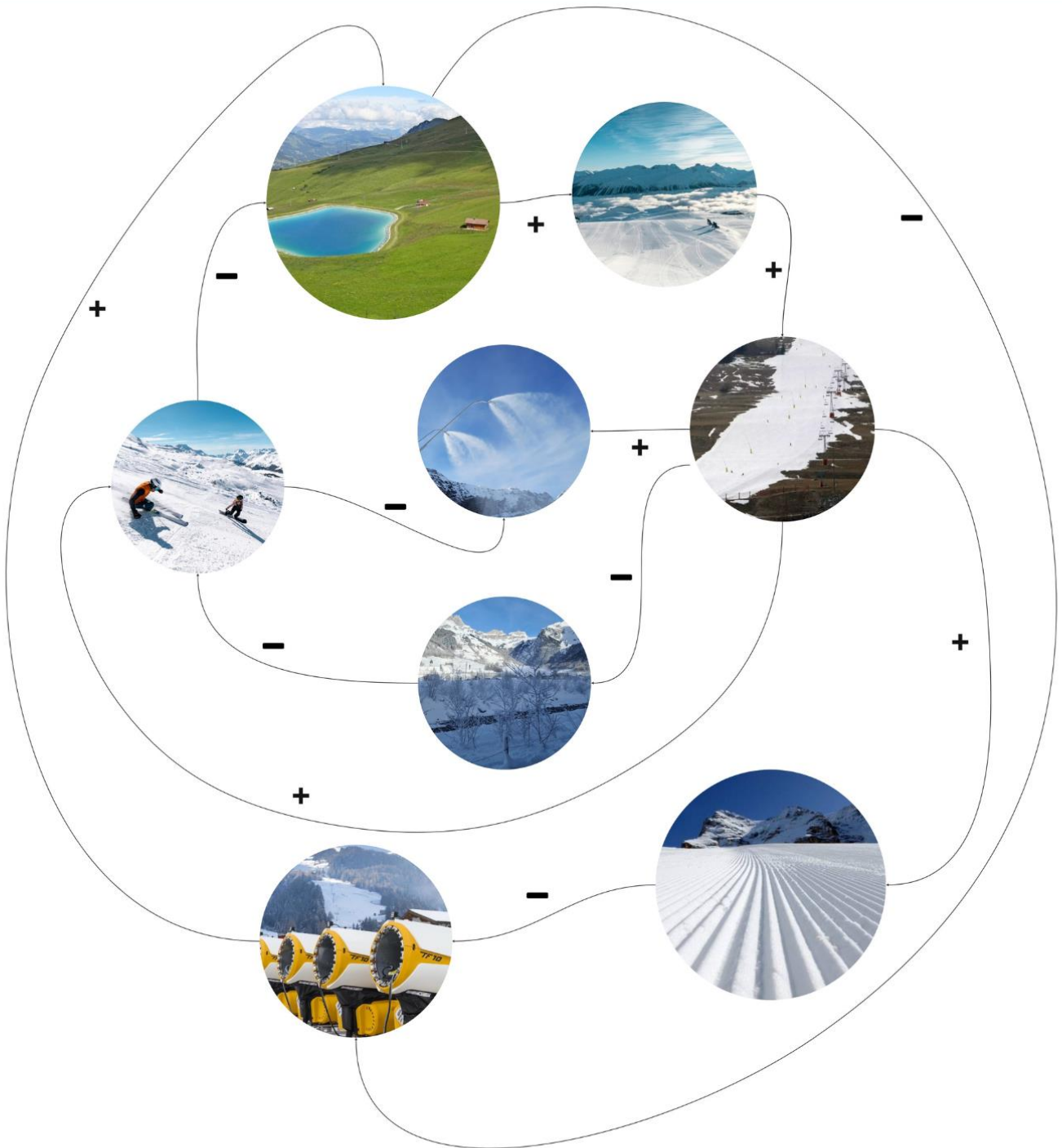


# Nachhaltiger Tourismus in den Schweizer Alpen

Eine systemdynamische Analyse der technischen Beschneigung



KME Zürich

Verfasserin: Aline Schmid

Betreuung: Anita Diener

Zürich, 21.11.2025

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abstract</b> .....	<b>1</b>
<b>Vorwort</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>2</b>
1.1. Vom Tourismus zum nachhaltigen Tourismus .....	2
1.2. Problemstellung.....	2
1.3. Allgemeine Zielsetzung und Fragestellungen .....	3
1.4. Methodik .....	3
1.5. Aufbau der Arbeit .....	4
<b>2. Nachhaltiger Tourismus in der Schweiz</b> .....	<b>5</b>
2.1. Politische Rahmenbedingungen .....	5
2.2. Die drei Dimensionen des nachhaltigen Tourismus.....	6
2.2.1. Die ökologische Dimension .....	7
2.2.2. Die ökonomische Dimension .....	7
2.2.3. Die gesellschaftliche Dimension .....	7
<b>3. Systemdynamik</b> .....	<b>8</b>
3.1. Von der Linearität zur dynamischen Komplexität .....	8
3.2. Herkunft und Anwendung der Systemdynamik .....	8
3.3. Systemdynamik als Sprache.....	9
3.4. Elemente der Systemdynamik .....	10
3.4.1. Rückkopplungsschleifen .....	10
3.4.2. Kausalschleifendiagramm (CLD).....	12
3.5. Systemdynamische Fragestellungen.....	13
<b>4. Modellierung der Adaptionstrategie der technischen Beschneigung</b> .....	<b>14</b>
4.1. Das Gesamtmodell im Überblick .....	14
4.2. Vorgehen bei der Modellierung .....	15
4.2.1. Die Variablen.....	15
4.2.2. Verbindung der Anzahl Tourist: innen und der Beschneigung.....	17
4.3. Die Rückkopplungsschleifen .....	18
4.3.1. R1: Technische Beschneigung als Adaption.....	18
4.3.2. B2: Ressourcendruck und touristisches Motiv .....	22
4.3.3. B3a und B3b: Verstärkung des Klimawandels durch Emissionen .....	27
4.3.4. R4: Veränderungen des Bodens .....	29
4.3.5. B5: Preisgetriebener Investitionskreislauf.....	31
4.3.6. R6: Tourismus als Wirtschaftszweig .....	32

4.4.	Analyse des Gesamtmodells .....	33
4.4.1.	Archetypen .....	34
4.4.2.	Die Dimensionen des nachhaltigen Tourismus im Modell.....	35
<b>5.</b>	<b>Überprüfung der Funktionalität des Modells .....</b>	<b>36</b>
5.1.	Energieneutrale Lanzen in Melchsee-Frutt .....	36
5.1.1.	Reflexion am Modell .....	38
5.2.	Zusätzlicher Speichersee in Corviglia St. Moritz.....	39
5.2.1.	Reflexion am Modell .....	40
5.3.	Snowfarming in Davos.....	40
5.3.1.	Reflexion am Modell .....	41
<b>6.</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>42</b>
<b>7.</b>	<b>Schlusswort .....</b>	<b>46</b>
<b>8.</b>	<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>47</b>
<b>9.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>50</b>
<b>10.</b>	<b>Dank .....</b>	<b>53</b>
<b>11.</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>54</b>
11.1.	Modell .....	54
11.2.	Selbständigkeitserklärung .....	55

## Abstract

Diese Maturarbeit untersucht die Rolle der technischen Beschneigung im Kontext des nachhaltigen Wintertourismus in der Schweiz. Ziel ist die Analyse, inwiefern künstliche Beschneigung zur Sicherung der touristischen Nachfrage beiträgt, ob sie sich als langfristig tragfähig bewertet und ob sie mit den Zielen des nachhaltigen Tourismus vereinbar ist. Methodisch stützt sich die Arbeit auf eine umfassende Literaturrecherche sowie auf die Entwicklung eines eigenen systemdynamischen Modells, das verschiedene Variablen rund um die technische Beschneigung miteinander in Beziehung stellt. Im ersten theoretischen Teil werden zunächst die Grundlagen des nachhaltigen Tourismus und der Systemdynamik erläutert. Der empirische Teil beschreibt den Aufbau des Modells und die systemdynamischen Zusammenhänge. Anschliessend wird die Funktionalität des Modells durch die Vorstellung moderner und potenziell nachhaltigeren Technologien der Beschneigung getestet. Die Ergebnisse zeigen, dass technische Beschneigung kurzfristig zur Stabilisierung der touristischen Nachfrage beiträgt und wirtschaftlich von grosser Bedeutung ist. Das Modell prognostiziert aber, dass diese Adaptionsmassnahme langfristig mit erheblichen ökologischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Belastungen verbunden ist. Neue Technologien verändern einzelne Rückkopplungen, lösen jedoch die grundlegenden Problematiken noch nicht. Insgesamt zeigt die Analyse, dass technische Beschneigung keine langfristige Strategie darstellt und in ihrer herkömmlichen Form nicht mit den Zielen des nachhaltigen Tourismus vereinbar ist.

## Vorwort

Die Resilienz der Erde ist limitiert. Durch unsere menschlichen Aktivitäten überschreiten wir Belastungsgrenzen und zerstören damit nicht nur Ökosysteme, sondern auch die Grundlagen unseres eigenen Lebens. Jeder Eingriff in die Natur kann ihre Fähigkeit zur Regeneration schwächen und zugleich die Zukunftschancen kommender Generationen mindern. Im Ergänzungsfach Geografie an der Kantonalen Maturitätsschule für Erwachsene bekam ich wertvolle Einblicke in die Resilienz der Erde, planetare Grenzen, nachhaltiges Wirtschaften, Systemdynamik und zentrale Konzepte, die mein Interesse an der Nachhaltigkeit geweckt haben. Mit dieser Maturarbeit möchte ich zu einem besseren Verständnis der Vielfalt dieses Begriffs beitragen. Anhand der Nachhaltigkeit und systemischem Denken möchte ich zwei zukunftsorientierte Gebiete miteinander vereinen und so für die Lesenden einen neuen Blickwinkel aufzeigen. Die Erde und damit einhergehend der Schutz dieses Planeten verdienen unsere Aufmerksamkeit.

# 1. Einleitung

## 1.1. Vom Tourismus zum nachhaltigen Tourismus

Der Tourismussektor spielt in der Schweiz eine zentrale Rolle. Besonders ländliche, alpine und periphere Regionen werden stark mit dem menschlichen Bedürfnis der Erholung in der Natur verbunden. Das Alltagsleben spielt sich immer mehr in urbanisierten Gesellschaften ab. Destinationen sind gezwungen, sich für ein breites Publikum zu öffnen und auf natürliche Werte und Attraktionen zu setzen.<sup>1</sup> Die Schweiz profitiert dabei von einer vielfältigen Naturlandschaft, einer langjährigen touristischen Kultur und einer stabilen Infrastruktur. Dazu schafft der Tourismussektor neue Arbeitsplätze, leistet einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung wirtschaftsschwacher Regionen und führt zur Förderung von regionaler Identität.<sup>2</sup> Er hat aber auch seine Schattenseiten. Problematiken wie der fortschreitende Klimawandel, saisonale Überlastungen und Massentourismus üben Druck auf die Branche aus und zwingen sie dazu, Herausforderungen auszugleichen. Da setzt der nachhaltige Tourismus an. Er basiert nämlich darauf, diesen äusserst wichtigen Sektor ökologisch, wirtschaftlich und sozial zu gestalten.<sup>3</sup>

## 1.2. Problemstellung

Diese Maturarbeit befasst sich mit einer der wesentlichen Problemstellungen im Tourismus: Dem Klimawandel in den Schweizer Wintersportgebieten und der damit abnehmenden Schneesicherheit. Veränderungen der klimatischen Bedingungen bringen für den Schweizer Wintertourismus grosse Herausforderungen mit sich. In vielen Skigebieten genügt der Naturschnee bereits seit Jahren nicht mehr, um den regulären Wintersportbetrieb sicherzustellen. Häufig müssen tiefer gelegene Skigebiete aufgrund Schneemangels schliessen und den Wintertourismus einstellen, was erhebliche wirtschaftliche Einbussen zur Folge hat. Die technische Beschneigung als Adaptionstrategie ist von grosser Wichtigkeit, um die nötige Schneesicherheit der Schweiz zu gewährleisten. Dies erscheint auf den ersten Blick als vorteilhaft, erweist sich jedoch bei genauerer Betrachtung als problematisch, da die künstliche Schneeerzeugung mit einem hohen Energie- und Wasserverbrauch verbunden ist und weitere Folgen mit sich bringt.<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> Siegrist, Dominik; Gessner, Susanne; Ketterer Bonnelame, Lea: Naturnaher Tourismus. Qualitätsstandards für sanftes Reisen in den Alpen, Bern 2019, S. 13.

<sup>2</sup> Rein, Hartmut; Strasdas, Wolfgang: Nachhaltiger Tourismus. Einführung, Stuttgart 2017, S. 19.

<sup>3</sup> Schweizer Tourismus-Verband: Nachhaltige Entwicklung im Schweizer Tourismus, 30.07.2025, <<https://www.stv-fst.ch/nachhaltigkeit/nachhaltigkeitsplattform/nachhaltige-entwicklung>>, Stand: 03.08.2025.

<sup>4</sup> Schwab, Nico: Kunstschnee: Wie er produziert wird und wie viel Strom er braucht, in: Schweizer Radio und Fernsehen (SRF), 06.01.2023, <<https://www.srf.ch/news/schweiz/technische-beschneigung-kunstschnee-wie-er-produziert-wird-und-wie-viel-strom-er-braucht>>, Stand: 07.08.2025.

### 1.3. Allgemeine Zielsetzung und Fragestellungen

Aufbauend auf dieser Problemstellung richtet sich meine Arbeit darauf, die Rolle der technischen Beschneigung im Schweizer Wintertourismus als Adaption näher zu betrachten. Dabei liegt der Fokus auf der Einordnung im Rahmen des nachhaltigen Tourismus und der Bewertung ihrer ökologischen, ökonomischen und sozialen Auswirkungen.

Folgende allgemeine Fragestellungen werden dazu untersucht:

1. Inwiefern trägt die technische Beschneigung in alpinen Tourismusregionen der Schweiz zur Sicherung von touristischer Nachfrage bei?
2. Inwiefern lässt sich die technische Beschneigung als langfristig tragfähige Strategie für den Schweizer Wintertourismus bewerten?
3. Inwiefern ist die technische Beschneigung vereinbar mit der Nachhaltigkeitsstrategie im Schweizer Tourismus?

### 1.4. Methodik

Die Arbeit wurde anhand zweier Methoden erstellt. Zum einen dient die Literaturrecherche als Grundlage der theoretischen Hintergründe. Zum anderen wurde die Systemdynamik angewendet. Dies ist eine Wissenschaft und zugleich eine Technik, mit der komplexe Sachverhalte und ihre Abhängigkeiten untersucht werden können. Der nachhaltige Tourismus ist ein vielseitiges Gebiet und beinhaltet zahlreiche Faktoren, die sich gegenseitig beeinflussen. Adaptionstrategien wie die technische Beschneigung erweisen sich demzufolge als komplexe Systeme. Grundsätzlich hilft die Systemdynamik dabei, Problemstellungen anhand eines vereinfachten Modells darzustellen, in dem keine linearen Ursache-Wirkungsverhältnisse untersucht werden, sondern dynamische Prozesse.<sup>5</sup>

Für die Analyse der Adaptionstrategie habe ich deshalb ein systemdynamisches Modell mithilfe des Computerprogramms Miro erarbeitet. Miro ist ein digitales Tool zur visuellen Zusammenarbeit für Firmen und Institutionen und hilft bei Darstellungen vieler verschiedener Arbeitsprozesse oder Produktentwicklungen. Zudem beinhaltet es viele strukturelle Modellierungstools, unter anderem systemdynamische Werkzeuge.<sup>6</sup> Das Modell mit dem Namen Kausalschleifendiagramm basiert auf Literaturrecherche und bereits vorhandenen Statistiken. Es stützt sich also nicht auf quantitative Berechnungen, sondern stellt qualitative Zusammenhänge innerhalb des Systems dar.

---

<sup>5</sup> Kim, Daniel H.: Systems thinking tools: a user's reference guide, Cambridge 1995, S. 9.

<sup>6</sup> Miro: Der visuelle Workspace für Innovation, o. J., <<https://miro.com/de/about/>>, Stand: 18.08.2025.

Für ein besseres Verständnis wird die Systemdynamik im Theorieteil der Arbeit erklärt. Die Grundlagen der Systemdynamik durfte ich in Zusammenarbeit mit Birgit Kopainsky erlernen und erarbeiten. Sie ist Professorin für Systemdynamik an der Universität Bergen.

## 1.5. Aufbau der Arbeit

Der Hauptteil der Arbeit besteht aus einem ersten theoretischen Teil, der den nachhaltigen Tourismus in der Schweiz veranschaulicht. Dabei werden die drei Dimensionen vorgestellt und die politischen Hintergründe aufgezeigt. Danach folgen weitere Abschnitte, in denen die Systemdynamik als Grundverständnis für das folgende Modell beschrieben wird. Erst dann werden die allgemeinen Fragestellungen des Kapitels 1.3 durch systemdynamische ergänzt. Dies dient zu einer besseren Nachvollziehbarkeit. Darauf folgend wird in der Methodik das erstellte Modell Schritt für Schritt beschrieben und die verschiedenen Bestandteile mit dem Namen „Rückkopplungsschleifen“ aufgezeigt. Pro Rückkopplungsschleife folgt eine Erklärung, die zum Verständnis der jeweiligen Schleife notwendig ist und eine systemdynamische Betrachtung. Die theoriebasierten Abschnitte sind bewusst im Teil der Methodik zu finden, da sie spezifisch im Zusammenhang mit der jeweiligen Rückkopplungsschleife betrachtet werden müssen. Der dritte Teil der Arbeit dient der Überprüfung des Modells. Dazu werden Einflussfaktoren wie neue Technologien oder Projekte aus drei ausgewählten Schweizer Skigebieten präsentiert, um seine Funktionalität und Aussagekraft zu testen. Die ganze Arbeit richtet sich nach dem Modellbildungszyklus in Abbildung 1. Die reale Situation wird anhand der Theorieabschnitte und Literaturrecherche abgebildet. Die gewonnenen Erkenntnisse werden dann in das eigene systemdynamische Modell übertragen. Anstelle von Simulationen und Berechnungen erfolgt die Ergebnisergebnisgewinnung über die Überprüfung neuer, potenziell nachhaltigeren Strategien und Projekte der drei auserwählten Skigebiete. Die erhaltenen Ergebnisse werden mithilfe systemdynamischer Werkzeuge und der Theorie des nachhaltigen Tourismus analysiert und im Hinblick auf meine Fragestellungen interpretiert.

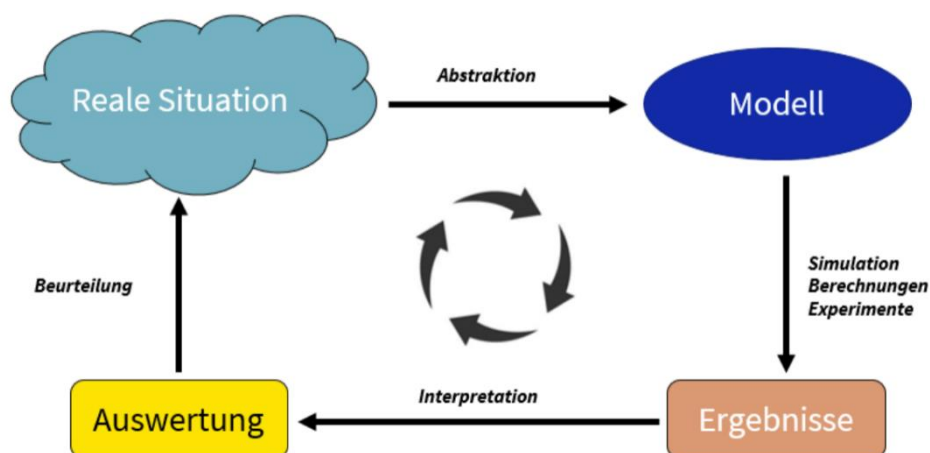


Abbildung 1: Modellbildungszyklus  
Quelle: Science Lab Universität Zürich, 30.10.2025.

## 2. Nachhaltiger Tourismus in der Schweiz

### 2.1. Politische Rahmenbedingungen

Der nachhaltige Tourismus gehört zum allgemeinen Konzept der nachhaltigen Entwicklung, welche seit der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung im Jahr 1992 in Rio de Janeiro ihre Präsenz in der Politik erlangte.<sup>7</sup> Die Vereinten Nationen verabschiedeten mit der Agenda 21 erstmals ein umfassendes Handlungsprogramm für eine internationale nachhaltige Entwicklung.<sup>8</sup> Die in der Agenda 21 beschlossenen Prinzipien wurden weiter bearbeitet und im Jahr 2015 am UN-Gipfel für nachhaltige Entwicklung in New York konkretisiert. Daraus entstand die Agenda 2030, welche 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung definiert. Diese werden Sustainable Development Goals genannt und zeigen Ziele auf, welche die Mitgliedsstaaten bis zum Jahr 2030 erreichen sollten. Sie umfassen drei verschiedene Dimensionen: Ökologische, ökonomische und gesellschaftliche Entwicklung. Zudem unterteilen sie sich in die Prinzipien Mensch, Planet, Wohlstand, Frieden und Partnerschaft.<sup>9</sup> Die Schweiz als Mitgliedsstaat ist aufgefordert, diese Ziele zu berücksichtigen und in die nationale Politik einfließen zu lassen. Zur Umsetzung soll sie international, national und regional Verantwortung übernehmen und entsprechende Massnahmen einleiten.<sup>10</sup> Als nationale Rahmenbedingung wurde vom Bundesrat im Jahr 2021 die neue Strategie der nachhaltigen Entwicklung (SNE2030) verabschiedet, welche sich auf die drei Hauptpunkte fokussiert:

1. Nachhaltiger Konsum und nachhaltige Produktion
2. Klima, Energie und Biodiversität
3. Chancengleichheit und sozialer Zusammenhang

(Quelle der Aufzählung)<sup>11</sup>

Neben den nationalen Rahmenbedingungen gelten zudem sektorielle. Diese werden in der neuen Tourismusstrategie des Bundes festgehalten, welche das Fundament für die Schweizer Tourismuspolitik legt.<sup>12</sup>

---

<sup>7</sup> Rein; Strasdas: Nachhaltiger Tourismus, 2017, S. 15.

