

Entwicklung eines Modells zur Unterstützung von Investitionsentscheidungen in Wintersportstandorte unter Berücksichtigung klimatischer Aspekte

Reinboth, C.

Hochschule Harz, Wernigerode

E-Mail: creinboth@hs-harz.de

Kurzfassung

Wärmere Winter, weniger Naturschnee und sich immer weiter verschlechternde Rahmenbedingungen für künstliche Beschneigung – der anthropogene Klimawandel stellt die Wintersportbranche vor eine existentielle Herausforderung. Die Wirtschaft versucht diesem Problem primär durch technische Anpassungsmaßnahmen zu begegnen, deren bedeutendste die energieintensive und ökologisch umstrittene Produktion von Kunstschnee ist. Im Rahmen einer in diesem Beitrag kurz vorgestellten Masterarbeit an der FernUniversität Hagen wurde – auf Basis eines umfangreichen interdisziplinären Literaturreviews – ein Modell zur Unterstützung von Entscheidungen für oder gegen Standortbeschneigungen entwickelt, als Softwareprototyp realisiert und dessen Einsatz am Beispiel des Wintersportorts Schierke im Harz demonstriert.

1. Einleitung

Der Umgang mit den Auswirkungen des anthropogenen Klimawandels stellt die Tourismusbranche vor enorme Herausforderungen. Dies gilt insbesondere für den Winter(sport-)tourismus. In vielen Wintersportgebieten bedrohen wärmere Winter mit weniger Naturschnee, verstärkt auftretende Starkregenereignisse sowie die Verlagerung der für die Kunstschneeproduktion optimalen Witterungsbedingungen in die Zeitspanne um Ostern das Überleben touristischer Betriebe. Denn während die Attraktivität der Reiseorte für Skisportler wesentlich mit den dortigen Witterungs- und damit Schneebedingungen verbunden ist, vollzieht sich der Klimawandel gerade in Gebirgsregionen zugleich deutlich schneller und mit höherer Intensität als in anderen Klimazonen [1]/[2]/[3]/[4].

Die Branche versucht diesem Problem primär durch technische Anpassungsmaßnahmen zu begegnen, deren wichtigste die energieintensive und ökologisch umstrittene künstliche Beschneigung ist. Ob sich dieses Vorgehen langfristig als erfolgreich erweist, hängt nicht nur vom Fortschreiten des Klimawandels, sondern auch von der technischen Leistungsfähigkeit und wirtschaftlichen Tragfähigkeit der Beschneigung, von ihrer gesellschaftlichen Akzeptanz und von der Nachfrage nach Alternativangeboten ab. Auf Basis eines umfassenden Literaturreviews entstand als Teil eines Masterprojekts an der Fern-

Universität Hagen ein softwarebasiertes Entscheidungsunterstützungssystem (Decision Support System, DSS), welches bei Verfügbarkeit historischer und/oder prognostischer Klimadaten eine Projektion des standortspezifischen Beschneigungspotentials sowie der wirtschaftlichen Nutzbarkeit des Schnees gestattet [5].

2. Methodisches Vorgehen

Die Grundlage des nachfolgend vorgestellten DSS bildet eine umfangreiche Sichtung themenrelevanter Literatur. Hierfür wurden 477 Quellen aus 23 Fachdisziplinen anhand vorab definierter Suchkriterien in der Literaturlatenbank Citavi erfasst und ausgewertet. Auf Basis dieses Literaturreviews konnten die über alle Disziplinen unstrittig für eine erfolgreiche Beschneigung relevanten Parameter sowie deren Schwellwerte und wechselseitigen Abhängigkeiten identifiziert werden – bis hinein in die nichtwissenschaftlichen Publikationen von Wintersportanbietern oder Umweltverbänden.

