnerabilities to climate change and internal climate variability.

In summary, this thesis enhances our understanding of the interactions among socio-demographic, technological, and ecological components in mountain systems and their dynamic changes over time and space. It critically examines demand-side driven effects on cultural ecosystem services on the one hand and the effects of changing environmental conditions and technology on the supply of cultural ecosystem services on the other.

Zusammenfassung

Gebirgsregionen sind gekennzeichnet durch grosse Höhenunterschiede, eine komplexe Topographie, facettenreiche Landschaften und eine hohe biologische und kulturelle Diversität. Daraus resultiert eine enge Verbindung und dynamische Interaktionen zwischen Ökosystem und Menschen. In Gebirgsregionen ist eine grosse Vielfalt an Ökosystemdienstleistungen, welche das menschlichen Wohlergehen fördern vorzufinden. Aufgrund ihrer hohen Komplexität sind sozio-technologisch-ökologische Systeme in Bergregionen sehr empfindlich gegenüber anthropogener und ökologischer Veränderungen.

Erholung ist eine wichtige kulturelle Ökosystemdienstleistung. Viele Berggebiete sind wirtschaftlich stark abhängig von Einkommen generiert aus Freizeit-, und Erholungsaktivitäten und die dynamischsten Veränderungen, die man in alpinen Gebieten beobachten kann stehen oft in Verbindung zu solchen kulturellen Ökosystemdienstleistungen. Die wichtigsten Faktoren, welche die Nachfrage nach Freizeit-, und Erholungsaktivitäten bestimmen sind Globalisierung, Bevölkerungswachstum, demographische Veränderungen und steigender Wohlstand. Gleichzeitig werden die Umweltsysteme, welche das Angebot für Freizeit-, und Erholungsaktivitäten bilden von Entwicklungen wie Landnutzungswandel und Klimawandel beeinflusst. Kulturelle Ökosystemdienstleistungen sind ein grundlegender Bestandteil für das menschliche Wohlbefinden. Aus diesem Grund ist es wichtig die Interaktionen zwischen sozio-demographischen, technologischen und ökologischen Elementen, welche das Angebot und die Nachfrage nach Freizeit-, und Erholungsaktivitäten beeinflussen, zu verstehen.

Nach einem breiten Screening des Forschungsfeldes wurden wichtige und offene Forschungsfragen identifiziert:

- (1) Welche Einflussfaktoren bestimmen die Nachfrage nach Erholung im Freien?
- (2) Wie könnte sich die Nachfrage nach Erholung im Freien aufgrund zukünftiger technologischer und sozio-demographischer Entwicklungen verändern?
- (3) Wie beeinflussen natürliche Klimavariabilität und Klimawandel Schneeverhältnisse in den Schweizer Alpen?
- (4) Wie vulnerabel ist der Wintertourismus gegenüber natürlicher Klimavariabilität und gegenüber dem Klimawandel?

Diese Forschungsfragen wurden im Zuge dieser Doktorarbeit in vier wissenschaftlichen Abhandlungen erörtert.

In **Publikation I** wurden die Einflussfaktoren, welche die Nachfrage nach Erholung im Freien beeinflussen identifiziert. Um den Einfluss von Landschaftscharakteristiken und von Erreichbarkeit auf die Nachfrage nach Erholung im Freien zu untersuchen wurden verschiedene Regressionsmodelle (verallgemeinerte lineare Modelle und maschinelles Lernen), sowie verschiedene Methoden zur Bestimmung der Wichtigkeit von Variablen, für die jeweiligen Regressionsmodelle verglichen. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Methoden waren gering. Die drei wichtigsten Faktoren, mittels derer man die Nachfrage

nach Erholung im Freien abschätzen kann, sind Bevölkerungsdichte, die Anzahl an Landnutzungsklassen, sowie Länge von Skiinfrastruktur pro Gemeinde.

In **Publikation II** wurden mehrere verallgemeinerte lineare Regressionsmodelle genutzt, um die Nachfrage nach Erholung im Freien unter einem zukünftigen Bevölkerungsszenario abzuschätzen. Mittels dieser Methode konnten potentielle Hotspots unter einem Bevölkerungsszenario für das Jahr 2030 identifiziert werden.