<sup>8</sup> United Nations: Agenda 21, in: Sustainable Development Goals Knowledge Platform, o. J., <<https://sustainabledevelopment.un.org/outcomedocuments/agenda21>>, Stand: 17.08.2025.

<sup>9</sup> Eidgenössisches Departement für auswärtige Angelegenheiten: Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung, in: Schweizerische Eidgenossenschaft, 18.06.2024, <<https://www.agenda-2030.eda.admin.ch/de/agenda-2030-fuer-nachhaltige-entwicklung>>, Stand: 17.08.2025.

<sup>10</sup> Ebd.

<sup>11</sup> Schweizer Tourismus-Verband: Nachhaltige Entwicklung im Schweizer Tourismus, 2025.

<sup>12</sup> Ebd.

Die zentralen Ziele der bisherigen Strategie bleiben bestehen: Bessere Rahmenbedingungen, Gefördertes Unternehmertum, Nutzung der Digitalisierung sowie Stärkung von Angebotsattraktivität und Marktauftritt. Ergänzt wurde die Strategie durch das Ziel: „Zur nachhaltigen Entwicklung beitragen.“<sup>13</sup>

## 2.2. Die drei Dimensionen des nachhaltigen Tourismus

Das Konzept des nachhaltigen Tourismus in der Schweiz basiert auf denselben drei Dimensionen wie auch die nachhaltige Entwicklung: Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft. Sie alle müssen gleichwertig berücksichtigt werden, um langfristige Ziele zu erreichen.<sup>14</sup> Das Institut für Tourismus und Mobilität der Hochschule Luzern entwickelte dafür ein Modell, das die drei Dimensionen darstellt und 25 Merkmale aufzeigt, die anwendbar auf den Schweizer Tourismus sind.<sup>15</sup>

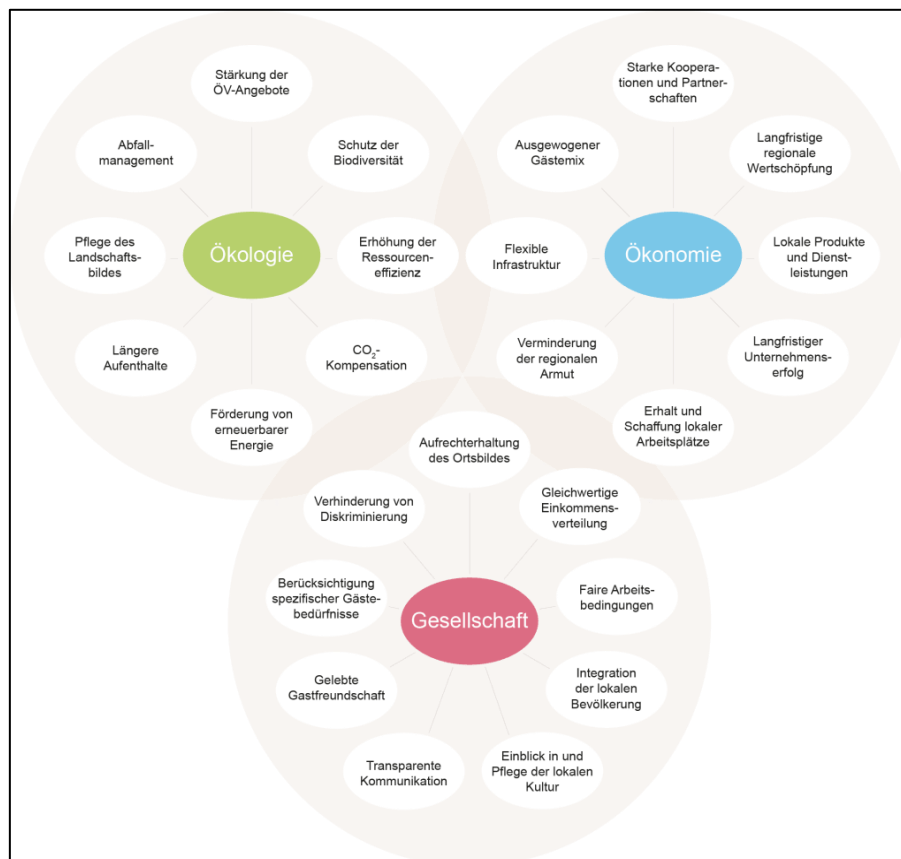


Abbildung 2: Verständnis einer nachhaltigen Entwicklung im Tourismus der Hochschule Luzern.

Quelle: Schweizer Tourismusverband: <https://www.stv-fst.ch/nachhaltigkeit/nachhaltigkeitsplattform/nachhaltige-entwicklung>.

<sup>13</sup> SECO, Staatssekretariat für Wirtschaft: Tourismusstrategie des Bundes, in: Schweizerische Eidgenossenschaft, 14.08.2025, <[https://www.seco.admin.ch/seco/de/home/Standortfoerderung/Tourismuspolitik/tourismusstrategie\\_des\\_bundes.html](https://www.seco.admin.ch/seco/de/home/Standortfoerderung/Tourismuspolitik/tourismusstrategie_des_bundes.html)>, Stand: 06.10.2025.

<sup>14</sup> Schweizer Tourismus-Verband: Nachhaltige Entwicklung im Schweizer Tourismus, 2025.

<sup>15</sup> Ebd.

### 2.2.1. Die ökologische Dimension

Für einen nachhaltigen Tourismus der Zukunft sind funktionierende Ökosysteme und effektive Umweltmanagementsysteme unerlässlich.<sup>16</sup> Um die Natur nicht zu schädigen, befasst sich diese Dimension mit der Anbindung der Destinationen am öffentlichen Verkehr, dem Schutz der Biodiversität, an der Kompensation von CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Ressourcenschonung durch erneuerbare Energien. Sie soll zudem Reisende zu einem längeren Aufenthalt in der jeweiligen Region ermutigen.<sup>17</sup>

### 2.2.2. Die ökonomische Dimension

Der Tourismus soll dazu dienen, die regionale Wirtschaft zu stärken, was auch der Fokus beim nachhaltigen Tourismus bleiben soll. Es geht jedoch um langfristigen wirtschaftlichen Erfolg der Unternehmen, in dem Kooperationen und Partnerschaften für die gemeinsame Erreichung der Ziele genutzt werden. Beispielsweise sichert er die regionale Wertschöpfung, indem lokale Produkte und Dienstleistungen benützt werden. Zudem setzt er sich für den Erhalt von Arbeitsplätzen und für die Schaffung neuer Arbeitsbereiche ein und bekämpft damit regionale Armut in den Destinationen.<sup>18</sup>

### 2.2.3. Die gesellschaftliche Dimension

Zum einen befasst sich die gesellschaftliche Ebene mit dem Erleben und Vermitteln der „echten Kultur“ der Destination mit dem Ziel, den Tourismus darin zu integrieren und nicht umgekehrt. Familiäre Traditionen und Riten sollen auch ohne touristische Schau-Bräuche stattfinden können.<sup>19</sup> Zum anderen sollen eine gleichwertige Einkommensverteilung in der lokalen Bevölkerung und faire Arbeitsbedingungen herrschen und die Gesundheit und Sicherheit der Mitarbeitenden gewährleistet sein. Dazu soll klar und transparent kommuniziert sowie Gastfreundschaft authentisch und herzlich gelebt werden.<sup>20</sup>

---

<sup>16</sup> Baumgartner, Christian: Nachhaltigkeit im Tourismus: von 10 Jahren Umsetzungsversuchen zu einem Bewertungssystem, Innsbruck 2008, S. 31.

<sup>17</sup> Schweizer Tourismus-Verband: Nachhaltige Entwicklung im Schweizer Tourismus, 2025.

<sup>18</sup> Ebd.

<sup>19</sup> Baumgartner: Nachhaltigkeit im Tourismus, 2008. S. 33.

<sup>20</sup> Schweizer Tourismus-Verband: Nachhaltige Entwicklung im Schweizer Tourismus, 2025.

## 3. Systemdynamik

### 3.1. Von der Linearität zur dynamischen Komplexität

Über Jahrtausende lebte unsere Spezies in kleinen, lokal begrenzten Gruppen, lernte überwiegend durch direkte Erfahrungen und übte nur geringen Einfluss auf ihre natürliche und soziale Umwelt aus. Im Laufe der Evolution passte sich das menschliche Gehirn daran an, auf Naheliegenderes, Kurzfristiges und Unmittelbares zu reagieren, wobei es Veränderungen primär als langsam und linear wahrnahm. Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge wurden als Erklärung vieler Probleme und Tatsachen der Naturwissenschaften gesehen.<sup>21</sup> In einer komplexen Welt wie der heutigen erweist sich lineares Denken zunehmend als unzureichend. Prozesse sind nämlich sehr oft der Ausdruck systemischer Strukturen, deren Elemente miteinander in Wechselwirkung agieren. Wie im Buch „Thinking in Systems“ von Donella H. Meadows gesagt wird, ist ein System: „Eine Ansammlung von Dingen, Menschen, Zellen, Molekülen [...], die auf eine Weise miteinander verbunden sind, so dass sie über die Zeit hinweg ein bestimmtes Verhaltensmuster erzeugen.“<sup>22</sup> Wie oftmals fälschlicherweise angenommen wird, handelt es sich bei einem System nicht um die Summe seiner Einzelteile, sondern es besteht aus Elementen, Verbindungen und einem Zweck.<sup>23</sup> Eine Stadt beispielsweise besteht aus Gebäuden, Menschen, Verkehr, Energie, Infrastrukturen, Grünflächen und vielem mehr. Sie funktioniert jedoch nicht allein nur durch diese Elemente, sondern viel eher durch Verkehrsflüsse, Energie- und Informationsnetze, wirtschaftlichen Austausch und sozialen Interaktionen. Erst dieses Zusammenspiel verleiht der Stadt ihr charakteristisches Verhalten.<sup>24</sup>

### 3.2. Herkunft und Anwendung der Systemdynamik

Im Gabler Wirtschaftslexikon wird Systemdynamik als: „Die Methodik zur Modellierung, Simulation, Analyse und Gestaltung von dynamisch-komplexen Sachverhalten in sozioökonomischen Systemen“<sup>25</sup> bezeichnet. Diese ursprünglich eher wirtschaftlich geprägte Wissenschaft wurde von Jay W. Forrester, einem US-amerikanischen Pionier der Computertechnik am Massachusetts Institute of Technology in den 1950er-Jahren entwickelt und half Führungskräften grosser Unternehmen bei Entscheidungsfindungen in Bezug auf wirtschaftliche Entwicklungen.<sup>26</sup>

---

<sup>21</sup> Raworth, Kate: Die Donut-Ökonomie: endlich ein Wirtschaftsmodell, das den Planeten nicht zerstört, München 2023, S. 156.

<sup>22</sup> Meadows, Donella H.: Thinking in systems: a primer, London 2009, S. 2.

<sup>23</sup> Ebd., S. 11.

<sup>24</sup> Open AI's Chat GPT: Beispiel dafür, dass ein System nicht aus der Summe seiner Einzelteile besteht im geografischen Bereich, 06.10.2025, <<https://chatgpt.com/de-DE>>, Stand: 06.10.2025.

<sup>25</sup> Grösser, Stefan: Definition System Dynamics, in: Gabler Wirtschaftslexikon, o. J., <<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/system-dynamics-47445>>, Stand: 02.08.2025.

<sup>26</sup> Ebd.

Heutzutage findet die Systemdynamik in einer Vielzahl von Feldern ihre Anwendung. Im Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit bietet sie wichtige Werkzeuge, um Herausforderungen besser zu verstehen, sie zu analysieren und mögliche Lösungsansätze finden zu können.

### 3.3. Systemdynamik als Sprache

Systemdynamik wird in vielen Zusammenhängen als eine zu erlernende Sprache bezeichnet, die anders als eine gesprochene Sprache nicht aus einem linear sich wiederholenden Satzbau besteht, sondern auf zirkulären und wechselseitigen Kausalitäten. Es geht dabei um die Verknüpfung verschiedener Variablen und derer Wirkung. Beispielsweise kann eine Variable  $x$  die Variable  $y$  beeinflussen, die Variable  $y$  hat umgekehrt aber auch eine Wirkung auf die Variable  $x$  und die Variable  $z$  wiederum hat einen Einfluss auf die beiden anderen Variablen.<sup>27</sup> Die Sprache basiert also nicht auf Worten, sondern auf visuellen Darstellungen wie Diagrammen, gemeinsamen Mustern und Strukturprozessen. Sie ermöglicht die Offenlegung mentaler Denkprozesse und übersetzt individuelle Problemwahrnehmungen in eine ganzheitlich visuell erkennbare Form.<sup>28</sup> Gemäss Daniel H. Kim umfasst die Theorie der Systemdynamik vier Ebenen, die zu einem tieferen Verständnis dieser neuen Sprache führen: Die geteilte Vision, die systemische Struktur, die Muster der Ereignisse und die Ereignisse selbst.<sup>29</sup> Die sichtbaren Ereignisse sind einzelne Geschehnisse, die unmittelbar wahrgenommen werden. Dazu zählen beispielsweise das Versagen einer Arbeitsmaschine oder ein Problem im allgemein beruflichen Kontext. In der Regel reagieren Menschen unmittelbar auf dieser Ebene, da sie auf akuten Herausforderungen basiert. Eine wiederholte Beobachtung identischer oder ähnlicher Ereignisse über einen längeren Zeitraum werden Muster genannt. Diese Ebene ermöglicht eine Einordnung einzelner Vorfälle in grössere Zusammenhänge. Grundlegender ist die Ebene der systemischen Struktur. Sie beschreibt die Mechanismen, Beziehungen, Regeln und Bedingungen, die für das Entstehen der Ereignisse und Muster verantwortlich sind und wird aufgrund dessen auch Ereignisgenerator genannt. Eine Analyse dieser Ebene setzt ein tieferes Verständnis von Wechselwirkungen, Rückkopplungen und systemischen Dynamiken voraus, worauf im nächsten Abschnitt eingegangen wird.<sup>30</sup> Der Antrieb der bereits genannten Ebenen bildet die geteilte Vision. Sie beinhaltet jene Werte, Grundannahmen, Ziele oder Vorstellungen, die eine Handlungsbereitschaft hervorrufen und wird als Strukturgenerator bezeichnet.<sup>31</sup>

---

<sup>27</sup> Kim, Daniel H.: Systems thinking tools: a user's reference guide, Cambridge 1995, S. 6.

<sup>28</sup> Ebd., S. 6.

<sup>29</sup> Ebd., S. 8.

<sup>30</sup> Ebd.

<sup>31</sup> Ebd.

## 3.4. Elemente der Systemdynamik

Drei wichtige Bestandteile der Systemdynamik sind Bestands- und Flie遝grössen, Rückkopplungsschleifen und Verzögerungen.<sup>32</sup> Jedoch spielen je nach Art des Modelltyps nicht alle drei eine Rolle. Bestandsgrössen (Stocks) sind Grössen, die den Systemzustand beschreiben.<sup>33</sup> Dies können Vorräte, Mengen, Ansammlungen von Material oder Informationen sein, die sich über eine Zeit hinweg angesammelt haben.<sup>34</sup> Flie遝grössen (Flows) sind diejenigen Grössen, die bei den Bestandsgrössen eine Veränderung hervorrufen können.<sup>35</sup> Beispielsweise handelt es sich dabei um das Einräumen und Aufbrauchen der Lagerbestände, Einkäufe und Verkäufe, demografische Faktoren wie Geburten und Todesfälle oder Einzahlungen und Abhebungen auf einem Bankkonto.<sup>36</sup> Verzögerungen beziehen sich meist auf Ursache-Wirkungsverzögerungen in einem System, beschreiben also die zeitliche Abweichung des Geschehens von Ursache und Wirkung.<sup>37</sup> Diese Bestandteile sind in gewissen Modellierungsarten in der Systemdynamik weit verbreitet, jedoch sind für diese Maturarbeit nur die Verzögerungen von grosser Bedeutung, weshalb nicht konkreter auf Stocks und Flows eingegangen wird. Dies weil die zusätzliche Modellierung von Stocks und Flows den Rahmen der Arbeit überschritten hätte. (vgl. Abschnitt 3.4.2)

### 3.4.1. Rückkopplungsschleifen

Die Begriffe positive und negative Rückkopplung sind aus den Naturwissenschaften bekannt. In der Systemdynamik sind Rückkopplungsschleifen oder auch Feedbackloops Kreisläufe innerhalb eines Systems, in denen sich die verschiedenen Variablen gegenseitig beeinflussen.<sup>38</sup> So wirkt sich eine Veränderung an einer Variablen auf eine zweite aus und auf die weitergehenden, so dass ein Kreislauf entsteht und dieselbe Veränderung wieder am Anfang erneut erscheint. Solche Modifikationen können verstärkend sein (positive Rückkopplungsschleifen) oder ausgleichend (negative Rückkopplungsschleifen). Zeigt ein System über längere Zeit ein gleiches Verhalten, wird dies langfristig durch Rückkopplungseffekte stabilisiert.<sup>39</sup>

*„Systems of information-feedback control are fundamental to all life and human endeavor, from the slow pace of biological evolution to the launching of the latest space satellite...Everything we do as individuals, as an industry, or as a society is done in the context of an information-feedback system.“<sup>40</sup>*

*(Jay W. Forrester)*

<sup>32</sup> Raworth: Die Donut-Ökonomie, 2023, S. 164.

<sup>33</sup> Grösser: Definition System Dynamics, o. J.

<sup>34</sup> Meadows: Thinking in systems, 2009, S. 17.

<sup>35</sup> Ebd., S. 18.

<sup>36</sup> Ebd.

<sup>37</sup> Grösser: Definition System Dynamics, o. J.

<sup>38</sup> Ebd.

<sup>39</sup> Meadows: Thinking in systems, 2009, S. 25.

<sup>40</sup> Ebd.

### 3.4.1.1. Positive Rückkopplungsschleifen (Reinforcing Loops)

Positive Rückkopplungen sind Kreisläufe, die verstärkend wirken und sich selbst vervielfachen. Wächst eine Variable, so verstärkt sie diesen Anstieg, was zu einem weiteren Wachstum führt und umgekehrt. Je mehr vorhanden ist, desto mehr wird hinzugefügt. Je weniger vorhanden ist, desto weniger wird hinzugefügt. Es handelt sich also um ein exponentielles Wachstum oder einen exponentiellen Zerfall und endet häufig in einer Aufwärts- oder Abwärtsspirale, bei denen die Verstärkung des Systems in jedem Fall gewährleistet ist. In einem systemdynamischen Diagramm wird diese Art von Rückkopplung mit einem grossen R bezeichnet.<sup>41</sup>

Ein gutes Beispiel dafür ist der Gletscherrückzug. Schmelzen Gletscher aufgrund steigender Temperaturen, so gelangt das Schmelzwasser in Flusssysteme. Dieser Anteil des zusätzlichen Wassers lässt die Abflussmenge steigen und es entstehen dadurch stärkere Erosionen in Flussbetten und an Gletscherzungen. Auswaschungen, Abnutzungen und Risse, die dadurch auftreten, destabilisieren den Gletscherkörper zusätzlich. Es kann dazu führen, dass der Rückgang eines Gletschers noch mehr beschleunigt wird. Dies führt wieder zu mehr Schmelzwasser. Die so entstehende Rückkopplung verstärkt sich selbst also stetig. Je mehr Gletscher-Eis schmilzt, desto rasanter läuft der Schmelzprozess insgesamt ab.<sup>42</sup>

### 3.4.1.2. Negative Rückkopplungsschleifen (Balancing Loops)

Negative Rückkopplungen sind Kreisläufe, die abschwächend wirken und ein Gleichgewicht herstellen. Sie sorgt dafür, dass ein bestimmter Wert innerhalb des Systems nicht zu hoch und nicht zu niedrig wird, indem die Schleife bei einer Erhöhung anhand anderer Variablen versucht, sie wieder zu senken und umgekehrt. Eine Veränderung eines Wertes löst also eine Reaktion aus, die dieser Modifikation wieder entgegenwirkt. In einem systemdynamischen Diagramm bezeichnet man diese Art von Rückkopplung mit einem grossen B.<sup>43</sup>

Ein gutes Beispiel einer solchen Schleife lässt sich im Zusammenhang zwischen steigenden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen und dem Pflanzenwachstum erkennen. Mehr CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre bedeutet, dass die Pflanzen dieses vermehrt für ihre Fotosynthese nutzen. Die Pflanzen wachsen schneller. Man bezeichnet dies auch als CO<sub>2</sub>-Düngung. Wiederum führt aber das starke Wachstum der Pflanzen zu einer vermehrten Bindung von CO<sub>2</sub>. Pflanzen sind nämlich in der Lage CO<sub>2</sub> zu binden und es so in der Biomasse oder in Böden zu speichern.<sup>44</sup>

---

<sup>41</sup> Meadows: Thinking in systems, 2009, S. 32.

<sup>42</sup> Open AI's Chat GPT: Beispiel für eine positive Rückkopplungsschleife im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit und Geografie, 15.09.2025, <<https://chatgpt.com/c/68c8500e-a17c-832a-a1fb-689e5573fcf4>>, Stand: 15.09.2025.