Von der Vielzahl an erfassten und evaluierten Einflussfaktoren erwiesen sich nur wenige als wirklich bedeutsam. Für die erfolgreiche Produktion von Kunstschnee müssen – neben der Verfügbarkeit von Wasser – primär zwei Bedingungen erfüllt sein: Die Feuchttemperatur (die kühlste Temperatur, die bei gegebener Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit durch Verdunstung erreicht werden kann) darf nicht oberhalb von -3°C liegen, damit die über eine Schneekanone oder -lanze (siehe Abb. 1) abgegebenen Wassertropfchen sich noch in der Luft abkühlen und an den ebenfalls in die Luft gesprühten Kristallisationskeimen zu kleinen Eiskügelchen – dem eigentlichen Kunstschnee – gefrieren können [6]/[7]/[8]. Zudem darf kein starker Wind vorherrschen, damit der entstehende Kunstschnee nicht verweht wird. Das DSS orientiert sich dabei an der Definition von „starkem Wind“ in der Beaufort-Skala (ab 11,31 m/s).

Neben der Frage, ob Kunstschnee produziert werden kann, ist weiterhin relevant, ob sich der Schnee für den Skibetrieb nutzen lässt. Herrschen über zwei Tage $>10^{\circ}\text{C}$ vor oder kommt es zu Tagesniederschlägen >20 mm, wirkt sich dies negativ auf die Schneedecke aus [9]/[10]. Ungünstig sind auch hohe Windgeschwindigkeiten (ab „Sturm“ auf der Beaufort-Skala), die zur Einstellung des Liftbetriebs oder zu Pistenschließungen führen können. Zudem müssen für Alpin-Ski Mindestschneehöhen von 30 cm ([10]/[11]/[12]) bzw. 10 cm für Skilanglauf ([12]/[13]) erreicht werden. Um ein Rechenmodell zu bedienen, das auf dieser Informationsbasis kalkuliert, an welchen Tagen während einer Skisaison (Nov. – März) Naturschnee fällt, Kunstschnee produziert oder Ski gefahren werden kann, werden somit fünf Parameter benötigt:

- Lufttemperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Schneehöhe
- Niederschlagsmenge
- Windgeschwindigkeit



Abbildung 1: Eine Schneelanze in Braunlage nach einem gescheitertem Beschneivungsversuch.

Der sechste Parameter – die Feuchttemperatur – lässt sich aus Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit bestimmen. Für das DSS wurde hierbei auf eine Näherungsformel zurückgegriffen, die von einem amerikanischen Hersteller von Beschneivungstechnik entwickelt wurde [14] und die nur im (für die Zwecke dieses Modells ausreichenden) Temperaturbereich zwischen $4,5^{\circ}\text{C}$ und $-17,8^{\circ}\text{C}$ Gültigkeit besitzt.

Zusammenfassend ist eine Beschneivung auf Basis dieser Überlegungen dann möglich, wenn die Feuchttemperatur nicht über -3°C liegt und zugleich kein Wind stärker als $11,32\text{ m/s}$ vorherrscht. Zur Bewertung der Nutzbarkeit des produzierten (oder gefallenen) Schnees ist zudem zu prüfen, ob Mindestschneehöhen von 10 cm bzw. 30 cm erreicht werden und ob disruptive Ereignisse auftreten, die eine Nutzung präparierter Pisten unterbinden. Zu diesen gehören Regen von $>20\text{ mm}$ am Tag über mehr als zwei Tage, eine Lufttemperatur von $>10^{\circ}\text{C}$ über mehr als zwei Tage und Windgeschwindigkeiten ab $21,09\text{ m/s}$. Das in der freien Software LibreOffice implementierte DSS wurde flexibel gehalten, so dass Parameter (etwa die nötige Feuchttemperatur oder die

Mindestschneehöhen) an abweichende Rahmenbedingungen betrachteter Anlagen und Standorte angepasst werden können.

Das Modell liefert vier zentrale Werte:

- Summe der Tage, an denen es zu natürlichem Schneefall kommt
- Summe der Tage, an denen künstliche Beschneigung möglich wäre
- Summe der Tage, an denen der Wind zu stark für den Betrieb wäre
- Summe der Tage, an denen Wärme oder Regen die Pisten angreifen würden

Disruptive Perioden werden in der Auswertung nur berücksichtigt, wenn zum Zeitpunkt ihres Eintretens Naturschnee lag oder eine Beschneigung in den Tagen zuvor möglich gewesen wäre. Das DSS kann mit historischen Klimadaten oder mit prognostischen Daten aus Klimamodellen betrieben werden.