Ein genaues Verständnis der Einflussfaktoren auf die Nachfrage nach Erholung im Freien kann eine langfristige und nachhaltige Planung in Regionen, in welchen Erholung im Freien einen grossen Druck auf die Landschaft und das Verkehrssystem ausübt, unterstützen. Das Wissen, welches in den Publikationen I und II generiert wurde kann somit in betroffenen Regionen helfen sich an Bevölkerungs-, und Umweltveränderungen anzupassen.

Nachdem die Einflussfaktoren, welche die Nachfrage nach Erholung im Freien bestimmen identifiziert wurden, wurde der Forschungsschwerpunkt auf die Angebotsseite von kulturellen Ökosystemdienstleistungen gelegt. Schnee ist eine wichtige Grundlage für Wintertourismus, als auch für die Landwirtschaft und den Energiesektor. Obwohl natürliche Klimatische Variabilität ein wichtiger Unsicherheitsfaktor für die Schneemenge darstellt beschränken sich bisherige Untersuchungen zum Einfluss des Klimawandels auf Schnee weitestgehend auf Veränderungen im langjährigen Mittel. Aus diesem Grund untersucht **Publikation III** die Unsicherheiten in der Abschätzung zukünftiger Schneemengen, welche auf den Klimawandel als auch auf die natürliche klimatische Variabilität zurückzuführen sind. Um dies zu untersuchen wurden Klimadaten von einem grossen Ensemble (50 Member), welches auf einem regionalen Klimamodell basiert, genutzt, um damit das Schneemodell SNOWPACK an acht Standorten in den Schweizer Alpen anzutreiben. Es wurden Wahrscheinlichkeiten zwischen 10 % und 60 % berechnet, dass trotz des Emissionsszenarios RCP8.5, kein signifikant negativer Trend (mittels Mann-Kendall Trend Test) in der mittleren Schneehöhe im Winter über einen Zeitraum von 50 Jahren identifiziert werden kann. Die Ergebnisse zeigen, dass Studien zu Klimawandelfolgen in Wirtschaftszweigen, welche abhängig sind von Schnee, mit grossen Unsicherheiten behaftet sind, wobei die natürliche klimatische Variabilität eine bestimmende Unsicherheitsquelle darstellt.

Publikation IV untersucht die Vulnerabilität von Wintertourismus gegenüber natürlicher klimatischer Variabilität und des Klimawandels. Auf Basis desselben Modelsetups wie in Publikation III wurden sozio-ökonomische Schneeindikatoren unter natürlichen und künstlichen Schneebedingungen berechnet, um eine probabilistische Vulnerabilitätsanalyse durchzuführen. Die Modellberechnungen zeigen eine signifikante Abnahme der mittleren Schneehöhe in der Zukunft. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass die verschiedenen Schneeindikatoren unterschiedlich anfällig gegenüber natürlicher Variabilität sind. Ausserdem konnte gezeigt werden, dass die Produktion von Kunstschnee ein geeignetes Mittel zur Anpassung an den Klimawandel und zur Abschwächung der natürlichen Variabilität darstellt und somit einen

Beitrag zur Verringerung der Vulnerabilität leistet. Nichtsdestotrotz wird die künstliche Beschneidung, speziell in niedrig gelegenen Gebieten, in Zukunft an ihre Grenzen stossen.

Das generierte Wissen in den Publikationen III und IV kann Tourismusdestinationen helfen die Anfälligkeit gegenüber natürlicher Variabilität und gegenüber des Klimawandels abzuschätzen und sich an verändernde Bedingungen anzupassen.

Zusammenfassend verbessert die vorliegende Doktorarbeit unser Verständnis der Interaktionen zwischen sozio-demographischen, technologischen und ökologischen Einflussfaktoren in Gebirgsregionen, sowie derer zeitlicher und räumlicher Veränderungen. Die vorliegende Arbeit beleuchtet einerseits die Auswirkungen auf der Nachfrageseite kultureller Ökosystemdienstleistungen, sowie andererseits die Auswirkungen sich verändernder Umwelteinflüsse und technologischer Einflüsse auf das Angebot kultureller Ökosystemdienstleistungen in Berggebieten.