<sup>43</sup> Meadows: Thinking in systems, 2009, S. 28.

<sup>44</sup> Open AI's Chat GPT: Beispiele für eine negative Rückkopplungsschleife im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit und Geografie, 15.09.2025, <<https://chatgpt.com/?locale=de-DE>>, Stand: 15.09.2025.

Dadurch kann der Anstieg des CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre teilweise abgeschwächt werden. Das System reguliert sich also selbst durch die Reaktion der Pflanzen auf den hohen CO<sub>2</sub>-Gehalt.<sup>45</sup> Die Rückkopplungsschleifen sind für das folgende Modell von grosser Bedeutung.

### 3.4.2. Kausalschleifendiagramm (CLD)

Es werden drei verschiedene Modellklassen unterschieden: Strukturbezogene Modelle (Structural Thinking Tools), Computergestützte Modelle (Computer-Based Tools) und Dynamische Modelle (Dynamic Thinking Tools).<sup>46</sup> Diese Arbeit befasst sich mit den dynamischen Tools, zu denen die Kausalschleifendiagramme (CLD) gehören. Diese dienen dazu, dynamische Rückkopplungen innerhalb eines Systems sichtbar zu machen. Sie bestehen aus Variablen oder auch Knoten genannt, deren kausalen Verbindungen und den dazugehörigen Rückkopplungen.<sup>47</sup> Dabei handelt es sich um ein qualitatives Diagramm, das keine exakten Zahlenwerte verwendet, sondern kausale Wechselwirkungen auf konzeptioneller Ebene abbildet. Verbindungen zeigen auf, wie Veränderungen der einen Variablen andere des Systems beeinflussen können. Sie werden durch Pfeile dargestellt, die die Richtung des Einflusses angeben und als kausale Zusammenhänge dienen.<sup>48</sup> Die Vorzeichen Plus und Minus an den Pfeilen signalisieren die Wirkungsrichtung. Ein Plus bedeutet, dass sich die Zielgrösse in die gleiche Richtung wie die Ausgangsgrösse verändert, ein Minus zeigt die entgegengesetzte Wirkung an.<sup>49</sup> Dies wird häufig auch als durchgezogene Linie für ein Plus und als gestrichelte Linie für ein Minus dargestellt oder mit dem kleinen Buchstaben s für „same“ und dem kleinen Buchstaben o für „opposite“. So kann identifiziert werden, ob zwei Variablen gegenseitig verstärkend wirken oder sich abschwächen. Für die Erstellung solcher Diagramme werden Literaturrecherchen, Behavior Over Time Diagramms (BOTs) oder bereits vorhandene Statistiken verwendet, welche zeitliche Entwicklungen verschiedener Variablen aufzeigen. Die Behavior Over Time Diagramms dienen oftmals als lineare Vorlagen für ein systemisches Kausalschleifendiagramm.<sup>50</sup>

---

<sup>45</sup> Open AI's Chat GPT: Beispiele für eine negative Rückkopplungsschleife im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit und Geografie, 15.09.2025.

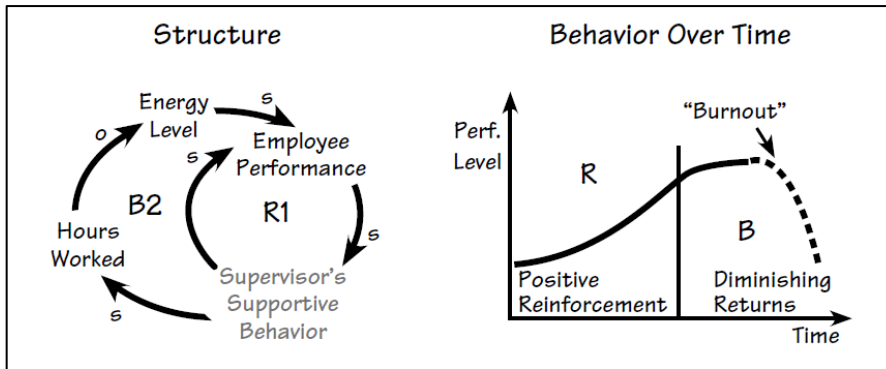
<sup>46</sup> Kim: Systems thinking tools, 1995, S. 10.

<sup>47</sup> Cuofano, Gennaro: Kausalschleifendiagramm auf den Punkt gebracht, in: FourWeekMBA, 01.04.2024, <<https://fourweekmba.com/de/Kausalschleifendiagramm/>>, Stand: 05.08.2025.

<sup>48</sup> Ebd.

<sup>49</sup> Ebd.

<sup>50</sup> Kim: Systems thinking tools, 1995, S. 10.



Am Anfang sorgt eine unterstützende Haltung des Vorgesetzten für eine verstärkende Rückkopplung: Bessere Leistung führt zu noch mehr Unterstützung und damit zu weiterem Leistungsanstieg. Mit der Zeit führt jedoch mehr Arbeit zu sinkender Energie, wodurch eine ausgleichende Schleife einsetzt. Diese bremst die Leistungssteigerung und kann bei Überlastung sogar zu einem Burnout führen.

Abbildung 3: Beispiel eines Kausalschleifendiagramms mit zugehörigem Behavior over Time Diagramm. Quelle: Kim, Daniel H: *Systems thinking tools: a user's reference guide*, Cambridge 1995, S. 15.

### 3.5. Systemdynamische Fragestellungen

Da in die Wissenschaft der Systemdynamik eingeführt wurde, können auch die spezifischen Fragestellungen für diese Methode formuliert werden. Diese knüpfen an die zuvor in der Einleitung im Kapitel 1.3 allgemein formulierten Zielsetzungen und Fragestellungen und richten den Blick auf die dynamischen Zusammenhänge:

1. Welche Rückkopplungsschleifen entstehen bei der kausalen Verknüpfung der beiden Variablen „technische Beschneidung“ und „Anzahl Tourist: innen pro Wintersaison“ in einem Kausalschleifendiagramm und welche Abhängigkeiten lassen sich erkennen und ableiten?
2. Inwiefern ist es möglich, mit der Systemdynamik die Dimensionen des nachhaltigen Tourismus anhand von Rückkopplungsschleifen aufzuzeigen?
3. Welche systemdynamischen Archetypen lassen sich aus dem Modell bestimmen und was bedeutet das für die technische Beschneidung als Adaptionstrategie an den Klimawandel?
4. Inwiefern ist das entwickelte Modell auf die aktuellen Praktiken der technischen Beschneidung in der Schweiz anwendbar?
5. Können alternative oder moderne Methoden die im Modell dargestellten Zusammenhänge verändern oder sogar in Frage stellen?

Die Fragen 1 bis 3 werden bereits während der Modellbeschreibung in Kapitel 4 beantwortet. Die Fragen 4 und 5 sind zusammen mit den allgemeinen Fragestellungen Bestandteil der Diskussion in Kapitel 6.



## 4.2. Vorgehen bei der Modellierung

Folgende systemdynamische Richtlinien aus dem Toolkit „Systems Thinking Tools, A User’s Reference Guide“ von Daniel H. Kim und lernreiche Gespräche mit Birgit Kopainsky halfen bei der Erstellung des Modells:

1. **Wahl der Variablen:** Für die Wahl der Variablen ist es wichtig, dass es sich um veränderbare Grössen handelt, die sich mit der Zeit weiterentwickeln können, wenn möglich immer eine positive Form als Variablennamen gewählt wird und es sich um Substantive handelt.
2. **Verbindung der Variablen:** Wirkungszusammenhänge werden mit Pfeilen zwischen den entsprechenden Variablen dargestellt. Als Namen dafür wählt man adäquate Verben. Die Pfeilrichtung gibt die Wirkungsrichtung an, das heisst die Pfeilspitze zeigt auf die beeinflusste Variable.
3. **Richtungen der Schleifen:** Bei den Rückkopplungsschleifen muss beachtet werden, dass diese immer in mehrere Richtungen wirken können. Es geht dabei um die Funktion des Modells und um die gezielte Fragestellung, die ein Modell beantworten soll.
4. **Eingrenzung des Modells:** Ein zusätzlich wichtiges Merkmal ist die Eingrenzung des Modells. Dabei gilt es sorgfältig zu prüfen, ob eine Erweiterung des Modells einen inhaltlichen Mehrwert bietet und zur Beobachtung der Fragestellung beiträgt.

(Quelle der Aufzählung)<sup>51</sup>

### 4.2.1. Die Variablen

Insgesamt besteht das Modell aus 21 verschiedenen Variablen. Diese sind teilweise selbsterklärend. Sie wurden beim Modellprozess jedoch selbst bestimmt und definiert und der Verständlichkeit halber werden sie im Folgenden erklärt:

1. **Anzahl Tourist: innen pro Wintersaison:** Bezeichnet die Gesamtanzahl der Gäste, die während der Wintersaison die Wintersportdestination besuchen und / oder dort verweilen.
2. **Technische Beschneigung:** Umfasst den künstlichen Einsatz der Schneeproduktion in Schweizer Skigebieten.
3. **Kosten:** Bezieht sich auf die Ausgaben, die für die Technologie der technischen Beschneigung aufgewendet wird.
4. **Preis:** Gibt an, zu welchem Tarif touristische Leistungen im Wintersportgebiet angeboten werden. (Zum Beispiel: Wintersport-Tickets)

---

<sup>51</sup> Kim: Systems thinking tools, 1995, S. 19.

5. **Zahlungsbereitschaft der Tourist: innen:** Beschreibt, welchen Preis die Gäste bereit sind zu zahlen, um touristische Angebote zu erhalten.
6. **Arbeitsplätze im Tourismus:** Bezieht sich auf die Beschäftigungsmöglichkeiten, die direkt durch den Tourismus entstehen.
7. **Arbeitsplätze generell:** Umfasst das gesamte regionale Beschäftigungsniveau. Es umfasst sowohl touristische als auch nicht-touristische Arbeitsplätze.
8. **Attraktivität der Region für die lokale Bevölkerung:** Gibt an, inwiefern die Region für Einheimische als lebenswerter und wirtschaftlich stabiler Wohn- und Arbeitsort wahrgenommen wird.
9. **Lokale Bevölkerung:** Bezeichnet die in der Region wohnhaften Personen.
10. **Wasser- und Energieverbrauch:** Umfasst die Menge an Wasser- und Energie, die für die technische Beschneigung direkt und indirekt verwendet wird.
11. **Emissionen CO<sub>2</sub>:** Bezieht sich auf die Treibhausgasemissionen, die durch die technische Beschneigung direkt oder indirekt entstehen.
12. **Durchschnittstemperatur im Winter:** Gibt die mittlere Temperatur während der Wintersaison an und ist ein entscheidender klimatischer Faktor für die Schneebildung.
13. **Schneesicherheit:** Beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass während der Schneesport-saison genügend Schnee für die touristischen Aktivitäten vorhanden ist.
14. **Ressourcendruck:** Bezeichnet die Belastung natürlicher Ressourcen, die direkt und indirekt durch die technische Bescheigung entsteht.
15. **Saisonlänge:** Gibt die Dauer der Wintersportsaison an, in der touristische Aktivitäten wie Skifahren möglich sind.
16. **Infrastruktur und Landschaftsbild:** Bezieht sich auf die bauliche Gestaltung und die Anlagen eines Gebiets, die durch die technische Beschneigung nötig werden und deren Einfluss auf das ästhetische Erscheinungsbild der Landschaft.
17. **Naturtouristische Motivation:** Beschreibt das zentrale naturbezogene Reisemotiv, das auf dem Wunsch nach dem Erleben einer intakten Naturlandschaft basiert.
18. **Subjektive touristische Wahrnehmung:** Erfasst, wie die Gäste die Qualität, Schönheit und Attraktivität des Gebietes wahrnehmen.
19. **Bodenschutz:** Beschreibt Massnahmen, die den Boden vor den Auswirkungen touristischer Winteraktivitäten schützen.
20. **Isolation des Bodens:** Beschreibt die Isolation des Bodens durch eine Schneedecke.
21. **Dichte der Schneedecke:** Gibt die Dicke und das Gewicht des Schnees an.

**In meinem Modell wurden die Richtlinien folgendermassen umgesetzt:**

Bei der Erstellung des Modells habe ich zunächst die technische Beschneigung und die Anzahl Tourist: innen pro Wintersaison als Startvariablen definiert. Von diesen Ausgangsgrössen ausgehend, wurden von mir schrittweise weitere Variablen hinzugefügt, die in einem direkten oder indirekten Zusammenhang mit ihnen stehen. Dabei galt zu beachten, dass die oben genannten Regeln grösstenteils eingehalten werden. Ausnahmen bilden die Attraktivität der Region für die lokale Bevölkerung, die naturtouristische Motivation und die subjektive touristische Wahrnehmung. Obwohl diese Variablen nicht direkt messbare Grössen widerspiegeln, sind sie für die Beantwortung der Fragestellungen und den nachhaltigen Tourismus zentral, weil sie vor allem auf gesellschaftlicher Ebene sehr aussagekräftig sind. Die zweite Richtlinie der Verbindungen der Variablen erfolgte bei mir gedanklich. Ich habe vor dem Zeichnen einer Verbindung die passenden Verben für den jeweiligen Wirkungszusammenhang bestimmt. Die Eingrenzung in meiner Arbeit war sehr wichtig. Dafür legte ich vor der Modellierung den Fokus konkret auf den Wintertourismus. Zudem habe ich klare Grenzen gesetzt, bei deren Erreichung das Modell als fertiggestellt gilt: Sobald anhand der Rückkopplungsschleifen und Verbindungen alle drei Ebenen des nachhaltigen Tourismus in mindestens einem Aspekt aufgeführt werden konnte und es fähig ist, meine Fragestellungen der Arbeit zu beantworten, betrachte ich es als abgeschlossen.

#### 4.2.2. Verbindung der Anzahl Tourist: innen und der Beschneigung

Die erste und wichtigste Verbindung erfolgte zu Beginn zwischen den zwei Variablen „Anzahl Tourist: innen“ und „technische Beschneigung.“ Diese Verbindung ist Bestandteil von fast allen Rückkopplungsschleifen, die anschliessend präsentiert werden. Bei genauem Hinschauen zeigt sich, dass allein diese Variablen grundsätzlich in zwei Richtungen miteinander verknüpft werden können. Einerseits kann eine zunehmende technische Beschneigung zu mehr Tourist: innen führen, da dadurch Schneesicherheit garantiert wird. Andererseits kann aber auch eine steigende Anzahl Tourist: innen den Druck auf Destinationen erhöhen, die Schneesicherheit durch technische Verfahren zu gewährleisten. Ich habe mich bewusst zu Beginn des Modellierens für Letzteres entschieden, da durch diese Richtung den nachfragegetriebenen Charakter des Systems besser widerspiegelt wird. Die Beschneigung wird nicht nur als Ursache touristischen Wachstums verstanden, sondern auch als reaktive Anpassung an die steigende Nachfrage und wirtschaftliche Erwartungen an den Wintertourismus.

## 4.3. Die Rückkopplungsschleifen

Im Kapitel 4.3 werden die einzelnen sechs Rückkopplungsschleifen des Modells veranschaulicht und analysiert. Dazu dienen jeweils erklärende Theorie-Abschnitte zum Grundverständnis und eine systemdynamische Betrachtung als Erklärung der Verbindungen und Kausalitäten. Die Abschnitte der systemdynamischen Betrachtungen beinhalten keine Fussnoten, da sie theoriebezogene Erklärungen auf die systemische Ebene übertragen und die eigenen Überlegungen im Modellierungsprozess widerspiegeln. Die Quellen dafür sind das Modell sowie die darüberstehenden Theorie-Abschnitte.

### 4.3.1. R1: Technische Beschneigung als Adaption

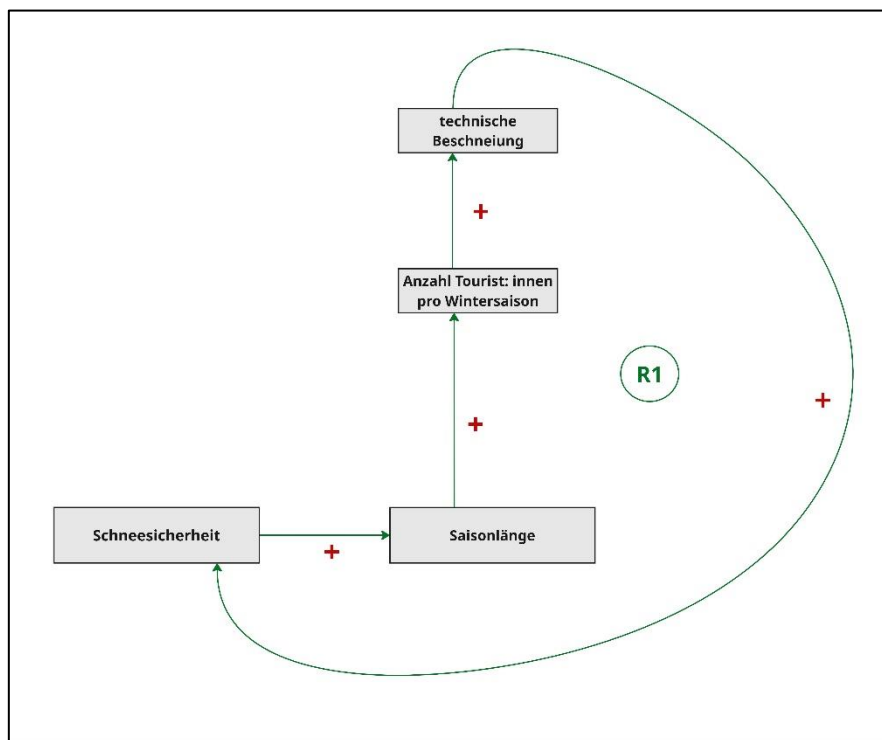


Abbildung 5: Rückkopplungsschleife R1: Technische Beschneigung als Adaption an den Klimawandel. Quelle: Eigene Erstellung in Miro.

#### 4.3.1.1. Klimatische Bedingungen

Die Alpen sind aufgrund ihrer Höhe besonders vom Klimawandel betroffen. Die Zunahme der Temperatur ist stark abhängig von der Menge an Treibhausgasen in der Atmosphäre.<sup>52</sup>

<sup>52</sup> National Centre for Climate Services: Klimaszenarien CH2018 Alpen, in: Schweizerische Eidgenossenschaft, 22.12.2021, <<https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/regionen/grossregionen/alpen/klimaszenarien-ch2018-alpen.html>>, Stand: 17.08.2025.

Einschätzungen über den weiteren Verlauf des Klimawandels werden anhand der RCP-Szenarien (Representative Concentration Pathways) gebildet. Diese legen fest, wie die Entwicklung der Treibhausgas- und Aerosolkonzentration verlaufen muss, damit ein bestimmtes Klimaziel erreicht wird. Es gibt verschiedene dieser Szenarien, welche alle indirekt von politischen Entscheidungen, dem Bevölkerungswachstum und technologischen Fortschritten abhängig sind. Das Szenario RCP2.6 beschreibt den positivsten Pfad, bei dem die internationale Gemeinschaft fähig ist, eine substanzielle Emissionsreduktion umzusetzen. Dabei würde der Strahlungsantrieb bis ins Jahr 2100 bei 2.6 Watt pro Quadratmeter liegen.<sup>53</sup>

Dem gegenüber liegt das RCP8.5, welches einen Verlauf wie bisher darstellt. Hier steigt der Strahlungsantrieb am Ende des Jahrhunderts auf 8.5 Watt pro Quadratmeter. Dazwischen gibt es das RCP4.5 Szenario, welches eine Eindämmung des Ausstosses von Treibhausgasen aufzeigt, jedoch der Gehalt in der Atmosphäre für weitere 50 Jahre ansteigen wird.<sup>54</sup>

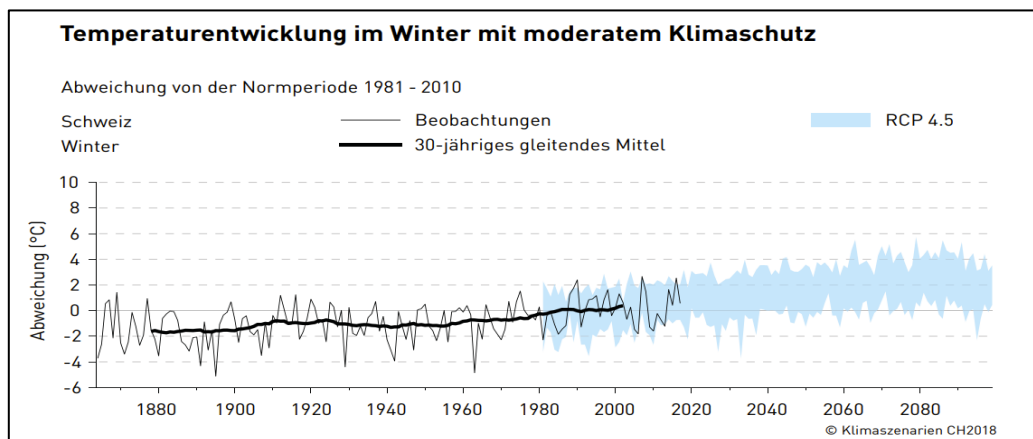


Abbildung 6: Temperaturentwicklung im Winter mit moderatem Klimaschutz.

Quelle: Prof. Dr. Knutti und Seilbahnen Schweiz: Klimaszenarien im Winter 2050 für die Schweiz, Bern 2024, S. 7.