Die Anwendbarkeit des DSS wird nachfolgend am Beispiel des Kleinen Winterbergs in Schierke im Harz demonstriert, wo derzeit ein neues Skigebiet entwickelt wird [15]. Für diesen Standort konnte auf historische Daten einer DWD-Wetterstation (von 1951/1952 bis 2016/2017) sowie auch auf Prognosedaten des DWD-Klimamodells REMO (Regionales Modell) unter Annahme des IPCC-Szenarios A1B (von 2017/2018 bis 2099/2100) zurückgegriffen werden. Beide Datensätze entstammen dem Regionalen Klimainformationssystem für Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen und lagen in Form von Tagesmitteln (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Schneehöhe) und Tagessummen (Niederschlag) vor.

3. Ergebnisse

Die Anwendung des DSS auf die Daten zeigt, dass die Anzahl der Tage, an denen Naturschnee fällt, seit den 1950ern deutlich zurückgegangen ist (siehe Tab.1, Abb. 2 und 3) – eine Entwicklung, die sich mit einem weiteren Rückgang in den 2020ern und 2030ern fortzusetzen droht. Eine künstliche Beschneigung wäre für ein tragfähiges Wintersportangebot an diesem Standort somit unverzichtbar.

Wie das Modell zeigt, nimmt jedoch auch die Anzahl an Tagen, an denen eine Beschneigung möglich wäre, ab den 2030ern deutlich ab (siehe Abb. 4). Für Investitionen kritisch ist dabei die Zunahme potentieller Totalausfälle. Während viele Skigebiete eine schlechte Saison kompensieren können, können zwei oder mehr Ausfälle in Folge den Betreiber stark schädigen. Ausgehend von dem für die Masterarbeit entwickelten Modell ist wahrscheinlich, dass ab den 2040ern auch mit Beschneigung gut die Hälfte aller Saisons in einem Totalausfall mit <10 Betriebstagen resultieren würde. Der Wind spielte weder für die Beschneigung noch für die Ausfälle eine wichtige Rolle – und auch die Zahl wärme- und regenbedingter Störungen ist für die Gesamtbewertung unerheblich.

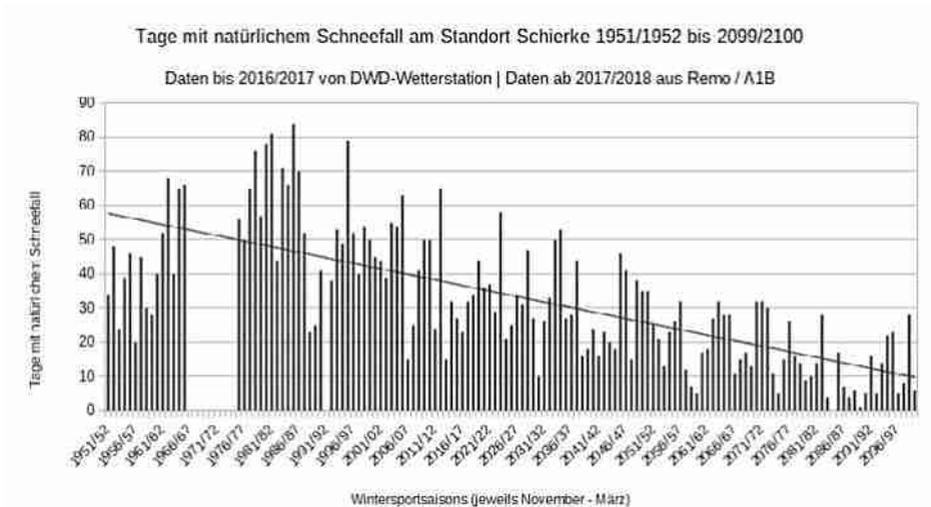


Abbildung 2: Entwicklung der Anzahl von Tagen mit natürlichem Schneefall zwischen 1951/1952 und 2099/2100.

Tabelle 1: Entwicklung der Schneefalltage zwischen 1951 und 2100 (die 2010er sind unterteilt, da hier der Übergang zwischen Real- und Prognosedaten liegt).