Die Seilbahnen Schweiz haben im November 2024 ein Faktenblatt zu Klimaszenarien im Winter entworfen, das die Temperaturentwicklung anhand der verschiedenen RCP-Szenarien aufgezeigt. Wie auf der Abbildung 6 zu erkennen, werden die Temperaturen im RCP4.5-Szenario bis Mitte des Jahrhunderts weiter ansteigen. In den kommenden Wintern ist mit einem durchschnittlichen Temperaturanstieg von circa 1 Grad Celsius im Vergleich zu den letzten Jahren zu rechnen. Gegenüber der Klimanorm 1981 – 2010 entspricht dies einer Zunahme von 1.7 Grad Celsius. Gemäss den Seilbahnen Schweiz sei dieser Trend aber von natürlichen Schwankungen überlagert, deshalb ist mit einer Unsicherheit von plus minus 0.5 Grad Celsius zu rechnen.<sup>55</sup>

<sup>53</sup> National Centre for Climate Services: Was sind Emissionsszenarien?, in: Schweizerische Eidgenossenschaft, 01.03.2019, <<https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/grundlagen-zum-klima/was-sind-emissionsszenarien-.html>>, Stand: 17.08.2025.

<sup>54</sup> Ebd.

<sup>55</sup> Seilbahnen Schweiz: Faktenblatt Klimaszenarien Winter 2050 für die Schweiz, Bern 2024, S. 7.

Eine solche Temperaturveränderung im Winter beeinflusst mehrere Faktoren: Die Nullgradgrenze, den Niederschlag, die Schneedecke und die Anzahl Frost- und Eistage.<sup>56</sup>

Gemäss Seilbahnen Schweiz befand sich die Nullgradgrenze im November 2024 auf circa 1000 Meter über Meer und wird bis ins Jahr 2050 weiter ansteigen. Bei einem RCP8.5 Szenario ohne Klimaschutz wird mit einem Anstieg von 300 Metern in den nächsten 25 – 30 Jahren gerechnet.<sup>57</sup>

Zudem wird die natürliche Schneedecke um 10 – 30 Prozent abnehmen bis im Jahr 2050.<sup>58</sup> Diese Auswirkungen werden vor allem in tiefen und mittleren Lagen bis circa 1500 Meter über Meer spürbar sein, dort ist die Schneefallgrenze heutzutage häufig erreicht oder sogar unterschritten. Höhere Lagen ab 2000 Meter über Meer sind weniger betroffen. Die Verluste zeigen sich vor allem im Frühwinter (Dezember) und im Frühling (März). Daraus lässt sich also schliessen, dass die Schneesportsaison eines Gebietes später beginnen und früher enden wird.<sup>59</sup>

Anhand von Klimamodellen wird zudem eine Zunahme des Niederschlags von 0 – 17 Prozent in der Periode Dezember bis Februar vorausgesagt. Starke Regenschauer können in Zukunft vermehrt vorkommen. Es kann beim Niederschlag jedoch zu deutlich grösseren Abweichungen kommen als bei der Temperaturentwicklung. Mehr Niederschlag in den Alpen wäre grundsätzlich nicht das Hauptproblem, doch in Kombination mit der steigenden Temperatur ist es durchaus problematisch, weil dann Regen anstatt Schnee fällt.<sup>60</sup>

Ob Schnee oder Regen fällt ist abhängig von der Anzahl Frosttagen. Ein Frosttag bezeichnet einen Tag, an dem die Minimaltemperatur unter 0 Grad Celsius liegt. Gemäss dem NCCS machen heutzutage oberhalb von 1500 Meter über Meer Frosttage mehr als die Hälfte der Tage in einem Jahr aus und über 2500 Meter über Meer drei Viertel. Das entspricht etwa 90 Frosttagen in den tiefsten Lagen. Mit einem RCP8.5 Szenario wird die Anzahl der Frosttage bis zur Mitte des Jahrhunderts in tiefen Lagen auf circa 60 pro Jahr sinken. Im positivsten Fall RCP2.6 würden im Schnitt 75 Frosttage in tieferen Regionen erhalten bleiben.<sup>61</sup>

---

<sup>56</sup> Seilbahnen Schweiz: Faktenblatt Klimaszenarien Winter 2050 für die Schweiz, 2024, S. 3.

<sup>57</sup> Ebd., S. 7.

<sup>58</sup> Ebd., S. 3.

<sup>59</sup> Seilbahnen Schweiz: Faktenblatt Klimaszenarien Winter 2050 für die Schweiz, 2024., S. 11.

<sup>60</sup> National Centre for Climate Services: Klimaszenarien CH2018 Alpen. 2021.

<sup>61</sup> National Centre for Climate Services: Höhenabhängige Veränderungen, in: Schweizerische Eidgenossenschaft, 11.12.2018, <<https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/regionen/grossregionen/alpen/klimaszenarien-ch2018-alpen/hoehenabhaengige-veraenderungen.html>>, Stand: 18.08.2025.

#### 4.3.1.2. *Anpassung an den Klimawandel durch technische Beschneigung*

Das Höherlegen von Pisten und die technische Beschneigung gilt als effiziente Lösung für Schweizer Skigebiete, um das Ausbleiben des natürlichen Schneefalls und die Folgen des Klimawandels auszugleichen. Zudem führen der wachsende Konkurrenzdruck zwischen den Destinationen sowie steigende Erwartungen der Tourist: innen dazu, dass in den Alpen vermehrt Beschneiungsanlagen in Betrieb genommen werden.<sup>62</sup>

Gemäss des Schlussberichts des Bundesamtes für Energie (BFE) und den Seilbahnen Schweiz (SBS) vom Jahr 2009 besitzt die Schweiz 8000 Kilometer präparierte Skipisten.<sup>63</sup> Dies entspricht etwa der Luftlinie von Zürich nach Miami.<sup>64</sup> Im Jahr 1990 waren rund 1 Prozent der Pisten technisch beschneibar, heute sind es mehr als 54 Prozent.<sup>65</sup>

#### 4.3.1.3. *Beliebtheit der Destination anhand der Schneesicherheit*

In der Studie „Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneigung“ von der Schnee- und Lawinenforschung Schweiz wird gesagt: „Eine zum Wintersport treiben genügende Schneedecke ist auf der Angebotsseite sehr wichtig, wird aber wahrscheinlich von der Nachfrageseite her bis zu einem gewissen Grad als selbstverständlich angeschaut. [...] Etwa 30% der Befragten würden nicht mehr anreisen oder in eine andere Destination ausweichen, falls das Schneeangebot für den Wintersport nicht ausreichen sollte.“<sup>66</sup> Das bedeutet, dass die Anzahl Tourist: innen im Winter pro Saison also stark abhängig ist von der Schneesicherheit. Dies wiederum erklärt auch nochmals die Verbindung der Anzahl Tourist: innen und der technischen Beschneigung in Kapitel 4.2.2.

#### 4.3.1.4. *Systemdynamische Betrachtung*

Der Loop R1 zeigt eine positive Rückkopplungsschleife. Anhand dieser Rückkopplungsschleife wird die Adaption des Klimawandels durch die technische Schneeerzeugung dargestellt. Der Klimawandel ist der Auslöser für die Zunahme der technischen Beschneigung. Wird mehr Schnee künstlich erzeugt, so steigt auch die Schneesicherheit. Durch diese Garantie ist es möglich, ein Gebiet zu Beginn des Winters bis Anfang des Frühlings stabil zu halten und den Gästen eine längere Saisondauer zu gewährleisten.

---

<sup>62</sup> Teich, Michaela; Lardelli, Corina; Bebi, Peter; Gallati, David; Kytzia, Susanne; Pohl, Mandy; Pütz, Marco; Rixen, Christian: Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneigung, Schlussbericht, Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos 2007, S. 7.

<sup>63</sup> Schweizerische Eidgenossenschaft; Bundesamt für Energie; Seilbahnen Schweiz: Energetische Bedeutung der technischen Pistenbeschneigung und Potentiale für Energieoptimierungen, Schlussbericht, Ittigen 2009, S. 3.

<sup>64</sup> Entfernungsrechner: Entfernung Zuerich > Miami, FL, USA - Luftlinie, Fahrstrecke, Mittelpunkt, o. J., <<https://www.luftlinie.org/Zuerich/Miami,FL,USA>>, Stand: 18.08.2025.

<sup>65</sup> Schwab, Nico: Technische Beschneigung - Kunstschnee, 2023.

<sup>66</sup> Teich et al.: Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneigung, 2007, S. 67.

Steigt diese, so gibt es über die ganze Saison verteilt mehr Tourist: innen und eine hohe Besucherzahl führt wiederum zur Notwendigkeit der technischen Beschneigung. Alle Variablen beeinflussen sich im Zusammenhang „Je mehr, desto mehr“, was typisch ist für eine Aufwärtsspirale. Die Variablen verstärken sich nämlich gegenseitig. Die Schleife zeigt die allgemeine Adaption an den Klimawandel auf, dient also als sehr zentrale und grundlegende Schleife.

#### 4.3.2. B2: Ressourcendruck und touristisches Motiv

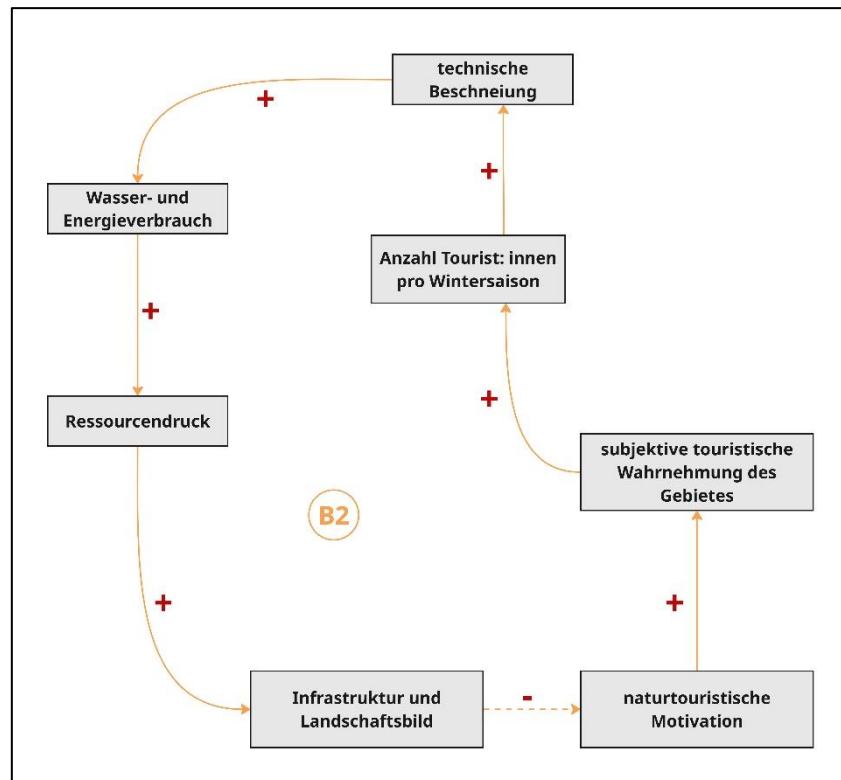


Abbildung 7: Rückkopplungsschleife B2: Ressourcendruck und touristisches Motiv.  
Quelle: Eigene Erstellung in Miro.

##### 4.3.2.1. Methoden der technischen Schneeerzeugung

Heutzutage kommt vorwiegend die Beschneigungstechnik mit Düsen zum Einsatz. Dabei wird zwischen der Niederdrucktechnik (vorwiegend Propelleranlagen) und der Hochdrucktechnik (vorwiegend Lanzenanlagen) unterschieden. Bei Propelleranlagen strömt die Umgebungsluft angetrieben von einem Ventilator durch einen grossen Zylinder. Am Austritt des Zylinders wird Wasser über mehrere feine Düsen in den Luftstrom gesprüht.<sup>67</sup> Zusätzlich wird über feinere Düsen ein Druck-Luft-Wasser-Gemisch eingespritzt, welches mikroskopisch feine Tröpfchen bildet. Diese gefrieren sofort an der Luft und dienen als Gefrierkeime für die grösseren Wassertropfen.<sup>68</sup>

<sup>67</sup> Schweizerische Eidgenossenschaft et al.: Energetische Bedeutung der technischen Pistenbeschneigung und Potentiale für Energieoptimierungen, 2009, S. 5.

<sup>68</sup> Institut für Schnee- und Lawinenforschung: Technischer Schnee, o. J., <<https://www.slf.ch/de/schnee/schneesport/schnee-und-ressourcenmanagement/technischer-schnee/>>, Stand: 11.08.2025.

Das bedeutet, dass sich die grösseren Tröpfchen an den kleinen anlagern können. Der Wasserdruck bleibt dabei niedrig. Diese Technologie ermöglicht es, auch bei Temperaturen knapp unter 0 Grad Celsius Schnee zu erzeugen, wodurch Gebiete selbst bei ungünstigen natürlichen Bedingungen eine zuverlässige Schneedecke gewährleisten und so den Betrieb aufrechterhalten können.<sup>69</sup>



Abbildung 8: Propelleranlagen mit Niederdrucktechnik.

Quelle: links: Stünzi, Misha, in: Tagesanzeiger, <https://cdn.univcms.io/images/3bJy6HYVqZYBz0fuFNd0fB.jpg>.  
rechts: Wikipedia: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d1/Schneekanone.jpg>.

Bei der Hochdrucktechnik erfolgt der Wasseraustritt unter höherem Druck. Früher waren solche Hochdrucksysteme bodennah installiert, was sehr viel Druckluft benötigte, da die Flugzeit der Wassertropfen zu kurz war. Heutzutage sind Lanzen in grösserer Fallhöhe montiert, sodass wenig bis gar keine Druckluft mehr nötig ist, da die Flugzeit verlängert wird und der Schnee besser gefrieren kann.<sup>70</sup>



Abbildung 9: Lanzenanlagen mit Hochdrucktechnik

Quelle: Tagesanzeiger: <https://cdn.univcms.io/images/7hdl3Pm-K2hAJzfkLjJ34A.jpg?op=ocroped&val=1920,1441,1000,1000,0,0&sum=L1JlgMvzluw>.

<sup>69</sup> Institut für Schnee- und Lawinenforschung: Technischer Schnee, o. J.

<sup>70</sup> Schweizerische Eidgenossenschaft et al.: Energetische Bedeutung der technischen Pistenbeschneigung und Potentiale für Energieoptimierungen, 2009, S. 34.

Das Weihnachtsgeschäft bis zum Jahreswechsel erfasst in Wintersportgebieten bereits einen erheblichen Anteil des Umsatzes. Aus diesem Grund ist eine ausreichende Schneedecke vor Beginn der Weihnachtsferien von zentraler Bedeutung. Die technische Beschneigung beginnt somit so früh als möglich, in der Regel ab dem 1. November. Dies aber nur, sofern die gesetzlichen Vorgaben erfüllt sind und der Boden gefroren ist. Normalerweise wird dann während circa 10 – 14 Stunden am Tag beschneit. Im Februar und März wird bei Bedarf nachbeschneit.<sup>71</sup>

#### 4.3.2.2. *Wasser- und Energieverbrauch und Ressourcendruck*

Trotz neuer Forschungen zur Optimierung der technischen Beschneigung und energieärmeren Methoden, ist die Herstellung von Kunstschnee in der Schweiz stets energie- und wassertechnisch aufwändig.<sup>72</sup> Genaue quantitative Einschätzungen des Energieverbrauchs sind schwierig zu treffen, doch gemäss Angaben der Seilbahnen Schweiz wird der Wert auf rund 65 Gigawattstunden Strom pro Wintersaison für alle Pisten in der Schweiz geschätzt, was vergleichbar ist mit der Hälfte des täglichen Strombedarfs in der Schweiz.<sup>73</sup> Zudem benötigt es pro Saison circa 13 Milliarden Liter Wasser.<sup>74</sup> Dabei sind die beiden Prozesse des Wassertransports und des Gefrierens am energiereichsten. Das Wasser wird zunehmend aus künstlichen Speicherseen entnommen, die sich in höheren Regionen befinden und sich aufgrund dessen natürlich füllen und der Wassertransport energiearm bleibt. Häufig jedoch reicht dies nicht aus und die Seen werden mit Wasser aus tieferen Regionen befüllt, wozu eine starke Pumpleistung nötig ist.<sup>75</sup> Beim Beziehen aus tiefer gelegenen Gewässern ist das Einhalten einer Restwassermenge gesetzlich geregelt, da die Gewässer im Winter weniger hoch sind.<sup>76</sup> Beim eigentlichen Gefrierprozess wird die meiste Energie für die Erzeugung der Druckluft benötigt. Dies ist primär bei Hochdrucksystemen zentral. Bei Niederdrucksystemen wird zusätzlich Energie für den Ventilator für die Zerstäubung durch einen Kompressor und die anderen Feinteile benötigt.<sup>77</sup> Während es neuen Forschungen gelingt, den Energieverbrauch zu reduzieren, bleibt der Wasserverbrauch noch immer sehr hoch. Dies wird zusätzlich verstärkt, da etwa 15 bis 40 Prozent des Wassers durch Verdunstung und Wind sowie durch Sublimation verloren gehen.<sup>78</sup>

---

<sup>71</sup> Schweizerische Eidgenossenschaft et al.: Energetische Bedeutung der technischen Pistenbeschneigung und Potentiale für Energieoptimierungen, 2009, S. 8.

<sup>72</sup> Institut für Schnee- und Lawinenforschung: Technischer Schnee, o. J.

<sup>73</sup> Schwab, Nico: Technische Beschneigung - Kunstschnee, 2023.

<sup>74</sup> Ebd.

<sup>75</sup> Schweizerische Eidgenossenschaft et al.: Energetische Bedeutung der technischen Pistenbeschneigung und Potentiale für Energieoptimierungen, 2009, S. 11.

<sup>76</sup> Institut für Schnee- und Lawinenforschung: Technischer Schnee, o. J.

<sup>77</sup> Schweizerische Eidgenossenschaft et al.: Energetische Bedeutung der technischen Pistenbeschneigung und Potentiale für Energieoptimierungen, 2009, S. 9.

<sup>78</sup> Institut für Schnee- und Lawinenforschung: Technischer Schnee, o. J.

#### 4.3.2.3. *Die intakte Natur als touristisches Motiv*

Um die Auswirkungen des Ressourcendrucks etwas breiter zu betrachten, scheint die Inbezugnahme des touristischen Motivs von grosser Bedeutung. Es ist wichtig zu erkennen, dass die natürliche Umwelt die zentrale Grundlage des Wintertourismus darstellt und überhaupt erst ermöglicht, dass dieser in der Schweiz in dieser Masse stattfinden kann. Jedes menschliche Eingreifen in die Natur wirft deshalb Frage auf, wie sich das Landschaftsbild verändert. Dies ist auch beim Einsatz der technischen Beschneigung der Fall. Im Tourismus gibt es verschiedene Reisemotive. In einer Schneesportdestination steht für viele Gäste zwar das sportliche Erlebnis im Vordergrund. Dieses ist jedoch untrennbar mit dem Motiv der intakten Natur verbunden, das häufig als wichtigster Beweggrund für einen Aufenthalt in den Bergen genannt wird. Gerade das Landschaftsbild weist einen zentralen Aspekt für diejenigen Besuchende auf, die den Naturtourismus suchen. Naturtourismus ist in der Tourismuswissenschaft ein wichtiger Begriff. Im Buch „Naturtourismus“ von den beiden Dozenten für nachhaltiges Tourismusmanagement Hartmut Rein und Alexander Schuler wird er beschrieben als: „Eine Form des Reisens in naturnahe Gebiete, bei der das Erleben von Natur und Naturphänomenen im Vordergrund steht und die Hauptmotivation für den Besuch dieser Gebiete darstellt.“<sup>79</sup> Es geht dabei primär um das Aufsuchen unverletzter Natur und beinhaltet Beobachtungen und Kontemplation, was man auch als beschauliches Nachdenken übersetzen kann.<sup>80</sup> In den Alpen steigt die Nachfrage nach solchen Angeboten. Viele Tourist:innen suchen nach authentischen und von Infrastruktur und Technik unabhängigen Erlebnissen und dabei soll die Landschaft von Faktoren wie grossen Hotelresorts, Parkplätzen und dem Skitourismus befreit werden.<sup>81</sup> Die zusätzliche Infrastruktur, die für die technische Beschneigung nötig ist, ist nur schlecht mit diesem Tourismusmotiv vereinbar. Für eine Wintersport Region ist es also schwierig, alle Gäste mit verschiedenen Erwartungen anzusprechen. Dazu müssen alle Akteursgruppen wie beispielsweise die einheimische Bevölkerung, Alpenschutz-Organisationen und auch die Gäste zusammenarbeiten und sich einig sein, die Destination auf eine neue Nische auszulegen. Ein touristisches Gebiet ist also von einer Vielzahl unterschiedlicher Besuchermotive geprägt, somit ist die Abwägung zwischen Naturtourismus, Skitourismus und weiteren Angeboten keineswegs eindeutig oder einfach zu treffen.<sup>82</sup>

---

<sup>79</sup> Rein, Hartmut; Schuler, Alexander; Baranek, Elke: Naturtourismus, München 2019, S. 15.

<sup>80</sup> Siegrist; Gessner; Ketterer Bonnelame: Naturnaher Tourismus, 2019, S. 25.

<sup>81</sup> Ebd., S. 14-15.

<sup>82</sup> Ebd., S. 15.

#### 4.3.2.4. *Systemdynamische Betrachtung*

Bei der Schleife des Ressourcendrucks handelt es sich um eine negative Rückkopplung, die sowohl den Ressourcendruck aufzeigt, sowie auch die Verbindung zur Landschaftsveränderung und damit einhergehend das touristische Motiv. Die vermehrte technische Beschneigung führt zu einer Zunahme des Energie- und Wasserverbrauchs und damit zu einem erhöhten Ressourcendruck. Ein starker Ressourcendruck hängt mit der zusätzlich erfordernden Infrastruktur zusammen, denn die Ressourcen für die technische Beschneigung müssen zur Verfügung gestellt werden, um eine Schneesicherheit zu gewährleisten. Das häufige Einsetzen von technischen Massnahmen und das Eingreifen in die Natur mit der damit einhergehenden Ressourcenknappheit verändern aber das Landschaftsbild. Dies wiederum ist davon abhängig, mit welchem touristischen Motiv Besuchende in die Destination reisen. Dabei ist der wirtschaftliche Aspekt zu berücksichtigen, denn das Angebot wird anhand der touristischen Wünsche angepasst. Nur so kann der Markt von Angebot und Nachfrage weiterhin existieren. Zu erkennen ist, dass die Erholung in intakter Natur, ein steigendes und oft genanntes touristisches Motiv darstellt. Jedoch kann dies in einem Massenbetriebssektor wie dem Skitourismus vor allem im Winter nicht gewährleistet werden. Somit werden viele touristische Nischen ausgeschlossen und weniger Leute angesprochen, die Destination zu besuchen. Genau an diesem Punkt findet auch die Umkehrung der Beziehungen der Variablen statt. Von der Variable der technischen Beschneigung bis zur Infrastruktur herrschte bisweilen eine positive Beziehung. Ein Anstieg der einen Variablen führte zum Anstieg der darauffolgenden. Eine zunehmende Infrastruktur führt in Bezug auf das Motiv aber zu einer Abnahme der naturtouristischen Motivation. Diese führt über die subjektive Wahrnehmung der Gäste zu einer tieferen Anzahl Tourist:innen pro Saison. Von „Je mehr, desto mehr“ wurde also „Je weniger, desto weniger“. Anhand der technischen Beschneigung kann es im schlimmsten Fall also passieren, dass eine kleinere Bandbreite an Besuchenden angesprochen wird.

### 4.3.3. B3a und B3b: Verstärkung des Klimawandels durch Emissionen

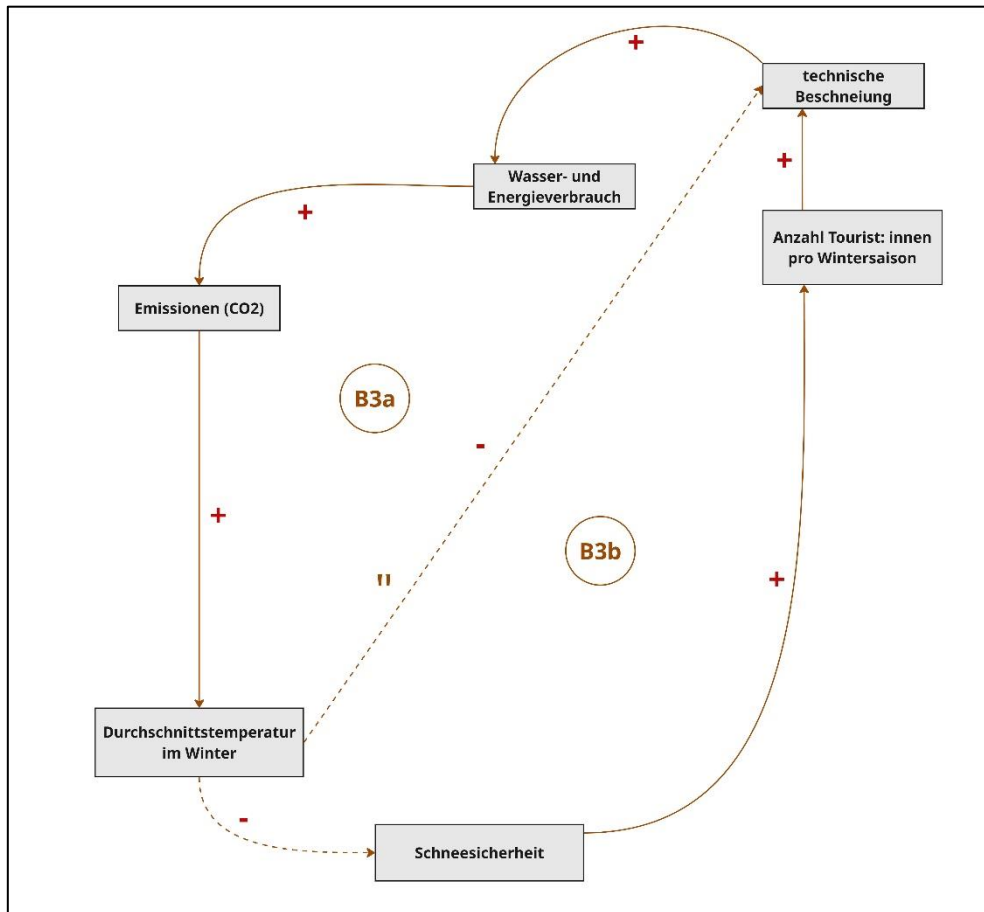


Abbildung 10: Rückkopplungsschleife B3a und B3b: Verstärkung des Klimawandels durch Emissionen. Quelle: Eigene Erstellung in Miro.

#### 4.3.3.1. Emissionen durch technische Beschneigung

Ein Grossteil des in der Schweiz produzierten Stroms stammt aus erneuerbaren Energien wie beispielsweise Wasserkraft. Jedoch reichen die Energiequellen nicht, um den ganzen Bedarf zu decken. Somit ist die Schweiz auf Importstrom angewiesen, dessen Herkunft nicht selten aus fossilen Energieträgern wie Erdöl, Erdgas und Kernbrennstoffen stammt. Dadurch weist der tatsächliche Verbraucher-Strommix der Schweiz deutlich höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen auf als die reine inländische Produktion. Die energieintensive technische Beschneigung ist stark abhängig von der Energiequelle. Genauere Emissionswerte der technischen Beschneigung gibt es nicht, doch Fakt ist, dass der Stromverbrauch der Schweiz direkt oder indirekt zur Verstärkung des anthropogenen Treibhauseffekts beiträgt.<sup>83</sup>

<sup>83</sup> Hälgi, Léonore: Studie Energieunabhängigkeitstag 2024, in: Energiestiftung.ch, 17.04.2024, <<https://energiestiftung.ch/studie/energie-unabhaengigkeitstag-ab-morgen-lebt-die-schweiz-auf-pump-kopie>>, Stand: 13.08.2025.

Diese Verstärkung kann zur weiteren Intensivierung des Klimawandels führen. Steigende Temperaturen bringen technische Beschneiungsanlagen zunehmend an ihre Grenzen. Da das Wasser nicht in der Kanone oder Lanze selbst gefriert, sondern erst in der Luft, wird ab circa 0 Grad Celsius diese Grenze erreicht, ab der eine Beschneigung nicht mehr möglich ist.<sup>84</sup>

#### 4.3.3.2. *Systemdynamische Betrachtung*

Diese negative Rückkopplungsschleife zeigt die Verstärkung des anthropogenen Klimawandels durch die technische Beschneigung. Steigt die Durchschnittstemperatur, wird technische Beschneigung entweder durch die fehlende Schneesicherheit noch mehr angetrieben, sofern dies klimatisch noch möglich ist (B3b). Es kann aber in Betrachtung einer langen Verzögerung auch dazu führen, dass bei einem Extremanstieg der Temperatur die technische Beschneigung nicht mehr möglich ist (B3a). Es handelt sich bei beiden Teilschleifen um eine negative Rückkopplung, denn bei der Schneesicherheit gibt es einen Kipppunkt, bei der die Schleife plötzlich entgegengesetzt wirkt. Zu Beginn führt die Zunahme der Anzahl Tourist: innen zu der Zunahme der technischen Beschneigung. Diese wiederum führt zu einem starken Verbrauch an Energie und Wasser, dieser erhöhte Verbrauch führt auch zu einem Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die ausgestossen werden durch die Schneeerzeugung. Steigen diese, so verstärkt sich auch der anthropogene Klimawandel und die Durchschnittstemperatur im Winter. Danach folgt eine entgegengesetzte Wirkung. Wenn die Durchschnittstemperatur steigt, so sinkt die Schneesicherheit. Und nun wird von einer tiefen Schneesicherheit ausgegangen, welche wiederum zu einer tiefen Anzahl Tourist: innen führt. Bei dieser Schleife ist es wichtig, den erklärten Zusammenhang in Kapitel 4.2.2 zu berücksichtigen. Denn es wirft sich die Frage auf, wieso eine sinkende Anzahl Tourist: innen zu einer abnehmenden technischen Beschneigung führt, wenn man doch eigentlich annimmt, dass eine sinkenden Anzahl Tourist: innen die technische Beschneigung auch antreiben kann. Dies ist Sache der Perspektive. Wie schon erwähnt, funktioniert die Verbindung zwischen technischer Beschneigung und Anzahl Tourist: innen tatsächlich in beide Richtungen. Das Modell bezieht sich darauf, dass die Tourist: innen den Druck der Skigebiete erhöhen, die Schneesicherheit durch technische Beschneigung zu gewährleisten. Es handelt sich hier also um die nachfrageorientierte Verbindung.

---

<sup>84</sup> Schwab, Nico: Technische Beschneigung - Kunstschnee, 2023.

#### 4.3.4. R4: Veränderungen des Bodens

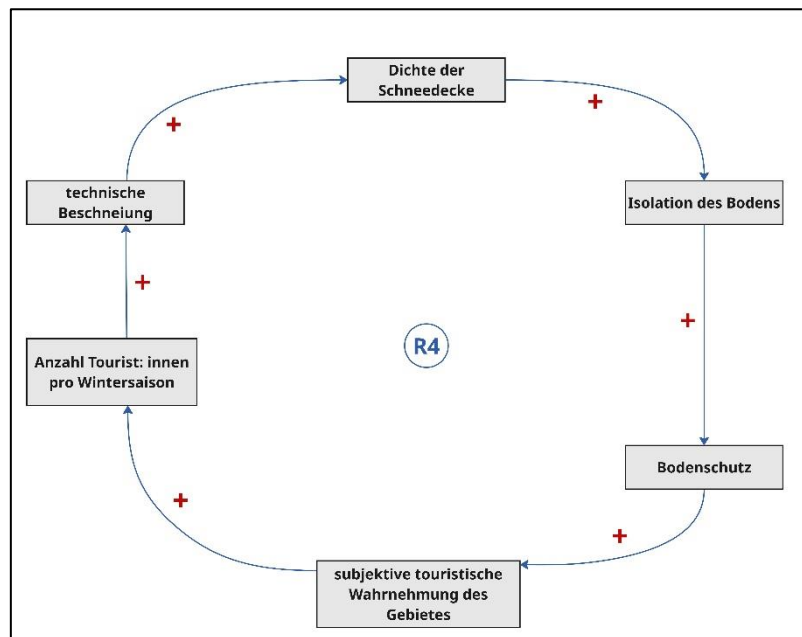


Abbildung 11: Rückkopplungsschleife R4: Veränderungen des Bodens.  
Quelle: Eigene Erstellung in Miro.

##### 4.3.4.1. Ökosystem Alpenraum

Gemäss der Studie des eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung sind ökologische Auswirkungen der technischen Beschneigung auf die Flora und Fauna, sowie auf den Boden schwierig zu messen. Meist kann nicht unterschieden werden, ob gewisse Folgen durch den Kunstschnee entstehen oder auch auftreten würden im Fall einer rein natürlichen Schneedecke.<sup>85</sup> Die Studie fasst einige Einflüsse in folgenden Punkten zusammen: „Der mechanische Schutz von Vegetation und Boden durch Kunstschnee ist zum Teil gegeben, aber mechanische Schäden sind doch auf Skipisten allgemein hoch. Schutz vor Frost von Vegetation und Boden durch Kunstschnee ist zum Teil gegeben. Die späte Ausaperung auf Kunstschneepisten wirkt sich auf die Zusammensetzung von Pflanzenarten aus. Der Eintrag von Ionen und Wasser ist dort unproblematisch, wo Wiesen oder Weiden ohnehin landwirtschaftlich gedüngt werden, aber zu vermeiden bei nährstoffarmer Vegetation, z.B. oder Magerrasen. Artendiversität und Produktivität sind auf beiden Pistenarten (Kunst- und Naturschnee) verringert. Eine diverse Vegetation und standortgerechte Pflanzenarten sind massgeblich für Bodenstabilität und Verhinderung von Erosion. Bei Baumassnahmen und Wiederbegrünungen im alpinen Raum ist darauf zu achten, das standortgerechte Saatgut verwendet wird.“<sup>86</sup>

<sup>85</sup> Teich et al.: Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneigung, 2007, S. 132-133.

<sup>86</sup> Ebd.

Es lässt sich zu den Auswirkungen der Flora und Fauna, sowie der Biodiversität im direkten Zusammenhang der technischen Beschneigung also keine gültige Rückkopplung herleiten.

#### 4.3.4.2. *Bodenqualität*

Was sich jedoch betrachten lässt durch den Loop R4 ist der Einfluss auf die Bodenqualität im Sinne der Schneemenge und Isolation. Technischer Schnee weist durch den grösseren Wasseranteil eine höhere Dichte auf als Naturschnee. Somit bringt technischer Schnee die Vorteile, dass er dicht genug ist, um widerstandsfähig zu sein und zudem trotzdem ein genügendes Volumen aufzeigt, um die Pisten grossflächig zu beschneien. Beim Kunstschnee kann deshalb auf eine Komprimierung bei der Präparierung verzichtet werden.<sup>87</sup> Eine grosse Widerstandsfähigkeit des technisch erzeugten Schnees führt zu einer guten Unterlage für den Pistenbau.<sup>88</sup> Dies ist wichtig, weil die Pistenpräparation und die mechanischen Störungen durch den Wintersport selbst den Boden und die Vegetation des Bodens beeinträchtigen können. Es konnte nachgewiesen werden, dass eine zusätzliche Schicht an Kunstschnee durch eine bessere Bodenisolierung vor mechanischen Belastungen schützen kann. Wenn also mehr Schnee auf einer Piste liegt, kann es positive Auswirkungen für gewisse Pflanzenarten haben. Die Studie der Schnee- und Lawinenforschung erwähnt aber, dass dieser Schutz aber in vielen Fällen nicht ausreichend sein kann.<sup>89</sup> In Permafrost-Gebieten verändert Kunstschnee jedoch den natürlichen Frost-Tau-Zyklus des Bodens. Durch die dichte, künstliche Schneedecke bleiben Bodentemperaturen im Winter stabiler, doch die verspätete Schneeschmelze kann die Erwärmung in Frühjahr verzögern. Solche Verschiebungen können langfristig die Stabilität von Permafrostböden beeinträchtigen und damit Risiken für alpine Infrastruktur erhöhen.<sup>90</sup>

#### 4.3.4.3. *Systemdynamische Betrachtung*

Die positive Rückkopplungsschleife R4 ist den oberen beiden Abschnitten zufolge also mit Vorsicht zu geniessen. Im Sinne von Permafrostböden und der Flora und Fauna dürfen keine systemdynamischen Aussagen getroffen werden, da die Datenmenge zu gering ist. Allgemein kann aber die Bodenisolierung ohne Permafrostböden betrachtet werden, was diese Schleife darstellt. Systemdynamisch fallen bei diesem Loop all die positiven Verbindungen auf. Alle Variablen verhalten sich bei einer Veränderung in dieselbe Richtung.

---

<sup>87</sup> Wolfsperger, Fabian; Rhyner, Hansueli; Schneebeli, Martin: Pistenpräparation und Pistenpflege, Davos 2018, S. 67.

<sup>88</sup> Teich et al.: Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneigung, 2007, S. 25

<sup>89</sup> Ebd., S. 106.

<sup>90</sup> Ebd., S. 107-108.

Mehr Tourist: innen führen dazu, dass mehr technisch beschneit werden muss, je mehr technisch beschneit werden muss, desto höher ist die Dichte der Schneedecke und die Isolation des Bodens und je höher ist auch der Schutz der darunterliegenden Bodenvegetation und Pflanzen. Zudem führen all diese sich gegenseitig beeinflussenden Variablen dazu, dass das Schneesportgebiet von den Tourist: innen positiver wahrgenommen wird und es möglich ist, durch eine verspätete Ausaperung der Pisten mehr Schneesportbegeisterte anzulocken.

#### 4.3.5. B5: Preisgetriebener Investitionskreislauf

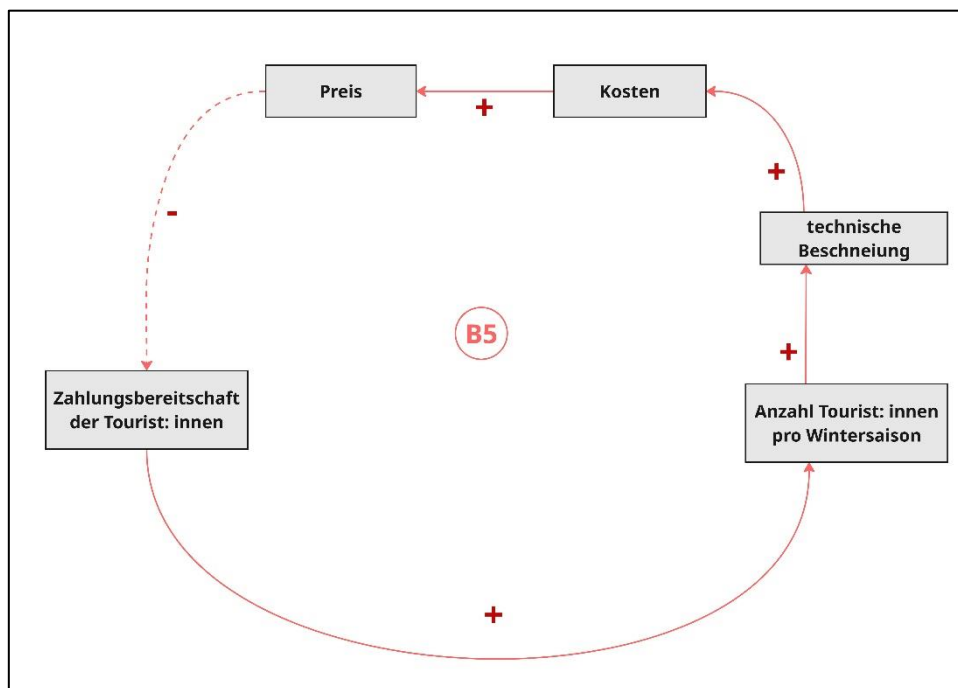


Abbildung 12: Rückkopplungsschleife B5: Preisgetriebener Investitionskreislauf.  
Quelle: Eigene Erstellung in Miro.

##### 4.3.5.1. Dynamic Pricing

Da höhergelegene Skigebiete erst nach einer gewissen Verzögerung schneeunsicher werden können, steigt dort die Nachfrage. Der Skitourismus in der Schweiz basiert hauptsächlich auf Dynamic Pricing. Dies bedeutet, dass der Preis eines Skipasses höher wird, je grösser die Nachfrage ist. Gleichzeitig entstehen bei den Bergbahnen immer höhere Kosten für die technisch aufwändige Pistenpräparierung anhand von Kunstschnee. Dies treibt die Preisentwicklung zusätzlich an.<sup>91</sup>

<sup>91</sup> Schweizer Radio und Fernsehen: Skifahren wird in Zukunft teurer – Interview mit Jürg Stettler, 10.10.2024, <<https://www.srf.ch/news/wirtschaft/skifahren-in-zukunft-dynamische-preismodelle-fuehren-zu-teueren-tageskarten>>, Stand: 08.09.2025.

Gemäss dem Bundesamt für Energie und den Seilbahnen Schweiz kostet ein Kilometer Beschneigungsanlage bis zu einer Million Schweizer Franken und zudem werden etwa 20'000 bis 100'000 Franken Betriebskosten pro Jahr addiert.<sup>92</sup>

Ein Skitag in der Schweiz wird also immer teurer und immer weniger Personen können sich dies leisten. Dynamic Pricing ist eine gezielte Strategie, Überlastungen in einem Gebiet über den Preis zu regulieren.<sup>93</sup>

#### 4.3.5.2. Systemdynamische Betrachtung

Mehr Beschneigung verursacht höhere Kosten. Diese wiederum wirken sich auf den Preis aus. Die Preise steigen und die Zahlungsbereitschaft sinkt. Da findet die systemdynamische Umkehrung statt. Es wird jetzt von einer tieferen Zahlungsbereitschaft ausgegangen. Wenn weniger Gäste das Gebiet besuchen, sinken auch die weiteren Investitionen wie die technische Beschneigung. Der Loop wirkt wie eine Art Selbstkorrektur. Steigende Kosten und Preise stossen nicht endlos mehr Beschneigung an, sondern führen zu einem Punkt, an dem die Gäste finanziell nicht mehr mitziehen. Langfristig kann das Gleichgewicht kritisch werden. Wenn die Zahlungsbereitschaft dauerhaft kleiner ausfällt als die notwendigen Preise, droht ein Rückgang von Investitionen und damit auch der Qualität des Angebots.