Dekade	Ø Anzahl Tage mit Naturschnee	Dekade	Ø Anzahl Tage mit Naturschnee
1950er	35	2020er	35
1960er	55	2030er	31
1970er	61	2040er	28
1980er	59	2050er	20
1990er	51	2060er	21
2000er	43	2070er	19
2010er	34	2080er	9
2010er	39	2090er	13

Zu beachten ist, dass in Gegenden mit hoher Luftfeuchtigkeit niedrige Lufttemperaturen von deutlich unter 0°C erforderlich sind, damit die Feuchttemperatur unter -3°C fällt. Während bei einer Luftfeuchtigkeit von 60% nur -1°C erreicht werden muss, um künstlich beschneien zu können, muss die Temperatur bei 90% unter $-2,5^{\circ}\text{C}$ fallen. Das macht den feuchten Harz, in dem die Luftfeuchtigkeit im Winter meist über 90% liegt, zu einem ungünstigen Standort für Beschneigung – obwohl von deren Verfechtern nicht selten mit der Feuchtigkeit und der damit verbundenen Wasserverfügbarkeit geworben wird.

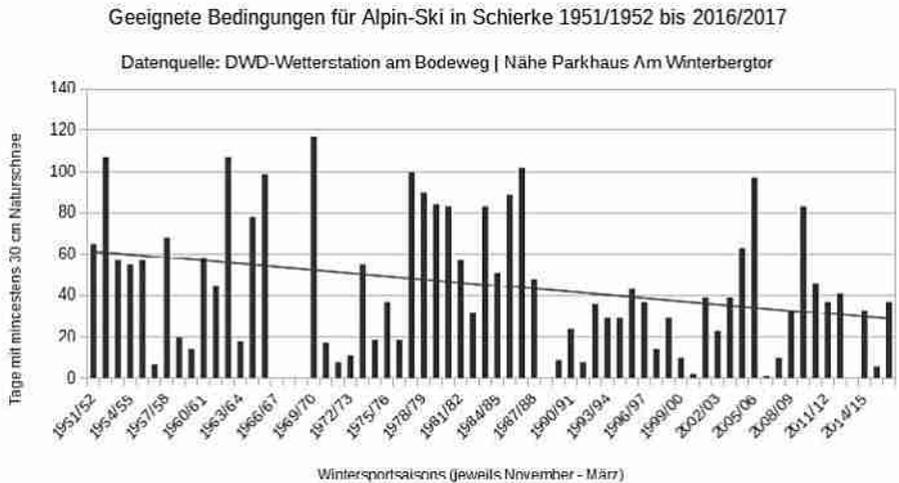


Abbildung 3: Anzahl der für Alpin-Ski auf Naturschneebasis geeigneten Tage zwischen 1951/1952 und 2016/2017.

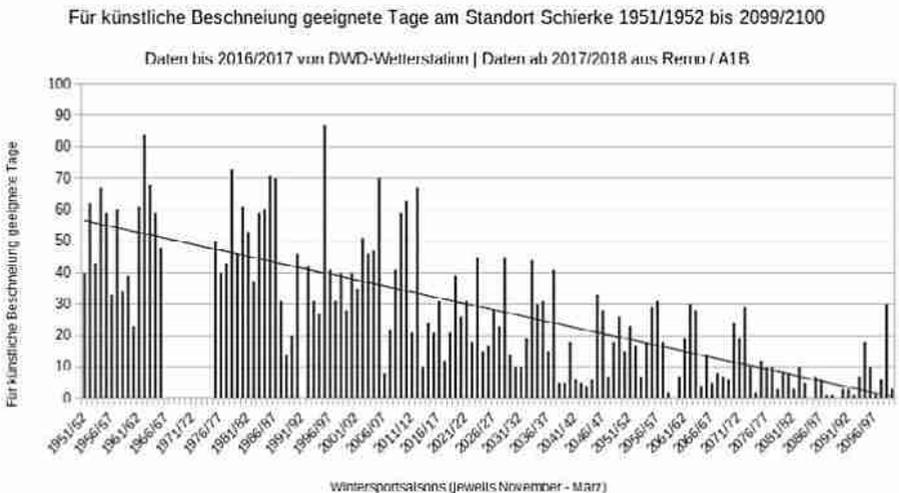


Abbildung 4: Entwicklung der Anzahl von Tagen zwischen 1951 und 2100, an denen eine künstliche Beschneigung möglich bzw. möglich gewesen wäre.