#### 4.3.6. R6: Tourismus als Wirtschaftszweig

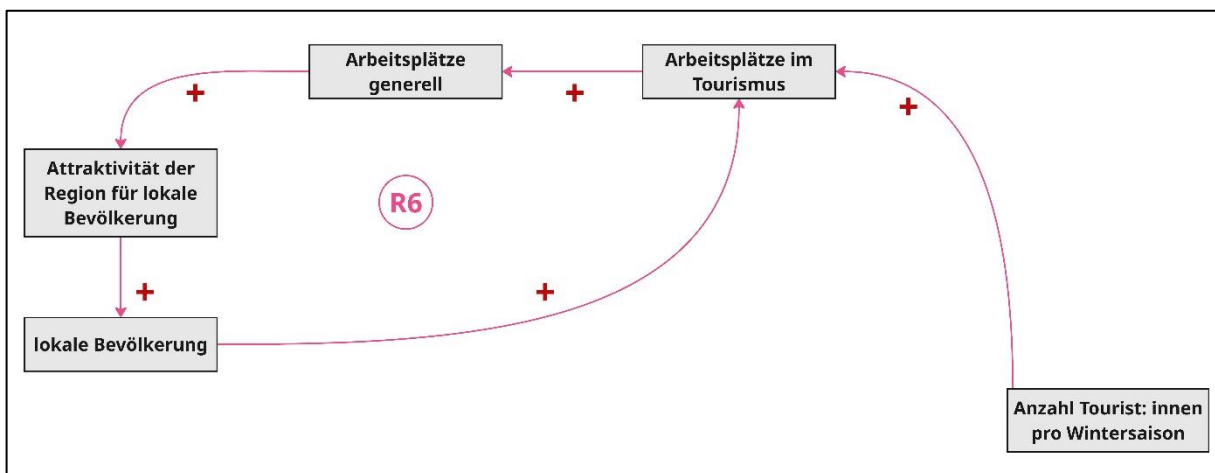


Abbildung 13: Rückkopplungsschleife R6: Tourismus als Wirtschaftszweig.  
Quelle: Eigene Erstellung in Miro.

<sup>92</sup> Schweizerische Eidgenossenschaft et al.: Energetische Bedeutung der technischen Pistenbeschneigung und Potentiale für Energieoptimierungen, 2009, S. 3.

<sup>93</sup> Schweizer Radio und Fernsehen: Skifahren wird in Zukunft teurer, 2024.

#### 4.3.6.1. *Beschäftigung im Tourismus*

In der Schweiz gehört der Tourismus zu den wichtigsten Wirtschaftszweigen und spielt eine bedeutende Rolle als Arbeitgeber. Vor allem in Alpengebieten nimmt dies zu, denn jede vierte Person arbeitet dort im Tourismus.<sup>94</sup> Eine steigende Anzahl Tourist: innen führt dazu, dass es mehr Beschäftigungsmöglichkeiten im Tourismus selbst geben muss, aber auch in anderen Sektoren.

Es ist wenig erstaunlich, dass die Attraktivität für die lokale Bevölkerung und das Bevölkerungswachstum vor allem dort stärker ausfällt, wo auch eine genügende Anzahl an Arbeitsplätzen vorliegt. Eine positive Beschäftigungssituation fördert die wirtschaftliche Entwicklung, stärkt das soziokulturelle Leben im Dorf und steigert die Attraktivität einer Gemeinde als Wohnort. Dennoch reicht dies nicht immer aus, um Bevölkerungsabwanderung zu verhindern. Faktoren wie die Verfügbarkeit von bezahlbarem Wohnraum, das allgemeine Preisniveau und vieles mehr beeinflussen eine Tourismusgemeinde.<sup>95</sup>

#### 4.3.6.2. *Systemdynamische Betrachtung*

Systemdynamisch betrachtet handelt es sich bei dieser Schleife um eine positive Rückkopplung. Alle Variablen stehen im „Je mehr, desto mehr Zusammenhang“ zueinander. Wichtig zu erwähnen ist, dass die saisonalen Arbeitskräfte für diese Schleife ausgeschlossen sind. Es geht vielmehr um die Schaffung von Arbeitsplätzen als Attraktivität für die heimische Bevölkerung. In sich ist dieser Loop verstärkend und zeigt die Wichtigkeit der Erhaltung des Tourismus auch auf gesellschaftlicher Ebene auf.

### 4.4. Analyse des Gesamtmodells

Das Modell besteht insgesamt aus sechs Loops. Davon sind drei reinforcing und drei balancing. Die Rückkopplungsschleife R1 mit der technischen Beschneidung als Adaption an den Klimawandel beschreibt den grundlegenden Mechanismus, durch den der Schneemangel kompensiert und die Wintersaison künstlich verlängert werden kann. Er ist also der zentrale Startpunkt des Modells. Die folgenden Loops werden nun als bremsend, unterstützend und gefährlich selbstverstärkend in Bezug auf die Adaption zugeordnet. Die Schleife B2, die den Ressourcendruck darstellt und das naturtouristische Motiv in Frage stellt, gehört zusammen mit der Schleife B5, die die Kosten aufzeigt, zu den bremsenden. Sie gelten als natürliche Limits, denn durch sie kann bestimmt werden, wie weit R1 gehen kann, ohne die Grenzen zu überschreiten. Ein Überschritt dieser Grenze hätte hier eine Ressourcen- oder Kostenknappheit zur Folge.

---

<sup>94</sup> Schweizer Tourismus-Verband: Tourismus als Arbeitgeber, o. J., <<https://www.stv-fst.ch/tourismuspolitik/schweizer-tourismus-in-zahlen/tourismus-als-arbeitsgeber>>, Stand: 08.09.2025.

<sup>95</sup> SECO Staatssekretariat für Wirtschaft: Berggebiete: Sozioökonomische Analyse, Eine empirische Grundlagenstudie von Wüest Partner, Bern 2021, S. 4.

Diese wiederum führt zur Senkung der Wintertourist: innen, dem Hauptfaktor. Als unterstützende Loops erweisen sich R4, der die Auswirkungen auf den Boden aufzeigt und R6, der die Wichtigkeit des Tourismus als Wirtschaftszweig beleuchtet. Die Verstärkung der ökologischen Nebenwirkungen im Loop R4 ist wichtig zu erwähnen, jedoch erweist er sich für die Regulierung des Systems als von weniger Bedeutung. Dies, weil die heutige Datenlage über Kunstschnee und Bodenveränderungen noch sehr gering ist. Von viel grösserer Bedeutung ist R6, welcher den ökonomischen Druck verstärkt.

Der Tourismus als Wirtschaftszweig gilt für viele Menschen als Lebensgrundlage und dient somit der sozialen Ebene. Loop B3 müsste regelkonform bremsend sein. Dem ist so, jedoch ist die Eigenschaft der extremen Selbstverstärkung hier zentraler. Er koppelt direkt die Anpassungsmassnahme der technischen Beschneigung mit dem eigentlichen Problem des Klimawandels. Diese Art von Loop kann systemdynamisch zum Begriff „Policy Resistance“ eingeordnet werden. Dies bezeichnet das Phänomen, dass politische oder technologische Massnahmen, die eigentlich zur Lösung eines Problems gedacht waren, durch Rückkopplungen im System abgeschwächt, neutralisiert oder sogar ins Gegenteil verkehrt werden.<sup>96</sup> Ein System kann sich also gegen den Eingriff wehren, sodass trotz grosser Bemühungen oft keine Verbesserung eintritt. Die Rückkopplungsschleife zeigt auf, wie die Adaptionsmassnahme der technischen Beschneigung den durch den Klimawandel verursachten Schneemangel versucht abzufedern. Kurzfristig wird der Wintertourismus zwar stabilisiert, doch durch die Verzögerung führt sie irgendwann zu hohem Energieverbrauch und dadurch zu mehr Treibhausgasemissionen. Diese verschärfen langfristig genau das Problem, welches die Massnahme eigentlich beseitigen sollte. Das System unterläuft also der politischen oder technologischen Intervention und erzeugt widerwillig einen paradoxen Effekt: Die Lösung selbst verstärkt das Problem.

#### 4.4.1. Archetypen

Eine zusätzliche Art, dieses Modell zu interpretieren, basiert auf den sogenannten systemdynamischen Archetypen. Archetypen bezeichnen „grundlegende Strukturen häufig beobachtbarer Verhaltensmustern von Menschen.“<sup>97</sup> In der Systemdynamik lassen sich Systeme aufgrund spezieller Eigenschaften oftmals solchen Mustern zuordnen. Ein für dieses Modell wichtiger Archetyp trägt den Namen „Fixes that Fail“. Wie die Übersetzung schon vermuten lässt, handelt es sich hierbei um Lösungen, die scheitern. Diese Lösung wird auch als „Fix“ bezeichnet.

---

<sup>96</sup> Meadows: Thinking in systems, 2009, S. 106.

<sup>97</sup> Wikipedia: Systemarchetyp, 01.06.2024, <<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Systemarchetyp&oldid=245551308>>, Stand: 24.09.2025.

In einer solchen Situation benötigt ein Problemsymptom dringend eine Lösung. Diese wird als schnelle Reaktion eingebracht und soll das Symptom lindern. Mit der Zeit wirkt jedoch die kurzfristige Lösung nicht mehr und kehrt in seinen früheren Hilfezustand zurück.<sup>98</sup> In Bezug auf das Modell kann die technische Beschneigung als diese kurzfristige Lösung angesehen werden, denn sie erfüllt den Zweck der Schneesicherung. Doch mit zunehmendem Klimawandel und den bremsenden Rückkopplungen wird es höchst wahrscheinlich irgendwann zu einem erneuten Rückgang auf den Ursprungszustand führen. Dies ist jedoch sehr schwierig zu beurteilen, da es stark abhängig ist von den Verzögerungen des Modells und den saisonalen klimatischen Bedingungen eines Skigebiets.

Ein zweiter wichtiger Archetyp ist „Limits to Success“. Er beschreibt die eine zu Beginn starke Bemühung zu einer Leistungssteigerung, die mit der Zeit aber mit einer Erreichung der Systemgrenze einhergeht. Die Leistungen des Systems steigen langsamer oder werden sogar rückgängig, obwohl die Bemühungen weiter zunehmen.<sup>99</sup> Im Modell lassen sich solche Muster vor allem bei den Loops B2 (Ressourcendruck), B3 (Verstärkung des Klimawandels durch Emissionen) und B5 (preisgetriebener Investitionskreislauf) erkennen. Investitionen in die technische Beschneigung sind erfolgreich, jedoch stösst das System jetzt bereits an ökologische und wirtschaftliche Grenzen. Wasser- und Energieressourcen sind beschränkt verfügbar, zudem steigen die Kosten und mit zunehmender Erwärmung sinkt die Wirksamkeit der technischen Beschneigung. Der Erfolg kann auch hier mit Einberechnung der Verzögerung abnehmen.

#### 4.4.2. Die Dimensionen des nachhaltigen Tourismus im Modell

Mit dem Kausalschleifendiagramm lässt sich erkennen, dass es gelungen ist, alle drei Dimensionen des nachhaltigen Tourismus miteinander zu verknüpfen. Die Dynamik der Schleifen zeigt ein Zusammenspiel aus Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft auf. Gewisse Schleifen lassen sich teilweise hauptsächlich zu einer Dimension zuordnen. So wird die wirtschaftliche Dimension vorwiegend geprägt durch R1, die die wirtschaftliche Notwendigkeit der technischen Beschneigung darstellt. Auch B5, die die Kosten und die Reaktion der Gäste aufzeichnet und R6, die den Tourismus als wichtiger Wirtschaftszweig anerkennt. Die ökologische Dimension erkennt man vorwiegend in den Schleifen B3 und R4. Die Schleife B2 beinhaltet sowohl eine ökologische und wirtschaftliche Ebene, weil sie Ressourcendruck und touristische Motive miteinander verbindet. Die gesellschaftliche Ebene ist in jeder Schleife vertreten.

---

<sup>98</sup> Kim: Systems thinking tools, 1995, S. 20.

<sup>99</sup> Ebd., S. 21.

## 5. Überprüfung der Funktionalität des Modells

Durch die obige Analyse lässt sich erkennen, welche grosse Aussagekraft schon allein hinter dem qualitativen Modell steckt. In der Systemdynamik dienen solche Kausalschleifendiagramme meist als Grundlage hochentwickelter quantitativer Computermodelle, die anschliessend simuliert werden können. Dies war aus Kapazitätsgründen in dieser Maturarbeit leider nicht realisierbar. Da es sich aber durchaus lohnt, auch ein rein qualitatives Modell mit etwas Greifbarem zu vergleichen, habe ich verschiedene Faktoren in Bezug auf neue Technologien oder touristische Strategien in drei Skigebieten ausgewählt und mit dem Modell in Verbindung gebracht. Diese drei Skigebiete unterscheiden sich in wichtigen Aspekten wie beispielsweise der Höhe und somit den klimatischen Bedingungen, der Art der Beschneidung und der allgemeinen Tourismusstrategie. So soll die Funktionalität des Modells verifiziert und gegebenenfalls die Anpassung des Modells ausgemacht werden.

### 5.1. Energieneutrale Lanzen in Melchsee-Frutt

Das Skigebiet Melchsee-Frutt liegt im Kanton Obwalden in der Zentralschweiz auf einer Höhe von 1080 bis 2225 Meter über Meer.<sup>100</sup> Mit seinen 36 Kilometern Pisten, 14 Transportliften, 15 Kilometern Langlauf-Loipen und diversen Winterwanderwegen gehört es vergleichsmässig zu den mittelgrossen Skigebieten in der Schweiz. Es ist ein Familiengebiet und wird mehrheitlich von Tagesgästen aus der Region genutzt. Im Vergleich zu alpinen Top-Destinationen wie Zermatt oder St. Moritz ist Melchsee-Frutt stärker regional geprägt, spielt aber eine zentrale Rolle für die lokale Wirtschaft und das touristische Bild des Kantons.<sup>101</sup>

Melchsee-Frutt beschäftigte sich im Verhältnis zu anderen zentralschweizer Skigebieten früh mit der Schneemangelproblematik. So gilt das Skigebiet als Vorreiter der technischen Beschneidung. Anfangs wurde vor allem kleinflächig mit Propellermaschinen beschneit, mit der Zeit kamen verschiedene ergänzende Bauteile hinzu, die vor allem auf eine höhere Leistungsfähigkeit abzielten. So können heute fast 14 Pistenkilometer technisch beschneit werden. Dazu kann sämtliches Wasser für die technische Beschneidung aus dem Melchsee bezogen werden. Dieser Stausee liegt inmitten des Skigebiets und gehört dem Elektrizitätswerk Obwalden. Entweder wird das Wasser direkt ab See benutzt oder kann anhand von Druckleitungen transportiert werden.<sup>102</sup>

---

<sup>100</sup> Wikipedia: Melchsee-Frutt, 28.01.2025, <<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Melchsee-Frutt&oldid=252762483>>, Stand: 29.09.2025.

<sup>101</sup> Melchsee-Frutt: Das Dorf Melchsee-Frutt, o. J., <<https://www.melchsee-frutt.com/melchsee-frutt/>>, Stand: 29.09.2025.

<sup>102</sup> Melchsee-Frutt: Beschneidung, o. J., <<https://www.melchsee-frutt.ch/ueber-uns/beschneidung/>>, Stand: 29.09.2025.

Bezüglich der Kosten wird auf das für die Beschneigung benötigte Wasser einen Zins ausgestellt. Dies ist kostenintensiv, jedoch immer noch günstiger als das Bauen eines neuen Speichersees.<sup>103</sup>



Position		 Seilbahnen Schweiz Remontées Mécaniques Suisses Funivie Svizzere Pendicularas Svizras
Anzahl Kilometer beschneite Piste	14	
Investitionskosten pro Kilometer beschneite Piste	CHF 714'000	CHF 1'000'000
Jährlicher Wasserverbrauch	120'000 m <sup>3</sup>	
Jährliche Menge an technisch produziertem Schnee pro Jahr	240'000 m <sup>3</sup>	
Vollkosten für 1 m <sup>3</sup> produzierten technischen Schnee	CHF 3.30	CHF 4.00 – 5.00

Abbildung 14: Tabelle Kostenstruktur der Beschneigungsanlage in Melchsee-Frutt.

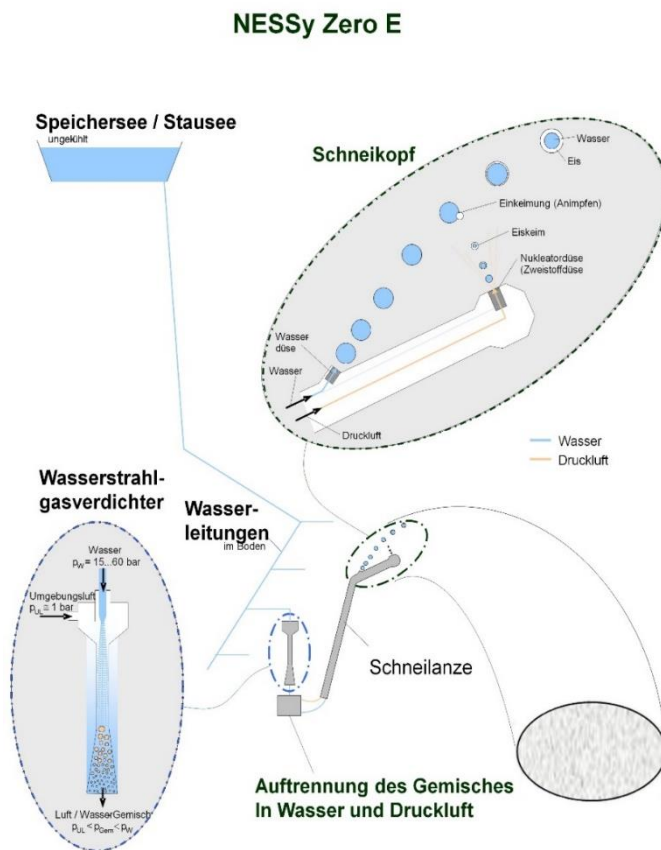
Quelle: Melchsee-Frutt.ch: [https://www.melchsee-frutt.ch/app/uploads/2022/05/22\\_SMF\\_Tabelle\\_Solar\\_Butterfly\\_Project\\_Vollkosten\\_Beschneigung-web-1-1024x630.jpg](https://www.melchsee-frutt.ch/app/uploads/2022/05/22_SMF_Tabelle_Solar_Butterfly_Project_Vollkosten_Beschneigung-web-1-1024x630.jpg).

Melchsee-Frutt ist sehr innovativ unterwegs. Im Jahr 2013 wurde erstmals eine neue Schneelanze mit dem Namen Nessay ZeroE der Firma Bächler von Emmenbrücke ausprobiert und eingesetzt. Es handelt sich hierbei um eine Schneelanze, die stromlos beschneien kann. Das Prinzip beruht darauf, dass Druckluft nicht wie bei herkömmlichen Methoden durch einen Kompressor bereitgestellt wird, sondern die praktische Lage des Speichersees und den Wasserdruck dafür nutzt. Da der Melchsee, der als Wasserlieferant gilt, 700 Meter höher gelegen ist als die Lanze selbst, kann Wasser hier bergab transportiert werden. Das Prinzip des Systems beruht darauf, dass wenn man ein Loch in eine Leitung macht und Wasser durchströmen lässt, Aussenluft in die Leitung gesogen wird. Dieses Wasser-Luft Gemisch kann so in eine Überdruck-Kammer fließen. Luft ist bekanntlicherweise leichter als Wasser. Das führt dazu, dass sie sich vom Wasser trennt und so als Druckluft die Lanze antreibt. Die neuartigen Lanzen laufen schon bei minus 2 Grad Celsius.<sup>104</sup>

<sup>103</sup> Melchsee-Frutt: Beschneigung, o. J.

<sup>104</sup> Einstein: Ökologischere Pisten trotz Kunstschnnee, in: Schweizer Radio und Fernsehen (SRF), 17.01.2013, <<https://www.srf.ch/sendungen/einstein/einstein-online-oekologischere-pisten-trotz-kunstschnnee>>, Stand: 29.09.2025.

Was auf den ersten Blick nun sehr positiv scheint, hat auch seine Hürden. Die Technologie ist zwar sehr stromsparend, die hohe Wasserbelastung bleibt jedoch bestehen. Zudem ist die Funktionalität dieser Lanze abhängig von einem höher gelegenen Speichersee. Das bedeutet, Nesy Zero E können nur in tieferen Pistenabschnitten verwendet werden.



Die Grafik zeigt den Aufbau des Nesy Zero E Systems zur technischen Schneeerzeugung. Ausgehend von einem Speichersee wird Wasser über einen Wasserstrahl-Gasverdichter mit Umgebungsluft vermischt und anschliessend getrennt. Druckluft und Wasser werden über Leitungen zum Schneikopf geführt, wo mithilfe von Nukleatordüsen Eiskeime erzeugt und mit zerstäubtem Wasser zu Schneepartikeln vereint werden.

Abbildung 15: Aufbau Nesy Zero E System zur technischen Schneeerzeugung.

Quelle: Institut für Schnee- und Lawinenforschung:

[https://www.slf.ch/fileadmin/user\\_upload/SLF/Schnee/Schneesport/grafik\\_nessy\\_zero\\_e1.jpg](https://www.slf.ch/fileadmin/user_upload/SLF/Schnee/Schneesport/grafik_nessy_zero_e1.jpg).

### 5.1.1. Reflexion am Modell

Mit Blick auf das Modell beeinflusst eine solch neuartige und nachhaltige Methode der technischen Beschneigung vor allem die Rückkopplungsschleifen B2 (Ressourcendruck und touristisches Motiv) und B3 (Verstärkung des Klimawandels durch Emissionen). Auch wenn eine kontinuierliche Wasserbelastung bestehen bleibt, fallen die Auswirkungen dennoch geringer aus als bei herkömmlichen Verfahren. In Bezug auf das naturtouristische Motiv in der Schleife B2 ist Melchsee-Frutt ein Paradebeispiel. Durch die Benutzung des Wassers aus dem Melchsee sind keine weiteren Eingriffe in die Natur nötig, um zusätzliche Wasserspeicher zu bauen und auch die Kosten der Infrastruktur sind begrenzt.

## 5.2. Zusätzlicher Speichersee in Corviglia St. Moritz

St. Moritz im Engadin ist einer der bekanntesten Wintersportorte weltweit. Die Region ist nicht nur durch die wunderschöne Landschaft beliebt, sondern vor allem durch ihre langjährige touristische Tradition. St. Moritz ist umgeben von mehreren Schneesportgebieten, das direkt an den Ort angebundene heisst Corviglia. Dieses liegt in einer Höhe von 1772 bis maximal 3057 Metern und beinhaltet 155 Kilometer Pisten.<sup>105</sup> Was die Nachhaltigkeit innerhalb des Gebietes betrifft, ist St. Moritz sehr innovativ. Neben Projekten wie der Renaturierung der ehemaligen Weltmeisterschafts-Skipiste und der Verwendung eines Biokraftstoffes für Pistenfahrzeuge wird auch die technische Beschneigung stark angepasst. Ein aktuelles Grossprojekt ist die Erbauung eines zweiten Naturspeichersees mit dem Namen „Lej Nair Pitschen“. Es gibt bereits einen kleineren Speichersee namens „Lej Alv“, der jedoch nicht für die ganze Beschneigung ausreicht. Der neue See wird momentan auf 2500 Meter über Meer gebaut und soll als zusätzliches Wasserreservoir für die technische Beschneigung dienen. Das Ziel ist es, zu hundert Prozent mit Schmelzwasser beschneien zu können. So wird das im Frühling schmelzende Wasser in einem Speicherbecken der beiden Speicherseen abgefangen. Dort wird es über den Sommer gelagert und Ende Herbst bis anfangs Winter kann es zur Beschneigung verwendet werden. Dies ist für Corviglia eine neue Erregungenschaft. Bis anhin wurde das Wasser den Berg hinaufgepumpt und befand sich noch in keinem Kreislauf.<sup>106</sup>



Abbildung 16: Projekt Naturspeichersee Nair Pitschen in St. Moritz.

Quelle: St. Moritz Engadin Mountains:

[https://mountains.ch/fileadmin/user\\_upload/Bilddatenbank\\_HP/Nachhaltigkeit/Naturspeichersee/2025-engadin-stmoritz-mountains-lej-nair-pitschen-0235-D.jpg](https://mountains.ch/fileadmin/user_upload/Bilddatenbank_HP/Nachhaltigkeit/Naturspeichersee/2025-engadin-stmoritz-mountains-lej-nair-pitschen-0235-D.jpg).

<sup>105</sup> Skiresort: Skigebiet St. Moritz – Corviglia, o. J., <<https://www.skiresort.ch/skigebiet/st-moritz-corviglia/>>, Stand: 30.09.2025.

<sup>106</sup> St. Moritz Engadin Mountains: Nachhaltigkeit: Naturspeichersee Nair Pitschen, o. J., <<https://www.mountains.ch/de/nachhaltigkeit/naturspeichersee-nair-pitschen/>>, Stand: 30.09.2025.

### 5.2.1. Reflexion am Modell

Ein solches Projekt ist in Bezug auf die Systemdynamik spannend. Wie schon die neuen Lanzen in der Melchsee-Frutt hat das Speichersee-Projekt einen ähnlichen Einfluss auf die Schleifen B2 (Ressourcendruck und touristisches Motiv) und B3 (Verstärkung des Klimawandels durch Emissionen). Zu differenzieren ist jedoch bei der Schleife B2, dass das naturtouristische Motiv eingeschränkt werden kann. Wo in der Melchsee-Frutt durch den ohnehin schon bestehenden Melchsee nicht zusätzlich in die Natur eingegriffen werden muss, wird die Natur in St. Moritz durch den Bau zusätzlich belastet. Dazu wird jedoch die Schleife B3 verbessert. Denn durch die ausbleibenden Pumpleistungen werden die Emissionen der technischen Beschneigung stark abnehmen. Das heisst, anstatt eine sinkende Besucherzahl, kann dieses Projekt sogar zu einer steigenden Besucherzahl führen, denn die Schneesicherheit ist durch die technische Beschneigung zumindest fürs Erste garantiert und zudem sind die Auswirkungen auf den Klimawandel geringer. Durch die neuen Technologien wie in der Melchsee-Frutt und in St. Moritz ist erkennbar, dass die ökologische Grenze der technischer Beschneigung variabel ist und sich das Modell anpassen lässt.

## 5.3. Snowfarming in Davos

Das bekannte Schneesportgebiet Davos liegt auf einer Höhe von 1560 Meter über Meer.<sup>107</sup> Neben den klassischen Aktivitäten wie Skifahren und Snowboarden bietet Davos eine grosse Vielfalt an Langlauf-Loipen an. Eine bekannte Loipe ist die Flüelatal-Loipe. Sie besteht aus Schnee, der übersommert wurde. Dieser Schnee wird mit einer grossen Menge an Holzspänen abgedeckt und isoliert. So ist es im darauffolgenden Herbst möglich, die gesamte Loipe aus dem gelagerten Schnee zu präparieren.<sup>108</sup> In Davos wurde 2008 erstmals im Rahmen eines Experiments mit Snowfarming gearbeitet. Unter einer Schicht von Sägemehl schmolz damals nur circa ein Viertel des gelagerten Schnees. Aus dem verbliebenen Vorrat konnte im Herbst eine 500 Meter lange Loipe angelegt werden. Dieser Erfolg führte dazu, dass Snowfarming in Davos heute stets praktiziert und erweitert wird. Heute reicht der gelagerte Schnee Ende Oktober bereits für eine Loipe von über vier Kilometern.<sup>109</sup>

---

<sup>107</sup> Wikipedia: Davos, 29.09.2025, <<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Davos&oldid=260167019>>, Stand: 12.10.2025.

<sup>108</sup> Gemeinde Davos: Loipenunterhalt / Snowfarming, o. J., <<https://www.gemeindedavos.ch/dienstleistungen/28201>>, Stand: 12.10.2025.

<sup>109</sup> Institut für Schnee- und Lawinenforschung: Snowfarming, o. J. <<https://www.slf.ch/de/schnee/schneesport/schnee-und-ressourcenmanagement/snowfarming/>>, Stand: 12.10.2025.

Detaillierte Untersuchungen des Instituts für Schnee- und Lawinenforschung SLF ergaben im Jahr 2015, dass lediglich etwa zwei Drittel der Volumenabnahme wirklich auf Schmelzprozesse zurückzuführen sind. Der verbleibende Anteil ergab sich primär aus der Setzung des Schnees infolge des Eigengewichts und der langen Lagerungsdauer. Dies konnte mit Dichtemessungen und Computer-Simulationen bestätigt werden. Durch die Simulationen wurde erkennbar, dass eine mindestens 30 – 40 Zentimeter dicke Schicht an Holzspänen nötig ist, um Wärme tagsüber aufzunehmen, ohne sie an den Schnee weiterzuleiten, und sie nachts wieder abzugeben. Bei guter Isolierung bleiben also die Schneeverluste selbst bei höheren Temperaturen gering und sind auch in einer tieferen Lage möglich.<sup>110</sup>



Abbildung 17: Isolationsprozess durch Holzspäne für das Snowfarming in Davos.  
Quelle: Wolfensperger, Fabian: in: Institut für Schnee- und Lawinenforschung,  
[https://www.slf.ch/fileadmin/\\_processed\\_/5/b/csm\\_IMG5497\\_95f3a9fa79.jpg](https://www.slf.ch/fileadmin/_processed_/5/b/csm_IMG5497_95f3a9fa79.jpg).

### 5.3.1. Reflexion am Modell

Snowfarming scheint eine sehr zukunftsorientierte Methode im Sinne der Wettbewerbsfähigkeit eines Gebietes zu sein. Langlauf-Loipen können so bereits gegen Ende Herbst eröffnen und als Trainingsstätten für Wintersportler: innen dienen. Auf wirtschaftlicher Ebene wird sich die Schleife R1 sicherlich verstärken. Wenn das Gebiet bereits im Herbst Schneesportler: innen aufgrund der Schneesicherheit auf der Loipe anziehen kann, steigt die Besucherzahl automatisch. Allerdings ist diese Methode ökologisch nicht nur positiv, denn der gelagerte Schnee wird künstlich produziert.<sup>111</sup>

---

<sup>110</sup> Institut für Schnee- und Lawinenforschung: Snowfarming, o. J.

<sup>111</sup> Ebd.

Es bedeutet also nicht unbedingt eine Verbesserung der ökologischen Dimension, sondern eher ein Abwägen zwischen touristischer Planungssicherheit und Ressourcenverbrauch. Bezogen auf die immer steigenden Temperaturen lässt sich vermuten, dass Snowfarming zudem problematisch werden kann, da die künstliche Schneeproduktion und auch der Lagerungsprozess des Schnees bei hohen Temperaturen eingeschränkt werden. Dies ist systemdynamisch abhängig von der Verzögerung, die in der Rückkopplungsschleife B3 dargestellt wird. Also wie lange es dauert, bis die durchschnittliche Temperatur im Winter die technische Beschneigung stark einschränkt.

## 6. Diskussion

Aufbauend auf den dargestellten Erkenntnissen sollen nun die Fragestellungen beantwortet werden. Folgende systemdynamische Fragen gelten als Prozessfragen wurden bereits im Verlauf der Arbeit beantwortet:

1. Welche Rückkopplungsschleifen entstehen bei der kausalen Verknüpfung der beiden Variablen „technische Beschneigung“ und „Anzahl Tourist: innen pro Wintersaison“ in einem Kausalschleifendiagramm und welche Abhängigkeiten lassen sich erkennen und ableiten?
2. Inwiefern ist es möglich, mit der Systemdynamik die Dimensionen des nachhaltigen Tourismus anhand von Rückkopplungsschleifen aufzuzeigen?
3. Welche systemdynamischen Archetypen lassen sich aus dem Modell bestimmen und was bedeutet das für die technische Beschneigung als Adaptionstrategie an den Klimawandel?

Im Folgenden stehen daher diese Fragen im Mittelpunkt und werden diskutiert:

### **Allgemein:**

1. Inwiefern trägt die technische Beschneigung in alpinen Tourismusregionen der Schweiz zur Sicherung von touristischer Nachfrage bei?
2. Inwiefern lässt sich die technische Beschneigung als langfristig tragfähige Strategie für den Schweizer Wintertourismus bewerten?
3. Inwiefern ist die technische Beschneigung vereinbar mit der Nachhaltigkeitsstrategie im Schweizer Tourismus?

**Systemdynamisch:**

4. Inwiefern ist das entwickelte Modell auf die aktuellen Praktiken der technischen Beschneigung in der Schweiz anwendbar?
5. Können alternative oder moderne Methoden die im Modell dargestellten Zusammenhänge verändern oder sogar in Frage stellen?

**Frage 1: Inwiefern trägt die technische Beschneigung in alpinen Tourismusregionen der Schweiz zur Sicherung von touristischer Nachfrage bei?**

Sowohl die Literaturrecherche und das Modell verdeutlichen, dass die Schweizer Wintersportgebiete stark von verlässlichen Schneeverhältnissen abhängig sind. Das bedeutet, dass die technische Beschneigung enorm zur Sicherung der touristischen Nachfrage beiträgt. Insbesondere in schneearmen Wintern und auf tiefer gelegenen Pisten kann künstlicher Schnee zu einer Verlängerung der Saison führen, was wirtschaftlich entscheidend ist.

**Frage 2: Inwiefern lässt sich die technische Beschneigung als langfristig tragfähige Strategie für den Schweizer Wintertourismus bewerten?**

Die langfristige Tragfähigkeit der herkömmlichen technischen Beschneigung im Wintertourismus der Schweiz scheint ambivalent. Es lässt sich erkennen, dass sie tatsächlich von der ökologischen, der wirtschaftlichen und der gesellschaftlichen Ebene abhängig ist. Kurzfristig stellt sie eine effektive Anpassungsstrategie an den Klimawandel dar, doch das Modell lässt vermuten, dass diese Strategie langfristig eher nicht tragbar ist. Der Archetyp „Limits to success“ zeigt den Ressourcendruck, die Verstärkung des Klimawandels und den preisgetriebenen Investitionskreislauf als Grenzen auf, bei deren Überschreitung das System rückgängig werden kann. Eine zunehmende Abhängigkeit von der Beschneigung führt zu höheren Betriebskosten und anderen Problematiken. Dies könnte für kleinere Skigebiete ein finanzielles Risiko darstellen. Aus ökologischer Sicht ist die Tragfähigkeit zudem schwierig. Obwohl die Schweiz eine Schneesportnation ist, gilt es, zudem alle touristischen Motive einzubeziehen. Wie die Schleife B2 aufzeigt, können Eingriffe in sensible alpine Ökosysteme in Widerspruch zum Naturtourismus stehen. Es führt also möglicherweise dazu, dass man eine weniger breite Zielgruppe anspricht. Der Archetyp „Fixes that fail“ lässt zudem prognostizieren, dass die technische Beschneigung einen Fix darstellt, der mit der Zeit überholt wird von der weiteren Zunahme des Klimawandels oder anderen Problematiken.

**Frage 4 und 5:**

**Inwiefern ist das entwickelte Modell auf die aktuellen Praktiken der technischen Beschneigung in der Schweiz anwendbar?**

**Können alternative oder moderne Methoden die im Modell dargestellten Zusammenhänge verändern oder sogar in Frage stellen?**

Das Modell zeigt die heutzutage vorwiegende Art und Weise der technischen Beschneigung in der Schweiz auf, also mit Lanzen und Propellern anhand der Hochdruck- und Niederdrucktechnik. Der Ressourcenverbrauch bezieht sich auf diese Methoden. Das bedeutet, die Rückkopplungen des Modells lassen sich durch alternative oder umweltfreundlichere Techniken, wie in Kapitel 5 dargestellt, verändern.

Die Nessay ZeroE Lanzen in Melchsee-Frutt sind technisch fortschrittlich, da sie keine zusätzliche Energie benötigen, jedoch sind sie stark abhängig von der Infrastruktur eines Speichersees auf oberer Höhe des Skigebiets. So können nur untere Teile der Pisten beschneit werden. Die ökologischen Schleifen verändern sich zwar bedingt ins Positive, doch die Installierung der Lanzen ist leider für die Mehrheit der Wintersportgebiete in der Schweiz gar nicht realisierbar.

Zusätzliche Speicherseen wie im Skigebiet Corviglia in St. Moritz haben einen grossen Einfluss auf das Modell. Die Schleife des Ressourcendrucks verändert sich ins Positive, wenn der Wasserverbrauch und der Energieverbrauch gesenkt werden können. Zum anderen ist aber auch hier der Eingriff in die Natur nicht zu unterschätzen. Es wird aber hoffentlich nach einer gewissen Zeit der Nutzen über den Kosten stehen und somit die positiven Auswirkungen die negativen überwiegen.

Snowfarming in Davos zeigt sich als wirtschaftlich sinnvolle Methode, jedoch bringt es keine Verbesserung des Ressourcendrucks, da sie auf technischer Beschneigung basiert. Mit steigenden Temperaturen wird auch dies an seine Grenzen stossen. Es geht hier rein um die frühere Eröffnung der Loipe.

Es lässt sich erkennen, dass das Modell auf die Mehrheit der Schweizer Skigebiete anwendbar ist, die mit der herkömmlichen Beschneigungstechnik arbeiten. Neue Technologien können einzelne Beziehungen und Rückkopplungen verändern. So führen Innovationen wie in Melchsee-Frutt, St. Moritz und Davos zwar zur Abschwächung gewisser Ressourcenströme. Meist sind es die ökologischen und wirtschaftlichen Beziehungen, die sich verändern würden.

**Frage 3: Inwiefern ist die technische Beschneigung vereinbar mit der Nachhaltigkeitsstrategie im Schweizer Tourismus?**

Die Literaturrecherche und das Modell lassen erkennen, dass die technische Beschneigung in herkömmlicher Art und Weise nicht mit der Nachhaltigkeitsstrategie im Tourismus vereinbar ist. Der Fokus der technischen Beschneigung liegt ganz klar auf der wirtschaftlichen Stabilität. Das kann zum einen die gesellschaftlichen Bedürfnisse einer Destination befriedigen, in dem beispielsweise mehr Arbeitsplätze geschaffen werden, jedoch entsteht aus ökologischer Sicht ein deutlicher Zielkonflikt. Der Einsatz von Wasser, Energie und technischer Infrastruktur steht im Spannungsfeld zu den Prinzipien der Ressourceneffizienz und Klimaverantwortung. Da kein Ausgleich zwischen den drei Dimensionen des nachhaltigen Tourismus besteht, wird die technische Beschneigung im Laufe der Zeit nicht vereinbar sein mit der Strategie des nachhaltigen Tourismus.

Es lässt sich aber auch sagen, dass die Schweiz bereits bedeutende Schritte unternimmt, um den Wintertourismus nachhaltiger zu gestalten. Selbsterklärend, aber wichtig zu betonen ist zudem, dass eine Anpassungsstrategie immer eine symptomatische Massnahme darstellt. Schlussendlich reagiert man auf die Folgen des Klimawandels, ohne dessen Ursachen kurzfristig bekämpfen zu können. Zielführend und Lösung dieses Problems ist einzig und allein, wenn der Anstieg der Emissionen konsequent gestoppt würde und ein Fortschreiten der Klimakrise endlich wirksam eingedämmt werden könnte.

Mir ist bewusst, dass ein qualitatives Modell keine so präzisen Aussagen treffen kann wie ein quantitatives Modell, das auf Messwerten und Datensätzen basiert. Dennoch lässt sich anhand der Literaturrecherche und bestehender Klimamodelle ein gewisser Verlauf plausibel vermuten. Die in meiner Arbeit dargestellten Interpretationen sind daher nicht als definitive Vorhersagen zu verstehen, sondern vielmehr als mögliche Entwicklungen und durch Literatur begründete Annahmen über zukünftige Entwicklungen.

## 7. Schlusswort

Die Analyse anhand des systemdynamischen Modells hat gezeigt, dass technische Beschneidung als zwiespältiges Instrument verstanden werden sollte. Sie stabilisiert ökonomische Strukturen kurzfristig, verstärkt jedoch langfristig den Druck auf ökologische Ressourcen. Dies zeigt wiederum die Aussagekraft eines systemdynamischen Modells. Es ist gelungen, ein komplexes Thema aufgrund der Systemdynamik und seinen Rückkopplungen auf eine Ebene zu bringen, auf der nicht mehr alle einzelnen Ursachen und Wirkungen betrachtet werden, sondern das Zusammenspiel aller relevanten Variablen. Es lässt sich klar erkennen, dass es sinnvoll ist, Entscheidungen im Tourismus innerhalb eines verknüpften Netztes zu treffen. Das Modell zeigt somit nicht nur eine dynamische Analyse, sondern ermöglicht ein tieferes Verständnis, warum scheinbar einfache Lösungen in einem komplexen System selten ohne unerwartete Folgen bleiben. Ich hoffe, das Modell regt dazu an, über lineare Betrachtungen hinauszugehen und alltägliche Prozesse als Teildynamischer Systeme zu verstehen. Nur so kann man sich bewusst werden, wie breit und vielschichtig die Zusammenhänge zwischen menschlichem Handeln und systemischen Entwicklungen tatsächlich sind.

## 8. Quellenverzeichnis

Baumgartner, Christian: Nachhaltigkeit im Tourismus: von 10 Jahren Umsetzungsversuchen zu einem Bewertungssystem, Innsbruck 2008.

Cuofano, Gennaro: Kausalschleifendiagramm auf den Punkt gebracht, in: FourWeekMBA, 01.04.2024, <<https://fourweekmba.com/de/Kausalschleifendiagramm/>>, Stand: 05.08.2025.

Eidgenössisches Departement für auswärtige Angelegenheiten: Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung, in: Schweizerische Eidgenossenschaft, 18.06.2024, <<https://www.agenda-2030.eda.admin.ch/de/agenda-2030-fuer-nachhaltige-entwicklung>>, Stand: 17.08.2025.

Einstein: Ökologischere Pisten trotz Kunstschnee, in: Schweizer Radio und Fernsehen (SRF), 17.01.2013, <<https://www.srf.ch/sendungen/einstein/einstein-online-oekologischere-pisten-trotz-kunstschnee>>, Stand: 29.09.2025.

Entfernungsrechner: Entfernung Zuerich > Miami, FL, USA - Luftlinie, Fahrstrecke, Mittelpunkt, o. J., <<https://www.luftlinie.org/Zuerich/Miami,FL,USA>>, Stand: 18.08.2025.

Gemeinde Davos: Loipenunterhalt / Snowfarming, o. J., <<https://www.gemeindedavos.ch/dienstleistungen/28201>>, Stand: 12.10.2025.

Grösser, Stefan: Definition System Dynamics, in: Gabler Wirtschaftslexikon, o. J., <<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/system-dynamics-47445>>, Stand: 02.08.2025.

Hälg, Léonore: Studie Energieunabhängigkeitstag 2024, in: Energiestiftung.ch, 17.04.2024, <<https://energiestiftung.ch/studie/energie-unabhaengigkeitstag-ab-morgen-lebt-die-schweiz-auf-pump-kopie>>, Stand: 13.08.2025.

Institut für Schnee- und Lawinenforschung: Snowfarming, o. J., <<https://www.slf.ch/de/schnee/schneesport/schnee-und-ressourcenmanagement/snowfarming/>>, Stand: 12.10.2025.

Institut für Schnee- und Lawinenforschung: Technischer Schnee, o. J., <<https://www.slf.ch/de/schnee/schneesport/schnee-und-ressourcenmanagement/technischer-schnee/>>, Stand: 11.08.2025.

Kim, Daniel H.: Systems thinking tools: a user's reference guide, Cambridge 1995.

Meadows, Donella H.: Thinking in systems: a primer, London 2009.

Melchsee-Frutt: Das Dorf Melchsee-Frutt, o. J., <<https://www.melchsee-frutt.com/melchsee-frutt>>, Stand: 29.09.2025.

Melchsee-Frutt: Beschneigung, o. J., <<https://www.melchsee-frutt.ch/ueber-uns/beschneigung/>>, Stand: 29.09.2025.