4. Ausblick

Das in diesem Beitrag skizzierte DSS wurde als einfacher Prototyp in Libre Office realisiert. Während die Implementierung zu Demonstrationszwecken ausreichend ist, wäre eine weitere Optimierung insbesondere hinsichtlich zweier Eigenschaften sinnvoll: Der Realisierung als Stand Alone-Software sowie der Erweiterung des Modells von der aktuellen Tages- auf eine Stundenbasis. Durch diese Erweiterung könnten nicht nur konkrete Beschneigungs-Zeitfenster identifiziert, sondern auch geprüft werden, ob eine Nutzung dieser Fenster – etwa vor dem Hintergrund des Lärmschutzes – überhaupt möglich wäre. Gegenüber dem vorliegenden wäre dieses erweiterte Modell mit einem wesentlichen Zugewinn an prognostischer Genauigkeit verbunden. Die skizzierten Verbesserungen sollen in den kommenden Jahren schrittweise umgesetzt und interessierten Anwenderinnen und Anwendern Open Access zur Verfügung gestellt werden.

5. Literaturverzeichnis

- [1] Reintinger, C.: „Wohin geht die Reise? Eine Analyse aktueller und zukünftiger Reiseentscheidungen deutscher Touristen“, Dissertation, LMU München, München (2016).
- [2] Bender, O.; Borsdorf, A.; Fischer, A.; Stötter, J.: „Mountains Under Climate and Global Change Conditions – Research Results in the Alps“, in: Blanco, J. A.; Kheradmand, H. (Hrsg.): „Climate Change. Geophysical Foundations and Ecological Effects“, Chapter 20, IntechOpen, London (2011).
- [3] Abegg, B.: „Tourismus im Klimawandel. Ein Hintergrundbericht der CIPRA“, CIPRA International, Schaan (2011).
- [4] Tötzer, T.; Schaffler, V.: „Fallstudienbericht Anpassung privater Akteure im Wintertourismus“, Austrian Institute of Technology, Wien (2017).
- [5] Reinboth, C.: „Die Zukunft der künstlichen Beschneigung in Mitteleuropa: Konzeptionierung eines Decision Support Systems“, Masterarbeit, FernUniversität Hagen, verfügbar über die Open Access-Plattform Publica der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung, München (2019).
- [6] Benoit, C.: „Lufttemperatur und Luftfeuchte als Voraussetzung zur Erzeugung von künstlichem Schnee“, Masterarbeit, Universität Graz, Graz (2012).
- [7] Olefs, M.; Fischer, A.; Lang, J.: „Boundary Conditions for Artificial Snow Production in the Austrian Alps“, in: Journal of Applied Meteorology and Climatology 49 (6), S. 1096-1113 (2010).
- [8] Schneider, F.: „Kostenmanagement und Controlling-Instrumente von technischen Beschneigungsanlagen“, Diplomarbeit, Hochschule Mittweida, Mittweida (2014).
- [9] Becken, S.: „The importance of climate and weather for tourism: literature review“, in: LEaP – Land Environment and People (2010).

-
- [10] Scott, D.; Steiger, R.; Ruddy, M.; Johnson, P.: „The future of the Olympic Winter Games in an era of climate change“, in: *Current Issues in Tourism* 18 (10), S. 913-930 (2015).
- [11] Demiroglu, O.C.; Kučerová, J.; Ozcebe, O.: „Snow reliability and climate elasticity: Case of a Slovak ski resort“, in: *Tourism Review* 70 (1), 1-12 (2015).
- [12] Bark, R.H.; Colby, B.G.; Dominguez, F.: „Snow days? Snowmaking adaptation and the future of low latitude, high elevation skiing in Arizona, USA“, in: *Climate Change* 102 (3-4), S. 467-491 (2010).
- [13] Foken, T.; Lüers, J.: „Regionale Ausprägung des Klimawandels in Oberfranken“, in: *Bayreuther Kontaktstudium Geographie*, Band 8, S. 33-42 (2015).
- [14] <http://www.the-snowman.com/wetbulb2.html>
- [15] de Jong, C.; Knolle, F.; Reinboth, C.; Wendenkamp, O.: „Das Projekt Natürlich.Schierke – eine kritische Betrachtung“, in: *Unser Harz* (11/2017), S. 216-223 (2017).