Miro: Der visuelle Workspace für Innovation, o. J., <<https://miro.com/de/about/>>, Stand: 18.08.2025.

National Centre for Climate Services: Klimaszenarien CH2018 Alpen, in: Schweizerische Eidgenossenschaft, 22.12.2021, <<https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/regionen/grossregionen/alpen/klimaszenarien-ch2018-alpen.html>>, Stand: 17.08.2025.

National Centre for Climate Services: Was sind Emissionsszenarien?, in: Schweizerische Eidgenossenschaft, 01.03.2019, <<https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/grundlagen-zum-klima/was-sind-emissionsszenarien-.html>>, Stand: 17.08.2025.

National Centre for Climate Services: Höhenabhängige Veränderungen, in: Schweizer Eidgenossenschaft, 11.12.2018, <<https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/regionen/grossregionen/alpen/klimaszenarien-ch2018-alpen/hoehenabhaengige-veraenderungen.html>>, Stand: 18.08.2025.

Open AI's Chat GPT: Beispiel dafür, dass ein System nicht aus der Summe seiner Einzelteile besteht im geografischen Bereich, 06.10.2025, <<https://chatgpt.com/de-DE>>, Stand: 06.10.2025.

Open AI's Chat GPT: Beispiel für eine positive Rückkopplungsschleife im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit und Geografie, 15.09.2025, <<https://chatgpt.com/c/68c8500e-a17c-832a-a1fb-689e5573fcf4>>, Stand: 15.09.2025.

Open AI's Chat GPT: Beispiele für eine negative Rückkopplungsschleife im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit und Geografie, 15.09.2025, <<https://chatgpt.com/?locale=de-DE>>, Stand: 15.09.2025.

Raworth, Kate: Die Donut-Ökonomie: endlich ein Wirtschaftsmodell, das den Planeten nicht zerstört, München 2023.

Rein, Hartmut; Schuler, Alexander; Baranek, Elke: Naturtourismus, München 2019.

Rein, Hartmut; Strasdas, Wolfgang: Nachhaltiger Tourismus: Einführung, Stuttgart 2017.

Schwab, Nico: Kunstschnee: Wie er produziert wird und wie viel Strom er braucht, in: Schweizer Radio und Fernsehen (SRF), 06.01.2023, <<https://www.srf.ch/news/schweiz/technische-beschneigung-kunstschnee-wie-er-produziert-wird-und-wie-viel-strom-er-braucht>>, Stand: 07.08.2025.

Schweizer Radio und Fernsehen: Skifahren wird in Zukunft teurer – Interview mit Jürg Stettler, 10.10.2024, <<https://www.srf.ch/news/wirtschaft/skifahren-in-zukunft-dynamische-preismodelle-fuehren-zu-teureren-tageskarten>>, Stand: 08.09.2025.

Schweizer Tourismus-Verband: Nachhaltige Entwicklung im Schweizer Tourismus, 30.07.2025, <<https://www.stv-fst.ch/nachhaltigkeit/nachhaltigkeitsplattform/nachhaltige-entwicklung>>, Stand: 03.08.2025.

Schweizer Tourismus-Verband: Tourismus als Arbeitsgeber, o. J., <<https://www.stv-fst.ch/tourismuspolitik/schweizer-tourismus-in-zahlen/tourismus-als-arbeitsgeber>>, Stand: 08.09.2025.

Schweizerische Eidgenossenschaft; Bundesamt für Energie; Seilbahnen Schweiz: Energetische Bedeutung der technischen Pistenbeschneigung und Potentiale für Energieoptimierungen, Schlussbericht, Ittigen 05.05.2009.

SECO Staatssekretariat für Wirtschaft: Berggebiete: Sozioökonomische Analyse, Eine empirische Grundlagenstudie von Wüest Partner, Bern 2021.

SECO Staatssekretariat für Wirtschaft: Tourismusstrategie des Bundes, in: Schweizerische Eidgenossenschaft, 14.08.2025, <[https://www.seco.admin.ch/seco/de/home/Standortfoerderung/Tourismuspolitik/tourismusstrategie\\_des\\_bundes.html](https://www.seco.admin.ch/seco/de/home/Standortfoerderung/Tourismuspolitik/tourismusstrategie_des_bundes.html)>, Stand: 06.10.2025.

Seilbahnen Schweiz: Faktenblatt Klimaszenarien Winter 2050 für die Schweiz, Bern 11.2024.

Siegrist, Dominik; Gessner, Susanne; Ketterer Bonnelame, Lea: Naturnaher Tourismus: Qualitätsstandards für sanftes Reisen in den Alpen, Bern 2019.

Skiresort: Skigebiet St. Moritz – Corviglia, o. J., <<https://www.skiresort.ch/skigebiet/st-moritz-corviglia/>>, Stand: 30.09.2025.

St. Moritz Engadin Mountains: Nachhaltigkeit: Naturspeichersee Nair Pitschen, o. J., <<https://www.mountains.ch/de/nachhaltigkeit/naturspeichersee-nair-pitschen/>>, Stand: 30.09.2025.

Teich, Michaela; Lardelli, Corina; Bebi, Peter; Gallati, David; Kytzia, Susanne; Pohl, Mandy; Pütz, Marco; Rixen, Christian: Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Bescheiung, Schlussbericht, Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos 2007.

United Nations: Agenda 21, in: Sustainable Development Goals Knowledge Platform, o. J., <<https://sustainabledevelopment.un.org/outcomedocuments/agenda21>>, Stand: 17.08.2025.

Wikipedia: Davos, 29.09.2025, <<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Davos&oldid=260167019>>, Stand: 12.10.2025.

Wikipedia: Melchsee-Frutt, 28.01.2025, <<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Melchsee-Frutt&oldid=252762483>>, Stand: 29.09.2025.

Wikipedia: Systemarchetyp, 01.06.2024, <<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Systemarchetyp&oldid=245551308>>, Stand: 24.09.2025.

Wolfsperger, Fabian; Rhyner, Hansueli; Schneebeli, Martin: Pistenpräparation und Pistenpflege, Davos 2018.

## 9. Abbildungsverzeichnis

### Abbildungen Deckblatt:

Abb. 1, Deckblatt, erste Spalte, oben links, Foto: Leuzinger, Fritz: Der Brenggensee auf dem Hahnenmoos, Effizientere technische Beschneigung am Metsch, in: Berner Zeitung, 26.07.2017, <https://cdn.unitycms.io/images/5AnjXtWwKb2BzgBkr4ypEM.jpg>.

Abb. 2, Deckblatt, erste Spalte, oben rechts, Foto: Graubünden Ferien: Die 10 schönsten Talabfahrten, in: Webseite Graubünden Ferien, o. J., [https://www.graubuenden.ch/sites/graubuenden/files/styles/large\\_teaser\\_small\\_2x/public/2023-01/skifahren-oberengadin.jpg?h=c3635fa2&itok=y2-6c1Oz](https://www.graubuenden.ch/sites/graubuenden/files/styles/large_teaser_small_2x/public/2023-01/skifahren-oberengadin.jpg?h=c3635fa2&itok=y2-6c1Oz).

Abb. 3, Deckblatt, zweite Spalte, links, Foto: Graubünden Ferien: Skigebiet Corvatsch, Engadin, Frühlingsskifahren: Sonne, Sulz und perfekte Pisten, in: Webseite Graubünden Ferien, 11.03.2025, [https://www.graubuenden.ch/sites/graubuenden/files/styles/hero\\_detail\\_page\\_small\\_2x/public/2025-03/skifahren-oberengadin-fruehlingsskifahren-skigebiet-corvatsch.jpg?h=2f20dfa3&itok=mJCyK2dd](https://www.graubuenden.ch/sites/graubuenden/files/styles/hero_detail_page_small_2x/public/2025-03/skifahren-oberengadin-fruehlingsskifahren-skigebiet-corvatsch.jpg?h=2f20dfa3&itok=mJCyK2dd).

Abb. 4, Deckblatt, zweite Spalte, mittig, Foto: Sportbahnen Melchsee-Frutt: Klimaneutrale technische Beschneigung auf Melchsee-Frutt, in: Webseite der Sportbahnen Melchsee-Frutt, o. J., [https://www.melchsee-frutt.ch/app/uploads/2022/05/20\\_Winter\\_SMF\\_Beschneigung\\_Beat\\_von\\_Deschwanden\\_08-scaled.jpg](https://www.melchsee-frutt.ch/app/uploads/2022/05/20_Winter_SMF_Beschneigung_Beat_von_Deschwanden_08-scaled.jpg).

Abb. 5, Deckblatt, zweite Spalte, rechts, Foto: Nau.ch: Skigebiet Savognin im Dezember 2016 mit grossem Schneemangel, Hoffnung für Skifahrer: Grenzen der Beschneigung noch nicht erreicht, in: Nau.ch, 06.01.2023, <https://c.nau.ch/i/qxRNAZ982odw3ebpKY69BZOEK5LQ4WVO61Bv0nMP/1360/schnee.avif>.

Abb. 6, Deckblatt, dritte Spalte, Foto: Schmid, Aline: verschneite Berglandschaft in Engelberg, 04.01.2025.

Abb. 7, Deckblatt, vierte Spalte, links, Foto: Item, Olivia: Schneekanonen im Gebiet Pradaschier in Churwalden, in: Südostschweiz.ch, 10.01.2017, [https://www.suedostschweiz.ch/sites/default/files/styles/responsive\\_voll\\_tablet\\_webp/public/media/2017-01-10/\\_0ii9361.jpg.webp?itok=CF7WsbBU](https://www.suedostschweiz.ch/sites/default/files/styles/responsive_voll_tablet_webp/public/media/2017-01-10/_0ii9361.jpg.webp?itok=CF7WsbBU).

Abb. 8, Deckblatt, vierte Spalte, rechts, Foto: Skiresort.ch: Pistenpräparierung Schweiz, in: Webseite Skiresort.ch, o. J., [https://www.skiresort.ch/fileadmin/\\_processed\\_/6f/f9/96/68/f40f47d5c8.jpg](https://www.skiresort.ch/fileadmin/_processed_/6f/f9/96/68/f40f47d5c8.jpg).

**Abbildungen Arbeit:**

Abb. 1, S. 4: Science Lab Universität Zürich: Modellbildungszyklus, Von der Beobachtung zum Modell, in: PowerPoint Exkursion Klimamodelle, o. J., Stand: 30.10.2025.

Abb. 2, S. 6: Schweizer Tourismusverband: Verständnis einer nachhaltigen Entwicklung im Tourismus der Hochschule Luzern, 2012, <<https://www.stv-fst.ch/nachhaltigkeit/nachhaltigkeitsplattform/nachhaltige-entwicklung>>, Stand: 12.08.2025.

Abb. 3, S. 13: Kim, Daniel H: Beispiel eines Kausalschleifendiagramms mit zugehörigem Behavior Over Time Diagramm. Systems thinking tools: a user's reference guide, Cambridge 1995, S. 15.

Abb. 4. S. 14: Schmid, Aline: Systemdynamisches Modell der technischen Beschneigung als Adaptionsstrategie an den Klimawandel, Eigene Erstellung in Miro.

Abb. 5, S. 18: Schmid, Aline: Rückkopplungsschleife R1: Technische Beschneigung als Adaption an den Klimawandel, Eigene Erstellung in Miro.

Abb. 6, S. 19: Prof. Dr. Knutti und Seilbahnen Schweiz: Temperaturentwicklung im Winter mit moderatem Klimaschutz: Klimaszenarien im Winter 2050 für die Schweiz, Bern 2024. S. 7.

Abb. 7, S. 22: Schmid, Aline: Rückkopplungsschleife B2: Ressourcendruck und touristisches Motiv, Eigene Erstellung in Miro.

Abb. 8, S. 23: Bild links: Stünzi, Mischa: Propelleranlagen mit Niederdrucktechnik, in: Tagesanzeiger, Eine Million Franken pro beschneiter Pistenkilometer, 31.10.2017, <https://cdn.unitycms.io/images/3bJy6HYVqZYBz0fuFNd0fB.jpg>, Stand: 13.10.2025.  
Bild rechts: Wikipedia: Schneeerzeuger in Aktion, in: Wikipedia, Schneekanone, 05.06.2025, <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d1/Schneekanone.jpg>, Stand: 13.10.2025.

Abb. 9, S. 23: Tagesanzeiger: Lanzenanlagen mit Hochdrucktechnik, in: Tagesanzeiger, Kanonen und Lanzen im Verkauf, 22.12.2014, <https://cdn.unitycms.io/images/7hdl3Pm-K2hAJzfkLjJ34A.jpg?op=ocroped&val=1920,1441,1000,1000,0,0&sum=L1JlgMvzluw>, Stand: 07.11.2025.

Abb. 10, S. 27: Schmid, Aline: Rückkopplungsschleife B3a und B3b: Verstärkung des Klimawandels durch Emissionen, Eigene Erstellung in Miro.

Abb. 11, S. 29: Schmid, Aline: Rückkopplungsschleife R4: Veränderungen des Bodens, Eigene Erstellung in Miro.

Abb. 12, S. 31: Schmid, Aline: Rückkopplungsschleife B5: Preisgetriebener Investitionskreislauf, Eigene Erstellung in Miro.

Abb. 13, S. 32: Schmid, Aline: Rückkopplungsschleife R6: Tourismus als Wirtschaftszweig, Eigene Erstellung in Miro.

Abb. 14, S. 37: Melchsee-Frutt.ch: Tabelle Kostenstruktur der Beschneiungsanlage in Melchsee-Frutt, 2025, [https://www.melchsee-frutt.ch/app/uploads/2022/05/22\\_SMF\\_Tabelle\\_Solar\\_Butterfly\\_Project\\_Vollkosten\\_Beschneigung-web-1-1024x630.jpg](https://www.melchsee-frutt.ch/app/uploads/2022/05/22_SMF_Tabelle_Solar_Butterfly_Project_Vollkosten_Beschneigung-web-1-1024x630.jpg), Stand: 15.09.2025.

Abb. 15, S. 38 : Institut für Schnee- und Lawinenforschung: Aufbau Nessay Zero E System zur technischen Schneeerzeugung, 11.08.2025, [https://www.slf.ch/fileadmin/user\\_upload/SLF/Schnee/Schneesport/grafik\\_nessy\\_zero\\_e1.jpg](https://www.slf.ch/fileadmin/user_upload/SLF/Schnee/Schneesport/grafik_nessy_zero_e1.jpg), Stand: 15.09.2025.

Abb. 16, S. 39: St. Moritz Engadin Mountains: Naturspeichersee Nair Pitschen, 2025, [https://mountains.ch/fileadmin/user\\_upload/Bilddatenbank\\_HP/Nachhaltigkeit/Naturspeichersee/2025-engadin-stmoritz-mountains-lej-nair-pitschen-0235-D.jpg](https://mountains.ch/fileadmin/user_upload/Bilddatenbank_HP/Nachhaltigkeit/Naturspeichersee/2025-engadin-stmoritz-mountains-lej-nair-pitschen-0235-D.jpg), Stand: 24.09.2025.

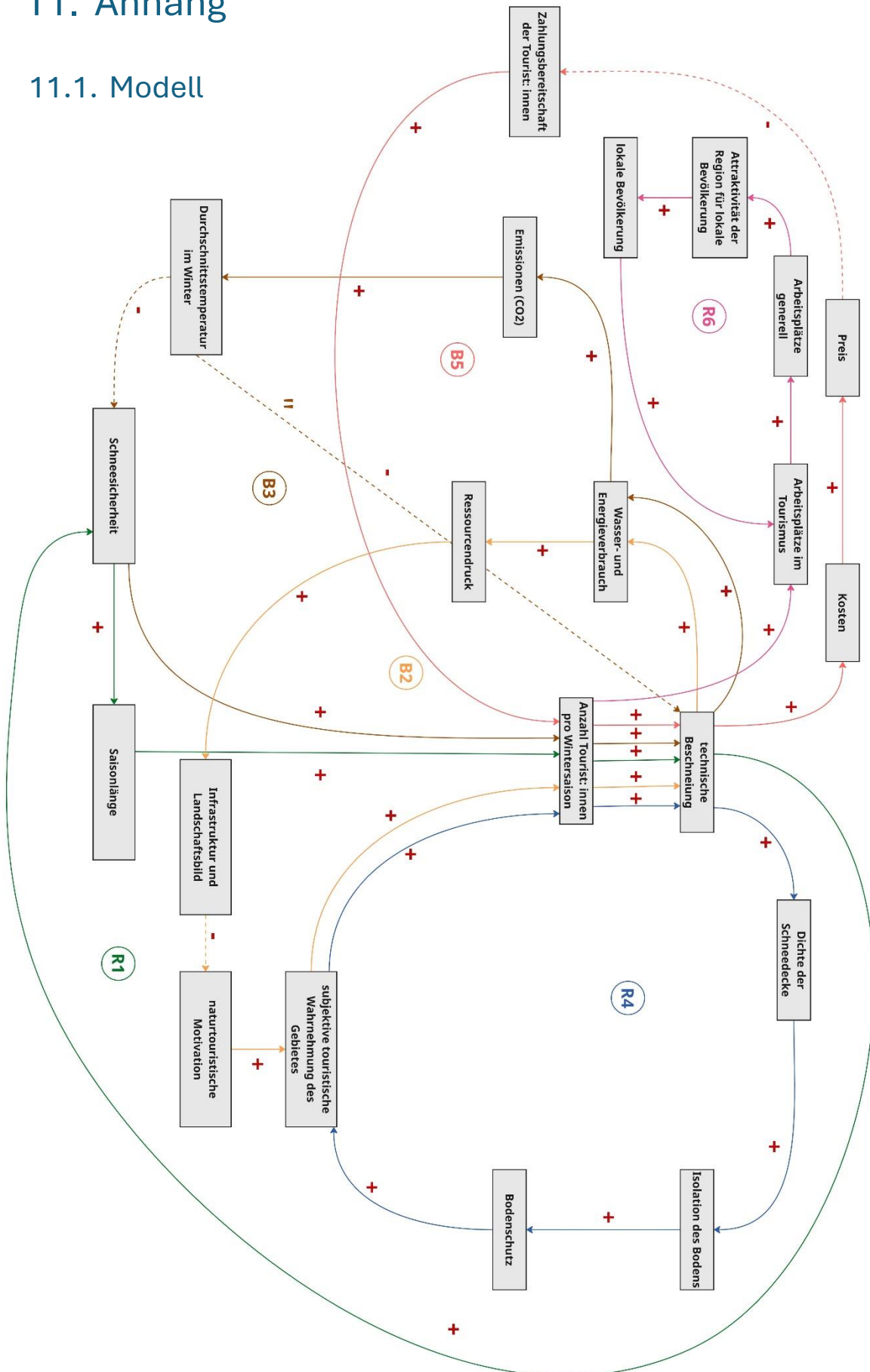
Abb. 17, S. 41, Foto: Wolfensperger, Fabian: Isolationsprozess durch Holzspäne für das Snowfarming in Davos, in: Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Im Januar war der Schnee aus dem Depot schon weg, 23.10.2023 [https://www.slf.ch/fileadmin/\\_processed\\_/5/b/csm\\_IMG5497\\_95f3a9fa79.jpg](https://www.slf.ch/fileadmin/_processed_/5/b/csm_IMG5497_95f3a9fa79.jpg), Stand: 07.11.2025.

## 10. Dank

Mein Dank richtet sich herzlich an Anita Diener und Birgit Kopainsky. Während der letzten Monate habt ihr mich tatkräftig unterstützt und habt mit einer grossen fachlichen Kompetenz, mit viel Freude und Elan alle meine Fragen beantwortet. Eure wertvollen Rückmeldungen haben mich stets motiviert, dranzubleiben und meine Ideen umzusetzen. Auch bedanke ich mich bei Hansjörg Diethelm für das sorgfältige Korrekturlesen und die wertvollen Anmerkungen zu meiner Arbeit.

# 11. Anhang

## 11.1. Modell



## 11.2. Selbständigkeitserklärung



KME  
Kantonale Maturitätsschule  
für Erwachsene

### Selbständigkeitserklärung

- Ich achte das geistige Eigentum anderer Autorinnen und Autoren und gebe ihre Leistung nicht als meine eigene aus.
- Ich kennzeichne deshalb klar, wo ich wörtlich zitiere, und weise auch darauf hin, wenn ich Erkenntnisse anderer umschreibe oder zusammenfasse. Damit ermögliche ich der Leserschaft, die Herkunft und Qualität der von mir benutzten Information richtig einzuschätzen.
- Ich achte darauf, dass die Informationen, die ich von anderen bezogen habe, klar von meinen eigenen Überlegungen und Folgerungen unterschieden werden können. Erst dadurch wird auch meine eigene Leistung richtig einschätzbar.
- Ich achte darauf, dass meine bibliographischen Angaben so genau sind, dass sie der Leserschaft das Auffinden der Quellen ermöglichen.
- Auch die aus dem Internet bezogene wissenschaftliche Information belege ich klar nach Herkunft von Texten und Bildern mit entsprechenden Internet-Adressen.
- Ich respektiere die Rechte der Autorinnen und Autoren meiner Informationsquellen und halte mich an die geltenden gesetzlichen Regelungen.
- Zusätzlich versichere ich, dass ich IT-gestützte oder auf künstlicher Intelligenz (KI) basierende Schreibwerkzeuge nur in Absprache mit der Betreuungsperson verwendet habe. Dabei stand meine eigene geistige Leistung im Vordergrund, und ich habe jederzeit den Prozess steuernd gearbeitet.
- Ich nehme zur Kenntnis, dass meine Arbeit mittels einer Software auf KI-Textbausteine überprüft werden kann.

### Erklärung

Ich versichere, dass ich meine Maturarbeit unter Berücksichtigung der oben stehenden Regeln selbständig verfasst habe.

Ort / Datum:

Unterschrift: